

FFI RAPPORT

METODE FOR ANALYSE AV SÅRBARHETS- REDUSERENDE TILTAK INNEN TELE- KOMMUNIKASJON - PROBLEMATISERING OG TEORETISK TILNÆRMING

NYSTUEN Kjell Olav, HAGEN Janne Merete

FFI/RAPPORT-98/06261

FFISYS/740/204.0

Godkjent
Kjeller 30 mai 2000

Ragnvald H Solstrand
Forsknings sjef

**METODE FOR ANALYSE AV SÅRBARHETS-
REDUSERENDE TILTAK INNEN TELE-
KOMMUNIKASJON - PROBLEMATISERING OG
TEORETISK TILNÆRMING**

NYSTUEN Kjell Olav, HAGEN Janne Merete

FFI/RAPPORT-98/06261

FORSVARETS FORSKNINGSINSTITUTT
Norwegian Defence Research Establishment
Postboks 25, 2007 Kjeller, Norge

FORSVARETS FORSKNINGSPINSTITUTT (FFI)
Norwegian Defence Research Establishment
 P O BOX 25
 2007 KJELLER, NORWAY
REPORT DOCUMENTATION PAGE

UNCLASSIFIED

SECURITY CLASSIFICATION OF THIS PAGE
 (when data entered)

1) PUBL/REPORT NUMBER FFI/RAPPORT-98/06261	2) SECURITY CLASSIFICATION UNCLASSIFIED	3) NUMBER OF PAGES 48
1a) PROJECT REFERENCE FFISYS/740/204.0	2a) DECLASSIFICATION/DOWNGRADING SCHEDULE -	
4) TITLE METODE FOR ANALYSE AV SÅRBARHETSREDUSERENDE TILTAK INNEN TELEKOMMUNIKASJON - PROBLEMATISERING OG TEORETISK TILNÆRMING (Methodology for Analysis of Counter-Vulnerability Measures in Telecommunication – Problem Discussion and Theoretical Approach)		
5) NAMES OF AUTHOR(S) IN FULL (surname first) NYSTUEN Kjell Olav, HAGEN Janne Merete		
6) DISTRIBUTION STATEMENT Approved for public release. Distribution unlimited. (Offentlig tilgjengelig)		
7) INDEXING TERMS IN ENGLISH:		
a) <u>Consequence Analysis</u>		IN NORWEGIAN:
b) <u>Multi Criteria Analysis</u>		a) <u>Konsekvensanalyse</u>
c) <u>Cost-efficiency</u>		b) <u>Flermålsanalyse</u>
d) <u>Risk</u>		c) <u>Kosteffektivitet</u>
e) <u>Vulnerability</u>		d) <u>Risiko</u>
		e) <u>Sårbarhet</u>
THESAURUS REFERENCE:		
8) ABSTRACT The main goal of the FFI project “Protection of the society 2” is to analyse various means for reducing vulnerabilities in modern public telecommunication systems. This report presents the major methodological challenges and the methodological approach applied in the study of the telecommunication system. The theoretical basis for the following methods are briefly described: <ul style="list-style-type: none"> • Analysis of risk and vulnerability • Development and use of scenarios • Analysis of cost-efficiency of emergency efforts • Analysis of consequences, by use of simulation models, seminar games, system dynamic modelling and causal modelling • Preference analysis 		
9) DATE 30 May 2000	AUTHORIZED BY This page only Ragnvald H Solstrand	POSITION Director of Research

ISBN-82-464-0414-8

UNCLASSIFIED

SECURITY CLASSIFICATION OF THIS PAGE
 (when data entered)

INNHOOLD

	Side	
1	INNLEDNING	7
1.1	Bakgrunn	7
1.2	Formål og målgruppe	7
2	PROBLEMDISKUSJON	8
2.1	Sentrale problemstillinger	8
2.2	System og kompleksitet	10
2.3	Metodiske utfordringer	11
2.4	Håndtering av usikkerhet i datagrunnlag	12
2.5	Avgrensning og generalisering av resultater	12
3	TEORETISK REFERANSERAMME	13
3.1	Multimetodologi	13
3.2	Risiko- og sårbarhetsanalyse	14
3.2.1	Risikobegrepet	14
3.2.2	Sårbarhetsanalyse	16
3.2.3	Risikoanalyse	16
3.3	Bruk av scenarier	17
3.3.1	Generelt om scenarier	17
3.3.2	Den morfologiske metoden for scenarioutvikling	18
3.4	Kosteffektivitetsanalyse	19
3.4.1	Generelt om kosteffektivitetsanalyse	19
3.4.2	Effektivitetsbegrepet og effektivitetsberegning	20
3.4.3	Kostnadsberegning av tiltak	21
3.5	Modellering og analyse av konsekvenser	21
3.5.1	Generelt om konsekvensanalyse og konsekvensmodeller	21
3.5.2	Feiltreanalyse og hendelsestremetoden	22
3.5.3	Simuleringsmodeller	23
3.5.4	Kausalmodeller	24
3.5.5	Systemdynamikk	26
3.5.6	Seminarspill	28
3.6	Preferanseanalyse med flermålsanalyse	30
3.6.1	Generelt om preferanseanalyse og flermålsanalyse	30
3.6.2	”Analytical Hierachy Process”-metoden	31
4	ANALYSEMETODIKK I BAS2/SRT-PROSJEKTET	32
4.1	Informasjonsinnsamling	33
4.2	Sårbarheten i telenettet	34
4.3	Konsekvensanalyse	34
4.4	Effektivitet av tiltak	35

4.4.1	Flermålsanalyse	35
4.4.2	Feiltreanalyse	38
4.4.3	Samlet vurdering av flermålsanalysen og feiltranalysen	39
4.5	Kostnadsmodellering og kostnadsberegning av tiltak	40
5	OPPSUMMERING OG KONKLUSJON	42
APPENDIKS		
A	FORKORTELSER/BEGREPER	44
	Litteratur	45
	Fordelingsliste	47

METODE FOR ANALYSE AV SÅRBARHETSREDUSERENDE TILTAK INNEN TELEKOMMUNIKASJON - PROBLEMATISERING OG TEORETISK TILNÆRMING

1 INNLEDNING

1.1 Bakgrunn

Forsvarets forskningsinstitutt (FFI) har siden 1994 forsket på samfunnets sårbarhet gjennom forskningsprogrammet "Beskyttelse av samfunnet" (BAS). De tre første årene hadde forskningsarbeidet et generelt og overordnet perspektiv, hvor blant annet samfunnets sårbarhet ble studert på overordnet nivå. Formålet med aktiviteten var å bygge opp kompetanse om Det sivile beredskap, samfunnets sårbarhet og utfordringer i fred, krise og krig. I løpet av de generelle studiene ble det klart at det var et behov for utdypende studier av enkeltsektorer. Analyser av sårbarhet innen offentlig telekommunikasjon og forholdet til Totalforsvaret ble i første omgang analysert gjennom prosjektet BAS2/SRT¹.

I arbeidet med BAS2 er utvikling av en egnet analysemetodikk en viktig oppgave for å kunne komme opp med en anbefaling av sårbarhetsreduserende tiltak. Dette metodearbeidet er en videreføring av de mer generelle og overordnede metodestudiene innen Det sivile beredskap som ble gjennomført ved FFI i perioden 1996-97 (4)(5). Det har her vært lagt vekt på å gjøre seg nytte av FFIs metodekunnskap knyttet til strukturanalyser av Forsvaret.

1.2 Formål og målgruppe

BAS-programmets langsiktige formål er å bidra til et gjennomarbeidet konsept for beskyttelse av befolkningen og samfunnet for øvrig, samt støtte opp under en løpende prioritering og iverksetting av beskyttelsestiltak. BAS2/SRT-prosjektets mål er å analysere konsekvenser av svikt og vurdere tiltak som reduserer sårbarheten i offentlig telekommunikasjon. Her inngår det også å utvikle en god analysemetodikk.

Offentlig telekommunikasjon utgjør i seg selv en svært kompleks samfunnsfunksjon, som også karakteriseres ved gjensidige avhengigheter med andre komplekse samfunnsfunksjoner, for eksempel kraftforsyning. Koblingene mellom disse funksjonene blir med tiden tettere og tettere, og tid blir mer og mer kritisk. Kravet til metoder for å analysere slike systemer blir dermed også større. Det finnes ingen enkelt metode som alene kan brukes for å analysere denne typen problemstillinger. Derimot er det behov for en "verktøykasse" som inneholder metoder med ulik vinkling mot problemet.

Formålet med denne rapporten er å gå gjennom ulike typer mer eller mindre kjente metoder og teknikker og studere deres anvendelighet i sammenheng med den målsetting som BAS-

¹ Beskyttelse av samfunnet 2/Sårbarhetsreduserende tiltak innen telekommunikasjon.

prosjektene står overfor. Disse metodene og teknikkene spenner over et vidt felt med egenskaper og vil bli behandlet med ulik detaljgrad. Dette er dels avhengig av hvor aktuell den enkelte metoden rent intuitivt anses å være og dels avhengig av prosjektets kapasitet. Rapporten vil dermed dekke:

1. En problematisering rundt de analytiske og metodiske utfordringene som reiser seg i lys av prosjektets målsetting
2. En vurdering av et utvalg metoder og deres egnethet for analyse av de problemstillinger man her står overfor
3. En gjennomgang av metodeanvendelsen i prosjektet BAS2/SRT
4. En anbefaling av aktuelle metoder og teoretisk tilnærming for etterfølgende analyseprosjekter rettet mot Det sivile beredskap og samfunnsårbarhet

Målgruppen for rapporten er i tillegg til oppdragsgiverne, forskere, studenter og utredere som ønsker å sette seg inn i analyser av komplekse sosiotekniske² systemer og aktuelle teoretiske tilnæringsmåter og metoder.

2 PROBLEMDISKUSJON

2.1 Sentrale problemstillinger

Samfunnet er svært avhengig av telekommunikasjon. Mange tjenester i offentlig og privat virksomhet er i dag avhengig av at teletjenester er tilgjengelige, funksjonelle og pålitelige. Et godt utbygd og rimelig driftssikkert tilbud av teletjenester har gjennom flere tiår stimulert til en klar, allmenn tillit til offentlig telekommunikasjon. Få eller ingen er forberedt på at telekommunikasjon kan svikte over en lengre tidsperiode. Samtidig går samfunnsutviklingen i retning av økt bruk av og avhengighet av tilgang til informasjon, og dermed økt behov for tilgang til sikre teletjenester. Dette gjelder ikke minst på grunn av nye krav til effektivisering innen mange virksomheter. Disse forholdene gjelder også innenfor Det sivile beredskap, hvor det finnes en rekke viktige private og offentlige virksomheter som skal bistå samfunnet og Forsvaret i krise og krig.

Infrastruktur for telekommunikasjon bygges i dag opp på en måte som gjør at spesielt samtidige hendelser mot telenettet vil kunne sette teletjenester ut av drift for kortere eller lengre tid. Telekommunikasjon er med andre ord sårbar overfor både tilfeldige naturkrefter og menneskeskapte trusler. Telekommunikasjon er samtidig svært utsatt, særlig i situasjoner der menneskeskapte handlinger rettes mot samfunnet.

Det offentlige telenettet er i ferd med å bli et svært innfløkt og omfattende teknisk system som det er vanskelig å få oversikt over. Teknologien og den fysiske infrastrukturen i form av transportnett, tjenestenett og driftssystemer gir premissene for den grunnleggende fysiske

² Et sosioteknisk system er et system der teknologi og mennesker samvirker og er avhengige av hverandre.

sårbarheten i nettet (6). Med basis i denne infrastrukturen er ulike teletjenester³ realisert gjennom en rekke funksjoner der funksjonalitet i dataprogrammer utgjør en overveiende del av totalsystemets kompleksitet.

Etter avmonopoliseringen av markedet for telekommunikasjon, har flere leverandører av teletjenester, og etterhvert også leverandører av infrastruktur, kommet til på markedet. En rask og dynamisk utvikling preger både teknologi og marked. Det som er gode løsninger i dag, kan være dårlige i morgen.

Telekommunikasjon er som tidligere nevnt utviklet til å bli et komplekst teknisk system i sterk utvikling. Allerede i utgangspunktet utgjør dette en betydelig analysemessig utfordring. Analysen kompliseres ytterligere av at det i BAS2/SRT-prosjektet er en klar målsetting å se telekommunikasjon i sammenheng med behovene til viktige brukere innen Totalforsvaret.

Prosjektet skal med dette utgangspunktet komme frem til kosteffektive beskyttelsestiltak for offentlig telekommunikasjon i fred, krise og krig. Utfordringen blir dermed å utvikle en analysemetodikk som håndterer dette kompliserte systemet som består av individer, samfunn og teknologi. Gjennom en strukturert tilnærming er målet å komme frem til en anbefaling av en strategi for beskyttelse av telenettet som også gjelder et stykke inn i fremtiden. Spørsmål som en søker å besvare blir da:

- 1) Hvordan kan en håndtere et sosioteknisk problem av denne dimensjon, og ivareta hensyn til fremtidens risiko⁴ for påkjenninger mot samfunnet og telenettet?
- 2) Krig og alvorlige krisetilstander inntreffer så sjelden i vår del av verden at sannsynlighet for slike hendelser blir vanskelig å forholde seg til eller beregne. Likevel er det disse truslene som flere beskyttelsestiltak skal utformes for i henhold til målsettingen for Det sivile beredskap (7). Hvordan kan en i slike sammenhenger håndtere risiko og usikkerhet?
- 3) Hendelser som påvirker tekniske samfunnsinfrastrukturer kan ha en rekke konsekvenser for samfunnet. Én konsekvens kan ha utspring i flere årsaker. I andre situasjoner kan det være klare sammenhenger mellom årsak og konsekvens gjennom en årsakskjede. Hvordan kan en med dette utgangspunkt beregne/anslå konsekvenser av alvorlig svikt i telenettet og omsette dette til konsekvenser for sivilbefolkningen, Forsvaret og samfunnet?
- 4) Hvordan skal en klare å oversette effektivitet fra tekniske, administrative og organisatoriske tiltak rettet mot det tekniske delsystemet, til effektivitet i det sosiale delsystemet? Problemstillingen kompliseres ytterligere ved at en slik effektivitet vil variere med ulike typer påkjenninger og trusler mot samfunnet.
- 5) Hvordan beregner en kostnader av fremtidens tiltak når det vil være knyttet stor usikkerhet til fremtidig teknologi- og markedsutvikling? En slik usikkerhet vil være grunnleggende for

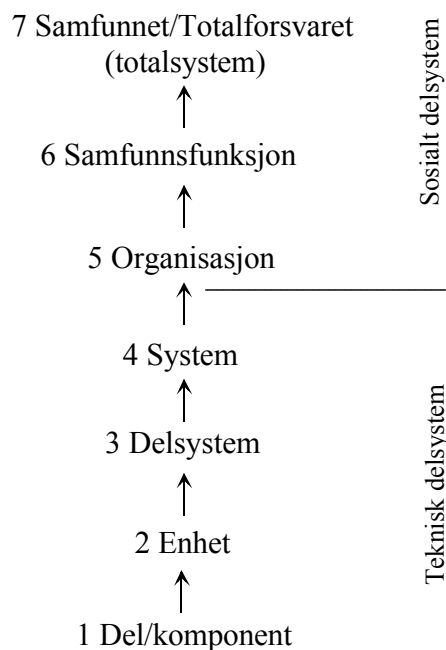
³ Med teletjenester menes vanlig telefoni, mobiltelefoni, mobilsvart, personsøker m fl.

⁴ Risiko kan defineres som kombinasjonen av sannsynlighet for at en hendelse inntreffer og konsekvensen når den inntreffer.

dannelsen av priser og dermed kostnadsnivået på sentrale komponenter og arbeidskraft.

2.2 System og kompleksitet

Før en går videre i rapporten er det behov for å gå litt mer inn i hva som menes med *komplekse sosiotekniske systemer*. Et system består i utgangspunktet av en samling deler som er knyttet sammen i en struktur gjennom koblinger. Systemet kan være teknisk med fysiske eller logiske koblinger, eller det kan være et sosialt system bestående av mennesker der koblingene er rent kognitive. I denne rapporten er utfordringen å studere analysemetoder for sosiotekniske systemer, som består av en kombinasjon av både tekniske og kognitive koblinger. Én modell som representerer et syn på et sosioteknisk system er vist i Figur 2.1. Her fremstilles det sosiotekniske systemet i syv nivåer. På det første nivået inngår alle enkeltdelene som det tekniske systemet består av. Dette kan være fysiske komponenter eller programvare. På det andre nivået er disse enkeltdelene samlet i en funksjonell enhet. På det tredje nivået inngår det så kombinasjoner av ulike funksjonelle enheter, som igjen utgjør det samlede tekniske systemet på nivå 4. Det tekniske systemet brukes av individer som samvirker i organisasjoner på nivå 5. En eller flere organisasjoner inngår i en samfunnsfunksjon på nivå 6. Alle samfunnsfunksjonene inngår til slutt i Totalforsvaret og samfunnet for øvrig på nivå 7.



Figur 2.1 Sosioteknisk system

Med utgangspunkt i det synet som er fremstilt i denne modellen er utfordringen å studere hvordan svikt på de laveste nivåene, som følge av alvorlige og sammensatte hendelser, påvirker Totalforsvarets og samfunnets funksjonsevne. Dette er en form for avgrensning der det settes fokus på det sosiale systemets avhengighet av det tekniske systemet, noe som også er utgangspunktet i BAS2-prosjektet, der telekommunikasjon utgjør det tekniske systemet, og samfunnet og Totalforsvaret utgjør det sosiale systemet.

Modellen i Figur 2.1 gir imidlertid et forenklet skjematisk bilde som kun er egnet som en fremstilling av analysens fokus. Virkeligheten er mer kompleks.

Et karakteristisk trekk ved et komplekst system er at det inneholder et stort antall funksjoner med mange sammensatte koblinger med varierende ”tetthetsgrad”. Et komplekst system vil være dynamisk og kunne ha strukturer med tilbakekobling, som kan være både av fysisk og kognitiv art. Ofte vil en finne funksjoner som brukes til flere oppgaver (”Common Mode” forbindelser). Mange strukturelle koblinger kan også være med slakk, det vil si at det er en tidsforsinkelse mellom en hendelse og respons som også kan variere over tid.

Komplekse systemer er en forutsetning for at mål om effektivitet i fremtidens samfunn skal kunne nås. Ut fra et sikkerhetssynspunkt er imidlertid kompleksitet en klar utfordring. Et komplekst system vil ofte kunne inneholde ukjente tilbakekoblingsløkker. Dette gjør det vanskelig å forutsi utfallet av alle mulige påvirkninger på systemet, særlig de påvirkninger som det ikke er tenkt på i utgangspunktet. Dette er også en mulig årsak til utilsiktede følgefeil. En eller flere slike følgefeil kan gjerne komme som følge av en i utgangspunktet enkel og uproblematisk initiell svikt. Samlet resultat kan likevel bli en alvorlig systemsvikt.

2.3 Metodiske utfordringer

En av de metodiske hovedutfordringene er kopleingene mellom det delvis forutsigbare tekniske delsystemet hvor telekommunikasjon inngår, og det i mindre grad forutsigbare sosiale delsystemet hvor menneskers kollektive improvisasjonsevne og problemløsninger inngår. På en eller annen måte må disse kopleingene håndteres.

Sammenhengen mellom årsak og virkninger kan som nevnt i noen tilfeller være klar, mens det i andre situasjoner ikke er noen klar kobling. Én årsak kan ofte resultere i flere konsekvenser, på samme måte som én konsekvens kan være resultatet av flere årsaker. Svikt i telekommunikasjon kan for eksempel føre til trafikkulykker og manglende varsling om isete veier, eller til økonomiske tap fordi en kontrakt ikke kan inngås til rett tidspunkt. Et annet kompliserende fenomen ved vurdering av konsekvenser er direkte og indirekte årsaker. I noen tilfeller kan man spore tilbake konsekvensene til årsaken direkte. I mange tilfeller må man imidlertid gå gjennom flere årsaksledd for å finne den opprinnelige årsaken til konsekvensen. Denne problematikken må drøftes med tanke på å komme frem til en måte å håndtere problemet på. Forenklinger vil ofte være nødvendige.

Tiltakene skal ta hensyn til ulike og til dels lite sannsynlige fremtidige utfordringer og rammebetingelser. Dette gjelder alt fra utfordringer med opphav i naturlige hendelser til en mulig fremtidig utfordring direkte rettet mot norsk suverenitet og sikkerhet. Hvilke trusler skal tiltakene beskytte mot? De mest sannsynlige med relativt små konsekvenser eller de som er mindre sannsynlige, men med de verste konsekvensene? I BAS-prosjektet ble en middelveg anbefalt, men er dette riktig? Hvordan skal man i det hele tatt håndtere usikkerhet og risiko om fremtidsutviklingen? Sannsynligheten for krig kan ikke anslås ut fra historisk statistikk. Likeså vil konsekvensene være meget usikre på grunn av en rekke faktorer som kan skyldes både menneskelige, klimatiske og teknologiske forhold. Risiko som begrep innbefatter sannsynlighet for svikt og konsekvens av svikt. Siden begrepet risiko er vel kjent vil det kunne være formålstjenlig at resultatet og anbefalingene av analysene forankres i risikobegrepet. Det må derfor vurderes hvordan sannsynlighet og usikkerhet skal håndteres.

Beskyttelsestiltak innen telekommunikasjon vil bestå av tekniske og organisatoriske tiltak rettet inn mot det tekniske systemet. Det vil være nødvendig å måle virkningene av disse tiltakene på det sosiale delsystemet i form av bedre beredskap og økt effektivitet i forhold til målene for Det sivile beredskap. Det må derfor utarbeides en metodikk som kan oversette effektivitet i det tekniske delsystemet til effektivitet i det sosiale delsystemet (se Figur 2.1).

Det er tidligere anbefalt at analyser av beskyttelsestiltak innen sivil beredskap skal gjøres utfra en kosteffektivitetstilnærming (4). Dette innebærer at kostnader i monetære størrelser skal holdes opp mot ikke-monetære effektivitetsmål. Effektivitetsmål kan for eksempel være antall liv reddet, sparte materielle ressurser, reduserte kostnader og spart miljø. Hvordan skal man kunne sammenfatte mange og til dels motstridende mål? Å spare flere liv betyr for eksempel behov for mer ressurser. Mer ressurser koster imidlertid penger og gir økte kostnader, ikke reduserte kostnader som er et annet mål. Aktuelle metoder og verktøy for analyse av slike problemstillinger må derfor studeres og vurderes for vårt formål.

2.4 Håndtering av usikkerhet i datagrunnlag

Usikkerhet går igjen i hele analyseprosessen på ulike nivå. Det vil blant annet være betydelig usikkerhet knyttet til hvilke trusler og situasjoner samfunnet vil stå overfor i fremtiden. Usikkerhet vil dermed være en faktor ved beregning av konsekvenser, effektivitet og kostnader.

Den mest etablerte angrepsmåten for å håndtere usikkerhet er sannsynlighetsteori. Dette krever tilgjengelig empiri slik at usikkerhet kan beregnes. I situasjoner der man mangler empiri kan sannsynligheter anslås ut fra skjønn. I begge tilfeller er det relevant å snakke om systematisk og tilfeldig usikkerhet. Mens systematisk usikkerhet vil påvirke konklusjonene i en bestemt retning, vil den tilfeldige usikkerheten bare gjøre konklusjonen generelt usikker. Den systematiske usikkerheten er derfor mest bekymringsfull.

Ved siden av å beregne sannsynligheter kan man bruke følsomhetsanalyse for å håndtere og forstå usikkerheten. I følsomhetsanalysen forsøker man å angi hvilke grenser variablene kan varieres innenfor, for deretter å undersøke om variasjonene innen disse grensene kan gi endringer i våre konklusjoner. Hvis så er tilfelle, vil vi måtte leve med en betydelig usikkerhet om riktigheten av våre antagelser – eller vi må iverksette tiltak for å snevre inn grensene for variasjon i de usikre variablene.

I visse situasjoner vil sannsynlighetsteori ha liten nytte fordi man mangler datagrunnlag til å beregne sannsynlighet. Dette problemet oppstår for eksempel ved behov for utforming og anslag av fremtidens utfordringer mot samfunnet. Én tilnæringsmåte som her er relevant er bruk av scenarier som beskriver mulige, men ikke nødvendigvis sannsynlige trusler. Disse kan være basert på politisk gitte rammevilkår og gjøres dimensjonerende for de tiltak som anbefales. Dette kan kalles implisitt bruk av subjektive sannsynligheter.

2.5 Avgrensning og generalisering av resultater

I planleggingen gjelder det å legge til grunn en nødvendig bredde med hensyn til mulige fremtidige utfordringer. Hvis fokus legges for mye på enkeltstående situasjoner og trusler, kan

dette føre til anbefalinger av tiltak som ikke er egnet i andre mulige situasjoner, og en kan derved miste nødvendig tilpasningsevne til ulike typer utfordringer. På den andre siden betyr flere mulige alternativer behov for større ressurser i analysearbeidet, og i verste fall ender en opp med en detaljrikdom som det er vanskelig å håndtere. Man er derved tvunget til å avgrense arbeidet til noen få sammensatte utfordringer. Disse utfordringene kan skisseres som scenarier eller typesituasjoner som utformes slik at de har en bredde som dekker utfallsrommet. I (8) snakker man om at detaljrikdommen i tradisjonelle scenarier kan vike for noen flere og enklere typesituasjoner. Komplette scenarier bør brukes der det er et vesentlig behov for å kommunisere med utenforstående, mens enklere typesituasjoner brukes der dette er mulig.

Det sier seg selv at det må gjøres avgrensninger på flere nivåer for at problemet skal være mulig å analysere. Det er for omfattende å analysere hele Totalforsvaret - eller Det sivile beredskap for den saks skyld. Derfor bør det gjøres et utvalg av analyseområder som er mest mulig representative for bruk i analysene. En manglende grad av representativitet vil gå på bekostning av generaliseringen av sluttresultatet.

Det finnes et stort antall ulike beskyttelsestiltak og kombinasjoner av slike. Som tidligere påpekt er det ikke mulig å beregne effektivitet og kostnader av alle mulige kombinasjoner av tiltak fordi dette ville bli alt for omfattende både for analytikere og for beslutningstaker. Det må derfor, gjennom at analytikeren opparbeider en god systeminnsikt, lages et mindre utvalg av pakker av tiltak som inngår i ulike strategier. Kravet om representativitet er det samme her.

3 TEORETISK REFERANSERAMME

I det første avsnittet gis det en generell gjennomgang av multimetodologi og begrepsbruk i denne forbindelse. Deretter følger en generell gjennomgang av risiko- og sårbarhetsanalyse og det begrepsapparatet som brukes i slike analyser på forskjellige nivå i samfunnet. I de etterfølgende avsnittene følger beskrivelse av kosteffektivitetsanalyse og en drøfting av ulike metoder som kan benyttes i de ulike stadiene av en slik analyseprosess. Dette er metoder som kan inngå i en multimetodologi.

3.1 Multimetodologi

Metoder klassifiseres gjerne i ”Soft-OA”⁵ metoder, og tradisjonelle ”Hard-OA” metoder. Mens en gjennom ”Hard-OA” metoder ser på systemene med i stor grad objektive øyne, ser en gjennom ”Soft-OA” metoder på systemene med mer subjektive øyne. Det vil si at også subjektive meninger og oppfatninger tillegges betydelig vekt. Denne inndelingen har imidlertid liten praktisk betydning ut over det faktum at den beskriver en form for paradigmeskifte innen anvendelsen av analysemetoder, noe som blant annet fremveksten av stadig mer komplekse systemer har vært med på å bringe fram.

Tradisjonelle ”harde” metoder er ensidig kvantitative og har i det også en klar styrke. En utvikling mot stadig mer komplekse systemer, der både mennesker og teknologi inngår, har

⁵ OA: Operasjonsanalyse.

imidlertid medført at bruk av kun tradisjonelle kvantitative metoder er utilstrekkelig. En har derfor i de senere ti-år sett fremveksten av en rekke metoder av både kvalitativ og kvantitativ art. Felles for disse er at de har egenskaper som gjør dem anvendelige for å belyse deler eller fasetter av komplekse system. En styrke ved disse metodene er at mange av dem også er komplementære i forhold til hverandre.

Gjennom å anvende ulike typer metoder, kvantitative så vel som kvalitative der også tradisjonelle metoder inngår, kan en dermed bli i langt bedre stand til å analysere komplekse systemer enn gjennom en strengt tradisjonell angrepsmåte. Hvilke typer metoder, og hvor mange ulike typer slike, det er behov for å benytte avhenger imidlertid helt av selve problemets kompleksitet og art. Selv tilsynelatende like problemstillinger kan vise seg å kreve bruk av ulike metoder. Kombinasjoner av ulike typer komplementære metoder betegnes ofte som multimetodologi.

Vi skal i de følgende avsnittene klargjøre begreper og gjennomgå en rekke metoder som er knyttet til de analysemessige utfordringene i BAS2. Det må understrekes at ikke alle disse ble benyttet i BAS2-prosjektet (se kapittel 4). I (3) er det beskrevet ytterligere metoder og teknikker som kan inngå i ulike typer multimetodologi.

3.2 Risiko- og sårbarhetsanalyse

3.2.1 Risikobegrepet

Ordet risiko er avledet av det italienske ordet *Risicare* som betyr å våge. I en slik mening er risiko mer et valg enn en skjebne. De aksjoner vi våger å ta, som avhenger av hvilke muligheter vi har til å velge, er hva risiko egentlig dreier seg om. Risikoen karakteriseres ofte av at noe nært i fremtiden er uønsket og usikkert⁶ (9).

Bestemmelsen av risiko forutsetter at det er en sammenheng mellom en handling eller en hendelse og en annen handling eller hendelse; mellom deres årsak og virkning. De uønskede virkningene antas å kunne unngås eller reduseres dersom de avgjørende hendelsene eller handlingene modifiseres eller hindres. Risiko blir en årsak-virkning relasjon med både et deskriptivt og et normativt innhold. Relasjonen mellom årsak og virkning kan uttrykkes ved bruk av risikoanalyse (underavsnitt 3.2.3).

I et snevrere teknisk/statistisk perspektiv defineres risiko gjennom de tre elementene: Uønsket effekt, muligheten for eller frekvensen av uønskede hendelser og en formel for å kombinere begge (10). Risiko uttrykkes da ofte matematisk som den numeriske kombinasjonen av sannsynligheten for at en uønsket hendelse skal inntreffe og den konsekvensen denne hendelsen vil få. Matematisk sannsynlighetsteori og statistikk benyttes for å beregne sannsynligheten for at en uønsket hendelse skal finne sted.

Det er mulig å kombinere mangelfull kunnskap om tidligere hendelser med subjektive

⁶ Risiko kan imidlertid også defineres som noe positivt.

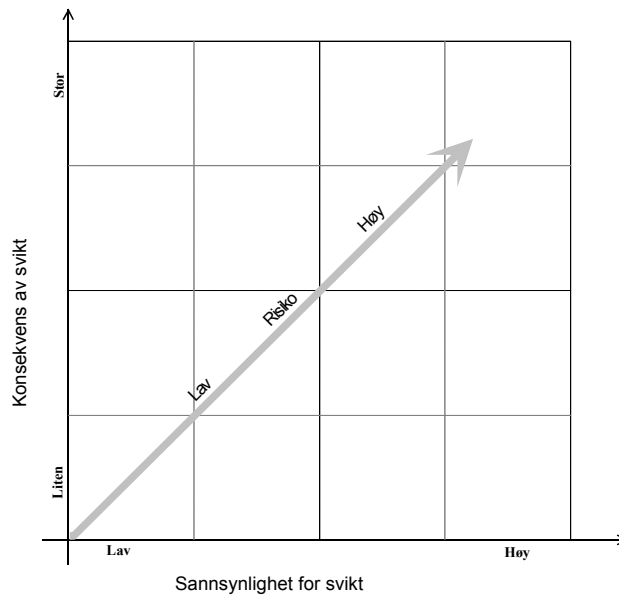
sannsynligheter. Sannsynlighetsfordelingene kan da oppdateres ved bruk av Bayes formel etterhvert som ny informasjon blir tilgjengelig. Bayes teorem fokuserer på repeterende tilfeller når vi har gode intuitive bedømmelser av sannsynligheten av hendelser, og ønsker å forstå hvordan bedømmelsen kan endres etter hvert som virkelige hendelser oppstår⁷ (9). Bayesiansk sannsynlighetsregning benyttes gjerne når antall tidligere negative hendelser er få, mens konsekvensen av en hendelse ofte er svært høy. Denne tilnæringsmåten synes å ha et potensiale innen risikoarbeid i oljeindustrien på kontinentalsokkelen. Et vesentlig spørsmål ved bruk av subjektiv sannsynlighet er imidlertid ofte hvordan avvikende syn skal kombineres.

Et alternativt prinsipielt syn på risiko tar i stedet utgangspunkt i individenes egen oppfatning av risiko og sammenligner dette med risikoeksperters oppfatning. Individene reagerer i forhold til sine egne opplevelser av risiko og ikke i relasjon til noen estimert sannsynlighet eller vitenskapelig verdsetting. Den individuelle risikovurderingen betegnes derfor som en subjektiv risiko, til forskjell fra den objektive som er betegnelsen på den tekniske risiko (11). Subjektiv risiko benyttes for eksempel der en ønsker å benytte eksperters kunnskap og vurderinger til å identifisere kritiske funksjoner eller operasjoner i et komplekst system.

I en del sammenhenger benyttes multiplikasjon eller addisjon som operator ved beregning av risiko. Dette gir en indikasjon på risiko, men en taper mye informasjon ved kun å angi et så forenklet mål. Undersøkelser har også vist at en slik angivelse i mange tilfeller ikke er hensiktsmessig for kommunikasjon av risiko overfor oppdragsgiver (11). Dette gjelder særlig i tilfeller der én av faktorene, sannsynlighet for en hendelse eller konsekvensen av en hendelse, har en ekstremt lav eller høy verdi. En forutsetning for en slik behandling er også at faktorene gis lik vekt ved beregning av risiko, noe det nødvendigvis ikke alltid vil være enighet om.

En bedre måte å presentere risiko på er å la faktorene spenne ut et todimensjonalt plan og angi risiko grafisk gjennom en sum av de to vektorene. Lengden på resultatvektoren vil fungere som et grovt mål for risiko, mens en kan benytte informasjonen om resultatvektorens vinkel til å beskrive hvordan faktorene sannsynlighet og konsekvens har innflytelse. I Figur 3.1 er det vist hvordan risiko kan presenteres gjennom bruk av en todimensjonal matrise. I (5) ble denne formen å presentere risiko på benyttet til å rangere ulike samfunnsfunksjoner ut fra risiko i fred, krise og krig.

⁷ Også kalt det Bayesianske synet på risiko.



Figur 3.1 Risikomatrixe

3.2.2 Sårbarhetsanalyse

Sårbarhet er en egenskap ved et system som gjør at systemet ikke fungerer tilfredsstillende i alle situasjoner det er ment å fungere under. Sårbarhetsanalysen inngår som en viktig del av en risiko- og sårbarhetsanalyse. Her identifiseres ulike trusler og de virkningene disse truslene vil ha for det systemet som analyseres. Sårbarhetsanalyser kan enten vise hvordan systemets adferd og ytelse degraderes under en gitt ytre påkjenning eller hva som skal til for å redusere systemet til et visst nivå av ytelse. I en sårbarhetsanalyse kan det beregnes virkningen av en enkel hendelse (statisk) eller av en serie hendelser (dynamisk), med eventuelt mellomliggende reparasjoner eller mottiltak fra systemoperatøren.

Analysen er hovedsaklig en strukturert gjennomgang av sårbare enkeltfunksjoner og delsystemer, og vil ofte være krevende fordi det kreves store datamengder og god innsikt i systemets indre struktur. Dette forsterkes av en utvikling som går mot mer og mer komplekse systemer i samfunnet. En sårbarhetsanalyse danner utgangspunkt for risikoanalysen, og vil ofte være av beskrivende art.

3.2.3 Risikoanalyse

Formålet med en risikoanalyse er å finne det mest mulig objektive målet for risiko, foreslå tiltak og tilpasse virksomheten til dette⁸. Risikoanalyser utføres på ulike nivåer og i ulike faser av en virksomhet. De gjennomføres i prinsippet ved at eksperter gjennomgår kjente og tenkte feil som kan oppstå i et system eller en prosess og studerer hvordan disse kan påvirke hverandre. Dette innbefatter identifisering av faktorer som påvirker risikoen og det miljø som systemet og prosessen er en del av. Avhengig av kompleksiteten og systemets eller prosessens art finnes det en rekke teknikker for dette arbeidet. Dette innbefatter både kvalitative og

⁸ Definisjonen av en risikoanalyse er i t ROS: "Risikoanalysen er en systematisk fremgangsmåte for å beskrive og/eller beregne potensielle tap (risiko) gjennom kartlegging av uønskede hendelser, og årsaker til og konsekvenser av disse".

kvantitative teknikker. Feiltreanalyse er et eksempel på en metode som tradisjonelt er mye benyttet i analyse av rene tekniske systemer (se underavsnitt 3.5.2).

Kvantitative analyser benyttes der det er mulig å beregne risiko. Disse vil ofte være basert på stokastiske modeller og omfatter kompliserte konsekvensmodeller. Kvalitative risikoanalyser benyttes når det i stor grad må gjøres subjektive vurderinger av hva som er konkret sannsynlighet for svikt og hva som er konsekvens av denne. Kvalitative analyser er derved hensiktsmessige å benytte der systemer eller prosesser er komplekse, og en kvantifisering av faktorer ikke er hensiktsmessig eller praktisk sett mulig.

Risikoanalyse kan som tidligere nevnt foregå på flere nivå, der en grovt kan dele disse opp i to hovednivåer. På et *mikronivå* vil man foreta analyser som ofte berører risiko ved et teknisk systems funksjon, virksomheter eller operasjoner begrenset i tid og rom. Dette kan dreie seg om risiko for skade på personell på arbeidsplassen eller økonomisk risiko ved en eller annen konkret avgrenset operasjon. Det er gjennomførbart å beregne konsekvensen av slike hendelser, for eksempel i form av monetære verdier eller helsemessige skadevirkninger. En kan på dette grunnlaget beslutte å iverksette beredskapstiltak etter kostnytte-prinsippet (underavsnitt 3.4.1). Bestemmelse av hensiktsmessige akseptkriterier⁹ for risiko er her en viktig del av arbeidet. Risikoanalyser på *makronivå* dreier seg om å analysere samfunnets kollektive risiko. Risiko uttrykker også her den fare som uønskede hendelser representerer for mennesker, miljø og økonomiske verdier. På et samfunnsnivå vil risiko også kunne uttrykke den fare som uønskede hendelser representerer for samfunnsviktige funksjoner. Et eksempel på slike risikoanalyser på makronivå er kommunale risiko- og sårbarhetsanalyser. Direktoratet for sivilt beredskap har utgitt en veileder som benyttes til slike analyser (13). Det er meningen at denne typen analyser skal benyttes til å redusere sårbarhet i situasjoner som større naturkatastrofer og krigshandlinger. Det er da ikke lenger mulig å vurdere sannsynlighet for svikt som en relativ frekvens. Slike analyser vil derfor måtte være svært overordnede og kvalitative, ikke minst fordi de involverte systemene i seg selv er kompliserte og krever betydelig kompetanse fra den som skal utføre analysen.

3.3 Bruk av scenarier

3.3.1 Generelt om scenarier

Som det er påpekt tidligere er visse situasjoner så lite sannsynlige at det blir vanskelig å snakke om risiko i tradisjonell forstand. I henhold til definisjonen av risiko vil sannsynligheten for hendelser bli så liten at selv med enorme konsekvenser blir risikomålet som helhet lavt. Det er likevel en vilje i samfunnet til å beskytte seg mot enkelte situasjoner nesten uansett hvor liten sannsynligheten er¹⁰. Dette fordi konsekvensene for landet og samfunnet vil være så enorme at

⁹ Akseptkriteriene for risiko gir uttrykk for det risikonivået som en beslutter er akseptabelt for en virksomhet i en gitt periode. Slike kriterier vil være knyttet til grenseverdier for hvor mye man aksepterer av konsekvenser og/eller sannsynlighet for at svikt kan inntreffe.

¹⁰ Eksempel på en slik "usannsynlig" situasjon i vår tid er full krig i vårt land.

det for lang tid vil ødelegge det generasjoner har bygget opp av verdier og systemer¹¹.

FFI har arbeidet mye med problemstillinger relatert til krig og forsvar av landet. Disse analysene bygger ikke på om hvorvidt krigen er sannsynlig, men i stedet forutsettes det at krigen kan komme og at landet skal kunne forsvares mot en slik utfordring. Det benyttes derfor i vesentlig grad ulike scenarier¹² som forutsetning for disse analysene. Praktiseringen av scenario-planlegging tar utgangspunkt i at en beslutningstaker aksepterer at han ikke er i stand til å gjøre tilstrekkelig sikre vurderinger knyttet til hva som vil kunne hende i fremtiden. Samtidig er det ikke praktisk mulig å anvende teknikker som bygger på sannsynlighetsteori. Scenarier, slik FFI bruker dem, beskriver ofte en fremtidig situasjon hvor landet står overfor konkrete trusler og utfordringer. Scenarier kan derved bidra til å:

- Anskueliggjøre trusselen
- Utforske sårbarheten i systemene og vurdere konsekvenser av svikt i systemet
- Avgrense analysen i tid og rom

Metodens svakhet er imidlertid at den ikke tar hensyn til uforutsette hendelser som vi ikke er kreative nok til å forutse.

3.3.2 Den morfologiske metoden for scenarioutvikling

Scenarier er ikke spådommer eller prognoser om fremtiden, men verktøy som kan brukes i analyser. De kan bestå av en teknisk beskrivelse av et sett med hendelser som er rettet mot et system, de kan gi sikkerhetspolitiske rammevilkår for analysen eller bestå av en kombinasjon av begge deler. Scenarier benyttes i utstrakt grad både ved analyse av overordnede problemstillinger vedrørende samfunnet så vel som problemstillinger innenfor ulike deler av næringslivet.

Det er viktig at scenarier er konsistente. Den morfologiske metoden sikrer denne konsistensen ved at alle relevante forhold behandles på en konsistent måte ved utarbeidelsen av et scenario (16). I metoden benyttes et morfologisk skjema som er til hjelp for å strukturere informasjonen og scenariene. Ved hjelp av dette skjemaet kan ulike scenarier utledes, som illustrert i kursiv i skjemaet i Tabell 3.1. I tillegg til et slikt skjema kommer en forklaring og presisering av verdiene i skjemaet. Det er viktig å sjekke konsistensen mellom verdier og variabler fordi ikke alle kombinasjoner er like logiske og konsistente. Når man utformer et scenario velger man en verdi til hver variabel. Et slikt skjema gir derfor muligheter for et stort antall scenarier, men i praksis velger man kun ett fåtall.

¹¹ Det kan her bemerkes at samfunnets betalingsvillighet er så vidt høy at det årlig bevilges over 20 milliarder kroner til det militære forsvaret for å sikre samfunnet mot krise og krig, samtidig som situasjoner i krise og krig anses som svært lite sannsynlige de nærmeste årene.

¹² Ordet scenario stammer fra gresk og betyr skueplass i forbindelse med teater og scene. I dag er ordet fortsatt brukt om detaljerte fortegnelser over scenskift, personplasseringer o a i skuespill og film. Scenario er også en beskrivelse av ulike situasjoner som skal oppstå (15).

Nivå	Variabel	Verdier
1 Aktør	Politisk sfære Politisk situasjon Vår alliansetilknytning Fiendtlig aktør	<i>nasjonal</i> * europeisk * midtøsten konflikt * spent* <i>harmoni</i> ingen * nordisk * europeisk * <i>oversjøisk</i> nasjon * <i>organisasjon</i> * individ * natur
2 Konflikt	Geografisk omfang/mål Sivilt beredskap Forsvaret	internasjonal * <i>nasjonal</i> * regional * lokal forberedt* <i>ikke forberedt</i> forberedt * <i>ikke forberedt</i>
3 Angrep	Ambisjonsnivå Motivasjon Geografisk arena Geografisk tilgjengelighet Angrepets varighet Angrepets tidshorisont	ødelegge * <i>forstyrre</i> * kontrollere økonomisk * <i>politisk/ideologisk</i> * umotivert by * tettbygd * landsbygd * <i>ubebodd</i> åpent * <i>ulendt</i> * sperret <i>kort</i> * middel * lang i dag * <i>kort sikt</i> * middels sikt * lang sikt

Tabell 3.1 Morfologisk skjema for scenarioutvikling

Den morfologiske metoden er ett eksempel på en måte å gå frem på for å utarbeide scenarier. Det finnes også andre metoder, både enkle og mer kompliserte, som avhengig av den konkrete anvendelsen kan benyttes i dette arbeidet. I (28) foretas det en gjennomgang og drøfting av ytterligere to metoder.

3.4 Kosteffektivitetsanalyse

3.4.1 Generelt om kosteffektivitetsanalyse

Med et systems kosteffektivitet menes forholdet mellom systemeffektiviteten av tiltak og kostnaden tilknyttet de samme tiltakene. Denne betraktningssmåten rundt effektivitet av beredskapstiltak er svært generell og må konkretiseres.

I motsetning til den alternative nyttekostnadsanalysen der nytte av beredskapstiltak beregnes i monetære verdier, vil effektiviteten i en kosteffektivitetsanalyse ofte uttrykkes ved et flerdimensjonalt målkriterium som ikke er vurdert i en monetær verdi. Ved å analysere flere alternative beredskapstiltak vil en kunne beregne hvilke tiltak som innbyrdes er mest effektive, og medregnet tiltakenes kostnad mest kosteffektive. Kosteffektivitetsanalyse brukes dermed til å prioritere mellom tiltak med *samme formål* gjennom å foreta en innbyrdes relativ rangering, for eksempel redde flest mulige liv. Dette kan være innenfor samme sektor eller på tvers av sektorer (4).

Det finnes to metodiske tilnærminger i en kosteffektivitetsanalyse: Fast kostnadstilnærming, hvor beslutningsgrunnlaget er et resultat av effektivitetsberegningen, og fast effektivitets-tilnærming, hvor beslutningsgrunnlaget er resultatet av kostnadsberegningen. Det er en klar

betingelse at det må finnes betalingsvillighet for tiltakene. Det er derfor viktig å komme frem til en kosteffektivitetsbrøk som også er realistisk ut fra den betalingsvillighet som kan forventes. Hvis man ikke kjenner betalingsvillighet i form av totale økonomiske rammer vil det være hensiktsmessig å gjøre beregninger med forskjellige kostnadsrammer.

En effektivitetsindeks (E), som er et mål for tiltakets effektivitet, utgjør sammen med kostnaden ($Cost$) for tiltaket en kosteffektivitetsfaktor (CE):

$$CE = \frac{E}{Cost} \quad (3.1)$$

En maksimert kosteffektivitetsfaktor, som også tilfredsstillende det akseptable nivået på total risiko, vil støtte en riktig beslutning ved valg av tiltak.

3.4.2 Effektivitetsbegrepet og effektivitetsberegning

Med begrepet systemeffektivitet menes grad av måloppnåelse for et system. Systemeffektivitet kan uttrykkes på forskjellige måter. Generelt gjelder:

- 1) Effektiviteten til systemet er kombinasjonen av flere deeffektiviteter knyttet til systemets enkelte komponenter
- 2) Effektiviteten til systemet gjelder i avgrensede tidsperioder av gangen (tidsmessig diskontinuerlig)
- 3) Effektiviteten til systemet er i mange situasjoner uttrykt i en fysisk måleenhet (antall fly, antall menneskeliv) snarere enn den såkalte nytten av systemet, som er uttrykt i kroner

Effektivitet av beredskapstiltak er differansen mellom *konsekvens* før og etter at tiltak er innført i systemet. Kriterier for effektivitet kan dermed utledes av en konsekvensanalyse som uttrykker et effektivitetsmål. Dette kan være flerdimensjonalt¹³. Et tradisjonelt eksempel på mål for effektiviteten av et beredskapstiltak kan være den tiden det tar å plukke opp et antall personer fra sjøen. En effektivitetsanalyse kan inngå som en del av risikoanalysen eller som en separat analyse for å vurdere om relevante krav til effektivitet er oppfylt (17).

En analyse av effektivitet av tiltak utgjør også et hjelpemiddel for beslutningsstøtte. Avhengig av hvilken form for beslutningsstøtte en har behov for vil en kunne benytte både kvalitative og kvantitative formuleringer.

Forbedret effektivitet ved innføring av beredskapstiltak kan uttrykkes kvantitativt ved en effektivitetsindeks (14):

$$E = \frac{C_{EU} - C_{EM}}{C_{EM}} \quad (3.2)$$

¹³ *Godhet* av beredskapstiltak er en annen alternativ form for mål som er differansen mellom *risiko* før og etter at et tiltak er innført i systemet.

der

C_{EU} - forventet konsekvens uten beredskapstiltak

C_{EM} - forventet konsekvens med beredskapstiltak

E - beredskapstiltaket ytelsesindeks

Denne indeksen uttrykker derved effektivitet som endring i konsekvens ved innføring av tiltak. For enkle tekniske system som i stor grad består av forutsigbare funksjoner vil en konsekvensanalyse kunne utføres med bruk av enkle metoder. Beregning av effektivitet av tiltak innen et komplekst sosioteknisk system utgjør derimot en betydelig utfordring. I det første tilfellet vil rene kvantitative metoder i stor grad kunne benyttes, mens det i det andre tilfellet vil være nødvendig med en betydelig andel av kvalitative metoder. Her vil det være behov for å utnytte eksperter kompetanse innenfor aktuelle områder. Metoder for dette er beskrevet i avsnitt 3.5 og 3.6.

3.4.3 Kostnadsberegning av tiltak

Det er knyttet færre problemer til å beregne kostnader enn det er til å beregne effektivitet. Dette betyr ikke at beregning av kostnader er enkelt, men det betyr at klassifisering av kostnader og summering av disse har en større generell forståelse i samfunnet enn effektivitetsberegning. Levetidskostnader er i dag utgangspunktet for kostnadsberegninger knyttet til kosteffektivitetsanalyser som gjennomføres ved FFI. Levetidskostnadene med utgangspunkt i et bestemt basisår finnes ved å neddiskontere kostnader hvert år med en bestemt rentefot. Kostnadene kan også beregnes som annuitet, det vil si som en årlig kostnad.

De beredskapstiltakene som er aktuelle i sammenheng med telekommunikasjon er svært ulike i sin natur og spenner fra i prinsippet enkle fysiske komponenter via komplekse programvare-avhengige funksjoner til organisatoriske og administrative tiltak. Dette gjør at kostnadsanslag tilknyttet de ulike beredskapstiltakene vil kunne være beheftet med svært ulik grad av usikkerhet. I en teknisk sektor i rask utvikling vil det også knyttes betydelig usikkerhet til de ulike tiltakenes levetid. Denne usikkerheten kan enten knyttes til en standard sannsynlighetsfordeling som synes hensiktsmessig i forhold til det aktuelle objektet, eller til et rent trepunktsestimat. Til denne fordelingen kan det kvantifiseres et høy-, lav- og forventningsestimat.

3.5 Modellering og analyse av konsekvenser

3.5.1 Generelt om konsekvensanalyse og konsekvensmodeller

I prinsippet innebærer enhver konsekvensanalyse å forhåndsvurdere eller beregne hva utfallet av bestemte aksjoner vil kunne bli eller føre til. Målet er å beskrive mulige, fremtidige situasjoner så godt som mulig utfra en gjennomtenkt oppfatning av den eksisterende situasjonen og virkninger av tiltak. Noen slike fremtidsbeskrivelser er relativt enkle. Det er de som er basert på tekniske regneregler eller mekaniske operasjoner, og hvor mulighetene til å regne seg frem til det som vil skje er store. Andre er mer kompliserte. Det er hvor datatilfanget er mangfoldig eller usikkert, og hvor resultatene eller konsekvensene i stor grad beror på den

menneskelige beslutnings- og handlingsevne (15).

Med konsekvensmodeller menes modeller av årsak - virkningsforhold hvor grunnleggende årsaker via en slik modell kan koples til sluttkonsekvenser. Her kommer det også inn hvordan det er mulig å endre systemets oppførsel og dermed konsekvensene med ulike former for tiltak i systemet. I (18) sies det at det på grunn av mangfoldigheten har liten hensikt å trekke opp generelle retningslinjer for hvordan konsekvensmodellene skal lages. Det betyr imidlertid at en viktig del av arbeidet med konsekvensanalyser er å trekke opp relevante avgrensninger.

Konsekvensmodeller kan karakteriseres ved hjelp av ulike egenskaper. De kan være (15):

- Statistiske, det vil si at tiden ikke inngår eksplisitt i tilstandsbeskrivelsen
- Dynamiske, det vil si at tiden inngår i tilstandsbeskrivelsen
- Deterministiske, det vil si at det svarer bare én verdi av de uavhengige variablene til de avhengige variablene
- Stokastiske, det vil si at én eller flere relasjoner mellom variablene er fastlagt ved hjelp av sannsynlighetsfordelinger
- Offentlige, det vil si at modellene er tilgjengelige for de fleste og kan studeres, tolkes og kritiseres i sin alminnelighet
- Private, det vil si de personlige modellene, de man har i hodet og som er vanskelig å formidle til andre uten videre
- Tradisjonelle, det vil si modeller som bare beskriver muligheter uten å vektlegge deres innbyrdes verdier eller prioritet
- Utvidede, det vil si modeller som ikke bare beskriver mulighetene, men også velger mellom dem

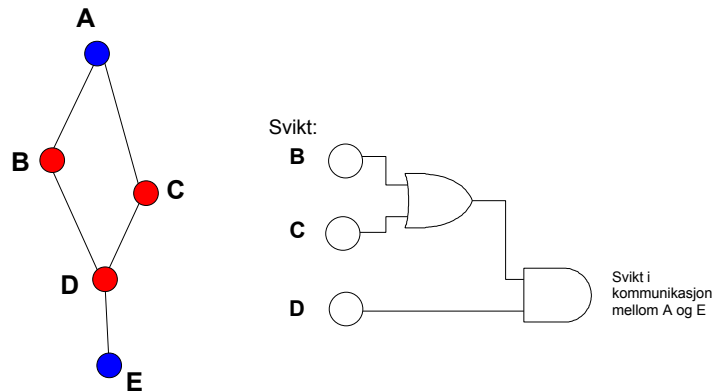
3.5.2 Feiltreanalyse og hendelsestremetoden

Feiltreanalysemetoden ble utviklet av Bell Telephone Laboratories i 1962 i forbindelse med en sikkerhetsmessig vurdering av avfyringssystemet til den kjernefysiske Minuteman-raketten. En økt utbredelse av datamaskiner har siden muliggjort en videreutvikling av metoden. Feiltreanalyse er i dag den desidert mest brukte analysemetoden i risiko- og sårbarhetsanalyser, og benyttes i vesentlig grad i analyse av tekniske systemer (12)(19).

Et feiltre er et logisk diagram som illustrerer sammenhengen mellom en uønsket hendelse i et teknisk system og årsakene til dette. Feiltreet består av symboler som viser tilstanden til komponentene (inngangshendelsene) i systemet, og sammenhengen mellom inngangshendelsene og systemets tilstand. Sammenhengen uttrykkes ved logiske koplinger som enten er “og” eller “eller” funksjoner. Årsakene til en uønsket hendelse kan innbefatte miljøpåvirkning, menneskelige feil og rene komponentfeil.

En feiltremodell gir et klart og oversiktlig bilde av hvilke kombinasjoner av utstyrssvikt og andre hendelser som kan lede til en bestemt uønsket hendelse, for eksempel svikt i muligheten

til å kommunisere mellom to geografiske punkter. I Figur 3.2 er vist et eksempel på en feiltremodell for et enkelt nett. Gjennom modellens logiske elementer ser en at for å opprettholde forbindelsen mellom A og E må forbindelsen gjennom D og enten B eller C være intakt. Modellen vil her på en oversiktlig måte fortelle analytikeren hvilke punkter som er viktig for å opprettholde målet om en forbindelse mellom endepunktene A og E.



Figur 3.2 Eksempel på feiltremodell

Bruk av en slik metode krever imidlertid at analytikeren har detaljert innsikt i problemet. For tekniske systemer med få logiske funksjoner vil en slik metode ofte være hensiktsmessig. Der systemet inneholder mange logiske funksjoner, som for eksempel i programmerbare datasystemer, vil slike modeller fort bli uoversiktlige og unøyaktige. Metoden vil likevel kunne benyttes til avgrensede problemstillinger på detaljert komponentnivå eller for å illustrere overordnede sammenhenger på systemnivå.

I en tidligere sårbarhetsanalyse av offentlig telekommunikasjon ved FFI i 1987 utgjorde feiltreanalysen en sentral del av den metodikken som ble benyttet. Siste års teknologisk utvikling innen telekommunikasjon, der dataprogrammer utgjør en sentral del av de moderne systemenes kompleksitet, har gjort at metoden er betydelig mindre anvendelig i en slik sammenheng i dag.

Hendelsestreanalysemetoden er en komplementær metode til feiltreanalysemetoden. En modell av et hendelsestre er et logisk diagram som viser mulige hendelseskjeder som følger etter en initierende hendelse. Denne initierende hendelsen kan eksempelvis være svikt i en teknisk funksjon eller en feilhandling (12). Et hendelsestre gir et klart og oversiktlig bilde av hvilke mulige hendelseskjeder som kan følge etter svikt i et gitt system. Metoden har imidlertid de samme begrensninger som gjelder for feiltremetoden. Likevel er feiltre- og hendelsestre metoden også i dag de viktigste metodene for analyse av tekniske system.

Det finnes en rekke andre *statistiske* kvantitative og kvalitative metoder for å analysere konsekvens av svikt i systemer. Disse er nærmere beskrevet i (12).

3.5.3 Simuleringsmodeller

En modell er en beskrivelse av et system basert på meninger og antagelser om hvordan dette fungerer i virkeligheten. Disse meningene eller antagelsene, som kan uttrykkes gjennom

matematiske eller logiske sammenhenger, utgjør samlet en modell, som kan benyttes til å oppnå forståelse av hvordan det virkelige systemet fungerer under gitte forhold. Hvis sammenhengene som modellen består av er tilstrekkelig enkle, kan det være mulig å benytte matematiske metoder, som algebra, kalkulus eller sannsynlighetsteori, for å oppnå eksakt informasjon om problemstillinger vedrørende systemet gjennom en analytisk løsning. Eksempler på svært enkle former for slike metoder er gitt i underavsnitt 3.5.2. Likevel er det slik at de fleste systemer er for komplekse til å kunne bli evaluert analytisk. Et alternativ som er i utstrakt bruk er simulering.

Simuleringsmodeller utgjør en eksperimentell metode der en med utgangspunkt i et gitt virkelig system konstruerer en formell modell. Denne modellen, som implementeres i et dataprogram, vil deretter kunne brukes til å analysere konsekvenser av eksperimenter gjennom numerisk evaluering. Vanligvis følger slik simulering et ganske omfattende og komplisert mønster av handlinger. Simuleringsmodeller utvikles gjerne i forbindelse med problemer som er ganske komplekse. Ofte må det foretas en kombinasjon av flere modeller av forskjellige typer, fordi det er vanskelig å utvikle moduler som henger sammen. Modulene har felles database, og det er problematisk å oppdatere dem i takt med virkelighetens utvikling. Dermed blir enkle simuleringsmodeller både tidkrevende og kostbare å utvikle (15).

Simuleringsmodeller kan være utformet på mange måter avhengig av behov. Disse modellene kan være statiske så vel som dynamiske, og deterministiske så vel som stokastiske. Selv om simulering som metode er svært utbredt, vil det ofte være slik at dersom en skal kunne bygge simuleringsmodeller av store systemer vil også selve modellen raskt kunne bli svært stor og kompleks. Det å skrive et dataprogram for å utføre simuleringer kan da bli en stor og utfordrende oppgave. Beregningstiden for selve dataprogrammet med nødvendig antall beregningsrunder vil også kunne bli svært lang. De senere år er det imidlertid kommet en rekke produkter som tilbyr mer eller mindre ferdig støtte til koding av mange funksjoner i en simuleringsmodell. Tilgang til stadig raskere datamaskiner til en lav kostnad gir også mulighet for å kunne simulere stadig tyngre modeller.

Innen forsvarsforskningen er det en utbredt bruk av simuleringsmodeller ved undersøkelser av hvordan materiell fungerer i en kampsituasjon. Eksempel på dette er en simuleringsmodell for luftkamp mellom mange fly som FFI har utviklet (TALUS).

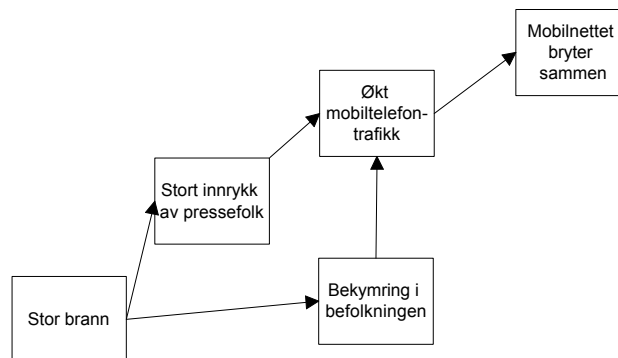
Bruk av simulering som eneste metode i analyse av sosiotekniske system vil fort kunne føre til et behov for svært komplekse og tunge modeller, noe som vil kreve betydelige ressurser. Simulering vil imidlertid kunne gi stor nytte som metode ved analyse av større eller mindre delproblemstillinger.

3.5.4 Kausallmodeller

Kausalkartlegging har mye til felles med hendelsestreanalyser (underavsnitt 3.5.2), hvor en tar utgangspunkt i en initierende hendelse og vurderer konsekvenser av ulike hendelser etter denne. Mens hendelsestreanalyser ofte benyttes for kvantitative vurderinger av sannsynligheten for svikt i tekniske systemer, er kausalkartlegging i utgangspunktet en kvalitativ analyse.

Et kausaldiagram er egentlig en samling av argumenter eller kjeder av resonnement som sammen utgjør en modell av en prosess eller et system (20)(21). Slike modeller bygger på tankegangen mellom årsak og virkning og viser de logiske sammenhengene mellom disse. Modellene angir med piler eller diagrammer hvordan de forskjellige faktorene i form av variabler antas å virke inn på hverandre. Siden prinsippet bygger på årsak-virkningssammenheng, forutsettes det at analytikeren har god nok innsikt i problematikken til at relevante sammenhenger kan konstrueres. Kausalmodeller kan representere flere sammenhenger. Én sammenheng har vi når én årsaksfaktor resulterer i flere virkninger. En annen mulighet er at flere årsaksfaktorer gir én virkning. En tredje variant er at årsaker og virkninger gjensidig påvirker hverandre, såkalt tilbakeføring eller “feedback”. Tilbakeføringen kan også føre til suksessive justeringer som ender med likevekt. Modeller konstruert etter dette prinsippet brukes blant annet innen systemdynamikken til å få oversikt over hvordan flere faktorer kan samvirke i forhold til ett fenomen. Slike modeller er også utviklet på samfunnsplan (22).

Kausalkartlegging kan ta utgangspunkt i en initierende hendelse, som for eksempel vist i Figur 3.3 hvor det tas utgangspunkt i hendelsen “Stor brann”. Den videre utviklingen av diagrammet skjer ved vurdering av hvilke hendelser som kan følge av denne innledende hendelsen. Kravene til slike vurderinger er små - så lenge en har mistanke om at det kan være en kausal sammenheng mellom hendelser, så angir en dette i diagrammet. Slik kan en nøste opp hendelser og årsaker til en når slutt punktet for kausalkjeden, topphendelsene. En trenger imidlertid ikke å benytte en slik “bottom up”-tilnærming. Det er også mulig å bestemme topphendelsene allerede i starten av analysen, og utvikle diagrammet for å finne hvilke hendelser som kan utløse topphendelsen.



Figur 3.3 Eksempel på et kausaldiagram

Kausalmodeller kan benyttes analytisk til å identifisere hvilken rolle de enkelte variablene i modellen har for en eventuell virkning. En kan på denne måten finne frem til kritiske variabler i et system eller prosess. Denne typen modeller vil kunne ha hundrevis av variabler og vil kreve svært god innsikt. Slike modeller lages derfor også ofte i nært samarbeid mellom analytiker og eksperter på forskjellig nivå innen et system eller en prosess. Det finnes metoder og teknikker som kan benyttes for å innhente kunnskap fra eksperter ved utvikling av en kausalmodell. Et eksempel på en slik teknikk er “Electronic Voting”, der hver enkelt deltager kan avgi sin mening som en ”stemme” gjennom et system for elektronisk avstemming (21).

Stemmegivningen kan være åpen eller hemmelig. Kausalmodeller kan gjerne utvikles over en lang tidsperiode og være basert på en rekke ulike metoder for innhenting av informasjon om det systemet som analyseres. Dette er avhengig av hvor i den totale analyseprosessen en befinner seg.

For å håndtere og analysere store kausalmodeller finnes det egnede dataverktøy. I tillegg til hjelp med å produsere selve diagrammet kan et slikt verktøy, ved bruk av forskjellige teknikker, hjelpe analytikeren med å identifisere sentrale variabler i modellen.

Analyse basert på kausalmodeller har en svakhet ved at den har ensidig fokus på kvalitativ analyse. I mange tilfeller vil muligheten til å kvantifisere relasjoner mellom variabler være av betydning for å oppnå tilstrekkelig detaljert innsyn i det systemet som analyseres. En annen begrensning ved kausalmodeller er at de i utgangspunktet er statiske. Kausalmodeller anses sammen med seminarspill å utgjøre et svært kraftig verktøy for analyse av komplekse sosiotechniske systemer. Ved en slik kombinasjon får en også med utvikling over tid (se underavsnitt 3.5.6). Bruk av eksperter er sentralt i begge metoder, og kausalmodeller utgjør her et enkelt og effektivt medium for kommunikasjon med ekspertene ved forberedelse til spillet. En stor fordel med kausalmodeller i denne sammenheng er at de er svært enkle å forstå for utenforstående. Bruk av systemdynamiske modeller som tillegg til kausalmodeller er en annen måte å komme rundt noen av svakhetene som gjelder ved ensidig bruk av kausalmodeller i analysene (se underavsnitt 3.5.5).

3.5.5 Systemdynamikk

Komplekse sosiotechniske systemer er dynamiske av natur. Det vil si at tiden påvirker årsak og virkning i en gjensidig påvirkningsprosess (tilbakekobling), og at systemet endrer seg over tid. Slike systemer har ofte et adferdsmønster som kan være svært komplekst, og det vil være vanskelig å finne ut hvordan de oppfører seg over tid. En mye anvendt løsning for å studere komplekse systemer er bygging og anvendelse av simuleringsmodeller, som tidligere er beskrevet i underavsnitt 3.5.3. En spesiell variant av slike simuleringsmodeller som ofte benyttes til å studere både sosiale og tekniske systemer er systemdynamiske modeller.

Systemdynamikk og systemdynamisk modellering deles gjerne inn i fire faser, der det som en naturlig del av prosessen vil være til- og frahopping mellom de ulike fasene:

1. Problembeskrivelse
2. Systemoversikt
3. Modellkonstruksjon
4. Modelltest

I problembeskrivelsen formuleres de problemstillingene en søker å behandle gjennom bruk av metoden. Denne inneholder en såkalt referansemodus der problemet knyttet til systemets adferd beskrives i form av en tidsgraf. Et eksempel på en enkel referansemodus er utviklingen

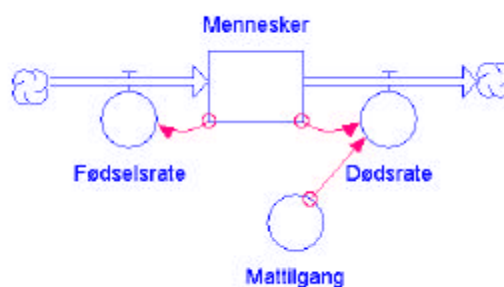
av folketallet på jorden som funksjon av tid¹⁴. Med utgangspunkt i en slik graf vil en gjennom de senere fasene i analyseprosessen søke å utvikle et modellverk som gjensker nettopp denne. Gjennom referansemodus formuleres også problemstillingen gjennom én eller flere teser.

Systemoversikten skal hjelpe til med å avdekke hvilken systemstruktur som ligger bak den adferden systemet har ut fra referansemodus. For å gjøre dette må man først analysere systemet bit for bit, og deretter sette dette sammen igjen i en syntese. Til denne systemoversikten benyttes gjerne årsaksløkkediagrammer som på en forenklet måte beskriver det vi oppfatter som sammenhenger og årsaksforhold. Tilbakekoblingsløkkene i disse diagrammene kan være av både kognitiv og fysisk karakter. Disse kan enten være balanserende eller forsterkende, med eller uten forsinkelse. I (1) er det definert en rekke såkalte arkityper. Dette er enkle årsaksløkkemodeller som beskriver et sett med ulike standardiserte dynamiske problemstillinger som ofte inngår som kjerne i et problem. Årsaksløkkediagrammene har for øvrig mye til felles med kausaldiagrammene som er beskrevet i underavsnitt 3.5.4.

Med utgangspunkt i referansemodus og den opparbeidede systemoversikten kan det nå utvikles en systemdynamisk modell i form av et grafisk flytskjema, der det skilles det mellom tilstander og endringer. Denne modellen har tre enkle byggeklosser:

- Nivåvariabler
- Flytvariabler
- Hjelpevariabler (og konstanter)

Med bruk av nivåvariabler og flytvariabler modelleres fysisk flyt fra en kilde til en avgang, for eksempel mennesker i samfunnet. Et enkelt eksempel er vist i Figur 3.4. Gjennom flytvariablen ”fødselsrate” flyter det mennesker inn i nivåvariablen ”mennesker i samfunnet”, og gjennom flytvariablen ”dødsrate” forsvinner det igjen mennesker ut av samfunnet. Gjennom hjelpevariabler kan en så få med forhold som påvirker fødselsrate og dødsrate. Ett enkelt eksempel på en slik variabel er mattilgang i samfunnet. Er det for lite mat vil dette påvirke verdien for dødsrate, og dermed også påvirke tilgangen av nye mennesker over tid. En tilbakekobling i denne modellen finner en mellom antall mennesker som lever og fødselsrate.



Figur 3.4 Eksempel på et enkelt systemdynamisk flytskjema

¹⁴ Selve problemet som skal belyses vil være befolkningseksplasjonen.

Flytskjemaet er grunnlaget for å overføre det systemet vi har konstruert til en datamaskin ved bruk av spesielle programvareverktøy utviklet for dette formålet. Etter at det er lagt inn initialverdier for hver variabel og nødvendig matematisk formelverk i modellen, kan en gjennom programvaren gjennomføre simuleringer med modellen.

Avslutningsvis må modellen og dens systemadferd i den valgte tidshorizonten verifiseres i forhold til den problembeskrivelse og systemoversikt som er opparbeidet. I en slik rafinerings- og kalibreringsprosess vil en eventuelt kunne gjøre endringer og justeringer i modellens struktur eller endre modellens parameterverdier og formler. Deretter vil modellen gjennom forsøk med ulike parametersett brukes for å undersøke systemets fremtidige adferd.

Systemdynamikk kan generelt sett betraktes som et verktøy for konsekvensanalyse med en bred mulighet for anvendelse både på makro- og mikroplan. På makroplan er det nettopp evnen til å fange inn kvalitative dimensjoner som er dens styrke. Systemdynamiske modeller kan utnyttes på to nivåer avhengig av tilgangen til data. Kvalitativ systemdynamikk fokuserer på strukturen av den systemdynamiske modellen gjennom et årsaksløkkediagram og et flytskjema. Flytskjemaet kan i seg selv gi analytikeren godt innsyn i systemets oppførsel. Kvantitativ systemdynamikk modellerer sammenhengene mellom de ulike elementene i flytskjemaet som en matematisk funksjon og utgjør en simuleringsmodell.

En fordel med systemdynamikk i forhold til mer tradisjonelle simuleringsmodeller er at systemdynamikk tilbyr et enkelt og kommuniserbart grafisk grensesnitt til brukeren. Ulempen er selvfølgelig at dette innskrenker fleksibiliteten som igjen kan redusere muligheten til å lage gode og robuste modeller. Likevel må det understrekes at prinsippet med å modellere en eller flere fysiske flyter, som betinges av ulike variabler med tilbakekoblede strukturer, passer godt til mange problemstillinger. Problemet er selvfølgelig hvor dypt en skal gå og hvor robust det er mulig å gjøre modellen. Flere tilbakekoblingsløkker, som det ofte vil være i modeller av komplekse systemer, vil kunne resultere i at det trekkes konklusjoner som er overfølsomme overfor mindre endringer i forutsetningene. I praksis har det likevel vist seg at metoden med hell kan nyttes til en rekke problemstillinger, og at den godt kan kombineres med andre metoder i en multimetodologitilnærming (2). I slike sammenhenger viser den seg godt egnet der en splitter opp en større problemstilling og analyserer mindre mikroverdener innen denne.

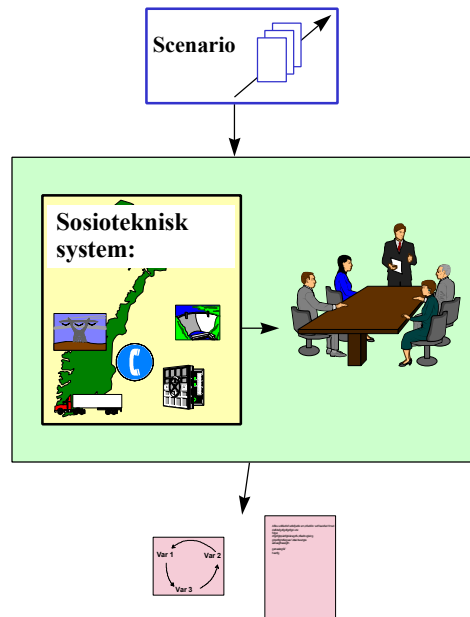
Systemdynamikk anses å ha et betydelig potensiale som metode i arbeidet med komplekse systemer, ikke minst som en metode for å studere delproblemstillinger.

3.5.6 Seminarspill

Erfaringer fra militær sammenheng har vist at seminarspill er en egnet metode for å bearbeide komplekse problemstillinger og få indikasjoner om hvilke konsekvenser som vil oppstå under gitte forhold. I korthet gjennomføres spillet ved at det først utformes et scenario som består av en rekke detaljerte forutsetninger i form av hendelser som finner sted i tid og rom. Dette kan for eksempel være hendelser som uttrykker utfordringer mot både samfunnet selv og en eller flere tekniske infrastrukturer som samfunnet er avhengig av.

Avhengig av hvilke aspekter ved dette som det er ønskelig å belyse, samles en rekke aktører

som i sitt daglige virke er involvert i nøkkelfunksjoner i den situasjonen som er gitt av scenariet (Figur 3.5). Disse aktørene vil i løpet av et antall akter, som deler hele spillet inn i hensiktsmessige tidsintervall, uttrykke de konsekvenser som de mener at de konkrete hendelsene påfører deres funksjon og virksomhet. Spilledelsen vil gjennom forarbeid i form av enkeltvise intervju av spilldeltagerne, og gjennom referat fra selve gjennomføringen av spillet, få tilgang til fyldig informasjon om hvilke konsekvenser gitte hendelser vil kunne få for viktige funksjoner i samfunnet. Slike konsekvenser kan dokumenteres som en ren tekstlig beskrivelse. Bruk av kausalmodeller i alle faser av en spillgjennomføring anses å gi et lett tilgjengelig resultat, godt egnet for videre analyse.



Figur 3.5 Oppbygningen av seminarspill

Seminarspill kan være lukkede eller åpne. I åpne spill kjenner spilldeltakerne hele hendelsesforløpet, og dette er til hjelp i å konsentrere diskusjonen omkring de forhold det er ønskelig at spillerne diskuterer. Man kan også avgrense åpne spill i akter, men det videre hendelsesforløpet er da kjent. I lukkede spill er derimot det fremtidige hendelsesforløpet ukjent slik at spillerne ikke kjenner til hendelser som oppstår i nest akt. Lukkede spill stiller store krav til spilledelsen fordi diskusjonen lett kan “flyte ut” over de temaer som man opprinnelig hadde tenkt seg diskutert da spillet ble utformet.

En fordel med seminarspill er at det med relativt begrensede ressurser er mulig å få innsikt i den dynamikken som gjelder i komplekse systemer der et større antall virksomheter og funksjoner samvirker. Én ulempe er at det kan være vanskelig å trekke konkrete kvantifiserbare konklusjoner. I tillegg vil det være vanskelig på en tilstrekkelig konkret måte å vurdere enkelte tekniske og organisatoriske tiltak opp mot hverandre og få drøftet virkningen av dem (23). Det er også kritisk at en får med spillere som både er forankret på rett posisjon i sin organisasjon og som samtidig har de rette personlige egenskapene. Seminarspill er et godt medium for å kommunisere kunnskap om problemer knyttet til komplekse systemer mellom analytikerne og beslutningstakere i samfunnet.

Seminarspill anses å utgjøre en viktig metode i analyse av komplekse sosiotekniske systemer. Imidlertid er det viktig å supplere spillet som enkeltstående metode med andre metoder, for eksempel kausalmodellering og systemdynamikk.

3.6 Preferanseanalyse med flermålsanalyse

3.6.1 Generelt om preferanseanalyse og flermålsanalyse

En preferanseanalyse kan bestå i å velge mellom konsekvenser som innebærer varierende grad av oppfyllelse av konkurrerende mål. Preferanseanalysen forutsetter dermed at det på forhånd er gjort en konsekvensanalyse og at det eksisterer et beslutningsproblem. Konsekvensene er kvantifisert og utgjør beslutningskriteriene i preferanseanalysen.

Flermålsanalyse er en type preferanseanalyse hvor problemstillingen struktureres i et eller flere nivå av delmål som ender opp i et overordnet mål. Ved en slik strukturering av problemstillingen kan en veie verdiene av beslutningskriteriene som hver enkel konsekvensanalyse ender opp i, og de mål og delmål som disse fyller, opp mot hverandre. Konsekvensanalysen påvirkes i sin tur av ulike tiltak som iverksettes for å redusere negative konsekvenser. Gjennom konsekvensanalysen er det dermed de ulike mulige tiltak for å redusere konsekvensen, og hvordan disse påvirker beslutningskriteriene, det skal velges mellom.

Å lage en preferansemodell består vesentlig i å vektlegge de ulike beslutningskriteriene i samsvarende med hvor betydningsfulle beslutningstakerne mener de tilsvarende delmålene er. For at vektleggingen skal være meningsfull er det nødvendig å ha et klart forhold til hva som egentlig skal vektlegges. Kjennetegn for problemstillinger som en flermålsanalyse kan håndtere er:

- At kryssende eller konkurrerende mål er sentrale ved behandling av problemstillingen
- At problemstillingen dreier seg om anliggender der det skal tas en beslutning på vegne av et overordnet ansvarlig organ, for eksempel en offentlig myndighet

Praksis har vist at selve prosessen med å utarbeide en modell kan være vel så viktig som nytten av den ferdig konstruerte modellen. Prosessen krever at en må gå gjennom holdninger og preferanser på en systematisk og rasjonell måte. Dette virker både klargjørende og øker bevisstheten. En viktig effekt er også at det er mulig å la flere personer, som også kan ha forskjellige utgangspunkt og bakgrunn, delta i prosessen.

Å konstruere en preferansemodell har således to funksjoner:

1. Prosessen bringer orden og systematikk i en modell og gjør vanskelige vurderinger klarere. En tvinges dermed til å foreta en kritisk gjennomgang av holdninger.
2. Prosessen offentliggjør holdninger, og det blir mulig for flere personer å sammenholde ulike oppfatninger på en saklig og åpen måte.

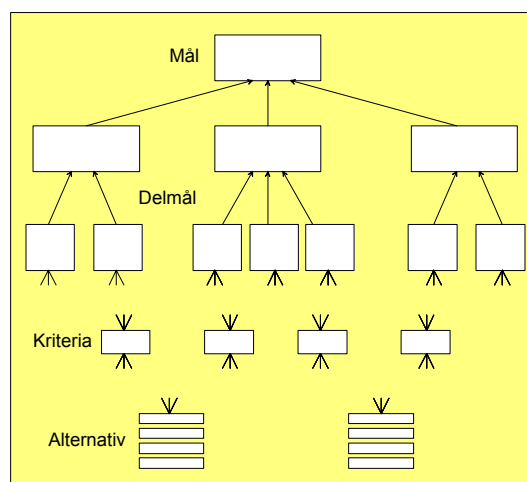
Det er utviklet interaktiv programvare for preferanseanalyse som løpende stiller spørsmål til beslutningstakeren som han eller hun må besvare. I en manuell prosess vil det fort bli for mange spørsmål å ha oversikt over, mens et dataprogram kan holde bedre orden og oversikt og derved hjelpe brukeren til å tenke logisk (18).

3.6.2 ”Analytical Hierachy Process”-metoden

Det finnes et antall metoder og teknikker for bruk i sammenheng med flermålsanalyse. Det må bemerkes at det her foregår en diskusjon omkring disse ulike metodenes innbyrdes kvaliteter og fordeler (28). Én metode som er mye benyttet er Analytical Hierarchy Process (AHP) (24)(25). Metoden er inndelt i to analysenivåer, nemlig hensiktsnivået og aktivitetsnivået. Hvert nivå kan underdetaljeret etter behov, og prioriteringen på hvert nivå gjøres utfra ren parvis sammenligning¹⁵. AHP følger fem utviklingstrinn (26):

- 1) Målbeskrivelse
- 2) Utforming av beslutningsalternativer
- 3) Kriteriebeskrivelse
- 4) Vektlegging mellom ulike delmål
- 5) Beregning av måloppfyllelse

Først konstrueres det et måltre. Oppbyggingen av et slikt tre er vist i Figur 3.6. Det starter øverst med et hovedmål som godt kan være noe upresist. Dette hovedmålet brytes så ned i mer presise delmål. Flere nivåer av delmål kan deretter beskrives. Det er viktig at mål eller delmål på samme nivå i hierarkiet i størst mulig grad er gjensidig uavhengige, med minst mulig grad av innbyrdes synergieffekter. Det synes imidlertid å være lagt noe forskjellig vekt på dette i ulike varianter av metoden. Enkelte mener dette er så vidt viktig at innbyrdes synergieffekter faktisk må beregnes.



Figur 3.6 Oppbygging av en måltre

Når målene og delmålene er formulert velges det ett sett med kriterier som skal vurderes opp mot målene i målhierarkiet. Kriteriene vil ofte være knyttet opp mot en fysisk størrelse, men kan også være kvalitative. Ulike typer kriterier kan være tekniske, økonomiske, politiske, juridiske, sosiale, moralske eller estetiske (15).

Etter at kriteriene er bestemt velges det et sett med ulike alternativer, for eksempel konsekvensalternativer eller tiltaksalternativer, som kan koples opp mot de ulike kriteriene. Hvert alternativ vil innebære ulike kombinasjoner av kriterier der det også vil kunne legges forskjellig vekt på hvert enkelt kriterium. Det vil ofte være hensiktsmessig å benytte et panel av eksperter ved bestemmelse av vektorer mellom de ulike målene i modellen. Bruk av interaktive verktøy med implementasjon av de ulike metodene er her et viktig hjelpemiddel.

Et viktig trinn i AHP-prosessen er at det gjennom en normalisering undersøkes hvilket alternativ som tilfredsstillende hvert enkelt kriterium dårligst. Metoden er svært anvendelig ved at graden av kriterieoppfyllelse ikke nødvendigvis må kvantifiseres. I mangel på relevant tallmateriale kan kvalitative vurderinger og uttrykksmåter brukes (god, mindre god o s v). Disse verbale uttrykkene settes så inn i en nominell skala, for eksempel fra 0 til 5. God kan da gis tallverdien 5, mindre god 3 o s v. Ved bruk av matriseoperasjoner aggregeres verdiene for hvert alternativ og tilknyttede kriterier opp gjennom hierarkiet ut fra de vektorer som er bestemt mellom hvert nivå av delmål i hierarkiet. Den totale måltilfredsstillende for hvert alternativ utgjør sluttsammen. Disse summene sammenlignes så, og det alternativ som har høyest relative sum er også det som best tilfredsstillende alle våre mål med den vekt eller betydning vi har tillagt disse (15).

I første omgang vil alternativene kunne utformes ut fra hva vi intuitivt synes kan tilfredsstillende våre mål. Når alle kriterienes forhold til målene i hierarkiet er beregnet, vil en gjennom bruk av følsomhetsanalyse og andre teknikker også kunne vurdere nye alternativer. I disse operasjonene er det også nødvendig at metoden er implementert i et godt dataverktøy.

Det at metoden benytter lineære modeller, det vil si med additiv sammenkobling av delkriterier på lavere nivå uten tilbakekobling, som om disse var helt uavhengige, er en utfordring særlig ved formulering av modellen. Dette problemet vil imidlertid med bruk av omtanke kunne oppveies mot den fordelene en enkel lineær modell representer. Det finnes tilsvarende metoder som også tar hånd om tilbakekobling. Et eksempel på en slik metode er Analytic Network Process (ANP) (27). Denne metoden er imidlertid mer kompleks, og en mister derved mange av fordelene med en enkel lineær hierarkisk metode.

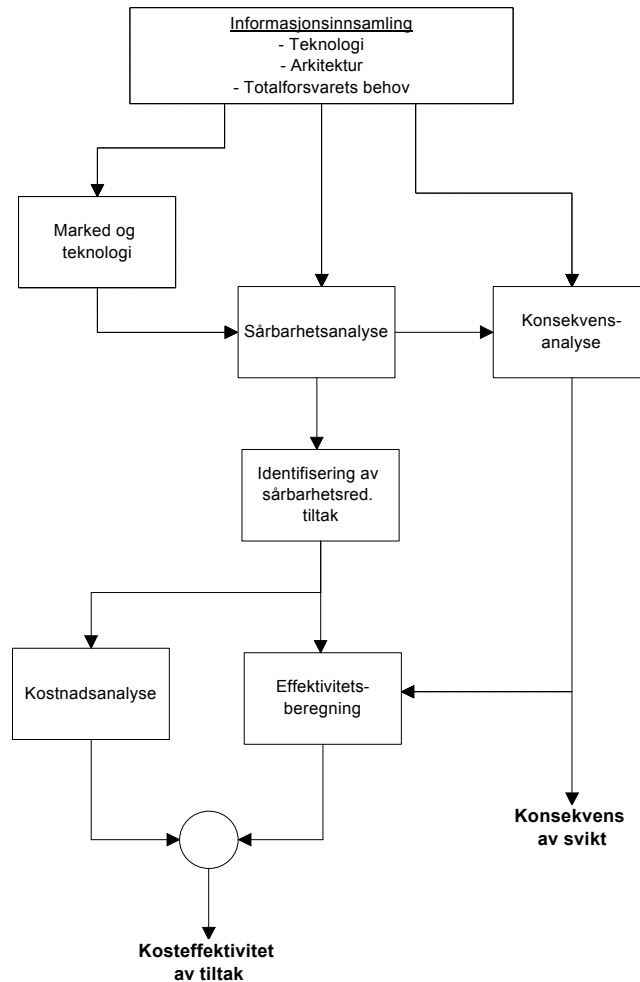
4 ANALYSEMETODIKK I BAS2/SRT-PROSJEKTET

Som tidligere nevnt har denne rapporten som hovedmålsetting å gi en beskrivelse av det arbeidet som fortløpende ble gjennomført i BAS2 for å finne fram til egnede metoder og teknikker for analysene. For å sette dette i sammenheng med de metodene som virkelig ble anvendt foretas det i dette kapitlet en gjennomgang av den fremgangsmåte som ble benyttet i de

¹⁵ Her kan det bemerkes at det foregår en diskusjon om hvorvidt parvis sammenligning er en "riktig" teknikk.

ulike fasene i BAS2. Dette er beskrevet i detalj i (29).

I Figur 4.1 er den fremgangsmåte som er benyttet i analysearbeidet vist skjematisk.



Figur 4.1 Overordnet metode

Med basis i en rekke forutsetninger og rammebetingelser, er det som første del av prosjektet foretatt en omfattende informasjonsinnhenting. Sentralt i det videre arbeidet står en sårbarhetsanalyse og en konsekvensanalyse, ikke minst som grunnlag for å identifisere mulige sikringstiltak. Effektivitets- og kostnadsberegning av enkelttiltak og strategialternativer der disse inngår, danner deretter grunnlag for innbyrdes vurdering av de ulike tiltakene opp mot hverandre ut fra mål om høyest kosteffektivitet. Et stort antall tiltak med svært ulik innretning, der det også er innbyrdes avhengigheter tiltakene imellom, gjør det hensiktsmessig å sette kombinasjoner av ulike tiltak inn i et begrenset antall strategier.

4.1 Informasjonsinnsamling

En betydelig del av ressursene i prosjektet har gått med til innhenting av primærinformasjon gjennom møtevirksomhet og personlige intervjuer. I begynnelsen gjaldt dette hovedsakelig informasjon om telenettets oppbygging og sårbarhet, som grunnlag for sårbarhetsanalysen. Informasjonsinnhenting har senere vært rettet mot teknologi, arkitektur, kostnader og etter hvert også anvendelsen av telekommunikasjon i Totalforsvaret. Viktige informasjonsgivere har

vært aktørene innen telemarkedet og sivile og militære telemyndigheter.

Senere ble det også innhentet primærinformasjon om Totalforsvarets organisasjon og beslutningsprosesser. Dette ble gjort gjennom kontakter med en rekke sentrale aktører i Totalforsvaret, som representanter fra politiet, fylkesmennene, luftfartsmyndighetene m fl. Denne informasjonen har vært viktig i utforming av seminarspill og i konsekvensanalysene. Det må også nevnes i denne sammenheng at gjennomføringen av to seminarspill var viktig for å opparbeide informasjon om Totalforsvarets beslutningsprosesser og konsekvenser for Totalforsvaret av alvorlig svikt i teletjenester.

En sentral kilde for informasjon har også vært diverse litteratur i form av etatsintern underlagsdokumentasjon, artikler og annen faglitteratur.

4.2 Sårbarheten i telenettet

Utgangspunktet for sårbarhetsanalysen var en systembeskrivelse av telenettet der vitale komponenter og systemstruktur ble beskrevet. I systembeskrivelsen inngikk et referansenett for hvordan telenettet ville se ut i fremtiden. Her var det forsøkt tatt hensyn til utviklingstrekk i marked og teknologi og deres betydning for telenettets sårbarhet. Sammen med opparbeidet forståelse av sammenhenger og kompleksitet i moderne telenett dannet dette konstruerte referansenettet utgangspunktet for sårbarhetsanalysen.

I sårbarhetsanalysen ble indre sårbarheter i det offentlige telenettet identifisert forutsatt at telenettet ble utsatt for ulike typer hendelser. Eksempler på hendelser var overbelastning av telenettet, angrep med elektromagnetiske strålingsvåpen, fysisk ødeleggelse av viktige infrastrukturelementer og innbrudd i og manipulasjon med databaserte styringssystemer. Sårbarhetsanalysen benyttet enkle modeller med tekstlig beskrivelse for å vurdere systemets reaksjoner på de utvalgte hendelsene. Sårbarhetsanalysen er beskrevet i (6) og (29). Med utgangspunkt i sårbarhetsanalysen ble det identifisert en rekke sårbarhetsreducerende tiltak.

4.3 Konsekvensanalyse

Konsekvensanalysen dokumenterer i hvilken grad sårbarhet og svikt i telenettet virkelig vil føre til konsekvenser av betydning for brukeren, det vil si Totalforsvaret, og hva disse konsekvensene betyr for brukeren.

En svikt i én eller flere funksjoner i telenettet vil i første omgang ha et begrenset omfang avgrenset til det tekniske systemet. Dersom det tekniske systemet er satt inn i en arkitektur med betydelige indre svakheter (sårbarheter), vil slik svikt også få konsekvenser for brukeren av tjenestene. Mens sårbarhetsanalysen konsentrerte seg om det teknologiske aspektet og muligheten for å unngå svikt, var konsekvensanalysen rettet mot konsekvenser for brukerne. Dette var aktører med funksjoner innen Totalforsvaret.

I konsekvensanalysen ble det benyttet scenariobaserte seminarspill som en sentral del av analysemetoden. Scenarier benyttes fordi det er lite hensiktsmessig å benytte den alternative tilnæringsmåten med å anslå et mål på ”sannsynlighet for svikt”, som definisjonsmessig er

knyttet til risikobegrepet. Bruk av sannsynlighet som mål er lite hensiktsmessig når det dreier seg om situasjoner som forventes å oppstå svært sjelden, helst aldri (se avsnitt 3.2).

Det ble utviklet to scenarier som ble benyttet i de to seminarspillene som er gjennomført. Det første scenariet satte fokus på terrorhandlinger rettet mot deler av oljeindustrien og telenettet. Det andre scenariet satte søkelyset på en mer kompleks krisesituasjon der det også inngikk angrep mot telenettet, og som etterhvert tilspisset seg med grensekrenkninger uten at krig ble erklært. Den primære målsettingen med seminarspillene var å studere konsekvenser av svikt i telekommunikasjon for Totalforsvaret, og dermed begrunne behovene for sikringstiltak på et generelt nivå.

For å studere konsekvensene ble det også benyttet kausaldiagrammer som på en enkel måte illustrerte kompliserte sammenhenger mellom årsaker og virkninger.

4.4 Effektivitet av tiltak

I dette avsnittet beskrives den prosessen som ble anvendt i effektivitetsanalysen. Denne er i hovedsak inndelt i en *flermålsanalyse* og en enkel *feilanalyse*. Feilanalyse ble benyttet som et rent supplement til flermålsanalysen for å få en økt forståelse av resultatet fra denne.

4.4.1 Flermålsanalyse

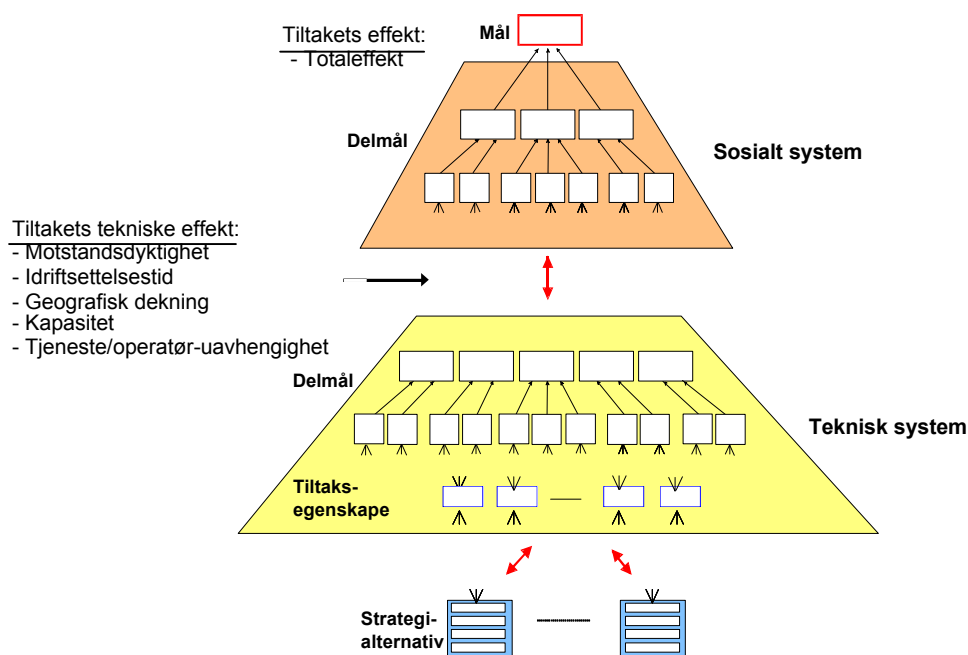
I flermålsanalysen ble det benyttet en metode som i stort tilsvarende AHP, som tidligere er beskrevet i underavsnitt 3.6.2. Det spesifikke verktøyet som ble benyttet var den nederlandske TOPSYS-modellen¹⁶.

Gangen i flermålsanalysen er inndelt i fire faser, som i stort tilsvarende punktene 2-5 presentert i underavsnitt 3.6.2:

1. Konstruksjon av flermålsmodellens struktur, det vil si definering av målnivå og de ulike målene innen hvert nivå i målhierarkiet. Denne modellbyggingen foregår dels gjennom egen forståelse og dels gjennom intervjuer og samtaler med ulike typer eksperter.
2. Tiltak og strategialternativer defineres og representeres som beslutningskriterier til målhierarkiet. Den største forskjellen i forhold til AHP er at det i vår metode benyttes effektfunksjoner for å transformere fysiske mål knyttet til det enkelte tiltak til en lokal effektskala fra 0 – 10 for hvert tiltak (beslutningskriterium).
3. Kvantifisering av vektene på de ulike nivåene i modellen gjennomføres med bruk av eksterne ekspertpanel der en gjennom strukturerte diskusjoner kommer frem til verdiene for de enkelte vektene. Det tas i disse diskusjonene utgangspunkt i et sett med forutsetninger, deriblant scenarier.
4. Etteranalyse – følsomhetsanalyse

¹⁶ Flermålsanalyseverktøy for PC-plattform implementert av TNO, Nederland.

I Figur 4.2 er det vist en skisse av oppbyggingen av flermålsmodellen som er anvendt. Toppnoden på denne representerer det mangedimensjonale effektivitetsmålet. Modellen er som vist satt sammen av en flermålsmodell for det tekniske telekommunikasjonssystemet og en flermålsmodell for den sosiale delen av totalforsvarssystemet. Disse kan hver for seg betraktes som matematiske funksjoner som så er sammenkopleet i den sosiotekniske flermålsmodellen. Som skissert på figuren inneholder hvert nivå i hierarkiet et antall delmål, som i prinsippet skal være uavhengige uten innbyrdes synergieffekter. Mellom hvert nivå i modellen er det definert relasjoner mellom de ulike delmålene. Gjennom kvantifiseringsprosessen i punkt 3 vil disse relasjonene så bli tillagt ulike innbyrdes vektorer.



Figur 4.2 Flermålsmodell for effektivitet i teknisk og sosialt system

I Figur 4.2 er det også indikert at grensesnittet mellom det sosiale målhierarkiet og det tekniske målhierarkiet utgjør et sett med fem delmål. Disse representerer samlet det tekniske systemets effektivitet i forhold til det sosiale systemet, det vil si hvilken *tilgjengelighet til en teletjeneste* den enkelte brukeren innen Totalforsvaret vil kunne forventes å oppleve til enhver tid.

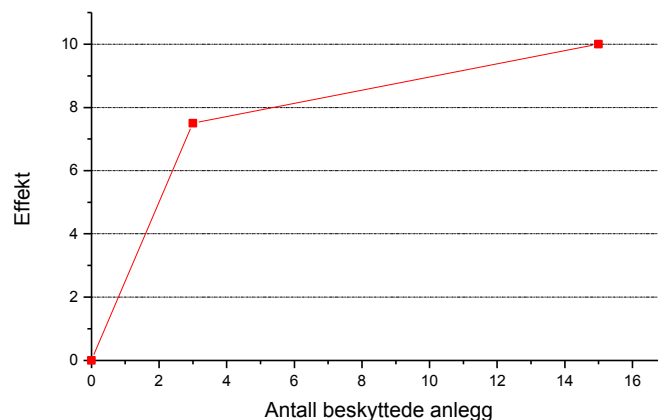
Etter at selve målhierarkiet med de ulike delmål og relasjoner er konstruert, blir det så bestemt hvilke beslutningsvariable som skal legges til grunn for å påvirke måloppnåelsen. I analysen vil disse beslutningsvariablene være ulike typer av tiltak som kan tenkes å påvirke effektiviteten til systemet som helhet. Disse tiltakene er i vesentlig grad identifisert og konstruert som følge av den forutgående sårbarhetsanalysen. Et eksempel på et slikt tiltak er fjellanlegg for å beskytte viktige knutepunkt og nøkkelanlegg i telenettet.

Med utgangspunkt i en vurdering av tiltakenes individuelle bidrag til sårbarhetsreduksjon er det konstruert effektfunksjoner for hvert enkelt tiltak. Disse funksjonene beskriver på en skala fra 1 til 10 tiltakets bidrag til sårbarhetsreduksjon som funksjon av antall fysiske tiltaksenheter. I denne prosessen fastsettes det en maksimalgrense for antall tiltaksenheter samtidig som funksjonens form blir anslått. Noen funksjoner ble bestemt som lineære, mens andre ble

vurdert å ha ulineær grensenytte (knekkpunkt) og andre igjen var binære. Maksimalt antall tiltaksenheter og funksjonens form er basert på faglige og skjønnsmessige vurderinger. Disse vurderingene er basert på følgende forhold som ofte er avhengig av de aktuelle geografiske områdene i nettet:

- Nettstruktur (som forbindelser, operatører, kritiske nettfunksjoner etc)
- Viktige samfunnsfunksjoner
- Befolkningsgeografi
- Praktiske driftstekniske forhold
- Erfaringer (fra andre land)

I Figur 4.3 er det vist et eksempel på effektfunksjon for et tiltak som består i å fysisk beskytte nøkkelpunkter i telenettet. For dette tiltaket er 15 implementasjoner totalt sett vurdert å være tilstrekkelig, og gis dermed en maksimal effekt på 10. Det vi si at ytterligere implementasjoner av tiltaket vurderes å ha betydelig mindre effekt enn de 15 første. Videre er effektfunksjon vurdert å være ulineær. I dette eksemplet er det vurdert at de 3 første installasjonene også vil ha betydelig høyere effekt enn de øvrige 12.



Figur 4.3 Eksempel på effektfunksjon for beskyttelse av teleanlegg

Tiltakenes individuelle og kollektive bidrag til sårbarhetsreduksjon er så kartlagt. Noen tiltak bidrar enkeltvis, mens andre bidrar kun dersom andre tiltak er iverksatt. Deres bidrag er dermed betinget av at andre tiltak er iverksatt. Innsikt i tiltakenes individuelle og ”kollektive” bidrag til sårbarhetsreduksjon var derfor viktig for å konstruere riktig sammensatte tiltakspakker (strategier), både når det gjaldt mengden av enkelttiltak og når det gjaldt hvilke tiltak som burde inngå. Som en tredje betingelse i utformingen av tiltakspakker (strategier) ble det tatt hensyn til at kostnadene totalt sett skulle ligge innenfor det realistiske ressursområdet.

Etter at modellen var konstruert, og tiltak og strategialternativer var definert og knyttet til den øvrige modellen, ble det gjennomført en kvantifiseringsprosess. Denne ble gjennomført ved at det gjennom en serie med møter av varighet ca 3 timer hver, ble gjennomført strukturerte diskusjoner med ulike typer eksperter i to panel, ett panel for den sosiale delen og ett panel for

den tekniske delen. Diskusjonene endte i at det ble bestemt verdier for alle vektene i modellen. Normalt ble disse bestemt ved at det ble oppnådd konsensus i panelet. Diskusjonene ble gjennomført ved at en nivå for nivå foretok en mest mulig objektiv innbyrdes kvantitativ vektning av underliggende delmåls virkning for måloppnåelse på høyere nivå. Det er imidlertid viktig å understreke at det som kom ut av den strukturerte diskusjonen i panelene rundt vektningen av mål og delmål, ga betydelig mer informasjon enn kun selve kvantifiseringen av vektene i modellen.

Deretter ble effektivitet for hver tiltaksstrategi, gjennom egenskapene til de utvalgte enkelttiltakene gitt av den lokale effektfunksjonen, aggregert opp gjennom de ulike nivåene av delmål formulert i flermålsmodellen. De beregnede verdiene for effektivitet blir i modellen lagt på en skala fra 0-10, hvor 10 er best. Det beste strategialternativet ble normalisert til 10 og de øvrige alternativene ble gitt en effektivitet relativt til denne. Den beregnede effektiviteten kunne ikke uttrykkes i absolutte termer for angi hvor robust telenettet vil være, men var i første omgang et hjelpemiddel for å kunne foreta en *rangering* av de ulike tiltakspakkene (strategiene). “Den absolutte effektiviteten” måtte derimot uttrykkes kvalitativt med utgangspunkt i beskrivelser av strategienes innhold, innretning og øvrige egenskaper.

Avslutningsvis ble det foretatt følsomhetsanalyser av resultatet. Gjennom denne følsomhetsanalyse ble også strategisammensettingen gjort mest mulig optimalt. Den prosessen som er beskrevet ovenfor er i stor grad gjennomført som en iterativ prosess, der en går frem og tilbake mellom de ulike nivåene.

Som ramme for flermålsanalyseprosessen ble det benyttet de samme scenariene som for konsekvensanalysen. Disse scenariene inneholdt et sett med ulike utfordringer mot samfunnet og det analyserte systemet over tid. Utfordringene utgjorde i analysen de truslene som det skulle beskyttes mot gjennom tiltak og tiltakspakker.

4.4.2 Feiltreanalyse

For å oppnå en nærmere konkretisering av effektivitetsmålet som fremkom gjennom den relative flermålsanalysen for de ulike strategialternativene, ble det gjort et grovt skjønnsmessig overslag av nødvendig ressursbruk for en angriper for å sette telenettet i to utvalgte avgrensede geografiske områder ut av funksjon over et gitt tidsintervall. Det er viktig å understreke at denne metoden kun tar hensyn til fysiske hendelser. Ressursbruken ble beregnet med utgangspunkt i en enkel feiltreanalyse av telenettet og angitt ved svikt som følge av et antall fysiske anslag mot forbindelser og punkter i nettet. For å komme frem til et tall for den ressursbruken som krevdes mot de to geografiske områdene, ble analysene forankret i de to scenariene som var benyttet som utgangspunkt i flermålsanalysen. Her inngår det også en modell av referansenettet og detaljert informasjon om telenettet i de utvalgte områdene.

For hvert scenario ble det gjennomført beregninger og vurderinger for samtlige tiltakspakker (strategier) som ble analysert med flermålsanalysen. Endringen i ressursbruk (våpen) mot telenettet under forutsetning om sikring i henhold til tiltakspakkene (strategiene) ble så kvantifisert. Deretter ble konsekvensene for Totalforsvaret av en slik alvorlig innsats mot telenettet drøftet. Alt i alt ga dette en viss pekepinn om effektiviteten av de alternative

strategiene. Resultatene viste et overslag for den ressursbruk som det kunne forventes at en angriper måtte bruke for å sette betydelige deler av det offentlige telenettet ut av funksjon.

4.4.3 Samlet vurdering av flermålsanalysen og feiltranalysen

Bruk av en metode som flermålsanalyse er beheftet med usikkerhet. Flermålsmodellen vil være en nærmest dramatisk forenkling av en dynamisk og kompleks virkelighet. Det ideelle ville være å anvende en metode som bygger på et matematisk dynamisk modellunderlag. Ved analyse av så vidt komplekse systemer som inneholder både tekniske og sosiale (menneskelige) elementer er dette i praksis ikke mulig. I beste fall vil en kunne anvende slike metoder til enkelte sterkt begrensede delproblemstillinger.

I mangel av fullgod modellrepresentasjon kunne ulike typer eksperter bruke mye tid på å diskutere komplekse problemstillinger seg imellom. De vil da ofte være ute av stand til å komme frem til et omforent resultat, fordi de mangler et felles mentalt ståsted og en måte å formulere både problem og løsning på. Vi må forvente ulikt syn eksperter imellom når det gjelder komplekse problemstillinger, og vi trenger derfor en egnet strukturell fremgangsmåte¹⁷.

Det er her flermålsanalysen kommer inn som en god mulighet. Denne tilnæringsmåten bidrar til en strukturert og sporbar analyseprosess. Det er mulig i ettertid å forklare resultatet. Tilnærmingen er også anvendbar når det gjelder å håndtere store mengder informasjon og komplekse systemer. Selve modellutviklingsarbeidet gjør ellers vanskelige vurderinger og overveininger eksplisitte, og en blir tvunget til å foreta en kritisk avveining av egne meninger. Ved bruk av ekspertpaneler blir holdninger gjort offentlige, og ekspertene sammenligner sine oppfatninger på en objektiv og åpen måte. Flermålsanalyse er dermed et verktøy både for å håndtere et beslutningsproblem, samtidig som det er et effektivt medium for kommunikasjon.

Erfaringen tilsier at prosessen fram til en ferdig flermålsmodell er krevende, noe som også var tilfelle i vår analyse. Det trengs erfaring og tid for utvikle en god modell. Arbeidet med modellutvikling var imidlertid minst like nyttig som den ferdige modellen, fordi dette arbeidet ga en svært god forståelse for de problemer som skal analyseres. Linearitet er imidlertid en begrensning som utgjør en klar utfordring ved modellering av komplekse problemstillinger og ved vurdering av resultatet av beregningene. Slik var det også i vår analyse. I virkeligheten vil man ikke ha lineære sammenhenger slik som vi har antatt, og dette er en svakhet ved metoden. Man bør derfor unngå for store modeller.

Den største svakheten, som i noen grad kunne vært oppveiet med mer bruk av følsomhetsanalyse enn i vårt tilfelle, er at det er vanskelig å vurdere og formidle absoluttnivået på effektiviteten av strategialternativene og dermed graden av måloppnåelse. Et annet forhold er at det kan være vanskelig å bedømme forskjellen i effektivitet mellom hvert alternativ, det vil si innbyrdes avstand ut over en ren rangering. Til tross for disse forholdene anses metoden å være godt tilpasset anvendelsen.

Som det er nevnt ovenfor er bruken av flermålsanalyse til en slik analyseoppgave på mange

¹⁷ Omtales gjerne som BOGSAT; Bunch og Old Guys/Gals Sitting Around and Talking.

måter kompleks og beheftet med klare begrensninger. For å oppnå en nærmere konkretisering av effektivitetsmålet som fremkommer av flermålsanalysen, ble det valgt å foreta en supplerende enkel feiltreanalyse av utvalgte deler av telenettet. Også denne metoden har store begrensninger. For det første bygger feiltreanalysen på en modell av et fremtidig telenett. Det vil derfor ligge noe usikkerhet i antall forbindelser eller installasjoner som settes ut av funksjon. Denne usikkerheten anses imidlertid å være av mindre betydning. Den største usikkerheten ligger derimot i hvor ofte nye anslag må påføres telenettet gjennom den valgte tidsperioden for å opprettholde den grad av svikt som er forutsatt. De første situasjonene med svikt som oppstår som følge av anslagene mot nettet vil kunne rettes ganske raskt. Selv med et antall samtidige anslag vil det måtte forventes at en vil kunne rette flere feil den første dagen. Når en kommer lengere ut i en perioden med kontinuerlige feilsituasjoner, vil imidlertid muligheten til raskt å rette feil forventes å bli redusert betydelig, særlig når dette skjer over store geografiske områder. Det kreves eksperter og materiell for å foreta feilretting. Begge deler vil det utover i periodene bli underskudd på. Særlig må dette forventes på materiellsiden. Selv om en innen telefunksjonen har hatt tradisjon for å være i stor grad selvforsynt med materiell, er "Just in time" prinsippet også i ferd med å bli rådende her. Denne utviklingen er en klar følge av konkurransen aktørene imellom og innføringen av kostbare komplekse systemer i nettfunksjonene.

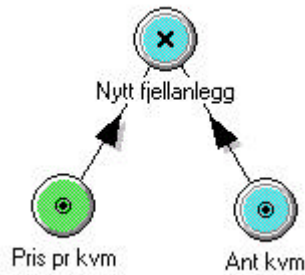
Sannsynligvis vil en betydelig mindre innsats i praksis også forårsake skade med store konsekvenser for brukerne. Dette vil blant annet være avhengig av hvordan driftsorganisasjonen i de enkelte nettene er i stand til å håndtere så betydelige skadeverk som det her dreier seg om. Dette gjelder både det å håndtere situasjonen ut fra et ledersynspunkt, og det å utføre reparasjoner og andre handlinger for å gjenopprette nettfunksjon.

4.5 Kostnadsmodellering og kostnadsberegning av tiltak

Kostnadsberegninger har metodemessig vært en enklere utfordring enn effektivitetsberegning. Kostnadene ble beregnet som stykkpris for hvert tiltak ut fra investering og drift over analyseperioden, som ble satt til 15 år.

Kostnaden for hver tiltakspakke (strategi) ble deretter beregnet utfra det antall tiltak som strategien inneholdt. Imidlertid var tiltakene svært ulik av natur, og usikkerhet ved de ulike kostnadsanslagene var varierende. I kostnadsanslagene ble det derfor tatt hensyn til usikkerhet ved at det til hvert kostnadsanslag ble knyttet en sannsynlighetsfordeling basert på en vurdering av egenskaper ved tiltaket og usikkerhet. De sluttkostnader som fremkom for hver strategi ble beregnet til et konservativt 90 %-estimat, det vil si at det er 90 % sannsynlig at kostnaden til slutt blir som beregnet eller billigere.

For å strukturere usikkerheten i kostnadsanslaget ble kostnadsmodellene illustrert med influensdiagrammer. Et influensdiagram består av noder som representerer variablene i modellen og piler som viser sammenhengen mellom de forskjellige variablene. De variablene som ble modellert med usikkerhet hadde grønn farge, mens de resterende variablene var blå. Figur 4.4 viser en enkel kostnadsmodell for et tiltak der et teleteknisk anlegg beskyttes fysisk med fjelloverbygning.



Figur 4.4 Eksempel på et enkelt influensdiagram for beregning av kostnad for et beskyttet anlegg

I kostnadsberegningen ble verktøyet ”Definitive Scenario”¹⁸ brukt til å strukturere og beregne kostnadsanslagene. I Definitive Scenario er det lagt inn et mangfold av sannsynlighetsfordelinger som blir brukt til å illustrere usikkerheten i variablene. For hvert tiltak kunne det derfor legges inn en sannsynlighet for lavt, middels og høyt utfall.

For hvert sårbarhetsreducerende tiltak ble det identifisert flere kostnadsdrivere¹⁹. Kostnadsdriverne kunne være en sammenslåing av flere basisvariabler. Når hele kostnadsmodellen var komponert, kostnadsdata lagt inn på nodene i influensdiagrammet og avhengigheten angitt på pilene, kunne beregningen begynne. Definitive Scenario foretok da en Monte Carlo-simulering, det vil si at den gjennomførte et gitt antall beregninger med forskjellige tall tilfeldig trukket ut i fra sannsynlighetsfordelingene. Når alle beregningene var ferdig, presenterte verktøyet flere estimat på kostnadsanslaget. Vi valgte som tidligere nevnt å bruke et 90 % estimat²⁰. Alternativt kunne vi valgt å gå videre med et 50 % estimat, men det ville etter vårt skjønn ikke vært et tilstrekkelig sikkert anslag.

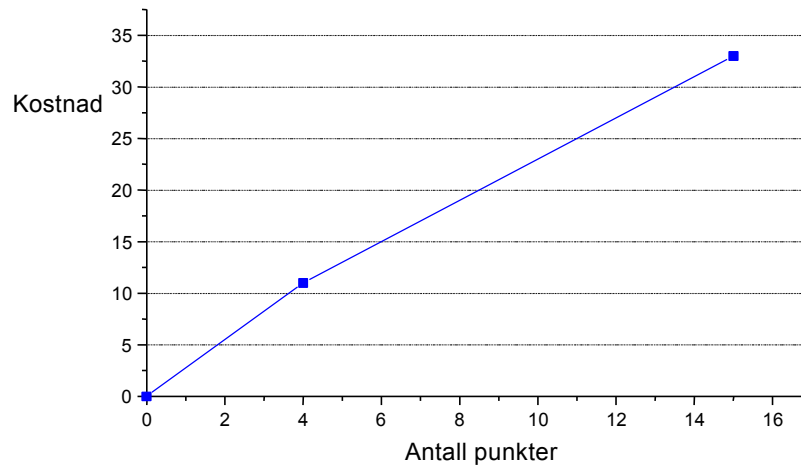
Definitive Scenario presenterer standardavviket for hver usikker variabel. Standardavviket forteller oss hvor usikkert anslaget er, og det kan brukes til å kartlegge hvor i modellen av kostnadsstrukturen konsekvensen av usikkerheten er størst. Standardavviket beskriver det gjennomsnittlige avviket fra en forventet verdi.

Kostnadsanslagene for hvert enkelt tiltak ble presentert som kostnadsfunksjoner som direkte kunne sammenlignes med tilsvarende effektfunksjon for det enkelte tiltaket. Eksempel på kostnadsfunksjon for fysisk beskyttelse av teleanlegg er vist i Figur 4.5. Kostnadsberegningen og utviklingen av kostnadsfunksjoner ble gjort i parallell og i nært samspill med arbeidet med effektivitetsberegningen.

¹⁸ Programvare for vurdering av usikkerhet i beslutninger og prosjekter.

¹⁹ En kostnadsdriver er årsaken til den aktivitet som medfører ressursbruk (kostnad).

²⁰ Det vil si at det forventes med 90 % sannsynlighet at den endelige kostnaden ender opp lik eller under estimatet.



Figur 4.5 Eksempel på kostnadsfunksjon for fysisk beskyttelse av teleanlegg

5 OPPSUMMERING OG KONKLUSJON

Ved analyse av komplekse sosiotekniske systemer er det en stor utfordring å gjøre private modeller offentlige. Dette vil si at en ved bruk av ulike metoder klarer å lage modeller av systemet som er tilgjengelig for de fleste, og som kan studeres, tolkes og kritiseres. Sporbarhet inngår også som en viktig egenskap ved en metode. Det å utnytte kunnskapene til eksperter innenfor ulike fagområder er her av stor betydning. Det vil ofte være vanskelig å finne én enkelt metode som tilfredsstillende alle behov som analytikeren måtte ha, og det vil dermed ofte være behov for å anvende en kombinasjon av ulike metoder. En kan her benytte både kvalitative og kvantitative metoder for å studere konkrete deler av systemet, mens en for å studere de større linjene i systemet i stor grad må benytte kvalitative metoder. I rapporten er det beskrevet et knippe med ulike metoder som kan inngå i en slik multimetodikk.

I analysene som er gjennomført i BAS2 er det anvendt en rekke ulike metoder og teknikker. Det er imidlertid klart at det ikke har vært mulig å utvikle et metodeapparat fullt ut i henhold til den målsettingen som er beskrevet tidligere i rapporten. Likevel er vi kommet et godt stykke på vei. I det følgende presenteres de mest sentrale avvikene fra et ideelt metodeapparat.

En kan først og fremst legge merke til at det i den anvendte fremgangsmåten ikke er noen klar formell kobling mellom konsekvensanalysen og valg av tiltak. Dette kommer av at det ikke har vært mulig å finne en metode for å beregne konsekvens direkte som funksjon av svikt i det tekniske systemet, det vil si hva som er konsekvensen for samfunnet og Totalforsvaret av en svikt i telekommunikasjon. Ulike typer metoder som for eksempel feiltreanalyser kunne vært anvendt i kombinasjon med simuleringsmodeller. Å utvikle modeller basert på disse metodene ville blitt omfattende og ville krevet svært store ressurser, og det kan reises tvil om en slik tilnærming i det hele tatt kunne ha ført fram til tilstrekkelig robuste modeller. Én årsak til dette er at modellene raskt ville blitt store og u håndterlige. En annen faktor er at det analyserte systemet er inne i en kontinuerlig prosess i rask endring og med til dels betydelig usikkerhet om hvordan systemet egentlig vil se ut i fremtiden. I et system med enklere strukturer vil dette bildet imidlertid være annerledes.

I avsnitt 3.2 ble risiko som begrep og verktøy for kommunikasjon inngående drøftet. Her ble det hevdet at risiko som begrep burde brukes i analysen. Risiko som begrep ligger også til grunn i tenkesettet, men bruken av risiko som kvantitativt mål for tiltakssammensetningenes absolutte godhet²¹ og egnethet har det ikke vært mulig å oppnå. Dette har også årsak i problemet med å utvikle modeller som med tilstrekkelig sikkerhet beskriver relasjonen mellom beredskapstiltak og direkte konsekvens for brukeren av systemet. Det vil si hvordan den absolutte risikoen for brukeren endres med innføring av tiltak.

For å omgå disse problemene ble det valgt en tilnærming med å benytte *effektivitet* som mål. Effektivitet er i denne sammenhengen et *relativt mangedimensjonalt* mål. Ut fra en skjønnsmessig vurdering av krav til risiko ble det tatt utgangspunkt i en bestemt tiltakssammensetning som ble vurdert å tilfredsstillende en øvre norm. Denne tiltakssammensetningen utgjør dermed også det høyeste ambisjonsnivået som analyseres. I denne skjønnsmessige vurderingen inngår foruten en vurdering av hva som vil ha en god effekt totalt sett, også en vurdering av hva som er realiserbart kostnadmessig ut fra tro på betalingsvillighet. Selv om den tiltakssammensetningen som utgjør normen ikke må betraktes som et absolutt maksimumsnivå, vil ytterligere tiltak sannsynligvis ha mindre relativ effekt enn de tiltakssammensetninger som er behandlet i analysen.

For å beregne effektivitet av tiltakssammensetninger ble flermålsanalyse anvendt som en sentral del av metodeapparatet. Her ble tiltakssammensetningen som tilfredsstiller det høyeste ambisjonsnivået vurdert kvantitativt opp mot tiltakssammensetninger med lavere ambisjonsnivå. Hvilken heving av det absolutte risikonivået de ulike tiltakssammensetningene i realiteten medførte er det ikke mulig direkte å anslå. Også her var det derfor nødvendig å gjøre skjønnsmessige vurderinger med utgangspunkt i resultatet fra flermålsanalysen. Det må understrekes at det i denne delen av analysen ikke har vært tatt konkret stilling til usikkerhet på samme måte som for kostnadsanalysen. Usikkerhet utgjør dermed en klar begrensning.

Likevel vurderes denne fremgangsmåten å være den beste muligheten for en såvidt kompleks problemstilling, og den vurderes å ha gitt et tilstrekkelig robust resultat. Det er sannsynlig at en analysemessig forbedring vil være å studere spesielle utvalgte strukturer og fenomener innen systemet nærmere, framfor å utvikle den altomfattende modellen.

Analysearbeidet har så langt tilført betydelig erfaring til arbeidet med å videreutvikle metoder for analyse av andre komplekse systemer innen BAS-programmet. Avslutningsvis bør det også nevnes at den metodeporteføljen som er beskrevet i denne rapporten ikke er komplett. I det videre metodearbeidet innenfor feltet Det sivile beredskap og samfunnsårbarhet vil det være behov for å studere ytterligere metoder og deres anvendbarhet. Dette gjelder spesielt metoder innenfor det som beskrives som ”Soft-OA” metoder i avsnitt 3.1.

²¹ Godhet uttrykker endringen (forbedring) i risiko når tiltak implementeres i systemet (Δ Risiko).

APPENDIKS

A FORKORTELSER/BEGREPER

BAS	Beskyttelse av samfunnet
Effektivitet	Effektivitet representerer grad av måloppnåelse for et system gjennom et flerdimensjonalt målkriterium. Måles ofte som differansen mellom konsekvens før og etter at et tiltak er tilført systemet.
Flermålsanalyse	Metode som håndterer analyse av ulike beslutningsalternativer med mangedimensjonale og til dels kryssende mål
Kausal	Sammenhengen mellom årsak og virkning
Konsekvensanalyse	Analyse som viser konsekvensen av et systems funksjon under ulike ytre påvirkning
Kosteffektivitet	Forholdet mellom målt effektivitet av et tiltak og prisen for dette
Multimetodologi	Kombinasjonen av ulike typer metoder som anvendes i analyse av ett system
Nytte	Nytte representerer grad av måloppnåelse for et system målt i monetære verdier
Preferanseanalyse	Analyse som støtter valg av ett av flere mulige alternativ
Risiko	Kombinasjonen av sannsynlighet for en hendelse og konsekvensen av denne hendelsen for brukeren av systemet
Robusthet	Omvendte av sårbarhet
Scenario	Et sammensatt mulig fremtidsbilde som verktøy i analyse
Sosioteknisk	Kombinasjon av mennesker og teknologi
SRT	Sårbarhetsreducerende tiltak innen telekommunikasjon (BAS2)
Sårbarhet	En indre egenskap i et system som gjør at dette ikke fungerer tilfredsstillende under alle påkjenninger det er ment å fungere under

Litteratur

- (1) Peter M Senge (1999): Den femte disiplin - Kunsten å skape den lærende organisasjon, Egmont, Oslo.
- (2) John Mingers, Anthony Gill (1997): The Theory and Practice of Combining Management Science Methodologies - Multimethodology, Wiley, England.
- (3) Jonathan Rosenhead (editor) (1998): Rational analysis for a problematic world, Wiley, England.
- (4) Hagen J M, Arnstad P (1997): Metoder for økonomisk analyse av sivile beredskapstiltak, FFI/RAPPORT-02025, Offentlig tilgjengelig.
- (5) Fridheim H et al (1997): Viktige samfunnsfunksjoner, FFI/RAPPORT-97/01458, Begrenset.
- (6) Nystuen K O (1998): Sårbarhet i offentlig telekommunikasjon, FFI/RAPPORT-98/02561, Begrenset.
- (7) Justisdepartementet (1998): Stortingsmelding 25 (1997/98) - Hovedretningslinjer for Det sivile beredskaps virksomhet og utvikling i perioden 1999 - 2002.
- (8) Dreborg K H et al (1994): Planera för det okända? - Om handtering av osäkerhet, FOA, Stockholm.
- (9) Aven T (1994): Kommunikasjon av risiko og effektivitet av beredskapstiltak, RF-1994/010d, Rogalandforskning, Stavanger.
- (10) Wirén E (1998): Planering för säkerhets skull, Studentlitteratur, Lund, Sverige.
- (11) Lindskog R et al (1997): Samhälle, risk och miljö, Studentlitteratur, Lund, Sverige.
- (12) Rausand R (1991): Risikoanalyse - Veileder til NS5814, Tapir forlag, Trondheim.
- (13) Direktoratet for sivilt beredskap (1994): Veileder for kommunale risiko- og sårbarhetsanalyser.
- (14) Njå O (1998): Approach for Assessing the Performance of Emergency Response Arrangements (PHD-avhandling), Høgskolen i Stavanger.
- (15) Jessen S A (1995): Konsekvensanalyser i praktisk prosjektarbeid, TANO/Engers boktrykkeri AS, Otta.
- (16) Zwicky F, Wilson A G (1967): New Methods of Thought and Procedure, Springer Verlag, New York.
- (17) Aven T, Schei R (1994): Akseptkriterier for risiko og krav til effektivitet av beredskapstiltak - Status, RF 1994/010a, Rogalandforskning, Stavanger.

- (18) Gottschalk P, Wenstøp F (1983): Kvantitativ beslutningsanalyse for ledere og planleggere - Bind II - Preferanseanalyse, Universitetsforlaget, Oslo.
- (19) Jersin E (1985): Kvalitetsstyring, kvalitetssikring og kvalitetskontroll, Tapir forlag, Trondheim.
- (20) Gottschalk P, Wenstøp F (1985): Kvantitativ beslutningsanalyse for ledere og planleggere - Bind I - Konsekvensanalyse med systemdynamikk, Universitetsforlaget, Oslo.
- (21) Richardson K A, Bartley R (1998): Towards a Method for Analysing Organisations, DERA.
- (22) Richardson G P, Pugh A L (1981): Introduction to Systems Dynamics Modelling with DYNAMO, MIT-Press, Cambridge.
- (23) Fridheim H (1998): Seminarspillet "Hermod" - Scenario og opplegg, FFI/RAPPORT-98/05381, Begrenset.
- (24) Saaty T (1992): Multicriteria Decision Analysis - The Analytic Hierarchy Process - Vol. I in AHP Series, RWS Publications, Pittsburgh, PA.
- (25) Liberatore M J (1987): An extension of the Analytical R&D Project Selection and Resource Allocation, IEEE Transactions on Engineering Em-34.
- (26) Jessen S A (1992): The Nature of Leadership, Universitetsforlaget og Oxford University Press.
- (27) Saaty T (1998): The Analytical Network Process - Decisionmaking with Dependencies and Feedback, RWS Publications, Pittsburgh, PA.
- (28) Goodwin P, Wright G (1998): Decision Analysis for Management Judgement, John Wiley & Sons, Chicester, UK.
- (29) Hagen J M et al (1998): Analyse av sårbarhetsreduserende tiltak innen telekommunikasjon, FFI/RAPPORT-99/00241, Konfidensielt

FORDELINGSLISTE

FFISYS
Dato: 30 mai 2000

RAPPORTTYPE (KRYSS AV)			RAPPORT NR.	REFERANSE	RAPPORTENS DATO			
<input checked="" type="checkbox"/>	RAPP	<input type="checkbox"/>	NOTAT	<input type="checkbox"/>	RR	98/06261	FFISYS/740/204.0	30 mai 2000
RAPPORTENS BESKYTTELSESGRAD				ANTALL EKS UTSTEDT	ANTALL SIDER			
UGRADERT				70	48			
RAPPORTENS TITTEL				FORFATTER(E)				
METODE FOR ANALYSE AV SÅRBARHETS- REDUSERENDE TILTAK INNEN TELEKOMMUNI- KASJON - PROBLEMATISERING OG TEORETISK TILNÆRMING				NYSTUEN Kjell Olav, HAGEN Janne Merete				
FORDELING GODKJENT AV FORSKNINGSSJEF:				FORDELING GODKJENT AV ADM. DIREKTØR:				

EKSTERN FORDELING

INTERN FORDELING

ANTALL	EKS NR	TIL	ANTALL	EKS NR	TIL
1		Justisdepartementet	14		FFI-Bibl
1		v/ Rådgiver May Kristin Ensrud Postboks 8005 Dep, 0030 Oslo	1		Adm direktør/stabssjef
			1		FFIE
			10		FFISYS
1		Samferdselsdepartementet	1		FFIBM
1		v/ Rådgiver Kariann Skar Sørdaahl Postboks 0810 Dep, 0030 Oslo	1		Ragnvald Solstrand, FFISYS
			1		Jan Erik Torp, FFISYS
			1		Bent-Erik Bakken, FFISYS
1		Olje- og Energidepartementet	1		Janne M Hagen, FFISYS
1		v/ Geir Uglum Postboks 8148 Dep, 0030 Oslo	1		Kjell Olav Nystuen, FFISYS
			1		Håvard Fridheim, FFISYS
			1		Siv Kjersti Rodal, FFISYS
1		Nærings- og handelsdepartementet	1		Olve Skjeggedal, FFISYS
1		v/ Vigdis Olsen Postboks 8014 Dep, 0030 Oslo	1		Frode Rutledal, FFISYS
			1		Ingunn Mari Skaaden, FFISYS
			1		Brynjar Lia, FFISYS
1		Forsvarsdepartementet	1		Torleiv Maseng, FFIE
1		v/ FD IV	1		Johan Aas, FFIE
			1		Stein Grinaker, FFIBM
			1		Svein E Martinussen, FFIBM
1		Direktoratet for sivilt beredskap			FFI-veven
1		v/ Underdirektør Kim With			
1		v/ Rådgiver Stein Henriksen Postboks 8136 Dep, 0033 Oslo			
1		Forsvarets høyskole			
1		Forsvarets stabsskole			
1		FO/S			
1		v/ Truls Gussgard			
1		FTD			
1		v/ Ottar Holm			

FFI-K1 Retningslinjer for fordeling og forsendelse er gitt i Oraklet, Bind I, Bestemmelser om publikasjoner for Forsvarets forskningsinstitutt, pkt 2 og 5. Benytt ny side om nødvendig.

EKSTERN FORDELING**INTERN FORDELING**

ANTALL	EKS NR	TIL	ANTALL	EKS NR	TIL
1		NVE			
1		v/ Tor Langrud Postboks 5091, Majorstua 0301 Oslo			
1		Post- og teletilsynet			
1		v/ Torgeir Alvestad			
1		v/ Jarle Kiil Pb 447 sentrum, 0104 Oslo			
1		Telenor AS			
1		v/ Fritz Ødegaard Postboks 6701, St Olavs plass 0030 Oslo			
1		NHH			
		Helleveien 30 5045 Bergen			
1		NTNU			
		7491 Trondheim			
1		Handelshøyskolen BI			
1		v/ Fred Wenstøp 1301 Sandvika			
1		Teleplan AS			
		v/ Siri Kalager postboks 69, 1324 Lysaker			
		www.ffi.no			