

## **Operasjonsanalytiske metoder – sluttrapport fra GOAL**

Stein Malerud

Forsvarets forskningsinstitutt (FFI)

18. mai 2009

FFI-rapport 2009/00668

1068

P: ISBN 978-82-464-1567-3

E: ISBN 978-82-464-1568-0

## **Emneord**

Operasjonsanalyse

Problemstrukturering

Flermålsanalyse

Simulering

Optimering

## **Godkjent av**

Stein Malerud

Prosjektleder

Espen Skjelland

Avdelingssjef

## Sammendrag

Operasjonsanalyse (OA) dreier seg om å støtte beslutningstaking ved å utarbeide et godt beslutningsgrunnlag. Det har i de senere år vært et økende tilfang av analyseprosjekter ved instituttet for å støtte beslutningsprosesser i Forsvaret og i samfunnet forøvrig. Disse omfatter langsiktig strukturplanlegging, materiellanskaffelser, operasjoner, logistikk og samfunns-sikkerhet. Det overordnede målet til GOAL-prosjektene har vært å styrke instituttets kompetanse innen OA for at vi skal stå bedre rustet til å løse denne type omfattende og komplekse analyseproblemer.

Å utforme et godt beslutningsgrunnlag krever både en god forståelse av selve beslutningsproblemet og et gjennomtenkt valg av analysemetoder og -modeller. Ofte vil analyseproblemene i utgangspunktet være så omfattende og komplekse at det på forhånd ikke er gitt hva som er de sentrale problemstillingene. Derfor er det nyttig å kunne gjøre bruk av problemstrukturerende metoder for å identifisere, konkretisere og systematisere de problemene man ønsker å jobbe videre med.

For å kunne utnytte potensialet som ligger i mangfoldet av OA-metoder, er det viktig å ha grunnleggende kjennskap til sentrale metoder. Prosjektene har derfor gjennomført oversiktsstudier og grunnleggende metodestudier innen sentrale OA-metoder som flermålsanalyse, simulering og optimering. Omfattende problemer kan som oftest ikke løses med én enkelt metode alene, men av fornuftige sammensetninger av metoder som fungerer godt sammen. Valg av metoder bør komme som et resultat av problemstruktureringsfasen og uttrykkes i form av et mer detaljert metoderammeverk.

Prosjektene har lagt vekt på anvendelser innenfor analyse av freds- og lavintensitetsoperasjoner. Dette er et analysemessig utfordrende domene hvor det metodiske grunnlaget tildels er svært mangelfullt. Spesielt utfordrende er det å modellere sammenhenger mellom virkemidler og handlemåter og hvordan disse påvirker langsiktige målsettinger relatert til endringer i menneskelig atferd. Prosjektene har blant annet studert ulike metoder og modeller basert på komplekse adaptive systemer for å modellere slik atferd. En annen sentral problemstilling er ressursallokering i komplekse militære operasjoner. Her har prosjektene benyttet en heuristisk optimeringsmetode basert på en genetisk algoritme for å studere dette nærmere.

## English summary

Operational research (OR) is about supporting decision making by systematic approaches. During the recent years we have observed an increasing number of projects at FFI, focusing on various decision processes related to long-term defence planning, acquisitions, operations, logistics, and protection of society. The main objective of the GOAL projects has been to strengthen the Institute's competence within the field of OR so that FFI can provide its customers with even better decision support in the future.

A good understanding of the decision problems and a thought-through choice of analysis methods and models are required when developing a decision basis. In the real world, the decision problems often become comprehensive and complex, and thus, it is not always obvious which problems that are relevant for the analysis. Therefore, we recommend applying problem structuring methods to identify, concretise, and systemise problems that are relevant for further analysis.

GOAL has performed studies to obtain an overview of OR methods which are relevant for the Institute's analysis projects. These methods include problem structuring methods, multi-criteria decision analysis, simulation, and optimization. Comprehensive problems can't usually be analysed by one single method alone, a collection of complementary methods is required. The collection of methods tailored to a specific problem should be elaborated in a methodological framework.

In the GOAL project, application of OR methods and models to analyse peace and low intensity operations have been emphasised. This is an analytically challenging domain, and there is currently a lack of good methods and models for analysing such operations. Particularly challenging is the modelling of relations between actions and the achievement of long-term goals and effects related to human behaviour. GOAL has studied methods and models based on complex adaptive systems to model such behaviour. Another important problem addressed by the project is resource allocation in military operations. For this purpose, we have developed and applied a heuristic optimisation method based on a genetic algorithm.

## Innhold

<b>1</b>	<b>Innledning</b>	<b>7</b>
1.1	Operasjonsanalyse	7
1.2	GOAL-prosjektene	8
1.3	Erfaringer med prosjektgjennomføringen	10
<b>2</b>	<b>Problemstrukturering</b>	<b>10</b>
2.1	Idégenerering	11
2.2	Soft Systems Methodology	11
2.3	Erfaringer	12
<b>3</b>	<b>Flermålsanalyse</b>	<b>12</b>
3.1	Enkle metoder	14
3.2	Verdi- og nyttefunksjonsmetoder	14
3.3	Rangeringsmetoder	14
3.4	Erfaringer	15
<b>4</b>	<b>Simulering</b>	<b>16</b>
4.1	Statisk Monte Carlo-simulering	17
4.2	Systemdynamikk	17
4.3	Diskret hendelsesstyrt simulering	18
4.4	Agentbaserte simuleringmodeller	18
4.5	Erfaringer	19
<b>5</b>	<b>Optimering</b>	<b>20</b>
5.1	Eksakte optimeringsmetoder	20
5.2	Heuristiske metoder	21
5.3	Flermåloptimering	21
5.4	Erfaringer	21
<b>6</b>	<b>Anvendelser av OA-metoder</b>	<b>22</b>
6.1	Metoderammeverk for analyse av kriseberedskap	22
6.2	Analyse av fredsstøttende operasjoner	23
6.3	Ressursutnyttelse	25
6.4	Håndtering av usikkerhet	25
<b>7</b>	<b>Oppsummering</b>	<b>27</b>
	<b>Referanser</b>	<b>31</b>
	<b>Forkortelser</b>	<b>33</b>



# 1 Innledning

Hensikten med denne rapporten er å sammenfatte arbeid og erfaringer fra de to prosjektene i serien *Grunnlagsforskning operasjonsanalyse* (GOAL). Det overordende målet med prosjektene har vært å styrke instituttets kompetanse innen operasjonsanalyse (OA). OA kan defineres på flere måter, men felles for definisjonene er at OA dreier seg om å gi beslutningsstøtte ved å fremskaffe et godt beslutningsgrunnlag. Et beslutningsgrunnlag bør inneholde en oversikt over aktuelle alternativer, en begrunnet rangering av disse og usikkerhetsvurderinger.

Et fellestrekk ved analyseproblemene instituttet står ovenfor er at de ofte er knyttet til omfattende og komplekse systemer. Av denne grunn vil ofte ikke beslutningsproblemene være veldefinerte ved starten av analysen. For å avhjelpe denne situasjonen kan det være nyttig å anvende problemstrukturerende metoder for å identifisere og formulere de problemene som man vil jobbe videre med i analysene. Omfattende problemer kan som oftest heller ikke løses med én enkelt metode, men av metoder i kombinasjon. Valg av metode(r) bør komme som et resultat av problemstruktureringsfasen og uttrykkes ved hjelp av et metoderammeverk. For å kunne utnytte potensialet som ligger i det mangfoldet av OA-metoder som eksisterer, er det viktig å ha grunnleggende kjennskap til en del sentrale metoder. Prosjektene har derfor gjennomført studier innen et bredt spekter av OA-metoder som anses relevante for instituttets analyser. En viktig, men ofte litt forsømt del av et beslutningsgrunnlag er usikkerhetsvurderinger av resultatene. Håndtering av usikkerhet har derfor vært et hovedtema for GOAL.

Rapporten gir i kapittel 1.1 en mer utdypende introduksjon til begrepet OA, mens kapittel 1.2 og 1.3 gir en kortfattet oversikt over GOAL med vekt på rapportering og prosjekterfaringer. I kapittel 3 til 5 presenteres de metodene som prosjektene har studert. Kapittel 6 omhandler anvendelser av OA-metoder med hovedvekt på analyse av krisehåndtering og freds- og lavintensitetsoperasjoner. I kapittel 7 gis en oppsummering av de viktigste funnene i GOAL.

## 1.1 Operasjonsanalyse

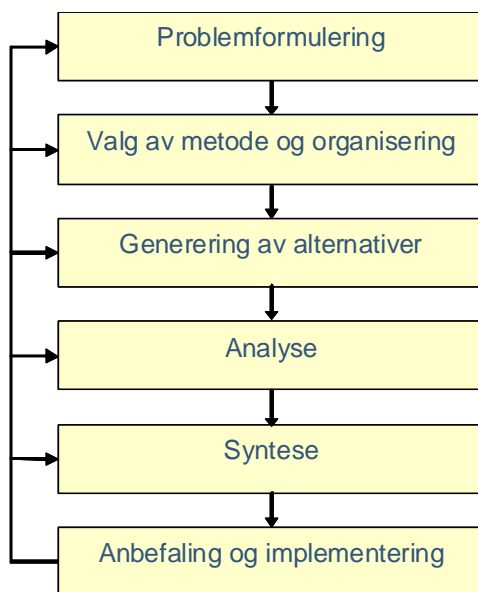
Det eksisterer mange definisjoner av begrepet OA. En klassisk definisjon hentet fra Morse & Kimball, 1951 er ”*Operations research is a scientific method of providing executive departments with a quantitative basis for decisions regarding the operations under their control*”[1]. En mer moderne definisjon som benyttes av sentrale OA-organisasjoner<sup>1</sup> er ”*OR is the discipline of applying advanced analytical methods to help make better decisions*”, eller mer slagordsmessig ”*OR is the science of better*”. Forskjellen mellom den klassiske definisjonen og den mer moderne er at den klassiske vektlegger bruk av kvantitative metoder, mens den mer moderne åpner opp for et bredere spekter av analytiske metoder. Felles for definisjonene er at OA skal bidra til bedre beslutninger gjennom å fremskaffe et godt beslutningsgrunnlag.

---

<sup>1</sup> Det britiske OR Society ([www.theorsociety.com](http://www.theorsociety.com)) og det amerikanske INFORMS ([www.informs.org](http://www.informs.org))

Man kan si at anvendelser av OA for alvor kom i gang under annen verdenskrig da vitenskapsfolk fra ulike disipliner ble knyttet til operative staber for å gi støtte til viktige beslutninger. Tradisjonelt har OA dreiet seg om å gi beslutningsstøtte ved bruk av kvantitative metoder som statistikk, optimering og simulering. I dag benyttes OA innenfor mange områder for å løse mange typer beslutningsproblemer, noe som har ført til økt bruk av ikke-kvalitative metoder.

Figur 1.1 under viser den overordnede OA-prosessen. Prosessen beskriver rekkefølgen av aktiviteter som normalt utføres i en analyse, men viser også at dette er en iterativ prosess hvor flere av trinnene vanligvis gjennomføres flere ganger.



Figur 1.1 Overordnet OA-prosess

GOAL har studert ulike måter å kombinere metoder på i såkalte multimetoder. Med multimetoder menes her bestemte sammensettinger av metoder som fungerer godt for å løse problemene. I følge Mingers [2] finnes det tre perspektiver på multimetoder: Et problem er ofte multidimensjonalt og ulike metoder egner seg til å studere forskjellige aspekter ved det; et problem løses normalt heller ikke i ett enkelt trinn, men som et resultat av en analyseprosess med flere trinn, jf. figur 1.1, hvor de forskjellige trinnene ofte krever forskjellige metoder; det kan også være interessant å kikke på det samme problemet med forskjellige metoder for å ”triangulere”. Et nyttig hjelpemiddel for å sette sammen metoder er å utarbeide et spesifikt metoderammeverk for analysen med utgangspunkt i OA-prosessen, som en del av problemstruktureringsfasen. Eksempler på slike rammeverk er gitt i kapittel 6.

## 1.2 GOAL-prosjektene

Det har vært gjennomført to GOAL-prosjekteter; GOAL I (prosjekt 1004), juli 04-desember 06 og GOAL II (prosjekt 1068), januar 07-desember 08. Prosjektene har hatt som overordnet mål å bidra til å styrke instituttets kompetanse innen operasjonsanalyse. Andre viktige mål har vært å opparbeide et eksternt kontaktnett – nasjonalt og internasjonalt – og utveksle kunnskap internt og eksternt. En erfaring som ble gjort i GOAL I, var at det er vanskelig finne gode og relevante case-



er å anvende metodene på. Av denne grunn fikk GOAL II en mer anvendt innretning med prosjektittel, ”Metoder og modeller for analyse av freds- og lavintensitetsoperasjoner”. Prosjektet har organisert sine aktiviteter innen tre hovedområder: oversiktstudier og grunnleggende metodestudier, anvendte studier og dybdestudier.

I tabell 1.1 gis en oversikt over rapporter fra GOAL-prosjektene med henvisning til hvilke OA-metoder de omhandler.

Aktivitetsområde	Metoder	Tittel
Oversiktsstudier og grunnleggende metodestudier	Problemstrukturering	Problem structuring methods [3]
	Flermålsanalyse	Metoder for flermålsanalyse [4]
	Simulering	Simuleringsmetoder innen OA [5]
		Agent based modellering and simulation [6]
		Simulation of human social behaviour in conflict environments using CAS [7]
	Optimering	Optimeringsmetoder innen OA [8]
		Lineærprogrammering og MIP i strukturanalyser [9]
		Bruk av flermåloptimering i OA [10]
	Datainnsamling og modellering	Bayesianske metoder for estimering av DKV [11]
		Innsamling og modellering av inputdata [12]
Annet	Oversikt over OA-miljøer [13]	
Anvendelser og dybdestudier	Annet	Menn i dumme kjoler – antropologisk studie av menneskelige faktorer [14]
	Problemstrukturering, scenarioutvikling, flermålsanalyse, simulering	Metoderammeverk for analyse av krisehåndtering [15]
	Simulering	Sustainability simulations for fighter aircrafts in peace and at war [16]
	Optimering	Resource allocation in military operations [17]
	Problemstrukturering, scenarioutvikling, kausale løkkediagrammer, effektivitetsmål og simulering	Modellering og analyse av fredsstøttende operasjoner [18]
	Datainnsamling og modellering	En vurdering av datausikkerheten i noen åpne kilder som beskriver sikkerhetssituasjonen i Afghanistan [19]

Tabell 1.1 Rapportoversikt fra GOAL

### 1.3 Erfaringer med prosjektgjennomføringen

Prosjektene har studert et bredt spekter av OA-metoder som anses å være aktuelle for de anvendelsesområdene instituttet jobber innenfor, herunder analyse av langsiktige strukturplaner, materiellanskaffelser, operasjoner, logistikk og samfunnssikkerhet. Det har vært krevende å finne riktig innretning på prosjektene. På den ene siden hadde prosjektene som hovedmålsetting å bidra til å styrke instituttets kompetanse innenfor OA, noe som tilsa en viss bredde i arbeidet. På den andre siden var prosjektene definert som grunnlagsstudier med klare forventninger om publisering. Prosjektene tilnærming til disse to tildels motstridende målene var å legge vekt på bredde og anvendelser fremfor dybde. En konsekvens av dette var at det ble vanskelig å få publisert arbeidene i internasjonale tidsskrifter. Som en sekundær løsning ble det derfor valgt å vektlegge presentasjon av våre arbeider på internasjonale konferanser, symposier og workshoper.

Det å etablere et eksternt kontaktnett og delta i internasjonalt samarbeid har vist seg å være meget nyttig for prosjektene. Prosjektene har deltatt i samarbeidsaktiviteter innenfor ANNCP WG IX og NATO RTO/SAS. Dette sammen med å delta på konferanser og symposier har vært svært givende og inspirerende, som en arena for å teste ut egne ideer og for å få nye.

Prosjektene har i beskjeden grad evnet å påvirke metodevalget i andre, anvendte OA-prosjekter direkte. Men våre studier har bidratt til større bevissthet rundt bredden av OA-metoder og deres anvendelsesområder og -muligheter. Spesielt kan det trekkes frem vektleggingen av problemstrukturering i den innledende fasen av en analyseprosess og det å kombinere flere metoder – ofte både myke og mer tradisjonelle, harde OA-metoder – i metoderammeverk tilpasset det eller de problemene man studerer. Nyten av metodearbeidene i GOAL må ses over et lengre tidsperspektiv.

## 2 Problemstrukturering

Et godt ordtak sier at ”et godt formulert problem er et halvveis løst problem”. Problem-situasjonene som våre analyseprosjekter står overfor, er av natur ofte uklare og komplekse, slik at det på forhånd ikke er gitt hva som er de sentrale problemstillingene og hvordan disse bør løses. Problemstrukturerende metoder beskriver fremgangsmåter som kan benyttes for å identifisere og formulere sentrale problemstillinger. Derfor kan de være nyttige i den første fasen av analysearbeidet, jf. figur 1.1.

Det eksisterer et stort antall metoder som spenner fra strukturert idégenerering (brainstorming) til mer omfattende metoder som Soft Systems Methodology (SSM). En rekke av disse metodene er beskrevet i [2;3]. Fordelen med å bruke en formell fremgangsmåte for problemstrukturering er at man da i større grad sikrer at man får belyst bredden av problemdomenet og at det gir sporbarhet. I tillegg er metodene egnet til å forankre analyseproblemene og avdekke eventuelle uenigheter i virkelighetsoppfatting. Prosessene gjennomføres i grupper hvor problemeier og interessenter bør være representert. Hensikten her er ikke å liste opp alle de metodene som kan benyttes, men å

nevne noen erfaringer GOAL har gjort seg med bruk av problemstrukturerende metoder. Under gis en kortfattet beskrivelse av to ulike metoder. Innholdet er basert på FFI-rapport [3].

## 2.1 Idégenerering

Oval Mapping Technique (OMT) er en metode for strukturert idégenerering. En variant av OMT, "Tour de Table"-metoden, går ut på at deltakerne får utdelt "gule lapper" (post it) som de fyller ut med aktuelle ideer. Deltakerne går etter tur frem til en tavle, setter opp en av sine lapper og gir en kort begrunnelse av forslaget. Her kan resten av forsamlingen komme med oppklarende spørsmål, men ikke med vurderinger og diskusjon. Dette foregår så lenge det er gule lapper igjen. I løpet av denne prosessen er det vanlig at deltakerne kommer på nye ideer som noteres ned på nye lapper og henges opp når det igjen er deltakerens tur. Når forsamlingen er uttømt for ideer går man igjennom ideene og forsøker å gruppere disse. Gruppene gis så navn. I etterkant av denne innledende prosessen vil det ofte være nødvendig å gjennomføre en prioritering og utdypning av de mest lovende ideene. Det finnes egne metoder for dette, se f.eks. [20].

## 2.2 Soft Systems Methodology

Soft Systems Methodology (SSM) er en anerkjent og mye benyttet problemstrukturerende metode. SSM er bygget opp slik at man kan bruke hele eller bare deler av metoden alt avhengig av om man kun ønsker å strukturere problemet eller om man også ønsker å benytte metoden til å "løse" problemet.

Til vårt formål som er problemstrukturering, har vi funnet det hensiktsmessig å benytte de første trinnene i SSM-prosessen. Her gis bare en kortfattet innføring i denne delen av prosessen. SSM er utførlig beskrevet i [3;21]. Prosessen initieres med en idégenereringsfase hvor man tegner opp et såkalt rikholdig bilde. Hensikten med dette er å gi innsikt i systemet som problemsituasjonen er en del av og hva som påvirker dette. Eksempler på problemsituasjoner som prosjektene har studert, er "Hva skal til for at faggruppe OA skal nå sin erklærte visjon?" [3] og "Hvorfor er det rot i Forsvarets lommebok?".<sup>2</sup> Det rikholdige bildet uttrykkes ofte i form av en grafisk fremstilling som inneholder informasjon om roller, aktører med egenskaper, relasjoner, tanker, maktforhold og prosesser.

Det neste trinnet i prosessen er å identifisere ønskede endringer i systemet som kan bidra til å bedre situasjonen. Dette danner grunnlaget for å konkretisere aktuelle analyseproblemer. SSM gjør bruk av seks begreper som kan sammenfattes i huskeordet CATWOE: T er transformasjonen som beskriver den ønskede endringen i systemet; C (Client) er de som berøres av transformasjonen; A (Actor) er aktørene som gjennomfører T; E (Environmental constraints) er begrensninger som finnes i omgivelsene; O (Owner) er eierne som kan starte og stoppe transformasjonen; mens W (World view) representerer eiernes verdenssyn som gir transformasjonen mening. Det er vanlig å formulere én CATWOE for hver transformasjon.

---

<sup>2</sup> Tema for en casestudie gjennomført av faggruppe OA, 30. august 2005.

## 2.3 Erfaringer

Problemstrukturering bør vektlegges i starten av analyser for å støtte opp under formulering og presisering av aktuelle problemer, og til innhenting og strukturering av informasjon om problemsituasjonen. Det er mange fordeler med å benytte etablerte metoder, ikke minst at de er utprøvde fremgangsmåter som har mekanismer for involvering av beslutningstakere og andre interessenter. Det er viktig at disse aktørene involveres i prosessen fra starten av, slik at deres syn ivaretas og at man sikrer en god forankring.

En forutsetning for å ”lykkes” med PSM er at gruppen er godt forberedt på problemsituasjonen og at de gjøres kjent med metode(n) som skal benyttes på forhånd. Den som leder gjennomføringen, fasilitatoren, har en meget sentral rolle. Fasilitatoren skal drive prosessen fremover ved å finne en fornuftig balanse mellom krav til fremdrift og frihet til å komme med innspill. Fasilitatoren må også kunne delta aktivt med egne forslag, eksempelvis for å få i gang prosessen.

Det finnes et stort utvalg av problemstrukturerte metoder. Valg av metode bør tilpasses problemets kompleksitet, antall interessenter og hva som er målsettingen med studien. I noen tilfeller vil man bare ha behov for å få generert nye ideer og strukturere disse. OMT er en enkel og rask metode som er godt egnet når man i utgangspunktet har oversikt over problemsituasjonen. Hvis problemsituasjonen er mer omfattende og uoversiktlig, kan det være behov for å gå grundigere til verks – her kan de første trinnene av SSM med fordel benyttes. Tegning av et rikholdig bilde kan være en omfattende og tidkrevende prosess, men som til gjengjeld frembringer mye informasjon om problemsituasjonen. Bruk av huskeordet CATWOE har vist seg å være et godt hjelpemiddel i forbindelse med å spesifisere aktuelle problemer.

GOAL mener OA-miljøet er tjent med å ha kjennskap til én ren idégenereringsmetode, f.eks. OMT, og én litt tyngre metode, f.eks. SSM.

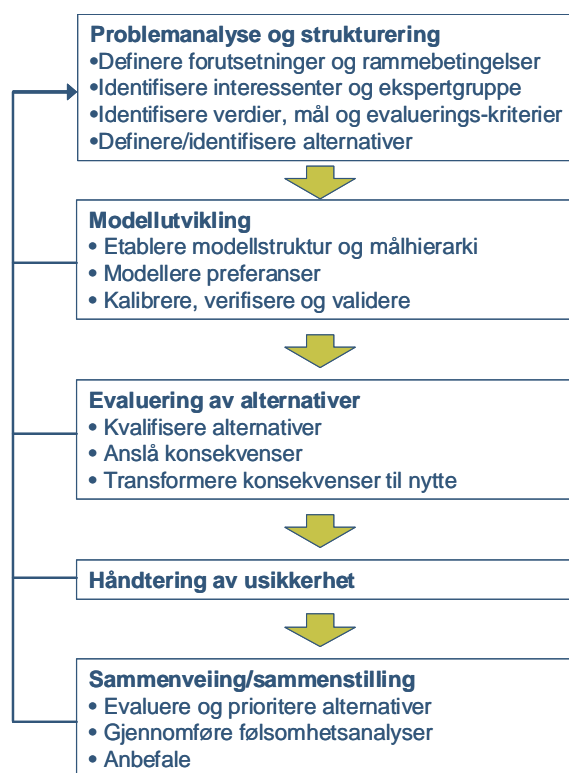
## 3 Flermålsanalyse

Flermålsanalyse kan 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 benyttes med andre ord når man står overfor et beslutningsproblem hvor det er flere mål og kriterier som ønskes oppfylt samtidig, og hvor disse ofte står i konflikt til hverandre. Det er sjelden at ett alternativ er best på alle kriterier samtidig. Dette gjør det nødvendig å foreta avveininger mellom alternativenes oppfyllelse av de ulike kriteriene. Metodene skiller seg fra f.eks. optimering ved at beslutningstakers/interessenters preferanser modelleres eksplisitt. Dette betyr at metodene ikke gir den optimale løsningen i matematisk forstand, men den løsningen som i størst grad tilfredsstillter interessentenes preferanser.

For å finne rangeringen av beslutningsalternativer som i størst mulig grad samsvarer med gitte preferanser er det viktig at flermålsanalysemetodene benyttes riktig og at man kjenner styrker og svakheter ved disse. En av årsakene til at denne studien ble gjennomført er at flermålsanalysemetoder benyttes relativt hyppig ved instituttet og i Forsvaret forøvrig. Etter en gjennomgang av flere gjennomførte studier konkluderte GOAL med at potensialet som ligger i bruke av disse metodene, på langt nær er realisert [4]. Hovedinntrykket er at man benytter flermålsanalyseverktøy uten å ha tilstrekkelig kjennskap til den bakenforliggende metoden og styrker og svakheter ved denne.

Figur 3.1 viser flermålsanalyseprosessen. Trinnene i denne viser rekkefølgen av aktiviteter som leder frem til en anbefaling, og anbefalingen bør inneholde en rangering av beslutningsalternativene med begrunnelse, resultatene av følsomhetsanalyser og en diskusjon av usikkerheten i resultatene. Det første trinnet i prosessen danner utgangspunkt for en flermålsanalyse uavhengig av hvilken metode som velges. Gjennomføringen av de øvrige trinnene vil delvis avhenge av hvilken metode som velges. Det er verd å merkes seg at sammen med problemstrukturerende metoder, dekker flermålsanalyse alle trinnene i OA-prosessen. Under følger en kortfattet beskrivelse av tre kategorier flermålsanalysemetoder som prosjektet mener det er viktig å ha kjennskap til, se [22;23] for flere detaljer.



Figur 3.1 Flermålsanalyseprosessen. Figuren er basert på [22]

### 3.1 Enkle metoder

Det som karakteriserer de enkle metodene er at man ikke gjennomfører noen eksplisitt preferansmodellering. Metodene tar utgangspunkt i konsekvensmatrisen som beskriver hvor godt alternativene skårer på de ulike kriteriene. For enkle problemer kan det hende at man greier å rangere alternativene ved kun å studere denne matrisen. Hvis det er problematisk å finne et ”beste” alternativ, kan man gå mer systematisk frem ved å lete etter alternativer som domineres av andre og fjerne disse. Med dominans menes her at et alternativ er bedre enn et annet på minst ett kriterium og ikke dårligere på de andre.

Even Swap (likt bytte) er en metode hvor man systematisk går igjennom alternativer og kriterier og foretar avveininger ”trade offs”. I denne prosessen vil alternativer kunne bli dominert av andre og kan dermed fjernes. Prosessen pågår til man står igjen med ett eller flere alternativer som ikke domineres. Denne metoden er intuitiv og gir god innsikt i de avveiningene som gjøres. Metoden er beskrevet i [22;23].

### 3.2 Verdi- og nyttefunksjonsmetoder

I denne fremstillingen skiller vi ikke mellom verdi- og nyttefunksjonsmetoder, og betegnelsen verdifunksjonsmetode benyttes om begge.<sup>3</sup> Verdifunksjonsmetodene er de mest utbredte blant flermålsanalysemetodene. Hovedideen med disse er å etablere en verdifunksjon for hvert kriterium og beregne en numerisk verdi for hvert beslutningsalternativ som grunnlag for rangering av alternativene. Verdifunksjonen uttrykker beslutningstakers preferanser gjennom å knytte en verdi til ulike konsekvenser på de enkelte kriteriene, 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.

SMART (Simple Multi-Attribute Rating Technique) er en enkel og oversiktlig verdifunksjonsmetode hvor preferansmodelleringen gjøres eksplisitt gjennom verdifunksjoner og kriterievekter. AHP (Analytical Hierarchy Process) er en mye anvendt, men omdiskutert flermålsanalysemetode. AHP regnes som en verdifunksjonsmetode selv om fremgangsmåten skiller seg vesentlig fra SMART. AHP benytter parvise sammenlikninger mellom mål, kriterier og alternativer for å finne det beste alternativet. Disse metodene er mer utførlig beskrevet i [4;24].

### 3.3 Rangeringsmetoder

Metoder for rangering av alternative løsninger – ”outranking”-metoder – regnes som en egen klasse av flermålsanalysemetoder. Til forskjell fra verdifunksjonsmetoder har ikke disse metodene noen underliggende verdifunksjon som aggregeres opp til et toppmål/toppkriterium. Det betyr 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

---

<sup>3</sup> Forskjellen mellom verdi- og nyttefunksjonsmetoder er at i nyttefunksjoner modelleres beslutningstakers risikovillighet eksplisitt.

om alternativ *a* skal rangeres over alternativ *b* gitt beslutningstakers preferanser. Resultatet av dette er en partiell eller en komplett ordning av beslutningsalternativene. Etablerte rangeringsmetoder er ELECTRE-familien av metoder og PROMETHEE [4].

### 3.4 Erfaringer

Flermålsanalyse hjelper oss med å finne det eller de alternativene som i størst grad tilfredsstillter beslutningstakers preferanser. Flermålsanalyse sammen med problemstrukturering kan dekke alle fasene av OA-prosessen frem mot en anbefaling og er av den grunn en sentral metode innen OA. Metodene egner seg også som rammeverk for mer detaljerte delanalyser, f.eks. av kostnader og av ytelse og effektivitet som kan inngå som mål og kriterier i flermålsanalysemodellen.

Det er viktig å ha god kjennskap til flermålsanalyseprosessen. En vellykket flermålsanalyse betinges av et presist formulert beslutningsproblem, relevante mål og kriterier, relevante beslutningsalternativer og kunnskap om hvilke rammebetingelser som gjelder. Ofte vil ikke beslutningstaker selv være involvert i selve analysen, slik at det ikke er hans/hennes preferanser som benyttes direkte. Eksempelvis vil det ved større forsvarsanskaffelser være regjering og Storting som fatter beslutningene basert på bl.a. et beslutningsgrunnlag utarbeidet av Forsvaret. Det er således viktig å skille mellom selve beslutningen og beslutningsanalysen som har til hensikt å fremskaffe et så godt beslutningsgrunnlag som mulig. Problemstrukturering og bruk av etablerte og transparente analysemetoder som gir nødvendig sporbarhet, er derfor viktig.

Under gis noen generelle råd om gjennomføringen av en flermålsanalyse:

- Vurder om enkle metoder kan benyttes før en mer omfattende metode tas i bruk
- Bygg enkle og transparente modeller som inneholder mål og kriterier som evner å skille mellom beslutningsalternativene; et kriterium som ikke skiller mellom alternativene har ingen betydning for beslutningen
- Valider modellen ved å sjekke om den gir en tilstrekkelig korrekt og komplett representasjon av beslutningsproblemet
- Ha et begrenset antall alternativer; hvis det i utgangspunktet er mange alternativer bør man forsøke å prekvalifisere disse ved å anvende enklere metoder
- Vær bevisst på valg og bruk av metoder og styrker og svakheter med metodene; man bør være spesielt oppmerksom hvis informasjonen er helt eller delvis ikke-kvantifiserbar
- Det kan være utfordrende å modellere preferanser med flere interessenter, spesielt hvis disse er uenige; det finnes egne metoder for å håndtere dette
- Praktisk bruk av flermålsanalyse fordrer tilgang på dataverktøy som støtter gjennomføringen av analysen
- Gjennomfør sensitivitetsanalyser for å kontrollere robustheten av løsningene

Valg av metode diskuteres i [4]. Det finnes mange ulike metoder som kan benyttes, men i praksis kan man greie seg godt med å ha kjennskap til noen få metoder. Det anbefales å ha kjennskap til en enkel metode, som f.eks. Even Swap og en verdifunksjonsmetode som f.eks. SMART. Med disse to metodene er man godt rustet til å kunne analysere enkle så vel som kompliserte beslutningsproblemer. AHP er en annen mye benyttet, men omdiskutert metode. Den er relativt

enkel å bruke, men underliggende metoden er lite transparent, spesielt hva gjelder preferansemodelleringen.

## 4 Simulering

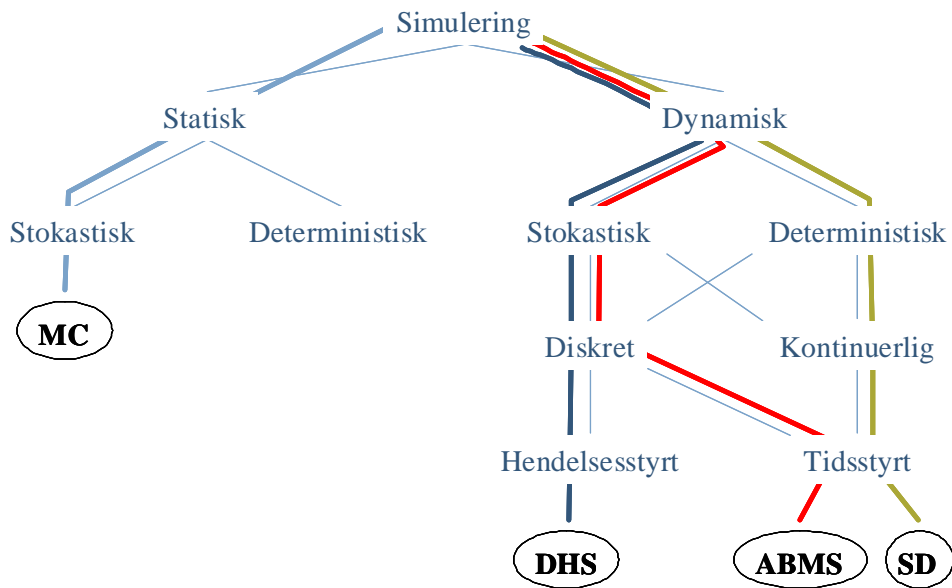
Simulering er å gjennomføre eksperimenter med en modell av et system. En modell er en forenklet representasjon av et system, som innehar de samme relevante egenskapene som systemet. Simulering har tradisjonelt hatt en sentral plass innen OA ved instituttet, men i de senere årene er det observert en nedadgående trend mht. nyutvikling og anvendelse av simulering for OA-formål. Simulering innen OA er behandlet i [5].

Det er nok flere grunner til at simulering har fått en mindre plass i våre analyser. Simulering har tradisjonelt blitt benyttet til å kvantifisere ytelse og effektivitet av ulike virkemidler og handlemåter i tilknytning til analyser av høyintensitetsstrid. En større vektlegging av internasjonale fredsstøttende operasjoner og krisehåndtering har medført økt vektlegging av menneskelige faktorer og håndtering av asymmetriske trusler. Vårt metode- og modellgrunnlag for å analysere denne type operasjoner er tildels svært mangelfullt. Analyse av komplekse sosiale systemer krever en bred tilnærming med bruk av forskjellige metoder. I den senere tid er agentbaserte simuleringsmodeller av komplekse adaptive systemer viet stor interesse fordi disse virker lovende mht. til å simulere menneskelig sosial oppførsel. Simulering kan utgjøre en viktig komponent i et metoderammeverk for å analysere fredsstøttende operasjoner. Simulering er egnet til å studere ulineære dynamiske systemer noe som gjør det mulig å utforske komplekse systemer ved å gjennomføre eksperimenter med modeller av systemene. Målet er ikke nødvendigvis å beregne ytelse og effektivitet, men å studere responsen til systemet på ulike input.

Vi har observert en trend innen OA-anvendelser av simulering hvor man går i retning av mer problemspesifikke (skreddersydde) og enklere modeller. Slike modeller har et lavere gjenbrukspotensial, men er på den annen side raskere å utvikle. Gjenbruk i denne sammenheng dreier seg om gjenbruk av delmodeller, algoritmer og metoder – og ikke hele simuleringsmodeller.

Figur 4.1 viser en taksonomi som kan benyttes til å kategorisere simuleringsmodeller for OA-formål. En nærmere beskrivelse av denne er gitt i [5]. Figuren viser også klassifiseringen av de fire simuleringsmetodene prosjektet har sett nærmere på.





Figur 4.1 Taksonomi for klassifisering av simuleringmodeller. SMC = Statisk Monte Carlo-simulering, DHS = Diskret hendelsesstyrt simulering, ABMS = Agent-basert modellering og simulering, og SD = Systemdynamikk

Det er verd å merke seg at de fleste simuleringsteknikkene dreier seg om simulering av dynamiske systemer. Ofte er simuleringmodellene også stokastiske, dvs. det gjøres trekninger fra sannsynlighetsfordelinger for inputparameterne. Hver replikasjon vil da kunne gi forskjellige resultater. Gjennomføringen av flere slike replikasjoner kalles Monte Carlo (MC) -simuleringer.

#### 4.1 Statisk Monte Carlo-simulering

Statisk Monte Carlo-simulering (SMC) er en repetitiv, stokastisk simulering som gir sannsynlighetsfordelte resultater. Statisk simulering er simulering der tidsaspektet er fraværende eller underordnet. En MC-simulering tar eksplisitt hensyn til usikkerheten i inngangsparameterne i modellen. Usikkerheten representeres ved sannsynlighetsfordelinger og er dermed å regne som ”kjent usikkerhet”. Når sannsynlighetsfordelingene er kjent, kan man i prinsippet finne analytiske løsninger for størrelsene man er interessert i. Dette blir imidlertid fort uhensiktsmessig – og ofte umulig – med mange variabler og økende kompleksitet. Også simuleringresultatene vil som nevnt foreligge i form av sannsynlighetsfordelinger. Fra disse fordelingene rapporteres typisk gjennomsnittsverdier og spredningsmål. I [15] benyttes eksempelvis statisk MC til å simulere spredningen av olje fra et punktutslipp i havet.

#### 4.2 Systemdynamikk

Systemdynamikk (SD) er simulering av kontinuerlige dynamiske systemer, dvs. simulering av systemer som endrer tilstand kontinuerlig med tiden. I dynamiske systemer er det spesielt to fenomener som øker kompleksiteten, nemlig tilbakekoblingseffekter og tidsforsinkelser. Denne type systemer modelleres gjerne vha. SD.

Systemdynamikk er velegnet for å modellere og studere de store sammenhengene i komplekse dynamiske systemer. Modellene er derfor vanligvis relativt grovkornede, og formålet er gjerne å forstå oppførselen til systemet og forklare en observert dynamikk – og ikke primært å gjøre kvantitative beregninger. Modellene er således egnet til å gi kunnskap om mulige utfall av ulike virkemidler og handlemåter. Fokuset på å utforske og forstå systemer gjør at SD i OA-sammenheng som regel anvendes på deterministiske problemer. Det er imidlertid ikke noe i veien for å introdusere stokastiske fenomener i modellene.

I motsetning til diskrete metoder med fokus på antall og hendelser, er SD rettet inn mot nivåer og flytrater knyttet til variablene i systemet. Begrepsbruken her varierer. Innen økonomi brukes begrepene ”stock” (beholdning) og ”flow” (strøm/flyt), mens innen kontrollteori benyttes ”state variables” (tilstandsvariabler) i stedet for ”stock”. Vanlig terminologi innen SD er å benytte begrepene ”level” (nivå) og ”rate” (rate).

### **4.3 Diskret hendelsesstyrt simulering**

Diskret hendelsesstyrt simulering (DHS) beskriver et systems utvikling ved hjelp av tilstandsvariabler som kan endre verdi på et endelig antall diskrete tidspunkt. Dette betyr at DHS er et aktuelt verktøy for å studere systemer som ikke kontinuerlig endrer sin tilstand når det gjelder interessante egenskaper. Når initialiseringen er gjennomført ved tid  $t = 0$ , flyttes simuleringen til neste hendelse på tidsaksen. En slik hendelse kan f.eks. føre til at tilstanden til systemet endres og at nye hendelser blir satt opp på tidsaksen. De viktige bestanddelene i systemet representeres ofte som objekter som aktiveres når bestemte hendelser inntreffer.

DHS er en utbredt simuleringsmetode i OA-sammenheng og benyttes ofte til å simulere trafikk- og produksjonssystemer. Ved FFI er DHS blitt benyttet i en rekke simuleringsmodeller hvor man simulerer scenarier hvor det oppstår ulike hendelser, f.eks. at en trussel materialiserer seg, at denne oppdages og fører til en handling. DHS er spesielt godt egnet til denne type simulering fordi systemets utvikling mellom hendelsene ofte ikke er særlig viktig, og fordi det ofte er naturlig å modellere bestanddelene i systemet som objekter.

### **4.4 Agentbaserte simuleringsmodeller**

Agentbasert modellering og simulering (ABMS) skiller seg fra andre simuleringsmetoder ved at alle eller deler av de simulerte entitetene er modellert som agenter. En agent kan ses på som et autonomt softwareobjekt som tar beslutninger og handler basert på dets oppfattelse av sine omgivelser. Det at en agent kan operere autonomt i sine omgivelser og tilpasse sin oppførsel til andre agenter er kanskje de mest sentrale egenskapene ved en agent, og som gjør denne type simulering egnet til å utforske komplekse adaptive systemer (KAS).

Agentbaserte modeller bygges normalt etter et ”bottom-up”-prinsipp hvor det tas utgangspunkt i autonome individer eller grupper av individer som settes sammen i en simuleringsomgivelse hvor de kan interagere. Interaksjon er den sentrale driveren for oppførselen til systemet og kan føre til interessant kollektiv oppførsel uten å måtte modellere enkeltindivider i stor grad av detalj. Et mye

benyttet eksempel på dette fenomenet er den kollektive oppførselen til maurkolonier. Ulineær interaksjon mellom agentene på liten skala kan resultere i en oppdukkende kollektiv oppførsel på stor skala, "emergent behaviour", som f.eks. selvorganisering og dynamisk reorganisering for å bedre evnen til overlevelse og evnen til å utnytte/dominere sine omgivelser. Denne type oppførsel vil man normalt ikke finne i andre typer simuleringer, og nettopp derfor fremheves ABMS og KAS som godt egnet til å simulere menneskelig atferd i sosiale sammenhenger. En mer utdypende beskrivelse av ABMS og KAS er gitt i [6;7].

## 4.5 Erfaringer

Simulering har og vil fortsatt ha en sentral plass innen OA. GOAL har tatt for seg fire aktuelle simuleringsteknikker; statisk Monte Carlo-simulering, diskret hendelsesstyrt simulering, systemdynamikk og agentbasert simulering. Disse simuleringsteknikkene har mange komplementære egenskaper som gjør at de utfyller hverandre. Det betyr at de er egnet til å belyse ulike aspekter ved problemene, og at de i liten grad er egnet til å gi svar på de samme spørsmålene. Derfor bør valg av metode skje etter en nøye vurdering av de problemene man ønsker å analysere.

FFI har tradisjon for å benytte simulering i forbindelse med konsekvensberegninger av ulike handlemåter knyttet til bestemte scenarier, men simuleringsteknikker kan ha nytteverdi utover dette. Simulering er godt egnet til å utforske systemer og hvordan disse responderer på endringer i inputparametere (hvahvis-analyser).

Trenden i retning av mindre, problemorienterte modeller vil sannsynligvis fortsette. Dette henger sammen med den økende betydningen av fredsstøttende operasjoner, krisehåndtering og menneskelig atferd som er komplekse systemer og hvor en metode alene, ikke er tilstrekkelig for å få belyst alle interessante aspekter i en analyse.

Rask utvikling av enkle modeller kan gjøres i samarbeid med domeneeksperter, f.eks. militært personell med relevant operativ erfaring. Denne fremgangsmåten støttes av fremveksten av kommersielle simuleringsteknikker som f.eks. AnyLogic, Arena, iThink og Crystal Ball, hvor en raskt kan sette opp enkle modeller i et grafisk grensesnitt. En av fordelene med denne fremgangsmåten er at domeneeksperter kan involveres tidlig i utviklingsfasen noe som forhåpentligvis bidrar til at beslutningstaker(e) får økt eierskap og tiltro til modellen og dens resultater.

Validering av modeller er et svært viktig og evig tilbakevendende problem. Validering dreier seg om å overbevise seg selv og andre om at modellen er en tilstrekkelig god representasjon av den delen av virkeligheten man ønsker å modellere. Validering i en naturvitenskapelig sammenheng innebærer å vise at modellen evner å gjenskape observerte fenomener i virkeligheten. Dette er sjelden relevant i simulering av komplekse militære operasjoner hvor det normalt er stor usikkerhet og variasjon knyttet til faktorer som innsatsområde, trussel, operasjonskonsepter, taktikk og menneskelig atferd. Det betyr at det ikke er like hensiktsmessig å kalibrere og validere modellen mot et sett av observasjoner. I stedet må man ty til andre metoder, som f.eks. å benytte

domeneeksperter til å studere responsen til simuleringsmodellen på endringer i input og vurdere om denne er i overensstemmelse med deres erfaringer. Hvis man i tillegg benytter seg av godt validerte teorier og modeller til delmodeller, så kan dette samlet bidra til å gi tilstrekkelig tiltro til modellen og dens resultater. Kravene til validering vil variere ut fra hva modellen skal benyttes til. I en situasjon hvor målsettingen er å konsekvensberegne ulike handlemåter ved hjelp av ytelse og effektivitet vil kravene til validering være sterkere enn hvis modellen skal benyttes til å utforske oppførselen til systemet.

Simuleringsmetode bør som nevnt velges med bakgrunn i problemanskuelse – er problemet å forstå oppførselen til et system eller å gjøre kvantitative analyser? SD og ABS er egnet for å utforske oppførselen til systemer, mens statisk MC og DHS er bedre egnet til mer detaljerte konsekvensberegninger. For å kunne utnytte simulering innen OA på en god måte bør man derfor ha kjennskap til disse fire hovedkategoriene av simuleringsmetoder og deres anvendelsesområder, slik at man kan velge den metoden som passer best med problemet som skal studeres. Det er naturligvis i tillegg viktig å ha tilgang til verktøy som støtter de ulike metodene.

## 5 Optimering

Til forskjell fra eksempelvis flermålsanalysemetoder, kapittel 3, er hensikten med optimering å finne den optimale løsningen på et beslutningsproblem. Optimering har derfor en sentral plass innen OA. Til tross for dette har optimering bare vært brukt i beskjedent grad innenfor OA-miljøet ved instituttet. Prosjektet har sett på tradisjonell matematisk optimering (eksakte metoder) som f.eks. lineærprogrammering og heltallsprogrammering, og heuristiske metoder som gir en praktisk tilnærming til optimeringsproblemer som vanskelig lar seg løse med eksakte metoder.

### 5.1 Eksakte optimeringsmetoder

Eksakte optimeringsmetoder omfatter metoder der man er garantert å finne den beste løsningen blant de alternativene man vurderer. Det finnes mange metoder som kan anvendes alt avhengig av problemets natur. For problemer som lar seg representere med en lineær modell, er Simplex-metoden effektiv til å finne løsninger. Er problemet et typisk heltallsproblem, så kan forskjellige fremgangsmåter anvendes. En mye benyttet metode for å løse lineære heltallsproblemer er den såkalte Branch and bound-algoritmen, eller varianter av denne. En annen er dynamisk programmering.

Prosjektet har gjennomført to oversiktsstudier av optimeringsmetoder. Den første [8] tar for seg et bredt spekter av metoder egnet til å løse forskjellige problemstillinger relatert til f.eks. ressursutnyttelse, arealutnyttelse, ruteproblemer og logistikk. Den andre [9] gir en kortfattet innføring i lineær- og heltallsprogrammering med eksempler på bruk fra NATOs Defence Requirements Review (DRR).

## 5.2 Heuristiske metoder

Når optimeringsproblemer blir så store og komplekse at de vanskelig lar seg løse eksakt tyr man til heuristiske metoder. Disse metodene søker igjennom et stort antall mulige løsninger for å finne den beste. Heuristiske metoder garanterer ikke at man finner den optimale løsningen, men at man finner gode og lovlige løsninger innenfor de beskrankningene som er gitt. Eksempler på kjente heuristiske metoder er genetiske algoritmer, tabusøk og simulated annealing.

I mange reelle problemer vil bruk av heuristiske metoder være å foretrekke mht. kjøretid. Metodene kan også gi større fleksibilitet enn tradisjonelle optimeringsmetoder ved at de enkelt kan integreres i f.eks. simuleringsmodeller. I [17] vises det hvordan et optimeringsverktøy basert på en genetisk algoritme kan brukes til å støtte ressursallokering i militære operasjoner. Slike allokeringsproblemer er komplekse og lar seg vanskelig løse eksakt ved hjelp av tradisjonelle optimeringsmetoder.

## 5.3 Flermåloptimering

I [10] gis en innføring i bruk av flermåloptimering. Flermåloptimering forstås her som å optimere mot to eller flere mål som kan være i konflikt med hverandre. For denne typen problemer vil det sjelden finnes én enkelt løsning som samtidig er optimal på alle målene. Vi er ute etter å finne mengden av løsninger som ikke domineres av andre, dvs. paretoløsninger som ligger på det som kalles paretofronten. Rapporten tar for seg et eksempel hvor genetiske algoritmer benyttes til å bestemme paretofronten for løsninger av et ressursallokeringsproblem i militære operasjoner. I eksemplet er det to mål som løsningene ønskes optimert mot; minimering av tids- og ressursbruk.

## 5.4 Erfaringer

Optimering har en sentral plass innenfor OA. I flere sammenhenger settes det sågar likhetstegn mellom OA og optimering. Prosjektet har gjennomført fire studier knyttet til optimering som gir en oversikt over forskjellige metoder og anvendelser av disse.

Det å kjenne til den optimale løsningen kan være nyttig i mange sammenhenger. Løsningen kan fungere som en målestokk som man vurderer andre løsninger opp mot. En optimeringsmodell kan også benyttes til å utforske optimale løsninger når f.eks. input og/eller beskrankningene endres. På denne måten kan optimering benyttes til å generere løsningsalternativer som kan være gjenstand for videre analyse og bruk av andre metoder, som f.eks. flermålsanalyse. Optimering kan inngå som en av flere metoder i en større analyseprosess.

Bruk av optimering krever en presis problemformulering, en presis matematisk representasjon av problemet og et optimeringsverktøy for å implementere dette. Optimering kan være tids- og ressurskrevende for større og ikke-trivielle problemer.

Det krever en viss erfaring for å kunne se mulighetene som ligger i å benytte optimering til å løse større eller mindre beslutningsproblemer. Det er ofte nyttig å utforske optimeringsproblemet ved

å lage mindre og enkle modeller, som raskt kan implementeres i et egnet verktøy. Her kan f.eks. Solverfunksjonen i Excel benyttes. Optimering kan anvendes på mange av de problemstillingene som OA-miljøet ved FFI arbeider med, f.eks. innen logistikk, ressursallokering, gap-analyser og investeringsbeslutninger.

Tilgang til gode verktøy er viktig for å kunne bygge og løse optimeringsmodeller. For enkle modeller kan enkle verktøyer benyttes, men for større modeller kan det være mye å tjene på å ha gode verktøyer, som f.eks. CPLEX, hvor man kan benytte vanlige programmeringsspråk som Java og C++ for å integrere optimering i andre applikasjoner.

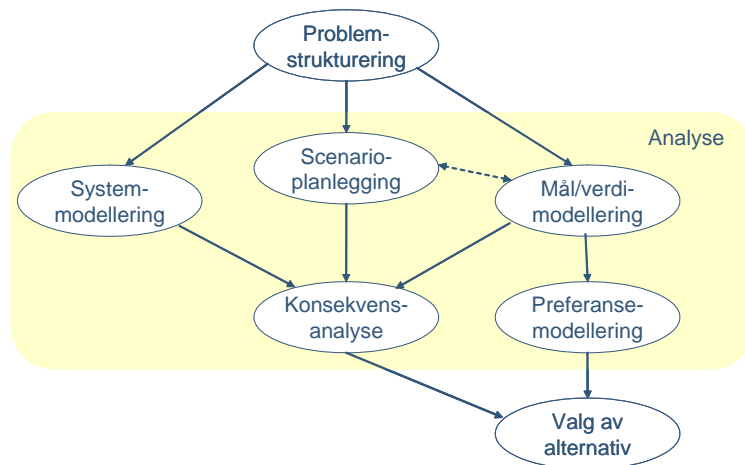
## 6 Anvendelser av OA-metoder

Praktisk anvendelse av OA dreier seg om å analysere komplekse beslutningsproblemer hvor det normalt er en stor grad av usikkerhet involvert. Som beskrevet innledningsvis i kapittel 1, bør et godt og fullstendig beslutningsgrunnlag bestå av en vurdering og rangering av beslutningsalternativene med tilhørende vurderinger av usikkerhet. OA-prosessen som er gjengitt i figur 1.1, viser trinnene i en OA-analyse. Modellen er generisk og må derfor tilpasses det beslutningsproblemet som skal analyseres.

En nyttig fremgangsmåte er å utarbeide et metoderammeverk som en del av problemstruktureringen (trinn 2 i OA-prosessen). Metoderammeverket er en tilpassing og konkretisering av OA-prosessen som gir en overordnet struktur på analysen, men som videre må operasjonaliseres ved at man setter sammen metoder som er egnet for problemet og som passer godt sammen. Den største verdien av et metoderammeverk ligger i at det oppfordrer til en strukturert gjennomtenkning av analyseprosessen på et tidlig stadium. Det gir også et godt grunnlag for å få med seg alle sentrale momenter i analysen og egner seg godt til å kommunisere analyseprosessen til oppdragsgiver og andre interessenter.

### 6.1 Metoderammeverk for analyse av kriseberedskap

I figur 6.1 vises et metoderammeverk som ble utarbeidet av GOAL i forbindelse med analyse av krisehåndtering [15]. Problemet som ble analysert dreiet seg om hvor god oljevernberedskapen i nordområdene er ved et større oljeutslipp. Formålet med denne analysen var først og fremst å teste ut metoderammeverket og sammensetninger av metoder – ikke å komme frem til anvendbare resultater.



Figur 6.1 Metoderammeverk for analyse av krisehåndtering

Rammeverket følger trinnene i OA-prosessen fra problemstrukturering via modellering og analyse frem til en anbefaling. De to-tre første trinnene av SSM ble benyttet som problemstrukturerende metode. Denne ledet til en konkret problemformulering og et rikholdig bilde med relevant informasjon for den videre modellerings- og analyseprosessen. Diskusjoner knyttet til problemformulering og det rikholdige bildet ledet også frem til en rekke beslutningsalternativer. For å kunne konsekvensberegne de ulike alternativene ble det utviklet en statisk MC-modell som ble implementert i Crystal Ball.<sup>4</sup> Det ble utviklet tre scenarier som grunnlag for analysene og konsekvensberegningene. Disse inneholder eksterne, ukontrollerbare faktorer som kan ha betydning for beslutninger vedrørende den fremtidige beredskapen. Det er viktig å sikre at scenariene er relevante i den forstand at de danner gode testomgivelser for alternativene samtidig som de også evner å skille mellom disse. I [15] beskrives en fremgangsmåte hvor vi kombinerer en metode som benevnes metoden med ”drivende krefter” med morfologisk analyse for å generere et fåtalls scenarier direkte relatert til problemstillingen som skal analyseres. For å rangere alternativene ble det utviklet en flermålsanalysemodell med mål og kriterier som evner å skille mellom alternativene. Det ble benyttet en enkel verdifunksjonsmetode hvor preferansene uttrykkes ved hjelp av verdifunksjoner og vektorer knyttet til de enkelte målene og kriteriene.

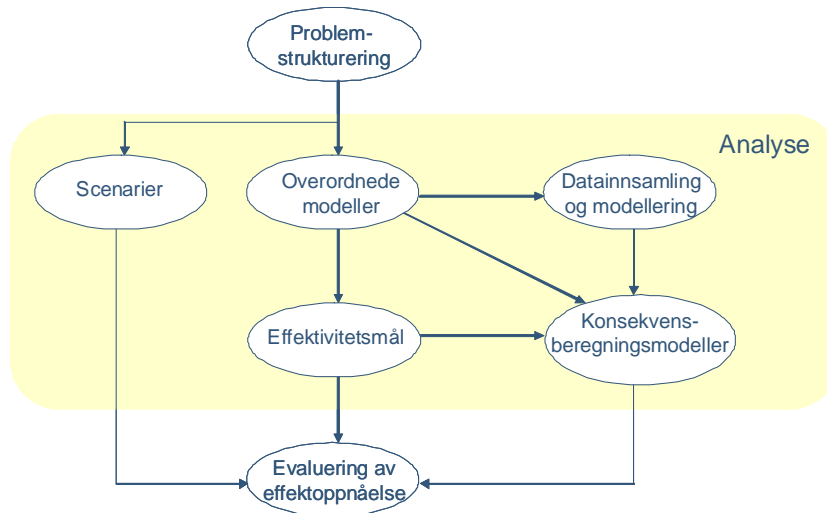
## 6.2 Analyse av fredsstøttende operasjoner

På tilsvarende måte som i kapittel 6.1 er det utarbeidet et rammeverk for evaluering av effektoppnåelse i fredsstøttende operasjoner [18]. Det er to sentrale problemer relatert til dette, det å støtte planlegging ved å kunne forutsi effektiviteten av forskjellige virkemidler og handlemåter, og det å støtte evaluering ved å kunne måle progresjon i forhold til fastsatte mål. Fredsstøttende operasjoner innebærer å kunne påvirke komplekse sosiale systemer i en ønsket retning for å skape grobunn for stabilitet og en lokal ledet, selv bærende fred. Dette krever kunnskap om psykososiale og sosiokulturelle faktorer og hvordan disse påvirker måloppnåelse [14]. Det er to fundamentale forutsetninger for å kunne analysere fredsstøttende operasjoner; å ha kjennskap til kausale sammenhenger mellom virkemidler og konsekvenser, og videre om

<sup>4</sup> Crystall Ball Risk Analysis Software and Solutions, Decisioneering: [www.decisioneering.com](http://www.decisioneering.com)

konsekvensene bidrar til måloppnåelse. Graden av måloppnåelse måles ved hjelp av effektivitetsmål.

Figur 6.2 viser en mulig fremgangsmåte for å evaluere effektoppnåelse. Rammeverket er beskrevet mer detaljert i [18].



Figur 6.2 Metoderammeverk for analyse av fredsstøttende operasjoner.

I rammeverket skilles det mellom overordnede modeller og modeller for konsekvensberegninger. Hensikten med de overordnede modellene er å oppnå en mer formell representasjon av systemet som beslutningsproblemene er en del av. Disse modellene er relativt grovkornede og inneholder faktorer og relasjoner som er viktige for problemene som skal analyseres. Modellene utvikles med utgangspunkt i de problemstillingene som er identifisert i problemstrukturingsfasen. Forskjellige typer modelleringsmetoder kan benyttes – vi fant det hensiktsmessig å benytte kausale løkkediagrammer (KLD). Disse diagrammene er godt egnet til å representere kausale sammenhenger og krever i utgangspunktet ikke så mye data. KLD-modellene vil være et godt utgangspunkt for videre detaljering av beslutningsproblemene og vil sammen med annen informasjon fra problemstruktureringen danne utgangspunktet for datainnsamling, utarbeidelse av alternative handlemåter og utvikling av konsekvensberegningsmodeller.

Som for rammeverket presentert i kapittel 6.1 utarbeides det et fåtalls relevante scenarier som benyttes som testomgivelser for beslutningsproblemene. For å kunne vurdere godheten til beslutningsalternativene og progresjon i forhold til definerte mål og effekter er det nødvendig å etablere gode og relevante effektivitetsmål (Measures of effectiveness – MOE). MOE-er benyttes som grunnlag for å vurdere om man gjør de riktige tingene ved at de indikerer hvor godt et system utfører sine oppgaver i forhold til definerte effekter og mål. Konsekvensberegning-modellene vil knytte konsekvenser til alternative handlemåter, som videre uttrykkes ved hjelp av effektivitetsmålene. Samlet bidrar dette til evaluering av effektoppnåelse til støtte for planlegging og evaluering.



### 6.3 Ressursutnyttelse

Det å sikre god utnyttelse av tilgjengelige ressurser er en tradisjonell problemstilling innen OA, og ofte benyttes optimering til dette. Det finnes mange forskjellige optimeringsmetoder som i prinsippet kan benyttes – både eksakte og heuristiske metoder. I GOAL valgte vi å se nærmere på ressursallokering i forbindelse med å støtte planlegging av militære operasjoner, dvs. metoder som kan bidra til bedre allokering av styrker til forskjellige oppdrag over en bestemt tidsperiode (troop-to-task). Et vanlig problem er at man opplever knapphet på ressurser i forhold til antall oppdrag som ønskes løst. Dette stiller krav til strenge prioriteringer og god utnyttelse av de ressursene man har tilgjengelig. Optimeringsproblemer av denne typen er ofte så omfattende og komplekse at det ikke er hensiktsmessig å løse dem ved hjelp av eksakte metoder, men man må ty til heuristiske metoder.

I dag gjøres troop-to-task-analysene manuelt fordi det ikke finnes gode nok verktøy tilgjengelig. Å benytte optimering til å støtte denne prosessen kan være nyttig. Et optimeringsverktøy vil raskt kunne generere gode planer innenfor gitte rammebetingelser og derfor kunne brukes til å studere konsekvenser av endringer i f.eks. antall oppdrag, oppdragenes varighet og prioritet og endringer i ressurstilgang. Eksempelvis vil man kunne finne ut hvor mange ressurser av en gitt type man mangler for å kunne gjennomføre en plan innenfor tidsfristen, og hva konsekvensene er i form av tidsbruk hvis man bruker en ressurs mindre.

I [17] vises det hvordan et optimeringsverktøy kan brukes til å støtte ressursallokering i militære operasjoner. Verktøyet er basert på en genetisk algoritme som er en heuristisk metode som søker ”intelligent” etter løsninger på problemet. Slike metoder kan godt finne optimale løsninger, men man er ikke garantert at det vil skje. I hvert fall finner man som regel løsninger som er gode nok. Det bør understreke at verken optimering eller andre OA-metoder er ment å erstatte fagmilitære vurderinger, men er et supplement som i dette tilfellet kan bidra til å forbedre og forenkle ressursallokeringsproblematikken.

### 6.4 Håndtering av usikkerhet

Håndtering av usikkerhet er et viktig tema men tillegges ikke nødvendigvis stor vekt i anvendte analyser. En av grunnene til dette er nok at det er vanskelig å gi noen kvalifisert vurdering av den totale usikkerheten knyttet til resultatene av en analyse fordi det ofte er mange usikkerhetsbidrag knyttet til inputdata, modeller og eksterne, ukontrollerbare forhold. Det kan skilles mellom usikkerhet relatert til eksterne faktorer og den fremtidige utviklingen av disse (scenario); usikkerhet knyttet til inputdata og modelleringen av disse; og usikkerhetsfaktorer knyttet til selve modellen og hvor korrekt og komplett denne er i forhold til det man ønsker å modellere. Under gis en kortfattet beskrivelse av de forskjellige usikkerhetsbidragene og noen metoder for å håndtere disse.

#### Scenarier

Et scenario er en beskrivelse av en mulig fremtidig situasjon og utviklingen frem mot denne. Scenariene reflekterer den delen av usikkerheten som er knyttet til eksterne og ukontrollerbare

faktorer som kan påvirke resultatet av en beslutning. Denne usikkerheten betegnes ofte epistemisk / streng usikkerhet, som betyr at vi har manglende kunnskap om utviklingen av disse faktorene. Legges dette til grunn følger det også at det er meget tvilsomt å hevde at et scenario er mer sannsynlig enn et annet. Scenariene skal danne plausible og gode testomgivelser for beslutningsalternativene. I en analyse er det vanlig å benytte to eller flere scenarier for å belyse denne usikkerheten,

Et viktig moment er troverdigheten til scenariene. En analyse som er tuftet på et scenariogrunnlag som ikke virker troverdig i beslutningstakers øyne, vil sannsynligvis ikke tillegges stor vekt. Scenarioutvikling følger naturlig etter problemstruktureringen, og det er viktig at beslutningstaker involveres i denne prosessen. Bruk av militære styrker skjer som oftest i ekstreme situasjoner, men man bør ikke basere analysene på ekstremscenarier (det best og verst tenkelige hendelsesforløp) innenfor disse situasjonene alene, da disse ofte oppleves som mindre realistiske enn mer moderate scenarier. Et annet problem med ekstremscenarier er at det kan være vanskelig å finne gode løsninger, fordi ekstremsituasjoner ofte stiller vesentlig forskjellige krav til løsningene og det blir dermed vanskeligere å finne et godt alternativ.

Det finnes mange metoder for utvikling av scenarier. I GOAL har vi sett på en kombinasjon av to forskjellige metoder; metoden med drivende krefter kombinert med morfologisk analyse. Metoden med drivende krefter er beskrevet i [24;25]. Denne metoden starter med en idégenereringsfase hvor man kommer opp med momenter som har betydning for beslutningene som skal fattes. Disse momentene sorteres iht. to kriterier: grad av forutsigbarhet og grad av betydning/konsekvenser. Momenter som har lav grad av forutsigbarhet og store konsekvenser, danner grunnlaget for å identifisere ”drivende krefter”. Dette er bakenforliggende faktorer som anses å ha stor betydning for utviklingen av de lite forutsigbare faktorene. De drivende kreftene som har størst betydning for beslutningsproblemet velges, og disse danner utgangspunktet for scenariene. For hver av de drivende kreftene anslår man hvilke verdier disse kan ta, og scenariene komponeres ved å kombinere verdier på de drivende kreftene. Dette kan resultere i svært mange aktuelle kombinasjoner av parametre. For å redusere antallet aktuelle kombinasjoner kan man med fordel anvende morfologisk analyse hvor man sammenlikner verdiene på de ulike drivende kreftene parvis for å eliminere kombinasjoner som ikke er konsistente. På denne måten reduseres antall kombinasjoner samtidig som man sikrer at scenariene er internt konsistente. Et eksempel på anvendelse av denne fremgangsmåten er gitt i [15].

### **Datainnsamling og datamodellering**

Usikkerhet knyttet til modellparametere hvor en har tilgang på informasjon om hvilke verdier parameterne normalt kan ta, representeres ved hjelp av sannsynlighetsfordelinger. Denne formen for usikkerhet betegnes ikke-streng usikkerhet eller aleatorisk usikkerhet. Sannsynlighetsfordelingene modelleres ut fra av innsamlede data og, jo mer informasjon en har jo bedre blir normalt representasjonen. En vanlig fremgangsmåte er å benytte innsamlede data til å parameterisere fordelingene, dvs. tilpasse en kjent fordeling til dataene. Dette er beskrevet i større grad av detalj i [12;26].

En problem man ofte møter på er mangel på data, dvs. at man ikke har nok informasjon til å kunne lage troverdige sannsynlighetsfordelinger for parameterne. Dette problemet er ytterligere aktualisert ved en økt vektlegging av menneskelige faktorer i våre analyser. For å håndtere dette må man gjøre bruk av et bredere spekter av kilder som kanskje kan gi informasjon om formen på fordelingen. Her kan f. eks. informasjon fra meningsmålinger, kunnskap fra domeneeksperter (subject matter experts – SME) og informasjon fra media, benyttes sammen med statistiske data. Utfordringen ligger i å kombinere informasjonen fra de ulike kildene. Dette teamet behandles i [12].

### **Usikkerhet knyttet til modellering**

En modell kan forstås som en forenklet representasjon av et system, med de samme relevante egenskapene som det virkelige systemet. OA-modeller utvikles ofte i forbindelse med analyser av beslutningsproblemer hvor en ønsker å beregne/belyse konsekvenser av ulike virkemidler og handlemåter. Beslutningsproblemet vil således diktere hvilke deler av virkeligheten som det er relevant å representere i modellen, samt hvor detaljert representasjonen skal være.

Et sentralt spørsmål i denne modellutviklingsprosessen er om modellen er komplett, dvs. hvorvidt alle relevante egenskaper i systemet er representert, og om modellen er korrekt, dvs. at den er en god nok representasjon av virkeligheten. Vurderinger av modellens komplettethet og korrekthet er en svært viktig del av modelleringen og refereres ofte til som validering. Valideringsprosessen er svært viktig for å bygge tiltro til modellen og de resultatene den produserer.

Validering er et vanskelig tema, spesielt når det gjelder modeller av systemer som ennå ikke er uttestet slik at man ikke har erfaringsdata tilgjengelig. Ofte benyttes derfor domeneeksperter for å sjekke om modellen gir fornuftige resultater når inputparametrene varieres (sensitivitetsanalyser). Hvis mulig kan man også bygge modellen på metoder, modeller og teorier som har stor validitet uten at man av den grunn kan garantere at summen av delene automatisk vil være valid, jf. kapittel 4.5. En fornuftig fremgangsmåte for å sikre validiteten til en modell er å legge vekt på problemstrukturering, involvere domeneeksperter tidlig i modellutviklingsprosessen og samtidig sørge for at modell og metoder er godt dokumentert.

## **7 Oppsummering**

Mange av instituttets analyser dreier seg om å støtte viktige beslutningsprosesser ved å bidra til et godt beslutningsgrunnlag. Det gjøres analyser innenfor bl.a. langsiktig strukturplanlegging, materiellanskaffelser, operasjoner, logistikk og samfunnssikkerhet. Det metodiske grunnlaget for disse analysene faller i stor grad inn under fagområdet operasjonsanalyse (OA). GOAL-prosjektene overordnede målsetting har vært å bidra til å styrke instituttets kompetanse innen OA.

Disse analyseproblemene er ofte omfattende og komplekse, slik at det på forhånd ikke nødvendigvis er gitt hva som er de sentrale problemstillingene for analysen. Bruk av etablerte problemstrukturerende metoder gir en utprøvd og sporbar fremgangsmåte for å identifisere de

viktige problemene slik at analysearbeidet kan komme inn på riktig spor fra begynnelsen av. Disse metodene har mekanismer for å komme frem til en omforent virkelighetsforståelse gjennom involvering av gruppen med interessenter. En godt gjennomført problemstrukturering hjelper ikke bare til med å identifisere sentrale problemstillinger, men gir også mye verdifull informasjon til flere av de etterfølgende trinnene i analyseprosessen, som f. eks. valg av metoder og modeller.

Prosjektene har gode erfaringer med bruk av deler av Soft Systems Methodology (SSM) for problemstrukturering. Dette er en omfattende multimetode, som kan benyttes i sin helhet til å finne, formulere og løse aktuelle problemer, eller man kan benytte deler av denne til f.eks. problemstrukturering. I tillegg kan det være nyttig å ha kjennskap til en enkel idégenereringsmetode, som f.eks. Oval Mapping Technique (OMT).

En viktig kategori av OA-metoder er de som bidrar til å rangere beslutningsalternativer. To sentrale tilnæringer er flermålsanalyser og optimering. Flermålsanalyse hjelper til med å finne det beslutningsalternativet som i størst grad stemmer overens med beslutningstakers og/eller interessentenes preferanser. Det finnes et stort utvalg av denne typen metoder. For å kunne velge riktig metode for beslutningsproblemet og anvende denne på en god måte er det viktig å kjenne til styrker og svakheter med de ulike metodene og det prinsipielle grunnlaget disse bygger på. I praktiske anvendelser er nyttig å kunne bruke en enkel metode, som f.eks. Even Swap, og en verdifunksjonsmetode, som f. eks. SMART. Flermålsanalysemodeller blir ofte store og komplekse. Det er derfor viktig å ha et godt flermålsanalyseverktøy tilgjengelig, men også huske på at modellene bør være så enkle som mulig – mål og kriterier som ikke skiller mellom alternativene, har ingen betydning for beslutningen.

Optimering er en klassisk OA-metode – i flere sammenhenger settes det sågar likhetstegn mellom OA og optimering. Til forskjell fra flermålsanalyse så er hensikten med optimering å finne den beste løsningen innenfor de begrensningene som er gitt. Vellykket bruk av optimering ligger i evnen til å kunne formulere problemet som en matematisk modell og implementere modellen i et egnet verktøy. Det er viktig å ha grunnleggende kjennskap til optimeringsmetoder for lettere å kunne identifisere mulige anvendelsesområder. Et godt utgangspunkt er lineærprogrammering og Simplex-metoden, og eventuelt Branch and bound-algoritmen for heltallsprogrammering. I tilfeller der optimeringsproblemene blir for omfattende til at det er hensiktsmessig å løse dem eksakt, kan det være nødvendig å ty til heuristiske metoder. I GOAL ble en genetisk algoritme benyttet for å finne løsninger på et komplekst ressursallokeringsproblem. De fleste optimeringsmetoder er designet for å optimere mot et bestemt mål (en objektfunksjon). I en beslutningssituasjon vil man ofte ha flere mål man ønsker å optimere mot samtidig. Her finnes det flere optimeringsmetoder som kan benyttes – både eksakte og heuristiske metoder.

Simulering har tradisjonelt blitt benyttet til ytelses- og effektivitetsberegninger i forbindelse med analyse av høyintensive militære operasjoner hvor slutttilstanden har vært relativt veldefinert, som f.eks. tap eller seier. I fredsstøttende operasjoner og krisehåndtering er ofte ikke slutttilstanden like veldefinert. Dette sammen med økt vektlegging av menneskelige faktorer som holdninger og sosial atferd, har gjort det vanskeligere å definere egnede effektivitetsmål som grunnlag for

utviklingen av simuleringmodeller. Utviklingen går derfor i retning av mer problemorienterte modeller hvor anvendelse og gyldighet er nært knyttet til det eller de problemene som modellen er laget for å studere. En annen følge av dette er at det legges mindre vekt på beregning av absolutte verdier for ytelse og effektivitet, og mer vekt på å benytte simulering til å utforske oppførselen til systemer. Både statisk Monte Carlo-simulering, systemdynamikk og diskret hendelsesstyrt simulering, er godt egnet for slike problemorienterte modeller.

Simuleringsmetodene nevnt over er ikke like godt egnet til å representere menneskelig oppførsel. Det er av denne grunn nødvendig å se på alternative metoder og modeller for å inkludere dette aspektet i analysene. Agentbasert simulering av komplekse adaptive systemer (KAS) virker meget lovende i så hensende, men er noe umodent hva angår praktiske anvendelser. Det observeres en tiltagende interesse for KAS internasjonalt, spesielt mht. anvendelser innenfor analyser av krisehåndtering og fredsstøttende operasjoner.

En sentral ingrediens i et beslutningsgrunnlag er usikkerhetsvurderinger rundt de resultatene man har kommet frem til. Eksterne, ukontrollerbare faktorer håndteres normalt ved hjelp av scenarier. Disse bør være relevante for beslutningsproblemet i den forstand at de på en god måte skiller mellom alternativene. For å støtte opp under utviklingen av gode og relevante scenarier benyttet vi oss av en kombinasjon av metoden med ”drivende krefter” og morfologisk analyse.

Det er en kjensgjerning at uansett hvor god en modell er så blir ikke resultatene bedre enn det kvaliteten på inputdataene tillater. Dette poenget understreker viktigheten av datainnsamling og modellering. I stokastiske modeller uttrykker man usikkerheten i inputparametrene ved hjelp av sannsynlighetsdistribusjoner som genereres på bakgrunn av innsamlede data. I konkrete analyser opplever man ikke sjelden at det er vanskelig å få tak i gode data. Man må da gjøre bruk av forskjellige kilder – både kvantitative og kvalitative – for å få nok informasjon til å kunne lage fornuftige sannsynlighetsfordelinger. Utfordringen her ligger i å sammenstille informasjonen fra ulike kilder.

Analyseproblemer vi står ovenfor er normalt omfattende og komplekse slik at de ikke kan løses av en enkelt metode alene. Vi mener derfor at det bør utarbeides metoderammeverk som en del av problemstruktureringen. Med et slik rammeverk får man en strukturert gjennomtenkning av analyseprosessen på et tidlig stadium og dermed et godt grunnlag for å få med seg alle sentrale momenter i analysen.

GOAL-prosjektene overordnede målsetting har som nevnt vært å bidra til å styrke instituttets kompetanse innen OA. Dette innebærer å peke på det brede spektret av OA-metoder som er aktuelle, og utviklingstrender som gjør seg gjeldende innenfor dette fagområdet. GOAL-prosjektene har gjennomført en rekke kompetansehevende aktiviteter på FFI og har dokumentert og presentert arbeidet gjennom et stort antall rapporter og presentasjoner. Den praktiske nytten av dette arbeidet for instituttet som helhet kan imidlertid først bedømmes over tid. Prosjektene har deltatt i internasjonalt samarbeid innenfor NATO RTO og ANNCP WG IX. Dette sammen med

deltakelse på symposier og konferanser har vært viktig for å kvalitetssikre egne arbeider og som inspirasjon for videre arbeid.

## Referanser

- [1] Morse, P. M. og Kimball, G. E., *Methods of Operations Research*. Mineola, New York: Dover Publications, Inc, 2003.
- [2] Rosenhead, J. og Mingers, J., *Rational analysis for a problematic world revisited*. Chichester, England: John Wiley and Sons, 2001.
- [3] Gilljam, M. og Ljøgdø, H., "Problem Structuring Methods", FFI-rapport 2005/00852, 2005.
- [4] Malerud, S. og Kråkenes, T., "Metoder for flermålsanalyse – En oversiktsstudie fra GOAL", FFI-rapport 2005/03041, 2005.
- [5] Kråkenes, T. et al., "Simuleringsmetoder innen OA", FFI-rapport 2007/00297, 2006.
- [6] Sendstad, O. J. et al., "Agent Based Modelling and Simulation – applicability within OR at FFI", FFI-rapport 2007/00164, 2007.
- [7] Malerud, S., "Modelling human social behaviour in conflict environments using complex adaptive systems", FFI-rapport 2008/02200, 2008.
- [8] Fauske, M., "Optimeringsmetoder innen operasjonsanalyse - en oversiktsstudie", FFI-rapport 2008/00123, 2008.
- [9] Sundfør, H. O., "Lineær programmering og Mixed integer programmering i strukturanalyser – Grunnlag og erfaringer", FFI-rapport 2006/00241, 2006.
- [10] Fauske, M., "Bruk av flermåloptimering i operasjonsanalyse - case: Ressursallokering i militære operasjoner", FFI-notat 2008/01916, 2008.
- [11] Dahl, F., "Bayesianske metoder for estimering av driftskostnadsvekst", FFI-rapport 2005/01676, 2005.
- [12] Ljøgdø, H., "Innsamling og modellering av data for analyse av militære operasjoner", FFI-rapport 2008/01591, 2008.
- [13] Gilljam, M., "Oversikt over internasjonale OA-miljø – konferanser, journaler og organisasjoner", FFI-rapport 2005/01802, 2005.
- [14] Hellum, N., "Menn i dumme kjoler - En antropologisk studier av menneskelige faktorer i fredsstøttende operasjoner", FFI-rapport 2009/00129, 2009.
- [15] Ljøgdø, H. et al., "Metoderammeverk for analyse av krisehåndtering og lavintensitetskonflikter", FFI-rapport 2007/01813, 2007.
- [16] Graasvoll, O., "Sustainability simulations for fighter aircrafts in peace and at war", FFI-notat 2005/03849, 2009.
- [17] Fauske, M., "Resource allocation in military operations - optimization using a genetic algorithm", FFI-rapport 2008/01317, 2008.
- [18] Malerud, S. og Fauske, M., "Modellering av fredsstøttende operasjoner - sammenfattende studie fra GOAL", FFI-rapport under utgivelse, 2009.

- [19] Ljøgodt, H. og Marthinussen, E., "En vurdering av datausikkerheten i noen åpne kilder som beskriver sikkerhetssituasjonen i Afghanistan", FFI-rapport 2009/00324, 2009.
- [20] Eriksson, E. A., "Metoder för strukturerat brainstorming", ISSN 1650-1942, 15, 2003.
- [21] Checkland, P. og Scholes, J., *Soft Systems Methodology in Action*. Chichester, England: Jhon Wiley & Sons, LTD, 1999.
- [22] Jordanger, I., Malerud, S., Minken, H., og Strand, A., "Flermålsanalyse i store statlige investeringsprosjekt", Concept-programmet, Conceptrapport nr 18, 2007.
- [23] Hammond, J. S., Keeny, R. L., og Raiffa, H., *Smart Choices - A practical guide to making better decisions*. Boston, Massachusetts: Harvard Buisiness School Press, 1999.
- [24] Goodwin, P. og Wright, G., *Decision analysis for management judgement*. Chichester, England: Jhon Wiley & Sons, 1998.
- [25] van der Heijden, K., *Scenarios - The art of strategic conversation*. Chichester, England: John Wiley & sons, 1996.



## Forkortelser

ABMS	Agentbasert modellering og simulering
AHP	Analytical Hierarchical Process
ANNCP	Anglo Netheland Norwegian Cooperation Project
CAS	Complex Adaptive Systems
DHS	Diskret hendelsesstyrt simulering
DKV	Driftskostnadsvekst
GOAL	Grunnlagsforskning operasjonsanalyse (FFI-prosjekt 1004 og 1068)
KAS	Komplekse adaptive systemer
KLD	Kausale løkkediagrammer
MC	Monte Carlo
MIP	Mixed Integer Programming
MOE	Measures of Effectiveness
OA	Operasjonsanalyse
OMT	Oval Mapping Technique
OR	Operational Research
PSM	Problemstrukturerende metoder / Problem Structuring Methods
RTO	Research and Technology Organization
SAS	System Analysis and Studies
SD	Systemdynamikk
SMART	Simple Multi-Attribute Rating Technique
SMC	Statisk Monte Carlo
SME	Subject Matter Expert
SSM	Soft Systems Methodology