

FFI RAPPORT

METODER FOR FLERMÅLSANALYSE – En oversiktsstudie fra GOAL

MALERUD Stein, KRÅKENES Tony

FFI/RAPPORT-2005/03041

**METODER FOR FLERMÅLSANALYSE – En
oversiktsstudie fra GOAL**

MALERUD Stein, KRÅKENES Tony

FFI/RAPPORT-2005/03041

FORSVARETS FORSKNINGSINSTITUTT
Norwegian Defence Research Establishment
Postboks 25, 2027 Kjeller, Norge

P O BOX 25
 NO-2027 KJELLER, NORWAY
REPORT DOCUMENTATION PAGE

SECURITY CLASSIFICATION OF THIS PAGE
 (when data entered)

| | | |
|---|--|--------------------------|
| 1) PUBL/REPORT NUMBER FFI/RAPPORT-2005/03041 | 2) SECURITY CLASSIFICATION UNCLASSIFIED | 3) NUMBER OF PAGES 38 |
| 1a) PROJECT REFERENCE FFI-I/1004/911 | 2a) DECLASSIFICATION/DOWNGRADING SCHEDULE - | |
| 4) TITLE METODER FOR FLERMÅLSANALYSE – En oversiktsstudie fra GOAL Methods for multiple criteria decision analysis – A GOAL survey | | |
| 5) NAMES OF AUTHOR(S) IN FULL (surname first) MALERUD Stein, KRÅKENES Tony | | |
| 6) DISTRIBUTION STATEMENT Approved for public release. Distribution unlimited. (Offentlig tilgjengelig) | | |
| 7) INDEXING TERMS IN ENGLISH: IN NORWEGIAN: | | |
| a) <u>Multiple Criteria Decision Analysis</u> | a) <u>Flermålsanalyse</u> | |
| b) <u>Decision Analysis</u> | b) <u>Beslutningsanalyse</u> | |
| c) <u>Operational Analysis</u> | c) <u>Operasjonsanalyse</u> | |
| d) _____ | d) _____ | |
| e) _____ | e) _____ | |
| THESAURUS REFERENCE: | | |
| 8) ABSTRACT Multiple Criteria Decision Analysis (MCDA) is a popular and powerful methodological approach to aid decision-making involving several and possibly conflicting goals. A multitude of MCDA methods exists; these can be categorized into three broad classes: a) Value function methods; b) Goal and reference point methods; c) Outranking methods. This report gives an introductory overview of MCDA methods in compliance with this categorization. Within each family of methods, basic principles are described, examples are given and available software is listed. Choice of method for a particular decision problem will normally depend on several factors. The report also gives hints and tips on choosing appropriate methods for various types of problems, as well as general advice on conducting MCDA. This report is part of a series of surveys of OA methods conducted by project GOAL at FFI. | | |
| 9) DATE 2006-01-18 | AUTHORIZED BY This page only Jan Erik Torp | POSITION Director |

ISBN 82-464-0986-7

UNCLASSIFIED

SECURITY CLASSIFICATION OF THIS PAGE
 (when data entered)

INNHOLD

| | Side | |
|-------|-----------------------------------|----|
| 1 | INNLEDNING | 7 |
| 2 | INTRODUKSJON TIL MCDA | 8 |
| 2.1 | MCDA og operasjonsanalyse | 8 |
| 2.2 | Når bruker man MCDA? | 9 |
| 2.3 | MCDA-prosessen steg for steg | 9 |
| 2.3.1 | Problemstrukturering | 9 |
| 2.3.2 | Preferansemodellering | 11 |
| 2.3.3 | Aggregering | 12 |
| 2.3.4 | Vurdering | 12 |
| 2.4 | Eksempel: valg av stridsvogn | 12 |
| 3 | PROBLEMSTRUKTURERING | 13 |
| 4 | VERDIFUNKSJONSMETODER | 15 |
| 4.1 | Preferansemodellering | 15 |
| 4.2 | Aggregering | 16 |
| 4.3 | Analytic Hierarchy Process (AHP) | 18 |
| 4.4 | Mer om verdifunksjonsmetoder | 19 |
| 4.5 | Verktøy | 19 |
| 5 | MÅL- OG REFERANSEPUNKSMETODER | 19 |
| 5.1 | Preferansemodellering | 19 |
| 5.2 | Aggregering | 20 |
| 5.3 | Verktøy | 21 |
| 6 | RANGERINGSMETODER – "OUTRANKING" | 21 |
| 6.1 | Preferansemodellering | 22 |
| 6.2 | Aggregering | 22 |
| 6.2.1 | ELECTRE | 22 |
| 6.2.2 | Andre ELECTRE-metoder | 24 |
| 6.2.3 | PROMETHEE | 25 |
| 6.3 | Verktøy | 27 |
| 7 | BRUK AV FLERMÅLSANALYSEMETODER | 27 |
| 7.1 | Om valg av metode | 27 |
| 7.2 | Gjennomføring av flermålsanalyser | 29 |
| 8 | AVSLUTNING | 31 |

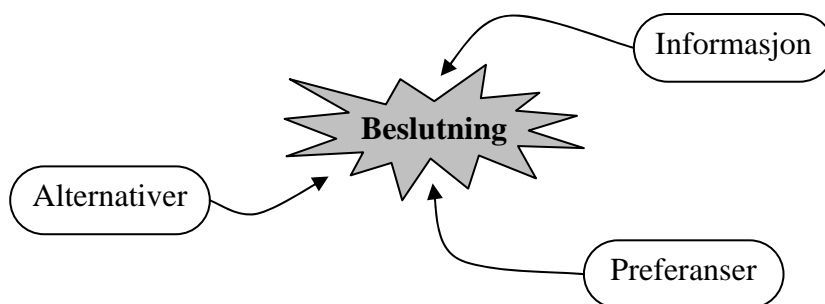
APPENDIKS

| | | |
|---|-----------------------|----|
| A | FORKORTELSER | 33 |
| B | BRUK AV MCDA PÅ FFI | 34 |
| C | OVERSIKT OVER METODER | 36 |
| | Litteratur | 37 |

METODER FOR FLERMÅLSANALYSE – En oversiktsstudie fra GOAL

1 INNLEDNING

Når en beslutning skal tas, har beslutningstaker som oftest flere alternativer å velge mellom. Alternativene må gjerne vurderes opp imot flere, og ofte motstridende, kriterier (f.eks. sikkerhet vs. komfort ved flyreiser), og beslutningstakers preferanser vil spille en viktig rolle for løsningen som til slutt blir valgt. En *beslutning* kan konseptuelt ses på som bestående av de tre elementene *alternativer*, *informasjon* og *preferanser* (figur 1.1).



Figur 1.1 En beslutning består av elementene alternativer, informasjon og preferanser

Beslutningsanalyse er et omfattende og mangslungent fagfelt. Flermålsbeslutningsanalyse – eller bare flermålsanalyse – er et sentralt område innen dette feltet. Svært forenklet kan flermålsanalyse defineres som en hvilken som helst fremgangsmåte som evaluerer en liste med alternativer opp mot et sett med vurderingskriterier, med det formål å kåre en vinner eller rangere alternativene. Flermålsanalyse er kjent under flere navn; i denne rapporten vil vi stort sett bruke det etablerte engelske akronymet MCDA (Multi-Criteria Decision Analysis).

En rekke MCDA-metoder er utviklet. Gjennom en formalisert analyseprosess gir metodene mulighet for å vurdere alternative løsninger opp mot hverandre, der flere kriterier og eventuelt scenarier legges til grunn for beslutningen. Sentralt i disse metodene er modellering av beslutningstakers preferanser. Formålet med denne rapporten er å gi en kort innføring i de mest sentrale MCDA-metodene og prinsippene. Styrker og svakheter med metodene vil bli belyst, og anvendelsesområder skissert. Råd om bruk av metodene blir også gitt. Rapporten gir ikke en fullstendig oversikt over metoder, og innholdet er i stort basert på boken ”*Multiple Criteria Decision Analysis: An Integrated Approach*” av Belton og Stewart (1).

Flere FFI-prosjekter har brukt MCDA i sitt arbeid; en kort oversikt over sentrale studier er vist i appendiks B. Felles for mange av studiene er at MCDA-metoden AHP¹ er benyttet, men uten at brukerne nødvendigvis har hatt en gjennomtenkt holdning til valg av metode. Denne rapporten

¹ AHP = Analytic Hierarchy Process; metoden omtales i kapittel 4.3.

har derfor også som mål å bevisstgjøre brukere ved instituttet og andre steder om mangfoldet innen MCDA-metoder.

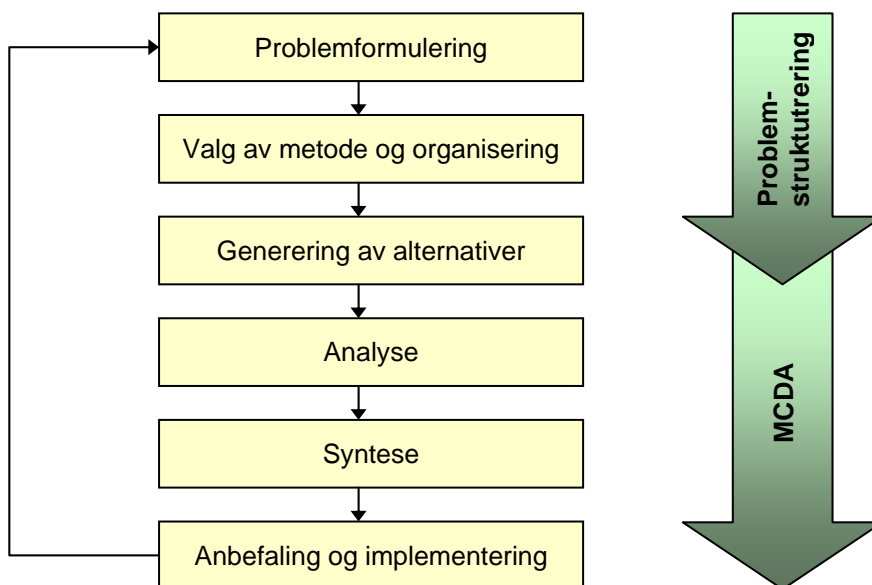
Denne oversiktsrapporten om MCDA er utarbeidet under prosjekt 1004 GOAL, og inngår i en serie med breddestudier av operasjonsanalytiske metoder. Andre rapporter i denne serien omhandler problemstrukturerende metoder (2) og simuleringsmetoder (planlegges utgitt i 2006).

Rapporten er organisert som følger. I kapittel 2 gis en introduksjon til MCDA og presenterer tre hovedklasser av MCDA-metoder som blir beskrevet separat i kapitlene 4, 5 og 6. Kapittel 3 er viet temaet problemstrukturering og viktigheten av velstrukturerte problemer mht. valg og bruk av MCDA-metode. Kapittel 7 inneholder noen generelle kommentarer til bruk av MCDA, mens kapittel 8 gir en oppsummering av de viktigste momentene i rapporten.

2 INTRODUKSJON TIL MCDA

2.1 MCDA og operasjonsanalyse

MCDA hører hjemme under det mer generelle feltet operasjonsanalyse (OA). Det finnes flere definisjoner av operasjonsanalyse, alt etter hvilket aspekt ved OA man velger å vektlegge. En klassisk definisjon fra (3) er *”Operations research is a scientific method of providing executive departments with a quantitative basis for decisions regarding the operations under their control”*. En mer moderne definisjon som noen sentrale OA-organisasjoner² opererer med, er *”OR is the discipline of applying advanced analytical methods to help make better decisions”*, med slagordet *”OR is the science of better”*. Felles for alle definisjonene er at OA skal bidra til å gi bedre beslutninger. Dette er i seg selv en viktig motivasjon for å studere MCDA. Et annet moment er, som poengtert innledningsvis, at mer komplekse beslutninger normalt vil innebære en avveining av motstridende hensyn. I slike situasjoner er ofte MCDA en særlig egnet metode.



Figur 2.1 OA-arbeidsprosessen og MCDA sin plass i denne

² Bl.a. britiske OR Society (www.theorsociety.com) og amerikanske INFORMS (www.informs.org).

OA er en arbeidsform som er mye brukt ved FFI. Figur 2.1 fremstiller den overordnede arbeidsprosessen i en operasjonsanalyse og illustrerer hvilke aktiviteter som kan dekkes av MCDA. Forut for en MCDA-analyse er det som regel nødvendig med en problemstruktureringsfase som ”klargjør” problemet, men avgrensingen mellom denne fasen og selve MCDA-fasen er ikke tydelig. Man kan velge å se på struktureringen som en ren forløper til MCDA eller som en mer eller mindre integrert del av MCDA. Problemstrukturering og metoder for dette er beskrevet nærmere i kapittel 3.

2.2 Når bruker man MCDA?

I hvilke typer beslutningssituasjoner passer det å bruke MCDA? Om man ser grunnleggende på det, så innebærer alle ikke-trivielle beslutninger vurdering av flere alternativer og flere kriterier. Derfor er det korte svaret: alltid. Både enkeltpersoner som gjør vurderinger i sitt eget hode, og grupper som skal komme til enighet, benytter seg av de samme prinsippene, bevisst eller ubevisst. Formell modellering av beslutningsprosessen vha. en MCDA-metode er hensiktsmessig når:

- beslutningssituasjonen er *kompleks*
- beslutningen kan ha betydelige *konsekvenser*
- man har behov for *etterprøvbarehet*

2.3 MCDA-prosessen steg for steg

Som nevnt innledningsvis kan MCDA i utgangspunktet defineres som en hvilken som helst fremgangsmåte som evaluerer en liste med alternativer opp mot et sett med vurderingskriterier, med det formål å kåre en vinner eller rangere alternativene. Mange slike metoder eksisterer, og i følge Belton og Stewart (1) kan det identifiseres tre brede klasser – eller ”skoler” – av MCDA-metoder:

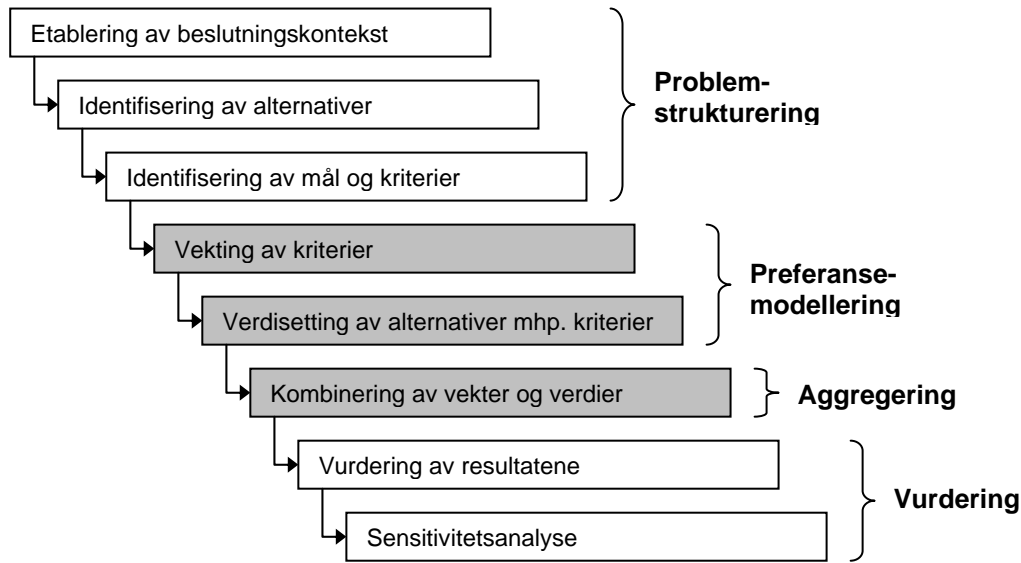
- Verdifunksjonsmetoder
- Mål- og referansepunktsmetoder
- Rangeringsmetoder (”outranking”-metoder)

Disse klassene av metoder beskrives separat i hhv. kapittel 4, 5 og 6.

Metodene er til dels svært forskjellige, men i stort følger alle den samme MCDA-prosessen som vist i figur 2.2. Trinnene i denne prosessen blir gjennomgått i dette kapittelet. Terminologien innen MCDA kan lett virke omfattende og forvirrende, så det er lagt vekt på å forklare og utdype sentrale begreper fortløpende i teksten. Enkelte eksempler på gjennomføring av de ulike trinnene finnes i kapitlene 4, 5 og 6.

2.3.1 Problemstrukturering

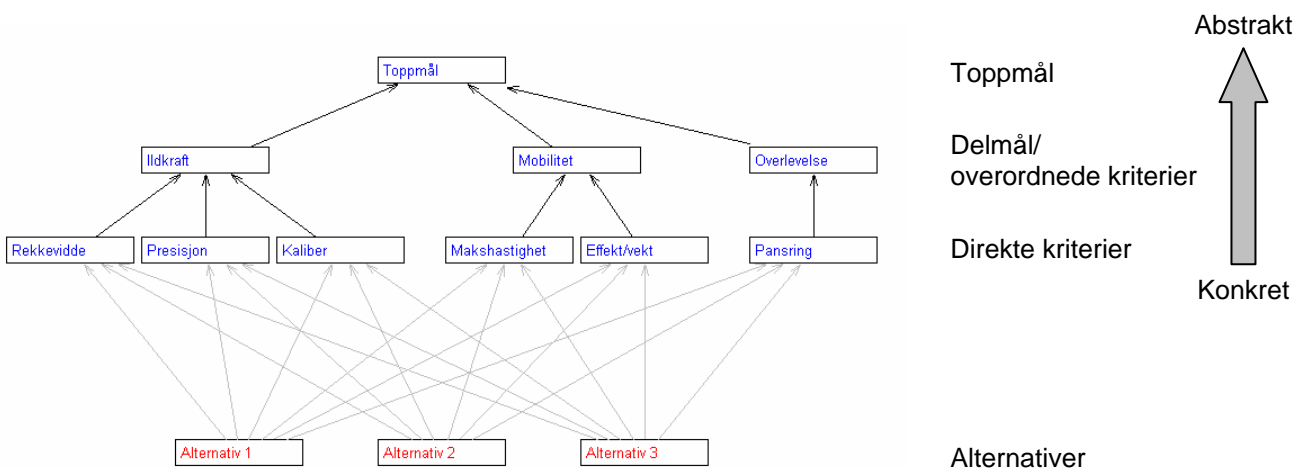
Innledningsvis i en MCDA-analyse er det nødvendig å strukturere og avgrense beslutningsproblemet, samt identifisere beslutningstakere og -prosess. I denne problemstruktureringsfasen skal man enes om hva problemet er, hvilke alternativer som eksisterer og hvilke kriterier som skal brukes for å vurdere alternativene. Problemstrukturering blir behandlet i noe mer detalj i kapittel 3. Det finnes flere metoder som støtter problemstrukturering, se (2) for en oversikt.



Figur 2.2 *Trinn i en MCDA-analyse. De grå stegene er de mest sentrale, og det som skiller de ulike metodene fra hverandre*

Kriterier (andre betegnelser: beslutningskriterier, vurderingskriterier, attributter, mål) er det settet med ønskede egenskaper som alternativene skal vurderes etter (f.eks. farge, pris etc.). Det er ofte – spesielt når kriteriene er tallrike – hensiktsmessig å gruppere kriterier som naturlig hører sammen under overordnede, mer abstrakte kriterier. Dette resulterer i en trestruktur med overordnede og underordnede kriterier i flere lag. Løvnodene i treet – dvs. kriteriene på laveste, mest konkrete nivå – kalles gjerne direkte kriterier, siden det er disse kriteriene som alternativene måles direkte mot.

Når kriterier organiseres hierarkisk i en trestruktur, bruker man ofte betegnelsen *mål* isf. kriterium, med rotnoden som toppmål og delmål på ulike nivåer nedover mot løvnodene. Treet kalles følgelig et målhierarki. Se figur 2.3 for en illustrasjon av disse begrepene. De angitte kriteriene/målene er hentet fra eksempelet ”valg av stridsvogn” i kapittel 2.4.



Figur 2.3 *Noen sentrale begreper brukt for hierarkisk organiserte kriterier*

2.3.2 Preferansemodellering

Beslutningstakers subjektive preferanser kommer til uttrykk på hovedsakelig to måter:

- gjennom *vekter* som reflekterer innbyrdes viktighet av kriteriene
- gjennom *verdier* som reflekterer verdsettingen av et gitt alternativs ytelse mht. et gitt kriterium

Denne vektingen og verdsettingen er, sammen med den påfølgende aggregeringen, kjernen i MCDA, og det som mest skiller de ulike metodene fra hverandre.

Kriterievekter er tall som representerer kriterienes relative viktighet. De ulike MCDA-metodene opererer med ulike fremgangsmåter for å bestemme disse vektene, og vektene får dermed ulik tolkning avhengig av metoden. Det er viktig, og vanskelig, å være konsistent når disse vektene skal settes. Konsistenssjekker bør derfor utføres, og det finnes MCDA-software som støtter dette.

Et alternativs *ytelse* mhp. et gitt kriterium kan måles både langs ordinale og kardinale skalaer (se forklaring av disse skalabegrepene i boksen nedenfor). Det er vanlig at kriteriene utformes slik at det foreligger en preferanse for høyere ytelse. Et alternativ a sin ytelse mht. kriterium i betegnes da $z_i(a)$, der z_i er den *partielle preferansefunksjonen* for kriterium i . Disse funksjonene er altså definert slik at høyere ytelse gir høyere verdier av z . Ordet *partiell* brukes siden dette er ”lokale” funksjoner – en funksjon per kriterium – som senere må aggregeres til et større hele.

Kardinal og ordinale skalaer

Ytelse måles på skalaer som er naturlige og hensiktsmessige for hvert kriterium. Tilgjengelig informasjon om beslutningsproblemet og kriteriene bør vurderes ifm. valg av metode. I mange tilfeller vil ytelse være objektivt definert og direkte kvantifiserbart (f.eks. fartsmåling, skuddtakt etc.), og kan derfor plasseres på en *kardinal* skala³. Men i andre tilfeller må kvalitative, *ordinale* skalaer av typen ”høy-middels-lav” brukes (f.eks. livskvalitet). Slike skalaer er *kategoriske*, i det ligger det at differansen mellom kategoriene ikke kan kvantifiseres. At skalaen i tillegg er ordinal, betyr at det gir mening å snakke om rekkefølgen (eller *ordningen*) av kategoriene.

Ulempen med ordinale skalaer er at de ofte må omsettes til en kardinal skala for å kunne brukes i de fleste MCDA-metoder. Denne transformeringen kan være problematisk, og vanskelig å gjennomføre på konsistent vis. For alternativer målt langs en ordinal skala, kan man lett si om et alternativ er bedre enn et annet, men man kan ikke uten videre kvantifisere forskjellen mellom to ordinale verdier.

I atter andre tilfeller kan det være hensiktsmessig at alternativer rangeres direkte i forhold til hverandre uten bruk av skalaer (f.eks. fargepreferanser). Det deles da ut ”førsteplass”, ”andreplass” osv. I prinsippet er dette det samme som å bruke en ordinalskala, selv om det konseptuelt oppfattes annerledes.

De målte ytelsene vil ofte være objektive størrelser, som f.eks. antall og hastighet. Som oftest vil en beslutningstaker foreta en subjektiv verdsetting av ulike ytelsesnivåer, og omsette ytelse til

³ Det finnes to typer kardinale skalaer: intervallskalaer og forholdstallskalaer. Intervallskalaer har ikke et naturlig nullpunkt – differanser kan kvantifiseres, men forholdstall gir ikke mening (eksempel: temperatur målt i °C). Forholdstallsskalaer har et entydig definert nullpunkt, og både differanser og forholdstall kan kvantifiseres meningsfullt (eksempler: antall, avstand og hastighet).

verdier som mål på de ulike alternativenes godhet mht. de direkte kriteriene. Det er disse verdiene som brukes videre i analysen. De ulike metodene har ulike måter å verdsette ytelse på. MAVT-metoder (se kapittel 4) transformerer ytelse til verdier vha. eksplisitte *verdifunksjoner*. Rangeringsmetoder verdsetter ytelse mer indirekte ved å sette krav til nivåene for støtte og ”motbevis” for alternativens godhet overfor andre alternativer.

Informasjonen om vektorer og ytelser/verdier fremstilles gjerne samlet i en *beslutningsmatrise* for bedre oversikt (se f.eks. tabell 4.1).

2.3.3 Aggregering

Når alle vektorer og ytelser/verdier er fastsatt, blir denne informasjonen sammenfattet i aggregerte mål for de ulike alternativenes godhet. De ulike metodene har forskjellige måter å gjøre dette på:

- For *verdifunksjonsmetoder* – og andre metoder som vurderer ytelse/verdier langs en kardinalskala – er det mest vanlig å bruke vektet-sum-metoden (se kapittel 4.2), som beregner en totalverdi for hvert alternativ. Alternativene kan da rangeres på bakgrunn av totalverdiene.
- For *rangeringsmetoder* beregnes det som regel indekser for støtte og motbevis for alternativens godhet i forhold til andre alternativer. I denne prosessen sammenlignes alternativer gjerne parvis, og på bakgrunn av dette bygges det opp partielle eller komplette rangeringsrelasjoner.

2.3.4 Vurdering

Etter at aggregeringen er ferdig og resultatet foreligger, bør det gjennomføres en helhetlig vurdering av resultatene. En viktig ting å ta stilling til er betydningen av de kvantifiserte forskjellene mellom alternativene. Hvis et alternativ er marginalt bedre enn et annet, betyr det kanskje at begge egentlig er akseptable for beslutningstaker, og at nærmere analyse av kun disse to kan være formålstjenlig. Egne sensitivitetsanalyser kan dessuten avsløre resultatenes robusthet overfor variasjoner i preferanseangivelsene (uttrykt gjennom vektning og verdisetting).

Resultatene fra en MCDA-analyse vil kun være gyldige innenfor det settet av forutsetninger (scenariet) som gjelder for analysen. Det er vanskelig å ha en sikker formening om fremtidige hendelsesforløp, og det bør derfor også vurderes hvorvidt resultatene vil være robuste i andre scenarier enn beslutningsscenariet.

2.4 Eksempel: valg av stridsvogn

For å illustrere metoder og prinsipper, vil vi flere steder i rapporten studere et forenklet beslutningsproblem. Beslutningsproblemet er valg av stridsvogn for anskaffelse, der beslutningstaker har tre alternativer å velge mellom. Alternativene oppsummeres overordnet i tabell 2.1.

| Alternativ | Ildkraft | Mobilitet | Pansring |
|------------|----------|-----------|----------|
| A1 | lav | god | lett |
| A2 | middels | god | tung |
| A3 | høy | middels | tung |

Tabell 2.1 Overordnede egenskaper for de tre alternative stridsvognene

De viktigste vurderingskriteriene som har blitt identifisert er:

- Vogn: makshastighet, motorkraft, vekt og pansring
- Ammunisjon: kaliber, rekkevidde og presisjon (CEP⁴)

Vurderingskriteriene har alle med ildkraft, mobilitet og overlevelse å gjøre, og kan kombineres og struktureres i seks direkte og tre overordnede kriterier som vist i tabell 2.2. Denne tabellen inneholder også den objektivt målte ytelsen til de tre alternativene mhp. de direkte kriteriene. Legg merke til at ytelser defineres og måles slik at høyere verdier betyr bedre ytelse.

Elementene i matrisen er således funksjonsverdier av de nevnte preferansefunksjonene $z_i(a)$; i dette eksempelet har man seks slike funksjoner, en for hvert kriterium.

| Alternativ | Ildkraft | | | Mobilitet | | Overlevelse |
|------------|-----------------|------------------------|--------------|------------------|-----------------------|---------------------|
| | Rekkevidde [km] | Presisjon [m^{-1}] | Kaliber [mm] | Makshast. [km/h] | Effekt/vekt [kW/tonn] | Pansertykkelse [mm] |
| A1 | 4 | 0.05 | 30 | 75 | 17 | 30 |
| A2 | 6 | 0.04 | 120 | 72 | 18 | 70 |
| A3 | 8 | 0.03 | 130 | 65 | 18 | 100 |

Tabell 2.2 Beslutningsmatrise med oversikt over alternativenes ytelser. Målet for presisjon er den inverse av granatens CEP

Det kan tenkes mange flere relevante kriterier enn de som er angitt her, men siden dette eksempelet kun har pedagogiske formål, har vi valgt å gjøre det enklest mulig. Et kriterium som ikke står på listen men som helt sikkert må vurderes på et eller annet tidspunkt, er kostnader. Kostnader utelates ofte i første omgang i MCDA-analyser, slik at alternativene sammenlignes kun mhp. rene effekt/nyttekriterier. Kostnadskriteriet er i natur svært forskjellig fra andre kriterier og derfor ofte vanskelig å vektlegge på en fornuftig måte. Skal kostnader være kun ett blant mange kriterier, eller like viktig som alle andre kriterier til sammen? Dette er problematisk, og kostnader blir derfor ofte behandlet separat i MCDA-analyser.

3 PROBLEMSTRUKTURERING

I forkant av en flermålsanalyse er det fornuftig å bruke tid på å strukturere problemstillingen, slik at man oppnår forståelse for problemsituasjonen og en så presis og entydig definisjon av beslutningsproblemene som mulig. Det er lite ønskelig å løse feil problem eller bruke gale forutsetninger. Flermålsanalyse i seg selv vil ofte være en lærende prosess slik at man også i

⁴ CEP = Circular Error Probability. CEP er et forenklet mål for presisjon og defineres som radius i den sirkelen hvor granaten med 50 % sannsynlighet treffer innenfor.

denne fasen bygger opp kunnskap rundt problemet. Pidd (4) benytter en grov inndeling i tre nivåer for å angi kompleksitet av problemer:

- *Floker* ("puzzles") karakteriseres ved at problemet er presist formulert og løsningsmetoden er kjent.
- *Problemer* ("problems") karakteriseres ved at problemet er presist formulert, men løsningsmetoden er ukjent.
- *Rot* ("messes") karakteriseres ved at problemet er upresist formulert og løsningsmetoden er ukjent.

Jo mer komplisert problemet er, jo større vil behovet for og nytten av problemstrukturerende metoder være. Forsvarsstrukturbygging kan være et eksempel på et problemområde med høy kompleksitet. Utfordringene ligger bl.a. i at Forsvaret har mennesker og organisasjon på mange ulike nivåer, mange ulike materiellsystemer som skal kunne virke sammen, KKI-problematikk⁵, samvirke med allierte, et bredt spekter av oppgaver og ikke minst begrenset økonomi. I tillegg er det ofte ønskelig å vurdere ytelsen til forskjellige systemer i flere scenarier.

Hva kan man så forvente å få ut av problemstrukturerende metoder? Alle metoder muliggjør identifisering av problemdomene, idégenerering og problemstrukturering. Foruten en presis formulering av problemet, vil problemstrukturerende metoder normalt bidra til å forankre problemforståelse og metodikk hos beslutningstaker, og dermed også eierskap og tiltro til resultatene som kommer ut av prosessen. Noen problemstrukturerende metoder støtter beslutningsprosessen helt frem til anbefaling av løsninger, men brorparten av metodene stopper etter selve problemstruktureringen.

De konkrete behovene for inngangsdata til en flermålsanalyse er først og fremst et sett med evalueringskriterier og et sett med løsningsalternativer. I tillegg må man ha et grep om sentrale forutsetninger for analysen og usikkerheten i resultatene som kommer ut. Det er essensielt å involvere eksperter med domenekunnskap om problemet for å kunne gjøre de riktige valg av kriterier og alternativer. Også sentrale usikkerhetsfaktorer i situasjonen eller omgivelsene som vil kunne påvirke beslutningen, må tas med. Behovene kan best oppsummeres gjennom huskeregelen CAUSE (C: Criteria, A: Alternatives, U: Uncertainties, S: Stakeholders, E: Environmental constraints).

Noen sentrale problemstrukturerende metoder er listet nedenfor; oversiktslitteratur om disse og andre metoder kan finnes i (2) og (5).

- Soft Systems Methodology (SSM)
- Strategic Option Development and Analysis (SODA)
- Critical Systems Heuristics
- Strategic Choice Approach
- Cognitive mapping
- Strukturert brainstorming

⁵ KKI = Kommando, kontroll og informasjon

4 VERDIFUNKSJONSMETODER

Verdifunksjonsmetoder er de mest utbredte av MCDA-metodene. Hovedideen med verdifunksjonsmetoder er å etablere en *verdifunksjon* og beregne en numerisk *verdi* for hvert beslutningsalternativ, og rangere alternativene deretter. Verdifunksjonen bygges slik at forskjeller i verdi blir et direkte mål på forskjeller i alternativenes godhet. Den totale verdifunksjonen er et aggregat av *partielle verdifunksjoner* for hvert kriterium. Verdifunksjonsmetoder har sitt teoretiske fundament i Multi-Attribute Value Theory (MAVT) (6).

4.1 Preferansemodellering

Som nevnt i kapittel 2.4.2, måler partielle *preferansefunksjoner* $z_i(a)$ et alternativs *ytelse* mhp. et gitt kriterium, og at disse er definert slik at høyere ytelse er preferert. Det preferansefunksjonene ikke sier noe om, er i hvor stor grad ytelse på ulike nivåer verdsettes av beslutningstaker. Eksempelvis kan det være at beslutningstaker verdsetter en økning i ytelse fra 1 til 2 mye mer enn en økning fra 2 til 3 på et gitt kriterium. Det er nødvendig å kartlegge og modellere slike preferanser. Partielle *verdifunksjoner* $v_i(z_i(a))$ eller $v_i(\cdot)$ avbilder – for hvert kriterium i – ytelsesskalaen over på en verdiskala i henhold til beslutningstakers verdivurderinger av ulike ytelsesnivåer. Se stridsvognseksempelen på side 17 for en illustrasjon av en slik avbildning.

Om noen ytelser er uttrykt kvalitativt, må disse også omsettes til kvantitative verdier på den felles verdiskalaen.

For å kunne sammenligne alternativer på tvers av kriterier, kreves det at alle preferansefunksjoner avbildes over på en *felles* kardinal verdiskala – typisk 0–10 eller 0–100. I det følgende benyttes en verdiskala fra 0–10. Verdiskalaen bør være *global*, i dette ligger det at nullverdien reflekterer dårligste ytelse for alle tenkelige alternativer, også usette. Tilsvarende reflekterer 10 den best tenkelige ytelse. En *lokal* skala vil innebære at (det tilgjengelige) alternativet med lavest ytelse får verdien null, mens det med høyest ytelse får verdien 10. Lokale skalaer er enklere å bruke, men bør unngås av to grunner:

- små forskjeller i ytelse kan gi store forskjeller i verdi, og alternativer som er tilnærmet like kan dermed bli bedømt svært ulike
- introduksjon av nye alternativer kan sprengte den lokale skalaen, og alle verdier må da beregnes på nytt

Som nevnt i kapittel 2.3, er det ofte hensiktsmessig å organisere kriterier i et målhierarki. Dette bidrar til å oppnå struktur og oversikt, og gjør det enklere å vekte kriteriene mot hverandre, da dette kan gjøres lokalt for hvert overordnede kriterium. I eksempelet vårt samles de tre direkte kriteriene ”rekkevidde”, ”presisjon” og ”kaliber” under det overordnede kriteriet ”ildkraft”. Disse tre direkte kriteriene trenger kun å sammenlignes innbyrdes, og ikke med de resterende tre direkte kriteriene. Sammenlikning med kriterier utenfor gruppen skjer indirekte ved at de overordnede kriteriene ildkraft, mobilitet og overlevelse sammenliknes.

Det er svært viktig at kriterier blir plassert på riktig nivå i hierarkiet. Kriterier er kun sammenlignbare når de konseptuelt har samme detaljeringsnivå. I eksempelet vårt gir det liten mening å sammenligne det konkrete, direkte kriteriet ”makshastighet” med det mer sammensatte konseptet ”ildkraft”. ”Ildkraft” kan derimot meningsfullt sammenlignes med konseptet

”mobilitet”, som kriteriet ”makshastighet” bidrar til å bestemme.

Innbyrdes vekting av kriterier er gjerne den mest subjektive og vanskelige delen av en flermålsanalyse. For verdifunksjonsmetoder representerer vektene matematiske avveininger mellom kriterier. Med det menes at små endringer i verdi på viktige kriterier må kompenseres med store endringer i verdi på mindre viktige kriterier for at bidraget til totalverdien skal være konstant. Eksempel: Vi har to kriterier C_1 og C_2 (med vektorer hhv. w_1 og w_2) og to alternativer a og b . $\Delta_{AB}^{(1)}$ og $\Delta_{AB}^{(2)}$ er differansen i verdi mellom alternativene a og b mhp. henholdsvis kriterium C_1 og C_2 . Da gjelder sammenhengen $\Delta_{AB}^{(1)} \cdot w_1 + \Delta_{AB}^{(2)} \cdot w_2 = 0$.

Dette betyr eksempelvis at dersom kriterium C_1 vurderes som 3 ganger så viktig som kriterium C_2 ($w_1 = 3w_2$), og alternativ a er to enheter bedre enn b på kriterium C_1 ($\Delta_{AB}^{(1)} = 2$), må alternativ b være 6 enheter bedre enn a på kriterium C_2 ($\Delta_{AB}^{(2)} = -6$) for at alternativene skal bli bedømt likt.

Beslutningstakers vektpreferanser avdukes gjerne gjennom ledende spørsmål som ”hvis vi reduserer med x enheter ytelse mhp. kriterium a , hvor mange enheter y må vi da øke mhp. kriterium b for å kompensere?” En annen vanlig teknikk er bruk av såkalte *svingvekter*, der beslutningstaker gir maks verdi til det han oppfatter som det viktigste kriteriet, og verdisetter det nest viktigste kriteriet i forhold til dette. Neste steg er å gi det nest viktigste kriteriet maks verdi, og verdisette det tredje viktigste kriteriet i forhold til dette, osv. til alle kriterier er gjennomgått. Se (1) eller (7) for eksempler på bruk av svingvekter.

Det er meget viktig at denne vektingen gjennomføres på en systematisk måte for å unngå inkonsistens. En konsistenssjekk i etterkant av preferansemodelleringen for å fange opp og korrigere eventuelle kontradiksjoner er uansett å anbefale, og mange metoder støtter dette.

Preferanseuavhengighet mellom kriterier er et viktig prinsipp for at verdifunksjonsmetoder skal fungere etter hensikten. Kriterier anses som uavhengige dersom et alternativs verdi mhp. et gitt kriterium ikke har noen innvirkning på alternativets verdi mhp. andre kriterier.

4.2 Aggregering

Når beslutningstakers preferanser i form av kriterievekter og partielle verdifunksjoner er modellert, kombineres dette i en aggregert verdifunksjon. Den enkleste og aller vanligste verdifunksjonen er den additive modellen (vektet sum-modellen)

$$V(a) = \sum_{i=1}^m w_i \cdot v_i(a) \quad (4.1)$$

der $V(a)$ er totalverdien av alternativ a , $v_i(a)$ er alternativ a sin verdi mht kriterium i og w_i er vekten av kriterium i .

Den multiplikative verdifunksjonen

$$V(a) = \prod_{i=1}^m [v_i(a)]^{w_i} \quad (4.2)$$

er mindre vanlig, men kan med fordel brukes når en forholdstallsskala benyttes for verdifunksjonene. Det er ofte mer intuitivt for mennesker å tenke i forholdstall enn i differanser når

alternativer sammenlignes; ulempen er at en forholdstallsskala krever et entydig nullpunkt som ikke alltid er lett å definere, samt at mennesker ofte er lite konsistente når de gjør forholdstalls-vurderinger.

Ved å ta logaritmen av den multiplikative modellen gjøres denne additiv på samme form som formel 4.1, med $v_i(a)$ erstattet med $\log v_i(a)$. Andre aggregeringsmodeller finnes, men blir svært sjelden brukt innen verdifunksjonsbaserte metoder.

Eksempel

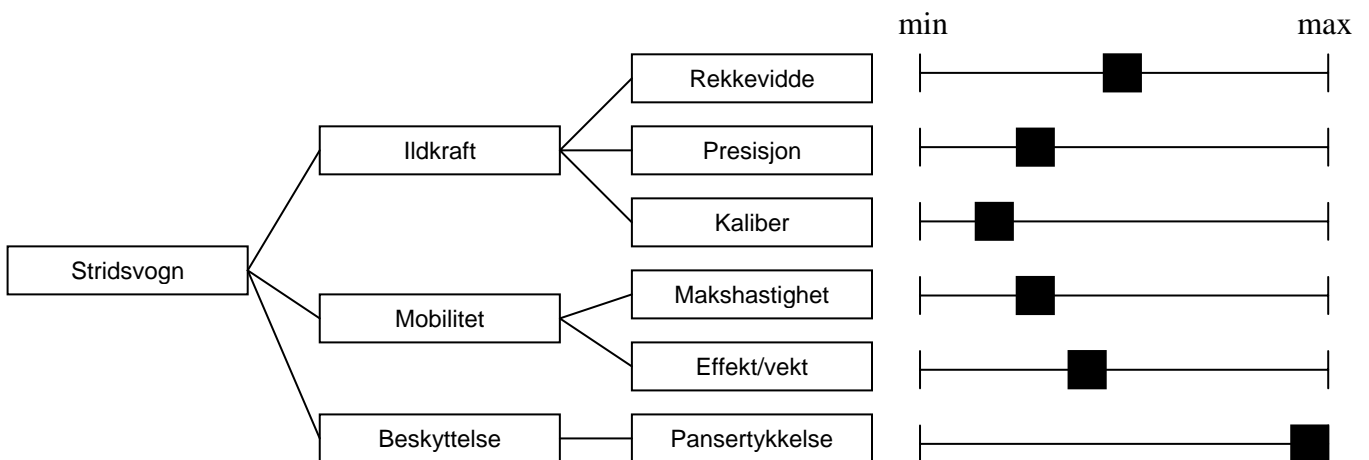
Vi studerer stridsvognseksempelen fra kapittel 2.4. Alternativenes ytelser i tabell 2.2 har via egne verdifunksjoner blitt avbildet over på en felles verdiskala fra 0–10 i tabell 4.1.

Beslutningstakers vektpreferanser har også blitt kartlagt, og de normerte vektene står i den nederste raden i tabellen. Aggregering ved bruk av vektet-sum-metoden (formel 4.1) gir følgende resultat: $V(a_1)=4.05$, $V(a_2)=6.2$ og $V(a_3)=7.9$. Rangeringen blir dermed $A_3-A_2-A_1$.

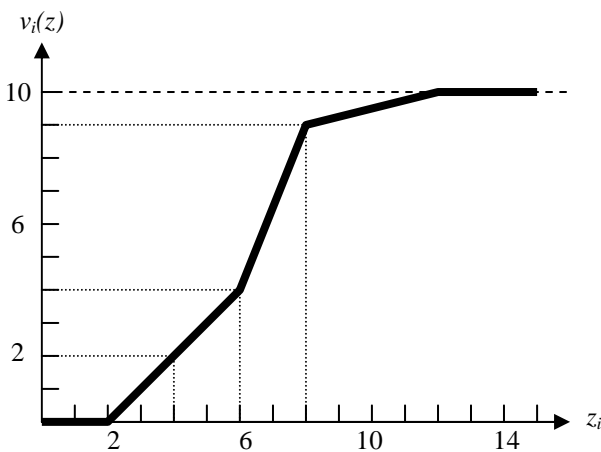
| Alternativ | Ildkraft | | | Mobilitet | | Overlevelse |
|-----------------|------------|-----------|---------|-----------|-------------|----------------|
| | Rekkevidde | Presisjon | Kaliber | Makshast. | Effekt/vekt | Pansertykkelse |
| A1 | 2 | 7 | 2 | 9 | 5 | 3 |
| A2 | 4 | 4 | 8 | 9 | 6 | 7 |
| A3 | 9 | 3 | 8 | 5 | 6 | 10 |
| Vekt (w) | 0.2 | 0.1 | 0.05 | 0.1 | 0.15 | 0.4 |

Tabell 4.1 Beslutningsmatrise med vektor og verdier for stridsvognseksempelen

Figurene 4.1 og 4.2 illustrerer deler av preferansemodelleringen. Figur 4.1 viser hvordan beslutningstaker har vektet kriteriene vha. svingvekter, mens figur 4.2 viser verdifunksjonen for kriteriet ”rekkevidde”.



Figur 4.1 Svingvekter, visuell fremstilling



Figur 4.2 Verdifunksjon for kriteriet "rekkevidde"

4.3 Analytic Hierarchy Process (AHP)

En svært populær – og mye debattert – metode er AHP (Analytic Hierarchy Process) (8). AHP er en verdifunksjonsmetode i den forstand at også denne beregner en verdi for hvert alternativ. AHP skiller seg derimot fra MAVT-metoden i måten kriterievekter og alternativenes verdier blir fastsatt. Disse vektene og verdiene fremkommer som et resultat av parvise sammenligninger av hhv. kriterier (mot overordnede kriterier) og alternativer (mot direkte kriterier). Sammenligningene skjer langs en ordinal skala (ofte en 9-punktsskala) hvor det vurderes kvalitativt hvor sterk preferanse et alternativ har overfor et annet. Skalaen omsettes siden til en forholdstalls-skala som kvantifiserer hvor mange ganger bedre et gitt kriterium er enn et annet.

Resultatene fra de parvise sammenligningene sammenstilles i matriser, og egenvektorene⁶ til disse matrisene tolkes som de søkte vektene og verdiene. AHP følger en standard oppskrift og benytter seg av relativt enkel matematikk, men er likevel en forholdsvis komplisert prosedyre. Det finnes flere verktøy for å støtte gjennomføringen av AHP (se kapittel 4.5).

Når alle kriterievekter og verdier for alternativene er beregnet, aggregeres tallene vha. vektet-sum-metoden til en totalverdi for hvert alternativ, slik at de kan rangeres. Verdien i seg selv har ingen lett tilgjengelig mening, og kan kun brukes til å skille alternativene.

AHP er en populær metode, men det finnes også utbredt skepsis mot den (se f.eks (1)). En av de mest alvorlige innvendingene er muligheten for rangreversering (endring av rekkefølgen) av alternativene man allerede har dersom det legges til nye alternativer.⁷ Slik rangreversering kan unngås om man følger de aksiomatiske forutsetningene for bruk av AHP, men dette har like fullt fått mange til å sette spørsmålsteget ved det teoretiske fundamentet for AHP.

Et annet problem ved bruk av AHP er bruken av en begrenset forholdstalls-skala. Som nevnt

⁶ Mer nøyaktig: de normerte, høyre egenvektorene tilhørende de prinsipale egenverdiene til matrisene.

⁷ Rangreversering kan finne sted også i andre MCDA-metoder enn AHP.

brukes ofte en 9-punktsskala der høyeste kategori forstås som ”9 ganger bedre enn”. Dersom et alternativ vurderes som eksempelvis 5 ganger bedre enn et annet, som på sin side vurderes som 3 ganger bedre enn et tredje alternativ, sprenger dette skalaen. Dessuten er menneskets evne til å tenke konsistent i forholdstall begrenset. Om et alternativ a vurderes som dobbelt så bra som et alternativ b , som på sin side vurderes som dobbelt så bra som et alternativ c , er det langt fra sikkert at alternativ a blir vurdert som nøyaktig 4 ganger bedre enn alternativ c når disse to sammenlignes. Slik inkonsistens må kontrolleres og korrigeres, noe AHP har rutiner for.

Det opprinnelige teoretiske rammeverket rundt AHP har blitt kraftig utvidet, og AHP kan nå ses på som et spesialtilfelle av den mer generelle fremgangsmåten ANP (Analytic Network Process) (9).

4.4 Mer om verdifunksjonsmetoder

Det finnes flere verdifunksjonsmetoder enn de som er nevnt her. To enkle metoder er Decision matrix approach (DMA) og Forced DMA (10). Disse har klare fellestrekk med hhv. MAVT-metoden og AHP. En annen metode som er mye brukt er SMART (7).

Mer generell enn MAVT er MAUT (Multi-Attribute Utility Theory) (6). Nyttefunksjoner modellerer holdning til risiko eksplisitt, og takler usikkerhet ved å bruke sannsynlighetsfordelinger og forventningsverdier. Verdifunksjoner er således spesialtilfeller av nyttefunksjoner.

I (11) gis en overordnet innføring i MAVT med et eksempel på anvendelse om valg av kommando- og kontrollsystemarkitektur.

4.5 Verktøy

Det eksisterer flere verktøy som støtter MAVT-metoder, bl.a. V.I.S.A. (www.simul8.com/visa.htm) og HIVIEW (www.enterprise-lse.co.uk). Det eksisterer også flere verktøy som støtter AHP, bl.a. Team Expert Choice (www.expertchoice.com), TOPSYS og Super Decision. Sistnevnte støtter også den mer generelle ANP.

5 MÅL- OG REFERANSEPUNKSMETODER

Mål- og referansepunktsmetoder er en egen kategori av MCDA-metoder som kjennetegnes av at de benytter matematisk programmering (optimering) for å finne den løsningen som i størst mulig grad tilfredsstillers beslutningstakers preferanser.

5.1 Preferansemodellering

Modelleringen av preferanser i mål- og referansepunktsmetoder har sitt utspring i Simons (12) begrep om bundet/begrenset rasjonalitet (“bounded rationality”), som er mer i tråd med hvordan mennesker tar beslutninger i praksis. Metoden legger til grunn at menneskelig rasjonalitet har sine begrensninger som spesielt gjør seg gjeldende ved usikkerhet i beslutningssituasjonen. Mennesker søker normalt etter alternativer som er *tilstrekkelig gode* ved at man har gjort seg opp en mening om hvilke kriterier som har størst betydning og hva som er akseptable ytelses-

nivåer på disse. Simon benytter uttrykket "satisficing level" for dette akseptable/tilfredsstillende nivået. I tillegg benyttes også begrepet "aspiration level" som kan forstås som et strengere krav og som henspeiler på å strebe mot et høyere nivå. Metoden legger opp til å søke etter alternativer som tilfredsstillende ambisjonsnivåene for de ulike kriteriene. Denne fremgangsmåten skiller seg fra klassisk beslutningsteori som forutsetter fullstendig rasjonalitet i beslutningsprosessen, og hvor målsettingen er å finne det alternativet som maksimerer beslutningstakers forventede nytteverdi.

Beslutningsprosessen tar utgangspunkt i det som vurderes å være det viktigste kriteriet og fastsettelsen av et akseptabelt ytelsesnivå på dette. Alternative løsninger elimineres helt til man står igjen med et sett av alternativer som har ønsket ytelse på dette kriteriet. Deretter foretar man samme vurdering for det nest viktigste kriteriet, osv. Denne fremgangsmåten egner seg godt hvis det er nødvendig å foreta et "første" utvalg fra en i utgangspunktet stor mengde alternativer. Det er her nødvendig å ha en klar formening om rangeringen av evalueringskriteriene, for eksempel som et resultat fra problemstrukturingsfasen. Eksempelvis kan det foretas et første utvalg av stridskjøretøyer fra en i utgangspunktet stor mengde ved å sette krav til akseptable minimumsytelser. Under struktureringen av problemet ble det oppnådd enighet om at det viktigste kriteriet er beskyttelsesgrad målt ved antall millimeter pansring. Kravet til pansring ble fastsatt til å være minimum 30 mm. Det nest viktigste kriteriet er rekkevidden til kanonen, som minimum skal være 3 km. Prosessen fortsetter til alle kriteriene har vært vurdert. Da står man forhåpentligvis igjen med et håndterbart antall alternativer.

Mål- og referansepunktsmetoder anvender denne heuristiske metoden for modellering av preferanser. Akseptable nivåer for de ulike kriteriene defineres normalt på forhånd som målsettinger, hvorpå matematisk programmering benyttes for å finne alternativet som kommer så nær målsettingene som mulig.

5.2 Aggregering

Utgangspunktet for å finne den "optimale" løsningen er de partielle preferansefunksjonene, $z_i(a)$ for alternativ a på kriterium i , samt fastsettelse av et mål eller et akseptabelt ytelsesnivå, g_i , for kriteriet. I litteraturen (13), (14), (15), (16), (1) beskrives flere metoder som kan benyttes for å finne den løsningen som i størst mulig grad tilfredsstillende fastsatte målene for ytelse. Felles for disse metodene er at de baserer seg på en eller annen form for matematisk programmering. I sin enkleste form kan beslutningsproblemet formuleres som et lineærprogrammeringsproblem hvor det skal optimeres over en eller flere objektfunksjoner. Dette stiller krav til at kriteriene kan assosieres med målbare attributter på en kardinal skala.

"Goal programming" er en av flere metoder innen "multi-objective mathematical programming" – MOMP (13), (14). Disse optimeringsmetodene gjør det mulig å ta hensyn til flere målsettinger samtidig for å finne den mest tilfredsstillende løsningen. Mer presist, man søker å minimalisere avvikene mellom faktisk måloppnåelse og de fastsatte målene for ytelse. Hver målsetting er uttrykt ved en objektfunksjon som straffer avvik fra det ønskede ytelsesnivået. Avviket fra det definerte målet g_i uttrykkes ved δ_i . Avvikene danner en vektor som videre blir minimalisert. Matematisk kan et lineært problem formuleres på følgende måte. Minimaliser eller maksimaliser funksjonen:

$$z^* = \sum_i w_i z_i \quad (5.1)$$

med beskrankninger

$$z_i + \delta_i \geq g_i \quad \forall i \quad (5.2)$$

og hvor

$$z_i = \sum_{j=1}^n c_{ij} x_j \quad (5.3)$$

der w_i er vekten som er tilordnet hvert av målene/kriteriene som det skal optimeres over.

Likning 5.2 representerer beskrankningene som er innført på de enkelte objektfunksjonene i likning 5.1, hvor c_{ij} er konstanter og x_j representerer alternativene eller beslutningsvariablene. Hvis $z_i \geq g_i$ vil $\delta_i = 0$. Hvis derimot $z_i < g_i$ vil $\delta_i = g_i - z_i$, som da er avviket fra det fastsatte målet.

En vanlig fremgangsmåte er at det gjennomføres en foranalyse hvor lineærprogrammering benyttes uten særlig kunnskap om beslutningstakers preferanser. Hensikten er å etablere et utvalg av potensielt optimale løsninger som utgangspunkt for en mer detaljert evaluering ved bruk av for eksempel ”goal programming”. En slik foranalyse vil også kunne si noe om utstrekningen av beslutningsrommet – fra laveste (mest pessimistiske) verdi til høyeste (mest optimistiske) verdi.

I (1) hevdes det at denne heuristiske metoden er best egnet i situasjoner hvor beslutningstaker ikke er villig eller ikke kan bidra med den informasjonen som kreves for å kunne foreta mer detaljert preferansemodellering, slik som for verdifunksjonsmetoder.

Referansepunktmetoder omtales ikke eksplisitt i denne rapporten. Disse metodene skiller seg ikke så mye i fra metodene diskutert over, men legger opp til en mer iterativ prosess ved at man initielt velger seg et referansepunkt for ytelsesnivåene. Deretter endres og tilpasses nivåene gjennom iterasjoner. For en mer utfyllende beskrivelse se (1).

5.3 Verktøy

Det finnes mange forskjellige verktøy som støtter matematiske programmering. Excel har en innebygget ”solver” som løser lineærprogrammeringsproblemer. Matlab kan benyttes, og det finnes også en del mer spesialisert programvare slik som ILOG/CPLEX og NIMBUS⁸.

6 RANGERINGSMETODER – ”OUTRANKING”

Metoder for rangering av alternative løsninger – ”outranking”-metoder – regnes som en egen klasse av MCDA-metoder, og er typisk for den europeiske skolen innenfor MCDA (belgisk/fransk). Til forskjell fra verdifunksjonsmetoder har ikke disse metodene noen underliggende verdifunksjon som aggregeres opp til et toppmål/toppkriterium, dvs. at det ikke vil være én enkelt verdi som uttrykker den ”globale” verdien til det enkelte alternativ. Felles for disse metodene er at det bygges opp rangeringsrelasjoner gjennom å sammenlikne to og to alternativer over settet av kriterier. For hvert enkelt kriterium vurderes det om alternativ a skal rangeres over alternativ b gitt beslutningstakers preferanser og all tilgjengelig informasjon rundt

⁸ NIMBUS: Nondifferentiable Interactive Multiobjective Bundle-based optimization System, <http://nimbus.mit.jyu.fi>

problemet. Alternativ a rangeres foran b hvis det er et tilstrekkelig sterkt argument for å konkludere med at a er minst like god som b , og ikke noe sterkt argument for det motsatte. Gjennom å sammenlikne alle alternativene parvis på denne måten bygges det opp rangeringsrelasjoner for alternativene.

En annen viktig forskjell mellom rangeringsmetoder og verdifunksjonsmetodene er at rangeringsmetodene ikke krever at alle alternativene skal kunne sammenlinkes i forhold til en gitt kardinalskala. Rangeringsmetodene benytter enklere (mindre formelle) modeller som fordrer mindre innsats, men som ikke alltid gir grunnlag for å kunne trekke konklusjonen at et gitt alternativ er bedre enn et annet. Denne situasjonen kan oppstå når to alternativer har tilnærmet samme ytelse over settet av kriterier, eller når alternativene har klart best ytelse på hvert sitt subsett av kriterier. Det kan også hende at man simpelthen ikke har tilstrekkelig med informasjon til å kunne hevde at det ene alternativet er bedre enn det andre. På denne måten tas det hensyn til usikkerhet og ufullstendighet i informasjonsgrunnlaget.

Felles for metodene er at de tar utgangspunkt i en beslutningsmatrise, dvs. en matrise som beskriver ytelsen z_i til alternativene med hensyn til hvert av evalueringskriteriene. Metodene har klare fellestrekk mht. modellering av preferanser, men også distinkte forskjeller. For å illustrere preferansemodelleringen tas det derfor utgangspunkt i en av de enkleste rangeringsmetodene, ELECTRE I. Denne metoden er den første i en familie av ELECTRE-metoder tilpasset ulike beslutningsproblemer. En annen familie av rangeringsmetoder er PROMETHEE (Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluations). Begge familiene vil bli beskrevet i korthet under. Formålet med denne beskrivelsen er ikke å gi en fullstendig oversikt over metodene, men å gi en tilstrekkelig detaljert beskrivelse til at man kan forstå hva metodene kan gi og hva de krever. For mer informasjon om metodene henvises det til (1).

6.1 Preferansemodellering

Det er spesielt to aspekter ved preferansemodelleringen som skiller rangeringsmetoder fra verdifunksjonsmetoder. Disse er:

- Rangeringsmetodene vektlegger hvor sterke bevisene er for å kunne hevde at alternativ a er minst like godt som alternativ b .
- En ”outranking”-relasjon vil kunne ha en ekstra tilstand sammenliknet med verdifunksjonsmetoder. Når verken a eller b outrangerer hverandre er ikke dette ensbetydende med at a og b er like; det kan også bety at det ikke foreligger tilstrekkelig bevis (informasjon) for å kunne hevde at det ene alternativet er minst like godt som det andre.

6.2 Aggregering

6.2.1 ELECTRE

ELECTRE-metodene tar alle utgangspunkt i en beslutningsmatrise hvor alternativene har en ytelse/verdi på hvert enkelt kriterium. ELECTRE I er den enkleste av metodene, samtidig som den inneholder essensen av hvordan preferanser modelleres i rangeringsmetoder. Også her kan modelleringen av preferanser deles inn i to nivåer. For det første tildeles de enkelte kriteriene

veker, slik at høyere vekt tilsier høyere viktighet. Det andre nivået håndterer problemet med å assosiere preferanser til enkeltkriteriene. For hvert par av alternativer a og b benyttes to indekser; $C(a,b)$ – konkordansindeks ("concordance") – som måler hvor sterkt hypotesen om at a er minst like god som b understøttes av tilgjengelig informasjon, og $D(a,b)$ – diskordansindeks ("discordance") – som på den annen side måler hvor sterke bevisene er mot denne hypotesen. I ELECTRE I er $C(a,b)$ gitt ved

$$C(a,b) = \frac{\sum_{i \in Q(a,b)} w_i}{\sum_{i=1}^m w_i} \quad (6.1)$$

hvor $Q(a,b)$ er mengden av kriterier hvor alternativ a er lik eller foretrukket fremfor alternativ b , w_i er den tilordnede vekten til kriterium i og m er antall kriterier. Likning 6.1 kan ta verdier mellom 0 til 1 avhengig av hvor sterk støtten er for hypotesen om at alternativ a er minst like godt som alternativ b .

Diskordansindeksen $D(a,b)$ kan defineres på flere måter (1). Den enkleste og mest anvendelige måten er å representere denne ved hjelp av et såkalt vetonivå, t_i , for hvert enkelt kriterium, slik at a ikke kan utrangere b hvis b på minst et kriterium får høyere verdi enn verdien til $z_i(a) + t_i$.

$$D(a,b) = \begin{cases} 1 & \text{hvis } z_i(b) - z_i(a) > t_i \text{ for minst en } i; i = 1, \dots, m \\ 0 & \text{ellers} \end{cases} \quad (6.2)$$

Indeksene $C(a,b)$ og $D(a,b)$ danner grunnlaget for å definere en rangeringsrelasjon mellom alternativene a og b . For å oppnå dette må det defineres terskelverdier for indeksene, C^* og D^* , slik at hvis $C(a,b) \geq C^*$ samtidig som $D(a,b) \leq D^*$ er det grunnlag for å påstå at a rangerer over b . Det kan være problematisk for interessenter som ikke kjenner til metoden å forstå betydningen av disse terskelverdiene, noe som kan vanskeliggjøre fastsettelsen av disse. Derfor bør ulike verdier for C^* og D^* testes ut. Beslutningstakers preferanser representeres altså her ved terskelverdiene og de tilordnede vektene. I tillegg må man ta stilling til vetonivået t_i for hvert enkelt kriterium.

Se (1) for en mer utfyllende beskrivelse av ELECTRE I-metoden.

Eksempel

Det tas utgangspunkt i eksemplet med valg av stridsvogn i kapittel 2.4, og det utarbeides matriser for henholdsvis $C(a,b)$ og $D(a,b)$. I dette eksemplet er alle kriteriene gitt lik vekt ($w_1 = w_2 = \dots = w_6 = 1$).

| C(a,b) | A1 | A2 | A3 |
|---------------|-----|-----|-----|
| A1 | 1 | 1/3 | 1/3 |
| A2 | 2/3 | 1 | 1/2 |
| A3 | 2/3 | 2/3 | 1 |

Tabell 6.1 Konkordansmatrisen for stridsvognseksemplet

| $D(a,b)$ | A1 | A2 | A3 |
|----------|----|----|----|
| A1 | - | 1 | 1 |
| A2 | 0 | - | 0 |
| A3 | 0 | 0 | - |

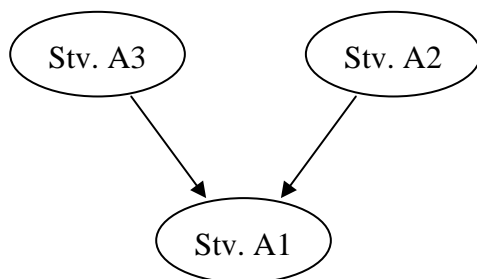
Tabell 6.2 Diskordansmatrisen for stridsvognseksemplet

$D(a,b)$ er beregnet etter uttrykket 6.2, hvor vetonivået t_i er definert for hvert enkelt kriterium i henhold til tabell 6.3 under.

| Rekkevidde | Presisjon | Kaliber | Maks. hast. | Effekt/vekt | Pansertykkelse |
|------------|----------------------|---------|-------------|-------------|----------------|
| 4 km | 0,03 m ⁻² | 20 mm | 10 km/t | 3 kW/tonn | 30 mm |

Tabell 6.3 Vetonivå for kriteriene benyttet i evalueringen av stridsvogner

For å kunne bygge rangeringsrelasjoner basert på informasjonen i tabellene over, må terskelverdiene C^* og D^* defineres. I eksempelet benyttes $C^* = 0,5$ og $D^* = 0,25$. Det understrekes at disse verdiene bør varieres for å finne et fornuftig nivå, slik at man ikke står igjen med for mange eller for få alternativer. I dette eksemplet antar D kun verdiene 0 eller 1, slik at for $0 < D^* < 1$ vil resultatet være det samme. Resultatet fra eksemplet over er gjengitt i figur 6.1.



Figur 6.1 Resultater fra stridsvognseksemplet med bruk av ELECTRE I

Stridsvogn A2 og A3 kan ikke skilles fra hverandre gitt den informasjonen som er tilgjengelig om beslutningsproblemet. Derimot er det klart at begge disse alternativene ut rangerer A1.

6.2.2 Andre ELECTRE-metoder

Metoden ELECTRE II skiller seg fra ELECTRE I ved at den genererer en rangering av alternativene. Utarbeidelsen av rangeringsrelasjonene skjer på tilsvarende måte som for ELECTRE I. Forskjellen er at det her bygges to relasjoner, en *sterk* og en *svak*, som benytter to forskjellige par av indeksene C og D . I tillegg er det innført en ekstra betingelse, $C(a,b) \geq C(b,a)$. Med disse endringene vil ELECTRE II gi en partiell ordning av alternativene. Det refereres til (1) for en mer detaljert beskrivelse av metoden.

I ELECTRE III modelleres preferanser i enda større grad av detalj ved å innføre begrepene preferanse- og indifferensnivå ("preference and indifference threshold") – p_i og q_i . Et kriterium som er modellert ved disse to nivåene, refereres ofte til som et "kvasikriterium"

(”quasi-/pseudo-criterion”) (17), (1). Preferanse- og indifferensnivåene har en dobbel betydning i det at de er et uttrykk for beslutningstakers sensitivitet ovenfor endringer i kriterieverdier, samtidig som de også tar hensyn til usikkerheten assosiert med verdivurderingen knyttet til kriteriene. Nivåene vil derfor kunne forstås som modellering av både ufullstendighet i informasjonen om beslutningsproblemet og usikkerhet knyttet til beslutningstakers preferanser. Preferanse- og indifferensnivåene for et kriterium i benyttes i uttrykket for konkordansindeksen, $C_i(a,b)$. Diskordansindeksen $D_i(a,b)$ er modellert på tilsvarende måte som vetonivået i ELECTRE I ved t_i . Fastsettelse av disse grensenivåene vil normalt skje i en diskusjon rundt usikkerhetsmomentene nevnt over. $C_i(a,b)$ og $D_i(a,b)$ kombineres i en rangeringsrelasjon hvor alternativ a rangerer over alternativ b med troverdighet (”credibility”) $S(a,b)$.

Et eksempel på bruk av ELECTRE III finnes i Roy et al. (17). Her søker man å komme frem til en rangering av hvilke metrostasjoner i Paris som skal renoveres, og i hvilken rekkefølge dette skal gjøres. Rangeringen av 224 stasjoner baseres på syv kriterier som omfatter både passasjerenes og transportselskapets interesser. Et krav som stilles til utvalgsprosedyren er at denne skal kunne gjennomføres årlig for å oppdatere rekkefølgen på de stasjonene som ennå ikke er renovert. Artikkelen beskriver detaljert defineringen av evalueringskriteriene og hvordan disse måles. Det benyttes en blanding av kvantifiserbare kriterier, slik som antall passasjerer som benytter stasjonene pr. år, og kriterier hvor ytelse/konsekvenser vurderes kvalitativt, som f.eks. visuelt inntrykk av stasjonene.

ELECTRE TRI er en metode som klassifiserer alternativer i tre kategorier: akseptable, ikke-akseptable og ikke skillbare. For en innføring i andre ELECTRE-metoder henvises det til (1).

6.2.3 PROMETHEE

Brans et al. (18) og Belton & Stewart (1) anbefales som introduksjon til rangeringsmetoden PROMETHEE.

PROMETHEE tar utgangspunkt i beslutningsmatrisen som inneholder evalueringer av alternativenes ytelser på settet av evalueringskriterier. For hvert kriterium i defineres preferansefunksjoner, $P_i(a,b)$, som uttrykker i hvor stor grad alternativ a er foretrukket fremfor alternativ b . $P_i(a,b)$ representerer intensiteten av preferansen for a over b , slik at

- $P_i(a,b) = 0$, betyr indifferens mellom alternativ a og b
- $P_i(a,b) \approx 0$, betyr at a er svakt foretrukket fremfor b
- $P_i(a,b) \approx 1$, betyr at a er strekt foretrukket fremfor b
- $P_i(a,b) = 1$, betyr at a er strengt foretrukket fremfor b

Preferansefunksjonen er normalt en funksjon av forskjellene i ytelse mellom alternativene, $P_i(a,b) = P[z_i(a) - z_i(b)]$. For hvert av kriteriene defineres det et såkalt *generalisert kriterium*, som består av $P_i(a,b)$ og grensenivåer uttrykt ved preferanse- og indifferensnivåene (p_i, q_i), slik som for ELECTRE III. Det er utarbeidet seks standardfunksjoner for de generaliserte kriteriene (18), som uttrykker hvor sterkt alternativ a er foretrukket fremfor alternativ b . De forskjellige funksjonene antar verdier mellom 0 og 1, og stiller ulike krav til inngangsverdier uttrykt ved, p_i og q_i .

Etter å ha definert et generalisert kriterium for hvert av kriteriene sammenliknes alternativene parvis mot hvert av kriteriene. Verdien av disse parvise sammenlikningene leses direkte av fra funksjonen for det generaliserte kriteriet. Den totale preferansen for alternativ a over alternativ b aggregeres opp over settet av kriterier og uttrykkes ved preferanseindeksen $P(a,b)$. Preferanseindeksen er med andre ord et uttrykk for hvor sterk støtten er til hypotesen om at a er foretrukket fremfor b .

$$P(a,b) = \frac{\sum_{i=1}^m w_i P_i(a,b)}{\sum_{i=1}^m w_i}$$

$P(a,b)$ er normert og antar verdier mellom 0 og 1. For å komme frem til en endelig rangering av alle alternativene introduseres to nye indekser – *positiv rangeringsstrøm* ("positive outranking flow") $\Phi^+(a)$ og *negativ rangeringsstrøm* ("negative outranking flow") $\Phi^-(a)$.

$$\Phi^+(a) = \sum_{b \neq a} P(a,b) \quad (6.3)$$

$$\Phi^-(a) = \sum_{b \neq a} P(b,a) \quad (6.4)$$

$\Phi^+(a)$ er et mål for hvor mye a er foretrukket fremfor alle de andre alternativene, mens $\Phi^-(a)$ er et mål på hvor mye som taler imot alternativ a . Disse rangeringsstrømmene beregnes for hvert av alternativene og leder frem til enten en partiell ordning gjennom PROMETHEE I eller en komplett ordning gjennom PROMETHEE II. I PROMETHEE II beregnes nettostrømmen ved

$$\Phi(a) = \Phi^+(a) - \Phi^-(a) \quad (6.5)$$

I likhet med alle andre MCDA-metoder er det også her viktig å gjennomføre følsomhetsanalyser for å studere robustheten til rangeringen. Ulike verdier for indifferens- og preferansenivåer bør testes ut, samt ulike verdier for vektene av kriteriene (w_i).

Et eksempel på bruk av PROMETHEE finnes i Briggs et al. (19). Dette er en studie av ulike lagringstiltak for behandling av kjernebrensel. Det tas utgangspunkt i tre dimensjoner som spenner ut rommet av handlingsalternativer: Lagringstid for hhv. høyt- og middelsradioaktivt avfall, lagringssted og finansieringsform. Til sammen 27 alternativer vurderes og rangeres ved hjelp av fire kriterier. Resultatet er en komplett ordning (rangering) av lagringsalternativene.

Et annet eksempel finnes i de Leener et al. (20) hvor PROMETHEE benyttes i en NATO-studie av strategier for deteksjon av landminer fra luftbårne plattformer. En viktig del av strategiene består i å velge riktig sensor innefor to hovedkategorier: elektrooptiske sensorer og radarer. Sensorene ble vurdert og karakterisert ut i fra hvordan de påvirkes av ufordelaktige vær- og miljøbetingelser. Dette gav opphav til et sett med evalueringskriterier for valg av mine-deteksjonsstrategi. PROMETHEE ble videre benyttet til å rangere strategiene.

6.3 Verktøy

De mest kjente verktøyene som støtter rangeringsmetoder er:

- PROMETHEE: Decision Lab (www.visualdecision.com) og PROMCALC
- ELECTRE-metodene: ulike verktøy (www.lamsade.dauphine.fr)

7 BRUK AV FLERMÅLSANALYSEMETODER

7.1 Om valg av metode

I de foregående kapitlene presenteres forskjellige hovedkategorier av MCDA-metoder, men lite kommer frem om hvilke metoder som er best egnet for å løse gitte beslutningsproblemer og hva man bør passe på ved anvendelse av metodene. Det finnes et rikt utvalg av metoder for flermålsanalyse, og metodene er tilpasset ulike typer beslutningsproblemer. Mangfoldigheten er en styrke i den forstand at man har mulighet for å finne mer eller mindre skreddersydde metoder, men gjør det på den annen side vanskeligere å få oversikt over metodene og deres egenskaper. Å finne den beste metoden er derfor en utfordring. Det finnes, oss bekjent, ingen fastlagt fremgangsmåte for å velge MCDA-metode. Mye er basert på smak og behag alt etter hvilke metoder man kjenner til fra før eller har hørt om. Men det er likevel noen spørsmål som det kan være greit å tenke igjennom før en metode velges:

- Hva karakteriserer selve beslutningsproblemet?
- Antall beslutningstakere/interessenter – en enkelt person eller en gruppe?
- Hvilken metode er best egnet mht. å representere preferansene til gruppen?
- Hvilken informasjon er tilgjengelig om beslutningsproblemet?
- Finnes det gode dataverktøy som støtter metoden?

Denne listen er på ingen måte uttømmende og går ikke i detaljer. For en mer utfyllende diskusjon, se (1), (21) og (22). I appendiks C gis en oversikt over noen sentrale metoder innenfor hver av hovedkategoriene med en kort beskrivelse relatert til punktene over.

Type beslutningsproblem er kanskje den viktigste faktoren å ta stilling til før en metode velges. Roy (23) deler beslutningsproblemer inn i fire kategorier ("problematiques") hvor de tre mest kjente er:

- a) Valg av et alternativ ut i fra et sett med kjente alternativer.
- b) Sortering av alternativer i klasser eller kategorier, som for eksempel prosjekter i "godkjente prosjekter" og "ikke-godkjente prosjekter".
- c) Rangering av alternativer hvor det mest prefererte alternativet rangeres høyest på listen.

I tillegg til disse opererer Roy og Belton og Stewart (1) med ytterligere tre problemkategorier:

- Beskrive en problemsituasjon på en systematisk måte med alternative valg (handlemåter) og tilhørende konsekvenser, som et evalueringsgrunnlag for beslutningstaker.
- Identifisering av nye beslutningsalternativer som skal tilfredsstillende gitte målsettinger definert gjennom flermålsanalyseprosessen.
- Valg av et sett med alternativer (portefølje) fra et større sett av alternativer hvor det også tas hensyn til interaksjon mellom alternativene og positive og negative synergier.

De fleste metodene innenfor de tre hovedkategoriene av metoder er egnet til å finne det mest prefererte alternativet blant et sett av alternativer. Verdifunksjonsmetoder og rangeringsmetoder krever et diskret utfallsrom, dvs. en endelig og ikke for stor mengde av alternativer. Mål- og referansepunktsmetoder er på den annen side spesielt godt egnet hvis en i utgangspunktet har svært mange alternativer eller et kontinuerlig utfallsrom. Ved å stille krav til minimumsverdier (eller maksimumsverdier) som alternativene skal tilfredsstillende, er disse metodene spesielt godt egnet til å foreta en ”første” utvalgsprosess for å oppnå et mer håndterbart antall alternativer.

Innenfor problemdomenet sortering av alternativer i klasser eller kategorier kan i prinsippet både verdifunksjonsmetoder, rangeringsmetoder og mål- og referansepunktsmetoder benyttes. Rangeringsmetoden ELECTRE III er utviklet spesielt med sikte på å håndtere denne typen problemstillinger.

Rangeringsmetodene er utviklet spesielt for å håndtere problemer relatert til rangering av alternativer i partielle og komplette ordninger. Men også her kan verdifunksjonsmetoder og mål- og referansepunktsmetoder benyttes.

Antall beslutningstakere/interessenter vil kunne ha betydning for valg av metode. De fleste flermålsanalysemetoder er ikke laget med henblikk på å støtte gruppebeslutningsprosesser, men det er selvsagt ikke noe i veien for å benytte metodene til dette. Det kan i så fall være fornuftig å benytte andre metoder for å oppnå konsensus i gruppen mht. kriterier, vektorer og preferanser. I (2) diskuteres problemstrukturerende metoder som kan være et hjelpemiddel i denne sammenheng. Enkelte av disse metodene støtter også gruppebeslutningsprosesser direkte.

Modellering av interessentenes preferanser og verdier utgjør kjernen i de fleste flermålsanalysemetoder. Derfor er det også viktig å tenke igjennom hvilken metode som er best egnet til å belyse og modellere interessentenes preferanser. For noen vil parvis sammenlinkning, slik som i AHP, være det beste. I andre sammenhenger vil verdifunksjonsmetoder med ”trade-offs” være å foretrekke. Ønsker man i tillegg å modellere holdning til risiko (risikoavers, -nøytral eller -søker), så bør nytteteori – MAUT – benyttes. Rangeringsmetodene benytter en annen fremgangsmåte for å belyse preferanser. Her brukes konstruksjoner som indifferensnivå, preferansenivå og grader av preferanse. En ulempe med de fleste av rangeringsmetodene er at input er kan oppleves som lite intuitiv, med begreper som konkordans, diskordans og vetonivå. Hvilken metode som passer best er en vurdering som bør gjøres når man kjenner beslutningstaker og eventuelt gruppen av interessenter. Man bør også ta stilling til hvor god tilgangen er på preferanseinformasjon fra interessentene. I noen situasjoner er det enkelt å få interessentene til å avsløre sine preferanser, mens i andre situasjoner kan dette være vanskelig.

Et fellestrekk ved analysene ved FFI er at beslutningstaker normalt ikke inngår i gruppen som gjennomfører analysen, slik at målsettingen ofte vil være å gi råd til beslutningstaker gjennom å produsere et godt beslutningsgrunnlag. Innenfor denne settingen er det mange mulige anvendelsesområder for MCDA. Metodene kan brukes som rammeverk for mer detaljerte analyser av ytelse og kosteffektivitet; problemstrukturering og etablering av en flermåls-analysemodell vil da danne utgangspunkt for å gjennomføre ”de rette” delanalysene. I tillegg gir dette den fordel at man på forhånd må tenke igjennom hvordan resultatene skal syntetiseres. Metodene kan også benyttes mer direkte på et beslutningsproblem på eksempelvis et arbeids-

seminar, hvor en ekspertgruppe vil stå for utvelgelse av kriterier og alternativer, vektning og verdibedømmelser.

Hvilken informasjon som er tilgjengelig om beslutningsproblemet vil kunne få konsekvenser for hvilken metode som bør velges. Er informasjonen kvantitativ (måles på en kardinalskala) eller er informasjonen mer kvalitativ (måles på en kategorisk skala), eller er det en blanding av kvantitativ og kvalitativ informasjon? Enkelte metoder håndterer kun kvantitative data, mens andre metoder håndterer begge deler. Det er derfor viktig å vurdere hvilken type informasjon som er tilgjengelig før en metode velges, slik at man ikke beveger seg utover gyldighetsområdet til metodene (se f.eks. (24)).

De fleste verdifunksjonsmetoder og mål- og referansepunktsmetoder krever bruk av en kardinalskala (se kapittel 2.3.2). Dette betyr at hvis informasjonen som finnes om beslutningsproblemet i hovedsak er kvalitativ, så bør man vurdere en rangeringsmetode, f.eks. PROMETHEE. Det må her understrekes at verdifunksjonsmetoder også kan benyttes ved at man foretar en direkte verdivurdering av alternativene – f.eks. på en skala 0–100.

Praktisk bruk av flermålsanalyse fordrer tilgang på dataverktøy som støtter gjennomføringen av analysen. Flermålsanalysemodeller blir fort store og uoversiktlige med mange kriterier og alternativer. I tillegg skal beslutningstakers preferanser og verdier modelleres og aggregeres opp. Det skal gjennomføres konsistenssjekk av modellene og resultater skal presenteres. Et godt dataverktøy hjelper til med dette, samt forenkler gjennomføringen av sensitivitetsanalyser for å kontrollere robustheten av løsningene. I appendiks C gis en oversikt over verktøy som støtter de forskjellige metodene.

7.2 Gjennomføring av flermålsanalyser

I henhold til figur 2.1 på side 10 starter enhver flermålsanalyse med problemformulering og problemstrukturering. For enkle og veldefinerte beslutningsproblemer kan dette gjøres på mer ”ad hoc”-basis, men for mer komplekse beslutningsproblemer hvor det ofte er flere interessenter med ulike holdninger, kan det være fornuftig å anvende en mer formell metode for problemstrukturering (se kapittel 3). Før man går løs på å modellere beslutningsproblemet, bør man ha en god formening om holdninger og verdier blant interessentene, slik at gruppen har en felles forståelse for hva som er kjernen i beslutningsproblemet. Problemstrukturingsfasen bør også lede frem til et initielt sett med evalueringskriterier, samt fornuftige beslutningsalternativer. Det er også fordelaktig tidlig å få belyst sentrale usikkerhetsfaktorer som kan påvirke beslutningsprosessen. Problemstrukturering, sammen med gjennomtenkning av spørsmålene relatert til valg av metode, gir et godt utgangspunkt for å velge ”riktig” metode og anvende denne riktig. Alle metoder bygger på et sett av forutsetninger som man må kjenne til før metodene tas i bruk.

Det er en utfordring å velge gode evalueringskriterier. I en gruppe av interessenter blir det fort mange kriterier som anses som viktige for beslutningsproblemet. Kunsten er å lage enkle og transparente modeller med kriterier som skiller alternativene fra hverandre. Et kriterium som ikke skiller mellom alternativene har liten betydning for analysen.

Et av de vanligste beslutningsproblemene innebærer å foreta valg blant et endelig antall med alternativer. Hvis det i utgangspunktet finnes et meget stort antall aktuelle alternativer kan det

være hensiktsmessig å gjennomføre en initiell utvelgelsesprosess ved eksempelvis å benytte en mål- og referansepunktsmetode (se kapittel 5).

Sentralt i flermålsanalyse står modellering av interessentenes preferanser og verdier. Preferansemodellene inneholder normalt to hovedkomponenter: vektene til kriteriene og preferansefunksjoner knyttet opp mot hvert enkelt kriterium. De ulike flermålsanalysemetodene benytter forskjellige metoder for å belyse, artikulere og modellere disse preferansene. Hvilken metode som er best egnet, vil avhenge av beslutningsproblemet og gruppen av interessenter. Det er som nevnt tidligere viktig å ta i betraktning antallet interessenter ved valg av metode. Like viktig er det å klarlegge innflytelse, status og domenekunnskapen til gruppen. Er de faktiske beslutningstakerne medlemmer av gruppen, eller består gruppen av eksperter som skal gi råd for å støtte en beslutningsprosess? Er beslutningstaker med i prosessen vil man modellere hans preferanser direkte. Består gruppen derimot av eksperter vil det være deres preferanser som uttrykkes gjennom preferansefunksjonene og vektene. Beslutningstaker vil her kunne ha en annen oppfatning av hvilke kriterier som skal med og hvor viktige disse er. I dette tilfellet er det naturlig å kjøre flere iterasjoner hvor man informerer beslutningstaker om forutsetninger og resultater underveis, slik at resultatene forankres.

Fastsettelse av kriterievekter er en sentral del av preferansemodelleringen og er viktig for å kunne sammenlikne og kombinere preferanser over ulike kriterier. I AHP foretar man parvis sammenlinking av delmål, kriterier og alternativer. Et problem som kan dukke opp i AHP, er at man normalt benytter en 9-punktsskala for sammenlikningen. Har man eksempelvis tre alternativer a , b og c hvor a bedømmes til å være 5 ganger bedre enn b og b bedømmes til å være 3 ganger bedre enn c , så vil a være 15 ganger bedre enn c , og dermed er man utenfor gyldighetsområdet til 9-punktsskalaen. For metoder som benytter en vektet sum-metode for aggregering av verdier er det spesielt viktig å være påpasselig ved fastsettelse av vekter på grunn av kompensering. Kompensering innebærer at god ytelse på noen kriterier kan kompenseres med dårlig ytelse på andre kriterier. Hvis man ikke har et bevisst forhold til dette, kan viktig informasjon gå tapt gjennom aggregeringen. For at kompensering skal være meningsfylt er det viktig å være nøye med fastsettelse av kriterievektene. I (1) og (7) anbefales det å benytte såkalte svingvekter (se kapittel 4.1). Preferanseuavhengighet mellom kriteriene er en annen viktig egenskap som bør ivaretas for at "trade-offs" skal være meningsfylt. Dette er behandlet i kapittel 4.1.

Usikkerhet er en iboende egenskap knyttet til de fleste reelle beslutningssituasjoner. Det kan være usikkerhet i tilknytting til informasjon som er tilgjengelig om beslutningsproblemet, eller usikkerhet om den fremtidige situasjonen hvor beslutningen skal effektueres. I (1) skilles det mellom ekstern usikkerhet relatert til omgivelsene og den fremtidige situasjon, og intern usikkerhet relatert til modellering og analyse.

Er det så mulig å ta beslutninger som er robuste overfor eksterne usikkerhetsfaktorer? Det er betimelig å minne om at en "optimal" beslutning i en deterministisk verden ikke nødvendigvis er en optimal beslutning i en stokastisk verden, dvs. i en verden hvor det eksisterer usikkerhet. Et eksempel på dette er anskaffelse av forsvarsmateriell, hvor det ofte kan ta lang tid fra en beslutning fattes til materiellet er på plass. I løpet av dette tidsrommet kan trusselbildet være endret, og andre nasjoner som vi samarbeider med kan ha foretatt materiellanskaffelser som vil påvirke vårt materiell, og som vi ikke visste om da beslutningen ble tatt. Det finnes ingen enkel

måte å håndtere denne usikkerheten på. Det er derfor viktig å studere flere ulike fremtidige situasjoner (scenarier) samtidig som det gjennomføres omfattende sensitivitetsanalyser for å avdekke om løsningene er robuste ovenfor kjente usikkerhetsfaktorer. Sensitivitetsanalyser alene er ofte ikke tilstrekkelig. Det må også gjøres vurderinger av gyldigheten til modellen i alle tenkelige fremtidige situasjoner. Det kan for eksempel tenkes at det finnes situasjoner hvor andre kriterier og alternativer skulle ha vært representert i modellen. Vi vil ikke utbrodere temaet usikkerhet ytterligere i denne rapporten; se (1) for mer informasjon.

8 AVSLUTNING

Analyseprosjekter ved FFI har ofte som målsetting å fremskaffe et beslutningsgrunnlag for å støtte en gitt beslutningsprosess. Et fellestrekk ved beslutningsproblemene, både innenfor forsvarssektoren og innenfor sivil sektor, er at problemene ofte er knyttet til komplekse systemer som omfatter mennesker, materiell og prosesser, og hvor det stilles krav til at systemene skal være robuste ovenfor fremtidige usikre faktorer.

Flermålsanalyse er egnet for å analysere beslutningsproblemer hvor flere kriterier, ofte i konflikt med hverandre, skal legges til grunn for en beslutning. Flermålsanalyse er tidligere anvendt i flere FFI-prosjekter basert på bruk av flermålsanalyseverktøyet TOPSYS (se appendiks B). Vår oppfatning er imidlertid at potensialet som ligger i bruken av disse metodene, på langt nær er realisert. Denne rapporten søker derfor å gi en oversikt over de mest vanlige flermålsanalysemetodene med råd om valg og bruk av disse metodene.

Hensikten med en flermålsanalyse er ikke å finne den mest ”optimale” løsningen i matematisk forstand, men å hjelpe til med å finne den eller de mest tilfredsstillende løsningene ved å kombinere objektivt målbare størrelser med subjektive verdibedømmelser fra ulike interessenter. Flermålsanalyse er en lærende prosess hvor en bygger opp kunnskap om beslutningsproblemet gjennom å strukturere problemet, bygge modell, aggregere delresultater og vurdere resultater. Denne kunnskapen er ofte like viktig som selve resultatet av flermålsanalysen.

Rapporten presenterer tre hovedkategorier flermålsbeslutningsmetoder: verdifunksjonsmetoder, mål- og referansepunktsmetoder, og rangeringsmetoder. Et fellestrekk med metodene er at de benytter to nivåer for å uttrykke preferanser. For det første knytter man preferanser til de enkelte kriteriene ved å gi verdier til ulike grader av ytelse. Det andre nivået består i å gi vekt til kriteriene for å få frem beslutningstakers preferanser mht. hvor mye de enkelte kriteriene skal vektlegges i beslutningsprosessen. Når det gjelder hvordan preferanser belyses og modelleres skiller metodene seg ad på flere områder. Verdifunksjonsmetodene aggregerer opp verdien/nyttien for hvert enkelt alternativ og kriterium til en totalverdi, hvor det mest ønskede alternativet er det med høyest verdi. For rangeringsmetodene er det forskjellene mellom alternativenes ytelse på kriteriene som aggregeres opp, slik at det mest prefererte alternativet rangeres høyest. Mål- og referansepunktmetodene er basert på Simons (12) begrep om bundet rasjonalitet, hvor begrepene ”satisficing level” og ”aspiration level” danner utgangspunktet for modelleringen av preferansene.

Det er vanskelig å gi generelle råd om hvilke flermålsanalysemetoder som er best egnet for de analysene som gjennomføres her ved FFI siden type beslutningsproblem varierer fra prosjekt til

prosjekt. Hvis vi likevel skal anbefale en metode som utgangspunkt, så må dette være en verdifunksjonsmetode, f.eks. SMART (7) supplert med nytteteori. Grunnen til dette er at de fleste verdifunksjonsmetoder er solid teoretisk funderte og derfor gir sterke resultater. AHP regnes som en verdifunksjonsmetode, men er omdiskutert pga. en del praktiske og teoretiske svakheter (se kapittel 4.3). Rangeringsmetodene er enklere og mindre formelle, og gir derfor ikke like sterke resultater som verdifunksjonsmetodene. Rangeringsmetoder er normalt mindre tidkrevende og godt egnet til å håndtere mer kvalitativ input. Av rangeringsmetodene er PROMETHEE mye benyttet, og her finnes det også et godt verktøy i Decision Lab. Mål- og referansepunktsmetoder skiller seg i vesentlig grad fra de andre metodene, både med hensyn til preferansemodelleringen og at beslutningsproblemet formuleres som et optimeringsproblem som løses med matematisk programmering.

Det understrekes at de tre kategoriene metoder har ulike egenskaper, styrker og svakheter. Det vil derfor være fordelaktig å bygge opp dypere kunnskap om enkelte av de mest anvendte metodene innenfor hver av kategoriene.

APPENDIKS

A FORKORTELSER

| | |
|-----------|--|
| AHP | - Analytic Hierarchy Process |
| ANP | - Analytic Network Process |
| BAS | - Beskyttelse av samfunnet, prosjektserie ved FFI |
| CAUSE | - Criteria, Alternatives, Uncertainties, Stakeholders, Environmental constraints |
| DMA | - Decision Matrix Approach |
| EJOR | - European Journal of Operational Research |
| ESA | - European Space Agency |
| FFI | - Forsvarets forskningsinstitutt |
| GOAL | - Grunnlagsforskning operasjonsanalyse, FFI-prosjekt 1004 |
| INFORMS | - Institute for Operations Research and the Management Sciences |
| KKI | - Kommando, kontroll og informasjon |
| MAUT | - Multi-Attribute Utility Theory |
| MAVT | - Multi-Attribute Value Theory |
| MCDA | - Multiple Criteria Decision Analysis / Aid |
| MCDM | - Multiple Criteria Decision Making |
| MFU | - Militærfaglig utredning |
| MOMP | - Multi-Objective Mathematical Programming |
| MUKS | - Militærmedisinsk utdannings- og kompetansesenter |
| NATO | - North Atlantic Treaty Organisation |
| NbF | - Nettverksbasert forsvar |
| NIMBUS | - Nondifferentiable Interactive Multiobjective Bundle-based Optimisation System |
| OA | - Operasjonsanalyse |
| OR | - Operational Research (UK) / Operations Research (US) |
| PROMETHEE | - Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations |
| SMART | - Simple Multi-Attribute Rating Technique |
| SODA | - Strategic Option Development and Analysis |
| SSM | - Soft Systems Methodology |
| UAV | - Unmanned Aerial Vehicle |
| USAF | - United States Air Force |
| V.I.S.A. | - Visual Interactive Sensitivity Analysis |

B BRUK AV MCDA PÅ FFI

Flere prosjekter på FFI har de siste årene anvendt eller gjort vurderinger av MCDA-metodikk. Et utvalg listes i det følgende.

Nærforsvarskonsepter for kystartilleriet

- Martinussen S, Holm K B (1999): Metodespørsmål knyttet til lineærmodellering av stridsverdien til et fortifisert, et semimobilt og et mobilt nærforsvarskonsept, FFI/RAPPORT-99/01742, Forsvarets forskningsinstitutt, Begrenset
- Holm K, Martinussen S (1999): Nærforsvarskonsepter, FFI/RAPPORT-99/00015, Forsvarets forskningsinstitutt, Konfidensielt

Sanitetskonsepter for MUKS

Analyse av ulike sanitetskonsepter. Verktøy: TOPSYS.

- Holm K B, Martinussen S (2003): Analyse av nytteverdien av nettverksbasert teknologi i Forsvarets framtidige sanitet, FFI/NOTAT-2003/01724, Forsvarets forskningsinstitutt, Begrenset
- Martinussen S, Berger T, Holm K B (2003): Analyse av sanitetens fremtidige struktur - fase 2, FFI/RAPPORT-2003/01433, Forsvarets forskningsinstitutt, Konfidensielt

Sårbarhetsstudier i prosjektserien BAS

Prioritering av tiltak for å redusere sårbarheten innen viktige samfunnsfunksjoner som telekommunikasjon, kraft- og vannforsyning. Verktøy: TOPSYS.

- Nystuen K O, Hagen J M (1998): Metode for analyse av sårbarhetsreduserende tiltak innen telekommunikasjon – Problematisering og teoretisk tilnærming, FFI/RAPPORT-98/06261, Forsvarets forskningsinstitutt
- Fridheim H, Betten S, Rodal G H, Rodal S K, Rutledal F (2001): Analyse av sårbarhetsreduserende tiltak innen kraftforsyning, FFI/RAPPORT-2001/01864, Forsvarets forskningsinstitutt, Begrenset
- Bartnes J, Havenstrøm G, Hem L J, Hoff E, Løken T A (2003): Sårbarhet i vannforsyningen, Rapport nr. 21.730.081/R1, Scandpower Risk Management AS

Kommando og kontrollstrukturer i NbF

Diskusjon om bruk av flerkriteriemetodikk for K2-strukturer. Eksempel på en anvendelse.

- Braathen S, Reitan B K (2003): Prosjekt 807 SLADI : Flerkriterie-metodikk for K2 strukturanalyse, FFI/NOTAT-2003/02385, Forsvarets forskningsinstitutt

Vekting av scenarier for forsvarsplanlegging

Modellering av et målhierarki som muliggjør innbyrdes vekting av scenarier/plansituasjoner i forsvarsplanleggingen. Utviklet ifm. MFU-03. Metode: AHP; verktøy: TOPSYS.

- Johansen I (2004): Hvilke utfordringer skal Forsvaret dimensjoneres mot? Vekting av scenarier med flermålsanalyse, FFI/RAPPORT-2004/02636, Forsvarets forskningsinstitutt

Valg av transportfly

Innspill til Forsvarets utredning om fremtidig transport- og tankflykapasitet. Metode: AHP; verktøy: TOPSYS.

- Betten S I (2003): Sluttrapport for ”Analyse av luftoperasjoner og –strukturer (LUOS)” – FFI/PROSJEKT-790/161.3, FFI/RAPPORT-2003/02946, Forsvarets forskningsinstitutt, Begrenset

Valg av UAV-konsept

Sammenligning av ulike UAV-systemer med tanke på anskaffelse av en ISTAR-kapasitet.

Metode: AHP; verktøy: TOPSYS.

- Aune S (2002): Effektivitets- og kostnadsberegninger av ulike UAV-systemer, FFI/RAPPORT-2002/03477, Forsvarets forskningsinstitutt, Begrenset

Valg av kampfly-løsning

En studie av alternative løsninger for fremtidig kampflykapasitet. Verktøy: TOPSYS.

- Forsvaret (2005): Konseptuel løsning for fremtidig kampflykapasitet

C OVERSIKT OVER METODER

| Kategori | Navn | Beskrivelse | Problem-område* | Informasjon | Verktøy |
|--------------------------------|---------------------------------------|--|-----------------|---------------------------------------|---|
| Verdifunksjonsmetoder | Weighted sum | Verdien til et alternativ beregnes som en vektet sum av evalueringer opp mot kriteriene | A | Kvantitativ | |
| | MAVT (Multi-attribute value theory) | Aggregering av verdier basert på vurderinger av partielle preferansefunksjoner for hvert kriterium til en global verdifunksjon | A | Kvantitativ | DEFINITE EQUITY HIVIEW Logical Decision MACBETH VISA TOPSYS |
| | MAUT (Multi-attribute utility theory) | Aggregering av verdier fra vurderinger av partielle nyttefunksjoner for hvert kriterium til en global nyttefunksjon | A | Kvantitativ | Precision tree |
| | SMART | En forenkling av MAUT ved at man benytter et vektet lineært gjennomsnitt, som gir en god tilnærming til nyttefunksjoner | A | Kvantitativ | |
| | AHP (Analytic Hierarchy process) | Subjektive vurderinger av relativ viktighet konverteres til vektorer. Vurderinger foretas ved parvis sammenlikning av kriterier og alternativer | A, C | Kvantitativ | Expert choice TOPSYS |
| | ANP (Analytic network process) | En mer generell metode enn AHP som tillater interaksjon og tilbakekoblinger mellom alternativer og kriterier | A, C | Kvantitativ | Super Decision |
| Mål og referanse-punktsmetoder | VIKOR | Søker å finne det beste kompromisset. Alternativene rangeres basert på å måle hvor nær de er en ideell løsning | A | Kvantitativ | |
| | TOPSIS | Metoden finner det alternativet som er nærmest den ideelle løsningen og lengst i fra den verste | A | Kvantitativ | |
| | Goal programming | En form for lineærprogrammering hvor hensikten er å minimalisere en vektet sum av avvik fra en vektor med definerte målsettinger | A | Kvantitativ | Div. optimerings-programmware |
| Rangeringsmetoder | ELECTRE I | Rangeringsmetode hvor fire indekser benyttes til å bygge rangeringsrelasjoner mellom alternativene. Konkordansindeks (samsvarindeks), diskordansindeks (ikke-samsvar), terskelverdi og kriterievekter. Metoden indikerer hvilket alternativ som er det mest prefererte | A | Kvantitativ Kvalitativ Blanding | |
| | ELECTRE II | Metoden er basert på ELECTRE I, men benytter to rangeringsrelasjoner – en svak og en sterk – som gir en partiell og komplett ordning | C | Kvantitativ Kvalitativ Blanding | |
| | ELECTRE III | Indifferens- og preferansenivå innføres og benyttes i rangeringsrelasjonen som uttrykkes ved hjelp av troverdighetsindeksen ("credibility"). Metoden gir en partiell og komplett ordning | C | Kvantitativ Kvalitativ Blanding | ELECTRE III |
| | ELECTRE TRI | Metode basert på ELECTRE III, men ordner alternativene i gitte kategorier | B | Kvantitativ Kvalitativ Blanding | ELECTRE III |
| | PROMETHEE I | Basert på samme prinsipper som ELECTRE og introduserer seks forskjellige funksjoner for å beskrive BTs preferanser. Metoden aggregerer opp bevis for og i mot at et alternativ er like godt eller bedre enn et annet. Resultatet er en partiell ordning av alternativene | C | Kvantitativ Kvalitativ Blanding | Decision Lab PROMCALC |
| | PROMETHEE II | Samme prosedyre som for PROMETHEE I men gir en komplett ordning av alternativene | C | Kvantitativ Kvalitativ Blanding | |

* A) Valg av alternativ; B) kategorisering; C) rangering

Litteratur

- (1) Belton V, Stewart T J (2002): Multiple criteria decision analysis: An integrated approach, Kluwer Academic Publishers.
- (2) Gilljam M, Ljøgodt H (2005): Problem structuring methods – A survey and a case, FFI/RAPPORT-2005/00852, Forsvarets forskningsinstitutt.
- (3) Morse P M, Kimball G E (1950): Methods of operations research, Technology Press of MiT and John Wiley & Sons, Cambridge (Mass) and New York.
- (4) Pidd M (2003): Tools for thinking: Modelling in management science, 2nd ed., John Wiley & Sons.
- (5) Rosenhead J, Mingers J (2001): Rational analysis for a problematic world revisited, John Wiley & Sons, Chichester, England.
- (6) Keeney R L, Raiffa H (1976): Decisions with multiple objectives: Preferences and value tradeoffs, John Wiley & Sons, Chichester, England.
- (7) Goodwin P, Wright G (1998): Decision analysis for management judgment, John Wiley & Sons, Chichester, England.
- (8) Saaty T L (1996): The analytic hierarchy process, RWS Publications, Pittsburgh, PA.
- (9) Saaty T L (1996): The analytic network process, RWS Publications, Pittsburgh, PA.
- (10) Jaiswal N K (1997): Military operations research – quantitative decision making, Kluwer Academic Publishers.
- (11) Pratt R, Belton V (1999): Multi-criteria decision analysis: a structured approach to making choices, Journal of Defence Science Vol. 4, No. 1, 47–55.
- (12) Simon H A (1976): Administrative Behavior, 3rd ed., The Free Press, New York.
- (13) Charnes A, Cooper W W (1977): Goal programming and multiple objective optimisations – Part I, European Journal of Operational Research 1, 39–54.
- (14) Romero C (1986): A survey of generalized goal programming, European Journal of Operational Research 25, 183–191.
- (15) Aksoy et al. (1996): Comparative studies in interactive multiple objective mathematical programming, European Journal of Operational Research 89, 408–422.
- (16) Opricovic S, Tzeng G H (2004): Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS, European Journal of Operational Research 156, 445–455.
- (17) Roy B, Présent M, Sihol D (1986): A programming method for determining which Paris metro stations should be renovated, European Journal of Operational Research 24, 318–334.

- (18) Brans J P, Vincke P, Mareschal B (1986): How to select and how to rank projects: The Promethee method, *European Journal of Operational Research* 24, 228–238.
- (19) Briggs T, Kunsch P L, Mareschal B (1990): Nuclear waste management: An application of the multicriteria PROMETHEE methods, *European Journal of Operational Research* 44, 1–10.
- (20) de Leener I, Pastijn H (2002): Selecting land mine detection strategies by means of outranking MCDM techniques, *European Journal of Operational Research* 139, 327–338.
- (21) Guitouni A, Martel J.M (1998): Tentative guidelines to help choosing an appropriate MCDA method, *European Journal of Operational Research* 109, 501–521.
- (22) Karanta, I (2004): Method selection in multiple criteria decision problems, Research report version 0.1-1, VTT Information Technology.
- (23) Roy B (1996): *Multicriteria methodology for decision aiding*, Kluwer Academic Publishers.
- (24) Keyser W D, Peeters P (1996): A note on the use of PROMETHEE multicriteria methods, *European Journal of Operational Research* 89, 457–461.