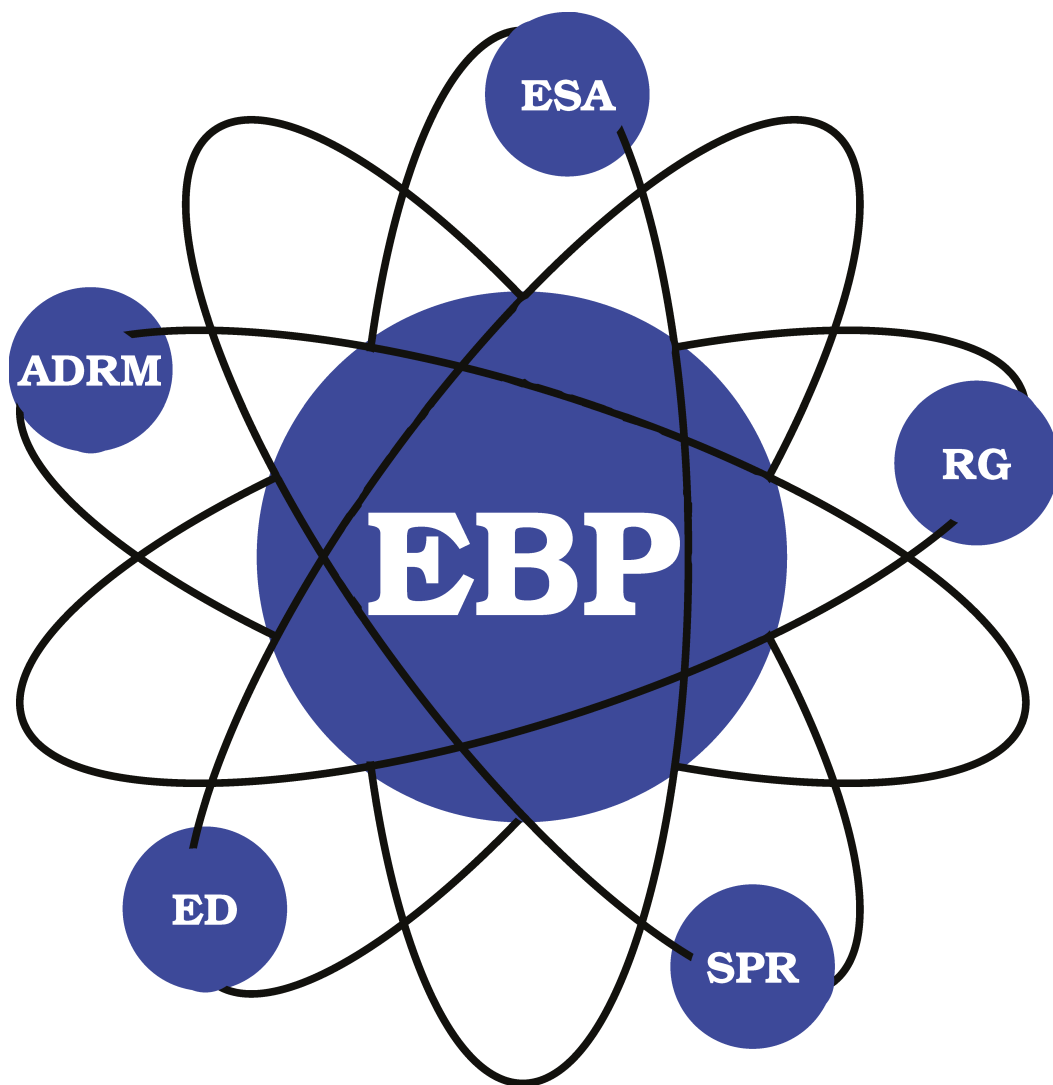


JOHAN SCHUBERT, FARSHAD MORADI, HIRAD ASADI,
LINUS LUOTSINEN, ERIC SJÖBERG, PONTUS HÖRLING,
ANNA LINDERHED, FRIDA HINSHAW, DANIEL OSKARSSON



Johan Schubert, Farshad Moradi, Hiran Asadi,
Linus Luotsinen, Eric Sjöberg, Pontus Hörning,
Anna Linderhed, Frida Hinshaw, Daniel Oskarsson

Simuleringsbaserat beslutsstöd för utvärdering av operativa planer

Slutrapport

Titel	Simuleringsbaserat beslutsstöd för utvärdering av operativa planer – Slutrapport
Title	Simulation-based Decision Support Evaluating Operational Plans – Final Report
Rapportnr/Report no	FOI-R--3634--SE
Månad/Month	Januari/January
Utgivningsår/Year	2013
Antal sidor/Pages	46 p
ISSN	1650-1942
Kund/Customer	Försvarsmakten/Swedish Armed Forces
FoT område	Modellering och simulering
Projektnr/Project no	E36710
Godkänd av/Approved by	Lars Höstbeck
Ansvarig avdelning	Informations- och aerosystem

Detta verk är skyddat enligt lagen (1960:729) om upphovsrätt till litterära och konstnärliga verk.
All form av kopiering, översättning eller bearbetning utan medgivande är förbjuden

This work is protected under the Act on Copyright in Literary and Artistic Works (SFS 1960:729).
Any form of reproduction, translation or modification without permission is prohibited.

Sammanfattning

I denna rapport beskriver vi simuleringsbaserade beslutstödstekniker för utvärdering av operativa planer inom effektbaserad planering. Med ett beslutsstödsverktyg kan utvecklare av operativa planer bedöma tusentals alternativa planer mot möjliga händelseutvecklingar och avgöra vilka av dessa planer som kan uppnå ett önskat sluttillstånd. Syftet är att förstå konsekvenserna av olika planer genom simulering och utvärdering. Operativa planer beskrivs enligt konceptet för en effektbaserad syn på operationer som en uppsättning aktioner och effekter. Vi kan ha flera olika alternativa sätt att utföra varje aktion. Tillsammans utgör de alla möjliga planer, som representeras som ett träd av handlingsalternativ som kan genomsökas för att finna den mest effektiva följden av alternativ för alla aktioner. Som ett testfall använder vi en expeditionär operation med en plan omfattande 43 aktioner och totalt 109 alternativ för dessa aktioner, samt ett scenario med 40 gruppaktörer som var och en beskrivs av 15 parametrar. Beslutsstöd till planerare ges av flera metoder för att analysera effekterna av en plan gentemot de 40 aktörerna, exempelvis genom att visualisera flera planers tidsserier över avståndet till sluttillståndet och visualisera tidsutvecklingen för alla aktörers tillstånd för den bästa planen syftande till att ge planerare en översikt över planens prestanda. Detaljerat beslutsstöd ges genom observation av de mest inflytelserika aktionerna med hjälp av känslighetsanalys och analys av regressionsträd. Slutligen, lära vi gränserna som en operation inte får överskrida utan risk för drastiskt misslyckande.

Nyckelord: Datorsimulering, dataanalys, beslutsstödssystem, beslutsträd, planering.

Summary

In this report we describe simulation-based decision support techniques for evaluation of operational plans within effects-based planning. With a decision support tool developers of operational plans are able to evaluate thousands of alternative plans against possible courses of events and decide which of these plans are capable of achieving a desired end state. The purpose is to understand the consequences of different plans through simulation and evaluation. Operational plans are described in the effects-based approach to operations concept as a set of actions and effects. For each action we may have several different alternative ways to perform the action. Together they make up all possible plans, which are represented as a tree of action alternatives that may be searched for the most effective sequence of alternative actions. As a test case we use an expeditionary operation with a plan of 43 actions and a total of 109 alternatives for these actions, and a scenario of 40 group actors each described by 15 parameters. Decision support for planners is provided by several methods analyzing the impact of a plan on the 40 actors, e.g., by visualizing multiple plan end state time series and visualizing actors time development for the best plan in order to give planners a performance overview. Detailed decision support is provided by observation of the most influential actions using sensitivity analysis and regression tree analysis. Finally, we learn the boundaries that an operation must not move beyond without risk of drastic failure.

Keywords: Computer simulation, data analysis, decision support systems, decision trees, planning.

Innehållsförteckning

1	Inledning	7
2	Effektbaserad planering	9
3	Bogalandsscenariot	11
4	Styrning av simuleringen	13
5	Modellering av aktörer och aktioner	15
5.1	Tillståndsvariabler	15
5.2	Beteendemodellering	17
5.3	Modellering av aktioner	17
6	Simuleringsmetod	18
6.1	A*-sökning	19
6.2	Avståndsfunktion i A*-sökning.....	19
7	Beslutsstödsmetoder	20
7.1	Beslutsfattarens val av handlingsalternativ	20
7.2	Visualisering av effekters utveckling över tiden	22
7.3	Visualisering av planers utveckling mot sluttillståndet över tiden ...	23
7.4	Utvecklingen av aktörernas tillstånd över tiden.....	24
7.5	Att förklara effekterna av aktioner	27
7.6	Regressionsträdsanalys	29
7.7	Att uppskatta gränsen för potentiellt misslyckande för en operativ plan	31
8	Analys av simuleringsresultat	34
8.1	Allmän beskrivning av Bogalands simuleringsexperiment	34
8.2	Simuleringsutdata.....	36
9	Diskussion	42
10	Slutsats	44
	Referenser	45



Also available: A companion report in English with detailed mathematical representation and equations.

Schubert, J., Moradi, M., Asadi, A., Luotsinen, L., Sjöberg, E., Hörling, P., Linderhed, A., Hinshaw, F. and Oskarsson, D. *Simulation-based Decision Support Evaluating Operational Plans – Final Report*. FOI-R--3635--SE, Swedish Defence Research Agency, Stockholm, 2013.

<http://www.foi.se>

1 Inledning

I denna rapport utvecklar vi simuleringsbaserat beslutsstöd genom en händelsestyrd simulering som modellerar militära operativa planer enligt effektbaserad planering (EBP) [1]. De metoder som utvecklats kan användas på ett stegvist sätt genom att utvärdera planerna allteftersom de utvecklas steg för steg och nya aktiviteter läggs till. Hur vi modellerar ett fenomen beror på syftet med modellen och de frågor vi vill besvara. Eftersom vårt simuleringsystem syftar till att stödja beslutsfattande inom en effektbaserad syn på operationer (EBAO) måste modelleringen baseras på begrepp från EBAO, som en uppsättning effekter och aktioner som tillsammans kommer att leda till ett önskad militärt sluttillstånd. Genom att använda ett beslutsstödverktyg, kan en beslutsfattare utvärdera ett antal genomförbara planer gentemot möjliga händelseutvecklingar och besluta vilken av dessa planer som kan uppnå det önskade militära sluttillståndet. Syftet är att utvärdera planer gentemot ett stort antal aktörer och förstå planernas konsekvenser genom simulering av händelser och producera resultat som följer av alternativa beslut om aktionernas genomförande. Varje plan består av många aktioner, där flera aktioner kan utföras på ett antal alternativa sätt. Vi modellerar planen och utvärderar alternativa planer baserat på hur väl de kan driva simuleringsmodellens hela systemtillstånd mot ett förutbestämt militärt sluttillstånd genom att simulera ett stort antal aktörer. Dessa planer utvärderas utifrån deras prestanda och grupperas i kluster där alla planer i samma kluster har både gemensamma egenskaper och resultat. Tanken är att dessa kluster, när de innehåller planer med bra prestanda, utgör en robust samling alternativa planer som kan användas för mindre dynamisk omplaneringen när så behövs.

Aktörer och aktioner modelleras med ett scenario som används av Försvarsmakten i deras stabsövningar (CJSE) och vid de multinationella ”Viking”-övningarna. Aktionerna i planen är simulerade tillsammans med alla aktörer och deras reaktioner och möjliga efterföljande interaktioner. Då aktionerna kan ha flera olika alternativa sätt att utföras, spänner dessa alternativ tillsammans upp ett beslutsträd. Detta träd genomsöks av simulatören där varje nivå i trädet motsvarar en aktion och varje nod i trädet är ett alternativ för hur denna aktion kan genomföras. När beslutsträdet genomsöks utvärderas varje nod av simulatören och resultaten lagras. Genom att använda sökning för att vägleda simulatorns uppgifter låter vi simulatören fungera på ett sätt som uppnår maximal informationsnytta. I ett experiment simulerar vi 10 000 planer. Simulerade planer som är likartade i både deras struktur och konsekvens är grupperade tillsammans. Dessa planer utgör en robust uppsättning liknande planer som utgör färdiga alternativ om dynamiska omplaneringen blir nödvändig allteftersom situationen utvecklas.

Beslutsstöd ges genom flera olika tekniker inom statistisk analys, informationsfusion, maskininläring och informationsvisualisering. Till exempel utvecklar vi flera metoder som visualiserar tidsserier för effekter och sluttillstånd för att enkelt ge en översikt över tidsutvecklingen hos flera alternativa planer allteftersom aktion efter aktion genomförs.

Vi utvecklar förklaringsfunktioner baserade på informationsfusion för simuleringsbaserat beslutsstöd för utvärdering av militära planer i expeditionära operationer. Främst, belyser denna metod de farliga alternativen i en operativ plan, och lämnar beslutsfattaren fri att fokusera sin uppmärksamhet på återstående aktioner. Genom att systematiskt variera en aktion i taget att hålla alla andra aktioner oförändrad i en serie av simuleringar, så kan vi utföra en känslighetsanalys för varje aktion i planen som baseras på förändringen i utvärderingen av planerna. Denna känslighetsanalys visar den relativa vikten av att göra rätt val av alternativ för varje aktion. Med en förklaringsfunktion blir beslutsfattaren informerad om vilka aktioner i planen som är avgörande för dess framgång.

För att skilja mellan mindre omplaneringen och när en större omplaneringen blir nödvändigt för att undvika drastiska negativa konsekvenser av planer som börjar avvika väsentligt från den inledande planeringen, utvecklar vi indikatorer som fungerar som varningsklockor. En indikator är gränsen mellan två kluster bortom vilken drastiska förändringar kan uppstå. Vi lär oss gränser från simulerade data från alternativa planer för en expeditionär operation. Vi ger beslutsstöd under genomförandet av en plan genom att beräkna avståndet från planen till den närmast gränsen stegvist allteftersom aktion för aktion genomförs. Genom att visualisera förändringen i avstånd under genomförandet kan en befälhavare observera om operationen närmar sig en gräns bortom vilken konsekvenserna kan vara osäkra.

2 Effektbaserad planering

Hur vi modellerar ett fenomen beror på syftet med modellen och de frågor vi vill besvara. Eftersom vårt simuleringssystem syftar till att stödja beslutsfattande inom en effektbaserad syn på operationer (EBAO) [2][3] måste modelleringen baseras på EBAO och dess begrepp, som planen, aktion, effekt, sluttillstånd, etc. EBAO är en militär strategi för hantering och genomförande av insatser på operativ nivå. Enligt Förenta staternas United States Joint Forces Command (USJFCOM) är EBAO *“operations that are planned, executed, assessed, and adapted based on a holistic understanding of the operational environment in order to influence or change system behavior or capabilities using the integrated application of selected instruments of power to achieve directed policy aims”* [4].

Inom ramen för EBAO, är EBP en metod för att utveckla mål och effekter som ska uppnås genom en serie av synkroniserade åtgärder inom en militär operativ plan, begreppsmässigt utvecklad uppifrån och ned från ett önskat sluttillstånd. Metoden inom EBP är iterativ till sin natur där utvecklingen av planen görs stegvis och testas allteftersom den successivt växer fram. För att ge beslutsstöd till detta planeringsarbete, utvecklar vi metoder som kan användas iterativt när vi successivt modellerar olika element av planen och testar dem med simulering och utvärdering gentemot ett scenario där operatörernas modeller reagerar på genomförandet av planens element. Det är möjligt att mäta förändringar i tillståndet hos alla aktörer i förhållande till det önskade sluttillståndet.

En reglerteoretisk modell av EBP [5] visas i figur 1. Som indata har vi den önskade situationen som jämförs med den nuvarande situationen vilken erhålls från uppföljning. Den första processen är en analys av sluttillstånd (ESA), följt av utveckling av effekter (ED). Initialt när det inte finns någon operation definieras det militära sluttillståndet målet för operationen. Senare när en kampanjutvärdering sker, kan jämförelsen komma att kräva ytterligare analys inom ESA. Utdata från ED är de effekter som krävs, som jämförs med de nuvarande effekterna, vars bedömning fås från utvärderingen.

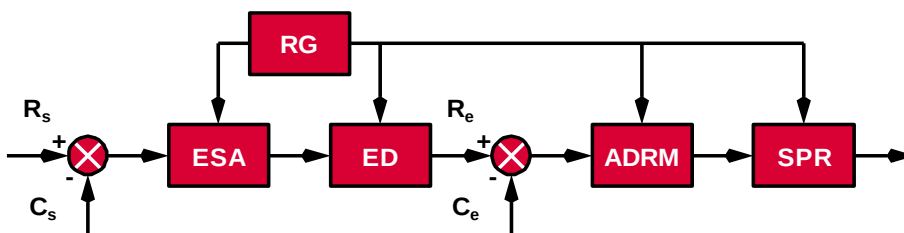


Fig. 1. Effektbaserad planering.

I denna modell ligger fokus från simuleringsbaserat beslutsstöd främst på utveckling av effekter (ED).

När det gäller *Allied Command Operations Comprehensive Operations Planning Directive* (COPD) [6] fokuserar vi på simuleringsbaserat beslutsstöd för generering och utvärdering av alternativ hos *Joint Force Command* (JFC) operativa konceptutveckling, figur 2 (JFC fas 4a). Detta utesluter inte användning av dessa metoder på en tidigare strategisk nivå.

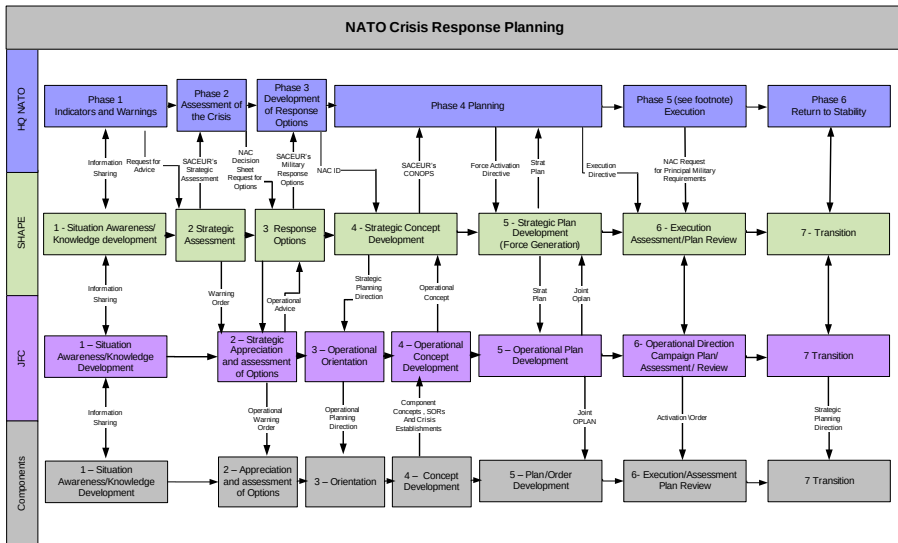


Fig. 2. Operational level crisis response planning (COPD).

3 Bogalandscenariot

Vi använder oss av samma scenario som regelbundet har använts av Försvarsmakten i sina Combined Joint Staff Exercises och ”Viking” övningar. Detta scenario består av flera fiktiva länder, varav två, Xland och Bogaland, har beskrivits ingående. Bakgrundshistorien ger förklaringar till varför och hur känslor, ställningstaganden, identiteter, lojaliteter, ekonomiska beroenden och olikheter har utvecklats över tiden, vilket ibland resulterat i maktskiftet. Fenomen som är vanliga i områden där konflikter pågår eller nyligen har pågått, har inbäddats i scenariot på ett sätt som gör ursprungen till olika fenomen rimliga, se figur 3.

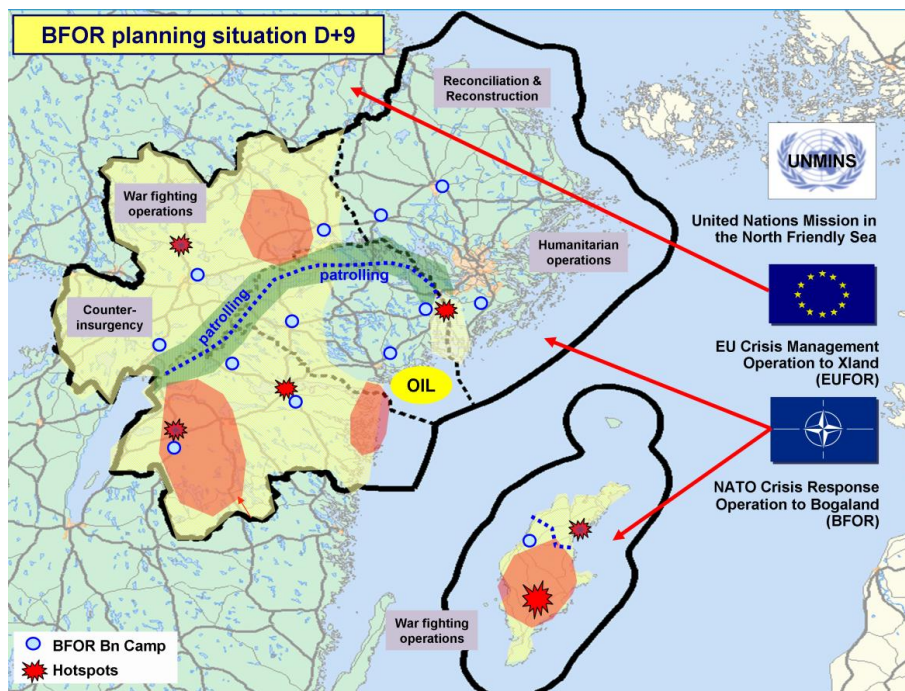


Fig. 3. Bogalandscenariot.

I Xland utgör demografiska förändringar ett hot mot den privilegierade majoriteten, och sätter hård press på regeringen. Landet har en konstitution vilken inte ger den snabbt växande minoritetsgruppen samma rättigheter som den krympande majoritetsgruppen. Irreguljära grupper och förband med ursprung i minoritetsgruppen har tagit kontroll över de lantliga delarna av landet.

I Bogaland, ett nyligen industrialiserat land, bröt ett inbördeskrig ut för tio år sedan när missnöjet inom den etnisk-religiösa minoriteten hade nått mycket höga nivåer. Den grundläggande orsaken var en ökande social skiktning orsakad av vad medlemmarna i minoritetsgruppen uppfattade som orättvis fördelning av intäkter från en naturresurs belägen i ett område befolkat av minoritetsgruppen. Inbördeskriget satte stopp för utnyttjandet av resursen, i detta fall olja, och intäkterna har sjunkit till mycket låga nivåer. Landet delades upp i två delar, ungefär längs etniska linjer, där varje del har sin egen regering. En efterkrigsekonomi utvecklades under nästa årtionde, och flera ledare ur de irreguljära trupperna utmanar nu de etablerade presidenterna.

De etablerade presidenterna har tecknat ett fredsavtal, och en internationell styrka, BFOR är närvarande för att stödja genomförandet av avtalet. Irreguljära trupper i Bogaland strävar efter att bevara eller öka sitt inflytande genom att underminera de ansträngningar som görs av BFOR, regeringarna eller de konkurrerande irreguljära trupperna. Två av grannländerna har satt mycket på spel i konflikten på grund av ekonomiska intressen och gemensamma identiteter med olika parter inom Bogaland. Aktörer inom dessa grannländer stödjer de irreguljära trupperna i Bogaland.

4 Styrning av simuleringen

Den planeringsprocessen vi analyserar motsvarar i praktiken att välja en sekvens av alternativ från en uppsättning av alternativa sätt att genomföra aktionerna; ett valt alternativ för varje aktion utgör tillsammans en operativ plan. De flesta aktioner har mellan två och åtta alternativa sätt att genomföras. En vald sekvens av alternativa aktioner utgör därmed en plan för att försöka nå ett fredligt måltillstånd, kallat sluttillstånd, i Bogaland. Antalet möjliga planer kan teoretiskt bli mycket stor eftersom varje kombination av alternativa sätt att genomföra en aktion i sig utgör en separat plan. I praktiken kan naturligtvis många av dessa planer uteslutas eftersom de börjar med en sekvens av aktioner som redan utvärderats och då konstaterats leda till tidigt misslyckande.

Det är även möjligt att ge simulatorn instruktioner om hur den skall välja kombinationer av alternativ att föredra under simuleringen. På detta sätt kan simulatorn fokusera sin uppmärksamhet på vissa planer inom beslutsfattaren intresseområde. Tre sätt att göra detta är att fokusera simulatorns uppmärksamhet på planer med aktioner som:

- genomförs inom ett visst geografiskt område,
- genomförs inom en viss tidsram,
- kan ligga utanför specificerat området och tidsram, om de starkt påverkar andra aktioner inom området och tidsramen, där påverkan beskrivs av en korskopplingsmatris (CIM) [7][8].

CIM är en matris, som skapats för alla par av aktioner där det anges hur mycket olika aktioner motverkar eller stöttar varandra under utförandet på grund av exempelvis en resurskonflikt eller att en aktion förbereder för en annan. Metoder baserade på analys av en CIM har använts för planeringsändamål sedan 1960-talet. Exempel på analys av en CIM beskrivs mer detaljerat i [7].

I det grafiska användargränssnittet, kan vi göra ovanstående tre val som ett specifikt geografiskt område i en karta, en tidsram i ett Gantt-schema, och en aktionsgrupp i ett diagram med aktioner grupperade efter deras inbördes påverkan i CIM.

Figur 4 visar det grafiska användargränssnittet (GUI).

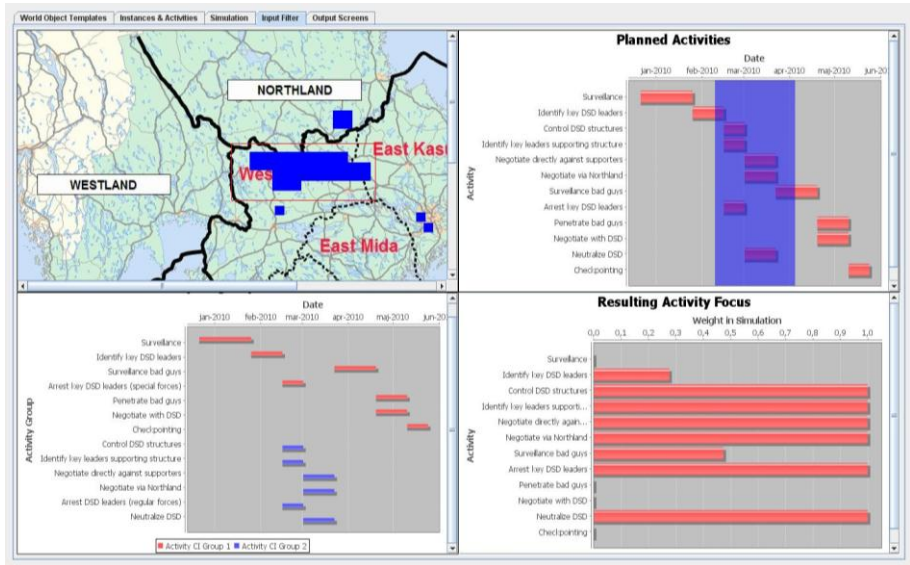


Fig. 4. GUI för simuleringsstyrningen. Övre vänstra fältet: Varje aktion har ett område där det utförs i Bogaland (blå fyllda rektanglar). Val av geografiskt fokusområde görs med den röda rektangeln. Övre högra fältet: Val av tidsram (blått). Nedre vänstra fältet: Val av aktioner som är nära knutna till varandra i CIM. En grupp kan väljas (här: blått eller rött) Nedre högra fältet: Fusionerade vikter för aktionerna. Dessa anger respektive aktions betydelse i simuleringen.

5 Modellering av aktörer och aktioner

För att representera aktörer använder vi oss i detta arbete av en metodik som riktar sig mot modellering av aggregerade enheter av mänskliga grupper och organisationer i militära konfliktområden. Denna metodik använder en kombination av Bayesianska nätverk och regelbaserade metoder, och uppdaterar (förändrar värden på) de tillståndsvariabler som har valts för att beskriva enheterna. Tillståndsvariabler används för att representera aktörernas kunskap eller föreställningar om sig själva, andra aktörer och miljön. Bayesianska nätverk används för att modellera beteendet och mekanismen för val av aktioner hos aktörer. Slutligen används regler för att modellera aktioner och deras effekter på aktörernas tillståndsvariabler.

5.1 Tillståndsvariabler

Tillståndsvariabler används här för att representera aktörernas kunskaper och föreställningar om sig själva, andra aktörer och miljön. Vi har delat tillståndsvariablerna i två grupper; de som representerar aktörens inre tillstånd och de som representerar dess relationer till andra aktörer. De tillståndsvariabler som presenteras i detta avsnitt identifierades med hjälp av ämnesexperter och har valts för att representera ett brett spektrum av egenskaper hos grupper och organisationer i militära konfliktområden.

De interna tillståndsvariablerna härstammar från tidigare arbete [1], och representeras här av en vektor som innehåller 15 diskreta variabler. En kort (icke uttömmande) kvalitativ tolkning av varje variabel redovisas i tabell 1. De variabler som representerar det interna tillståndet kan ha värden från 0 till 3. Vi valde att begränsa oss till dessa värden för att hålla aktörernas alternativa tillstånd relativt litet vilket gör att arbetet med modellering av aktörernas beteende och aktioner förblir mer pragmatiskt och inte alltför tidskrävande.

Tabell 1. Interna tillståndsvariabler.

State variable		Interpretation of state variable values			
		0	1	2	3
Weapon power	A	Less than 0.1 brigade	0.25 brigade	1 brigade	4 brigades
Living conditions	B	Suffering, scarce re-sources, being killed by others	Suffering, scarce re-sources	Not suffering, limited resources	Not suffering, abundant resources
Stance	C	Submissive	Defensive	Defiant	Violent
Sympathizers	D	No supporters	Supported by marginal others	Supported by the local majority	Supported by the wider majority
Economy	E	< 1000 times GNP/capita	1000 – 10000 times GNP/capita	10000 – 100000 times GNP/capita	> 100000 times GNP/capita
Stability	F	Quick reduction in group size	Slow reduction in group size	Slow increase in group size	Quick increase in group size
Geographical dominance	G	At risk in the area	Can move and talk freely	Can impose restrictions on others	Can dominate others
Infrastructure	H	Man-to-man, word-of-mouth	Terrain vehicles, leaflets	Trucks, cell-phones	Complete, Internet
Propaganda channels	I	Limited reach outside primary group	Reaches local communities	Reaches communities of similar identity	Reaches all types of communities
Social network	J	No ties	Ties to uncommitted	Ties to committed	Ties to highly committed
Reputation	K	Despised	Light-weight	Recognized	Highly regarded
Dissatisfaction	L	No grievance	Would like to see responsible for grievance fail	Prepared to use violence in act of revenge	Prepared to sacrifice life in act of revenge
Group feeling	M	Power struggle	Friction	Harmony	Cohesive
Ideological conviction	N	None	Little	Medium	High
Goal orientation	O	None	Preserving	Advance	Vision

I tabell 2 visas en aktörs relationer till andra aktörer, på ett liknande sätt som för det interna tillståndet. Varje rad i tabellen representerar förhållandet mellan en aktör och en annan. Relationsvariablerna kan inta fyra heltalsvärden från 0 till 3, som står för fientlig, misstänksam, neutral resp. vänlig.

Tabell 2. Relationstillståndsvariabler.

State variable		Interpretation of state variable values			
		0	1	2	3
Relationship ₁	R ₁	Enemy	Suspicious	Neutral	Friendly
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
Relationship _n	R _N	Enemy	Suspicious	Neutral	Friendly

5.2 Beteendemodellering

Vi använder oss av en metod för beteendemodellering som utnyttjar tillståndsvariabler. Beteendet hos en aktör bestäms i huvudsak av den aktion som väljs av aktören och exekveras vid en given tidpunkt. Valet görs via en funktion som tar aktörens tillståndsvariabler som indata och levererar en aktion som utdata.

I detta arbete använder vi oss av en metod som bygger på Bayesianka nätverk (BN) [9]. Metoden nyttjar antingen kunskap från ämnesexperter, i de fall det finns för lite eller ingen information tillgänglig, eller s.k. maskininlärning om det finns mycket historisk information om aktörernas beteende. Vi har främst valt att använda BN på grund av deras:

- förmåga att grafiskt representera aktörens beteende med hjälp av riktade acykliska grafer som kan förbättra den allmänna förståelsen av modellen,
- förmåga att utföra slutledning även i frånvaro av säker information,
- modularitet och återanvändbarhet.

Genom att använda de sannolikheter som finns i BN är det möjligt att välja aktioner på flera olika sätt [10]. Vilken urvalsmetod som används är ytterst ett val för modelleraren [11].

5.3 Modellering av aktioner

Genom att utföra aktioner kan en aktör förändra sitt tillstånd. En aktion representeras här av en uppsättning regler som triggas och utförs (skapar effekt) ifall ett givet villkor är sant.

I detta arbete har ämnesexperter utvecklat hundratals regler som modellerar följande aktioner: *attackera*, *neutralisera*, *förhandla*, *stödja*, *skydda*, och *gör ingenting*. Utöver de regler som styr effekterna av aktioner, har ämnesexperter utvecklat globala regler som modellerar fenomen som ”stockholmsyndrom” och ”radikalisering”.

6 Simuleringsmetod

Simuleringen innehåller modeller av deltagande aktörer, deras initiala tillstånd (inkl. en sannolikhetsfördelning över olika aktioner de är kapabla att utföra), miljödata och planen som skall utvärderas. En plan i detta sammanhang definieras som en uppsättning av aktioner som utförs (sekventiellt eller parallellt) av en militär styrka för att nå ett slutstillstånd. Dessutom innehåller simuleringsscenarioet en händelselista som består av aktioner som härrör från andra aktörers agendor. Denna lista är dynamisk och förändras under loppet av simuleringen.

För att beskriva simuleringsprocessen definierar vi systemtillståndet S . Simuleringen är ett samspel mellan den blåa aktörens aktioner, andra aktörers agendor och respons på våra aktioner, samt andra externa händelser. Därför är modellen utformad som en händelsestyrd simuleringsmodell för att kunna hantera de komplexa sambanden på ett transparent sätt. Händelserna i detta fall är: exekvering av aktioner, aktörernas observationer av och reaktioner på genomförda aktioner, samt förekomsten av yttre händelser. Målet med simuleringen är att utföra olika planer och identifiera de planer som resulterar i det systemtillstånd som ligger närmast vårt sluttillstånd, d.v.s. har det kortaste avståndet till det.

Resultatet från simuleringen kan variera beroende på omständigheterna (t.ex. så kan operationen misslyckas), vilket kan lösas genom att göra simuleringen stokastisk, där resultatet av en aktion beror på ett antal slumpmässiga variabler som följer vissa givna fördelningar. Nackdelen med detta är att vi kan få ett i och för sig rimligt, men ganska osannolikt utfall, vilket skulle innebära att vi i onödan kan kasta ut en mestadels bra plan. För att undvika detta använder vi oss av Monte Carlo simuleringar.

Simuleringen börjar med att initiera vår aktion under det tänkta tidsintervallet. Därefter observeras aktioner av de övriga aktörerna. Direkt, eller efter en period av analys ändras respektive aktörs tillstånd, som efterföljs av ett val av aktion från varje aktörs aktionsrepertoar. Allteftersom simuleringen fortskrider och aktioner exekveras läggs också nya följdaktioner till (som resultat av observationer och reaktioner) i simuleringen till dess att aktuellt tidsintervall når sitt slut. Slutligen sammanfattas resultaten som ett nytt systemtillstånd S .

6.1 A*-sökning

Syftet med vår simulering är att söka efter den sekvens av aktioner som bäst passar beslutsfattarens måltillstånd. Samtidigt vill vi också att simuleringen skall kunna föreslå en alternativ lösning vid varje tidpunkt. En lämplig metod i vårt fall är att tillämpa en s.k. A*-sökning. Nedan visas en klassisk framställning av A*-sökning,

$$f = g + h \quad (4)$$

där g är det totala avståndet från startpositionen till den aktuella platsen i ett sökträd, och h är det uppskattade återstående avståndet från den aktuella positionen till målet (slutstillstånd). En heuristisk funktion används för att uppskatta detta avstånd. I simuleringen räknar vi fram effekten av varje alternativ aktion i vår plan, men bara ett steg i taget. Genom att simulera på detta sätt (för varje alternativ aktion) får vi ett nytt systemtillstånd vars avstånd till sluttillståndet kan beräknas. Utgående från det alternativ som är det bästa, d.v.s. "närmast" sluttillståndet, genomför vi simuleringar av de i detta fall möjliga efterföljande aktionsalternativen. Givet tillräckligt med simuleringstid kommer alla alternativ på så sätt att så småningom exekveras. Därefter lagrar simuleringen alla genomförda aktioner, samt motsvarande resulterade systemtillstånd och avståndsvärden så att de är tillgängliga för en efterföljande analys.

6.2 Avståndsfunktion i A*-sökning

Ett problem vid tillämpning av A*-algoritmen är att hitta en lämplig avståndsfunktion. I vår modell tillstånden hos aktörerna och miljön beskrivs av ett antal parametrar, vilket komplicerar uppgiften att definiera en trovärdig avståndsfunktion. Den valda lösningen är att definiera en funktion som beräknar avståndet på basis av skillnaden mellan parametervärdena för ett givet tillstånd och parametervärden hos sluttillståndet. Det totala avståndet från initialtillstånd till sluttillstånd via det aktuella tillståndet beräknas enligt följande:

$$f(y_x) = g(y_x) + 80h(y_x). \quad (9)$$

Funktionen f är därmed den avståndsfunktion som minimeras av A*-algoritmen. Vikten "80" härleddes genom våra erfarenheter från ett antal experiment för att balansera prestanda för minimering av g och h , och är domänberoende.

7 Beslutsstödsmetoder

Beslutsstöd erbjuds i form av en uppsättning planer som har liknande struktur och konsekvenser. Vi grupperar de planer som har liknande struktur och konsekvenser. Liknande struktur innebär att de mer eller mindre utför liknande aktioner. Liknande konsekvenser innebär att de i genomsnitt resulterar i samma verkan i sin strävan mot sluttillståndet.

Vi noterar först skillnaden i konsekvenser mellan varje par av planer. Vidare behöver vi mäta den strukturella skillnaden, ”avståndet” mellan varje par av planer [12]. Baserat på dessa två analyser delar vi upp mängden av simulerade planer i ett antal grupper [13][14][15][16][17].

Dessa grupper utgör alternativa planer som finns tillgängliga, utifall dynamisk omplanering skulle bli nödvändig. Om en plan befinner sig mitt i utförandet kan beslutsfattaren erhålla utvärderingar av alternativa fortsättningar av planen, och se vilka alternativa aktioner som bör undvikas och vilka som är att föredra eftersom de ligger inom en robust grupp av planer.

7.1 Beslutsfattarens val av handlingsalternativ

En beslutsfattare kommer att kunna se vilka noder (aktioner) som ingår i den bästa vägen (planen) utöver de noder som nästan ingick, liksom de som förkastades.

I figur 5 ser vi ett exempel på vägar som de visualiseras i ett av simulatorns GUI. Här ser vi att noderna 1, 2 och 41 ingår i den bästa vägen (grön färg). Om användaren klickar på nod 61 som är på nästa nivå i trädet, kommer han att fortsätta längs den bästa vägen, men om han klickar på nod 42 (orange färg) kommer han att välja en väg av lägre kvalitet.

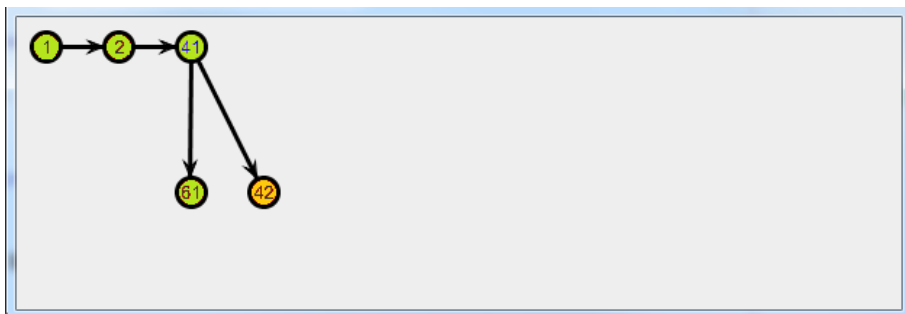


Fig. 5. Visualisering av en plan som ett träd (nivå 4).

Om användaren klickar på nod 61 visas dess barn (nästföljande aktionsalternativ) på nästa nivå, se figur 6. Här ser vi att det finns två val, antingen fortsätter vi längs den bästa vägen genom att välja nod 6, eller så vi kan expandera trädets genom en nod (vit nod 108) som inte ingår i en plan som inte har simulerats.

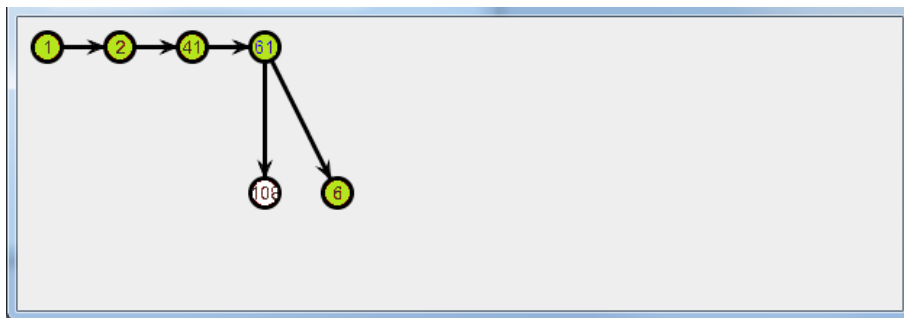


Fig. 6. Visualisering av en plan som ett träd (nivå 5).

Om vi fortsätter längre ner i trädets ser vi i figur 7 att nod 6 har fem barn. Nod 8 och 7 är rödfärgade, eftersom val av dessa noder avleder oss mycket från den optimala vägen i riktning mot sluttillståndet. Noderna 10 och 5 är nära den bästa vägen, som går genom nod 9.

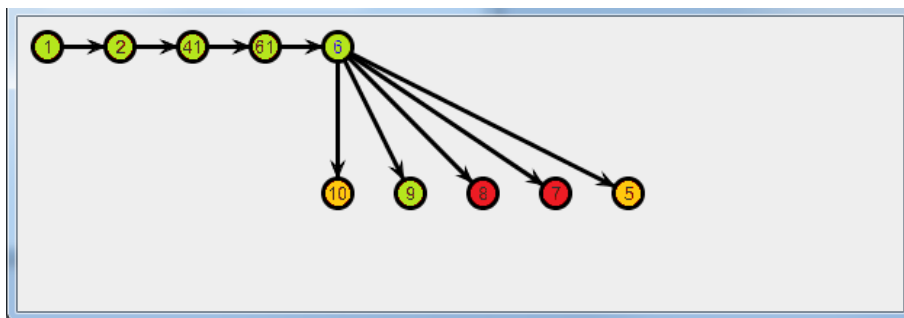


Fig. 7. Visualisering av en plan som ett träd (nivå 6).

Med denna typ av visualisering, som visar den bästa vägen i ett sammanhang där även andra alternativ uttrycks, ges beslutsfattaren möjlighet att uppfatta vilka handlingar som påverkar det totala utfallet vid ett visst steg i planen. Denna mekanism är viktig för att kunna ge spårbarhet i systemet.

7.2 Visualisering av effekters utveckling över tiden

Under planens utförande är det värdefullt att kunna analysera om hela operationen som skall göras enligt planen närmar sig sluttillståndet, "end-state". Ett sätt att mäta om så är fallet är att definiera en uppsättning fördelaktiga och viktiga tillstånd som måste uppnås på vägen till sluttillståndet. Att uppnå ett sådant tillstånd (alltså röra sig från ett nuvarande, sämre, tillstånd till ett bättre) kallas att uppnå en *effekt*. Effekter formuleras ofta på en hög semantisk nivå. En effekt i Bogalandscenariot skulle typiskt kunna vara "Skapa ordning och stabilitet i östra Kasurien".

Eftersom effektbaserad planering normalt omfattar att utse ett antal effekter beskrivna i naturligt språk och vars uppfyllelse antas utgöra delslut eller milstolpar i strävandet att nå sluttillståndet, blir det intressant att undersöka vilken roll sådana effekter spelar i en simulering som medvetet styrs i riktning mot sluttillståndet.

En visualisering av uppfyllandet av effekter under simuleringens framskridande för att hitta den bästa planen kan belysa om den bästa åtgärden verkligen korrelerar med att stegvis uppnå de utsedda effekterna, eller om framgång bäst uppnås genom andra vägar.

Omvänt, genom att övervaka graden av uppfyllnad av effekter kan man upptäcka om en plan som så småningom leder till ett önskvärt sluttillstånd gör så genom att passera genom oacceptabla deltillstånd (som ges av "dalar" i uppfyllandet av kritiska effekter).

Figur 8 visar ett exempel med övervakning av fyra effekter vid genomförandet av den bästa planen. I detta exempel har vi inte observerat några tendenser över tiden, men vi märker att tre av fyra effekter oftast uppnås. Detta förklaras med att vi aktivt strävar mot sluttillståndet och inte mot någon effekt eftersom effekter här bara övervakas men inte aktivt strävas mot. I detta exempel varken närmar vi oss eller distanserar oss från någon av effekterna på något avgörande sätt.

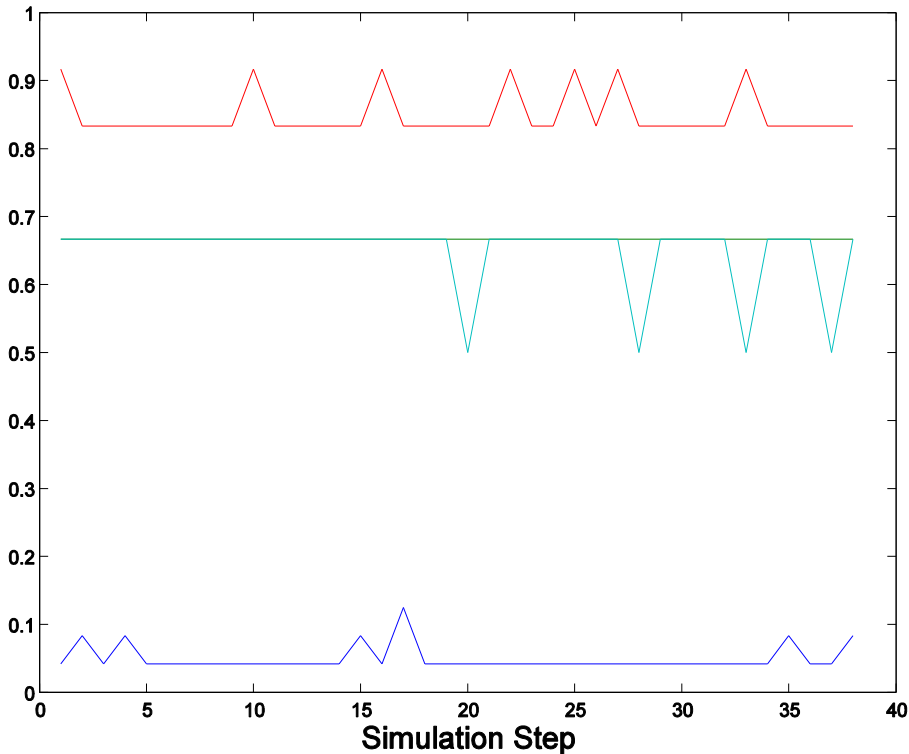


Fig. 8. Visualisering av uppfyllnadsgraden av fyra effekter med tiden (de mellersta två överlappar ofta, men särskiljs med färger).

7.3 Visualisering av planers utveckling mot sluttillståndet över tiden

Vid A^* -sökning försöker simulatoren hitta ett sätt att minimera f , d.v.s. summan av den tillryggalagda sträckan hittills, g , plus det förväntade kvarvarande avståndet till sluttillståndet, h . Detta innebär att minimera den förväntade totala insatsen av operationen för att "flytta" alla aktörer till sluttillståndet. Dessa åtgärder beräknas och lagras för varje tidssteg, d.v.s. efter varje exekvering av en aktion.

Parametern g kommer alltid att öka, men h , avståndet till sluttillståndet, kan tänkas minska i proportion till hur framgångsrik en aktion är, eller öka för en aktion som skiftar dessa parametrar bort från sluttillståndet.

Vi kan plotta åtgärder mot aktionsnummer för några av de bästa planerna för att få en känsla av hur väl simuleringen lyckas närma sig sluttillståndet, se figur 9. I figuren verkar det som om varje plansteg förflyttar oss ungefär samma avstånd (tillväxten av g sker ungefär linjärt), men det återspeglas inte lika bra i utvecklingen av h som idealt skall sjunka med lika mycket, d.v.s. vi rör oss definitivt inte rakt mot sluttillståndet.

Planerna vi analyserar här tar oss inte så långt mot sluttillståndet (formellt vid $h = 0$). Av analysen av dessa tidsserier är det uppenbart för beslutsfattaren om några av de planer han analyserar är framgångsrika eller om de behöver mer utvecklingsarbete.

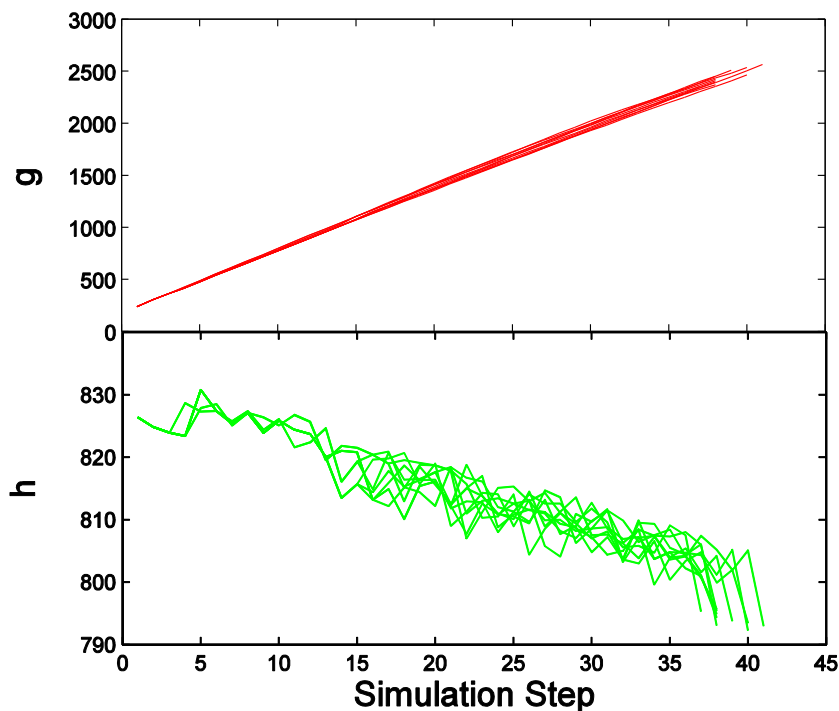


Fig. 9. Funktionerna f , g , h plottade mot simuleringssteg för de 10 bästa planerna.

7.4 Utvecklingen av aktörernas tillstånd över tiden

Simuleringsmotorn visar oss olika planer/vägar genom aktionsalternativen där vart och ett ger en lösning på problemet, det vill säga en kedja av aktioner som måste utföras i en viss ordning. Inom dessa aktioner påverkas aktörernas parametrar utifrån den logik som har utvecklats av en ämnesexpert. För en analytiker är det intressant att se hur aktörernas tillstånd stegvis utvecklas under genomförandet av alla åtgärder.

Det finns olika metoder för att visualisera flera variabler samtidigt. I vårt fall vill vi visualisera följande variabler:

- aktörernas parametrar,
- aktioner,
- aktörers förhållande till den blå styrkan,
- hur mycket en aktörs tillstånd baserar sig på ekonomi, stabilitet och dominans i regionen,
- temporala förändringar.

För denna visualisering använder vi ett s.k. bubbelldiagram kombinerat med några av de animeringseffekter som demonstrerats av Rosling under en av hans föreläsningar på TED [18], se figur 10 och figur 11. Eftersom det inte går att återge en rörlig animering i en stillbild visas här två snapshots.

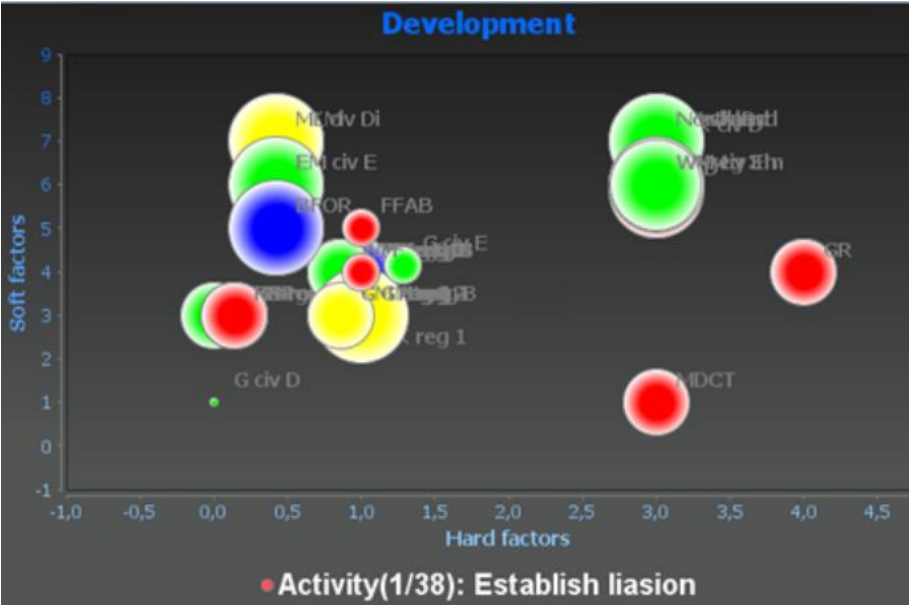


Fig. 10. Animerat bubbeliagram för den bästa planen (vid början av verksamheten).

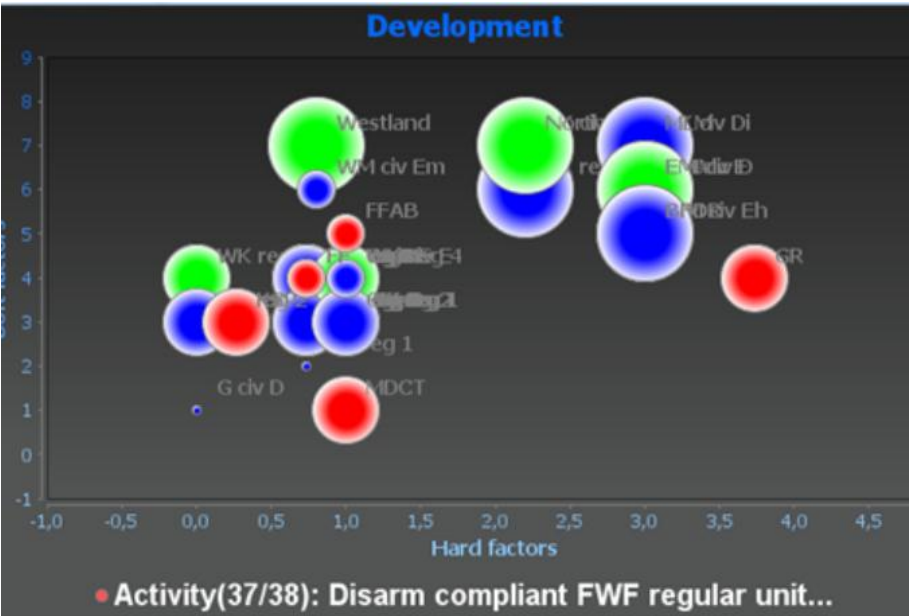


Fig. 11. Animerat bubbeliagram för den bästa planen (vid slutet av verksamheten).

Vi grupperar parametrarna i tre olika grupper. En grupp utgörs av *mjuka faktorer* som består av parametrar relaterade till en aktörs sociala status, såsom hans sociala nätverk, känsla i tillhörigheten till en grupp, etc. Ett högre värde indikerar en mer socialt bunden aktör. En annan grupp är *hårda faktorer* som består av parametrar av slaget vapenmakt, infrastruktur, etc. Ett högre värde indikerar en mer militärt avancerad aktör. Den tredje gruppen består av parametrar såsom ekonomi, geografisk dominans och stabilitet. Denna grupp är representerad i form av storleken på bubblan. En större bubbla utgör en viktigare aktör.

Bubblorna har också färger som representerar förhållandet mellan aktören och den blå styrkan BFOR. Grönt indikerar en neutral aktör, blått indikerar en allierad, rött en fiende och gult en okänd eller misstänkt aktör.

För varje aktion sammanfattas effekten av animerade bubblor som representerar systemets förändringar med avseende på tid (d.v.s. genomförandet av aktioner). Dessutom har visualiseringsprogramvaran också olika funktioner såsom att snabbspola och filtrera baserat på de synliga aktörerna i GUI.

7.5 Att förklara effekterna av aktioner

En förklaringsfunktion [19] för att förklara effekterna av aktioner har tagits fram och bygger på en känslighetsanalys av konsekvenserna av olika aktioner på planens framgång där vi systematiskt varierar alternativen för varje aktion i planen: en aktion varieras mellan sina alternativ vid en tidpunkt, och de övriga hålls oförändrade i en serie av simuleringar. Denna känslighetsanalys visar den relativa vikten av att göra rätt val av alternativ för varje aktion. Genom att använda förklaringsfunktionen kan en beslutsfattare hitta de viktigaste aktionerna i en plan och fokusera sin uppmärksamhet på aktioner där framgångsrikt beslutsfattande är avgörande för hela planens framgång.

För att kunna utröna effekten av aktionerna behöver vi genomföra kompletteringssimuleringar.

Dessa kan utföras genom att jämföra med angränsande planer som endast skiljer sig i valet av alternativ för en enda av flera alternativa aktioner, se $(A_{4,1}-A_{4,6})$ figur 12.

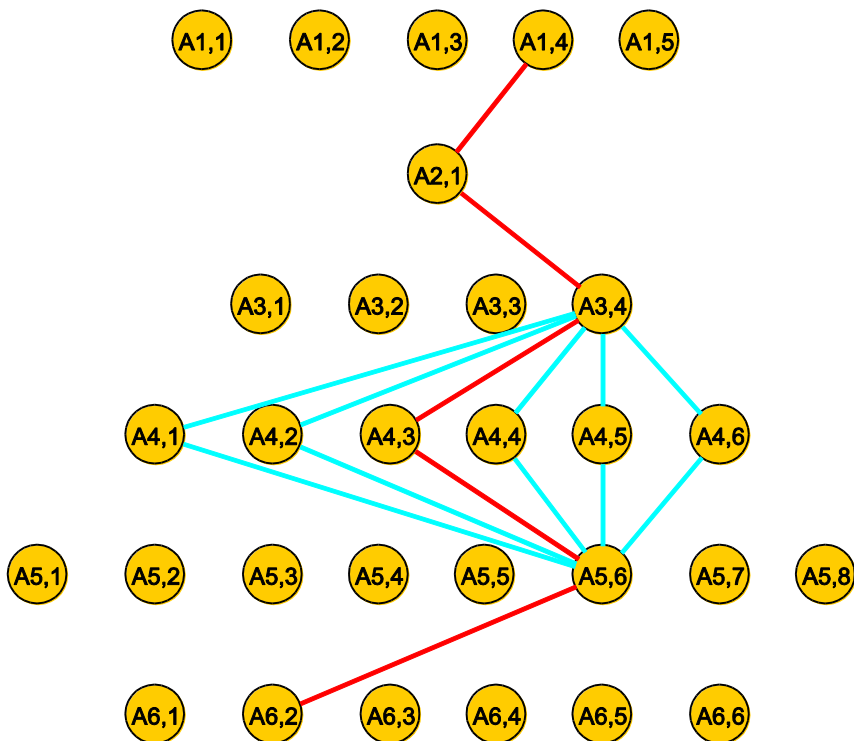


Fig. 12. Konceptuellt är en plan ett val av alternativ (i denna figur en sekvens av sex aktioner), ett alternativ väljs för varje rad. Varje blåfärgad väg i denna sex-aktionsplanering motsvarar en angränsande plan.

Vi simulerar alla grannplaner till varje bra plan som vi redan har hittat, men med en variation jämfört med denna av exakt en viss aktions alternativ åt gången. För varje aktion, simulerar vi den bra planen med den skillnaden att det valda alternativet för aktionen ersätts av ett annat alternativ till denna i varje kompletteringssimulering.

I vår analys använder vi nu g och h istället för f som ett förfinat kvalitetsmått på en plan och undersöker hur den påverkas av systematiska variationer av varje aktion i planen, se figur 13.

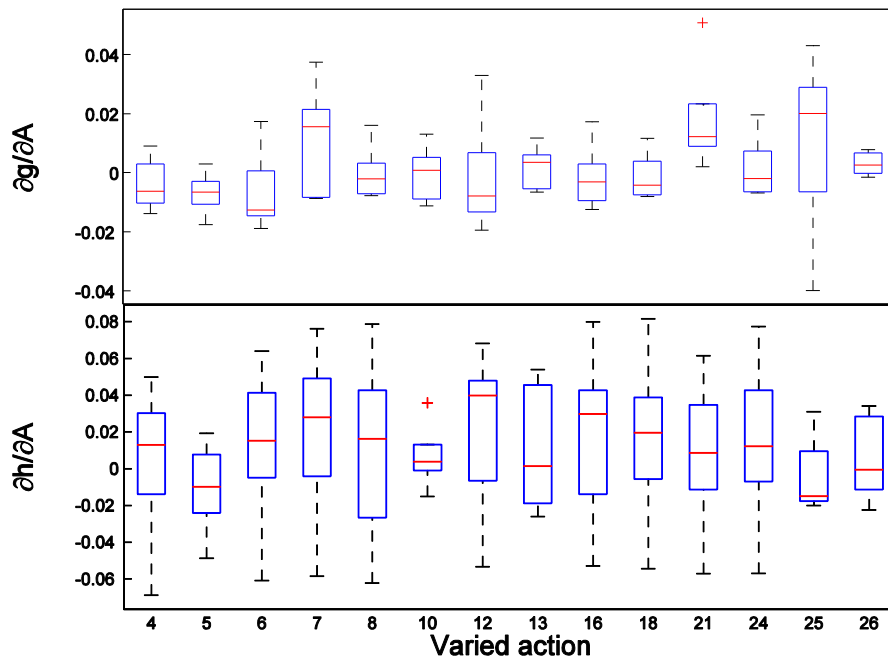


Fig. 13. Spridningen i känsligheten hos de fem bästa planerna där känsligheten hos varje aktion beräknas för g och h .

Känsligheten hos g verkar inte vara så stor med undantag för aktionerna 7 och 25 (övre delen av figuren), där ett val av ett annat alternativ än det som finns i den bra planen verkar ge en något sämre (högre) värde av g . För h visar ett större antal av aktionerna en mer uttalad känslighet, t.ex. aktion 7, 12 och 16 (nedre delen av figuren).

Med detta verktyg kan en beslutsfattare fokusera sin uppmärksamhet på att göra det bästa valet av alternativ där det är viktigast (aktion 7, 12, 16 och 25).

7.6 Regressionsträdsanalys

Regressionsträd [20] kan användas för att hitta betydelsen av en uppsättning variabler. Efter en viss simulering har – säg – de 10 000 bästa planerna erhållits. Dessa erbjuder ett bra statistiskt underlag för att bygga ett regressionsträd på dessa data för att hitta de viktigaste aktionerna, se figur 14. Det verkar här som det valda alternativet för aktion A_{25} har störst inflytande på h , följt av A_7 i båda grenarna därefter, etc.

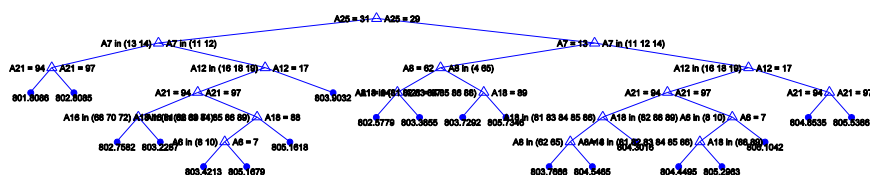


Fig. 14. Ett regressionsträd av h baserat på 10 000 simuleringar. Endast de 18 viktigaste förgreningarna på fem nivåer visas. Hela trädet med default inställning av regressionsträdsfunktionen i MATLAB:s Statistical Toolbox [21] resulterar i nästan 1500 förgreningar på 22 nivåer.

När ett regressionsträd har byggts, kan det användas som ett grovt verktyg för att prognosticera den beroende variabeln när vi undersöker en ny plan. Givet en uppsättning av alternativ som en planerare har valt, kan man följa den väg motsvarande plan skulle ta i trädets grenar och hitta de g och h värden som föreslås av hela trädets struktur baserat på 10 000 simuleringar. Noggrannheten för ett exempel med de 100 bästa planerna kan ses i figur 15. Följbarheten är mycket bra för g , men sämre för h . Det förutsagda h är högre än det verkliga värdet.

Denna analys ger ett omedelbart svar på frågan om en ny plan är bra utan ytterligare simulering. Noggrannheten är 98–99%.

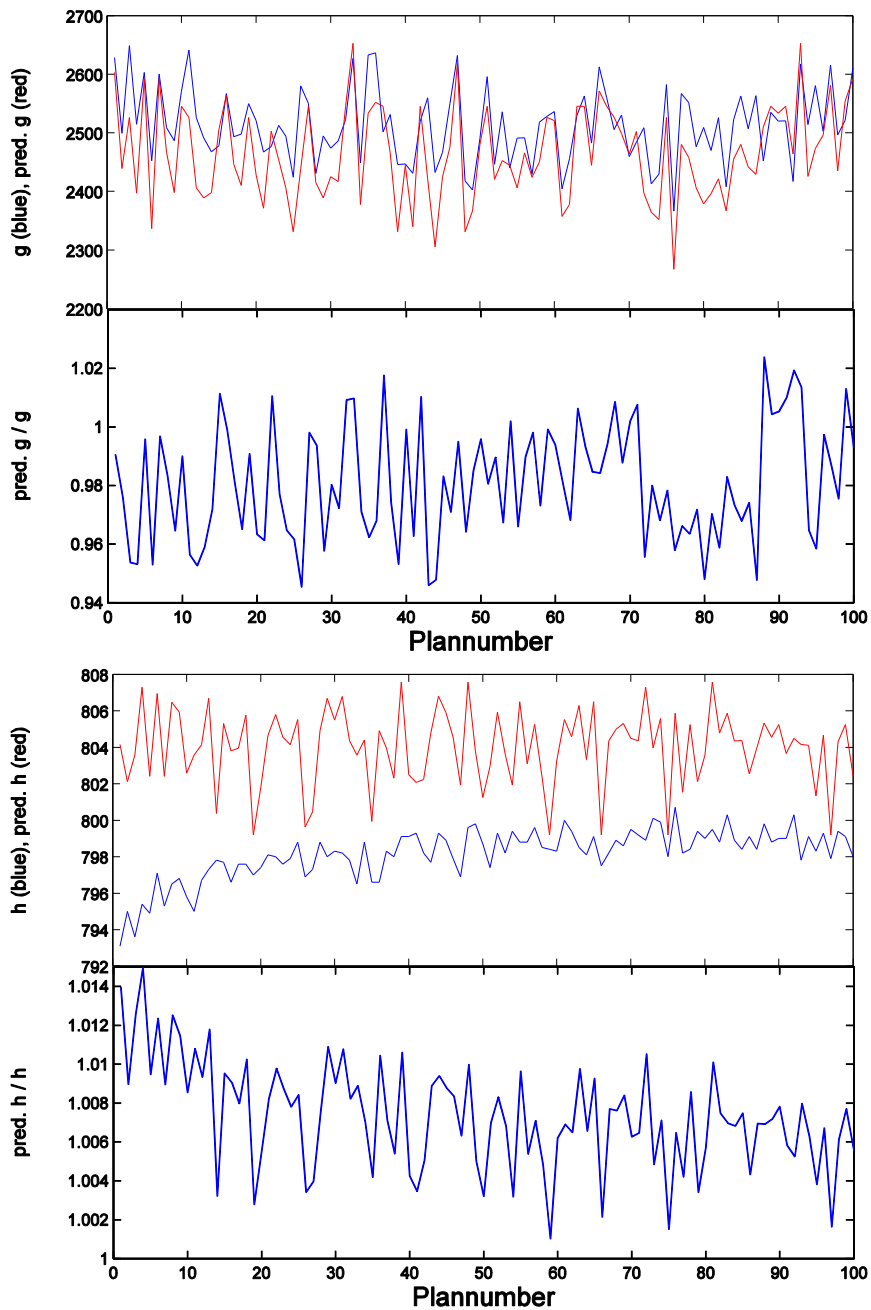


Fig. 15. Plottar av verkliga såväl som förutsådda värden av g och h för de 100 bästa planerna. Förhållandet mellan förutsådda och verkliga värden framgår av den övre resp. undre plotten.

7.7 Att uppskatta gränsen för potentiellt misslyckande för en operativ plan

Vi är främst intresserade av avstånden från en vald plan till den gräns bortom vilken en operation riskerar att misslyckas [22][23][24].

Vi studerar ett experiment med 1000 utvärderade planer vilka är grupperade i elva olika grupper baserat på deras egenskaper och resultatet de ger vid genomförande.

Den bästa planen testas mot alla andra planer; den bästa planen är den med lägst värde på h . Avståndet från den bästa planen (avseende h) till de närmaste andra klasserna med succesivt längre planer visas i figur 16. Längden av planerna är längs x-axeln och avstånden till gränsen längs y-axeln.

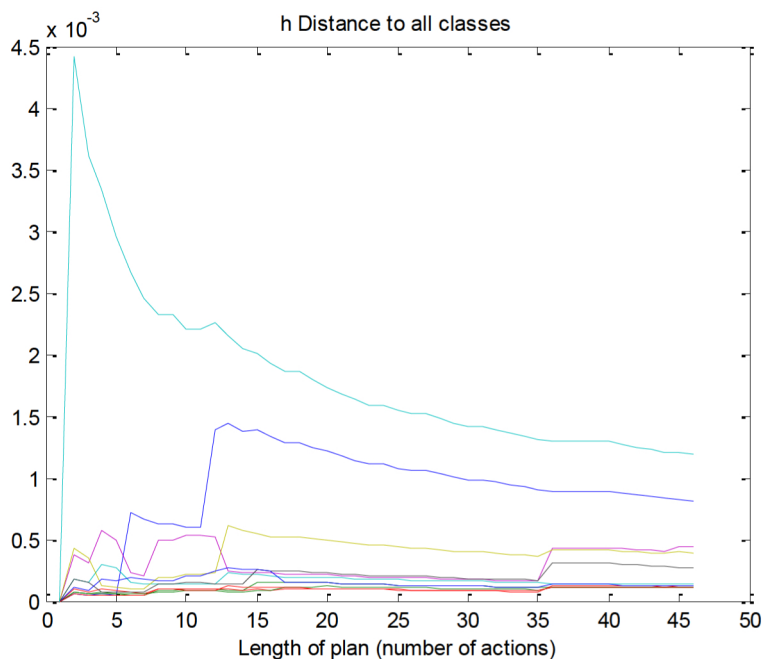


Fig. 16. Utvecklingen hos avståndet för den bästa planen till elva andra grupper av planer (mätt med h) under genomförandet.

I figur 17 visar vi avståndet för den bästa planen till närmsta gräns. Vi noterar att avståndet till den farliga gränsen succesivt ökar för den bästa planen.

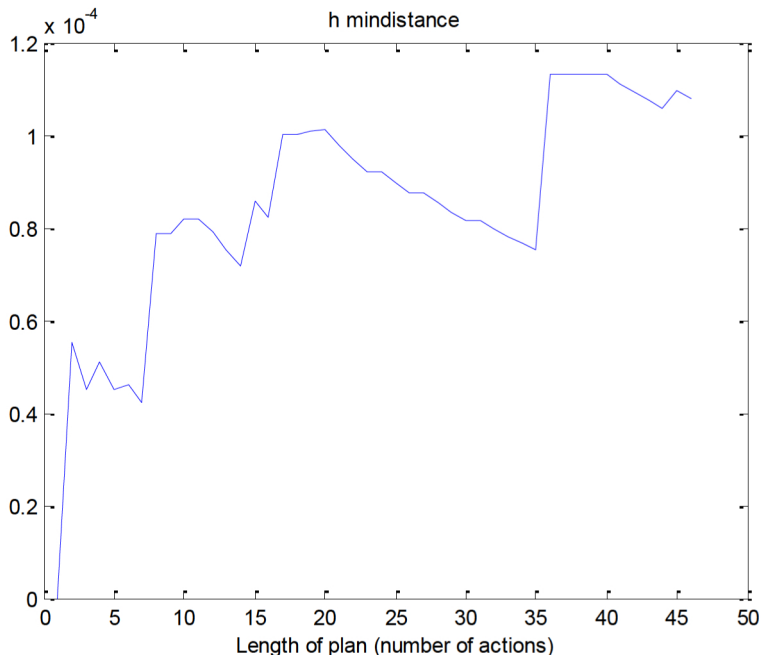


Fig. 17. Minsta avstånd för den bästa planen under genomförandet till närmsta gräns.

De elva klasserna är utformade med avseende på planer, struktur och f -värde i föregående gruppering. Varje klass bestäms av dess innehåll. Eftersom det är de 1000 bästa planerna som är grupperade, är de alla relativt bra, men är av lite olika karaktär. Man kan säga att varje klass bestäms av kvaliteten på sin bästa plan (minimum h -värde).

Eftersom de flesta av planerna är ”bra” så betraktar vi nu de tio bästa planerna med avseende på h . I figur 18 är den bästa planen ritas i rött som jämförelse. Vi kan se att den bästa planen inte alltid har det största minsta avståndet till gränsen, men att den genomgående är av god kvalité.

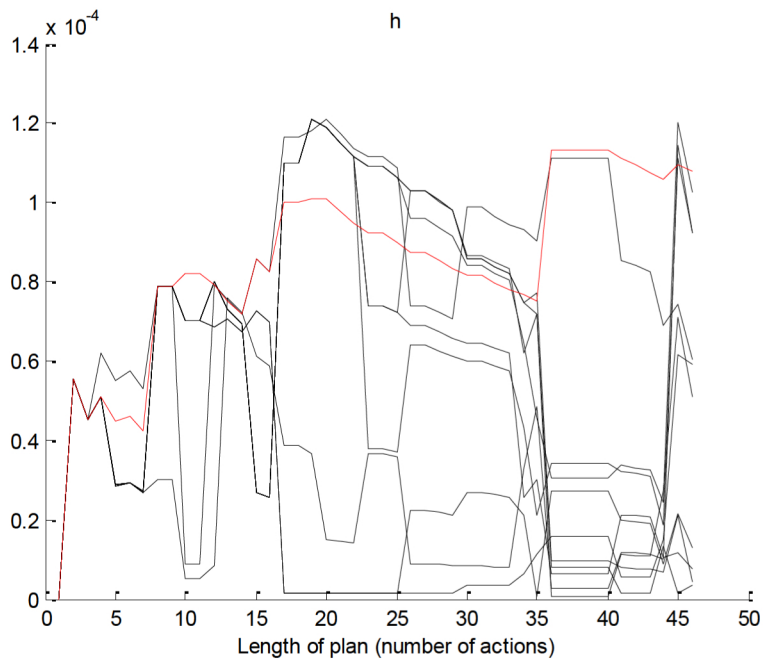


Fig. 18. Minsta avstånd till närmsta gräns för de tio bästa planerna.

8 Analys av simuleringsresultat

8.1 Allmän beskrivning av Bogalands simuleringsexperiment

Experimentet som genomfördes i detta arbete omfattande en stor del av Bogalandscenariot, innehållande alla aktioner som utförs av de blåa styrkorna (BFOR) från dag -70 till dag 360. Detta scenario består av tre operativa faser, driftsättning (deployment), formning (shaping) och säkerhetsställande (Security Support). Under Deployment fasen, genomförs aktioner som säkring av hamnar för avstigning eller upprättande av en No Fly Zone (NFZ). Shaping-fasen omfattar aktioner som kräver ingrepp mot fientliga krafter, såsom neutralisering, genomdrivning av embargo eller begränsning av flödet av irreguljära rekryter och illegala vapen.

Slutligen inleds aktioner i Security Support-fasen för att säkerställa stöd och ett korrekt överlämnande av makten till den lokala regeringen. Dessa aktioner innehåller bland annat stöd till valprocessen och stödorganisationer (NGOs), samt identifiering och isolering av fientliga aktörer från Bogaland befolkning.

Dessa tre operativa faser genomförs genom 43 olika BFOR-aktioner. Varje aktion har mellan 1 till 8 alternativa sätt att genomföras, varav några kanske inte utförs alls. Dessutom är vissa av dessa aktioner indelade i sub-aktioner, d.v.s. aktioner som endast kan exekveras som en följd av det tidigare valda aktionsalternativet. Tabell 3 nedan listar de första trettio aktioner som har modellerats i vårt scenario.

Tabell 3. Några aktioner i Bogalandscenariot.

Establish liasion	Protect Oil/gas/key Infrastructure
Establish liasion	Deploy in Visby area in (some) force and Negotiate
Establish NFZ/MEZ	D-day Enforce cease fire by deploying in Visby area
D-day Stabilise situation by deploying in between	Deploy in Visby
Deploy in secure parts	Kill/Capture non compliant
E. Kasuria and E.Mida Local Police Enforcing	Negotiate and buy out Kasuria and/or Mida
Support E.Kasuria and E.Mida Local police	Handover to Bogaland authorities
Neutralise MDCT By Negotiating	Disarm compliant FWF regular units in On Gotland
Liase with Kasuria and Neutralise MDCT	Liase, Neutralise other Irregulas
Neutralise MDCT	Neutralise all Irregulas
Liase and Kill/Capture MDCT	Liase, Neutralise and Disarm all Irregulars
Kill/Capture MDCT	Neutralise and Disarm all Irregulars
Survey Oil/gas/key infrastructure With BFOR Mil. Units (no protection)	Stabilise situation by deploying in between West Kasuria and West Mida
Protect Oil/gas/key Infrastructure With BFOR Mil. units	Establish liasion
Survey Oil/gas/key infrastructure	Disarm FWF regular units in W Kasuria and W Mida Kill/Capture non compliant

Sammanlagt modellerades 40 aktörer i detta scenario. Dessa aktörer är listade i tabell 4. Färgerna till vänster om varje aktör anger de ursprungliga rollerna som aktörerna har i scenariot. Blå färg representerar BFOR och dess allierade, medan röd färg visar fiender. Grönt står för neutrala aktörer och gula aktörer är de vars ställning eller förhållande till oss inte är klart eller ännu fastställt.

För vårt experiment har vi initierat aktörernas tillståndsvariabler med hjälp av data från våra ämnesexperter. Detta inkluderade även aktörers relationer till varandra. Vi definierade också det önskade sluttillståndet för varje aktör i samarbete experterna.

Under scenariot berörs aktörerna direkt eller indirekt av de aktioner som genomförs av BFOR. För varje sådan aktion identifieras först samtliga inblandade aktörer och därefter definieras deras roller i aktionen med hjälp av färgkodningen, t.ex., är den aktör som genomdriver aktionen blå, motståndaren röd, osv.

För alla inblandade aktörer ändras värden på deras tillståndsvariabler som en följd av aktionen. Detta är vad som vi menar med direkt effekt. Alla andra aktörer påverkas utifrån sin relation till de direkt berörda aktörerna, t.ex. om mina allierade håller på att attackeras av aktören A påverkas mitt förhållande till A negativt.

Tabell 4. Alla aktörer i Bogalandsscenariot.

1 East Kasuria reg 1	21 East Mida reg 2
2 East Kasuria reg 2	22 East Mida reg 3
3 East Kasuria reg 3	23 East Mida reg 4
4 East Kasuria reg 4	24 West Mida reg 1
5 West Kasuria reg 1	25 West Mida reg 2
6 West Kasuria reg 2	26 West Mida reg 3
7 West Kasuria reg 3	27 West Mida reg 4
8 West Kasuria reg 4	28 GM reg 1
9 GK reg 1	29 GM reg 2
10 GK reg 2	30 Mida Liberation Militia
11 Death Star Division	31 Homeland Military Militia
12 Movement of Delta Christian Tradition	32 GR
13 East Kasuria civ Dn	33 East Mida civ E
14 East Kasuria civ Di	34 West Mida civ Em
15 West Kasuria civ E	35 West Mida civ Eh
16 West Kasuria civ D	36 G civ E
17 G civ D	37 Kasurian Special Police
18 Westland	38 Freedom Front
19 Northland	39 FFAB
20 East Mida reg 1	40 BFOR

Varje aktion som utförs resulterar i en uppsättning av reaktioner i takt med att aktörernas tillståndsvARIABLER och relationer till andra aktörer uppdateras. Dessa reaktioner kan i sin tur resultera i ny iteration av reaktioner. I vårt experiment begränsar vi antalet reaktioner till två iterationer.

8.2 Simuleringsutdata

I experimentet producerade simulatören 10 000 rader med data som i själva verket är en liten del av den totala teoretiska mängd utdata. Vid analys av resulterade data hittade vi olika mönster som har visualiserats och visas i följande figurer. Figur 19 visar parameter fördelningen för de 1000 först utvärderade planerna. Observera att parametrarna är fördelade på olika sätt eftersom scenariot påverkade olika delar av en aktör under hela genomförandet.

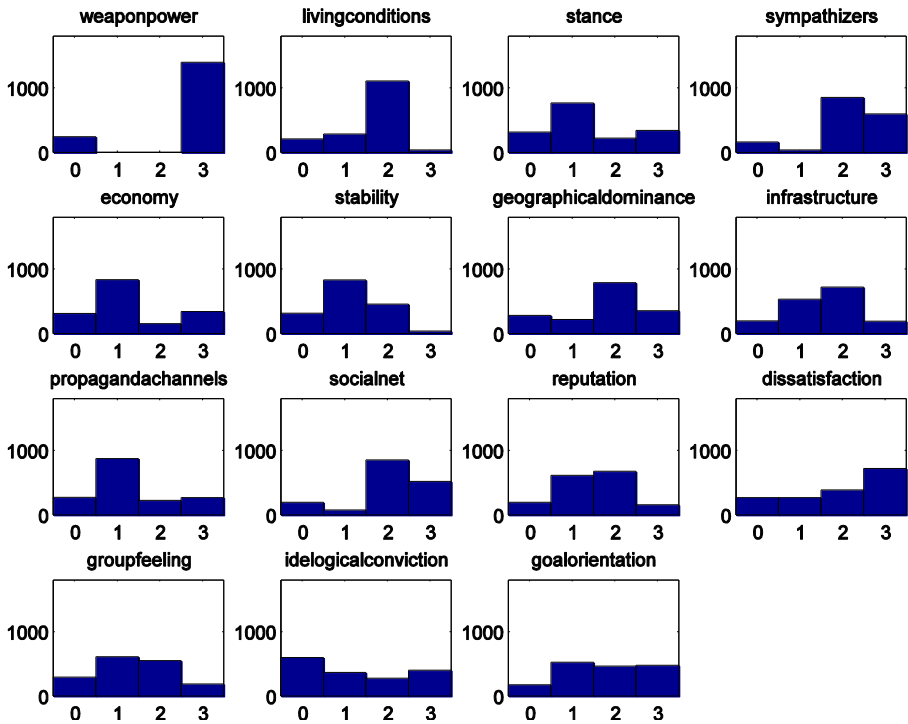


Fig. 19. Histogram över distributionen av de 15 olika parametrarna. Varje histogramstapel summeras över alla aktörer och aktioner för den bästa planen.

De planer som genererades var av olika storlekar, eftersom inte alla 43 aktioner kunde genomföras i alla planer. I genomsnitt exekverades 39 aktioner per plan, se figur 20. Observera att en kortare plan kan ge ett lägre g -värde, men det garanterar inte att h -värdet också är liten.

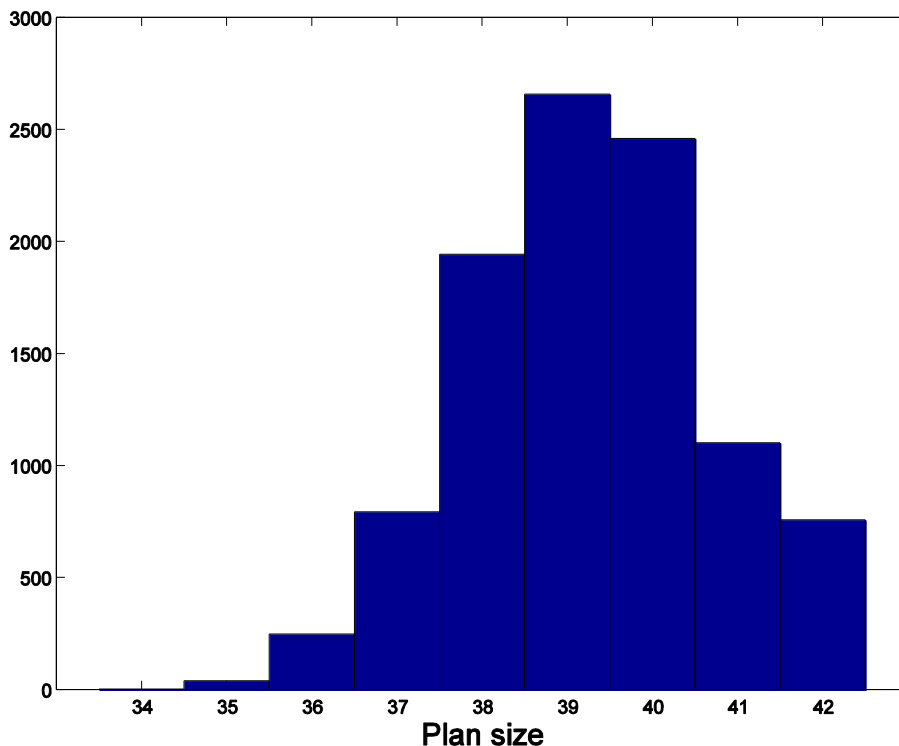


Fig. 20. Fördelningen över planstorleken för alla 10 000 planer. Planstorleken skiljer från plan till plan eftersom ett varierande antal åtgärder genomförts.

I figur 21, figur 22 och figur 23 ser vi f , g och h -värdena för alla planstorlekar. För f -värdet observerar vi en konstant utveckling där f balanseras av g och h värdena. För g -värden ser vi att ju fler aktioner en plan har, desto högre detta värde blir, vilket är naturligt eftersom mer arbete har gjorts i denna plan. Vad som kan noteras i figur 5 är att h -värdet verkar sjunka i takt med att planstorleken växer. Det finns dock vissa *outliers* med små h -värden och färre utförda aktioner, t.ex., hittades en mycket effektiv plan med endast 38 genomförda aktioner, figur 23.

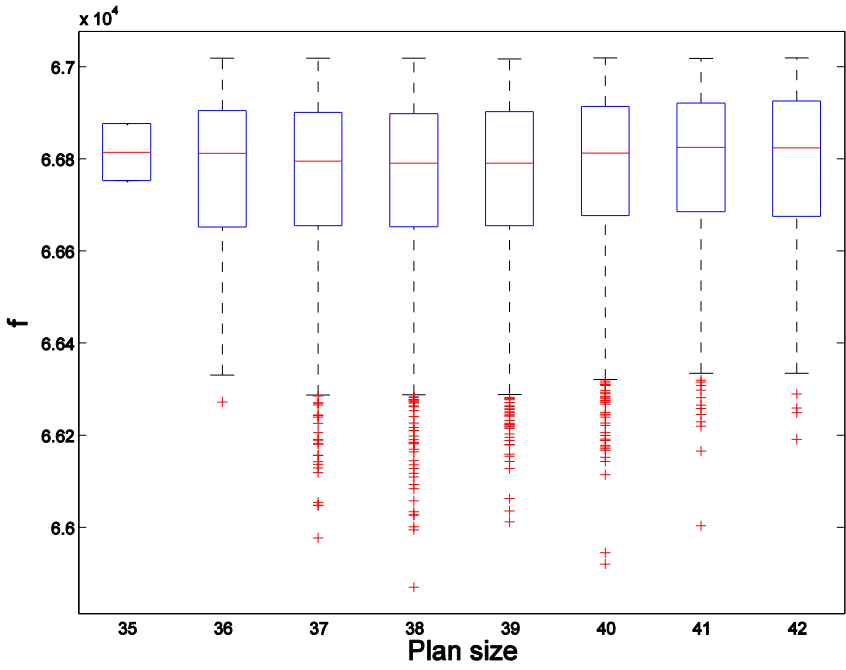


Fig. 21. Box diagram över genomsnittliga f -värden för olika planstorlekar.

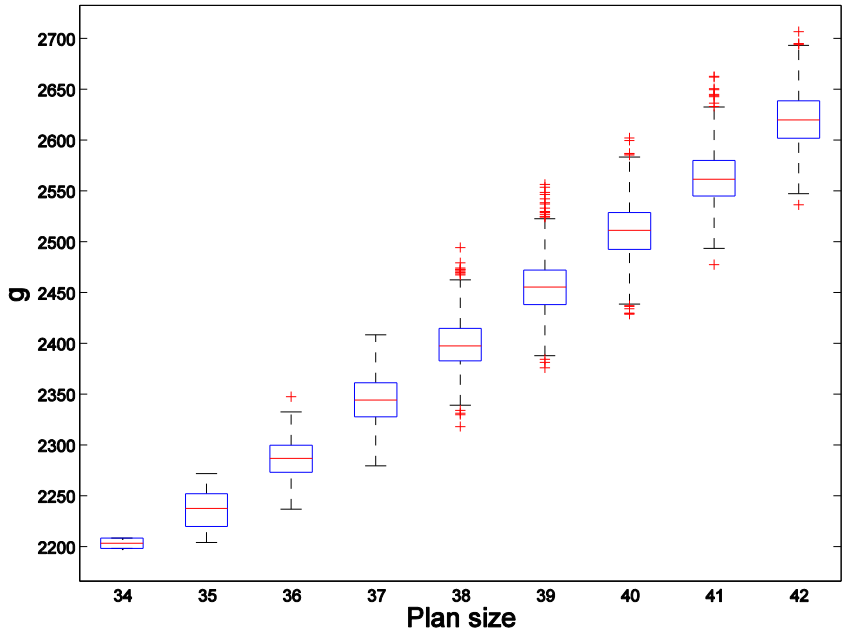
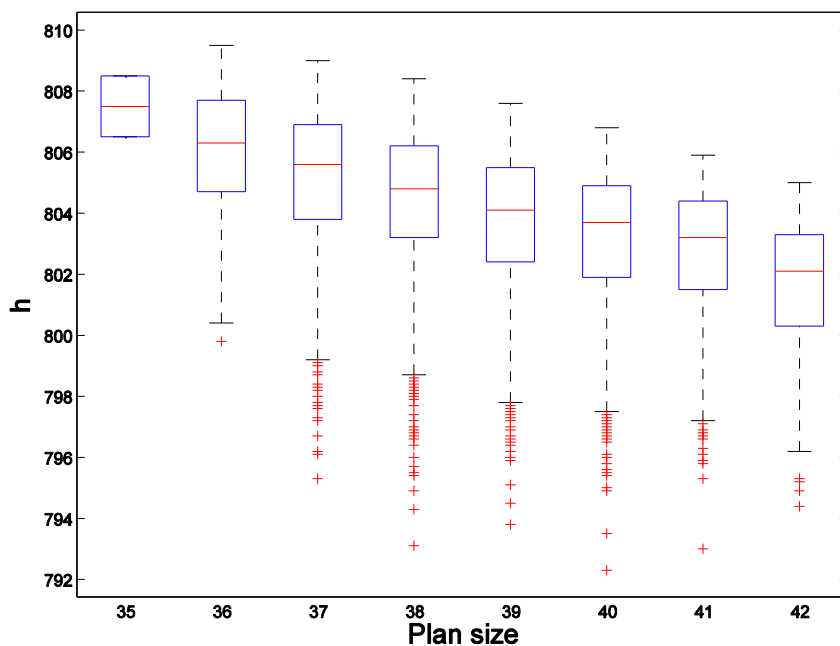
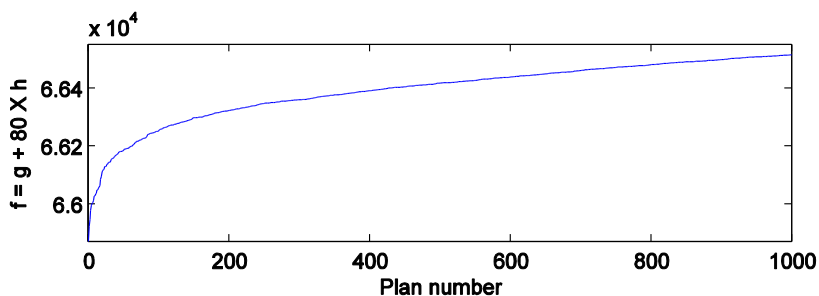


Fig. 22. Box diagram över genomsnittliga g -värden för olika planstorlekar.Fig. 23. Box diagram över genomsnittlig h -värden för olika planstorlekar.

Efter simulering av 1000 planer ritade vi alla f -värden i stigande ordning, se figur 24. Här kan vi se att de bästa planerna (lägsta f -värden) erhöles i praktiken av några hundra simuleringar.

Fig. 24. Diagram över f -värden för 1000 sorterade planer.

9 Diskussion

Det är lätt att observera från analysen att framsteg görs av den bästa planen. En jämförelse mellan de två bubbeldiagramen figur 10 och figur 11 visar de framsteg som gjorts. Från tidsserierna för h -värden i figur 9 ser vi dock att de framsteg som gjorts är långt ifrån de framsteg som vi försöker uppnå. Denna analys visar planens utvecklare att bara ett litet steg tas i rätt riktning, d.v.s. h sänks med cirka 5 %. De behöver utveckla bättre och många fler aktioner för att närma sig sluttillståndet. En intressant iakttagelse är att medan det finns $1,722 \cdot 10^{361}$ olika tillstånd i scenariot så finns det endast $2,164 \cdot 10^{23}$ möjliga planer i försöket. Eftersom varje plan kommer att hamna i ett scenariotillstånd är det praktiskt taget omöjligt att exakt nå sluttillståndet som är ett enda tillstånd i scenariot.

Från kraven om att ha en robust uppsättning alternativa planer är det nödvändigt att förändra den traditionella A^* -algoritmen. För det första beslutar vi att inte stoppa algoritmen när den första fullständiga planen är utvärderad, istället fortsätter vi att utvärdera fler planer för att hitta en robust uppsättning planer. För det andra är det nödvändigt att införa en vikt vid beräkningen av f eftersom planerna under utvärdering aldrig nå sluttillståndet; Vi använder $f = g + 80h$. Detta är domänberoende och kan modifieras. Om planerna som utvärderas är mer framgångsrika kommer vikten "80" att sänkas.

Även om det är uppenbart att vi kan uppnå det som vi optimerar för, är vi förvånad över de små variationer vi ser på de mindre effekter som övervakas (men som vi inte optimerar) i Figur 8 när det är mycket som äger rum i scenariot, vilket framgår av bubbeldiagramen. Dessa effekter utvecklades oberoende av sluttillståndet, d.v.s. inte som olika delar av sluttillståndet. De ligger därmed troligen inte direkt i optimeringens väg mot sluttillståndet.

Vid utvärdering av aktioners påverkan och betydelse är det intressant att jämföra box-plottarna i känslighetsanalysen i sektion 7.5 med regressionsträdsanalysen i sektion 7.6. Vi noterar att aktion A_{25} , med högst negativ påverkan i figur 13 är den första aktionen att delas i regressionsträdet i figur 14 och A_7 , med den högsta tredje kvartilen i box-plottarna är den andra aktionen att delas i regressionsträdet. Tillsammans kompletterar dessa metoder varandra eftersom box-plottarna beskriver aktionernas direkta påverkan på planen medan regressionsträdet ger betydelsen av varje aktion givet den sekvens av val som görs på tidigare nivåer. Därtill ger regressionsträdet också en partition av alternativen för varje aktion.

Dessutom är regressionsträdet mycket framgångsrikt i att göra förutsägelser om resultatet av simuleringen på g och h med fel av ca 1–2 %. Detta uppnås för varje plan på millisekunder jämfört med 24 sekunder för en simulering av planen (för en normal PC). När väl regressionsträdet är inlärt så kan de fungera som beslutsstöd när många planer måste utvärderas under en kort tid inför omplanering av en plan som håller på att genomföras.

Att hitta gränsen för en operation analyseras i sektion 7.7. I figur 16 kan vi observera avståndet från den bästa planen mot gränserna till andra grupper av planer under det stegvisa genomförandet aktion för aktion av den bästa planen. Då dessa gränser är elva-dimensionell hyperplan är det inte möjligt att visualisera dem för beslutsfattare. I stället presenterar vi tidsserier av avståndet från den bästa planen till alla angränsande grupp av planer allteftersom aktioner utförs steg för steg. Om denna typ av presentation kombineras med annan information om konsekvenserna av planerna i andra grupper, så ger det befälhavaren kunskap om vilken av de elva gränserna som bör övervakas noggrant under planens genomförande.

Vi anser att analysen av gränser tillsammans med box-plottarna och rent faktisk övervakning av framstegen hos en operation är de viktigaste analyserna som bör utföras under planens genomförande. Under planens utvecklingsprocess ger alla analysmetoder viktiga synpunkter på planen som är under utveckling.

En ytterligare iakttagelse som gjordes under projektet är behovet av att erbjuda datorstöd till domänexperterna vid utvecklingen av scenario och plan. Ett scenario som är så stor som 40 aktörer där varje aktör är modellerad med 15 parametrar med sina interna agendor och externa relationer, samt en plan med 43 aktioner med 109 alternativ är alltför stor för att hanteras manuellt på ett effektivt sätt. Den beteendemodellering som diskuteras i sektion 5.2 minskar problemets storlek genom att införa en generisk modell. Detta är ett steg i riktning mot att ge designstöd till domänexperter. Dock gjordes utvecklingen av planen med alla dess alternativ helt manuellt av domänexperter. Medan direkt designstöd var utanför detta projekts ram, blir det avgörande att ge ett datorstöd till de domänexperter som utvecklar planen och scenariot, för att hindra dem från att göra logiska fel i operationsplanering.

10 Slutsats

I denna rapport visar vi att det är möjligt att dra viktiga slutsatser om lämpligheten av en militär operativ plan i dess förmåga att uppnå ett förutbestämt sluttillstånd. Genom modellering av alternativa planer och ett scenario så kan vi analysera de bästa möjliga planerna som är tillgängliga inom gränserna framlagda av militära planerare med hjälp av ett omfattande antal processer för analys av data.

Vi dra slutsatsen att denna analys kommer att ge beslutsfattare information om hur långt de bästa planerna närmar sig angivna mål, om dessa planer är omgivna av en robust mängd alternativa planer, samt vilka aktioner i planen är mest viktig för planen framgång.

Detta ger planerare tidig feedback under planen utveckling och ger befälhavare information om var de bör fokusera sin uppmärksamhet under planens genomförande.

Referenser

- [1] Schubert, J., Moradi, F., Asadi, H., Hörling, P. and Sjöberg, E., Simulation-based Decision Support for Effects-based Planning, in *Proceedings of the 2010 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, 2010, pp. 636–645.
- [2] Smith, E. A., *Complexity, Networking, and Effects-based Approaches to Operations*. Washington, DC: Department of Defense CCRP, 2006.
- [3] Hunerwadel, J. P., The effects-based approach to operations: Questions and answers, *Air & Space Power Journal* **20**:53–62, Spring 2006.
- [4] *Effects-based Approach to multinational operations, Concept of operations (CONOPS) with implementation procedures*, Version 1.0. Suffolk, VA: Unites States Joint Forces Command, 2006.
- [5] Farrell, P. S. E., New operations decision support requirements derived from a control theory model of effects-based thinking, in *Proceedings of the 13th International Command and Control Research and Technology Symposium*, 2008, paper 248, pp. 1–17.
- [6] *Allied Command Operations Comprehensive Operations Planning Directive (COPD-Trial version)*. Brussels: Supreme Headquarters Allied Power Europe, NATO, 25 Feb. 2010.
- [7] Schubert, J., Wallén, M. and Walter, J., Morphological refinement of effect-based planning, in *Stockholm Contributions to Military-Technology 2007*, M. Norsell, Ed. Stockholm: Swedish National Defence College, 2008, pp. 207–220.
- [8] Schubert, J., Multi-level Subjective Effects-based Assessment, in *Proceedings of the 13th International Conference on Information Fusion*, 2010, paper We3.4.1, pp. 1–8.
- [9] Duda, R. O., Hart, P. E. and Stork, D. G., *Pattern Classification* (2nd Edition). Wiley-Interscience, 2000.
- [10] Huang, C. and Darwiche, A., Inference in belief networks: A procedural guide, *International Journal of Approximate Reasoning* **15**(3):225–236, Oct. 1996.
- [11] Cozman, F. G., Generalizing variable elimination in Bayesian networks, in *Workshop on Probabilistic Reasoning in Artificial Intelligence*, 2000, pp. 27–32.
- [12] Hamming, R. W., Error detecting and error correcting codes, *The Bell Systems Technical Journal* **29**(2):147–160, Apr. 1950.

- [13] Wu, F. Y., The Potts model, *Reviews of Modern Physics* **54**(1):235–268, Jan. 1982.
- [14] Peterson, C. and Söderberg, B., A new method for mapping optimization problems onto neural networks, *International Journal of Neural Systems* **1**(1):3–22, May 1989.
- [15] Bengtsson, M. and Schubert, J., Dempster-Shafer clustering using Potts spin mean field theory, *Soft Computing* **5**(3):215–228, Jun. 2001.
- [16] Schubert, J., Clustering belief functions based on attracting and conflicting metalevel evidence using Potts spin mean field theory, *Information Fusion* **5**(4):309–318, Dec. 2004.
- [17] Ahlberg, A., Hörling, P., Johansson, K., Jöred, K., Kjellström, H., Mårtenson, C., Neider, G., Schubert, J., Svenson, P., Svensson, P. and Walter, J., An information fusion demonstrator for tactical intelligence processing in network-based defense, *Information Fusion* **8**(1):84–107, Jan. 2007.
- [18] Rosling, H., Stats that reshape your worldview, *Technology, Entertainment, Design*, 2006. [Online]
http://www.ted.com/talks/hans_rosling_shows_the_best_stats_you_ve_ever_seen.html (januari 2013)
- [19] Schubert, J. and Hörling, P., Explaining the Impact of Actions, in *Proceedings of the 15th International Conference on Information Fusion*, 2012, pp. 354–360.
- [20] Breiman, L., Friedman, J., Stone, C. J. and Olshen, R. A., *Classification and Regression Trees*, Boca Raton: Chapman and Hall, 1984.
- [21] *Statistics Toolbox*. Natick, MA: The MathWorks Inc., 2012.
- [22] Cortes, C. and Vapnik, V., Support-vector networks, *Machine Learning* **20**(3):273–297, Sep. 1995.
- [23] Schubert, J. and Linderhed, A., Learning boundaries on military operational plans from simulation data, in *Proceedings of the 2011 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, 2011, pp. 1325–1332.
- [24] Chang, C.-C. and Lin, C.-J., LIBSVM: a library for support vector machines, in *ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology* **2**(3), article no. 27, Apr. 2011. [Online]
<http://www.csie.ntu.edu.tw/~cjlin/libsvm> (januari 2013)

FOI är en huvudsakligen uppdragsfinansierad myndighet under Försvarsdepartementet. Kärnverksamheten är forskning, metod- och teknikutveckling till nytta för försvar och säkerhet. Organisationen har cirka 1000 anställda varav ungefär 800 är forskare. Detta gör organisationen till Sveriges största forskningsinstitut. FOI ger kunderna tillgång till ledande expertis inom ett stort antal tillämpningsområden såsom säkerhetspolitiska studier och analyser inom försvar och säkerhet, bedömning av olika typer av hot, system för ledning och hantering av kriser, skydd mot och hantering av farliga ämnen, IT-säkerhet och nya sensorers möjligheter.



FOI
Totalförsvarets forskningsinstitut
164 90 Stockholm

Tel: 08-55 50 30 00
Fax: 08-55 50 31 00

www.foi.se