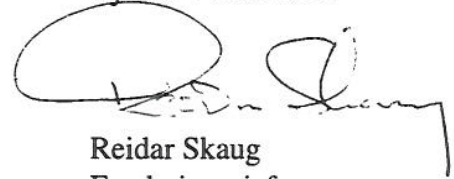


FFISYS/671/161.2

Godkjent

Kjeller 4 mars 1997



Reidar Skaug
Forskningssjef

**TIDSHORISONTER OG
PROGNOSEKVALITET - En kvantitativ
tilnærming**

SUNDFØR Hans Olav

FFI/RAPPORT-97/04677

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


NORWEGIAN DEFENCE RESEARCH ESTABLISHMENT (NDRE)
 FORSVARETS FORSKNINGSINSTITUTT (FFI)

UNCLASSIFIED

POST OFFICE BOX 25
 N-2007 KJELLER, NORWAY

SECURITY CLASSIFICATION OF THIS PAGE
 (when data entered)

REPORT DOCUMENTATION PAGE

1) PUBL/REPORT NUMBER FFI/RAPPORT-97/04677 1a) PROJECT REFERENCE FFISYS/671/161.2	2) SECURITY CLASSIFICATION UNCLASSIFIED 2a) DECLASSIFICATION/DOWNGRADING SCHEDULE	3) NUMBER OF PAGES 66										
4) TITLE TIDSHORISONTER OG PROGNOSEKVALITET - En kvantitativ tilnærming (PLANNING HORIZONS AND PROGNOSIS QUALITY - A quantitative approach)												
5) NAMES OF AUTHOR(S) IN FULL (surname first) SUNDFØR Hans Olav												
6) DISTRIBUTION STATEMENT Approved for public release. Distribution unlimited. (Offentlig tilgjengelig)												
7) INDEXING TERMS IN ENGLISH: <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; border: none;"> a) <u>Information quality</u></td> <td style="width: 50%; border: none;"> IN NORWEGIAN: a) <u>Infomasjons kvalitet</u> </td> </tr> <tr> <td style="border: none;"> b) <u>Command and Control</u></td> <td style="border: none;"> b) <u>Kommando og Kontroll</u> </td> </tr> <tr> <td style="border: none;"> c) <u>Cost effectiveness analysis</u></td> <td style="border: none;"> c) <u>Kost-effektivitets analyse</u> </td> </tr> <tr> <td style="border: none;"> d) <u>Information</u></td> <td style="border: none;"> d) <u>Informasjon</u> </td> </tr> <tr> <td style="border: none;"> e) <u>Decisionmaking</u></td> <td style="border: none;"> e) <u>Beslutningstaking</u> </td> </tr> </table>			a) <u>Information quality</u>	IN NORWEGIAN: a) <u>Infomasjons kvalitet</u>	b) <u>Command and Control</u>	b) <u>Kommando og Kontroll</u>	c) <u>Cost effectiveness analysis</u>	c) <u>Kost-effektivitets analyse</u>	d) <u>Information</u>	d) <u>Informasjon</u>	e) <u>Decisionmaking</u>	e) <u>Beslutningstaking</u>
a) <u>Information quality</u>	IN NORWEGIAN: a) <u>Infomasjons kvalitet</u>											
b) <u>Command and Control</u>	b) <u>Kommando og Kontroll</u>											
c) <u>Cost effectiveness analysis</u>	c) <u>Kost-effektivitets analyse</u>											
d) <u>Information</u>	d) <u>Informasjon</u>											
e) <u>Decisionmaking</u>	e) <u>Beslutningstaking</u>											
THESAURUS REFERENCE: 8) ABSTRACT (continue on reverse side if necessary) <p>As part of the study on command and control activities and decision support needs in divisional level army-units and subunits, the effect of reaction time on battle outcome is studied. Evidently success in battle depends strongly on the quality of the prognoses that the commanders decisions are based on. This report is an attempt to outline the relation between reaction time and the possible quality of a prognosis. The problem is adressed in both a qualitative and a quantitative way, and the main focus is on information about own and enemy situation.</p> <p>Two quality parameters are considered, called precision and correctness of information. Precision is described in an analytical way, as a statistical fenomenon. It is also considered how ability to make minor adjustments in own plan will compensate uncertainty in prognosis. Correctness of information is here defined as the probability that the main features in enemy plan is correctly understood. It is discussed how game theory can be used to quantify the development of this parameter with time.</p>												
9) DATE 4 March 1997	AUTHORIZED BY This page only Reidar Skaug 	POSITION Director of Research										

ISBN 82-464-0146-7

UNCLASSIFIED

INNHOOLD

	Side	
1	INNLEDNING	5
1.1	Bakgrunn og hensikt	5
1.2	Rapportens innhold	7
2	GENERELT OM INFORMASJONSBILDET	8
2.1	Etablert Landsituasjon	8
2.2	Presentasjon av usikkerhet	9
2.3	Et illustrerende eksempel	11
2.4	Når flere Fi handlemåter er aktuelle	12
3	USIKKERHET I "TID OG ROM"-FAKTOREN	13
3.1	Feilkilder	14
3.1.1	Diffuse feil	14
3.1.2	Lineære feil	15
3.1.3	Kvadratiske feil	16
3.1.4	Selvforsterkende feil	18
3.1.5	Dempede feil	19
3.2	Total feil/usikkerhet	19
3.3	Lokal predikterbarhet	20
4	RIMELIGE VERDIER FOR USIKKERHETEN	21
4.1	Diffuse feil	21
4.2	Avhengighet av nivå	23
4.3	Lineære feil	26
4.4	Kvadratiske feil og feil som går som a^t	28
4.5	Dempede (konstante) feil	30
4.6	Rimelig verdi for total feil	31
5	DIFFERENSIERT REAKSJONSTID OG STYRINGSMULIGHET	34
5.1	Generelt om styringsmulighet	34
5.2	Styring av diffuse feil med kortsiktige tiltak.	36
5.3	Styring av systematiske (lineære) avvik	37
5.4	Rimelige omfang av styringsmulighet	40

5.4.1	Omfang på kortsiktige styringstiltak rettet mot motstanderen	40
5.4.2	Kortsiktige styringstiltak rettet mot egne styrker	43
5.4.3	Varige (lineære) styringstiltak rettet mot egne styrker	43
5.4.4	Varige styringstiltak rettet mot motstanderen	44
6	USIKKERHET VED OVERORDNEDE TREKK I SITUASJONEN	45
6.1	Valgtidspunkt og kvasisamtidighet	46
6.2	Optimale blandede strategier	47
6.3	Optimale blandede strategier og usikkerhet i fiendtlig handlemåte	49
6.4	Et tenkt eksempel på sammenheng mellom reaksjonstid og usikkerhet i fiendtlig handlemåte.	52
7	OPPSUMMERING	54
	APPENDIKS	59
A	FORUTSETNINGER FOR REGNEEKSEMPLENE I KAPITTEL 4	59
	Litteratur	57
	Fordelingsliste	65

TIDSHORISONTER OG PROGNOSEKVALITET - En kvantitativ tilnærming

1 INNLEDNING

Denne rapporten er en resultatrapport utarbeidet under FFI-prosjekt 671, KKI-Hær. Prosjektet skal støtte hærens utvikling av et nytt og moderne konsept for divisjonens kommando og kontrollsystem, og utviklingen av dette konseptet skal baseres på kosteffektivitets-vurderinger. Denne rapporten utvikler en del av argumentasjonen i effektivitetsberegningene. En senere rapport vil knytte denne argumentasjonen opp i scenariet Geirfinn Åsmundson, som benyttes i prosjektets effektivitetsberegninger.

Rapporten er primært tenkt brukt internt i prosjektet, som en dokumentasjon av metodearbeid og drøfting av idéer. Det antas likevel at vesentlige deler av innholdet har allmen interesse. Rapporten vil være mest aktuell for personer som arbeider med prognoser eller med design eller analyse av ledelsessystemer. Den bør ses som et teoretisk utgangspunkt som illustrerer og kvantifiserer viktige sider ved prognoser, men det vil være vanskelig å anvende innholdet *direkte* på andre problemstillinger enn den som er direkte drøftet.

1.1 Bakgrunn og hensikt

Effektivitetsvurderingene består i å finne bidraget fra K2S til divisjonens samlede ytelse i form av et stridsutfall. Et kommando og kontrollsystem har til oppgave å muliggjøre beslutningstaking og gjennomføring av beslutninger. I effektivitetsvurderingene er det således nødvendig å se på sammenhengen mellom de beslutninger som tas i divisjonen, og den effekten disse beslutningene får på stridsfeltet. Beslutningen må tas en viss tid før den får effekt, samtidig som det er situasjonen på stridsfeltet på det tidspunktet beslutningen får virkning, som er avgjørende for hvilken effekt beslutningen har. Lengden av dette tidsspennet, eller reaksjonstiden, er altså en viktig parameter, som er avgjørende for i hvilken grad forutsetningene for beslutningen er oppfylt når beslutningen skal gjennomføres. Siden oppfyllelse av forutsetningene er avgjørende for hvorvidt operasjonen lykkes, er det også en nær sammenheng mellom reaksjonstiden, og divisjonens ytelse. I en strid mellom to parter vil motstanderen tilstrebe å utnytte reaksjonstiden til sin fordel, ved å iverksette operasjoner med kortere tidshorisonter, som forpurrer planene på egen side. Motstanderen vil med andre ord aktivt søke å bidra til at forutsetningene for en beslutning ikke er oppfylt når beslutningen får effekt, noe som ytterligere kompliserer bildet.

Evne til å ta den riktige beslutningen på grunnlag av informasjon med en viss kvalitet, kan beskrives som evne til å bevare kvaliteten på informasjonen gjennom beslutningsprosessen. Ytelsen til ledelsessystemet i en beslutningssituasjon kan nå beskrives ved hjelp av tre parametre:

1. Kvaliteten på den informasjonen systemet frembringer om sine omgivelser til enhver tid
2. Hvilken kvalitet det er mulig å ha på prognoser om situasjonen på det tidspunktet når beslutningen får effekt. Med andre ord blir dette: i hvilken grad er det mulig å bevare kvaliteten på informasjonen ved fremskrivning til tidspunktet for effekt av beslutningen.
3. Systemets evne til å bevare kvaliteten på informasjonen gjennom vurderingsprosesser (herunder utarbeidelse av prognosen) og beslutningsprosessen

Dette er en oppdeling som passer beskrivelsen her, men det er ikke den eneste måten å dele opp de forholdene som styrer systemets ytelse. Punkt 2 er naturligvis styrt av organisasjonens reaksjonstid, og hensikten med denne rapporten er å gi en metode for å beskrive hvor godt det er mulig å fremskrive situasjonen for en gitt reaksjonstid. Sammen med en vurdering av et konkret systems hurtighet i forskjellige situasjoner, er dette en viktig del av effektivitetsberegningen for ledelsessystemet.

Strengt tatt kan de tre forholdene over sies å omfatte hele ledelsessystemets ytelse, ved at man lar beskrivelsen omfatte *alle* beslutninger i organisasjonen, også på meget lavt nivå, samtidig som eventuell degenerering av systemet tas med i betraktning under hvert punkt. På denne måten ekspanderer imidlertid analysen ukontrollert, og det er derfor naturlig å inkludere en fjerde parameter for å beskrive systemets ytelse:

- Systemets evne til å gjennomføre beslutningen (kvaliteten på gjennomføringen).

Denne evnen kan beskrives ved sannsynligheten for at man lykkes i hovedintensjonene, hvor presist man klarer utførelsen, samt evt annenordens forhold. Evnen til å gjennomføre beslutningen er altså beskrevet på samme måte som informasjonskvaliteten, og kan dermed lett sammenliknes.

Punkt 1 og 2 er tilsammen systemets evne til forut for beslutningstidspunktet å frembringe holdbar informasjon (informasjon av god kvalitet (5)) om hva som er situasjonen når beslutningen får effekt. Informasjon om fremtiden kalles gjerne prognoser, og det vi er ute etter, er altså systemets evne til å lage gode prognoser med en tidshorisont lik organisasjonenes reaksjonstid.

I en militær organisasjon med et manøverbasert stridskonsept antas det at det oftere vil være et problem at forutsetningene for en plan svikter, enn at forutsetningene ikke er tilstrekkelig drøftet. Dersom vi også regner forsinkelse i informasjonsinnhenting inn under punkt 2, blir også punkt 1 en begrenset utfordring sammenlignet med punkt 2 - organisasjonen som helhet har som regel svært mye og detaljert informasjon som den aldri rekker eller evner å få frem til beslutningstakere og benytte. Dersom altså all forsinkelse fra observasjon til effekt av beslutning teller med under punkt 2, kan dette sies å være den viktigste parameteren for ytelsen til ledelsessystemet (K2S) sammen med kvaliteten på utførelsen av beslutningen.

I (5) er det drøftet hva som ligger i begrepet god informasjon, og hvilke kriterier kvaliteten på informasjonen er beskrevet ved. Samme referanse inneholder også en viss beskrivelse av hvordan presisjonen på en opplysning utvikler seg over tid fra et primært kvalitativt synspunkt. Denne rapporten har til hensikt å danne grunnlag for en *kvantitativ* beskrivelse av sammenhengen mellom det tidsspennet man må ha på prognosene som man tar beslutning på, og den kvaliteten man kan ha på de samme prognosene. Dette er et område hvor det er vanskelig å bruke erfaringstall, mens det finnes relativt gode erfaringstall for den tiden man bruker på å drøfte forutsetninger i en beslutningssituasjon. Metoden som er fulgt i denne rapporten kan sies å være analyse av mekanismene som skaper usikkerhet, ned til et nivå der man har mulighet til å putte inn rimelige erfaringstall, altså til et detaljnivå der det *finnes* erfaringer.

Effektivitetsberegningene i prosjektet omfatter analyser av reaksjonstid på forskjellige nivåer og for forskjellige ledelsessystemer, og stridsutfallsanalyser for forskjellige forløp av scenariet Geirfinn Åsmundson". Denne rapporten vil bli brukt som utgangspunkt for å holde reaksjonstid og stridsutfallsanalyser opp mot hverandre som et effektivitetsmål for K2S. En slik kobling har vist seg å være vesentlig for å kunne prioritere reaksjonstid på forskjellige nivå opp mot hverandre, og det vil også kunne være en del av grunnlaget for å vurdere effekten av et kommando og kontrollsystem opp mot andre stridsmidler.

1.2 Rapportens innhold

Kapittel 2 behandler noen få forhold knyttet til hva begrepet *situasjonsbilde* omfatter. Her sies også noe om hvordan det kan presenteres og hvor mye som kan presenteres. Kapitlet var ønskelig å ha med for å fastlegge hva som menes med "informasjonsbilde" i resten av rapporten, og hva som ligger i begrepet *bildets usikkerhet* eller *kvalitet*.

Informasjonskvalitet er mer utførlig drøftet i (5).

Resten av rapporten handler om sammenhengen mellom forsinkelse (eller reaksjonstid) og kvalitet på informasjon (eller prognoser). Fremstillingen er todelt: Man betrakter i hovedsak beslutninger på ett konkret nivå¹ i organisasjonen, der beslutningstakeren har et svært klart forhold til beslutningen og valget som treffes på dette nivået, men et mer tilfeldig forhold til detaljene på lavere nivå. Dette svarer til en organisasjon der det til enhver tid er veldefinert hvilke beslutninger som tilligger det enkelte nivå, men det trenger ikke svare til at ansvarsfordelingen er fastlåst over tid.

Underordnede beslutninger som treffes på lavt nivå, sammen med de tilfeldige variasjonene som preger strid og manøvrering i vanskelig lende, er behandlet i kapittel 3, 4 og 5. De er beskrevet som et statistisk fenomen som man i noen grad kan styre og

¹ Dette er et vilkårlig nivå, og teorien vil i prinsippet gjelde alle nivåer, men en analyse er her forutsatt å se på konkrete beslutninger på ett nivå om gangen, der dette nivået ikke innvirker direkte på detaljene i beslutninger på lavere nivå.

manipulere. Kapittel 3 er en relativt grundig drøfting av de kvalitative egenskapene ved tidsutviklingen på kvaliteten til informasjon om forhold som er styrt av underordnede beslutninger og av tilfeldige variasjoner, mens kapittel 4 er en tilnærming til de kvantitative størrelsene. Kapittel 4 er å betrakte som en generisk case av teorien, der konkretiseringen er trukket svært langt i form av tallfesting, men det behandler ikke alle eventualitetene fra kapittel 3. En del av de mer case-spesifikke forutsetningene og utregningene er lagt til appendiks A. Kapittel 5 utvider teorien ved å ta hensyn til muligheten man har til på kortere varsel å foreta mindre justeringer underveis i gjennomføringen.

Det bevisste valget av handlemåte eller strategi på det nivået som primært betraktes, kan analyseres i det enkelte scenario ved hjelp av elementær spillteori, og en metode for dette er drøftet i kapittel 6. Her vil tallene være så situasjonsavhengig at de var umulig å kvantifisere på generell form. Det ene caset som er gitt, har lite generalitet over seg, og er kun å anse som et regneeksempel. Hensikten med kapitlet er Dette er begrepsdannelse. Det representerer i prinsippet en metode som vil fange opp problemstillingen svært godt, men denne er tung å gjennomføre. Kapitlet er imidlertid et godt utgangspunkt for mer ad hoc-pregede metoder.

Sett med utgangspunkt i et valg av handlemåte eller strategi på det nivået som betraktes, svarer fremstillingen i denne rapporten i noen grad til beskrivelsen av informasjonsbildets korrekthet og presisjon i (5)². Tidsutviklingen til sannsynligheten for at hovedinnholdet i bildet er korrekt (korrektheten) er beskrevet i kapittel 6, mens tidsutviklingen for omfanget av mindre grunnleggende avvik (presisjon) er beskrevet i kapitlene 3 til 5.

2 GENERELT OM INFORMASJONSBILDET

2.1 Etablert Landsituasjon

I (5) er det operert med begrepene *opplevd virkelighet* og *sann virkelighet*, noe som ble ansett som en riktig måte å beskrive en beslutningssituasjon på. I studier som vektlegger oppfattelse og menneske-maskin grensesnitt, er det i tillegg vanlig å innføre *presentert virkelighet* som et mellomliggende nivå. Siden vi ikke vet noe sikkert om den sanne virkeligheten, er den lite hensiktsmessig å regne på, og det kan derfor være hensiktsmessig å kutte ut denne todelingen. Dette betyr ikke at beslutningen som blir tatt ikke skal måles opp mot verden utenfor ko-teltet, men vi kan la virkeligheten bli representert ved *fremtidig*

² I denne rapporten er det argumentert for at informasjonskvalitet er beskrevet ved tre parametre: korrektheten er sannsynligheten for at hovedinnholdet eller hovedtolkningen av informasjonen er riktig, presisjonen er summen av de små og ikke avgjørende avvikene sett opp mot detaljnivået i beslutningen, mens komplettheten beskriver annenordenseffekter i form av spredningen på avvikene til et stort antall parametre. Korrektheten henger tett sammen med sannsynligheten for at egen plan håndterer den situasjonen som oppstår.

opplevd virkelighet i stedet for ved en *samtidig sann virkelighet*. Dette er helt i tråd med de siste århundrerens verdensanskuelse, som ikke aksepterer noen annen kilde til kunnskap enn sansning. Det er heller ikke noe problem å forklare dette intuitivt, for om så landet skulle bli invadert, skader det oss lite, dersom vi lever videre uten noensinne å oppdage hverken invasjonen eller sporene av den.

Total opplevd virkelighet på operativt nivå er kalt Etablert Landsituasjon, eller ELS (7). ELS er å betrakte som en måling av virkeligheten, og en usikkerhet i ELS på tidspunkt t er å betrakte som en usikkerhet i vår forventning til det bildet vi får dersom vi kunne foreta en ny måling på tidspunktet t . Man er selvfølgelig aldri i en situasjon der man kan foreta slike simultane og uavhengige målinger, men vi kan i prinsippet gjøre slike målinger med kort tidsintervall, og vil da se at usikkerheten går mot en grense når tiden kortes ned. Dette vil dermed være usikkerheten i ELS.

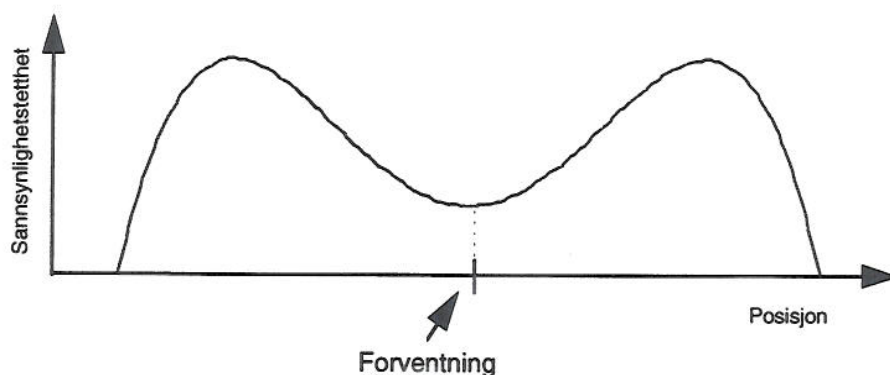
I prinsippet kan vi se på stidskontakt og strid som en form for sansning, og det er derfor ingen ting i veien for å mene (eller argumentere som om man mente) at striden finner sted i ELS, i stedet for i en sann virkelighet. Her må man imidlertid huske på at ELS kan oppføre seg litt annerledes enn man er vant til at den sanne virkeligheten gjør; avdelinger i ELS kan f.eks. plutselig "forsvinne", eller de kan flytte seg "momentant" fra en akse til en annen, noe som altså svarer til konkrete feil i E-bildet, som i sin tur rettes opp når man får oppdatert informasjonsbildet.

2.2 Presentasjon av usikkerhet

Dersom vi forutsetter at man i grove trekk har gjettest riktig på motstanderens intensjon, vil usikker informasjon om posisjonen til motstanderens avdelinger i sin helhet kunne representeres ved en sannsynlighetsfordeling (distribusjon over geografiske posisjoner). Også uten denne forutsetningen vil vår informasjon om motstanderens mulige fremtidige posisjoner og usikkerheten knyttet til denne, være beskrevet ved en sannsynlighetsfordeling for hver avdeling. Dersom det overordnede bildet endres, vil imidlertid implikasjonene gjerne være større enn det som kommer frem ved en liten sannsynlighet for en gitt posisjon. Det kan derfor være at en slik fordeling ikke er en realistisk representasjon av informasjonen uten at man holder seg til en enkelt fiendtlig handlemåte.

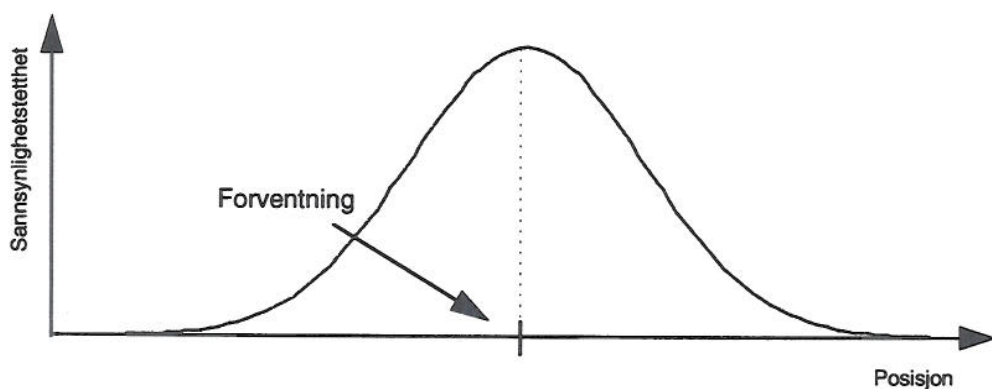
En sannsynlighetsfordeling kan i prinsippet ha en hvilken som helst form; den kan ha mange lokale maksima, f.eks. ett lokalt maksimum i hver ende av den strekningen hvor den er ulik null (figur 2.1), eller den kan ha en "snill" (f.eks. normalfordelt) klokkeform (figur 2.2). Imidlertid er det sterke begrensninger på hva mennesker klarer å oppfatte av slike fordelinger, og det må derfor gjøres et nøkkel utvalg av den informasjonen som ligger i sannsynlighetsfordelingen. Aktuelle størrelser som kan presenteres vil være lokale maksima, lokale minima, tyngdepunkt for fordelingen (ofte kalt forventning), nivågrenser

for sannsynlighetstetthet og forskjellige typer konfidensintervaller.



Figur 2.1 Eksempel på fordeling der tyngdepunktet (forventningen) er et punkt med lav sannsynlighet

For en klokkeformet fordeling vil mange av disse størrelsene falle sammen, ved at forventningen vil være et lokalt (og globalt) maksimum, lokale minima vil være de områdene hvor vi vet at motstanderen ikke vil være, og de naturlige grensene for et konfidensintervall vil være nivågrensene for sannsynlighetstetthet. Dersom man vet at sannsynlighetsfordelingen vil være normalfordelt langs en enkelt akse, (f eks fordi forventningen til gjennomsnittsfart er normalfordelt, og den eneste andre feilkilden er diffuse feil, som definert i kapittel 3), vil fordelingen være tilstrekkelig beskrevet ved et middel og et konfidensintervall. Normalt vil det likevel være lurt å ta med minst to nivålinjer, som avgrensar f eks et 90% og et 50% konfidensintervall, fordi man ikke alltid vil ha et komplett bilde av hvordan en normalfordeling ser ut. En fordeling som er uniform over hele det området hvor den ikke er null, vil tilsvarende være fullstendig beskrevet ved grensene for fordelingen, og evt et tyngdepunkt. I store trekk antas det at en klokkeformet sannsynlighetsfordeling er tilstrekkelig beskrevet ved to konfidensintervaller i form at nivågrenser, samt en middelvei. Dette bør det også være mulig å oppfatte korrekt fra en visuell fremstilling.



Figur 2.2 Normalfordelingen er et eksempel på en snill fordeling, der forventningen ligger i området med høyest tetthet.

Med flere lokale maksima er det vanskeligere å si hva som er riktig måte å presentere informasjonen, og det vil avhenge sterkt av hvordan informasjonen vil brukes. Maksimumspunktene i seg selv er ikke veldig interessante, det er heller den totale sannsynligheten for at verdien ligger i noenlunde nærhet av dette punktet som er av interesse. Her kommer detaljeringsgraden inn, altså hva som er den minste avstanden man planlegger med. To lokale maksima som er adskilt med relativt liten avstand, vil det altså ikke være så interessant å kunne skille fra hverandre. Likeså vil det være lite interessant med en lokalt høy sannsynlighetstetthet som ikke gir noe vesentlig tilskudd til gjennomsnittlig sannsynlighetstetthet i et område som man vil anse som en enhet. Etter en slik utglating av kurven må man på en eller annen måte få frem sannsynlighetstettheten i de enkelte områder. To nivågrenser, som legges slik at de utgjør f.eks. 50% og 80% konfidensintervaller vil nok være det meste det vil være aktuelt å oppfatte under en presentasjon i tillegg til evt. et tyngdepunkt (flere nivågrenser vil bare forvirre bildet). Tyngdepunktet kan i og for seg ligge i et område med svært liten sannsynlighetstetthet, mellom to områder med høy sannsynlighet, så dette er en størrelse det bør legges liten vekt på. I stedet kan man ha med tyngdepunktet for den "klokken" som utgjør størst samlet sannsynlighet. Et konfidensintervall avgrenset av en nivålinje (for sannsynlighetstettheten) vil neppe være lesbart dersom det består av mer enn 3-4 adskilte deler, og i et slikt tilfelle bør delene grupperes i færre områder med høy gjennomsnittlig sannsynlighet.

Kort oppsummert vil dette si at langs en enkelt akse vil man ikke kunne forvente å oppfatte mer enn 5-7 punkter, og disse må velges slik at de beskriver eller avgrenser inntil tre-fire områder med stor sannsynlighetstetthet eller beskriver forskjellige nivålinjer for sannsynlighetstetthet, som utgjør ett eller to konfidensintervaller. I tillegg bør et tyngdepunkt for fordelingen eller for den største "enkeltklokken" være med for å angi en sannsynligste eller en typisk verdi.

2.3 Et illustrerende eksempel

Dette eksempelet beskriver hvordan man på lavt nivå fulgte en tilnærming med å se på sannsynlighetstetthet: Under Arctic Express-94 laget man soner med forskjellig sannsynlighetstetthet for fiendlige OPer. Man gjennomførte områdene med hund med de mest sannsynlige områdene - de lokale maksima - først, og slik ble motstanderens etterretningsapparat effektivt redusert. Man utarbeidet tetthetsfunksjonene (eller -sonene) ved å sette seg i motstanderens situasjon og planlegge hvordan man selv ville ha disponert overvåkingsressursene. Dette forutsetter en klar formening om motstanderens intensjon og operasjonsmønster, og man kunne si hvor det var mer gunstig og mindre gunstig å plassere seg for å holde kontroll på aktuelle akser, veikryss eller andre aktuelle overvåkningsmål. Dette er ikke uten videre overførbart på høyere nivå, men viser at en slik fremstillingsmåte og tankemåte er tilstede og i noen grad benyttes i Hæren i dag.

2.4 Når flere Fi handlemåter er aktuelle

Motstanderen vil normalt ha et par grunnleggende forskjellige alternativer han kan følge. Med *fiendlig handlemåte* vil her forstås omtrent det samme som Operasjonsidé, slik dette er definert i (2). Motstanderen vil også ha en viss sannsynlighet for å velge den enkelte av sine mulige handlemåter, samtidig som vi vil få frem en sannsynlighetsfordeling for posisjonen til hver enkelt avdeling, gitt en bestemt handlemåte. Det er altså ingen ting i veien for å representere avdelingens mulige posisjoner ved hjelp av en sannsynlighetsfordeling som bare er summen av fordelingene for de aktuelle handlemåtene, vektet med sannsynligheten for den enkelte handlemåte. Spørsmålet som reiser seg, er om dette er en god beskrivelse av den informasjonen man sitter på. Dette er den samme problematikken som ble behandlet i (5), der det settes et grunnleggende skille mellom sannsynligheten for at en informasjons hovedinnhold eller hovedtolkning er gal, og de mindre avvik man forventer innenfor denne hovedtolkningen.

Hovedårsaken til at dette evt skulle være en uheldig fremstilling av informasjonen, er at man med en gitt posisjon vil assosiere en konkret handling eller retning. Til en viss grad er det mulig å holde dem adskilt. F eks i en situasjon der vi har tenkt å angripe og slå motstanderen i et bestemt område så snart han kommer dit, er det lite viktig hva motstanderen egentlig ville på dette stedet eller hvor han hadde tenkt seg videre, ettersom han forhåpentligvis aldri kommer videre eller får løst det oppdraget han hadde tenkt å løse. I sum betyr dette at hvis man skal beskrive informasjonen om fremtidig posisjon kun som en sannsynlighetsfordeling, så sier den bare noe om posisjonen, og ikke om retning eller overordnet situasjon. Informasjon om dette må derfor beskrives separat, og det er usikkert om dette kan representeres fullstendig på noen mer kompakt måte enn i form av fordelingsfunksjoner for posisjon knyttet til forskjellige overordnede handlemåter. Den naturlige måten å representere informasjon om retning og hensikt tilknyttet motstanderens posisjon vil være aktuelle manøvreringsmønstre og sannsynligheter for disse for hver enkelt akse. Noe informasjon vil gå tapt ved denne representasjonen, men neppe hovedlinjene.

Et unntak som bør nevnes for fullstendighetens skyld, er tilfellet der det ikke er noen overlapping mellom bruk av akser på de forskjellige aktuelle handlemåtene, altså der hver enkelt akse kun er aktuell for én handlemåte, og uaktuell for alle de andre. I så fall vil det være et én til én forhold mellom posisjon, retning og intensjon, og man kan si at informasjonen er entydig gitt ved en enkelt sannsynlighetsfordeling, selv om man ikke kjenner eller har tatt endelig stilling til motstanderens intensjon eller handlemåte. Det finnes altså unntak, der en enkelt sannsynlighetsfordeling er en tilstrekkelig representasjon av motstanderens situasjon på et tidspunkt i fremtiden. Som regel vil de samme aksene gå igjen i aktuelle realiseringer av forskjellige operasjonsidéer eller handlemåter, og da er ikke en enkelt sannsynlighetsfordeling tilstrekkelig.

Det later altså til at informasjon om motstanderens fremtidige situasjon uansett må representeres i to nivåer. Enten kan man beskrive aktuelle handlemåter som et overordnet nivå, og deretter sannsynlighetsfordelingen for fiendtlig posisjon under hver enkelt handlemåte, eller man kan legge total sannsynlighetsfordeling for posisjonen som utgangspunkt, og så beskrive mulige operasjonsmønstre (med sannsynligheter) på den enkelte akse. Noe informasjon går tapt i det siste alternativet, men det kan være å foretrekke i enkelte situasjoner der man egentlig bare er interessert i posisjonen. Dette kan være dersom de aktuelle handlemåtene ikke overlapper i bruk av akser, eller i en situasjon der vi har bestemt oss for å angripe og slå motstanderen der han måtte være på et gitt tidspunkt (i den grad dette måtte være realistisk). Som regel vil vi imidlertid være mer interessert i intensjon enn i konkret posisjon.

3 USIKKERHET I "TID OG ROM"-FAKTOREN

I dette kapitlet vil usikkerhet bli behandlet som et statistisk fenomen som genereres kontinuerlig over tid og i mindre grad er knyttet til et diskret antall tidspunkter. Det antas at dette er en relativt god beskrivelse på konsekvensen av de fleste usikkerhetsfaktorer som ikke går direkte på motstanderens overordnede plan. Dette gjelder spesielt i veifattig norsk lende, der det er et klart skille mellom det å ta beslutning om hvilke hovedakser man vil bruke i striden og en beslutning om disponering innenfor denne hovedaksen. I mer tilgjengelig eller veirikt lende vil man få diverse mellomformer som kan gjøre dette skillet mellom overordnet plan og detaljer vanskeligere, men neppe vesentlig annerledes. Her kan det igjen presiseres at hva som er "overordnet plan" er nivåavhengig. Denne todelingen forutsetter at man kan betrakte ett nivå om gangen og det er hovedtrekkene i dette nivåets plan som er "overordnet plan"

Når de overordnede trekkene er fastlagt, er det i første rekke tidsfasingen eller timingen som gjenstår. Vi forutsetter å vite omtrent hvordan motstanderen vil oppføre seg, og er interessert i på et visst punkt i denne utviklingen å kunne gripe inn i motstanderens utvikling og stille oss i en fordelaktig posisjon for den videre utviklingen. Hvor presist vi klarer å gjøre dette vil i vesentlig grad påvirke tapene våre, sannsynligheten for over hodet å lykkes, og dermed også hva vi er i stand til å gjennomføre.

Det vi ønsker er på det avgjørende tidspunktet å kunne plassere oss fysisk med avdelinger (eller våpenvirkning) i et visst forhold til motstanderen, og det blir dermed sentralt hvor godt vi kan bestemme relativ posisjon mellom egne og motstanderens styrker på beslutningstidspunktet, som ligger forut for selve posisjoneringen. Dette kapitlet fokuserer derfor på hvilken usikkerhet man vil ha i sin bestemmelse av fysisk posisjon for en fremskrevet situasjon.

En helt parallell tilnærming ville være å se på usikkerheten i tid for når en gitt situasjon oppstår, men dette ville ikke nødvendigvis være det vi var ute etter. Konverteringen er

også temmelig kurant, siden forholdet mellom de to vil svare til en forventet hastighet, og det er rimelig at man uansett måtte ha gått veien om usikkerheten i posisjon for å finne usikkerheten i tid. Enhver σ som er brukt i kapitlet betegner en middelfeil i posisjon.

Både kapittel 3 og 5 vil handle om avdelinger som beveger seg. De er omtalt som fremrykkende avdelinger, men kan naturligvis like gjerne trekke seg tilbake eller foreta en "sideveis" eller omgående manøver. De betegnes også som fremrykkende når de har opphold i forflytningen som en del av et større forflytningsmønster. Betegnelsen "fremrykkende" skal bare markere at man ikke har grunn til å tro at de har stoppet opp og gravd seg ned i den hensikt å bli der til felttoget er over.

3.1 Feilkilder

3.1.1 Diffuse feil

Under diffuse feil regnes alle feilkilder som forventes å oppføre seg uniformt i perioder som er vesentlig mindre enn de prognosetidene man betrakter. Man forventer gjerne en viss forsinkelse som følge av at motorhavarier blokkerer veien i f eks inntil en time. En formiddag kan det være flere slike havarier enn gjennomsnittet, men det er ikke dermed noen grunn til å anta at det skal være flere enn gjennomsnittet samme ettermiddag. De to forholdene (avvik fra normalen i to forskjellige tidsintervall) er uavhengige av hverandre. For perioder på 12 timer eller mer, vil dette derfor være en diffus feil. "Diffuse feil" er altså brukt som betegnelse på feil som varierer over tid slik at feilen i én tidsintervall er uavhengig av feilen i foregående tidsintervall, for intervaller som er vesentlig kortere enn tidshorizonten på den aktuelle prognosen. Diffuse feil vil øke som kvadratroten av tiden, de vil gi et stort bidrag til usikkerheten på kortsiktige prognoser, men et relativt sett mindre bidrag på langsiktige prognoser. Betegnelsen "diffus" er valgt ut fra at forflytning ved diffusjon utvikler seg på samme måten (som roten av tiden), og også her er årsaken den samme - forflytningen skjer i sprang som er tilnærmet uavhengig av retningen på foregående sprang.

I en fase der motstanderen rykker frem under påvirkning fra våre flyangrep, KOMØDer og jegeroperasjoner, men uten kontakt med større bakkeavdelinger, må vi anta at de fartsendringene som skyldes vår påvirkning vil oppføre seg diffust for tidsrom på et døgn eller mer. Bakgrunnen for dette er at både flyangrep og infanterioperasjoner på dypet er noe som normalt vil skje daglig, og selv etter et meget vellykket flyangrep vil overordnet avdeling kunne kjøre videre i løpet av en begrenset tid, og eventuelt reorganisere den oppskutte styrken i løpet av f eks et døgn. Når det gjelder små, sinkende KOMØDer som ikke er del av større egne forsvarsverker, vil det kunne ta tid å passere dem, men dersom det tar flere døgn, bør det kunne forutsees fra vår side med en usikkerhet som er vesentlig mindre enn et døgn, slik at hele den uforutsette delen av forsinkelsen blir liggende innenfor samme døgn.

I strid mellom egne og motstanderens bakkeavdelinger vil vi ha et liknende element, ved at striden går snart litt bedre enn forventet, snart litt dårligere enn forventet. Så lenge vi ikke engasjerer oss i avgjørende strid, vil denne lokale krigslykken være noe som kommer og går, og det vil være rimelig å anta at den skifter én til to ganger om dagen (forutsatt at vi snakker om variasjon i forhold til forventet utvikling på brigade-/regiment-nivå). For perioder på et døgn vil vi dermed ha en diffus utvikling av denne usikkerheten, den vil altså gå som kvadratrotten av tiden. Dette er naturlig nok nivåavhengig; for lavere nivå (bataljon) vil denne feilen oppføre seg diffust også for kortere tider, mens det på divisjon/korpsnivå forventes å oppføre seg diffust først for tidshorisonter på over 3 døgn.

Omfanget på mange av de diffuse feilkomponentene vil være nivåavhengig; avvik som ikke forplanter seg til andre sideordnede avdelinger vil f.eks ikke gjøre så stort utslag for en høyere avdeling. Alt etter hvordan hendelsene som fører til usikkerheten håndteres, vil avviket kunne bli enten større eller mindre på høyere nivå. Dette er drøftet i kapittel 4.2.

3.1.2 Lineære feil

En feil eller usikkerhet vil øke proporsjonalt med tiden dersom det forholdet som genererer feilen og bestemmer retningen på avviket, holder seg konstant eller må forventes å holde seg konstant over hele den perioden som prognosen gjelder. Motstanderen vil ha en formening om når han skal være på et bestemmelsessted eller foreløpig mål. Dette vil gi føringer for fremrykningshastigheten hans som vil holde seg konstante over en periode på mange døgn (for korpsnivået), og som typisk er i samme størrelsesorden som prognosetiden på FK-nivå (forutsatt at dette gjelder før hovedstriden er i gang). Vi vil ha en formening om hvor fort vi tror han ønsker å rykke frem, og en usikkerhet i dette anslaget vil gi en usikkerhet i prognosen som øker proporsjonalt med prognosetiden. Det beste empiriske estimatet vi har av motstanderens intenderte gjennomsnittshastighet vil være fremrykningshastigheten hans i perioden forut for utarbeidelse av prognosen. En feil i målingen av denne farten vil tilsvarende kunne gi en feil i anslaget på motstanderens intenderte fremrykningshastighet, men denne målefeilen vil neppe være så stor at den vil få betydning. Motstanderens hastighet vil også i stor grad være bestemt av hvordan utstyret hans fungerer under de aktuelle vær- og lendeforhold (med terrenget som den viktigste faktoren), og her vil vi måtte gjøre et estimat som vil ha en ikke ubetydelig usikkerhet. Utstyret vil være noenlunde ensartet for hele styrken og over tid, slik at dette feilestimatet vil ha en betydelig systematisk komponent (lineært ledd).

Vi vil få en helt tilsvarende feilkilde i en situasjon der en motstander angriper gjennom stasjonære forsvarsstillinger gruppert i dybden, fordi vi da kjenner våre egne stillinger, og vet hvordan de fungerer, men vi må gjøre et estimat av motstanderens evne til å bryte ned de samme forsvarsværkene. Et feilestimat her vil gjerne slå ut i samme retning for de fleste av forsvarsverkene, og evt for motstanderens styrker dersom han echelonnerer, og dermed får denne feilen et utpreget lineært ledd. Dette er imidlertid en beskrivelse av et ekstremt

statisk (og attrition rettet) stridskonsept, og med manøverorientert krigføring vil bildet bli mer komplisert, og fordrer en mer kompleks beskrivelse.

Til grunn for vårt anslag over fremrykningstid vil vi også legge en vurdering av egne våpensystemers evne til å påvirke motstanderen, og hans robusthet overfor slik påvirkning. For en periode der stridsbildet er noenlunde ensartet, f eks ved at motstanderen ikke har kontakt med vår hovedstyrke, men bare påvirkes av VPD, vil dette være en feilkilde som slår ut i samme retning for hele perioden, og usikkerheten vil dermed utvikle seg proporsjonalt med tiden.

3.1.3 Kvadratiske feil

Hvis man forventer at det i løpet av prognostiden vil iverksettes en prosess som genererer en lineært økende feil, men uvisst på hvilket tidspunkt og i hvilken retning, vil vi få en usikkerhet på prognosen som øker som kvadratet av tiden. Et typisk (om enn stilisert) eksempel er en avdeling som har stoppet opp, og som vi vet vil kjøre videre innen 7 døgn, og som vi så antar at vil kjøre med konstant fart, men uvisst i hvilken retning. Middelfeilen blir da å betrakte som forventningen for tilbakelagt strekning. Hvis vi ser på den annenderiverte (mhp tiden) for forventet tilbakelagt strekning ved tiden t , ser vi at dette må være sannsynlighetstettheten $p(t)$ for avreise ved tiden t multiplisert med forventet kjørehastighet $v_{forventet}$. Siden retningen var ukjent, vil forventningen (middelet for fordelingen) forbli i utgangspunktet. For å pynte på fremstillingen kan vi la $v_{forventet}$ være det kvadratiske middelet av forventningen til kjørehastigheten, da vil "forventet avvik" være middelavvik. Dersom $p(t)$ nå er uniform over de syv døgnene får vi da at forventet avvik for prognoser kortere enn 7 døgn blir $v_{forventet} \cdot t^2 / (14 \text{ døgn})$, som altså går kvadratisk som funksjon av tiden. Utover 7 døgn vil middelfeilen her igjen øke linjært, med en rate lik $v_{forventet}$.

Dersom motstanderen rykker frem med noenlunde jevn hastighet i øyeblikket, men man forventer at han skal endre hastigheten i en eller annen retning i løpet av et gitt tidsrom, vil vi få en helt parallell situasjon til det som er beskrevet foran.

Det normale vil vel imidlertid være at dersom vi mener å vite at motstanderen vil forlate et område eller endre hastighet i løpet av en gitt periode, så har vi en tilsvarende formening om hvilken retning han vil kjøre i, eller hvorvidt han vil øke eller redusere farten. Vi ser på tilfellet der en fiendtlig avdeling har stoppet opp, og vi mener å vite at den vil forlate stedet i løpet av en tidsperiode med lengde T , alle tidspunkt i perioden er like sannsynlige som avreisetidspunkt, og fremrykningshastigheten v og -retning etter at avdelingen har satt i marsj er kjent, og vil holdes konstant minst til perioden er over. Nå vil det være forventet verdi (lineært middel) for avviket fra nåværende posisjon eller evt fra ekstrapoleringen av momentan fart, som går kvadratisk som funksjon av tiden. En kvalitativ analyse av usikkerheten i posisjon tilsier at den vil øke langsomt tidlig i perioden, når vi vet relativt sikkert at avdelingen står stille, og tilsvarende langsomt sent i perioden, når avdelingen

nesten sikkert er på marsj. Midt i perioden er det 50% sjanse for at avdelingen er i marsj, og usikkerheten vil øke raskt som funksjon av tiden, mens man etter periodens utløp kjenner hastigheten med sikkerhet, slik at usikkerheten vil forbli uforandret. Variansen som funksjon av tiden t vil for $t < T$ være gitt ved

$$\sigma^2 = (v^2/3T)t^3 - (v^2/4T^2)t^4$$

og middelavviket blir da

$$\sigma = vt \sqrt{t/3T - t^2/4T^2}$$

Dersom det er knyttet usikkerhet til kjørehastigheten, og det vil normalt være tilfellet, kan man som en forenkling bruke forventningen til tiden avdelingen har vært i marsj $t_{forv} = t^2/2T$, og gi et tillegg til variansen på $\Delta\sigma^2 = \sigma_{hast}^2(t_{forv})$. σ_{hast} betyr i dette tilfellet ikke middelavviket for hastigheten, men middelavviket for kjørestrekning som funksjon av kjøretid (tid fra avreise); subskriften "hast" betyr at dette skyldes usikkerhet i forventet kjørehastighet. Dette er imidlertid ikke noen åpenbart korrekt verdi, ettersom usikkerheten som følge av usikker kjørefart vil avhenge av kjøretid og både tidsutviklingen for denne usikkerheten, og sannsynlighetsfordelingen for kjøretid bør fanges opp i et eksakt uttrykk for usikkerheten.

Det ser ut til at tillegget i variansen generelt er gitt som

$$\Delta\sigma^2 = \frac{1}{vT} \int_0^{\bar{v}} \sigma_{hast}^2(x/\bar{v}) dx$$

der x egentlig bare er en hjelpevariabel, men godt kan sees som et uttrykk for mulig posisjon. \bar{v} er forventet hastighet, og uttrykket x/\bar{v} blir da en mulig kjøretid.

I tilfellet der hastigheten forventes å være konstant etter avreise, slik at $\sigma_{hast}(t) = \alpha\bar{v}t$ (for en valgt α), får vi da

$$\Delta\sigma^2 = \alpha^2 \frac{\bar{v}^2 t^3}{3T},$$

som er et noe annet uttrykk enn vi ville fått ved å bruke forventningen til kjøretid. I et tilfelle der feilen er diffus, slik at $\sigma_{hast}(t) = \alpha\bar{v}\sqrt{t}$, får vi at

$$\Delta\sigma^2 = \alpha^2 \frac{\bar{v}^2 t^2}{2T},$$

og her ville vi fått riktig verdi ved å bruke tilnærmingen med forventet kjøretid.

Som en oppsummering kan det sies at feilen vil ha et rent kvadratisk ledd i situasjoner der man innenfor en periode forventer en endring som ellers ville medført en lineær feil, men det er usikkert både i hvilken retning endringen vil slå ut og når den måtte komme innenfor perioden. Situasjoner som avviker noe fra denne beskrivelsen, ved at man enten kjenner til retningen på endringen, eller man har en litt annen formening om når avreisen finner sted (ikke uniform fordeling) vet vi også noe om. Feilen vil der lokalt (nær $t=0$) oppføre seg som et kvadratisk ledd, men over tid kan dette være en dårlig tilnærming. Spesielt dersom man kjenner retningen på endringen, vil feilen utvikle seg som en S-kurve som funksjon av tiden.

3.1.4 Selvforsterkende feil

En del feil vil virke "selvforsterkende", f eks ved at de bygger på antagelser om parametre der tidsutviklingen er en funksjon av parameterverdien. Det typiske eksempelet vil være en parameter som vi kan kalle "styrke" i en situasjon der en grønn avdelingen er i en eller annen form for strid enten med fly eller med en hvit avdeling som trekker seg tilbake. Dersom grønn avdeling er sterkere enn vi antar sammenliknet med hvite styrker i kontakt, vil den kunne rykke raskere frem, samtidig som den påfører hvit side større tap og selv bærer mindre tap enn vi har forventet. Dersom man altså forutsetter at både fremrykningshastighet og tapspåføringsevne øker med økende styrke, vil avdelingen nå kunne rykke stadig hurtigere frem, og feilen vil øke med stadig høyere rate. En motstander som har betydelig fremgang, og attpåtil stadig later til å bli sterkere sammenliknet med egne styrker, har også en sterkt ødeleggende effekt på egen moral, og dette vil også være en feed-back som bidrar til den selvforsterkende effekten. Hvorvidt feilen vil øke eksponensielt eller følge en annen kurve, vil avhenge av hvordan fremrykningshastigheten og tapspåføringen varierer som funksjon av styrken og styrkeforholdet. Det vil også avhenge sterkt av hvordan personellets psyke utvikler seg og hvem som lykkes best med sine psykologiske krigføringstiltak ("psykologiske forsvarstiltak" er et penere ord for det samme). Denne typen avvik vil ikke virke selvforsterkende over lang tid - kun i en kort periode, der den ene avdelingen kollapser, og i praksis slutter å yte motstand. Deretter vil feilen oppføre seg lineært

Matematiske uttrykk for dette basert på Lanchesters "kvadratlov" viste seg å bli relativt omfattende, og det er lite hensiktsmessig å regne på alt for store og detaljerte likningssystemer når utgangspunktet er en så sterk forenkling som i denne teorien. Det man kan merke seg, er at forskjellige eksponensialledd går igjen både for styrkene og styrkeforholdet. Dersom man nå antar at fremrykningshastigheten kan være proporsjonal med styrkeforholdet (angripende styrke / defensiv styrke) får man en tilsvarende utvikling for fremrykningshastigheten. I (1) er det gjort rede for hvordan tapene ved mobil krigføring gjerne kommer i form av at avdelinger på bataljons størrelse bryter sammen og blir slått. I hvilken grad avdelinger unngår strid eller trekker seg hurtig tilbake kan da forklares ut fra deres sannsynlighet for å bære tap i følgende engasjementer. Det er noe uvisst hvordan denne tilbaketrekingen vil arte seg matematisk.

3.1.5 Dempede feil

I endel situasjoner kan man møte på den motsatte effekten, at en feil så og si er "selvsvekkende". Et eksempel er at dersom en avdeling rykker fort frem den ene dagen, vil den eventuelt måtte vente på forsyninger, og dermed kjøre langsomt neste dag. En riktig beskrivelse av dette er neppe at usikkerheten avtar med tiden, fordi man godt kan tenke seg at avdelingen rykker frem som forventet den første dagen, og så rykker hurtig frem neste dag. Vi kan heller beskrive det som at avdelingen vil ha et mønster i stort, beskrevet ved tyngdepunktet for en eller annen faktor som er kritisk for fremrykkingshastigheten. Avdelingen kan så ha et avvik fra dette som til enhver tid vil være beskrevet ved et konstant middelvik. Effekten av denne feilkilden vil altså være et "konstantledd" i totalfeilen (anførselstegnene er brukt fordi også denne feilen vil vektes kvadratisk).

Under denne feilkategorien kommer det inn faktorer som at avdelingen enten samlet eller i deler må stoppe minst én gang i døgnet for å sove, drive rutinemessig vedlikehold ol, at den må stoppe opp til tider for å få tilført eller lastet om forsyninger, og at den må ha en lenger stopp for å rekondisjoneres f eks en gang i uken. Det burde derfor være rimelig å anta at denne feilen vil ha maksimal størrelse allerede i løpet av ett til halvannet døgn på bataljonsnivå, noe høyere på brigade/divisjonsnivå, og at den deretter er bortimot konstant. Man må imidlertid ta høyde for overlaging av slike feil, ved at bataljonen vil ha en slik dempet feil fordi den flytter innenfor brigaderammen, samtidig som brigaden vil ha en dempet feil fordi den må flytte innenfor rammen av fremrykningen til korpsets hovedstridsmidler. (Muligheten for echellonering vil også redusere enkelte selvsforsterkende feil, ved at striden kan avbrytes eller tas opp av andre før en kollaps, men det er et annet forhold enn det som er beskrevet her, og må inkluderes i kvantifisering av selvsforsterkende feil.)

3.2 Total feil/usikkerhet

For helt uavhengige usikkerhetskomponenter er regelen at delvariansene summeres, altså

$$\sigma(t)^2 = (\sigma_1(t))^2 + (\sigma_2(t))^2 + (\sigma_3(t))^2 + \dots + (\sigma_n(t))^2$$

eller med andre ord

$$\text{Var}\left(\sum_{i \in I} X_i\right) = \sum_{i \in I} \text{Var}(X_i)$$

der Σ indikerer at det etterfølgende leddet skal summeres over indeksemengden I .

Når to komponenter er koblet, ved at dersom den ene komponenten gir en større hastighet enn forutsatt, så vil den andre også gjøre det, må de to middelfeilene summeres før summen kvadreres. Dersom koblingen går i motsatt retning, slik at et tillegg i hastigheten

som følge av den ene alltid vil følges av en reduksjon i hastighet som følge av den andre, subtraheres den ene fra den andre før differansen kvadreres.

Det vil også være aktuelt med delvis kobling, ved at en stor verdi som følge av én usikkerhetskomponent øker sannsynligheten for at en annen komponent også vil gi stor verdi. Man kan tallfeste sammenhengen ved å innføre en korrelasjonskoeffisient. Korrelasjonskoeffisienten er imidlertid definert for å gjøre regningen enkel, og det er ikke sikkert at det er den beste veien å gå for å fastsette en riktig verdi skjønnsmessig. En korrelasjonskoeffisient på ρ mellom to parametre X_1 og X_2 betyr (intuitivt beskrevet) at dersom man får en stor verdi for X_1 , vil det være en sannsynlighet på ρ for at dette vil være årsak til en stor verdi for X_2 også, mens det er en sannsynlighet på $1-\rho$ for at X_2 er helt tilfeldig fordelt. Sannsynligheten for en stor verdi for X_2 , gitt en stor verdi for X_1 blir da omtrent $(1+\rho)/2$. Samlet varians for to slike delvis avhengige usikkerheter blir da

$$\sigma_{1,2}(t)^2 = \sigma_1(t)^2 + \sigma_2(t)^2 + 2\rho\sigma_1(t)\sigma_2(t)$$

Man kan som en forenkling velge å dele opp variansen for den ene av komponentene skjønnsmessig i en avhengig og en uavhengig del i forhold til den andre komponenten (merk at det er variansen og ikke standardavviket som i tilfellet må deles). Hvis man multipliserer variansen med en faktor a for å få den avhengige delen, og $1-a$ for å få den uavhengige delen, svarer det til en korrelasjonskoeffisient på \sqrt{a} . Det kan hende at dette er en vel så god måte å sette tall på sin intuisjon, som å anslå ρ direkte, men forskjellen blir sannsynligvis liten (matematisk, eller i det formelle resonnementet er det ingen forskjell).

3.3 Lokal predikterbarhet

En del steder er det noenlunde sikkert hva en fremrykkende avdeling vil gjøre, f eks fordi det ikke er gunstig å oppholde seg der over lengre tid, eller fordi fremrykningshastigheten er lendebestemt. Under slike forhold kan det hende at fremrykning kan predikeres godt langt frem i tid. Andre steder vil det være svært usikkert hvordan en avdeling vil velge å opptre, og hvor lang tid den vil bruke på å forsere det enkelte hinder, og usikkerheten kan bli meget stor selv over et kort tidsrom.

Dette fenomenet vil i noen grad komplisere teorien, og den rimeligste måten å håndtere det på er å beskrive det som at koeffisientene for feilkomponentene varierer over tid. Koeffisientene som funksjon av tiden er i stor grad forutsigbare, i og med at vet i hvilken grad vi føler oss sikrere på fremrykningsmønsteret i ett område sammenliknet med et annet. Første ordens tilnærming til usikkerheten blir da å ta utgangspunkt i forventet fremrykningshastighet, og la koeffisientene være bestemt av hvor avdelingene forventes å være til enhver tid. Dersom tallene er så gode at det er meningsfullt å ta med høyere ordens effekter, kan man gjøre dette i form av en asymptotisk utvikling, altså ved å se på hva første ordens usikkerhet i posisjon tilsier av usikkerhet i koeffisienten i første ordens tilnærming, o s v. Normalt vil man operere med svært usikre tall, både for usikkerheten og

for en eventuell lokal predikterbarhet, og første ordens tilnærming vil gi en tilstrekkelig god antydning om effekten av den lokale predikterbarheten.

4 RIMELIGE VERDIER FOR USIKKERHETEN

Hensikten med dette underkapitlet er å nærme seg en konkret og kvantitativ beskrivelse av tidsutviklingen for kvaliteten på informasjon om avdelingers posisjoner. Tilnærmingen i kapittel 3.1 er rent kvalitativ, og relativt overordnet. I dette delkapitlet er beskrivelsen detaljert ned til et nivå hvor det føles riktig å gjøre estimater av faktisk omfang på avvikene. Deretter er de forskjellige feilkildene holdt opp mot hverandre og mot størrelsen på totalfeilen, og rimeligheten er slik vurdert i flere omganger opp mot erfaringer om *hvor* galt ting som regel går.

Det må understrekes at empirien her i sin helhet er indirekte; det er ikke gjort feltstudier på større utvalg av like situasjoner, men det er antatt at den erfaringen man har gjenspeiler reelle hendelser, og det er denne erfaringen som gjenspeiles i hva man opplever som rimelige størrelser. Det ligger naturligvis i dette at det ikke gjøres noe sterkt krav på sannhet for de enkelte inngangsverdiene, og flere verdier kan være omtrent like gode. Intensjonen med beskrivelsen i denne rapporten er imidlertid å gi en god beskrivelse av sammenhengen mellom omfanget av de enkelte fenomenene som genererer avvik, og det totale avviket ved forskjellige tidshorisonter på en prognose. Dersom man tror på inngangsverdiene, skal det altså også være et vesentlig hold i den totale beskrivelsen.

I fastsettelsen av størrelsen på feilkomponentene er det søkt etter *typiske verdier*. Ordet "typisk" kan oppfattes noe forskjellig, og vil i denne sammenhengen si at verdien er representativ, ved at den forekommer like ofte som andre verdier, og at den på én eller annen måte ligger "midt på treet". Man forventer altså at den *typiske* verdien kan forekomme, at en vesentlig andel av de eksemplene som forekommer vil ligge i noenlunde nærhet av den typiske verdien, og at det er omtrent like sannsynlig at den reelle verdien i et konkret eksempel ligger over den typiske verdien som at den ligger under. En typisk verdi gjør med andre ord ikke på noen måte krav på å være en hovedregel eller norm som det skjelden gjøres unntak fra.

4.1 Diffuse feil

Vi ser først på en egen avdeling som skal rykke frem, der vi kjenner lende og utstyr tilstrekkelig godt, og friksjonen fra motstanderen er begrenset. Avdelingen forutsettes å rykke frem mer eller mindre samlet, med bare mindre elementer vesentlig foran eller etter tyngdepunktet, og det vil i praksis si at avdelingen ikke er større enn en bataljon. Vi antar at det ikke er truffet avtale om noe bestemt tidspunkt for ankomst, bare at man vil holde "normal" marsjfart, og begge parter har samme oppfatning om hva som er normalt i dette

tilfellet. Forutsetningene er litt spesielle, men ikke vanskelig å sette seg inn i. De svarer til at vi filtrerer bort flest mulig av de dempede og lineære feilene. Forskjellen på en egen avdeling og en av motstanderens avdelinger, ligger i at vi ikke får generert lineære eller dempede feil som følge av usikkerhet i intensjon for egne avdeling.

For en kjøretur på omtrent 6 timer langs veg eller kjent trassé, vil det da være normalt at man bommer med *én til halvannen time*, uten at spesielle hendelser har inntruffet. I noe vanskeligere lende må man regne med å bomme med 2-3 timer for en 6-timers tur uten at forholdene har vært feilvurdert, men bare fordi det tilfeldigvis har inntruffet litt flere eller færre småstopp eller småproblemer enn gjennomsnittet. I en stridssituasjon, der avdelingen ikke manøvrer gjennom stillinger, eller er nødt til å slå større styrker på bakken, men likevel er under påvirkning av motstanderens langtrekkende våpen, miner og KOMØDer, kan vi regne en feil på en faktor 2 som representativ for en strekning som forventes å ta 6 timer.

Feilene skyldes for en stor del hendelser som opptrer i et diskret og ofte temmelig lite antall. Alle disse hendelsene har et typisk tidsforbruk, som gjør at feil som oppfører seg diffust for visse tidsperspektiver, ikke nødvendigvis oppfører seg diffust for mye mindre tidsrom. Den vesentligste kilden til diffuse feil på bataljonsnivå i et 6-timers perspektiv antas å være forskjellige typer feilmanøvringer, fastkjøringer eller forsering av mindre hindere, samt begrensede kamphandlinger. Forsinkelsen som følger av en slik episode vil variere mye i omfang, og kan være alt fra en liten utbuktning på en kolonne med noen minutter lengre kjøretid, til stans i mange timer. En typisk lengde på en slik stopp er 1 time; man trenger omkring en halvtime på å få manøvrert og snudd en feilkjørt kolonne, man kjører gjerne i feil retning i omkring ti minutter før man oppdager feilen, man skal tilbake samme veg, og de siste ti minuttene går med til å orientere seg. Noen ganger er det vanskeligere å finne ut hva man skal gjøre, og det tar lengre tid. Andre ganger kan avdelingen ledes inn i en rundkjøringssløyfe, og det går raskere, men en time anses å være en typisk verdi for å rette opp en feil når det impliserer at en bataljon må vendes uten at det er planlagt. Det vil også være en del situasjoner hvor man ikke gjør feil, men stopper avdelingen fordi man er usikker på hvor det er best å rykke videre, hvor det er riktig å krysse en elv eller et hinder, e l, og så fortsetter fremrykningen uten noen omorganisering. Dersom dette "går på skinner", og man bare orienterer seg, undersøker noen alternativer og så gjennomfører det som ser best ut, kan stansen typisk ta 1/2 time (variasjoner fra 10 min til en time).

Det vil variere fra situasjon til situasjon hvordan andelen av feil fordeler seg mellom forskjellige tidsperspektiver. Regelen vil gjerne være at hendelser som tar i størrelsesorden en time dominerer innenfor en 6-timersperiode. Man kan tilnærme seg denne problemstillingen ved å dele opp variansen og si at delene svarer til feil med en typiske tid på forsinkelsen: 50% på en time, 30 % på en halvtime og 20 % på små problemer med en tid på 10 minutter, er en rimelig fordeling. Dette er imidlertid usikkert, og også andre fordelinger vil være rimelige.

Det forutsettes fortsatt at posisjonen ved $t=0$ er kjent, og dette svarer til en observasjon. Hastigheten regnes som kjent i dette punktet, fordi et feilestimat i hastigheten tas hensyn til som en lineær feil. Hvis man nå ser på en slik gruppe av forsinkelser, der forsinkelsene kan komme når som helst *mens man kjører*, og alle varer like lenge, så er den totale forsinkelsen Poisson fordelt som funksjon av posisjonen, og dette er en velkjent fordeling. Det interessante her er imidlertid posisjon som funksjon av tiden, og det lyktes ikke å finne den eksakte funksjonen for denne fordelingen. Det er imidlertid mulig å beskrive variansen såpass godt at det ikke gjør vesentlig utslag på unøyaktigheten tatt i betraktning at hele virkelighetsbeskrivelsen her er forenklet. For tider som er mindre enn den typiske tiden til forsinkelsen (kalt T), er det relativt liten sannsynlighet for at avdelingen er stoppet opp, men sannsynligheten øker stadig (fordi vi vet at avdelingen ikke sto stille ved $t=0$). Middelavviket vil da ha sterke likhetstrekk med det som er beskrevet i 3.1.3. For små tider vil middelavviket også gå som $t^{3/2}$, på samme måte som for en avdeling som forventes å forlate et punkt i kjent retning. For tider som er vesentlig større enn T , vil vi få noe som likner en Poisson-fordeling, middelavviket vil gå som \sqrt{t} . Middelavviket får altså en S-form (som funksjon av tiden), selv om det ikke flater helt ut. Vendepunktet for grafen til middelavviket i posisjon som funksjon av tid, blir en viktig parameter. Dersom avdelingen det er snakk om i gjennomsnitt oppholdes av forsinkelser en svært liten del av tiden, ser det ut til at dette vendepunktet kommer ved $t=T$, mens det vil komme for $t < T$ dersom avdelingen forventes å være oppholdt av denne typen forsinkelser en vesentlig del av tiden. Her er det forutsatt at dette er en begrenset del av totalfeilen, og det svarer til at disse forsinkelsene utgjør en liten del av den totale tiden, så vi ønsker en funksjon med vendepunkt rundt $t=T$.

Funksjonen $\sqrt[3]{\frac{t^3}{2} + 1} - 1$ går som $t^{2/3}$ for små t , og som \sqrt{t} for store t , og den har et vendepunkt på omtrent $t=1$. Funksjonen

$$\sigma(t) = \sqrt[3]{\frac{t/T^3}{2} + 1} - 1$$

har dermed vendepunkt for $t=T$, og oppfyller altså alle de aktuelle kravene. Denne funksjonen vil bli brukt.

4.2 Avhengighet av nivå

Det normale eller forventede avviket fra en prognose vil være avhengig av nivået på den avdelingen som betraktes. Konsekvensen av mange små avvik på en stor avdeling er ikke nødvendigvis den samme som effekten av noe færre, men like store avvik for en liten avdeling. Hvordan denne avhengigheten arter seg, er imidlertid avhengig av hvordan feilene oppstår, og hvordan den avdelingen det er snakk om håndterer problemene (eller

mulighetene) som fører til uforutsigbarheten. Hensikten med dette avsnittet er å se på hvordan hovedtrekkene i nivåavhengigheten kan fastslås, og det argumenteres derfor for en forenklet beskrivelse som antas å fange opp disse hovedtrekkene på en rimelig måte. Vinklingen tar utgangspunkt i hendelser på lavt nivå, og ser hvordan disse forplanter seg til høyere nivåer.

En avdeling antas her å bestå av n omtrent like underavdelinger, som kan være alt fra lag til regimenter. Dersom underavdelingene beveger seg uavhengig av hverandre, ved at de andre ikke endrer farten selv om én stopper opp eller kjører raskere i en periode, vil tyngdepunktet for avdelingen bli mindre påvirket av diffuse feil enn underavdelingene blir. Uavhengighet tilsier at det ikke er interaksjon mellom underavdelingene, og variansen vokser dermed som enkeltkomponentenes varians delt på n . Middelavviket for moderavdelingen blir dermed $\frac{1}{\sqrt{n}}$ av middelavviket for underavdelingene. Dersom alle underavdelingene må stanse opp når én stanser, og *fordi* den stanser, vil bare antall stopp øke som en faktor n , og dermed vil også variansen øke med samme faktor (hele moderavdelingen stanser altså like lenge som underavdelingene ville stanset, hver gang én av underenhetene får et problem). Middelavviket for moderavdelingen vil da være en faktor \sqrt{n} større enn for underavdelingene. Stoppen kan også skyldes en trefning, der det ikke er liketil å passere de styrkene man står imot, eller den kan skyldes at veien er skadet. I dette tilfellet er det kun statistisk avhengighet mellom avdelingenes stopp, ved at begge (evt alle) underavdelingene må stanse av samme årsak, og det er ikke slik at den ene stanser *fordi* den andre gjør det. Dermed blir det ikke flere stopp per underavdeling enn det hadde blitt om den hadde kjørt alene, og i dette tilfellet blir middelavviket for moderavdelingen det samme som for underavdelingene.

Dersom man kan snakke om *både* fullstendig uavhengighet og fullstendig avhengighet, er det ikke snakk om avvik som gjenspeiler noen plan fra motstanderens side. Her er det altså snakk om en usikkerhet som er like stor for den som eier styrkene, som for motparten. Begge sider vil derfor tilstrebe å redusere dette avviket, gitt at de har et operasjonskonsept som søker å ta ut gevinsten ved egen prediksjon av fremtiden, altså et konsept der manøvrering er et viktig element. Uavhengighet svarer til at en avdeling som av én eller annen grunn har fått problemer, til enhver tid kommer seg ut av veien innen den blir tatt igjen av neste avdeling, og at denne avdelingen ubekymret kan passere både avdelingen i grøftkantene og en eventuell hindring. Fullstendig avhengighet svarer til at marsjrekkefølgen til avdelingene og avstanden mellom dem har prioritet foran alle andre forhold. Virkeligheten vil ligge et sted imellom, for selv om man vil tilstrebe uavhengighet, er det ikke alltid gjennomførbart å få en avdeling ut av veien og samtidig organisere en echellonering uten at det blir pauser, eller årsaken til stoppen (KOMØD eller strid) påvirker alle avdelingene på samme måte.

Opphold som er mindre enn den avstanden avdelingene normalt kjører med, er det rimelig å anta at ikke påvirker mer enn én avdeling om gangen. Avvik som skyldes opphold på

mindre enn en halvtime bør altså ikke automatisk forplante seg fra bataljons- til regiments- eller brigadenivå, stopp på mindre enn en time forplanter seg ikke automatisk fra regiments- til divisjonsnivå, og avvik på mindre enn tre timer forplanter seg ikke automatisk fra brigade- til korpsnivå. En tilsvarende grense for divisjoner vil eventuelt være på rundt 6 timer. Det er først og fremst for bataljoner at dette er en gyldig beskrivelse, fordi det er forutsatt å være noenlunde tomt mellom dem. Avstanden mellom brigader eller divisjoner kan godt inneholde en del korpsenheter som kompliserer bildet. Det må likevel antas at det er såpass mye bedre plass mellom to avdelinger på samme nivå, enn internt i dem, at beskrivelsen gir en viss forståelse for oppførselen til systemet. Et annet forhold som det ikke er tatt hensyn til her, er at når flere korte opphold kommer med kort mellomrom for én avdeling, mens en annen kjører uhindret, vil ikke den første avdelingen rekke å ta inn forsinkelsen, og den andre avdelingen vil likevel bli påvirket. Fremstillingen her representerer altså en ikke uvesentlig forenkling på dette punktet, som består i at man ser bort fra alle ekstremverdier i fordelingen av forsinkelsen.

Når en avdeling stopper opp, og blir stående så lenge at den blir tatt igjen, evt at den har kjørt feil og ikke kommet tilbake på rett veg igjen før neste avdeling kommer til feilkjøringspunktet, kan litt forskjellige ting skje. Det kan hende at avdelingen som kommer bakfra blir stanset av den første avdelingen, eller får beskjed om å vente, for å holde marsjrekkefølgen; i så fall får denne avdelingen en ekstra stopp. Det kan også være at det forholdet som stanset den første også stanser den andre, altså vanlig statistisk avhengighet.

En tredje mulighet er at den neste avdelingen kan passere, men dette fordrer at man utveksler noen meldinger med høyere enhet, og i noen tilfeller må den ene avdelingen kjøres til side. Man må altså områ seg litt, evt ta over et oppdrag som fremste avdeling, og dette vil ta noe tid, om enn ikke så mye. Tiden det tar vil være nivåavhengig, og kan for eksempel variere fra ti minutter eller en halvtime når høyere avdeling er et regiment eller tilsvarende, til noen timer på korpsnivå. Man kan også tenke seg at det må planlegges noe mer i forbindelse med echelonneringen, at det altså må legges en plan for løsning av oppdraget i den endrede situasjonen, eller at ganske mange kjøretøyer må flyttes, og dette vil kunne gi en forsinkelse på omkring en time når høyere avdeling er et regiment eller en brigade, og for eksempel tre timer når det skal echellonnes med brigader eller regimenter.

Dersom man gjør hva man kan for å nærme seg uavhengighet, kan vi se for oss en passelig blanding av disse formene. De forutsetningene som er brukt i figurene i dette kapitlet er beskrevet i appendiks A.3. Fordelingen er da lagt med hovedvekt på passering med en viss forsinkelse (60%), og mindre deler (20%) på hhv statistisk kobling (felles årsak) og kausal kobling (de andre bataljonene stanser fordi den først gjør det).

4.3 Lineære feil

Her er det mest hensiktsmessig å ta utgangspunkt i de tre mest aktuelle feilkildene. Disse er:

- Et galt estimat av intendert fremrykningshastighet, og av de normene som følges. (Gjelder i hovedsak fiendeprognose)
- Feilvurdering av hvordan materiellet fungerer under de aktuelle vær- og føreforhold.
- Feil i vurderingen av våpensystemenes evne til å påvirke motstanderen.

Det er ingen ting som tilsier avhengighet mellom disse tre feilkildene, og de er behandlet hver for seg under.

Materiellets ytelse: Dersom vi ser for oss en prognose for et tidsrom som er vesentlig kortere enn den tiden krigen har vart, f eks en tre-dagers prognose etter flere ukers fremrykning gjennom et forområde (Finnmark e l), skulle vi ha hatt god mulighet til å studere materiellets oppførsel. I dag er også våpenmarkedene så åpne, at de fleste nasjoner har tilgang til tilstrekkelig gode data om ytelsen på motstanderens materiell. Det er derfor ikke egentlig manglende grunnkunnskap om materiellet som vil være utslagsgivende, men heller det at man ikke har konkret erfaring med det under de aktuelle vær- og føreforholdene. Et feilestimat i den fremrykningshastigheten som utstyret tillater kan typisk ligge på 5-20 %, avhengig av hvor vanskelig føret er. 5 % kan være en typisk verdi på veg, mens 20 % er en typisk verdi i litt ulendt terreng (ikke flatt og åpent jorde).

Egen påvirkningsmulighet: Effekten av en feil i estimatet av vår påvirkningsmulighet vil naturlig nok være avhengig av hvor store ressurser vi har tenkt å sette inn på å påvirke fremrykningshastigheten til motstanderen. (Her tenkes det ikke på utfallet av det enkelte angrep, men på snittverdier.) I en tidlig fase av krigen, uten veldig stort erfaringsgrunnlag, må vi bygge på mer eller mindre representative øvelser eller forsøk, det produsentene har lovet, og analyser ved våpenskoler og institusjoner som FFISYS. Det er rimelig at man vil ha en feil i størrelsesorden en faktor 1,3-1,5 på effekten av våpensystemene tidlig i en krig, og at man etter hvert får en relativt god forståelse av effekten, ned mot en faktor 1,1-1,2. Høyere presisjon enn dette vil neppe oppfattes over hodet, uten at man forsøker å føre statistikk og beregne middelverdier eksplisitt. Akkurat hvilken faktor man har innledningsvis vil avhenge av hvor godt konseptet for sink-operasjoner er gjennomtenkt og -analysert. Med gode analyser og våpenutprøving skulle det være mulig å komme ned i rundt 1,3 forut for den reelle krigen.

Intendert fremrykningshastighet: I dette tilfellet er det snakk om intendert gjennomsnittlig fremrykningshastighet over den perioden det er snakk om. Her vil det være en del nivåavhengighet på samme måte som det er diskutert i punkt 4.2. Mens en bataljon gjerne forflytter seg samlet og sprangvis, slik at den enten er i marsj eller i stilling/hvile, er det

motsatte tilfelle for en divisjon; den forflytter seg bataljonsvis- og regimentsvis, og det vil nesten til enhver tid være én eller annen avdeling i bevegelse innenfor divisjonen, slik at tyngdepunktet mer eller mindre konstant er i bevegelse. Imidlertid vil også større avdelinger måtte stoppe opp til tider for å ta takskifte eller gjennomføre større etterforsyning, slik at de får et "hopp og sprett"-mønster på samme måte som bataljonen, men med et tidsperspektiv på noen uker i stedet for et døgn eller noen timer. Dynamikken i bevegelsene vil også kunne se noenlunde lik ut; fremgang eller motgang på lavt nivå vil gjerne føre til at høyere avdeling strekkes eller at den "pakker sekken", slik at bevegelsen til den høyere avdelingens tyngdepunkt vil bevege seg noenlunde jevnt fremover når den rykker frem, noenlunde jevnt bakover når den trekker seg tilbake, og stå omtrent rolig ved takskifte eller i en statisk situasjon.

I en situasjon der vi har gjettet riktig på hvor motstanderen i grovt (sett i relasjon til den avdelingen det er snakk om) har tenkt seg, blir dette et spørsmål om når han har tenkt å være på de aktuelle stedene, og hvor han har tenkt å stoppe opp for å konsolidere seg underveis. Vi kan først se på en situasjon der vi også vet hvor han skal kjøre fra og til, eller der vi har en avdeling som vil være i marsj i hele den perioden vi betrakter. For en avdeling under administrativ forflytning er det ikke sannsynlig at man tipper så mye galt, fordi motstanderen vil kjøre med normert hastighet bestemt av tabeller, og en enkelt observasjon skulle være tilstrekkelig til å fastslå hvilken av de normerte hastighetene det kjøres i. Variasjonen vil skyldes at man i situasjoner når den enkelte sjåfør opplever at han har god tid, har en tendens til å legge seg i underkant av gjennomsnittsfarten, mens man andre ganger vil legge seg litt i overkant, og en feil på omkring 5% skulle derfor være rimelig.

I en situasjon der motstanderen er under påvirkning av fiendtlig (gjærne vår) aktivitet, men uten å være i noen duellsituasjon mot større bakkestyrker, vil usikkerheten med hensyn på intendert hastighet øke. På den annen side vil det fortsatt stort sett være et spørsmål om operative doktriner og normer, i og med at disse vil fastsette hvorvidt man skal rykke frem så fort som mulig eller så kontrollert som mulig, hvordan man skal prioritere mellom sikkerhet og hurtighet o s v. I tillegg til at doktrinen sier hva man kvalitativt skal tilstrebe, vil motstanderen også her følge faste normer når det gjelder hva som er hurtig og langsom fremrykning. Med en fornuftig vurdering av doktrinen og situasjonen skulle det derfor være mulig å få en relativt god formening om intendert hastighet, men det vil også avhenge av personen som leder fiendtlig høyere enhet (høyere enn den enkelte avdeling som er under betraktning). Dersom man har hatt anledning til å studere avdelingens fremrykning tidligere, skulle en gjennomsnittlig feil på 15 % i intendert hastighet være rimelig. Dersom man ikke har hatt en slik mulighet, burde 20 % være tilsvarende rimelig. Dette betyr at dersom man mener at en fiendtlig divisjon/korps ønsker å manøvrere til en posisjon i løpet av 5 døgn, kan ikke dette sies å være en gal vurdering selv om fasiten er at han ønsket å gjøre det i løpet av 4 eller 6 døgn. 3 eller 7 døgn er også tidsrom som kan aksepteres, og som vil forekomme, men dersom feilen er større enn dette, kan man snakke om en feilvurdering.

I direkte strid eller duellsituasjoner vil neppe motstanderen ha gjort seg opp noen endelig formening om akkurat hvor langt han skal rykke frem; han vil heller ha noen alternativer som utløses ettersom situasjonen utvikler seg. Fra et manøverbasert synspunkt er det heller ikke manøvreringen innenfor en duellstrid som antas å være det avgjørende for suksessen i samme grad som manøvreringen *mellom* duellene, og denne problemstillingen legges derfor bort inntil videre.

Så langt i dette avsnittet ble det forutsatt at man hadde gjettest riktig på hvor langt motstanderen har tenkt seg. Sannsynligheten for å ta feil her er ikke ubetydelig, men dette betyr at motstanderen har en endelig sannsynlighet for å endre hastighet i forhold til forutsatt fremrykningshastighet på gitte tidspunkter eller innenfor en tidsperiode. Dette er tidligere (i avsnitt 3.1.3) beskrevet som en kvadratisk feil, og usikkerhet i foreløpig destinasjon for den aktuelle avdelingen håndteres som et tillegg i form av et kvadratisk tidsledd i forventet avvik.

4.4 Kvadratiske feil og feil som går som a^t

En kvadratisk feil er normalt en temporær sak. Som beskrevet i avsnitt 3.1.3, oppstår den primært når man forventer en "varig" (innenfor aktuell tidshorisont) endring i fremrykningshastighet eller -retning, men man er usikker på tidspunktet for endringen. Dersom sannsynligheten for en endring er uniformt fordelt over et gitt område, vil feilen øke kvadratisk over dette området, dersom sannsynligheten for en endring er konstant gitt at endringen ennå ikke har inntruffet (slik som for de fleste av uhellene som fører til diffuse feil), blir feilen på formen a^t . Forskjellen er imidlertid ikke veldig stor over en kortere tidsperiode. Hovedregelen her er at a^t er transientformen av diffuse feil, mens at^2 er transientformen av konstante (dempede) og lineære feil, men dette vil variere med hva man ellers vet om situasjonen. (" a " representerer her bare én eller annen konstant).

Forkjellige feilkilder vil som tidligere beskrevet ha karakteristiske tider, og når man betrakter tider som er vesentlig større enn denne tiden, vil feilen gjerne opptre som en diffus feil i form av et \sqrt{t} -ledd, eller som et konstantledd. For tider som er vesentlig mindre enn den karakteristiske tiden, vil de ikke nødvendigvis øke veldig sterkt, slik et \sqrt{t} -ledd eller et konstantledd gjør, de vil heller kunne øke langsomt, som et kvadratledd. Dette skyldes at man umiddelbart etter en observasjon, vil vite om en avdeling var i marsj eller ikke på observasjonstidspunktet, og omtrent hvilken hastighet den holdt, og sannsynligheten for at den har stoppet opp av en eller annen grunn er liten etter kort tid, men øker på etter hvert.

For de kvadratiske feilene gjelder det i større grad enn for de diffuse og lineære at man må vurdere omfanget for hvert enkelt tilfelle. Årsaken er at denne komponenten gjerne vil være dominert av en situasjonsspesifikk forventet endring for den konkrete avdelingen. Når man kjenner situasjonen, sitter man altså ofte på en del informasjon om usikkerheten,

og denne informasjonen går i stor grad tapt dersom det kun brukes typiske verdier. Likevel går det an å si en del om hva de typiske verdiene er, i det minste som et worst case. Her er det sett på hvordan usikkerheten utvikler seg dersom alle avdelingene stopper opp omtrent så ofte som de normalt gjør, men helt tilfeldig og uavhengig av hverandre og av lendet.

Avdelinger på forskjellige nivå må med jevne mellomrom foreta reorganiseringer, større etterforsyninger, eller annen form for hvile, eller de kan ha nådd sitt foreløpige mål og stoppe opp av den grunn. Korpsnivå (og små arméer) vil typisk ta et takskifte, en mindre reorganisering eller en opprydningsaksjon i bakre område hver 10-15 døgn (de konkrete intervallene vil være svært situasjonsavhengig). Divisjonsnivået vil naturlig nok i stor grad følge arméens rytme, og i tillegg ha mindre pauser typisk hver 5 døgnperiode. En brigade vil følge korpsets rytme på samme måte som divisjonen, og i tillegg ha mindre avbrekk typisk hvert 3. døgn. Disse avbrekkene kommer gjerne i form av echelonnering, der fremste avdeling skiftes ut. Regimentet og bataljoner vil gjerne følge en døgnrytme, blant annet fordi man tilstreber at personellet i snitt skal få hvile en gang i døgnet. Andre forhold som virker i samme retning, er at avdelingene har lite forsyningsikkerhet innenfor organisasjonen, og må stoppe opp, evt echelonneres for å få tilført forsyninger fra moderavdelingens forsyningsstøtte, eller for å foreta reorganisering etter kamp. Bataljoner vil i tillegg "vimse" frem og tilbake innenfor regimentet/brigaden, ved at de sikrer en sideakse, rydder et område eller bare echelonnerer. Man kan noe forenklet si at de vil endre hastighet med én til fire timers mellomrom, med tre timer som en typisk verdi.

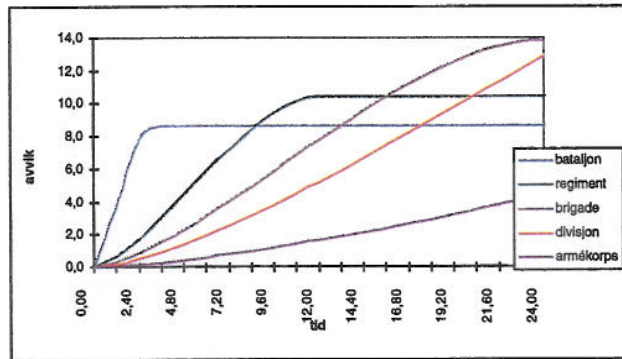
Situasjonen vil gjerne tilsi hvordan bataljonsnivået vil oppføre seg innenfor et regiment eller en brigade, slik at man i en konkret situasjon vet mer enn at den typiske verdien varierer mellom én og fire timer. Man vil f.eks vite om en avdeling kan sies å være i duellsituasjon, under fremføring mot fronten, administrativ fremføring, på transport gjennom ubesatt område el, og kan dermed beskrive usikkerheten mer detaljert.

Man kan nå få typiske størrelser på den kvadratiske feilen ved å ta utgangspunkt i beskrivelsen i avsnitt 3.1.3 av en avdeling som forventes å endre hastighet, der retningen på endringen er kjent, og tidspunktet for endringen har en uniform sannsynlighetsfordeling. Vi kan anta at avdelingene veksler mellom *høy* og *lav* hastighet, og forflytter seg med høy hastighet noe over halve den "typiske" perioden for avdelingen. Usikkerheten er da gitt ved

$$\sigma = v t \sqrt{t/3T - t^2/4T^2},$$

der T er den tiden avdelingen typisk vil beholde aktuell hastighet, gjerne halve den perioden som er skissert over, og v er den forventede hastighetsendringen. Typisk hastighet for en armé eller et armékorps er 20-25 km/døgn, for en divisjon er hastigheten opp mot 40 km i døgnet i de periodene den rykker fremover. En brigade eller et regiment vil ha typisk hastighet på 5 km/timen, og en bataljon kan ha en tilsvarende hastighet på 10-20 km i timen. Avdelingene vil som beskrevet bare være i bevegelse en viss andel av tiden,

evt forflyttes frem og tilbake, og forskjellen i hastighet medfører altså ikke inkonsistens i beskrivelsen.



Figur 4.1 Tidsutvikling for feilkomponenten som skyldes rutinemessige opphold, der det ikke er tatt hensyn til "overlagring"; feilen er holdt konstant etter at den har nådd maksverdien. Se forøvrig fig 4.2.

Under normale forhold vil vi naturlig nok vite ganske mye som ikke er tatt med her, f eks vil det være store områder hvor det er lite sannsynlig at noen vil stoppe opp for å hvile eller utgruppere. Dette kan eventuelt legges inn dette som en endring i de karakteristiske tiderne, slik at disse tidene blir perioden mellom hver gang det foretas et *uventet* skifte i hastighet. Denne kunnskapen fører altså til at karakteristisk tid går opp, og hastigheten reduseres (en del av stoppene regnes med til forflytningen), og dermed reduseres feilledet. På den annen side vil en mer komplett eller situasjonsspesifikk beskrivelse inneholde andre feilkilder enn disse rutinemessige stoppene, som evt kan oppveie at dette leddet reduseres.

De feilledene som er beskrevet i dette avsnittet kan sees som en *transienttilstand* som etterhvert utvikler seg til konstante avvik, slik de er skissert i neste avsnitt. Likningen over gir et mål på de konstante avvikene (den verdien som σ stabiliserer seg på). Denne verdien bør være i samme størrelsesorden som utstrekningen til høyere avdeling, for at tallene skal være rimelige. Verdiene som fremkommer av figur 4.1 er ikke urimelige i så måte, og dette tyder på at forussetningene om typiske tider og hastigheter er rimelige.

Fremstillingen i hele dette kapitlet tar utgangspunkt i at hovedtrekkene ved planen er klarlagt. Dersom de aktuelle handlemåtene ikke er alt for forskjellig, og spesielt dersom det i hovedsak er lokale kraftsamlinger og styrkedisponeringer som skiller dem, kan usikkerhet om handlemåte i noen grad beskrives på sammenmåde som i dette delkapitlet. I denne rapporten er det imidlertid valgt en annen tilnæringsmåte, beskrevet i kapittel 6.

4.5 Dempede (konstante) feil

Dempede feil er beskrevet på generell form i avsnitt 3.1.5, og består av feil som på forskjellige måter jevner seg ut over tid, ved at et avvik i den ene retningen på ett tidspunkt

tilsier et avvik i motsatt retning på et senere tidspunkt. Dette er forskjellig fra diffuse feil, der avvikene på forskjellige tidspunkter er helt uavhengige. Hovedkomponenten til de dempede avvikene antas å bestå i underavdelingenes manøvrering innenfor overordnet enhet. Dette avviket øker som nevnt i avsnitt 4.4 gjerne kvadratisk i transientfasen, før det stabiliserer seg (så lenge man har kontroll på overordnet avdeling). Når det også tas hensyn til at overordnet avdeling manøvrerer innenfor sin høyere avdeling igjen, får man overlageringer, som gjør at utflatingen ikke blir fullt så tydelig.

En avdeling vil normalt ha et tyngdepunkt, med en rimelig høy tetthet av personell og materiell, eller der det er høy sannsynlighet for å finne en underavdeling. I prinsippet kan man også tenke seg en avdeling som sprer sine underavdelinger ut i kringvern omkring sine forsyningsressurser o l, slik at sannsynligheten for å finne en manøverenhet i tyngdepunktet er liten. Dette er imidlertid ikke veldig fleksibelt dersom man skal manøvrere med avdelingen, og her sees det på en avdeling som manøvrerer. Det er derfor rimelig å si at middelavviket for posisjonen til en underavdeling i forhold til moderavdelingen på to uavhengige tidspunkter er knapt halvparten av utstrekningen til moderavdelingen.

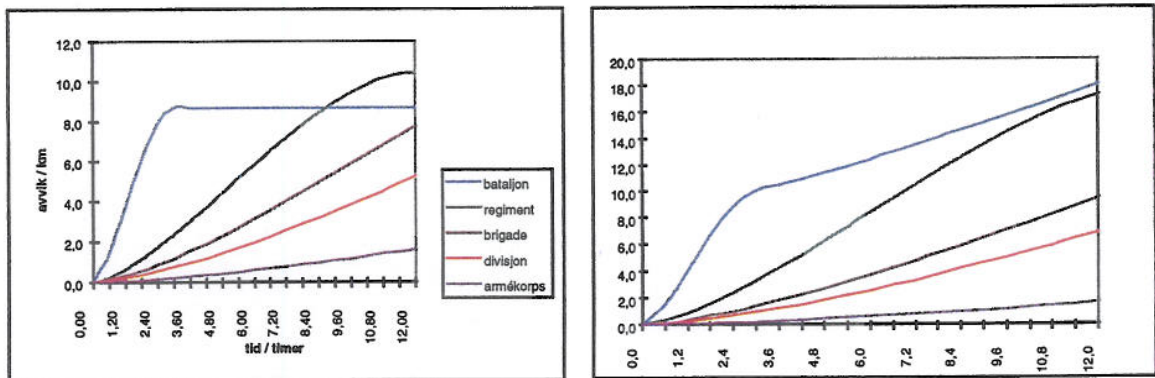
Dette gir følgende typiske verdier på dempet feil:

- Bataljonsnivået vil ha et typisk konstant avvik på 5 km (som nåes etter 3-6 timer)
- En brigade vil ha et typisk konstant avvik på 50 km (som nåes etter 3-4 døgn)
- Et regiment (i en divisjon) vil ha et typisk konstant avvik på 15 km (som nåes etter 1-2 døgn)
- Denne vinklingen er i utgangspunktet ikke anvendbar for armékorps eller arméer, men for kompletthets skyld kan man gjøre seg noen teoretiske betraktninger rundt en eventuell størrelsesorden: I en såkalt territoriell kommando som ikke har mange arméer eller armékorps å echelonnere med, kan armékorps og arméer bare flyttes mellom forskjellige hovedakser innenfor fronten i forbindelse med flytting av kraftsamling. Man kan dermed snakke om en typisk konstant feil på mange hundre kilometer, som nåes i løpet av noen måneder (selve flyttingen tar vesentlig kortere tid, typisk noen uker). Omkring 400-500 km er heller ingen urimelig avstand mellom et første og et annet echelons armékorps.

4.6 Rimelig verdi for total feil

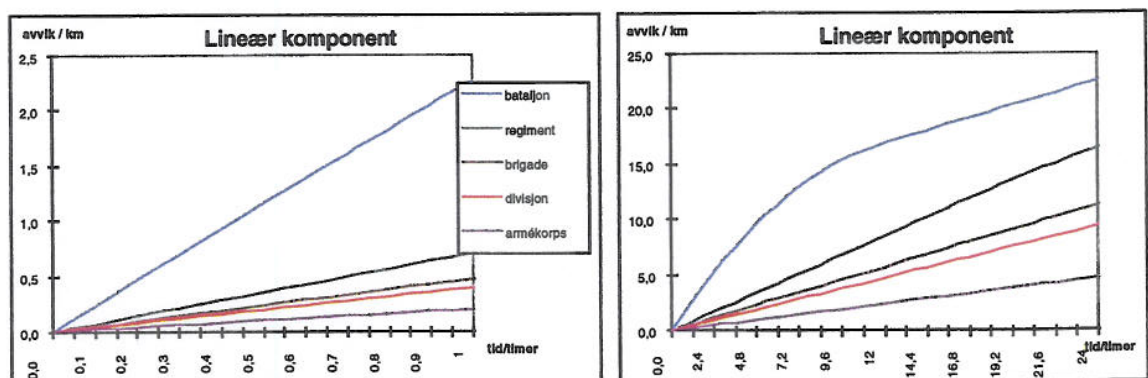
Ved sammenstilling av feilkomponentene må man være nøye med å regne hver komponent kun én gang. I fremstillingen så langt er det brukt svært forskjellige resonnementer for å estimere de forskjellige komponentene, og det samme fenomenet kan dermed se så forskjellig ut, at det fremstår som to adskilte effekter.

I denne fremstillingen er komponenten som er omtalt som "kvadratisk" slått sammen med den konstante/dempede feilen. Under kvadratiske avvik er det kun tatt med det fenomenet at underavdelingene har en viss dynamikk innenfor en avdeling, og det er det samme fenomenet som er beskrevet under dempede feil. Det forutsettes derfor at avviket følger en S-kurve i en transientperiode, og deretter er konstant når bare ett nivå tas i betraktning, slik figur 4.2.a viser. Videre vil underavdelingene følge med når en avdeling forflytter seg innenfor overordnet avdeling, og for en bataljon i brigaderamme blir dermed dette avviket summen av avvikene for bataljonsnivået, brigadenivået og korpsnivået (figur 4.2.b).



Figur 4.2.a og 4.2.b "kvadratisk" og konstant avvik hhv med og uten overlaging

For den lineære feilen er det gjort noen forenklingene antagelser, som gjør at denne komponenten ikke ser direkte lineær ut: Usikkerheten er angitt som en prosentvis usikkerhet i forhold til kjørehastighet. Nå vil en bataljon, som er observert på marsj, holde en hastighet som er relativt mye høyere enn den hastigheten overordnet avdeling vil holde over tid. Samtidig er det rimelig å anta at det også over tid vil være en prosentvis feil i forhold til fremrykningshastigheten, og at prosentsatsen vil holde seg på en gitt størrelsesorden over tid, fordi det er de samme faktorene, nemlig intensjon, forskjellige utstyrstypers yteevne etc som styrer avviket på alle nivåer.

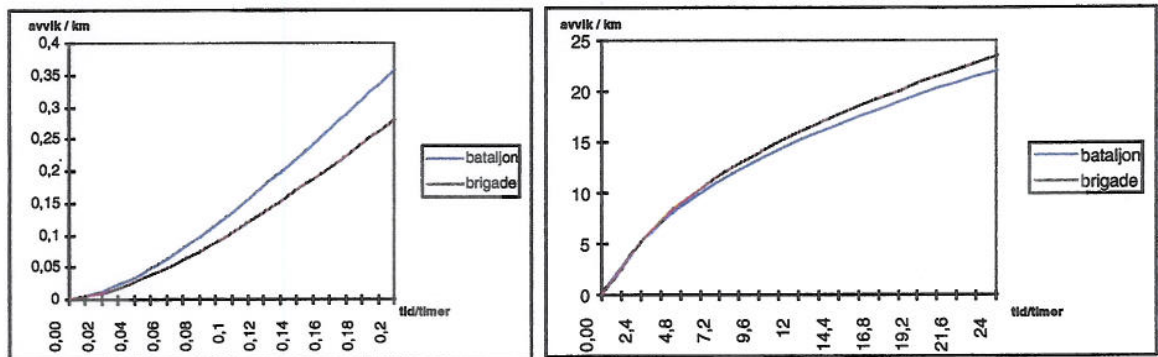


Figur 4.3 tidsutviklingen for den lineære komponenten i usikkerheten

Her er det antatt at usikkerheten vil følge hastigheten for den aktuelle avdelingen så lenge den kan operere noenlunde uavhengig av overordnet avdeling, og at den deretter følger

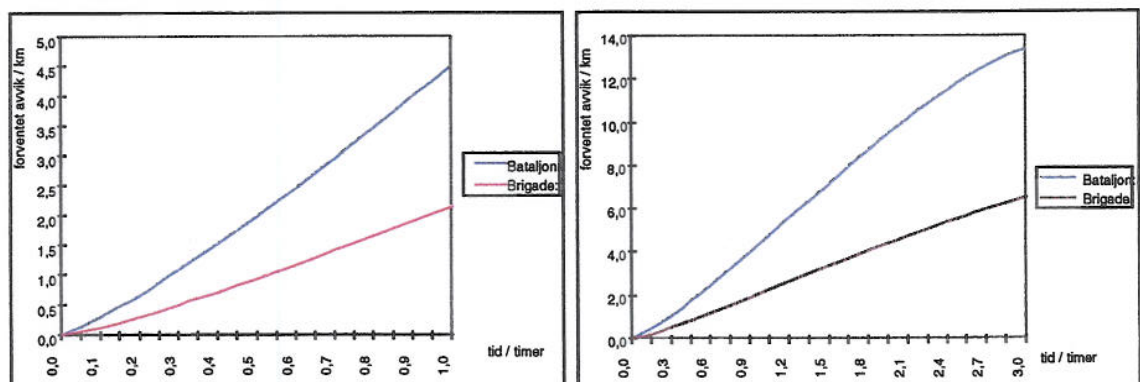
hastigheten for overordnet avdeling. Siden dette ikke vil være noen brå overgang i virkeligheten, er det her forutsatt en gradvis overgang over en periode på 12 timer, der hastigheten avtar lineært. Kurven arter seg derfor som rette linjestykker, der kantene er rundet av med parabelbuer. Her er det antatt at en bataljon vil oppføre seg som om den var uavhengig av høyere enhet (brigade) i 6 timer, et regiment i 24 timer, en brigade i 36 timer, en divisjon i 72 timer, mens et armékorps vil være uavhengig i mer enn en uke, og derfor lenger enn denne beskrivelsen er ment å ha noen gyldighet. Figur 4.3 viser tidsutviklingen for denne komponenten.

Den diffuse komponenten er beskrevet i kapittel 4.1 og 4.2 (flere detaljer er gitt i appendiks A.3). Det er gjort antagelser om varigheten av de forsinkelsene som er årsak til denne feilen, og om hvordan feilen forplanter seg oppover til høyere avdeling. Med de antagelsene som er gjort blir tidsutviklingen for feilen på bataljons- og brigadenivå omtrent den samme.

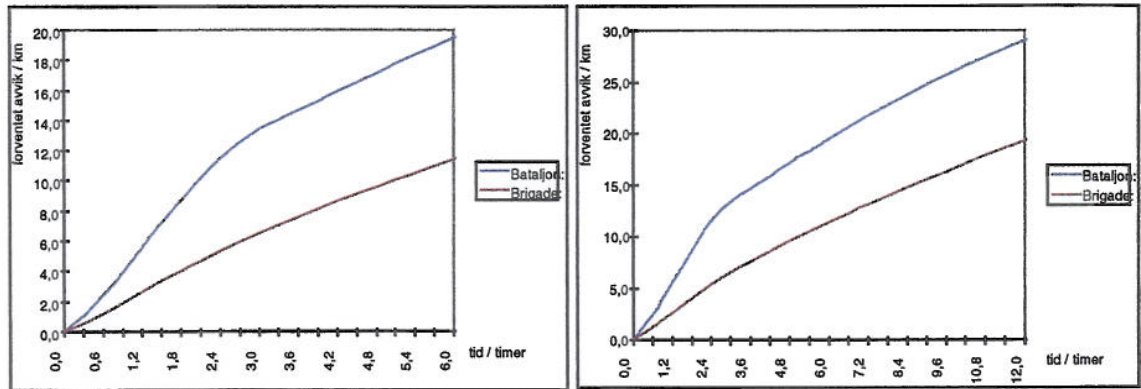


Figur 4.4 tidsutvikling for diffust avvik på bataljons- og brigadenivå

Det er lite som tilsier at det er noen kobling mellom de forskjellige årsakene til avvik, og variansen for totalfeilen blir dermed summen av variansen i komponentene. Figur 4.5 viser det totale forventede avviket for noen tidsintervaller.



Figur 4.5.a Totalt forventet avvik for bataljon og brigade



Figur 4.5.b Totalt forventet avvik for bataljon og brigade

Selv om beskrivelsen her er gjort detaljert for å gjøre det mulig å estimere verdiene på best mulig måte, er det fortsatt svært usikre estimater. Det er viktig at både inngangsparametrene og resultatene her oppfattes som *rimelige* eller *typiske* verdier, og at den virkelige verdien i en del sammenhenger kan avvike en del fra disse verdiene. Det er imidlertid lite sannsynlig at den reelle verdien vil avvike mer enn en faktor 2 til 3, og hovedtrekkene i de kvalitative egenskapene ved tidsutviklingen må man også forvente at stemmer.

5 DIFFERENSIERT REAKSJONSTID OG STYRINGSMULIGHET

5.1 Generelt om styringsmulighet

En divisjon vil ha en reaksjonstid på et gitt antall timer eller døgn fra sjefens intensjon er klar og han tar sin beslutning om hva som skal gjøres, og til dette faktisk blir utført. Dersom dette er den eneste måten våre avdelinger kan reagere på motstanderens operasjoner, uansett omfanget av de tiltak som skal treffes i forkant, så trenger vi ikke flere egenskaper ved en prognose enn dens kvalitet slik den er beskrevet i (5). Kvaliteten kan da beregnes utfra teorien i kapittel 3 og 4, eventuelt i kapittel 6. Dette vil imidlertid sjelden eller aldri være tilfellet; divisjonen vil trenge en viss tid til å utdeployere sine hovedressurser, en *kortere* tid på å sette inn en brigade (forutsatt at støtteapparatet for brigaden er på plass), og *svært kort* tid på å *justere* planene og ordrene til brigadene og artilleriet. En slik begrenset justering kan f.eks. bestå i å skynde på fremføring eller tilbaketrekning, øke eller redusere bekjempningen av visse typer mål og liknende. I tillegg vil sjefer på lavere nivå stadig treffe beslutninger i form av stridsledelse, som forhåpentligvis tar utgangspunkt i divisjonssjefens intensjon. På større dyp vil man neppe trenge mer enn et par timer på å sette inn flyangrep, dersom det er planlagt for denne muligheten og satt av ressurser. Jegeravdelinger som er ute kan også gies ordre om å konsentrere sin innsats i tid på kort varsel såfremt de er utgruppert for den aktuelle typen

oppdrag. (Begge de to siste mulighetene krever at det er tatt høyde for dem i planleggingen, men det er noe av poenget i dette kapitlet).

Dersom vi lager en prognose med prognosetid lik den tiden det tar å omgruppere divisjonens hovedressurser, er det altså klart at situasjonen ved prognosetidens slutt i aller høyeste grad vil være påvirket av hvilke avgjørelser vi tar i løpet av prognoseperioden. På det tidspunktet prognosen utarbeides er naturligvis disse beslutningene ukjent, og sett utenfra kan det derfor være rimelig å regne dette som usikkerhet på linje med de usikkerhetsfaktorene som skyldes tilfeldigheter eller motstanderens beslutninger. Når prognosen skal brukes til planlegging, vil dette imidlertid ha preg av handlefrihet, eller mulighet for å styre motstanderens og egne bevegelser opp mot hverandre, heller enn av usikkerhet. Fordi vi har enkelte virkemidler med kort reaksjonstid kan vi altså *styre* eller *velge* planleggingsgrunnlaget for de virkemidlene vi har lang reaksjonstid på. Rent intuitivt er det helt klart at dette er å betrakte som en handlefrihet, men det er ikke så åpenbart hvordan det passer inn i denne mer matematiske beskrivelsen. Hensikten med dette kapitlet er å drøfte denne problemstillingen.

Som en forenklet fremstilling kan vi si at handlefriheten er et virkemiddel til å styre middelverdien av forventningen innenfor visse grenser, og at vi så har én eller annen usikkerhet som beskriver hvor mye reell posisjon forventes å avvike fra dette middelet. Den enkleste varianten av dette er å gi rammer som vi regner med å kunne styre middelverdien av forventningen innenfor, og et middelavvik for forventet spredning rundt valgt middel. I stedet for et uttrykk for hva motstanderen kan tenkes å gjøre, vil vi altså ha et mål for hvor presist vi er i stand til å styre motstanderens fremrykning, og innenfor hvilke rammer vi kan forvente å styre ham. Først og fremst er det imidlertid egen manøvrering man ønsker å justere, og når man ser dette sammen med muligheten for å styre motstanderen, kan det beskrives som en mulighet til å *styre* tid og rom-faktoren.

Dersom vi har ubegrensede ressurser å sette inn på denne styringen, vil usikkerheten for langsiktige prognoser i prinsippet ikke bli større enn usikkerheten for en prognose som går over en periode tilsvarende reaksjonstiden for "styringstiltakene". Vi vil da kunne tvinge motstanderen til å til enhver tid holde seg til det mønsteret vi har valgt å planlegge med, men på en slik måte at vi hele tiden må endre på det avviket som var en periode tilbake i tid, som følge av reaksjonstiden på styringen³. Med begrensede ressurser vil vi ikke kunne tvinge motstanderen til å følge et mønster han ikke ønsker, men vi kan påvirke ham i ønsket retning, og vi kan påvirke ham systematisk i samme retning over tid. Dette kapitlet forholder seg til den typen avvik som er behandlet i kapittel 3, altså avvik i posisjon eller hastighet som ikke gjenspeiler en annen overordnet handlemåte for den fiendtlige styrken.

³ Beskrivelsen her har mye til felles med Kalman-filtrering og kontrollteori, og en mer presis matematisk beskrivelse vil kunne bruke mye av det maskineriet som er utviklet innenfor disse områdene. Dette kapitlet legger imidlertid hovedvekten på kvalitativ beskrivelse, og går ikke så langt på kvantifisering.

Man må hele tiden ha i bakhodet at det er svært begrenset hvor mye vi faktisk ønsker å påvirke motstanderen. Vi kan ønske å justere fremrykningstakten hans i visse situasjoner, men en part som generelt går inn for å motvirke alle avvik fra egen prognose, også når det gjelder motstanderens intensjon, har i realiteten gitt fra seg initiativet, og må bare reagere på motstanderens små og store avvik fra egen plan. Vi ønsker primært å påvirke egen manøvrering, men i nødsfall også motstanderens manøverhastighet for å sikre en timing til vår fordel. Man tar imidlertid ikke sikte på å tvinge motstanderen inn på én og bare én handlemåte.

5.2 Styling av diffuse feil med kortsiktige tiltak.

Vi har mulighet for flere forskjellige typer påvirkning. På den ene siden kan vi sinke motstanderen på en slik måte at han fra dag til dag bruker lengre tid på å forsere et lende enn hva han ellers ville ha gjort. Vi kan også redusere det planlagte omfanget av denne typen tiltak, slik at vi øker motstanderens fremrykningshastighet på kort sikt. Dette betyr imidlertid ikke at vi kan *tvinge* ham til å rykke fremover dersom han har bestemt seg for å stanse opp, bare at vi kan påvirke farten dersom han tilstreber en raskere fremrykning enn det vi tillater ham å ha. I den perioden vi setter inn denne typen tiltak vil vi ha gitt et negativt og konstant tilskudd til gjennomsnittsfarten, ved at tiden han bruker på hver enkelt mil økes med et mer eller mindre konstant antall timer. Et typisk eksempel på denne typen tiltak er begrensede KOMØDer eller minefelt, men mindre angrep fra jegeravdelinger og fly, der skadene kan repareres etter hvert, kan ha samme effekt. (En styling med denne typen tiltak fordrer at man faktisk har kontroll med dem, slik at helheten er godt koordinert. Uten kontroll blir dette en usikkerhet i stedet for en styringsmulighet.)

Hvis vi nå betrakter en diffus feil, som altså består i at tilfeldige variasjoner i fremrykningen fra dag til dag slår ut litt mer i den ene retningen enn i den andre, vil den gå som \sqrt{t} uten noen tiltak fra vår side, og dermed være gitt ved $\sigma = A\sqrt{t}$, der A er en konstant. Vi lar nå $v_{\text{reduksjon}}$ være den maksimale fartsreduksjonen vi er i stand til å gi motstanderen (eller velger å prioritere ressurser mot) med denne typen tiltak. En fullstendig beskrivelse vil også være avhengig av usikkerheten i denne styringsmuligheten (forventet differanse mellom intendert og reell fartsreduksjon), og av reaksjonstiden for iverksettelse av stylingstiltakene (f eks kalt hhv σ_{red} og t_{styr}), men en slik beskrivelse er ikke gitt her. Vi kan nå planlegge med en viss påvirkning, f eks en fartsreduksjon på $v_{\text{reduksjon}}/2$, som vil gi lik styringsmulighet i begge retninger.

I en situasjon der reaksjonstiden på stylingstiltakene er svært liten sammenliknet med en typisk tid for systemet, kan det være hensiktsmessig å se bort fra den. Man finner da at usikkerheten vil øke inntil et visst nivå, og så flate ut. Med en utgangsverdi for stylingen på $v_{\text{reduksjon}}/2$, vil middelfeilen i det diffuse avviket nærme seg en verdi på

$$\sigma = \frac{A^2}{v_{\text{reduksjon}}}$$

Den typiske tiden for systemet blir dermed $t^* = A^2/v_{\text{reduksjon}}^2$, som er den tiden det ville tatt å opparbeide en slik usikkerhet uten styring.

For KOMØDer har vi en reaksjonstid som i en del tilfeller kan bli betydelig, og det er tvilsomt om dette er en riktig modell for å beskrive effekten. Når det gjelder VPD i form av Air-interdiction, MLRS, jegeravdelinger eller kampavdelinger i sinkoppdrag, vil vi kunne gjøre større eller mindre endringer på kortere tid, og på meget kort tid dersom det er tatt høyde for en slik handlefrihet i planene. I en slik situasjon kan denne modellen være god.

Det er en forskjell på å måtte planlegge for styringsmulighet i forhold til at den er der uten videre, men her er det altså ikke snakk om at man skal ha planlagt enhver alternativ bruk av reservene eller handlefriheten, kun at det må sørges for at den er tilgjengelig. Etter at vi har fått stridskontakt med større bakkestyrker, kan man bruke en avdeling til å "kontrollere fiendtlig tet". Dette passer svært godt inn i beskrivelsen her - det er planlagt for justeringer uten at selve justeringene trenger være planlagt.

5.3 Styring av systematiske (lineære) avvik

Dersom vi påfører motstanderen større tap på dypet, eller tar ut en viss andel av hans totale transportressurser i området, slik at han får mindre total kapasitet på etterforsyning, vil hans fremrykningshastighet trolig bli varig svekket innenfor de tidsrammer det her er snakk om. Vi får altså en situasjon der motstanderen tilføres en systematisk endring i sin fremføringshastighet. Man kan se dette som at *maksimumsgrensen* for hastigheten reduseres, men det er vel mer naturlig å anta at man tilfører en ny faktor som tilsier lavere fart også om han i utgangspunktet hadde vurdert at det var hensiktsmessig å rykke frem langsommere enn maksimumshastigheten. Det er altså rimelig å anta at man med denne typen tiltak, og gitt andre forutsetninger, reduserer den *optimale* fremrykningshastigheten, og sannsynligvis også den hastigheten motstanderen opplever som optimal og altså velger. Dersom motstanderen har en intendert hastighet, gitt ved middelet for forventet hastighet den enkelte dag, og vi har klart å finne denne hastigheten, så skulle vi være i stand til å endre dette forsettlig til å gi en varig lavere gjennomsnittshastighet.

Her er det nødvendig å fiksere nivå og tidsrammer, nærmere bestemt hvor stor del av motstanderens styrker vi ønsker å håndtere, og hvor lenge vi kan betrakte denne delen som isolert. Teorien er prinsipielt gyldig for alle nivåer (selv om forutsetningene ikke er like realistiske på alle nivåer), så man kan velge nivå ut fra hva situasjonen tilsier. Det mest naturlige vil være at man betrakter en styrke på mellom et par bataljoner og et par brigader

med tildelte støtteelementer, altså fra en mindre taktisk echellon opp til en operasjonell echellon.

Den styrken man ser på må ha en form for geografisk avgrensning - f eks et avsnitt av en akse - i og med at motstanderen står fritt til å omdisponere ressurser mellom avdelingene sine. Tidsperspektivet for den lineære effekten blir nå bestemt av hvor lang tid det tar motstanderen å tilføre de aktuelle styrkene ressurser fra et annet område (hvor han har tilstrekkelig av de ressursene som er tatt ut). Siden man ofte er indifferent m h p hvilken konkret avdeling man møter, kan man også si at tidsperspektivet er den tiden det tar å echellonere de skadede avdelingene, slik at en frisk avdeling tar over den plassen som vi ønsket å styre.

Det kan innvendes mot denne fremstillingen at motstanderen ikke ønsker å la seg forme. Med nok ressurser og ødeleggelse er det imidlertid åpenbart at han kan stoppes eller sinkes. Problemet er reelt nok, og det kan formuleres som et ressursproblem, eller som redusert effekt av ressursene, og dermed er det tatt hensyn til i beskrivelsen uten at det eksplisitt innføres som en ny parameter.

Dersom dette hadde vært den eneste feilkilden, ville vi når som helst etter at prognosen var lagt, kunne foreta en måling av motstanderens hastighet, som ville være identisk med intendert hastighet. Dersom vi dessuten hadde eksakt kunnskap om effekten av våre egne tiltak, kunne vi sette inn et enkelt støt eller en serie av angrep som reduserte motstanderens hastigheten til nøyaktig det nivået som var antatt i prognosen. Vi kunne også forutsette en viss slik påvirkning i prognosen, slik at vi kunne justere hastigheten hans både opp og ned ved enten å redusere eller øke påvirkningen. Vi ville sannsynligvis ha en øvre grense for påvirkningen, og det hele blir dermed et spørsmål om hvorvidt vi har stor nok kapasitet til å ta inn det feilestimatet som ble gjort i prognosen, i hvilket tilfelle feilen elimineres, eller om vi ikke har nok kapasitet, og vi får en ny feil, som også øker proporsjonalt med tiden, men med en redusert proporsjonalitetskonstant. Det vil ikke være noe stort problem i dette hypotetiske eksempelet om vi ikke kjenner effekten av egne tiltak nøyaktig. Vi kan dele dem opp i passende små biter, og nærmest "tune" inn den ønskede effekten, for effekten kan vi lese av fortløpende siden det ikke finnes andre feilkilder. Dersom vi imidlertid bruker tid på det enkelte tiltak, vil det opparbeide seg et konstant avvik, som vi ikke får eliminert med denne typen tiltak.

I en reell situasjon vil det spesielt være mye "hvit støy" i form av diffuse feil, sammen med de systematiske feilene. Dette har imidlertid ingen stor grunnleggende kvalitativ effekt på resultatet, hovedsaken er at man trenger hastighetsmålinger *over lenger tid* for å få et godt inntrykk av den feilen man skal prøve å eliminere. Dersom man heller ikke kjenner effekten av sine egne tiltak, og må prøve seg frem, trenger man en viss tid også for få målinger av denne effekten. Før man har fått eliminert denne feilen vil det altså ha tatt en ikke ubetydelig tid, og det vil ha bygget seg opp en ikke nødvendigvis ubetydelig konstant

feil, men denne kan i sin tur fjernes med tiltak som har kortsiktig virkning, som skissert i underkapittel 5.2.

Dersom man har tilstrekkelig tid på seg, og har nok ressurser å sette inn, går det teoretisk an å eliminere en lineær systematisk feil fullstendig. Det var her forutsatt at denne feilen var proporsjonal med tiden, og altså med konstant proporsjonalitetskonstant. Dette er naturligvis en tilnærming til en situasjon der vi har en planperiode som vi kan anta at denne konstanten er rimelig konstant innenfor. Hvis vi forventer at denne konstanten, som beskriver motstanderens intensjon, ligger fast i perioder med lengde D , så ser vi at bare D blir tilstrekkelig stor, og andre forhold ligger fast, så kan vi eliminere den systematiske feilen.

På den annen side har vi en typisk tid d for den diffuse feilen, som beskriver hvor lenge om gangen motstanderen forventes å kjøre med konstant hastighet mellom hver gang den endres som følge av tilfeldige variasjoner. Trolig vil dette tidsmessig typisk være snakk om fra en halv time til et døgn, avhengig av situasjon og nivå. Dersom d gjøres liten nok, vil vi bruke kort tid på å måle både systematisk feil og effekt av egen innsats. Hvis vi i tillegg har kort reaksjonstid på styringstiltakene, vil vi være i stand til å eliminere feilen selv med en fast, endelig verdi for D . Kvotienten D/d , vil altså være en kritisk parameter for hvorvidt en systematisk feil kan elimineres innenfor en tidsramme D .

Det kan være et rimelig spørsmål her om d og D er to adskilte, diskrete verdier, eller om det finnes feilkomponenter svarende til enhver slik periodelengde, slik at beskrivelsen her fordrer at disse feilkomponentene grupperes med en mer eller mindre vilkårlig valgt grense mellom gruppene. Det er vel rimelig å tro at svaret er et både-og, ved at begge verdiene vil være uskarpe, men samtidig være relativt klart skilt fra hverandre. Forskjellen ligger i at D er en størrelse som forutsettes å avhenge av bevisste valg fra en enkeltperson, mens d skal avhenge av forhold som ikke er bevisst styrt, eller som er styrt av mange små beslutninger tatt av en stor gruppe beslutningstagere på lavere nivå. Det er altså heller ikke urimelig at forholdet D/d vil anta verdier som svarer til nivådelingene i den fiendtlige styrken. En kvotient i området 2 til 6 vil derfor være rimelig. En stor kvotient svarer til en avdeling som har mange underavdelinger direkte underlagt og i støtte, eller som har et oppdrag som går over en lang periode eller i mange faser. De fremre avdelingene vil gjerne ha flere støtteavdelinger, og må dessuten justere utførelsen sin fortløpende i større grad enn avdelingene som følger på. De kan dermed ha en relativt høy kvotient, mens kvotienten lenger bak gjerne vil ligge i nedre del av det skisserte intervallet.

Som beskrevet i kapittel 5.2, vil styringstiltakene redusere de diffuse feilene ned til en konstant feil. På samme måte kan man bruke lineære styringstiltak til å redusere lineære feil. Med perfekte målinger av avviket kunne man som nevnt ha fjernet dem fullstendig, og den gjenstående feilen i en reell situasjon blir dermed et spørsmål om usikkerheten i de målingene man har gjort og usikkerheten i effekten av de tiltakene man setter inn. Over tid kan man altså få feilen til å flate ut fordi man får mange målinger, men restfeilen vil være

avhengig av en rekke uavhengige målinger, og hver slik målefeil som man reagerer på vil bidra til konstantfeilen. Dette later til å svare til en diffus feil generert av flere uavhengige hendelser, og lineære styringstiltak later altså til å redusere lineære feil til diffuse feil når man tar hensyn til "målefeilene".

5.4 Rimelige omfang av styringsmulighet

Her er det viktig å huske på at det er en feil i innbyrdes posisjoner vi ønsker å rette opp, slik at det er relativt likegyldig om vi gjør det ved å endre egen posisjon eller motstanderens posisjon, dersom vi har begge muligheter. Dersom avviket ikke er større enn at en deloperasjon såsom en avskjæring eller en deling kan sees separat, og motstanderen av én eller annen grunn (gjærne uvitenhet) ikke kan gjøre mottrekk mot en endring fra vår side, vil det enkleste nesten alltid være å justere på egen posisjon, og la motstanderen kjøre som han ønsker.

Dersom motstanderen har oppfattet hva vi forsøker på, vil han nok tilstrebe å manøvrere slik at posisjonene blir ugunstige for oss, og da må vi i en kortere periode tilstrebe å *styre ham*. På samme måte kan tidsfasingen i forhold til andre deloperasjoner være avgjørende, ved at nødvendige ressurser først blir tilgjengelige på et gitt tidspunkt, og deretter må frigis på et senere tidspunkt. I så fall er vi nødt til å påvirke også motstanderens manøvrering slik at den gunstige situasjonen oppstår innenfor det aktuelle tidsvinduet.

Beskrivelsen av tidsutviklingen til avvikene (presisjonen) uten styringstiltak, som er gitt i kapittel 3 og 4, er relativt detaljert og ender opp i en sammenstilling med konkrete tall for gitte antagelser. Her er imidlertid ambisjonen noe lavere. Det er antydning på størrelse på enkeltkomponenter, men de er ikke sammenstilt slik at det kan legges sammen eller sammenholdes direkte med verdiene i kapittel 4. Den totale effekten på usikkerheten er derfor ikke kartlagt. Det er også såvidt stor usikkerhet beheftet med tallene i dette kapitlet, at de primært må sees som et illustrerende eksempel, eller som et utgangspunkt for videre tallfesting.

5.4.1 Omfang på kortsiktige styringstiltak rettet mot motstanderen

Virkemidlene her er utløsning av mindre KOMØDER⁴, i betydningen fysisk destruksjon av veier, bruer e l, legging av minefelt, ildoverfall på avdelinger som gjør at de stanser for å reorganisere. Ildoverfallene kan være i form av flyangrep, artilleriild eller jegeravdelinger. Slike ildoverfall er typisk selektiv "attrition" som dels svekker avdelingen, men også kan ha som funksjon å stoppe den for en kortere periode. EK-tiltak av typen elektroniske mottiltak (EMT) kan i noen grad brukes på samme måte, ved at man hindrer motstanderen i

⁴ KOMØD har ofte lang varighet. Når de her er satt under kortsiktige tiltak, gjenspeiler det at en avdeling som først har passert en KOMØD ikke vil være vesentlig hindret av den i ettertid.

å koordinere operasjonene sine og dermed mer eller mindre stanser ham i en periode. Dette er tiltak som normalt (med unntak av forbrukssendere) har begrenset rekkevidde mot moderne sambandssystemer, men reaksjonstiden er kort, og de kan i en del situasjoner ha stor effekt over begrensede tidsintervaller. Et unntak er forbrukssendere, som hver for seg har svært kort rekkevidde, men som kan leveres på til dels stort dyp.

Flyangrep har en typisk reaksjonstid på et kvarter dersom flyene allerede er i luften, en time dersom de står på bakken, men er satt av til formålet, og lang tid dersom man må rekvirere sorties via høyere nivå. Det siste tilfellet kan ta flere dager, men dette er vel mer et spørsmål om hvordan man velger å organisere beslutningen enn om faktiske begrensninger på beslutningsapparatet. Flyangrep med vanlige ikke-selektive våpen kan gi destruksjon av en del materiell, og en del sårede som det må tas hånd om. Angrep med begrensede flystyrker (f eks fire fly) vil typisk gi et opphold på 30 min til en time for en bataljon, primært for evakuering av sårede, rydding av vei og liknende.

Det kan også hende at det angrepne regimentet velger å kjøre vognene ut av vei eller trassé for å spre dem i påvente av nye angrep, og i så fall kan man eventuelt regne med en time ekstra. Vi får altså en forsinkelse på fra en halv til to timer for et regiment, avhengig av hvordan de opplever situasjonen. Større flyangrep utført med mer enn ti våpenbærere kan gi en bataljon såvidt store skader dersom angrepet er vellykket, at den ikke er i stand til å fortsette uten reorganisering og reparasjoner, noe som vil ta minst et døgn. Et slikt større angrep fordelt på et regiment eller en brigade kan tilsvarende gi materielle skader som gjør det hensiktsmessig å stanse avdelingen i f eks 12-24 timer. Imidlertid vil dette avhenge av hvordan motstanderen oppfatter situasjonen, for avdelingen vil på ingen måte være ubrukelig i denne perioden. Gitt oppdraget kan avdelingen velge å kjøre videre etter et opphold på omkring 2 timer, som går med til å avklare skader, rekvirere hjelp til sårede, sikre skadet materiell og foreta lokal reorganisering. Tallene her er meget usikre og situasjonsavhengige; en mer detaljert vurdering kan ta utgangspunkt i vurderinger av tapspåføring fra flyangrep, som bl a er gitt i (14) (15) og (16).

KOMØDer regnes ofte som tapt dersom området er sikret av motstanderen. Ladninger som ligger i bruer og liknende vil da normalt være oppdaget, eller objektet (f eks bruen) er såpass godt bevoktet at egne styrker ikke kommer til for å sprengte. Sprenging av veier forøvrig eller utløsning av ras i bratt lende skulle være mulig dersom det er lagt til rette for det, og dette kan bl a gjøres med spesialiserte jegerpatruljer eller tilsvarende HV enheter. Dersom patruljene ligger kamuflert på stedet (eller man har fjernstyrte ladninger) er reaksjonstiden noen minutter, typisk ti minutter. KOMØDer har forskjellig omfang, men dersom man må ha frem ingeniørstyrker fra regiment- eller brigadenivå, tar dette ofte noe tid. Denne ressursen må gjerne snus, noen fastkjørte kjøretøyer ryddes bort, og etter at ny vei er ryddet må avdelingen komme på fornuftig marsjformasjon igjen. Dette tar raskt omkring to timer, uten at tiden for utbedring av aksene regnes med, og denne vil variere fra en halv time til flere uker. Det vil imidlertid være rimelig kjent hvor lang tid utbedringen

tar. Her kan man altså påføre motstanderen forsinkelser på fra to timer og oppover med kort egen reaksjonstid, men kun på forberedte og spesielt egnede steder.

Fjernleverte miner er utvilsomt et velegnet middel til å styre motstanderen. Den naturlige måten å levere minene på er med artilleri, og en viktig begrensning er rekkevidden på artilleriet, ved siden av at slike miner er relativt dyre, og man må påregne begrensede lagre av dem. Dersom granatene er kjørt frem til artilleriavdelingene, og målområdene enten er skutt inn på forhånd eller man har OPer som kan gi data for målområdet, kan minene leveres på få minutters varsel. Det er realistisk at artillerienhetene i en avdeling på divisjons størrelse kan legge slike minefelt et begrenset antall (gjærne mindre enn 10) i løpet av en operasjon på 5-10 døgn. Minefelt utover dette må legges med minekastere eller manuelt, og er lite anvendelig til slik styring - et unntak kan imidlertid være fjernstyrte fullbreddevirkende miner, som kan utplasseres i forkant av operasjonen, og deretter aktiveres etter behov.

Et minefelt som legges én gang, og ikke opprettholdes (eller beskyttes på noen måte), vil det typisk ryddes gater i løpet av én til to timer⁵. Mer enn to timer på rydding er mindre sannsynlig på en hovedakse, dersom feltet ikke vedlikeholdes. Med stadig vedlikehold av minefeltet, kan man strupe aksene i en del lengre tid - opp mot 12 timer. En avdeling på divisjonsstørrelse må forventes å kun ha kapasitet til å legge og vedlikeholde et lite antall (typisk mindre enn fem) fjernleverte minefelt i løpet av en operasjon. Selv i et vedlikeholdt minefelt vil det alltid komme noen vogner gjennom, f.eks. i en periode etter at spesialutstyr med sprengslanger er brukt, og før man får lagt nye miner, men dette trenger ikke bety noe for det reelle styrkevolumet i det området man ønsker å avsperre.

Artilleriild mot fremrykkende styrker har først og fremst "attrition"-effekt ved at styrken reduseres i omfang samtidig som det sliter psykisk på personellet. Omfattende og eventuelt vedvarende artilleriangrep medfører imidlertid også at styrken sinkes; man må håndtere en del av de sårede, utføre noe vedlikehold på et større antall vogner o.l. For over hodet å ha noenlunde sikkerhet for å påvirke en bataljon til bevisst å stanse eller endre farten, må det skytes i størrelsesorden fem bataljonsmål. Volumet kan reduseres betraktelig med smart ammunisjon, men dette vil igjen være en begrenset ressurs. Mindre angrep vil bare angå en mindre del av bataljonen, og da vil man som regel bare stanse de enkeltvognene som fysisk er ødelagt. Dersom det ligger OPer i stilling er reaksjonstiden på artilleriild meget kort, nede i få minutter, og et artilleriregiment kan i prinsippet skyte 4-5 bataljonsmål på ti minutter. Begrensningen er lokaliseringmidler, for ild uten direkte observasjon er lite kosteffektiv, og gir usikkert resultat; dermed er dette lite egnet til noen form for styring.

⁵ Mange nasjoner, bl.a. Russland har tradisjonelt med mineryddingsutstyr i form av mineploger eller -valser i alle kolonner.

5.4.2 Kortsiktige styringstiltak rettet mot egne styrker

Det viktigste her vil være hastighetsendringer i form av at man justerer egen momentan fremrykningshastighet, eller justerer tidspunkt for avmarsj i forbindelse med en manøver. Dette vurderes best fra situasjon til situasjon, men vi kan gjøre oss opp noen meninger om rimelige verdier for omfanget.

Man kan ikke basere seg på å kunne øke fremføringshastigheten underveis med mindre man har tatt høyde for det, og planlagt med lengre fremføringstid enn det som antas å være nødvendig. Nøyaktig hvor mye slakk man bør ha i fremføringstiden, er et optimeringsproblem, der sammenhengene som er beskrevet i denne rapporten vil inngå. Problemet vil bestå i å avveie behovet for å kunne justere hastigheten ("time" seg inn) mot behovet for å avdekke operasjonen sent eller holde den skjult, og behovet for å komme sent innenfor artillerirekkevidde. Å løse dette problemet er langt utenfor rammen av dette kapitlet, som kun skal se på mulighetene knyttet til styring. Her er det derfor valgt å gi et estimat av hvor stor slakk man kan ha uten at det nødvendigvis skaper større vansker på andre områder.

Avsnitt 5.4.3 tar for seg utsettelse eller fremskynding av en iverksetting. Når det gjelder hastighetsendringer for avdelinger som er på marsj, kan man tenke seg at man gir slakk for å endre tempoet med en faktor 1.5 i begge retninger. Dette forutsetter at man mener det er en rimelig sjans for at man ikke blir oppdaget, eller at den manøveren man gjør ikke er entydig, altså at forflytningen ikke avslører nøyaktig hvor man har tenkt å kjøre avdelingen. I områder eller situasjoner hvor man føler seg noenlunde sikker på å ikke bli oppdaget, kan man gjerne planlegge med endringer i hastigheten opp til en faktor 2, fordi det er like trygt å tilbringe tid her som i et tilbaketrukket oppmarsjområde (ved mulighet for justering på en faktor 2, antas grensenytten av ytterligere styringsmulighet å være begrenset). Begrensningen blir her avveiningen mellom sent valg av overordnet plan på den ene siden, og på den annen side mulighet for justering av detaljene. I en situasjon der man må påregne å bli oppdaget, men det er uvisst hvor langt man kommer før man blir oppdaget, er likevel en slakk på en faktor 1.2-1.3 temmelig rimelig. Dette gjenspeiler det forhold at grensenytten av styringsmulighet er stor når denne muligheten er liten. Dette skyldes den strukturen man antar at en fremrykkende motstander vil ha, med bataljonskolonner (eller mindre enheter) med luke mellom, normalt organisert som stridsgrupper med flere våpenarter til stede, slik at en begrenset styringsmulighet gjør det mulig å styre unna enheter man vil unngå, og i noen tilfeller styre seg inn på enheter man ønsker å engasjere.

5.4.3 Varige (lineære) styringstiltak rettet mot egne styrker

Av tiltak overfor egne styrker blir det her snakk om å gi en endret intensjon for perioden - be underordnede tilstrebe større eller mindre hurtighet, eller på én eller annen måte øke mobiliteten. Økt mobilitet eller manøvrerbarhet kan oppnås ved å tilføre ingeniørmateriell eller luftvern, slik at avdelingene kan manøvrere mer uavhengig. Forskjellen i forhold til

kortsiktige tiltak er meget diffus, uten at det trenger være noe problem så lenge vi kun teller med effekten én gang.

Normalt vil vi kunne utsette en operasjon så lenge vi måtte ønske dersom årsaken kun er at scenariet utvikler seg langsommere enn vi antok, og alt forøvrig skjer i den rekkefølgen man forventet og slik man forventet. Hvis det blir snakk om store forsinkelser (en faktor 2 eller 3 på tidsfaktoren), er det imidlertid lite sannsynlig at alt gjøres slik som forutsatt - ting gjøres litt anderledes når tempoet endres så meget, og det får konsekvenser for gjennomføringen av planen, og ikke minst for oppfølging av planen. Det er derfor en rimelig påstand at med så store avvik vil forutsetningene neppe oppfylles på noe tidspunkt; det er snakk om en grunnleggende forskjellig handlemåte, og dette faller utenfor beskrivelsen i dette kapitlet.

Når det gjelder lineære tiltak har vi større handlefrihet på lang sikt enn på kort sikt, fordi vi må foreta en avsluttende forflytning i det vi gjennomfører en deloperasjon, dersom vi skal kunne lykkes med den. Den avsluttende manøveren består i at en brigade, en bataljon eller kjører langs en akse, og vi må altså ha satt av rom for å øke kjørehastigheten for at det skal være mulig å fremskynde operasjonen.

5.4.4 Varige styringstiltak rettet mot motstanderen

Her må en del forskjellige tiltak i form av strid på dypet vurderes. Flyressurser har pr idag størst kapasitet når det gjelder våpenlast, og kan dermed under gode forhold gi massiv ødeleggelse, samtidig som presisjonsvåpen gjør det mulig å foreta presise angrep. Artilleri virker i hovedsak på kortere hold⁶, har god lasteevne og fremfor alt kort reaksjonstid. Jegeravdelinger er kjennetegnet ved begrenset våpenlast, men store muligheter når det gjelder å velge mål, altså svært presis effekt, svært lang reaksjonstid for forflytning på noen mil, og reaksjonstid på noen timer for korte forflytninger og endring i prioritet.

Av flyressurser vil det i gjennomsnitt være snakk om et titalls sorties per dag, men her vil volumet avhenge sterkt av overordnet situasjon, og i perioder med strategisk kraftsamling om et område kan volumet være svært stort. Det er normalt ikke snakk om å dedikere denne ressursen til styring av motstanderen, for den er også avgjørende på mer attritionpregede områder. Styringen vil bestå i at man velger hvilke avdelinger man skal kjøre attrition mot, for å time avdelingenes fremrykning og innsatsen mot dem i forhold til hverandre. Ti sorties med bakkeangrepsfly med moderne våpen vil typisk være tilstrekkelig til å påføre et regiment begrensede skader (typisk et par timers forsinkelse), mens en bataljon kan bli nødt til å reorganisere fullstendig, og noe flere sorties skulle være tilstrekkelig til å stanse en bataljon innenfor en tidsramme på noen dager. Imidlertid er det vanskelig å få varig hastighetsnedsettelse på denne måten, fordi en vogn som blir tatt med

⁶ Rekkevidden er i hovedsak under 30 km. Med tiden vil rakettartillerisystemer komme opp i over 100 km, da blir også dette en dyr ressurs på linje med fly, men i hovedsak vil man beholde den lave reaksjonstiden.

flyangrep gjerne slås fullstendig ut - med mannskap, slik at man ender opp med et redusert antall temmelig uskadde vogner.

Jegeravdelinger og fly med presisjonsvåpen kan også brukes mer rettet for å ta ut mobilitetsfremmende materiell (typisk ingeniørmateriell av forskjellige slag). For avdelinger som skal ut på lendeakser vil underskudd på ingmateriell lett resultere i halvert hastighet, ved at oppholdene i forbindelse med hindringer øker uforholdsmessig mye. Dette er snakk om et lite antall materiell, og både jegeravdelingene og flyene har tilstrekkelig antall våpen, men det vanskelig å si i hvilket omfang vi evner å lokalisere en tilstrekkelig andel av dette materiellet og komme på skuddhold. I prinsippet er imidlertid dette en typisk bruk av begge våpentyper, og en jegerbataljon som er utgruppert med et slikt formål skal altså kunne ta ut tilstrekkelig andel av ingeniørmateriellet til to passerende brigader eller en divisjon (en operasjonell echelon) til å sinke den betraktelig ved senere forsering av lendeakser. En fartsreduksjon på en faktor 2 for de strekkene hvor motstanderen er kritisk avhengig av denne typen utstyr, kan altså være oppnåelig, men det er uvisst hvorvidt vi faktisk oppnår dette.

6 USIKKERHET VED OVERORDNEDE TREKK I SITUASJONEN

Når det gjelder de overordnede trekkene og det overordnede bildet, er ikke det så mye et spørsmål om den konkrete plassering til det enkelte våpensystem, som det er spørsmål om hva vi selv og motstanderen søker å oppnå, og hvordan vår situasjon er i forhold til å nå disse målene. "Overordnet" vil her være avhengig av nivå, og kan i prinsippet like gjerne bety overordnet i forhold til et kompani eller en bataljon. Den viktigste årsaken til at slike feil oppstår er at man gjetter galt hva angår motstanderens valg av handlemåte. Vi tilstreber en situasjon der vi oppfatter hovedtrekkene i motstanderens handlemåte, og så selv kan opptre uforutsigbart i forhold til dette. Motstanderen vil tilstrebe det samme for sin egen del, og det vanlige vil være at ingen av partene kan sikre seg at de oppnår dette fullt ut. Dette kapitlet drøfter hva vi kan si om den usikkerheten vi får i vårt beslutningsgrunnlag som følge av at det er uvisst hva motstanderen gjør, og hvordan denne påvirkes av redusert eller øket reaksjonstid.

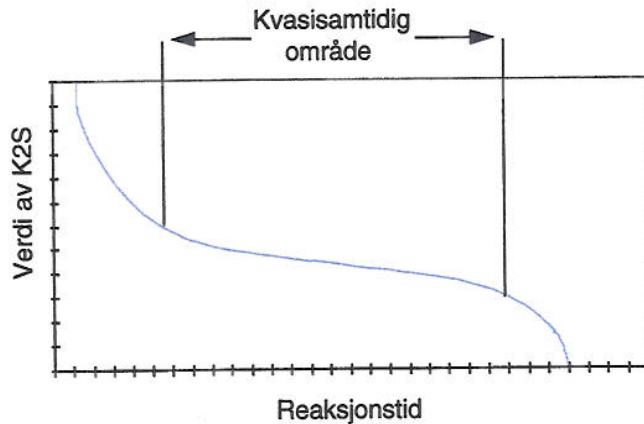
I dette kapitlet vil ordet "strategi" bli brukt som en felles betegnelse på en OPSidé, handlemåte eller plan, uavhengig av nivå. Teorien er i utgangspunktet gyldig som en worst case-beskrivelse for alle nivåer, fra FK til bataljon eller kompani, men er mest interessant på de nivåene der det eksplisitt utarbeides prognoser som man opererer etter, d v s brigadenivå og høyere.

6.1 Valgtidspunkt og kvasisamtidighet

Det ideelle vil som nevnt for begge parter være å la den andre velge sin strategi først, vente og se hva denne går ut på, og så gjøre et best mulig mottrekk mot denne handlemåten. Vi kan kalle dette at den ene velger *ekte etter* den andre. Tilsvarende vil *ekte før* bety at man velger strategi først, og lar den andre ta sin beslutning når det er *helt klart* hva man selv har valgt. Hvis vi fortsatt forutsetter at vi kan skille ut en konkret beslutning hos begge parter, på en slik måte at de gjensidig er et svar på hverandre, at beslutningen kan avgjøres ved et enkelt valg mellom alternativer, og alle overordnede forutsetninger for dette valget kan sees som uforanderlige (altså at det er klart på forhånd hva beslutningen skal omfatte), kan vi la *ekte samtidighet* bety at begge parter tar sin beslutning samtidig og er bundet til den i ettertid.

Normalt vil ikke situasjonen være så enkelt beskrevet. Beslutningene på begge sider vil bli tatt i en stegvis prosess, der det ikke er slik at to og to trinn er noe mere svar på hverandre enn på de andre trinnene. Det vil også ta varierende tid fra en beslutning er tatt til den blir kjent for motparten. Vi kan innføre begrepet *kvasisamtidighet* som et samlebegrep på alle situasjoner der begge parter må ta sin beslutning uten å kjenne motpartens beslutning, men samtidig med visse indikasjoner på hva motparten vil velge. Indikasjonene kan f.eks. være i form av at relevante deler av beslutningen ser ut til å være tatt på et tidligere tidspunkt og satt ut i livet, eller det kan være tilsynelatende forutsigbarhet i tidligere tilsvarende situasjoner.

Det vil gå an å gå i detalj og beskrive hvordan stegene i beslutningen påvirker hverandre, og hvilke steg som til enhver tid er kjent. En slik oppdeling vil i noen grad finne sted i senere rapporter under samme prosjekt som denne, men man når fort et detaljnivå der det er umulig å gi noen fornuftig beskrivelse. Årsaken er at usikkerhetene i detaljene blir for store, og man får altså en dårligere eller mindre sann beskrivelse ved å øke detaljgraden. I stedet er det altså valgt å bruke begrepet *kvasisamtidig* som en samlende situasjonsbeskrivelse der hvor begge parter har *delvis, men ikke fullstendig kjennskap* til motstanderens beslutning når de selv tar de relevante beslutningene. Dette kan enten bety at det er et tidsgap mellom når en beslutning tas og når den røpes på begge sider, det kan bety at beslutningen gradvis avsløres for motstanderen, eller det kan bety at beslutningen på begge sider er delt i mange delbeslutninger, som tas i løpet av prosesser som går parallelt på begge sider, og slik at delbeslutningene også avsløres hver for seg. Begrepet er altså ikke entydig, men uttrykker en situasjon med relativt sikker kunnskap om visse trekk, stor usikkerhet om andre trekk, og en omfattende gråsoner imellom.



Figur 6.1 Dersom man er ekte innenfor motstanderens beslutningssyklus, vil dette være svært verdifullt. Figuren illustrerer at det er et stort område der ingen av partene er ekte innenfor den andres beslutningssyklus.

Idealsituasjonen for begge parter er som nevnt å velge ekte etter motstanderen, men for to motstandere med mobilitet i samme størrelsesorden, er dette neppe realistisk, og man ender med en eller annen form for kvasisamtidig beslutning: En motstander vil vite omtrent hvor raske vi er, og følgelig omtrent når vi må ta vår beslutning. Han vil da ha svært meget å vinne på å sende ut signaler på nettopp dette tidspunktet, som gir inntrykk av at han vil gjøre noe annet enn det han faktisk kommer til å gjøre. Slike narreoperasjoner vil imidlertid koste ressurser, og de vil koste mer desto lenger ut i tid man må holde motstanderen i uvisshet. Tidspunktet for endelig beslutning vil derfor påvirke hvor mye det koster å holde en part i "usikkerhet", og vil dermed påvirke informasjonen. Dette er drøftet i delkapittel 6.3.

6.2 Optimale blandede strategier

Dette delkapitlet omhandler en situasjon der begge parter i en konflikt treffer et enkeltvalg og begge parter kjenner den andres valgmuligheter, men ingen kjenner den andres valg når de selv må velge (ideelt sett ekte samtidighet, men gjelder også for kvasisamtidighet). I et spill eller en krig der samme situasjon gjentar seg gang på gang, og man må velge en strategi hver gang denne situasjonen oppstår, vil det ofte ikke være hensiktsmessig å velge samme strategi hver gang. Da er man fullstendig forutsigbar, og motstanderen kan velge en strategi som er optimal for ham når det er gitt hva egen side gjør. Man må altså veksle mellom forskjellige strategier (etter et mønster som ikke lar seg forutsi), slik at man fremstår som uforutsigbar for motstanderen. Der det kun er et endelig antall alternativer, vil disse over tid ha blitt spilt et visst antall ganger hver, og da kan man si hvilket forhold det ideelt sett bør være mellom antall ganger de forskjellige strategiene er valgt.

En del strategier er slik at det finnes en annen strategi som gir bedre resultat *uansett* hva motstanderen velger å gjøre, og slike strategier bør ikke være valgt en eneste gang (dominerte strategier). Dersom det finnes en strategi som uansett motstanderens valg gir et

bedre resultat enn de andre strategiene, bør denne velges hver gang. Hvis man på én eller annen måte klarer å forutsi motstanderens valg, bør man naturlig nok også ta hensyn til det. I et nullsum-spill, der den ene vinner når den andre taper, representerer en optimal blandet strategi at man sikrer seg best mulig dersom motstanderen er kompetent, og ikke er forutsigbar der han ikke burde vært det.

	X _{Oransje}	Y _{Oransje}
X _{Grønn}	1	-1
Y _{Grønn}	-1	1
	1	-1

Tabell 6.1 Utfallsmatrise Tabellen viser et trivielt eksempel på en spillmatrise der det er vesentlig å være uforutsigbar. Den optimale blandede strategien vil for både grønn og oransje side være å ha 50% sannsynlighet for begge de rene strategiene.

Dersom forholdet de forskjellige strategiene er valgt i på vår side, tilsier at motstanderen bør velge én konkret strategi, er det normalt også én strategi som er den beste for oss, nærmere bestemt det beste svaret på den strategien motstanderen bør velge. Dermed vil forholdet endre seg; det er ustabil, og ikke ideelt. (Det må her holdes klart at begrepet *strategi* også omfatter de tiltakene man tar for å motarbeide motpartens strategi.) Med et ideelt blandingsforhold bør det følgelig være likegyldig både for oss og for motparten hvilken strategi (blant et mindre antall som inngår i den blandede strategien) man skal velge i øyeblikket. Man kan med andre ord like gjerne kaste terning, men fordele sannsynligheten for at de forskjellige strategiene velges, lik det ideelle blandingsforholdet. Man har da fått en *blandet strategi*. Det ideelle blandingsforholdet eller den *optimale blandede strategien* er ganske enkel å beregne, uten at det går inn på det her. Den kan finnes å priori dersom man har en rimelig formening om utfallene ved forskjellige strategivalg for hver sider. Tabell 6.1 viser et trivielt eksempel på en spillmatrise der begge parter vil tjene på å være mest mulig uforutsigbar. Resultatet for oransje side står øverst i høyre hjørne i hver rute i matrisen, mens resultatet for grønn side står nederst i venstre hjørne. Oransje spiller vinner dersom enten begge velger sin X-strategi, eller begge velger sin Y-strategi, i motsatt fall vinner grønn spiller. Dersom grønn spiller over tid velger strategi X i mer enn 50% av tilfellene, bør oransje spiller også velge strategi X, og det vil lønne seg for grønn å redusere andelen av strategi X. Tilsvarende vil gjelde for strategi Y, slik at det eneste stabile blir å velge begge like ofte, og med minst mulig systematikk.

Det er imidlertid sjelden man har mange like situasjoner etter hverandre, og dermed blir det ikke noen realitet i blandingsforholdet. Man kan imidlertid i prinsippet kaste terning også første gangen, ettersom det ønskede forholdet kan beregnes på forhånd, men da er det ikke lenger åpenbart at dette er det gunstigste alternativet. I særdeleshet kan man ikke argumentere for at det er mer gunstig å kaste terning enn å bestemme seg bevisst for én av strategiene som inngår i den optimale blandede strategien. Det spesielle med en slik blandet strategi er imidlertid at den er en såkalt Nash-likevekt⁷ - man kan fortelle motstanderen at man har tenkt å følge den, og likevel vil det være det riktige å følge denne strategien. Dette gjør den til en gunstig analytisk tilnærming. Når man betrakter ren attrition-krigføring, kan man ofte finne Nash-likevekter i rene strategier, men med manøverorientert krigføring vil dette i mange tilfeller bli en selvmotsigelse. Med rene strategier vil man da komme opp i "høk over høk"-situasjoner der begge parter gjetter på hva den andre vil gjøre og hva den andre parten tror at man selv vil gjøre osv. I nullsum spill vil det imidlertid alltid finnes en Nash-likevekt i blandede strategier.

Det er neppe særlig fruktbart å se terningkast som en modell for egen beslutningstaking. Å anta at motstanderen velger sin handlemåte ut fra en optimal blandet strategi og ved hjelp av en terning (eller en annen såkalt random-generator), representerer altså et "worst case" i uforutsigbarhet. Dersom man har identifisert de strategiene som i gitte situasjoner er aktuelle for ham, og de som er aktuelle for en selv, og har beregnet utfallene i en spillmatrise, vil den optimale blandede strategien representere det mest uforutsigbare en fiende kan være uten å begå dumheter som vi kan utnytte.

6.3 Optimale blandede strategier og usikkerhet i fiendtlig handlemåte

Den optimale blandede strategien er bestemt av spillmatrisen, som igjen er bestemt av situasjonen og de valgmulighetene man har. En endring i uforutsigbarheten av situasjonen må altså bestå i at en endret situasjon har ført til en endret spillmatrise. Dette er en måte å beskrive forholdet mellom stridsutviklingstiden og den overordnede usikkerheten som er relativt konsistent og gir mulighet for svært kvantitative analyser når man først har spillmatrisene på plass, men det knytter seg en del usikkerhet til fastsettelsene av selve spillmatrisene. Her vil metoden bli skissert og kort drøftet, og i underkapittel 6.4 vil det bli gitt et regneeksempel som en illustrasjon av tilnærmingen. Den tilnærmingen som reelt vil bli fulgt i prosjektet er imidlertid en mer ad hoc metode som bruker begrepene herfra uten å definere alle de aktuelle matrisene eksplisitt.

Metoden er som følger: Man velger ut et tidspunkt og en situasjon i et scenario. Begge sider har normalt et begrenset antall strategier de kan følge, og som samtidig ikke er klart dårligere enn noen av de andre. Dersom det er fastlagt hvilken strategi begge sider følger,

⁷ En Nash-likevekt er et valg av strategi for begge parter (et strategipar), som er et stabilt valg i den betydning at ingen av partene kan vinne på å bytte strategi selv om de vet hva den andre parten har valgt.

vil det finnes en sannsynlighet for at de to sidene vinner slaget. Dette kan settes sammen til en spillmatrise for alle de forskjellige kombinasjonene av strategier, og man kan finne den optimale blandede strategien for en av sidene med en tilhørende sannsynlighet for at slaget vinnes.

På et senere tidspunkt i scenariet vil normalt begge sider ha gjort en del disponeringer som legger bindinger på dem, men vi betrakter det tilfellet at bare den ene siden har gjort dette, og at den andre fortsatt er i stand til å gjøre sine disponeringer i ettertid, slik at han kan møte de forskjellige alternativene motstanderen har. Det forutsettes med andre ord at han har fått kortere reaksjonstid og dermed kan ta sin beslutning senere. Begge sider kan fortsatt velge de samme strategiene, men for den som allerede har gjort en del disponeringer med tanke på én eller noen av de aktuelle strategiene, vil det være mer tungvindt å skifte over til en annen strategi. Han får dermed mindre sjanse for å lykkes med den alternative strategien. Spillmatrisen har da endret seg; man må finne en ny optimal strategi og tilhørende sannsynlighet for seier for den parten som har kunnet vente lengst. Differansen mellom vinnsannsynligheten i de to tilfellene er da gevinsten ved den økte hurtigheten. Etterhvert som man finner muligheter for å korte ned reaksjonstiden til forskjellige nivåer ved hjelp av investeringer i trening og materiell, kan man finne spillmatrisen for de aktuelle tidene, og beregne den tilsvarende gevinsten av kortere reaksjonstid i det aktuelle scenariet.

Utarbeidelse av en spillmatrise krever imidlertid en temmelig omfattende kartlegging. Dermed er man tvunget til en diskret tilnærming, og det er neppe aktuelt å prøve å finne verdien som noen kvasikontinuerlig funksjon av stridsutviklingstiden.

Det viktige for denne fremstillingen er at begge sider i krigen er i tilsvarende situasjoner når det gjelder valg av handlemåte. Det antas at begge er i stand til å tenke ut de forskjellige hovedstrategiene (eller taktikkene) motparten kunne tenkes å bruke, noe som er høyst rimelig. Det antas også at begge sider har en kvalifisert formening om hvor sannsynlig det er at striden faller ut i den ene eller andre retning med en gitt handlemåte for begge sider.

Det ideelle vil være om utfallsmatrisen er felles kunnskap, altså at begge vurderer situasjonen på samme måte, og vet at den andre også gjør det, men dette er et veldig sterkt krav, og det er heller ikke helt nødvendig. Det som skal vurderes i denne metoden, er hva den ene parten kan vite om hva den andre parten vil gjøre. Da blir det sentrale hva man kan vite eller må forvente at den andre mener og tror, og ikke hva han faktisk mener og tror. Man vil da gjerne selv kjenne en del faktorer som motparten ikke kjenner, men man vet ikke om motparten overvurderer eller undervurderer disse. Dermed får man en forventning for hva motparten tror, som ligger på den verdien man selv kjenner. Tilsvarende vil man selv være usikker på enkelte faktorer som motparten må kjenne, og

forventningen for den sanne verdien (som motparten kjenner) er den verdien man tror at faktoren har⁸. Dermed vil *forventningen* for motpartens vurdering av utfallene i svært mange tilfeller sammenfalle med ens egne vurderinger. Som modell for hva man vet om motstanderens uforutsigbarhet, er det altså en grei tilnærming å si at spillmatrisen er felles kunnskap. Unntaket er først og fremst når man mener å vite at motstanderen har feilberegnet en viktig faktor i en spesiell retning. Såkalt "høyere ordens usikkerhet" kan naturlig nok heller ikke analyseres med en slik tilnærming - det var nettopp den som ble eliminert bort. På den annen side er det tvil om dette begrepet over hode gir mening. (Kanskje begrepet *høyere ordens usikkerhet* kan analyseres nærmere med utgangspunkt i en slik problemstilling, hvis det gir mening skulle det være god mulighet for å finne denne innenform kommando og kontroll).

Fremstillingen baserer seg på at valget skjer kvasisamtidig, der den kunnskapen man har om motparten kommer fra de disposisjonene motparten må gjøre i form av å utdisponere avdelinger og materiell, selv om dette ikke egentlig er en forutsetning. Begge parter forutsettes også å ha en god formening om hverandres reaksjonstid. Dette siste er rimelig, fordi reaksjonstiden ikke vil endre seg meget over tid når en avdelingsstruktur først er fastlagt. Det er også en viktig antagelse for fremstillingen her fordi dette forholdet er ment å fange opp en tilbøyeligheten til å gjennomføre villedning og narreoperasjoner, ved at begge parter setter alle nødvendige ressurser inn på å holde hverandre i villrede frem til motstanderen må treffe sitt valg. Tilnærmingen til villedning representerer altså også et "worst case"-tilfelle, ved at det ikke tas hensyn til noen av de såkalte indikasjonene man har fått før eget valg treffes, men kun til de taktiske konsekvensene av de disponeringene motstanderen har gjort. Disponering av en større oppklaringsressurs mot en akse tas altså hensyn til i den grad det da blir uhensiktsmessig å skifte til en annen akse, men ikke som noen indikasjon på motstanderens vilje utover det.

I (5) argumenteres det for at siden man i moderne krigføring ofte vil ha en vinner og en taper av et felttog, og en svært liten andel av landets befolkning vil falle i krigen, kan verdien i enhver tilstand måles som sannsynligheten for egen seier gitt denne tilstanden. Spillmatrisen finnes altså, og inngangsverdiene er bestemt ved en enkelt parameter uten at man forutsetter eksistens av strenge, altomfattende nyttefunksjoner (skjønt de fleste ser på slike nyttefunksjoner som uproblematiske). Sannsynligheten summeres alltid opp til 100%, og det blir dermed et konstantsum-spill. Da er det bevist at det alltid finnes én entydig (eller flere ekvivalente) Nash likevekter i blandede strategier. Dermed kan begge sider sikre seg en viss sannsynlighet for seier ved å bruke sine optimale blandede strategier, og når begge gjør dette (Nash likevekten), summeres de sannsynlighetene man har garantert seg, til 100%. (Dette siste er på sett og vis forutsatt når det argumenteres for at verdien til enhver tilstand finnes, så det hele kan se ut som et sirkelbevis. Vi kan imidlertid

⁸ Dette er nærmest en tautologi - når man tror at en størrelse har en verdi så tror man også at det er sant at den har denne verdien.

ta utgangspunkt i en situasjon der felttoget er avgjort, og definere verdier rekursivt bakover, og dermed forsvinner dette problemet)

6.4 Et tenkt eksempel på sammenheng mellom reaksjonstid og usikkerhet i fiendtlig handlemåte.

Dette delkapitlet er et eksempel som skal illustrere teorien fra forrige delkapittel. Et mer realistisk eksempel, knyttet til et scenario er foreløpig ikke utarbeidet, og ville også vært gradert. Denne rapporten går derfor ikke lenger i retning av praktisk gjennomføring av analysen enn dette regneeksempelet.

I eksempelet står to parter, grønn og oransje mot hverandre. Begge har på det tidlige stadiet tre aktuelle strategier å velge mellom innenfor operasjonsområdet. Spillmatrisen er som følger:

	X_{Oransje}	Y_{Oransje}	Z_{Oransje}
$X_{\text{Grønn}}$	30%	55%	70%
$Y_{\text{Grønn}}$	70%	45%	30%
$Z_{\text{Grønn}}$	45%	25%	60%
	40%	75%	40%
	60%	50%	40%
	40%	50%	60%

Tabell 6.2 Utfallsmatrise for en tenkt situasjon for grønn og oransje side, der begge har tre mulige overordnede strategier.

Det optimale for en oransje side dersom han tror at grønn vil søke å gjøre hans sannsynlighet for seier minst mulig, vil være å ha 41 % sannsynlighet for strategi X, 22% sannsynlighet for strategi Y, og 37% sannsynlighet for strategi Z. Dette vil gi ham en total sannsynlighet for seier på 50 % (50,4%). Under disse forutsetningene vil det være likegyldig for grønn hvilken strategi han selv velger, alle vil gi en sannsynlighet for seier på 50 % (49,6 %). Vi får en tilsvarende optimal fordeling over de tre strategiene til grønn side, som vil gjøre at det er likegyldig for oransje hvilken konkret strategi han selv til slutt ender opp med å følge.

Så lenge utfallsmatrisen ser ut slik den gjør på grønns beslutningstidspunkt, er det lite han kan gjøre for å få sannsynligheten for seier større en 50 %. Det vil ovenikjøpet være helt

likegyldig hvilken fiendtlig handlemåte han velger å tro på eller innrette seg etter så lenge han har identifisert de tre handlemåtene som bør inngå i motstanderens blandede strategi, og han ikke har ytterligere informasjon om hva oransje har valgt.

Imidlertid må også grønn sørge for at han sett fra oransje side har en optimal sannsynlighetsfordeling mellom sine aktuelle strategier. Oransje kan som det fremgår av matrisen forbedre sin sannsynlighet for seier vesentlig dersom han korrekt har oppfattet at grønn har en viss grad av forutsigbarhet, f eks en tilbøyelighet til å velge en gitt strategi oftere enn den optimale fordelingen skulle tilsi.

Dersom den ene siden må gjøre disposisjoner som støtter én strategi bedre enn en annen, mens den andre siden ikke behøver å gjøre slike disposisjoner vil imidlertid matrisen forandre seg over tid (dette ble skissert i forrige delkapittel). I matrisen nedenfor er det forutsatt at grønn har kunnet vente. Selv om grønn da ikke tror på noen av de indikasjonene oransje lar ham se, vil oransje etter hvert disponere sine ressurser på en måte som gjør det stadig vanskeligere for ham å skifte raskt over til en annen handlemåte. Årsaken er at en viss tid før det endelige angrepet finner sted, vil han være nødt til å disponere sine forskjellige ressurser for nettopp det angrepet eller de manøvrene han skal gjennomføre. Dersom grønn tar sin beslutning på et tidspunkt når oransjes hovedressurser fysisk er disponert for strategi Z, kan han f eks vite at det vil ta oransje 1½ døgn å få dem i posisjon for strategi X eller Y, selv om dette hadde vært planlagt. På denne tiden kan også grønn omdisponere store deler av sine ressurser, slik at han vil håndtere disse situasjonene. utfallsmatrisen kan ha endret seg til f eks

	X _{Oransje}	Y _{Oransje}	Z _{Oransje}
X _{Grønn}	30%	50%	70%
Y _{Grønn}	70%	50%	30%
Y _{Grønn}	30%	25%	60%
Z _{Grønn}	70%	75%	40%
Z _{Grønn}	30%	45%	40%
	70%	55%	60%

Tabell 6.3 Utfallsmatrise på et senere tidspunkt, der oransje har disponert for strategi Z, og grønn side ennå ikke har valgt strategi.

der verdiene er satt like i hele første kolonne, som en illustrasjon på at uansett hva grønn velger å gjøre i første omgang, vil han kunne omdisponere til strategi X raskere enn oransje kan gjøre det samme fra den situasjonen han nå er i. Verdiene i kolonne to er bedret i

grønn favør, som et uttrykk for at også på den tiden oransje bruker på å omgruppere for strategi Y, vil grønn rekke å gjøre flere omdisponeringer enn forutsatt i tabell 6.2.

Hvis vi nå ser situasjonen fra oransjes synspunkt, ser vi at han ikke har noe å oppnå ved å velge strategi X. Uansett hva grønn side gjør, vil han komme dårligere ut med strategi X enn med strategi Z. Populært kan man si at overraskelsesmomentet er byttet ut med forbauselse, som ikke har den helt store stridsmessige effekten. Likeledes kan han være sikker på at grønn ikke velger strategi X, fordi denne i alle situasjoner er dårligere for grønn enn strategi Y og Z. Den optimale handlingen fra oransje vil nå være å ha 50 % sannsynlighet for å gjennomføre strategi Z, og 50 % sannsynlighet for å omdisponere og gjennomføre strategi Y. Sannsynligheten for at han vinner slaget er dermed 42,5 %.

I dette regneeksempelet har altså redusert reaksjonstid for grønn side medført at sannsynligheten for at grønn side vinner slaget har økt fra 50 % til 58 %. Økningen kan virke beskjeden, men dette skyldes i sin helhet de tilfeldig valgte verdiene i matrisen, der oransje aldri kunne få dårligere sannsynlighet for seier enn 40%, som han kunne sikre seg ved helt forutsigbart å velge strategi Z.

7 OPPSUMMERING

Ytelsen til en organisasjons ledelsessystem består i dets evne til å iverksette handlinger som har et gunstig utfall i de situasjoner organisasjonen er forutsatt å fungere i. Når organisasjonen forutsettes å kunne fungere i forskjellige typer situasjoner, samtidig som ledelsessystemets mulighet til å oppfatte situasjonen og bestemme utfallet av handlinger har grunnleggende begrensninger, kan det imidlertid være vanskelig å måle denne ytelsen analytisk. En tilnærming som fanger opp denne problemstillingen i en intuitiv og håndterbar form er å ta utgangspunkt i begrepet informasjonskvalitet.

I (5) er informasjonskvalitet definert og drøftet med utgangspunkt i utfallet av beslutninger tatt på grunnlag av informasjonen. De tre aktuelle kvalitetskriteriene er informasjonens korrekthet, presisjon og kompletthet, der korrektheten er sannsynligheten for at hovedinnholdet i informasjonen er korrekt, presisjonen er et mål på omfanget av mindre feil eller unøyaktigheter, og komplettheten er et uttrykk for hvor stor andel av delinformasjonene som er vesentlig mer upresis enn det beslutningens detaljnivå skulle tilsi. Med en slik definisjon kan ytelsen til ledelsessystemet beskrives som et produkt av fire faktorer som alle har samme format:

1. Kvaliteten på den informasjonen systemet frembringer om sine omgivelser til enhver tid
2. Hvor godt det er mulig å bevare kvaliteten ved fremskrivning av informasjonen til det tidspunktet når beslutningen får effekt

3. Systemets evne til å bevare kvaliteten på informasjonen gjennom vurderingsprosesser (herunder utarbeidelse av prognosen) og beslutningsprosessen
4. Systemets evne til å gjennomføre beslutningen (kvaliteten på gjennomføringen).

En komplett analyse av disse faktorene for et ledelsessystem vil gi en ideell beskrivelse av systemets ytelse. ("Ideell" henspeiler på at beskrivelsen er fullstendig, og at alle størrelser er direkte sammenliknbare.) I denne rapporten er deler av punkt 2 analysert for ledelsessystemet til en militær landstridsorganisasjon.

Et informasjonsbilde som skal gi kontroll over situasjonen knytter seg til flere forhold, der egne styrker og posisjoner, motstanderens styrker og posisjoner, lendet og eget oppdrag er de fire hovedkomponentene. Situasjonsbildet med oversikt over egne og motstanderens avdelinger kalles etabelert landsituasjon, og for en teoretisk betraktning, kan det være en fordel å konsentrere seg om dette bildet. I stedet for å være et usikkert bilde av virkeligheten, fungerer bildet da som en usikker virkelighet der striden foregår. Det må være mulig å kommunisere usikkerheten i et slikt bilde til en bruker, men det er begrenset hva en bruker kan oppfatte av usikkerhet (jfr kap 2).

Rapporten begrenser seg videre til å omhandle to sider ved situasjonen: Manøvrering og påvirkning av styrker, og valg av handlemåte hos to sider som står mot hverandre. I mobil strid vil det å kunne forutsi egen og motstanderens manøvrering (tid og rom) i stadig større grad bli hovedutfordringen til et militært ledelsessystem, slik at denne avgrensningen ikke vesentlig reduserer anvendeligheten av teorien som en beskrivelse av muligheten for fremskrivning av informasjon.

Teorien forutsetter at man i en situasjon man ønsker å studere kan skille ut et nivå på hver side, som står mot hverandre, at det på disse nivåene tas beslutning om en handlemåte, som er én av et endelig antall aktuelle muligheter, og at utfallet av striden vil være bestemt av hvilke handlemåter som er valgt, og hvordan manøvreringen gjennomføres i tid og rom. I denne rapporten blir det argumentert for at dette er en rimelig antagelse.

Utviklingen til usikkerheten i posisjonen til en enkeltavdeling har det lyktes godt å beskrive. Det er tatt utgangspunkt i årsakene til usikkerhet, som bestemmer hvordan den matematisk utvikler seg over tid, og fem slike utviklingsmønstre er beskrevet. I enkelte sammenhenger vil noen av disse mønstrene være transienttilstander av andre mønstre, slik at en mer helhetlig beskrivelse har færre grunnleggende forskjellige utviklingsmønstre (kapittel 4.6). Usikkerheten er også kvantifisert for en av motstanderens avdelinger i en generisk case, samtidig som punkt 4.1 kan sees som en tilsvarende generisk case for en avdeling på egen side. Kvantifiseringen er oppnådd ved at den analytiske beskrivelsen går ned til et detaljnivå hvor det i noen grad finnes erfaringstall, hvilket også var hensikten med den analytiske tilnærmingen.

Fremstillingen i kapittel 3 til 4 har som målsetting å beskrive hvilken presisjon det er mulig å ha på en prognose med en gitt tidshorison. De to viktigste utvidelsene av denne målsetningen er for det første å innføre mulighet for å kontrollere og styre situasjonen etter at beslutningen er tatt, og for det andre å fastslå hvordan presisjonen i enkeltopplysningene bidrar til presisjonen i beslutningsgrunnlaget, slik dette er beskrevet i (5). Det siste punktet må bestemmes ut fra den enkelte situasjon, men et utgangspunkt er det trivielle tilfellet, der alle opplysninger er like upresise. Kontrollmuligheten er kvalitativt beskrevet i rapporten: Man kan i grovt skille mellom to klasser av tiltak, som reduserer hver sin klasse av avvik. I noen grad er muligheten for kontrolltiltak kvantifisert, men det gjenstår å koble den matematisk til beskrivelsen av tidsutviklingen til avvikene uten styringsmulighet.

I (5) er det argumentert for at korrektheten til informasjonsbildet kan beskrives som sannsynligheten for at de konklusjonene man ideelt sett bør trekke fra bildet, håndterer den reelle situasjonen. Denne beskrivelsen er benyttet i kapittel 6. Dersom man i en beslutningssituasjon man ønsker å studere kan isolere en parallell beslutning på motstanderens side, kan det i prinsippet settes opp en spillmatrise for de aktuelle alternativene (forutsatt endelighet). Korrektheten kan nå beskrives som vinstsannsynligheten, som man finner fra matrisen (simplex-regning). Forholdet mellom reaksjonstid og korrekthet kan nå beregnes for diskrete reaksjonstider. De disponeringene begge sider må ha gjort på et gitt tidspunkt forut for effekt av beslutningene, tilsier at spillmatrisen på den ene partens valgtidspunkt er en funksjon av begge parters reaksjonstider. Her er altså muligheten for å justere planen i ettertid innebygget i metoden. Metoden er derfor på mange måter ideell, gitt forutsetningene, men til gjengjeld er den svak, eller lite detaljert, og forutsetter at så godt som hele arbeidet - oppsetting av matrisene - gjøres utenfor metoden. Det at metoden er så lite detaljert, gjør det vanskelig å frembringe inngangsverdier. Det kan derfor i praksis kan være gunstig å bruke begrepene som grunnlag for en ad hoc metode, i stedet for å bruke metoden slik den er skissert, direkte.

Det siste kvalitetskriteriet for informasjonen er komplettheten, som ikke er eksplisitt behandlet. I den grad komplettheten har en ikke-triviell tidsutvikling, er det fordi presisjonen på noen enkeltopplysninger utvikler seg mer uheldig enn presisjonen på andre. Dette blir altså et fenomen som dukker opp når presisjonen på enkeltopplysninger aggregeres opp for et beslutningsgrunnlag. Forøvrig er det på komplettheten at organisasjonens evne til å frembringe informasjon først og fremst vil slå ut. Også evnen til å bevare informasjonen gjennom en beslutningsprosess vil slå ut relativt sterkt her, men disse forholdene faller utenfor beskrivelsen i denne rapporten.

Litteratur

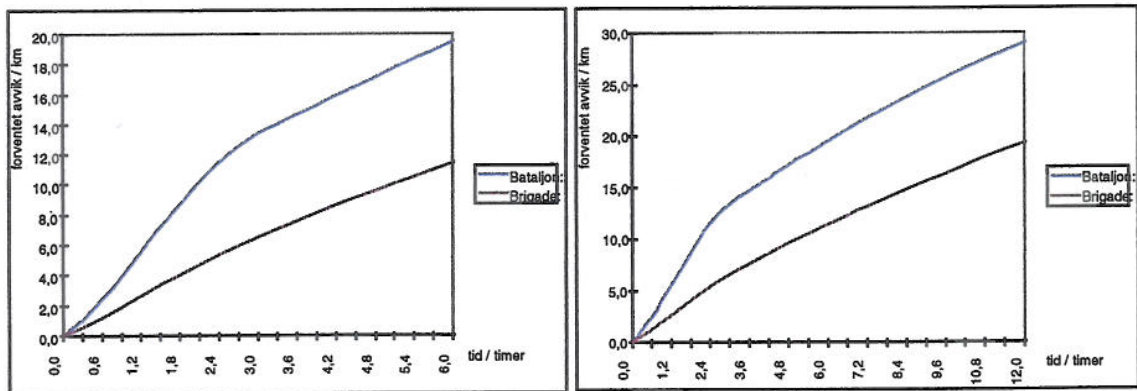
- (1) Pugh P G (1992): Lanchester revisited, Defence Operational Analysis Establishment, Memorandum 92104, Ministry of Defence, UK.
- (2) Sundfør Hans Olav, Bergene Trond, Flytør Geir Morten, Klippenberg Nils, Langsæter Tor, Rekkedal Nils Marius, Taugbøl Asbjørn (1995): Kartdiskusjon Geirfinn Åsmundson III, FFI/RAPPORT-95/03225, Forsvarets forskningsinstitutt (Konfidensielt).
- (3) Binmore K (1992): Fun and Games, A Text on Game Theory, D C Heath and Company, Lexington, Massachusetts.
- (4) Forsvarets Overkommando/Hærstaben (1976): FR 2-4, Feltetterretning og feltsikkerhetstjeneste for Hæren, (Begrenset).
- (5) Sundfør H O (1996): Kvalitet på informasjon og beslutningsgrunnlag - en grunnlagsstudie, FFI/RAPPORT-96/00040, Forsvarets forskningsinstitutt (Offentlig tilgjengelig).
- (6) Rekkedal N M (1996): Moderne krigføring ved inngangen til det 21. århundre, FFI/RAPPORT -96/01371, Forsvarets forskningsinstitutt (Offentlig tilgjengelig).
- (7) Rekkedal N M, Braathen S, Grøder T, Hagen P E, Hagerupsen B, Dehli S, Flytør G M, Langsæter T, Berg O (1995): Utkast til referansegrunnlag for et fremtidig feltetterretningskonsept/divisjon, FFI/RAPPORT-95/02950, Forsvarets forskningsinstitutt (Begrenset).
- (8) Gaver D P (1980): Models that reflect the value of information in a command and control context, Naval Postgraduate School, Monterey, CA 93940.
- (9) Sundfør H O, Bergene T, Linløyken G, Sørheim J, Taugbøl A (1995): (U) Kartdiskusjon Geirfinn Åsmundson IV, FFI/RAPPORT-95/05951, Forsvarets forskningsinstitutt (Konfidensielt).
- (10) Taugbøl Asbjørn, Moen Ingard (1996): Panserbrigaden i delingsoperasjon - et kartspill basert på Geirfinn Åsmundson, FFI/NOTAT-96/05363, Forsvarets forskningsinstitutt (Begrenset).
- (11) Bergene Trond, Flytør Geir Morten, Langsæter Tor, Munkvold Ola Petter, Rekkedal Nils Marius, Sundfør Hans Olav, Taugbøl Asbjørn (1995): (U) Kartdiskusjon Geirfinn Åsmundson I og II, FFI/RAPPORT-95/02291, Forsvarets forskningsinstitutt (Konfidensielt).
- (12) Conolly B, Pierce J G (1988): Information Mechanics; Transformation of Information in Management, Command, Control and Communications, Ellis Horwood ltd, Chichester.

- (13) Bjorklund R C (1995): The dollars and sense of command and control, National Defense University Press, Washington DC.
- (14) Skjelland E (1992): Stridsanalyser i Troms - Luft-til-bakke effektivitet, FFI/NOTAT-92/5004, Forsvarets forskningsinstitutt (Konfidensielt).
- (15) Borgersen S et al (1996): Analyse av taktiske luft til bakke operasjoner, FFI/RAPPORT-96/04123, Forsvarets forskningsinstitutt (Konfidensielt).
- (16) Munkvold O P N, Feet E H, Dahl F A, Skjelland E (1996): Modelling av luft-til bakke effektivitet under FA-96, FFI/Rapport-96/00829, Forsvarets forskningsinstitutt (Konfidensielt).

APPENDIKS

A FORUTSETNINGER FOR REGNEEKSEMPLENE I KAPITTEL 4

Kapittel 4 inneholder en del antagelser om hvilke størrelser som var rimelige for de forskjellige feilkildene som ble behandlet i kapittel 3. Drøftingen i disse to kapitlene er relativt grundig, og leder frem til en serie diagrammer av typen Figur A.1. De fleste forutsetningene for disse beregningene er i og for seg nevnt enten i kapittel 3 eller i kapittel 4, men fordi drøftingen skulle være mer generell enn denne casen, kommer det ikke eksplisitt frem alle steder hvilke deler av beskrivelsen som er med i regnemarkmodellen og hvilke som ikke er det. Beskrivelsen av overgangen mellom bataljons- og brigadenivå for diffuse feil er ikke beskrevet tidligere i rapporten. Dette appendikset er derfor en eksplisitt beskrivelse av regnearkmodellen, med en del figurer derfra.



Figur A.1 resultat av beregninger

Beregningene er gjort i et EXEL-regneark, og verdiene beregnes for diskrete tidspunkter (totalt 20 punkter for en figur, med automatisk kurveutglatting). Beregningen er delt i tre; først beregnes det som er kalt kvadratisk-konstant avvik (motivasjonen for dette er gitt tidligere), deretter de lineære feilene, og til slutt de diffuse feilene. Beskrivelsen av komponentene tilsier uavhengighet, så totalt forventet feil er gitt ved $\sigma = \sqrt{\sum \sigma_i^2}$. Under følger en beskrivelse av forutsetninger ved delberegningene.

A.1 Kvadratisk -konstante avvik

beregningen her er basert på likningen

$$\sigma(t) = vt \sqrt{\frac{t}{3T} - \frac{t^2}{4T^2}}$$
 fra kapittel 3.1.3, som er anvent på hvert nivå. σ er den aktuelle feilkomponenten, v er den typiske hastigheten for avdelingen, t er tiden og T er den typiske tiden for avdelingen slik som beskrevet tidligere. Følgende verdier er benyttet:

avdeling	typisk tid	typisk hast
bataljon	3 timer	10,0 km/t
regiment	12 timer	3,0 km/t
brigade	24 timer	2,0 km/t
divisjon	48 timer	1,7 km/t
armékorps	144 timer	0,8 km/t

Tabell A 1

Deretter ble det tatt hensyn til at en avdeling tar med seg sine underavdelinger når den beveger seg innenfor sin høyere avdeling, og at en underavdeling også stopper mer eller mindre opp når en avdeling stanser. Avviket ble derfor satt til summen av avviket for avdelingen isolert sett og fra de nivåene som ligger over den. Avviket for en bataljon blir dermed summen av avviket for bataljonen, for brigade og for armékorps. (Det er gjennomgående antatt at brigade er nivået over bataljon.) Denne summen er brukt videre i beregningene.

A.2 Lineære feil

Som beskrevet i kapittel 4.6 opptrer disse feilene bare lokalt som lineære feil. For et nivå isolert sett er de beskrevet som lineære, men over lang tid er det f.eks. urimelig å tro at usikkerheten til en avdeling kan vokse raskere som kjørehastigheten til moderavdelingen. Det tas altså hensyn til kohesjonskrefter innen avdelingene. Dette gjøres ved at usikkerheten vokser i henhold til en avdelings typiske kjørehastighet en viss tid, deretter i henhold til høyere avdelings kjørehastighet en typisk tid, deretter i henhold til neste høyere avdeling o.s.v. I en overgangsperiode som går fra 6 timer før et skifte til 6 timer etter, foretas det en vekting, der vektene endres lineært. Linjestykkene skjøtes altså sammen med deler av parabler (rasjonalet er at i en overgangsperiode er det genuin usikkerhet om hvilke hensyn som er fremtredende for underavdelingen). De typiske tidene som er valgt er som følger:

	Tid avdelingene typisk kan rykke frem uavhengig av høyere enhet:	Typisk hastighet
Bataljon	6 timer	10,0 km/t
Regiment	24 timer	3,0 km/t
Brigade	36 timer	2,0 km/t
Divisjon	72 timer	1,7 km/t
Armékorps		0,8 km/t

Tabell A 2

Forholdet mellom vekstraten til avviket og kjørehastigheten antas hele tiden å være omtrent konstant (vi har ikke grunnlag for å si i hvilken retning den endres). Følgende tall er brukt:

Feil i intendert fremrykningshastighet:	20%
Feil i intendert fart som følge av varierte oppfatning av situasjonen	5%
Feilvurdering av materiellets yteevne (veg/lett/ulendt): forutsatt veg	5%
Feilvurdering av påvirkningsmulighet (forutsatt at vår påvirkning endrer hastigheten en faktor 2, og vi har en usikkerhet på 20% i effekten av denne påvirkningen):	10%
Sum av usikkerhetskomponenter, forutsatt uavhengighet	23,5%

Tabell A 3

A.3 Diffuse feil

For diffuse feil er beskrivelsen og likningene i kapittel 4.1 brukt. Feilen antas å skyldes opphold av en bestemt lengde, feilene er delt i kategorier med lik lengde, og fordelingen mellom kategoriene er som tabell A.4 viser, målt etter hvor stor andel av total diffus feil de utgjør etter 6 timer (Tabell A.5).

stopp på 10 minutter:	10%
stopp på 30 minutter:	20%
stopp på 1 time	50%
stopp på 2 timer	20%

Tabell A 4 Fordeling på varighet av stoppene

kjøreforhold:	Feil etter 6 timer :	typisk hastighet
veg	1 time	20 km/time
kjent trassé	1 time	10 km/time
vanskelig lende	2,5 timer	8 km/time
"lett strid"	4 timer	5 km/time

Tabell A 5 Typisk avvik etter 6 timer for en bataljon.

For hver kategori finnes avviket etter formelen

$$\sigma(t) = \sqrt[3]{\frac{t}{T} \cdot \frac{3}{2} + 1} - 1, \text{ der } t \text{ er tiden som løper, og } T \text{ er varigheten av stoppene.}$$

(Kategoriene skyldes uavhengige avvik, og variansene er summert).

Av sammensatte avdelinger er bare brigade vurdert. Denne antas å bestå av i alt 6 bataljonsenheter (inklusive taktisk støtte og forsyning), som har marsjavstand på 20 minutter. Fordelingen på de tre kategoriene som er behandlet i kapittel 3.1.1 og 4.1, er vist i tabell A.6.

avhengighetsform:		kommentar:
Statistisk koblet:	20%	variansen er den samme på begge nivåer
Passering med forsinkelse:	60%	
Kausal kobling:	20%	variansen på høyere nivå er n*variens på lavere nivå

Tabell A.6 Fordeling på forskjellige avhengighetsformer (for forsinkelser som er større enn avstanden):

Det er forutsatt at kjøreforholdene er som for "kjent trassé", med kjørehastighet 10 km/t, og 1 t forsinkelse etter 6 timer. Først stykkes variansen for tidsavviket på bataljonsnivå opp i tråd med lengden på forsinkelsene, slik som vist i tabell A.4. Deretter beregnes de uavhengige leddene i variansen for brigade der forsinkelsen er kortere enn avstanden mellom bataljonene, med unntak av den delen som tas hensyn til under "statistisk kobling". "Statistisk koblet" er summen av leddene for bataljonsnivået, multiplisert med andelen av tilfellene som var forutsatt å oppføre seg slik (20%). Kausal kobling er tilsvarende andelen som skal oppføre seg kausalt, delt på antall bataljoner (siden det er snakk om varians), multiplisert med summen av avvikene, inni summen er det multiplisert med antall bataljoner som blir berørt (altså antall bataljoner som rekker å ta igjen den foran seg i løpet av forsinkelsen).

$$\sigma^2_{kausal} = \frac{a_{kausal}}{n} \sum_{i=1}^4 (\sigma_i^2(t) \cdot n_{berørt}),$$

der σ^2_{kausal} er den aktuelle komponenten av variansen for brigaden, $\frac{a_{kausal}}{n}$ er andelen av forsinkelsene som vil ha kausal kobling, dividert med antall bataljoner, $\sigma_i^2(t)$ er komponenten av variansen på bataljonsnivå av kategori i (i refererer til lengden på forsinkelsen), $n_{berørt} \approx \frac{T_i}{avst}$ er varigheten på forsinkelsen delt på

komponenter av tidsvarians for en bataljon: (enheten er timer ²)							
	varighet	<avstand?	antall ganger avst		10 min	15 min	20 min
stopp på 10 minutter:	0,17	TRUE	0	1	0,000	0,001	0,005
stopp på 30 minutter:	0,50	FALSE	1	2	0,000	0,000	0,003
stopp på 1 time	1,00	FALSE	3	4	0,000	0,000	0,003
stopp på 2 timer	2,00	FALSE	6	6	0,000	0,000	0,000
Bataljon:			avvik i posisjon for bataljon		0	0,477851	1,08048
Brigade	antall bataljoner:		6		forsinkelse per bataljon:		
					10 min	15 min	20 min
					0,00	0,25	0,5
varians i tid:		(uavhengige ledd i variansen:)			0,000	0,000189	0,000696
		statistisk koblet:			0,000	0,000457	0,002335
		Kausal kobling:			0,000	0,000349	0,002501
		passering og forsinkelse:			0,000	0,000427	0,002667
Brigade:			avvik i posisjon for brigade		0	0,377014	0,905437

Figur A.2 Utdrag av regneark for beregning av forplantningen av diffust avvik fra bataljons- til brigadenivå.

avstanden (i tid) mellom avdelingene (brøken avrundes oppover). Det er antatt at alle avdelinger som berøres (ved at de tar igjen avdelingen foran og må stoppe) forsinkes like

mye, mens de øvrige ikke forsinkes over hodet. Siden det er snittverdien som beregnes, skulle det stemme ganske bra.

Under det siste leddet, "passering og forsinkelse", er det forutsatt at bataljon forsinkes med 30 minutter ved uforutsett passering av en annen bataljon. Tillegget er der estimert som:

$$\sigma_{passering}^2 = \frac{a_{passering}}{n} \sum_{i=1}^4 \sigma_i^2(t) \left(\frac{T_i + (n_{berørt} - 1) \cdot T_{passering}}{T_i} \right), \text{ der } T_{passering} \text{ er forsinkelsen som}$$

knyttes til en passering, og her er den satt til 30 minutter. Brøken gjenspeiler at den første avdelingen får en forsinkelse på T_i , mens de andre får en forsinkelse på $T_{passering}$ (når de to er like, forenkles brøken til $n_{berørt}$). Avslutningsvis summeres varians-komponentene for tidsavviket, og middelavviket multipliseres med aktuell kjørehastighet for bataljonene.