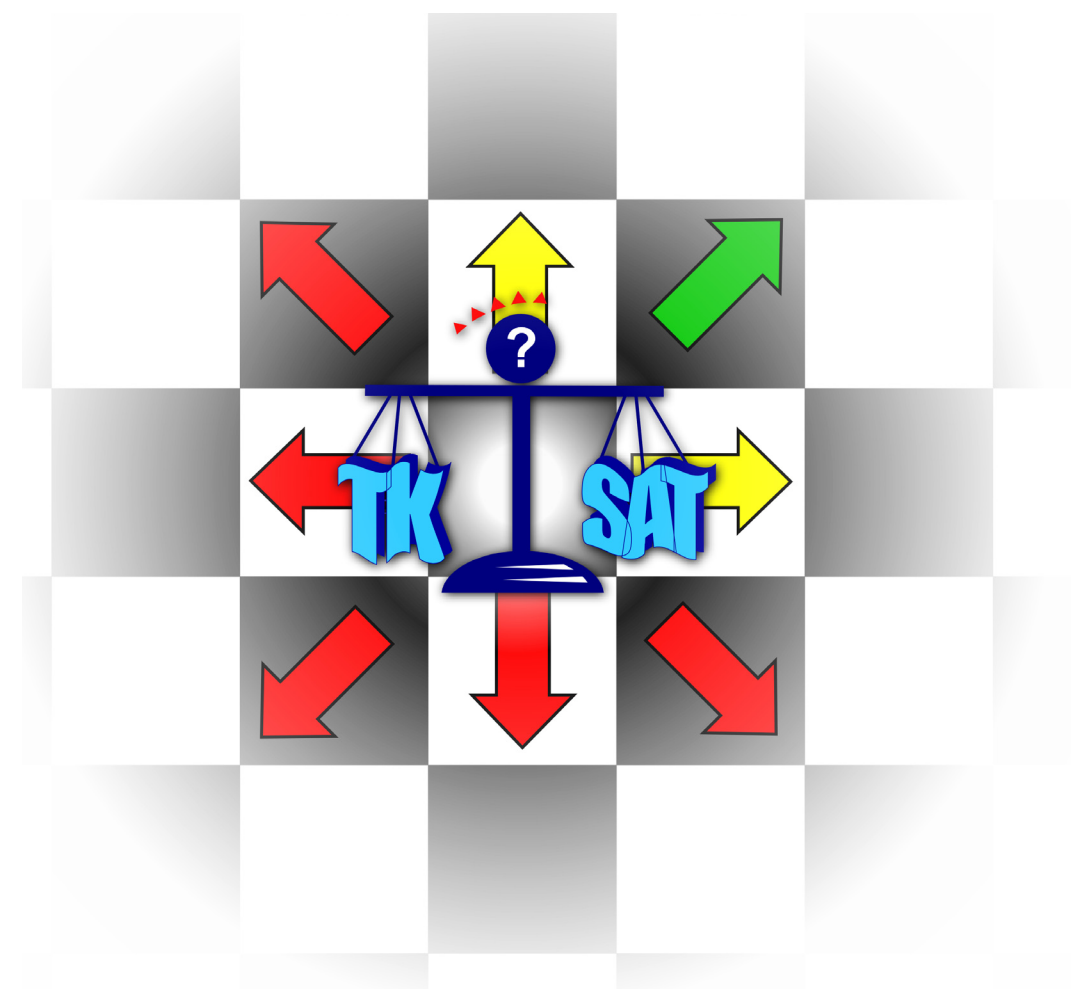


PETER KLUM, GUSTAF OLSSON, LARS BERGLUND, PATRIK HERMANSSON



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.

Peter Klum, Gustaf Olsson, Lars Berglund,
Patrik Hermansson

Slutrapport - Dynamisk Taktikanpassning TK/SAT

Titel	Slutrapport - Dynamisk Taktikanpassning TK/SAT
Title	Final Report - Dynamic EW/LO Management
Rapportnr/Report no	FOI-R--2374--SE
Rapporttyp Report Type	Metodrapport Methodology report
Sidor/Pages	64 p
Månad/Month	December
Utgivningsår/Year	2007
ISSN	ISSN 1650-1942
Kund/Customer	Försvarsmakten
Forskningsområde Programme area	6. Telekrig och vilseledning 6. Electronic Warfare
Delområde Subcategory	61 Telekrigföring med EM-vapen och skydd 61 Electronic Warfare including Electromagnetic Weapons and Protection
Projektnr/Project no	E7110
Godkänd av/Approved by	Mikael Sjöman
FOI, Totalförsvarets Forskningsinstitut	FOI , Swedish Defence Research Agency
Avdelningen för C	Command and Control Systems
Box 1165	
581 11 Linköping	SE-581 11 Linköping

Sammanfattning

Denna slutrapport avrapporterar åren 2006 - 2007 inom FoT-projektet ”Dynamisk Taktikanpassning TK/SAT” samt resultat från genomförd förstudie 2005. På grund av olika omständigheter avslutades projektet 2007, ett år i förväg.

Slutmålet för projektet har varit att demonstrera programverktyg för enskilda plattformar och mindre förband som dynamiskt stödjer beslutsfattaren i användning av SAT (SignaturAnpassningsTeknik) och TK (TeleKrig), för en ökad överlevnad. Syftet med dessa demonstrationer har varit att värdera och visa på stödfunktionaliter lämpliga för eventuell framtida integration i en plattformens ledningssystem. Fokus har legat på markstrid med tidshorisonten -2014.

Rapporten sammanfattar tankar och idéer samt konkret metodarbete som genererats inom projektet. Följande slutsatser och rekommendationer avslutar rapporten:

- TK och SAT kompletterar varandra och bör studeras integrerat.
- Vid fortsatta studier av TK och SAT bör dessa betraktas som integrerade mot plattformens ledningssystem.
- TK och SAT bör betraktas i ett taktiskt uppdragsperspektiv.
- För att medge en dynamisk taktikanpassning måste de dynamiska egenskaperna hos plattformar och olika åtgärder tydligare kravsättas och värderas. För detta syfte kan tillståndsmodellen nyttjas.
- Modeller behöver utvecklas där tillstånd och tillståndstider kan bedömmas.
- Metodik för försök och försöksanalys där tillstånd och tillståndstider kan bedömas/mätas behövs utvecklas i samverkan med Försvarmakten.
- Tillståndsmodellens användning för förbandsvärdering bör studeras.
- Förenklade modeller som medger tidseffektiv exekvering men samtidigt ger relevanta svar är nödvändiga att utveckla, för att medge dynamisk taktikanpassning.
- Bredare forskningsansträngningar kring Dynamisk Taktikanpassning bör göras.
- Användarna måste aktivt delta i utvecklingsprocessen för att stödet ges rätt utformning och att systemtilltro skapas.
- Möjligheten bör undersökas om någon del av framkommen metodik skulle kunna implementeras och testas i StridsLedning Bataljon (SLB).

Nyckelord: telekrig, TK, signaturanpassningsteknik, SAT, taktik, värdering, planering

Summary

This report documents the work that has been done in the project “Dynamic EW/LO Management”, during the period 2006 to 2007. Included in the report are also results from the pre-study performed during 2005. The project ends 2007, which is one year earlier than scheduled from the start.

The objective of the project has been to demonstrate software tools for single platforms and small military units. These software tools should support the commander, in the use of SMT (Signature management technology) and EW (Electronic Warfare), to increase the survivability. The purpose of the demonstrations has been to assess and to point out certain functionalities that are suitable for integration into the command and control system of a platform. The work has focused on land warfare in 2014.

The report summarises thoughts, ideas and methods that have been generated within the project. Conclusions and recommendations from the project are:

- EW and SMT are complement to each other and should be studied integrated.
- EW and SMT should be regarded from a system perspective.
- EW and SMT should be regarded from a tactical perspective.
- Requirements for the dynamic properties of different platforms and actions must be set more distinct in order to allow Dynamic EW/LO management. The “state” model can be used for this purpose.
- Models for evaluation of states and their corresponding times must be developed.
- Measure and evaluation methods for trials and analysis where states and their corresponding times need to be developed in corporation with the Armed Forces.
- The application of the “state” model for assessment of units should be studied.
- The development of simplified models admitting both time efficient execution and relevant results are required to allow dynamic tactical adaptation.
- Extended efforts of research in the area of dynamic tactical adaption should be made.
- The users must actively participate in the development process to guarantee a suitable support design and confidence.
- The possibility to implement parts of the developed methods in command and control systems should be explored.

Keywords: electronic warfare, EW, signature management technology, SMT, tactics, assessment, planning

Innehållsförteckning

1	Inledning	7
1.1	Nyttan för Försvarsmakten.....	7
1.2	Bakgrund.....	8
1.3	Projektet.....	8
1.3.1	Mål.....	8
1.3.2	Avgränsningar.....	9
1.3.3	Referensgrupp.....	9
1.4	Konsekvenser av avslut.....	9
1.5	Läsanvisningar.....	10
1.6	Tack till.....	10
2	Vision	11
2.1	Navigatorn.....	11
2.2	Nyttan vid kravställning.....	12
3	Stödet	14
3.1	Stödnivåer.....	14
3.1.1	Informering.....	14
3.1.2	Rekommenderande.....	16
3.1.3	Effektuerande.....	18
3.2	BMS - VMS.....	18
3.3	Systemtilltro.....	20
4	Övergripande behandlade faktorer	21
4.1	Konflikter: behov av omvärldsuppfattning - Telekrig - Signaturanpassning.....	21
4.2	Scenariot.....	23
4.3	Uppdragets mål/karaktär.....	23
4.4	Den aktuella stridsfasen.....	23
4.5	Rules of Engagement (ROE).....	24
4.6	Begränsningar.....	24
4.7	Lägesuppfattning.....	25
4.8	Handlingsalternativ.....	25
4.9	Förbandskoordinering.....	26
4.10	Tid till beslut.....	26

5	Tekniska faktorer	28
5.1	Omgivning, hot och plattform	28
5.2	Samband mellan faktorer	29
6	Utvärdering och värdering	30
6.1	Definitioner	30
6.2	Utvärdering	31
6.3	Värdering	31
6.3.1	Värderingskriterier	32
6.3.2	Några metoder för värdering	32
6.3.3	Några metoder för planering	34
6.4	Från värdering till stöd	35
7	Tillämpad modell - Tillståndsmodellen	36
8	Demoarbeten	38
8.1	Demo 0 (genomförd i förstudien 2005)	38
8.2	Demo 0.5 (genomförd 2006)	42
8.3	Demo 1 (genomförd 2006)	44
8.3.1	Scenario	44
8.3.2	Tillämpning av tillståndsmodellen	46
8.4	Demoarbete 2007	49
8.4.1	Sannolikhetsbedömning	50
8.4.2	Betingad sannolikhet	50
8.4.3	Hotprediktering	53
9	Omvärldsbevakning	57
10	Diskussion, slutsatser och rekommendationer	58
10.1	Generellt	58
10.2	Tillståndsmodellen	59
10.3	Mot visionen	60
11	Referenser	61

Bilaga: Hotpresentation

1 Inledning

Denna slutrapport avrapporterar åren 2006 - 2007 inom FoT-projektet ”Dynamisk Taktikanpassning TK/SAT” samt resultat från genomförd förstudie 2005. Rapporten sammanfattar tankar och idéer samt konkret metodarbete som genererats inom projektet. Rapporten avslutas med rekommendationer och slutsatser.

Signaturanpassningsteknik (SAT) och telekrigsteknik (TK-teknik) är två viktiga stödfunktioner för att öka överlevnaden för en plattform eller ett förband så att ett uppdragsmål kan nås. Vilken verkan en SAT- och/eller TK-åtgärd får är ofta en komplex frågeställning som inbegriper parametrar kring hotet, omgivningen, egen plattform och effekten av egna åtgärder. Vilken nytta SAT- och TK-åtgärder får över tiden, är än mer svårbedömd utan relevanta stödverktyg. Felaktig användning av SAT- och TK-åtgärder kan vara kontraproduktiva och snarare minska överlevnadsmöjligheten för en plattform eller ett förband. Vid ett ökat tempo i striden ökar även risken för felaktigt handlande.

Citat från Försvarsmaktens FoT-strategi 2002 [1]:

”Rörligheten och tempot i striden ökar. Kraven på kortare tid från upptäckt till insats kommer därmed att öka. Vi måste därför ha förmågan att snabbare än motståndaren kunna upptäcka hot, identifiera möjligheter och besluta om eventuella insatser i den framtida striden.”

Utan stödverktyg finns därför stor risk att en stressad beslutsfattare fattar felaktiga TK/SAT beslut som äventyrar uppdraget.

Den vision som projektet arbetat mot, är ett stödsystem som *snabbare än motståndaren kan upptäcka hot, identifiera möjligheter och besluta om eventuella insatser* under ett uppdrag så att ett uppdragsmål kan nås. Stödsystemet analyserar den aktuella situationen och värderar verkan av möjliga framtida åtgärder. Den insatssekvens över tiden som på bästa sätt (största nyttan) leder till att uppdragsmålet nås planeras av stödsystemet. De planerade insatserna presenteras för beslutsfattaren som informationsunderlag, rekommendation eller som underlag för automatisk eller semiautomatisk exekvering. Förändras förutsättningarna omplanerar stödsystemet dynamiskt en mer lämplig insatssekvens.

Projektets förstudie [2] beaktade även TK/SAT avvägningar vid systemutveckling och inför uppdrag. Projektet är övertygat om att den metodik som utvecklats för uppdragsstöd, vidareutvecklat även kan användas inför uppdrag och vid systemutveckling för TK/SAT avvägningar.

1.1 Nyttan för Försvarsmakten

Avsikten med projektet har varit att komma Försvarsmakten till nytta genom att:

- *utveckla stödverktyg för SAT och TK som höjer förmågan hos plattformar och mindre förband att genomföra sin uppgift.*
Genom TK/SAT stödverktyg kommer operatörer i framtida scenarier effektivare förstå och hantera den aktuella hotbilden och öka sin överlevnad med välavvägda SAT och TK åtgärder.
- *utveckla metodik där den balanserade nyttan hos olika skyddstekniker kan värderas.*
Genom att samordna och kombinerat avväga SAT och TK-teknik utifrån dess

användning kan en helhetssyn fås där snäva suboptimeringar kan undvikas¹. Med en utvecklad metodik för balanserad nyttovärdering kan billigare, bättre och mer ändamålsenliga plattformar och system upphandlas.

- *stödja och bidra till Försvarmaktens utveckling av planeringsverktyg och stridsledningssystem.*

Genom att resultat från projektet kan implementeras i utvecklingen av t.ex. EWSim (Electronic Warfare Simulation interface model) [3, 4] samt indirekt LKS (LedningsKrigföringsSimulator) [5] samt slutresultat nyttjas i framtida utvecklingar av SLB (StridsLedning Bataljon).

- *kontinuerligt föra en dialog med Försvarmaktens företrädare (användarna) för att skapa förståelse av behov till stödverktyg.*

Genom diskussioner på ett tidigt stadium kan användarnas behov lyftas och användarsynpunkter på stödet införas i ett tidigt skede. Med användarnas medverkan ges förutsättningar att tilltro till stödfunktioner kan skapas.

De två första punkterna avser nyttan i ett längre perspektiv, medan de två senare är mer kortsiktiga.

1.2 Bakgrund

Projektet bygger på två tidigare förstudier. I förstudien ”Systemvärdering SAT [6] (finansierad från FoT 8 ”Sensorer över ytan och Signaturanpassning”) föreslogs bland annat att studera ”Avvägning SAT-TK” samt ”Taktisk och situationsanpassad användning av SAT”. Dessa två förslag låg till grund för förstudien ”Värdering avvägning TK/SAT, en förstudie” [2] (samfinansierad till lika delar av FoT 8 och FoT 16 ”Telekrig”) där riktlinjerna för detta projekt togs fram.

1.3 Projektet

Projektet ”Dynamisk Taktikanpassning TK/SAT” är finansierat till lika delar från FoT 8 och FoT 16. En lägesrapport [7] presenterades av projektet under 2006.

Ursprungligen var projektet tänkt att verka i 3-år (2006-2008), men på grund av olika omständigheter avslutas projektet 2007. Konsekvenser av detta tidigarelägda avslut avhandlas i kapitel 1.4.

1.3.1 Mål

Slutmålet för projektet har varit att demonstrera programverktyg för enskilda plattformar och mindre förband som dynamiskt avväger användningen av SAT och TK under strid, för en ökad överlevnad. Fokus har legat på markstrid med tidshorisonten -2014.

Etappmål har varit att:

- Inhämta förståelse för Försvarmaktens behov av SAT/TK stöd vid planering och strid
- Iterativt utveckla och testa verktyg, modeller och metoder som stödjer analys och val av handlingsalternativ

¹ Traditionellt utvecklas SAT och TK-teknik var för sig, där förhållandevis liten samordning sker mellan områdena. Avsaknaden av samordning kan lätt leda till att fördyrande och motverkande optimeringar görs inom de olika teknikområdena.

1.3.2 Avgränsningar

Två fundamentala avgränsningar gjordes i projektet:

- **Markscenario**
Redan i förstudien [2] föreslogs att ett fortsatt projekt skulle fokuseras mot markscenario. Orsakerna till detta är Försvarmaktens engagemang i Nordic Battle Group (NBG) samt att eventuella fortsatta demonstrationsstudier lättare skulle kunna implementeras och värderas.
- **Urban miljö**
I förstudien studerades, i en demonstration, navigering i småbruten terräng, se kapitel 8.1. Öppen och småbruten terräng ger större frihetsgrader vid navigering, vilket också markant ökar antalet åtgärdsalternativ att behandla. I projektet har ett urbant scenario valts, vilket begränsar navigeringen till eller i anslutning till vägnätet. Genom denna avgränsning har fokus kunnat läggas på att finna metoder för att bäst navigera mellan elektromagnetiska åtgärder. Den urbana miljön är en av de mest aktuella att kunna hantera under internationella operationer och är en stridsmiljö som förväntas bli mer sannolik [2].

Projektet har i möjligaste mån beaktat metodik som även kan användas av marin- och flygförband.

1.3.3 Referensgrupp

Att skapa tilltro till taktikstödande teknik är viktig för att den ska bli rätt använd eller överhuvudtaget använd. Det är därför viktigt att användarna får en inblick och kan påverka stödets utformning under arbetet. Redan under förstudien gjordes därför försök att skapa en officiell extern referensgrupp. FMV och ett flertal enheter inom Försvarmakten som Provturskommando Visby, Markstridsskolan Skövde (MSS), Helikopterflottiljen och Försvarmaktens Telekrigstödenhet (FM TKSE) visade intresse att ingå i denna referensgrupp.

De workshops som har genomförts av projektet enskilt och i samverkan med andra projekt har utkristalliserat ganska tydligt vilka personer och organisationsenheter som har ett intresse av projektets resultat. En av de viktigaste "kunderna" för projektets resultat är Markstridsskolan i Skövde (MSS).

Projektet har en intern referensgrupp med deltagande från *FOI Ledningssystem*, *FOI Sensorsystem* och *FOI Försvarsanalys* som har som uppgift att stödja projektet i dess arbete. Under 2007 utökades denna grupp med deltagande från *FOI Försvars- och säkerhetssystem*.

1.4 Konsekvenser av avslut

Ursprungligen var projektet "Dynamisk Taktikanpassning TK/SAT" tänkt att verka i 3 år (2006-2008), men på grund av olika omständigheter avslutas projektet 2007. Konsekvenser av detta tidigarelagda avslut är:

- Projektet hade som mål att 2008 påbörja studier av förbandsuppträdande. På grund av det tidigarelagda avslutet kommer denna aktivitet inte att genomföras.
- Under 2007 påbörjades studier av hur olika faktorer påverkar varandra. Detta förutsågs vara ett svårt arbete och blir p.g.a. avslutet ej färdigt. Se kapitel 5.2.
- Ett mål för 2008 var att implementera TK/SAT stöd i simuleringsramverket EWSim. Projektet koncentrerades därför 2007 till att kunna presentera designspecifikationer för implementering i EWSim. På grund av det tidigarelagda avslutet prioriterades

slutrapportering före designspecifikationsarbetet, varför det arbete som skett mot EWSim snarare ska ses som implementationsideér. Någon implementation i EWSim i projektets regi kommer ej heller att kunna genomföras 2008.

- De kontakter som togs med Markstridsskolan i Skövde (MSS) under 2007 i syfte att utbyta erfarenheter kommer ej att fortsätta i projektets regi.
- Värdering av SAT i systemperspektiv (t ex på ledningssystemnivå) och dess relation till andra funktioner och åtgärder uteblir inom FOI.

1.5 Läsanvisningar

Kapitel 2, "Vision" behandlar visioner kring ett framtida TK/SAT stödsystem. Stödsystemet som en del i ledningssystemet för att undvika suboptimering. Stödfunktionalitet i BMS (Battlefield Management System) respektive VMS (Varnare och Motverkanssystem), samt stödsystemet för kravställning.

Kapitel 3, "Stödet" behandlar vilket stöd som ett TK/SAT stödsystem skulle kunna ge beslutsfattaren. Behovet av att användarna har insyn och är delaktiga i stödsystemutvecklingen för att systemtilltro ska kunna skapas.

Kapitel 4, "Övergripande behandlade faktorer" behandlar övergripande faktorer som påverkar stödfunktionaliteten.

Kapitel 5, "Tekniska faktorer" behandlar olika tekniska faktorer och deras samband i duellen mellan egen plattform och motståndaren i en omgivning.

Kapitel 6, "Utvärdering och värdering" behandlar definitioner av utvärdering och värdering samt några metoder för utvärdering och värdering. Värderingskriterier diskuteras också i detta kapitel.

Kapitel 7, "Tillämpad modell" beskriver den "tillståndsmetodik" som har tagits fram inom projektet samt tankar kring möjliga värderingsmetoder för denna.

Kapitel 8, "Demoarbeten" beskriver de demoarbeten som har gjorts i projektet. Kapitel 8.4 beskriver de implementationsideér som har tagits fram.

Kapitel 9, "Omvärldsbevakning" beskriver kortfattat relaterad verksamhet i omvärlden.

Kapitel 10, "Diskussion, slutsatser" sammanfattar slutrapporten med projektets bedömning över vad som bör göras i framtiden.

1.6 Tack till

Vi som har skrivit rapporten vill tacka alla de som har bidragit till projektet under åren.

Speciellt vill vi tacka de som har varit projektmedarbetare under åren: Carl-Lennart Westerlund, Sebastian Olsson, Patrik Carlsson och Pär Svensson.

Vi vill tacka vår FOI-interna referensgrupp: Peter Johansson, Göran Pettersson, Claes Nelsson, Staffan Gadd, Jonas Rahm, Hans Habberstad, Karin Mossberg Sonnek och Petter Ögren samt våra externa kontakter inom Försvarmakten, FMV och Industri.

Ett sista stort tack vill vi ge: Jan Fredriksson (MSS), Sten Nyberg (FOI) samt Lars Falk (FOI) för givande diskussioner och underlag.

2 Vision

2.1 Navigatorn

De flesta är bekanta med funktionaliteten hos en GPS-navigatör². En GPS-navigatör nyttjar en kartdatabas samt GPS-systemet för att beräkna aktuell position på kartan. Med hjälp av grafsökningstekniker på kartdatabasen kan den snabbaste eller kortaste vägen från den aktuella positionen till slutdestinationen beräknas och presenteras. Om GPS-navigatören har stöd för TMC³ så kan den omplanera vägen vid eventuella trafik hinder. Navigatören har ofta ett minne där speciellt intressanta platser kan programmeras in, t ex för att informera om (varna för) framförvarande hastighetskameror. GPS-navigatören ger dock endast vägvalet till slutmålet ur kriteriet snabbaste eller kortaste vägen samt eventuell information/varning. Vilken växel eller vilket gaspådrag som ska användas under färden eller vad som ska ske när eventuell informationen ges, hanteras ej av en GPS-navigatör idag.

Den vision som projektet jobbat emot är en uppdragsnavigatör där uppdragets start- och slutdestination anges. Uppdragsnavigatören laddar information om egen plattform, omvärlden (topografi, markbeklädnad, etc.) och aktuella hotsystem samt preferenser kring uppdraget (vilka mål som ska uppnås och vilka risker som kan accepteras).



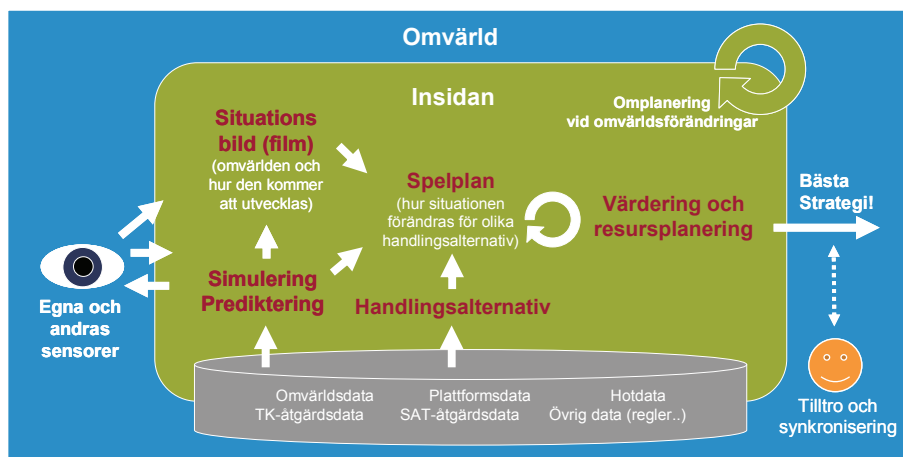
Figur 1 Utsidan av visionen.

Uppdragsnavigatören gör utifrån aktuell information en grovplanering av den bästa vägen och den åtgärdssekvens (i tid och rum) som bäst leder till att uppdragsmålet och slutdestinationen kan nås.

Beräkningen måste här ta hänsyn till relevanta förändringar (t ex väderomslag) som kan förutsägas och som kan påverka uppdraget. Uppdragsnavigatören värderar tillförlitligheten på underlaget och gör en mer detaljerad plan för närområdet och för den närmaste tiden (en planeringshorisont). Då uppdraget startar och fordonet förflyttar sig och genomför åtgärder enligt planen, strömmar kontinuerligt uppdaterad information från egna och andras sensorer in till uppdragsnavigatören (jämför TMC, ovan). Information som påverkar uppdragets genomförande uppdaterar planeringen (flyttar fram planeringshorisonten). Olika handlingsalternativ värderas och planeras kontinuerligt över tiden för en bästa strategi. Se Figur 2.

² <http://sv.wikipedia.org/wiki/GPS>

³ TMC: Traffic Message Channel, se http://www.vv.se/templates/page3_13606.aspx



Figur 2 Insidan av visionen

Uppdragsnavigatören måste arbeta i harmoni med användaren och stödja honom/henne i sitt arbete. Väljer användaren att strunta i rekommendationer från uppdagsnavigatören så måste den uppdatera sin planering utefter detta.

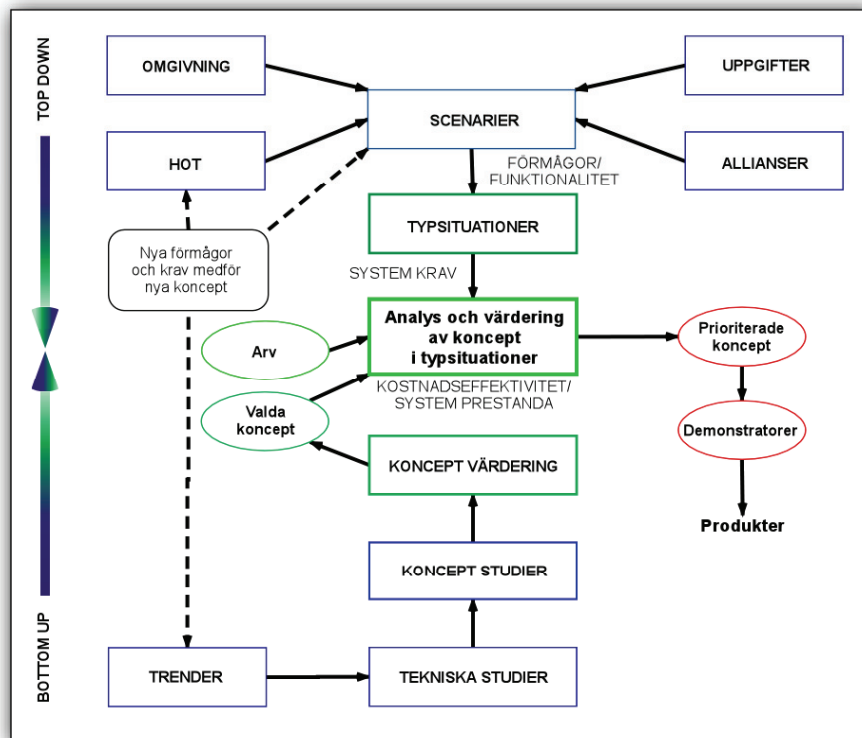
Navigatören kan inte ”fladdra” mellan olika strategier eller föreslå en strategi som tydligt⁴ försätter uppdraget i fara. Sådant beteende skapar ingen tilltro till stödsystemet hos användaren. Systemtilltro hos användaren är oerhört viktig för att visionen ska kunna förverkligas. Att skapa tilltro är en långsiktig process som kräver deltagande från användaren och en förståelse av vilken stödnivå som användaren önskar. Se kapitel 3 där stödnivåer och tilltro diskuteras.

2.2 Nyttan vid kravställning

En inom FOI och industrin, vedertagen process för att värdera olika systemkoncept, visas i Figur 3.

Ur ett scenario väljs ett antal typsituationer som beskriver operationsmiljön för det systemkoncept (system med olika design, utrustningar, etc.) som ska värderas (top-down). Från det andra hållet (bottom-up) väljs genom olika studier ett antal systemkoncept fram som värderingskandidater. Genom att med simuleringar värdera systemkoncepten i typsituationerna väljs det eller de koncept som ger bäst systemprestanda och/eller kostnadseffektivitet.

⁴ Om planeringshorisonten ligger långt fram kan icke-optimala handlingsalternativ ges lokalt, men som sett i sin helhet med andra handlingsalternativ är en del i ett optimalt handlande.



Figur 3 Metodik för avvägning mellan olika systemkoncept (källa: FOI, Saab)⁵

Vanligtvis värderas de olika systemkoncepten utifrån ett gemensamt taktiskt handlande, vilket kan ge snedvridna värderingar. Värderas t ex ett hjulfordon i en typsituation med ett taktiskt handlande utformat för ett bandfordon, ges den en orättvis behandling. Får däremot alla systemkoncept arbeta i typsituationen med den för konceptet bästa strategin ges alla systemkoncept samma chans.

Beslutsstödet är en integrerad del av ett systemkoncept (en vital del i dess ledningssystem) och bör därför också värderas i typsituationerna. Ett sådant stödsystem kan vara den funktion som då den får verka fritt i värderingen, gör ett systemkoncept till vinnare med överlägsna pris- och prestandaegenskaper både för verkan och för skydd i de flesta typsituationer.

⁵ Utformad inom IPT Överlevnad

3 Stödet

Ett datorbaserat beslutsstöd kan hjälpa beslutsfattaren vid en mängd olika beslutssituationer [8]. Hur detta beslutsstöd utformas mot människan är bland annat beroende på komplexiteten bakom beslutet samt övrig arbetsbelastning på beslutsfattaren. Människan har fördelar inom vissa områden och datorn inom andra, se t ex MABA-MABA⁶ listan i [9]. Genom en samverkan kan respektives fördelar utnyttjas. [9, 10, 11] diskuterar olika aspekter människa-maskin interaktion.

3.1 Stödnivåer

Att hitta vilka uppgifter som bäst löses av datorn respektive människan i olika situationer och hur interaktionen mellan människa och maskin utformas är ett eget forskningsområde. I våra studier har vi funderat kring tre nivåer⁷ av beslutsstödsinteraktion där beslutsstödet antingen:

- *Informerar* användaren om vad olika åtgärder får för verkan
- *Rekommenderar* för användaren lämpliga åtgärder
- *Effektuerar* rekommenderade åtgärder automatiskt eller semiautomatiskt

Det informerande stödets huvuduppgift är att presentera beslutsunderlagsdata på ett objektivt och informerande sätt. Det rekommenderande stödet utvärderar olika handlingsalternativ och ur detta underlag görs en värdering för att rekommendera den handling som ger mest effekt. Stödet inom varje nivå kan även klassificeras utgående från hur den hanterar tiden. Stöd kan betrakta en ”ögonblicksbild” av en situation eller det dynamiska skeendet över tiden i situationen. Olika metoder för att extrahera ett stöd kommer därför att behövas, se Tabell 1 och kapitel 6.

Tabell 1 Exempel på olika metoder lämpliga för respektive stödnivå.

Informerande	Beräknings- och simuleringsmetoder
Rekommenderande	Värderings- och planeringsmetoder
Effektuerande	Värderings- och planeringsmetoder

Den informerande stödnivån är mer av ett tekniskt stöd medan den rekommenderande stödnivån väger mer mot ett stridstekniskt-taktiskt stöd.

Vilken stödnivå som är lämplig är, som sagts tidigare, beroende på komplexiteten i beslutsproblemet och arbetsbelastning på beslutsfattaren men även på beslutsfattaren själv. Det informerande stödet nyttjar den mänskliga förmågan att se sammanhang, men är beslutsunderlaget för svårt att göra informativt så måste stödet filtrera underlaget och göra det förståeligt eller nyttja datorns förmåga att snabbt och objektivt värdera olika handlingsalternativ. Enkla rutinuppgifter kan överlåtas för automatisering på plattformen för att minska användarens belastning. I stressiga och snabba dynamiska situationer måste systemet ibland automatiskt effektuera åtgärder för plattformens överlevnad. Människor har olika behov, varför individuell anpassning till hur stödet ska ges i olika situationer är önskvärt.

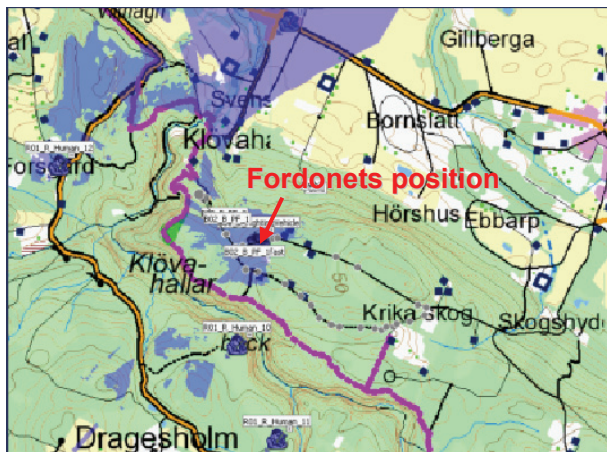
3.1.1 Informerande

Det informerande stödets huvuduppgift är att presentera beslutsunderlagsdata på ett objektivt och informerande sätt.

⁶ MABA-MABA: ”Men Are Better At” och ”Machines Are Better At”

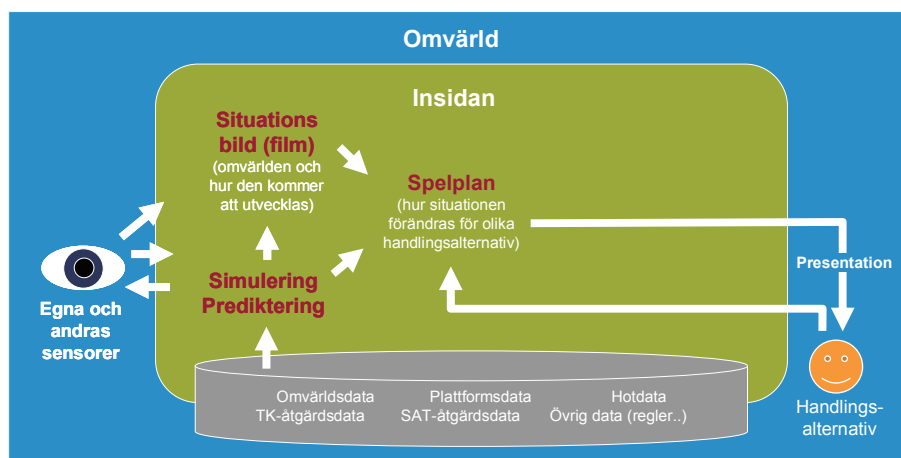
⁷ [11, sid 119] diskuterar tre liknande stödnivåer. [10] nämner upp till tio olika stödnivåer.

I sin enklaste form kan stödet ge en ”ögonblicksbild” vid en aktuell eller framtida tidpunkt. Stödet gör en analys av omvärlden (hot, terräng, bakgrundssignaturer, etc.) samt effektiviteten hos signaturanpassnings- och telekrigåtgärder vid denna tidpunkt. Stödet skulle kunna presentera t ex täckningsdiagram för olika hotsystem eller siktlinjer från plattformen till omgivande terräng på en karta, se Figur 4. Användaren kan t ex se hur hotens täckningsdiagram skulle förändras nattetid eller vid olika telekrig- och signaturanpassningsåtgärder. Analysen görs utifrån tillgängligt underlag från databaser och sensorer eller predikterade data. Genom att ta ett flertal ”ögonblicksbilder” kan användaren bedöma t ex tidpunkt för uppdraget, lämplig färdväg och de åtgärder som krävs för uppdragets genomförande.



Figur 4 Mörkblå områden anger obrutna siktlinjer från fordonet till omgivande terräng

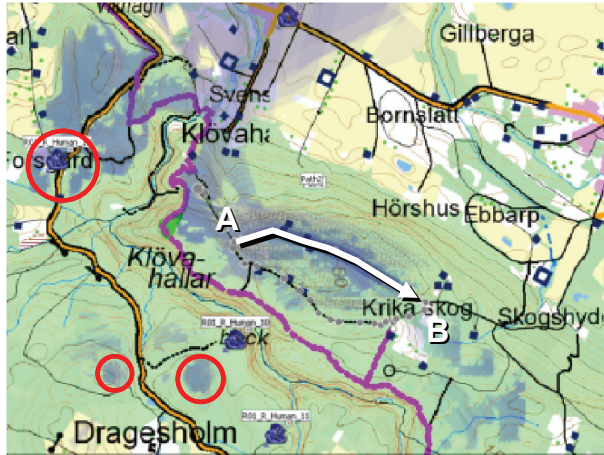
Ett något mer utvecklat stöd automatiserar tidshantering (tar konsekutiva ”ögonblicksbilder”) och simulerar dynamiskt hur omvärlden kommer att förändras (väderomslag, troliga hotförflyttningar, etc.) utifrån tillgängligt eller fiktivt underlag. Genom att automatisera tidshantering kan dynamiska förlopp lättare studeras, såsom skjutfönsterbegränsningar hos hoten, signaturvariationer hos plattformen samt dynamiska förlopp hos telekrigåtgärder. Användaren kan lägga upp en färdväg på kartan och testa olika handlingsalternativ och se deras utfall. Utifrån presentationen får operatören dra egna taktiska konsekvenser vid planering eller genomförande.



Figur 5 Ett informande stödsystem

En presentation från ett informande system skulle t ex vara att användaren kan lägga upp en färdväg och se när i tiden och var längs färdvägen risken för bekämpning från olika hot

kommer att vara störst. Med stödet kan användaren bedöma hotens möjlighet att verka längs färdvägen eller om hoten inte är kända, var de troligtvis kommer att vara placerade. Användaren kan ”spela” med olika åtgärder längs med vägen för att minimera riskerna. Se Figur 6.



Figur 6 Användaren markerar på kartan den väg han ämnar ta (A-B). Stödet presenterar hotpositioner (inringade) som medger bekämpning från fientliga pansarvärnsvapen längs vägen. Stödet har beräknat siktlinjer till omgivande terräng (blåmarkerade områden) för fordonets förflyttning från A-B. Mörkare blå färg innebär fler siktlinjeträffar till en position under framryckningen. Genom att väga samman denna information med annan information (hotsystemräckvidd, skjutfönsterbegränsningar, möjligheter att befästa positionen, etc.), beräknar systemet de troligaste positionerna för fientlig eld mot transporten. Systemet kan ge information över vilka delar av sträckan som kommer att bli kritiska samt ge information för att styra sensorer att specifikt bevaka dessa positioner under förflyttningen. För de kritiska vägsträckorna kan användaren spela med olika åtgärder för att reducera hotet. Se kapitel 8.4.3.

En stödfunktion, integrerat i ledningssystemet, kan informera t.ex. vagnchef och skytt om möjliga och tänkbara gruppering av och täckningsområden för fientliga pansarvärnsvapen (pv-vapen). Denna bild presenteras i form av t.ex. ”overlay” i den taktiska lägesbilden.

Ett informerande stöd kan antingen bygga på att användaren efterfrågar information eller att stödet presenterar kontinuerligt de tekniska konsekvenserna av valda handlingar. I det senare fallet kan stödet bli en belastning vid stressade situationer. Att visa alltför mycket beslutsunderlag kan också leda till ökad arbetsbelastning. Ofta måste därför förenklade presentationer göras för att kunna fungera som beslutsunderlag. [12] innehåller rekommendationer avseende presentation bland annat under stress och [13] kring 3D-presentation med ljud och bild. En förenklad presentation innebär att systemet undanhåller information som systemet bedömer är irrelevant för de beslut som ska tas. Genom att undanhålla information kan stödet leda beslutsfattaren i en beslutsriktning som kanske inte hade valts, om all information och all tid till analys av informationen, hade varit tillgänglig för beslutsfattaren.

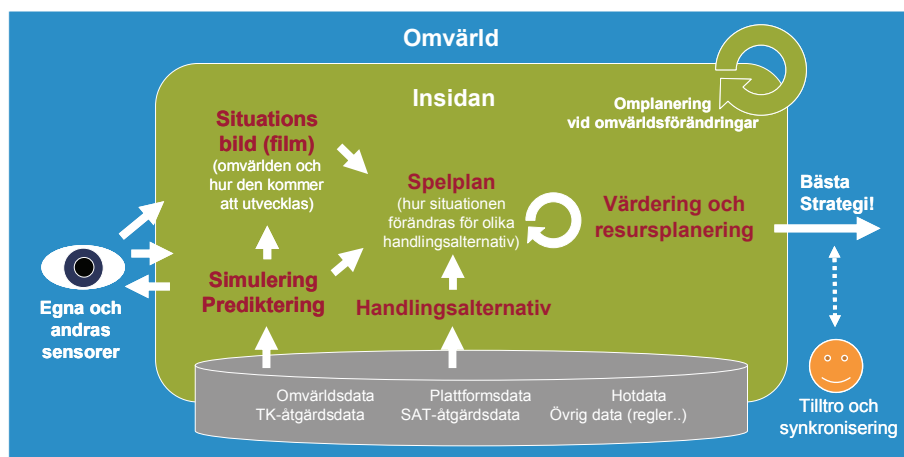
Ett rent informerande stöd kräver en stor del mänsklig interaktion då den ej stödjer beslutsfattaren i val av lämpliga handlingsalternativ. Därför passar ett sådant stöd främst vid träning och utbildning, i inledande planering av ett uppdrag eller då tid finns tillgänglig under ett uppdrag.

3.1.2 Rekommenderande

Ett rekommenderande system utvidgar ett informerande system genom att det automatiserar framtagandet av handlingsalternativen och värderar dessa utifrån något *värderingskriterië*, se kapitel 6.3.1. Den eller de åtgärder som ger ”mest effekt” rekommenderas och presenteras för användaren som beslutsunderlag.

I det enklaste fallet då situationen vid en aktuell eller framtida tidpunkt ska hanteras, kan stödet plocka fram den åtgärd som erfarenhetsmässigt visat sig ge mest effekt i liknande situationer eller så utvärderas olika handlingsalternativ och den som ger mest effekt presenteras. Då det rekommenderade alternativet gäller för en tidpunkt så är den lokalt optimal. Beaktas en längre period av uppdraget så kan det rekommenderade alternativet vara ett mindre bra alternativ.

Ett mer utvecklat stöd planerar den sekvens av åtgärder som ger mest effekt över tiden och presenterar denna för användaren. Stödet analyserar kontinuerligt omvärlden under uppdraget och predikterar hur den förändras utifrån okontrollerbara händelser (t ex väderomslag) samt de åtgärder operatören kan tänkas genomföra (vägval, telekrig- och signaturanpassningsåtgärder, m fl.). Utifrån denna ”vad händer om jag...?” analys planeras en åtgärdssekvens som relaterat till uppdragsmålet ger det bästa utfallet utifrån den information om omvärlden som finns tillgänglig och kan predikteras. Hur långt fram i tiden planen sträcker sig (planeringshorisont) beror på dynamiken i situation samt tillförlitligheten i underlaget. Förändras uppdragsmålet eller omvärlden, sker en förnyad ”vad händer om jag...?” analys utifrån den uppdaterade informationen. Se Figur 7.



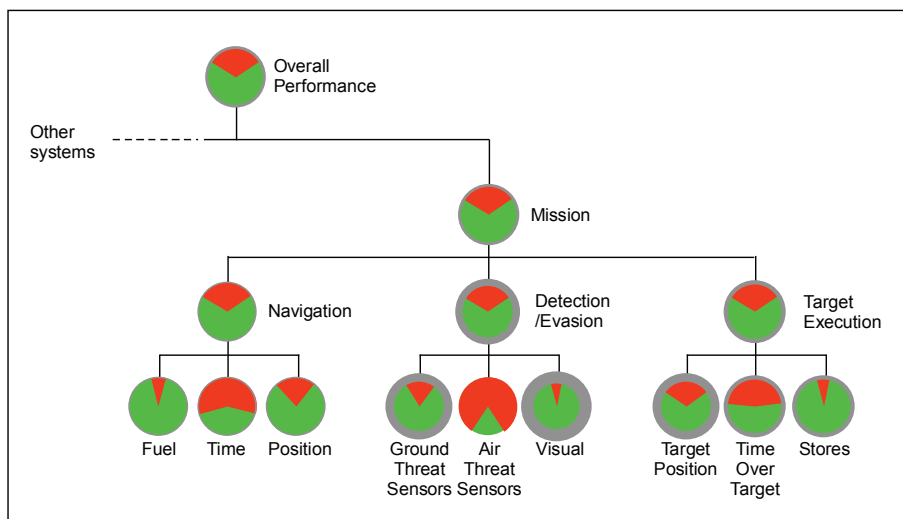
Figur 7 Ett rekommenderande stödsystem.

Med detta stöd skulle operatören dynamiskt under uppdraget kunna få rekommendationer om vägval, motorpådrag, signaturstyrning, optimal insats av telekrigåtgärder, etc. för att t ex undgå upptäckt från hot i omvärlden.

Exempel på rekommenderande stöd kan vara att till föraren föreslå att framrycka med en viss hastighet vid passage genom ett terrängavsnitt där risk finns att bli exponerad för ett givet hotssystem. Här måste hänsyn tas till att rekommendationen kommer föraren till godo i så god tid att han hinner anpassa fordonets hastighet. Stödet bör generellt sett vara integrerat med stridsfordonets ledningssystem. Rekommendation ska presenteras på enkelt sätt och upplevas som trovärdigt.

Stöd skulle även kunna utgå till enskilda fordon inom ett förband. Det kan vara rekommendation till stridstekniskt/taktiskt handlande, vilket kan innebära förslag till manöver eller gruppering av förbandet, såsom växelvis framryckning etc. samt även förslag över utnyttjande av sensorer, motmedel etc.

Olika ansatser till att presentera utsikterna för uppdragets genomförande har gjorts till exempel med staplar [14] eller s.k. ”goal-balls” som definierades i projektet Kognitiv Operatörsplats, se Figur 8.



Figur 8 "Goal-balls" som visar utsikterna (grönt goda och rött dåliga utsikter) och osäkerheten (ringens tjocklek) för uppdragets genomförande. Bedömning för delsystem ger en övergripande bedömning.

Då ett planerande system presenterar en "optimal" handlingssekvens över en längre period (i tid och rum) så kan lokalt icke-optimala åtgärder rekommenderas. För ett stridsfordon kan det t ex betyda att en mindre mängd än normalt (men tillräcklig mängd) av stridsrök rekommenderas i en situation, för att spara rökgranaterna till ett senare skede under uppdraget där en större mängd kommer att behövas. Att kunna presentera motiven för sådana avväganden för användaren på ett tydligt och förståeligt sätt är en utmaning. Utan förståelse kommer systemtilltron att vara låg, se kapitel 3.3.

3.1.3 Effektuerande

För att minska arbetsbelastningen på besättningen så kan vissa uppgifter automatiseras. T ex om syftet är att hålla en låg akustisk signatur under en del av uppdraget så skulle motorvarvtalet kunna styras automatiskt medan övrig hantering av plattformen sker manuellt. Uppgifterna kan automatiseras utifrån av vagnschefen uppställda kriterier eller semiautomatiskt genom att vagnschefen sätter viss funktionalitet på automatik.

Där snabba beslut krävs eller där mänskliga faktorer begränsar kan hela beslut vara nödvändiga att automatisera för att säkra plattformens överlevnad. Då t ex plattformen beskjuts av ett pv-vapen effektueras automatiskt den rekommenderade åtgärden för att skydda plattformen. Det effektuerande stödet kan t.ex. kopplas till fordonets VMS-funktion. Detta stöd kan även gälla för förband där åtgärder för respektive enskilt fordon genomförs i syfte att klara hotat fordons överlevnad och med övriga förbandet påbörja omedelbar bekämpning av hotet.

En utökad automatisering blir speciellt aktuellt i UAV och UGV tillämpningar⁸.

3.2 BMS - VMS

Battlefield Management System (BMS) är system som har som uppgift att stödja ett förband och besättningar under ett uppdrag. StridsLedning Bataljon (SLB)⁹ är ett sådant system.

⁸ Unmanned Aerial Vehicle (UAV), Unmanned Ground Vehicle (UGV)

⁹ <http://products.saabgroup.com/PDBWebNew/GetFile.aspx?PathType=ProductFiles&FileType=Files&Id=5673>



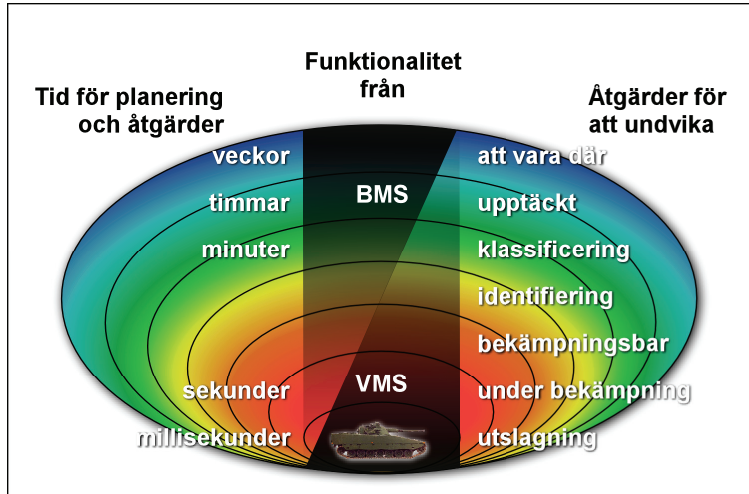
Figur 9 Vagnschefens presentation i SLB.

Ett BMS är ofta spindeln i nätet som integrerar funktionalitet från olika system till en gemensam kontrolllyta. Den stödfunktionalitet som har beskrivits i kapitel 3.1.1 och 3.1.2 passar naturligt in i ett BMS system. Även effektuerande stöd för att minska besättningens belastning kan hanteras av ett BMS.

Varnar och MotverkansSystem (VMS) är främst ett system för egenskydd av plattformar och ofta designat för att möta en viss typ av hotssystem. VMS består till sin uppbyggnad och i sin enklaste form av en sensor för upptäckt av ett hot i kombination med ett lämpligt motmedel för motverkan på hotet som ofta helt plötsligt och oförväntat ”dyker” upp. De effektuerande delarna för att skydda plattformens överlevnad i tidskritiska situationer ligger som tidigare nämnts främst i VMS, som idag till mycket stor del är baserat på telekrigsåtgärder för påverkan av sikten och målsökare. Motverkan i form av t.ex. fysisk bekämpning av en robot faller utanför begreppet VMS.

VMS kan även betraktas ur ett förbandsperspektiv, vilket dock kräver en bredare syn på VMS-funktionen, från att enbart betraktas som ett system med syfte att ge ökad överlevnad för enskild plattform till ett system som medför ökad överlevnad för förbandet. Via BMS knyts VMS-funktionen ihop med fordonets övriga system t.ex. sensorer, eldledning, bekämpning etc. och därigenom åstadkoms en sensorsamverkan och motverkan som gagnar förbandet. Några exempel på samverkande VMS inom en stridsfordonspluton finns beskrivet i [15].

BMS har sin största potential i de mindre tidskritiska delarna av ett uppdrag. VMS är ett system underordnat BMS för att kunna hantera tidskritiska delar i självskydd av plattform. Relaterat till de tillstånd som beskrivs i kapitel 7 kan BMS stödja plattformen i tillstånden: upptäckt, klassificering, identifiering medan ett VMS stödjer i tillstånden: bekämpningsbar och under bekämpning. Se Figur 10.



Figur 10 "Skyddslöken". BMS har störst potential i de mindre tidskritiska skeendena medan ett VMS har störst potential i de tidskritiska. Se även Figur 14.

VMS integrerat i BMS, öppnar för nya möjligheter. Varning i en plattform kan snabbt spridas inom förbandet för samverkande motåtgärder. Möjligheter till att kunna agera efter hotet har avvägrats i syfte att fullfölja uppdraget ökar. BMS kan här ge förslag till fortsatt agerande utifrån aktuell lägesbild och egen gruppering.

3.3 Systemtilltro

Ett stödsystem som saknar tilltro hos användarna kommer aldrig att nyttjas. Att bygga upp systemtilltro är en lång process där användarna hela tiden måste vara delaktiga.

Förutsägbarhet, användbarhet, robusthet och ansvarstagande visade sig vid empiriska studier [16] vara de dominerande faktorerna för systemtilltro.

- *Förutsägbarhet*: användaren kan förutsäga hur systemet kommer att agera och reagera. Dvs. användaren har en viss kontroll vad avser framtiden.
- *Användbarhet*: användaren uppfattar systemet som användbart givet den uppgift man har och den situation man befinner sig i.
- *Robusthet*: systemets förmåga att inte svika utan fungera även om systemet är skadat eller används i krävande situationer och miljöer.
- *Ansvarstagande*: systemet uppfattas som ansvarstagande (seriöst)

Användaren har goda möjligheter att förstå det informerande stödsystemets information. Förutsägbarheten i den rekommendation som ett rekommenderande stöd ger blir däremot svårare att säkerställa, se kapitel 3.1.2. För att säkra förutsägbarhet och användbarhet måste användarna vara delaktiga i vad som ska stödjas och hur det ska stödjas. Robusthet och ansvarstagande handlar om att ta i bruk ett stöd som verkligen fungerar. Systemtilltro kan lätt raderas utifrån dessa faktorer, om ett "halvfärdigt" stödsystem levereras.

En "roadmap" vid utvecklande av ett stödsystem är att i första hand utröna den funktionalitet som användaren eftersträvar. Därefter iterativt utveckla efterfrågat stöd från informerande till rekommenderande och eventuellt effektuerande för att säkerställa att användaren förstår systemets agerande (förutsägbarhet). Robusthet och ansvarstagande sker genom redundans och en god kvalitetskontroll.

4 Övergripande behandlade faktorer

Målet för ett stödsystem är att ge rekommendationer till operatören hur han/hon ”rätt” nyttjar sina åtgärder på väg mot uppdragsmålet. Vad som är ”rätt” grundar sig på övergripande faktorer och tekniska faktorer i den aktuella situationen. De tekniska faktorerna behandlas i kapitel 5.

Under förstudien [2] identifierades ett antal övergripande faktorer som styr avvägningarna under ett uppdrag, vilka beskrivs nedan.

4.1 Konflikter: behov av omvärldsuppfattning - Telekrig - Signaturanpassning

Behovet av omvärldsuppfattning, signaturanpassning och telekrigåtgärder står ofta i konflikt med varandra, se Figur 11.



Figur 11 Konflikter mellan behov av omvärldsuppfattning, signaturanpassning och telekrig.

För att kunna bilda sig en omvärldsuppfattning måste plattformen/förbandet kunna kommunicera samt nyttja sina sensorer. Genom att nyttja kommunikation (sändning) och egna sensorer (aktiva signaturer) kan plattformen/förbandet avslöjas med signalspaning. Med t ex frekvensspridd och riktad kommunikation, nyttjande av andras sensorer och terrängen (terrängmask) kan plattformen/förbandet uppträda ”tystare”. Att känna och hantera sina passiva som aktiva signaturer, emissionskontroll (Emission Control, EMCON), är viktigt för att kunna verka oupptäckt.

Egna telekrigåtgärder kan påverka egna sensorer genom telekonflikter. T ex en rökläggning från en plattform kan lätt förblinda dess möjligheter till en god omvärldsuppfattning och till att ge verkanseld. Se Figur 12.

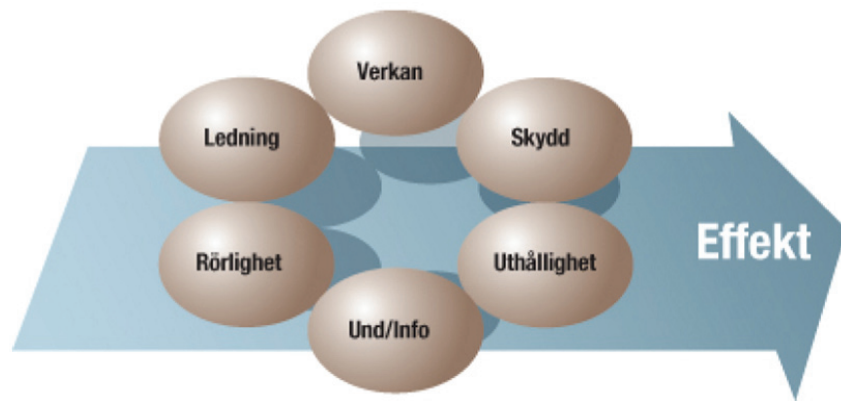


Figur 12 Rökläggning från ett stridsfordon (stridsfordon 9040C).

Att kunna avväga behovet av skydd från förblindande telekrigåtgärder med behovet av omvärldsuppfattning är viktigt. I ett nätverksbaserat försvar ökar möjligheterna till en god omvärldsbild på en plattform, även om den genomför förblindande telekrigåtgärder.

Telekrigåtgärder i form av preventiva egenskydd (t ex blinkstörare) från en plattform som vill verka oupptäckt kan avslöja den. Att nyttja telekrigåtgärder som bakgrundsstörning från andra plattformar eller vilseledande skenmål (ökar bakgrundsbruset) kan däremot öka plattformens möjligheter att verka oupptäckt med signaturanpassningsåtgärder.

Sett i ett större perspektiv kommer flera än behovet av omvärldsuppfattning, telekrig och signaturanpassning att skapa inbördes konflikter. I [17] introduceras en tankemodell med grundläggande förmågor att nyttja under en operation, se Figur 13.



De grundläggande förmågorna syftar tillsammans ge effekt i våra insatser.

Figur 13 De grundläggande förmågorna. Bild från [17].

Målet är att de grundläggande förmågorna tillsammans ska ge effekt under uppdraget. Dessa förmågor skapar inbördes konflikter, t ex kommer en kraftsamling kring rörlighet att menligt påverka förmågan till vapenverkan samtidigt rörligheten positivt kan öka skyddet. I projektet påbörjades en studie kring: ”vilka faktorer är viktiga för respektive grundförmåga och hur påverkar dessa övriga grundförmågor?”, se kapitel 5.

4.2 Scenariot

Under arbetet 2006 [7] identifierades scenariot som ett ytterligare viktigt ingångsvärde. Som exempel innebär strid i bebyggelse (SiB) stora förändringar jämfört med strid i öppen terräng. SiB innebär vanligtvis att striden sker inne bland hoten och inom deras räckviddsområde. Därför blir snarare tider än avstånd för upptäckt, klassificering och identifiering intressanta. På grund av närheten till hoten, som kan finnas i ett flertal riktningar, blir även dynamiska begränsningar hos plattformen (t ex långsam acceleration/retardation) och de åtgärder som kan vidtas (t ex långsamt tillväxande stridsrök) mer påtagliga vid SiB.

4.3 Uppdragets mål/karaktär

Uppdragets karaktär sätts ofta initialt och kan innebära t ex att: visa flagg, spana, försvara, ta, fördröja, etc. Beroende på uppdragets karaktär kommer olika vikt att direkt och indirekt sättas till vilka åtgärder som är lämpliga.

Att *visa flagg* kan t ex innebära att ”brassa på” med stora signaturer och maskerande- och vilseledande störning för att synas och blåsa upp sig, kanske för att avskräcka, skapa förtroende eller vilseleda. Den SAT åtgärd man kan tänka sig här är att vara väl synlig i de frekvensområden där man vill synas (t ex optiskt mot en uppretad civil folkmassa) och ”osynlig” mot de frekvenser där vapensystemen arbetar (t ex en IR-robot). TK åtgärder kan användas för att göra förbandet större än vad det är genom skenmålsanvändning (elektroniska och fysiska).

Att *spana* kan t ex innebära att gå med låg signatur och att undvika störning från egen plattform (eller det mindre förbandet). De SAT åtgärder man kan tänka sig är att nyttja terräng, markbeklädning, framryckningshastighet, etc. för att minimera signaturer mot hoten under framryckning. Här gäller även att kunna hantera¹⁰ sina sensorer och kommunikationsutrustning för att minimera deras aktiva signaturer (sändningar). Från en spanande plattform bör TK åtgärder initialt undvikas då de lätt kan invisa hotet. TK åtgärder¹¹ som höjer bakgrundsbruset kan dock hjälpa den spanande plattformen att genomföra uppdraget vid ställen där det finns risk att plattformen upptäcks. Detta kräver att TK/SAT åtgärder på spaningsplattformen och störplattformen kan koordineras väl.

4.4 Den aktuella stridsfasen

Under uppdraget kommer en plattform eller ett förband att från t ex icke upptäckt bli upptäckt. I det läget kommer uppdragets karaktär (se föregående kapitel) och den vikt som läggs till TK- respektive SAT åtgärder att förändras. I exemplet, om plattformen blir upptäckt kommer åtgärder som gör att plattformen åter kan dölja sig bli aktuella. Kan inga sådana åtgärder utverkas, blir åtgärder som kan förhindra klassificering aktuella.

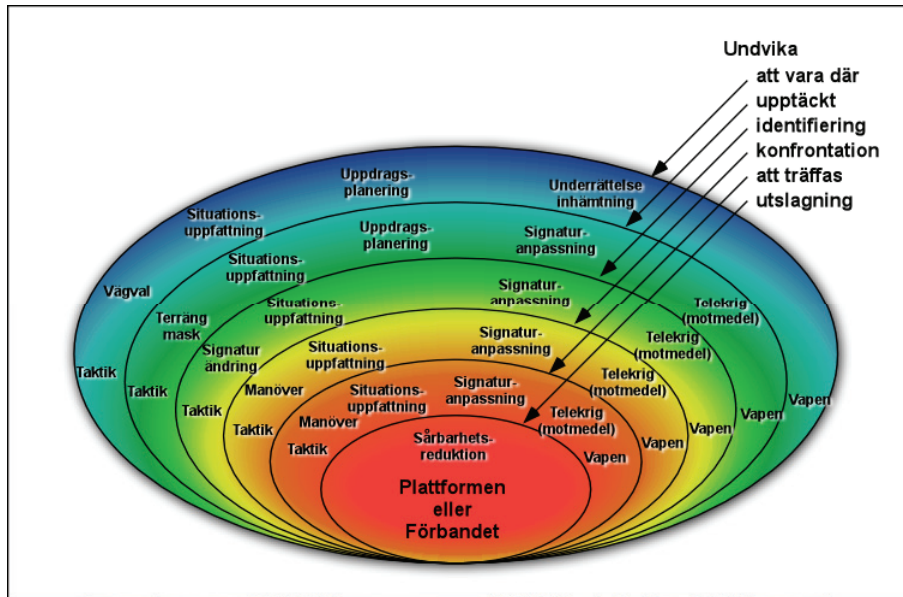
Inom SAT området är den så kallade ”skyddslöken” vanlig¹² då man vill beskriva de skyddsskal som omsluter en plattform eller ett förband. De skal som brukar finnas är skal för att: undvika att vara där, undvika upptäckt, undvika identifiering, undvika konfrontation, undvika att träffas samt undvika utslagning. Figur 14 visar en¹³ version av ”skyddslöken”.

¹⁰ EMCON, Emission Control

¹¹ Skenmål och/eller bakgrundsstörning från annat förband

¹² Inom TK området är ”skyddslöken” mindre använd och känd.

¹³ Ingen vedertagen ”skyddslök” finns.



Figur 14 "Skyddslöken". Figuren visar inte hur effektiv en åtgärd är relativt en annan i ett lökskal.

I mångt och mycket handlar det om att dynamiskt välja den bästa mixen av åtgärder som förhindrar att de inre skalerna penetreras.

Idag är stödet till operatören dåligt i att föreslå åtgärder som förhindrar att de yttre skalerna penetreras. Det mest utvecklade dynamiska skyddet vid uppdrag är i dagsläget VMS på plattformar. Ett VMS bidrar förutom med detektion av existerande hot till ett skydd i form av motåtgärder som t ex facklor, rök, remsor, avhakande störning. I detta läge är avsikten främst att förhindra att det inre skalet, "att träffas", penetreras. Att plattformen har hamnat i den fasen, är något en operatör ombord på plattformen vill undvika.

4.5 Rules of Engagement (ROE)

Vid internationella operationer är "Rules of Engagement" (ROE) en faktor som styr mina handlingsalternativ. De regler som gäller för striden sätter begränsningar för vilka åtgärder som kan eller får användas. Internationell rätt förhindrar t ex att en stridande part uppträder som civil (t ex maskera plattformen som en sjuktransport). Att däremot skydda plattformen mot klassificering och identifiering med vilseledande signalering, t ex genom att nyttja civila system som navigeringsradar, civila kommunikationsanrop, etc. i syfte att framstå som ofarlig, kan däremot vara tillåtet. En vilseledande åtgärd kan lätt hamna i en gråzon över vad som är tillåtet och vad som inte är det.

4.6 Begränsningar

En viktig begränsning är tillgång till och förväntad förbrukning av förbrukningsmateriel som t ex maskeringsmateriel, skenmål, remsor, facklor, etc. Tillgång och förväntad förbrukning av bränsle, föda och vila begränsar också uppdraget.

Tid för genomförandet av uppdraget kan vara en begränsning (ett krav kan t ex vara att befinna sig vid en position vid ett visst klockslag).

Många system har dynamiska begränsningar i hur snabbt systemet ger effekt. Som exempel: rökläggning från plattform tar tid innan den uppnått skylande verkan; tunga stridsfordon har begränsad förmåga till acceleration, retardation samt begränsningar i vilken terräng de kan

verka; förmågan att termiskt styra en plattform mot en bakgrundsignatur inom IR-området är en tämligen långsam process. Se kapitel 5.

För att optimera uppdraget bör man fundera på om de begränsningar som finns är randvillkor i optimeringen eller huruvida de ingår som parameter att optimera.

4.7 Lägesuppfattning

Oavsett om det rör sig om en enskild soldat, enskilt fordon eller ett förband så är de tre grundfrågorna som ska besvaras [18]:

- Var är jag?
- Var är mina kompisar?
- Var är fienden?

Kännedom om och förmåga att förstå och agera i den miljö man befinner sig i är grundläggande för taktisk framgång. Att känna till hur olika hot kommer att uppträda samt att veta vilka möjligheter/resurser jag har tillgång till innebär att jag kan agera tidsmässigt, geometriskt, signatur- och telekrigsmässigt på ett sätt så att hotet har svårare att verka. Att förvägra en motståndare att använda sina medel är primärt för att jag själv på ett ostört och effektivt vis ska kunna nyttja mina egna.

För detta krävs att jag har eller får ”rätt” information via underrättelser, egna sensorer, mm. som kan fusioneras med karta och modeller för aktuell terräng för att erhålla en lägesbild (Situation Awareness).

Det är kanske viktigare att verkligen förstå situationen (Situation understanding) än att känna till den (Situation awareness). Det är först då en helhetsbild kan erhållas som förståelse för avsikten med eller nyanser i informationen framträder. Den som har helhetsbilden kan agera på rätt sätt.

4.8 Handlingsalternativ

Att kunna veta hur omvärlden kommer att förändras är viktigt för att kunna planera åtgärder som förändrar omvärlden i en riktning som gör att uppdragsmålet kan nås. Analysen har att värdera de olika handlingsalternativen och föreslå det alternativ (eller den kedja av alternativ) som på bästa sätt leder till att uppdraget lyckas. Vilka åtgärder samt när, hur och i vilken ordning vi genomför dessa är betydelsefullt för hur situationen utvecklas. Effektiva planeringsmetoder kommer här att bli aktuella, se kapitel 6.3.2.

Att nyttja modeller vid planering, innebär att prediktera ett värde (t ex plattformens signatur) för en plats i framtiden utifrån osäkra indata. Generellt, att prediktera långt fram i tiden respektive att prediktera långt bort från den aktuella platsen innebär större osäkerheter. Osäkerheten kring data bestäms också av ett flertal andra aspekter, bland annat vilken mätthistorik kring platsen och tiden (eller en motsvarande plats och tid) som finns tillgängligt. Vissa indata kan till stor del vara styrda av ”slumpen”, t ex väder och vind, medan andra som t ex terrängens topografi, är mer eller mindre känd. På grund av osäkerheterna kommer endast en grov långsiktig plan med initiala brytpunkter och aktioner att kunna tas fram inför ett uppdrag. Vid diskussioner med MSS¹⁴ har framkommit att omfall (förändringar om ursprunglig plan fallerar) alltid är viktiga att planera kring då de ger en mental förberedelse inför uppdraget.

¹⁴ Markstridsskolan Skövde (MSS)

Den långsiktiga plan som tas fram innan uppdraget kan ligga som grund för en kortsiktig plan som iterativt förfinas under uppdragets genomförande. Planen bygger på kända och predikterbara data för den närmaste omgivningen och den närmsta framtiden (planeringshorisont). Under framryckningen kommer osäkerheter kring indata att kraftigt minska genom att plattformen är ”här och nu” med sensorer som kan bestämma lägesbilden (åtminstone lokalt). Extern information från andra källor (t ex nätverket eller egna framskjutna sensorer) kan ytterligare förbättra omvärldsuppfattningen förhoppningsvis i den önskade framryckningsriktningen.

4.9 Förbandskoordinering

Studerade scenarier inom projektet har enbart behandlat stöd för enskilt fordon. Ett stöd till ett förband t ex en pluton stridsfordon är betydligt mer komplicerat. Ett fordon inordnat i ett förband medför ofta begränsning i dess handlingsfrihet. Begränsningar i form av att hålla en viss position inom enheten, avstånd till andra plattformar, observation i en viss riktning, etc. I sin enklaste form torde stödet till enskilda fordon i dessa fall kunna utformas som förslag till lämplig åtgärd med hänsyn tagen till givna begränsningar eller randvillkor. De måste i så fall identifieras eller definieras och sättas inför ett uppdrag.

I sin mer komplicerade form av stöd ges ett förslag till agerande för förbandet utifrån dess uppdrag eller uppgift. Ett framtida ledningssystem torde kunna innehålla delar där förslag till gruppering, framryckningsväg, anfallsmål etc. kan ges. Förslag till förbandets agerande kan därefter omsättas till enskilt fordons agerande. Detta sätt är betydligt mer komplicerat men mer flexibelt.

Signaturanpassning och telekrig är exempel på åtgärder som vid utnyttjande kan påverka signaturen inte enbart en för enskilda plattformar utan även ett för hela förbandet. I kapitel 3.2 har samordning av VMS inom ett förband diskuterats. På liknande sätt som VMS kan samordnas torde SAT-åtgärder [2] samordnas i syfte att med del av förbandet att ta mig till en viss position, för att oupptäckt kunna placera en varnare/sensor för att åstadkomma informationsöverläge, samtidigt som jag med en annan del av förbandet utnyttjar telekrig för t ex rökläggning eller störsändning.

4.10 Tid till beslut

Vid planering under uppdrag, där ett flertal handlingsalternativ ska värderas, finns en begränsad tidsrymd för att ta fram det ”optimala” handlingsalternativet. Ju längre in i framtiden planen sträcker sig (planeringshorisont), desto fler alternativ finns att värdera på grundval av mer och mer osäkra data (vad avser tid och avstånd från plattformen). Är planeringshorisonten kort finns färre handlingsalternativ att värdera på grundval av säkrare indata. I planen bör riskerna att framgent hamna i ogynnsamma eller riskabla lägen genom det planerade handlandet tidigt värderas. En sådan värdering kan inte göras med en alltför kort planeringshorisont. Hur handlingsalternativet påverkar andra funktioner för det totala skyddet, t ex egen sensoranvändning, bör däremot kunna värderas med en kortare planeringshorisont. Oavsett planeringshorisont behöver planen och dess förväntade resultat utarbetas och värderas innan det första handlingsalternativet effektueras vilket ställer krav på tidseffektiva planeringsmetoder, se kapitel 6.3.2.

Antalet handlingsalternativ, effektiviteten på vald planeringsmetod och detaljeringsgraden på de modeller som bedömer handlingsalternativen är faktorer som avgör vilken tid som finns till förfogande för att arbeta fram en plan. Dynamiken i scenariot är en annan faktor. Sker många och snabba händelser i scenariot finns mindre tid till eftertanke. I flygfallet är scenariots dynamik kraftigt kopplat till flygplanets dynamiska prestanda medan i markfallet är

dynamiken snarare kopplat till vilken tillstånd som stridsfordonet befinner sig i. Ju längre in i "skyddslöken" (se Figur 14) striden befinner sig i, desto mindre tid till förfogande finns för att ta fram ett handlingsalternativ. Se kapitel 3.2.

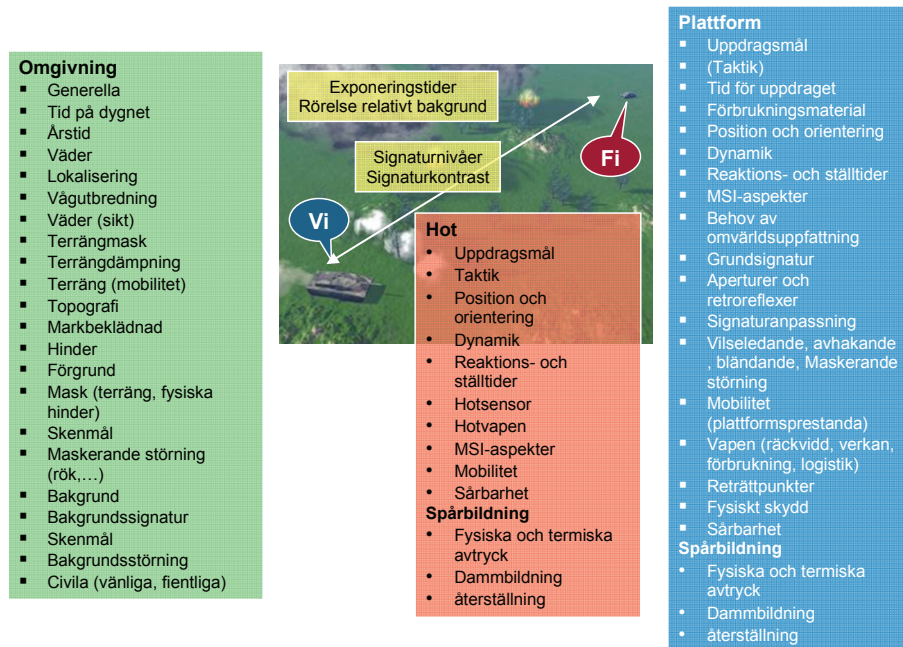
5 Tekniska faktorer

Det finns ett antal tekniska faktorer som påverkar en plattforms signatur gentemot sin omgivning samt exponeringstid mot ett hot. Av dessa faktorer kan somliga knytas till den omgivning plattformen befinner sig i, vilket hotsystemet är, samt plattformens egenskaper.

5.1 Omgivning, hot och plattform

En uppdelning av de faktorer som påverkar en plattforms signatur kan delas upp i omgivning, hot samt egen plattform, se Figur 15.

I omgivningen inkluderas exempelvis geografisk plats, årstid, väder, topografi med mera, d.v.s. icke påverkbara faktorer som påverkar inte bara plattformen utan även hotet. På samma sätt finns ett antal faktorer som beskriver/representerar det aktuella hotet. Den egna plattformens uppträdande och egenskaper kan beskrivas med hjälp av faktorer som signatur, manöverförmåga etc.



Figur 15 Beskrivning av ett antal faktorer som är beroende på en plattforms egenskaper, dess omgivnings påverkan samt ett hots inverkan på vilken signatur och exponeringstid som plattformen visar upp gentemot hotet.

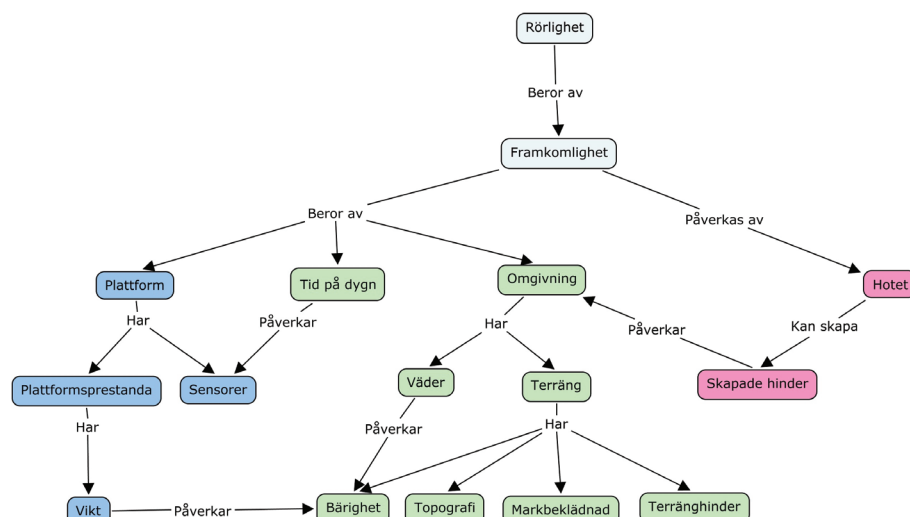
För den egna plattformen gäller för att vara oupptäckt försöka se till att ha en så låg kontrastskillnad som möjligt mot sin bakgrund, samt att se till att exponeringstiden till ett hot är tillräckligt kort.

Det har under projektets gång funnits tankar på (som dock inte har genomförts) att dela upp de ingående faktorerna i följande tre kategorier:

- *Påverkbara*, faktorer som det går att ändra till plattformens fördel. Exempel är hastighet som minskar exponeringstid.
- *Nyttjandebara*, faktorer som inte kan påverkas men utnyttjas till plattformens fördel. Exempel, en framkomlig väg är mer insynsskyddad än en annan.
- *Begränsande*, faktorer som verkar till plattformens nackdel. Exempel, väg som är smal och svårframkomlig tvingar plattformen att sänka hastigheten.

5.2 Samband mellan faktorer

De flesta faktorerna är på något sätt relaterade till andra faktorer och som lätt inses kommer de olika faktorerna att påverka varandra beroende på sambandet mellan dem. I syfte att hitta de dominerande faktorerna och deras samband vid olika situationer studerades om s.k. ”concept maps”¹⁵ kan utnyttjas. I figuren nedan visas ett exempel på en sådan konceptuell karta för rörlighet.



Figur 16 Exempel på concept map för rörlighet.

Ett av de problem som måste kunna hanteras är hur detaljerat denna struktur ska göras. Ett annat problem är att klara ut sambanden mellan faktorerna utan att den karta som skapas blir alltför klottrig. Projektet studerade (som hastigast) om concept maps kunde utnyttjas för att koppla faktorerna med Försvarmaktens grundläggande förmågor, som visas i Figur 13. Vid kraftsamling kring t ex rörlighet, vilka faktorer skulle verka positivt och vilka skulle verka negativt, samt vilka samband finns mellan dem. Det visade sig under arbetets gång att det skulle bli allt för tidskrävande att skapa kartor för de olika grundläggande förmågorna. För att kunna skapa konceptuella kartor för samband, krävs en tydlig hierarkisk uppdelning. Vidare att man skiljer på system och förmåga. För att lyckas med detta krävs både djupare insikt och mer tid än vad projektet hade tillgång till.

¹⁵ Concept Maps är en strukturerad form av mindmapping. Se http://en.wikipedia.org/wiki/Concept_map.

6 Utvärdering och värdering

Det var projektets förhoppning att finna ett antal av de styrande faktorerna för att kunna värdera vilket handlingsalternativ som är det optimala. Så att frågeställningen kan formuleras vilket vägval/handlingsalternativ ska väljas. Notera att skillnaderna mellan ett planeringsverktyg och ett verktyg för genomförande, i detta fall är mycket små.

Innan de styrande faktorerna var identifierade studerades översiktligt ett antal ”värderingsmetoder” för att se om det fanns någon metod som skulle passa in bättre på projektets frågeställning än de andra. Syftet med studierna har varit att öka kunskapen och för att bättre förstå expertis inom området.

6.1 Definitioner

Värdering är ett begrepp som ofta blandas ihop med utvärdering. Värdering och utvärdering är två vitt skilda begrepp men ändå kopplade till varandra. För att få en uppfattning om vad värdering och utvärdering egentligen omfattar och innebär är det lämpligt att gå tillbaka till definitionen såsom den beskrivs i Nationalencyklopedin (NE), där följande lösryckta citat kan läsas:

Utvärdering

”Systematisk bedömning av resultaten och effekterna av genomförda insatser.”

Värdering:

”Handling att sätta ett värde på något eller resultatet av att utföra en sådan handling. Resultatet har i allmänhet formen av ett omdöme, åsikt eller en uppfattning.”

Av ovanstående framgår att begreppen *utvärdering* och *värdering* är mycket starkt kopplade till varandra. En utvärdering är till sin natur mer objektiv än en värdering där det lätt, mer eller mindre omedvetet, kommer in subjektiva kriterier. Resultat från en eller flera genomförda utvärderingar är ett underlag inför en kommande värdering, där resultaten från utvärderingen jämförs enligt uppställda värderingskriterier. En väl genomförd utvärdering är en grundförutsättning för att kunna göra en värdering. Det är därför oerhört viktigt att frågeställningen som ska besvaras med hjälp av värderingen är aktuell under hela tiden och inte enbart när själva värderingsarbetet genomförs.

Gränsen mellan vad som är utvärdering och värdering är med andra ord inte knivskarp. Mycket ofta flyter dessa två begrepp in i varandra, och är att betrakta som kommunicerande kärl. I ett systemperspektiv sker dessa processer vanligtvis parallellt. Utgående från indata beräknas ett antal värden, där en eller flera inparametrar varieras för att erhålla ett antal alternativ (utvärdering - t ex tid, sträcka, etc.). Resultaten jämförs mot uppställda kriterier och det mest optimala förslaget/lösningen väljs (värdering). Denna process brukar dessutom ske iterativt.

Som exempel på utvärdering och värdering har de flesta datortidningar i varje nummer något test, t ex av skrivare. Mätetalen man vill studera för de olika skrivarna kan vara inköpspris, bläckförbrukning, utskriftskvalitet, service, etc. Genom utvärderingar testas de olika skrivarna och värden erhålls för de olika mätetalen. Värderingen sker genom att mätetalens värden är viktade sinsemellan (vad testgruppen prioriterar). Genom att multiplicera mätetalens vikt med mätvärdet och summera dessa för varje skrivare fås en totalpoäng för skrivaren. Den skrivare som får den högst totalpoängen blir ”bäst i test”.

6.2 Utvärdering

Utvärdering syftar till att sätta värden på de mätetal som bedöms behöva utnyttjas för den värdering som ska genomföras. Det innebär att det första steget i utvärdering är att fastställa vilka mätetal som ska nyttjas i värderingen (de mätetal som spänner upp frågeställningen). Enklare uttryckt bestämma vilket underlag som behövs.

Det finns två typer av mätetal, dels de som belyser ett systems tekniska prestanda (Measure of Performance (MOP)), dels de som beskriver effekten av ett systems användande (Measure of Effectiveness (MOE)) [19]. Exempel på mätetal för ett systems tekniska prestanda är utstrålad effekt, frekvens, synfält, känslighet, respons, vikt, volym, och kostnad. Exempel på mätetal för effekten av användandet av ett system för SAT/TK är överlevnadssannolikhet, reduktion av antalet fall med dödlig utgång, reduktion i träff, reduktion av exponeringstid mot hotet, bomavstånd, reduktion av påläsningsavstånd, förbrukning av motmedel. Mätetalen kan vara absoluta (t ex bomavstånd i meter), logiksatta (miss eller träff av robot) eller relativa.

Det andra steget är att sätta värden på de utvalda mätetalen, eller enklare uttryckt ta fram underlaget. Detta kräver att man har bestämt sig för vilka fall eller vilken/vilka kombinationer som ska studeras. Det inses att värden på de mätetal som beskriver tekniska prestanda är förhållandevis lätta att få fram. Detta kan göras antingen genom datablad från leverantören, enklare beräkningar eller genom mätningar. Effekten av ett systems användande är inte riktigt lika enkelt. I de flesta fall är man ofta hänvisad till simuleringsmodeller för att kunna få fram de önskade värdena. För att klara ut utfall för olika situationer krävs att indata varieras. För att studera en parameters inverkan på utfallet kan parametersvep utnyttjas (endast en parameters ingångsvärde ändras, inom ett givet intervall). Om flera parametrar önskas varieras måste man vara medveten om att simuleringarna kan komma att ta mycket tid i anspråk.

Som exempel på mätetal kan Reduction In Lethality (RIL) tjäna som är ett relativt mätetal som används i telekrigsammanhang. RIL används där någon typ av slumpmässighet förekommer, på grund av t ex en människa eller ett verkligt system i simuleringsloopen. RIL förutsätter att flera simuleringar (Runs) har gjorts under liknande förhållanden. RIL mäter relativt det ostörda fallet (Dry) reduceringen av dödlighet från ett hot då en telekrigåtgärd (Wet) används. För ett robothot definieras en radie kring skyddsobjektet och om roboten kommer innanför denna radie så är det en dödlig träff (Hit). RIL definieras enligt:

$$RIL = \frac{\frac{\sum Hits_{Dry}}{Runs_{Dry}} - \frac{\sum Hits_{Wet}}{Runs_{Wet}}}{\frac{\sum Hits_{Dry}}{Runs_{Dry}}} \times 100$$

RIL är lätt att beräkna men använder en grov uppskattning av dödlighet.

6.3 Värdering

Utifrån de handlingsalternativ som har utvärderats och de mätetalsvärden som dessa har genererat, vill vi värdera vilket handlingsalternativ som ger mest nytta för uppdraget.

Som sagts tidigare är utvärdering-värdering en iterativ process. I många värderingsmetoder är utvärderingen en del av själva värderingsmetoden, speciellt gäller det optimerande och planerande metoder. En introduktion till optimeringstekniker ges i [20].

De metoder som beskrivs nedan skulle kunna ingå i ett rekommenderande stöd, se kapitel 3.1.2.

6.3.1 Värderingskriterier

Värdering är att studera eller jämföra egenskaper hos olika alternativ enligt vissa uppsatta kriterier (värderingskriterier). De egenskaper hos alternativen som vi vill värdera bör ha fångats upp i utvärderingen med hjälp av de mätetal vi nyttjat. Kopplingen mellan de mätetal som har registrerats och den egenskap vi vill studera kanske inte alltid är direkt. I exemplet med skrivare är inköpspriset en direkt mätbar egenskap medan utskriftskvalité är en egenskap som kan kräva flera mätetal (t ex färgmättnad, kontrast, etc.). Se metoden Analytic Hierarchy Process (AHP) i kapitel 6.3.2 där sådana hierarkiska beslutsproblem kan hanteras.

Vi vill sätta ett adjektiv på egenskapen, t ex högsta, lägsta, bästa, kortaste, snabbaste och värdera hur de utvärderade alternativen uppfyller detta kriteri.

Ibland används endast ett mätetal vilket gör att värderingskriteriet blir att direkt rangordna mätvärden för de olika utvärderade alternativen. En traditionell GPS-navigator använder vägsträcka som mätetal och den kortaste som värderingskriterium. Utvärderingen sker genom att ur kartdata mäta vägsträckor (alternativen) från aktuell position till slutdestinationen och i värderingen välja det kortaste alternativet. Utvärderingen sker i värderingsmetoden som vanligtvis är grafsökning, med t ex A* [2, 21, 22, 23]. A* algoritmen söker intelligent fram bland vägalternativen till en kortaste väg utan att behöva utvärdera alla vägalternativ.

Vill vi även väga in fler egenskaper¹⁶ som t ex: antal hastighetskameror, vägens skick, viltstängsel, rastplatser, vyer, etc. så har vi ett så kallat multimålsproblem, Multiple Criteria Decision Making (MCDM). Utöver att sätta kriterier för dessa egenskaper (minst antal hastighetskameror, bästa skick på vägen, flest km viltstängsel, flest rastplatser, vackraste vyerna, etc.) så måste dessa kriterier även vägas mot varandra, dvs. vilka kriterier prioriterar vi. Värdering hamnar på en högre nivå och kriteriet blir snarare att välja ”bästa väg”.

En vanlig metod vid MCDM problem är att nyttja en beslutsmatris. Beslutsmatrismetoder bygger på att de olika utvärderade egenskaperna för de olika alternativen viktas med en kriterievektor som anger vad varje egenskap anses vara värt. Genom att summera ihop de viktade egenskaperna erhålls en poäng och det alternativ som bäst uppfyller värderingskriteriet väljs. Se kapitel 6.3.2 där beslutsmatrismetoder beskrivs.

Värderingskriteriet mäter alternativets nytta (utility). För dynamiska situationer där en bästa sekvens av handlingsalternativ söks över tiden används en så kallad utility function [21] för att mäta sekvensens nytta. Diskreta metoder för att finna optimala handlingssekvenser som t ex Markov Decision Process (MDP), se kapitel 6.3.3, söker maximum av den förväntade nyttan, Maximum Expected Utility (MEU). Vid optimering pratar man ofta om en målfunktion som man vill maximera eller minimera, se t ex målfunktionen i kapitel 8.2.

6.3.2 Några metoder för värdering

Om utvärderingen ger ett mätetal per alternativ kan vi rangordna alternativen direkt utgående från de mätvärden som erhållits och det värderingskriteri som har definierats.

Beslutsmatriser är vanliga då flera kriterier ska avvägas i värderingen (Multiple Criteria Decision Making, MCDM). En beslutsmatris bygger på att varje kriteri rangordnas (får en vikt) och att kriterievikten multipliceras med alternativets mätvärde. Genom att summera de viktade mätvärdena väljs den med störst summa. Som exempel (påhittat) har vi utvärderat tre rökutläggningsprinciper (alternativ A, B och C) mot elektro-optiska hot (EO-hot). Som mätetal har vi valt skyddsprestanda (hur ofta rökutläggningsprincipen hakar av den följande målsökaren), rökåtgång samt manöverkrav (om rökutläggningen måste kombineras med

¹⁶ A* metoden om den används i GPS-navigatort blir dock avsevärt komplexare att konstruera, då den kommer att kräva en komplexare heuristik (tips i vilken riktning den ska söka) om flera mätetal nyttjas.

manövrar och hur komplicerad dessa manövrar är). Innan utvärderingen har vi identifierat dessa mätetal och viktat dem sinsemellan¹⁷ genom att ansätta hög skyddsprestanda (vikt 10) som viktigare än låg rökåtgång (vikt 5) som viktigare än små manöverkrav (vikt 1). Efter utvärderingen sammanställer vi mätvärdena för de olika alternativen, viktat mätvärdena och summerar dessa, se Tabell 2

Tabell 2 Beslutsmatris.

Alternativ A: hög skyddsprestanda, hög rökåtgång, höga manöverkrav.

Alternativ B: medel skyddsprestanda, medel rökåtgång, medel manöverkrav.

Alternativ C: låg skyddsprestanda, låg rökåtgång, små manöverkrav.

Kriterier			Alternativ A		Alternativ B		Alternativ C	
Adj	Mätetal	Vikt	Mätv.	Viktat	Mätv.	Viktat	Mätv.	Viktat
Högsta	Skydds- prestanda	10	9	90	5	50	2	20
Lägsta	Rök- åtgång	5	2	10	5	25	9	45
Minsta	Manöver- krav	1	2	2	5	5	9	9
Summa				102		80		74

Beslutsmatrisen ger att alternativ A är bäst.

Många beslutsmatrismetoder finns som t ex Kepner-Tregoes metod [24] och Analytic Hierarchy Process (AHP) [25]. AHP är en populär beslutsmatrismetod som består i att bryta ned beslutsproblemet i en hierarki ned till direkta mätetal och att nedifrån i denna hierarki och uppåt göra parvisa jämförelser mellan mätetalen samt parvisa jämförelser mellan alternativen för respektive mätetal. Syftet med de parvisa jämförelserna är att "normalisera" viktsvektorn och mätvärdena. Slutligen används en beslutsmatris enligt Tabell 2 för de "normaliserade" mätetalvikterna och mätetalen. I de parvisa jämförelserna används en skala från 1/9 till 9 enligt Tabell 3.

Tabell 3 Bedömningsskala AHP.

1 equal of importance	
3 moderately more dominant	1/3 moderately less dominant
5 strongly more dominant	1/5 strongly less dominant
7 very strongly more dominant	1/7 very strongly less dominant
9 extremely more dominant	1/9 extremely less dominant

[26] visar metoden på ett litet beslutsproblem.

Ovanstående metoder bygger på att utvärdera olika handlingsalternativ genom att simulera eller på annat sätt prova dessa och mäta en eller flera egenskaper (mätetal) hos de olika alternativen. Alternativt kan optimeringsmetoder nyttjas för att optimera fram ett optimalt handlingsalternativ eller optimala motverkansparametrar. I dessa fall behövs en målfunktion som vi vill optimera. Graftsökning och Optimal Styrning är optimeringsmetoder som har testats i projektet, se kapitel 8.1 och 8.2. Exempel på andra optimeringsmetoder som kan vara intressanta att studera är Genetiska Algoritmer (GA) [21, 27] och Simulated Annealing (SA) [21, 28].

¹⁷ För en objektiv bedömning bör viktningen göras innan utvärderingen. Görs viktningen efter utvärderingen kan subjektiva bedömningar påverka viktningen som favoriserar alternativ.

6.3.3 Några metoder för planering

Planeringsmetoder som t ex Markov Decision Process (MDP) kan vara lämpliga då vi vill finna en sekvens av handlingsalternativ över tiden som på bästa sätt gynnar uppdraget (ger mest nytta - utility). Planeringsmetoder har endast översiktligt studerats och en kort introduktion ges nedan till MDP.

MDP [21, 29] är en tidsdiskret stokastisk beslutsmetod som bygger på att det existerar ett antal tillstånd och att i varje tillstånd existerar ett antal handlingsalternativ som beslutsfattaren har att välja mellan. För ett tillstånd s (state) och ett handlingsalternativ a (action) existerar en funktion $P_a(s, s')$ som beskriver sannolikheten för övergången från tillståndet s till ett nästa tillstånd s' då handlingsalternativet a effektueras. Varje besökt tillstånd ger en belöning $R(s)$ (reward), vilken kan vara negativ. En av förutsättningarna för MDP är att tillståndsprocessen har Markovegenskaper [30], det vill säga den betingade sannolikhetsfördelningen för tillståndet vid en tidpunkt i framtiden, givet det nuvarande tillståndet och alla tidigare tillstånd, är oberoende av de tidigare tillstånden.

Delarna i MDP är alltså en mängd tillstånd, en mängd handlingsalternativ, en matris som beskriver sannolikheterna för övergångar mellan mängden tillstånd samt en matris som beskriver belöningen för dessa tillståndsövergångar. Målet för MDP är att maximera den summerade belöningen. Denna summering viktas ofta över tiden t med en faktor γ ($0 < \gamma \leq 1$) som innebär att belöningar i den närmaste framtiden belönas högre.

$$\sum_{t=0}^{\infty} \gamma^t R(s_t)$$

Lösningen på MPD är en policy π som anger den sekvens av handlingsalternativ som ska väljas i framtiden vid olika tillstånd för att maximera ovanstående summering. Value iteration och Policy iteration är två algoritmer som används för att finna policyn. [31] beskriver hur MDP kombinerat med Dynamisk programmering¹⁸ kan användas för resursallokering. [31] ger även exempel på några tillämpningar.

Ett problem med MDP är att tillståndet måste vara känt för att rätt handlingsalternativ ska väljas vid det aktuella tillståndet. I de fall som tillståndet inte är känt så existerar metoden Partially Observable Markov Decision Processes (POMDP) [21, 32, 33] för att finna åtminstone en approximativt optimal policy π . [34] listar ett antal lösningsmetoder. POMDP kompletteras med en observationsprocess som beskriver sannolikheten för tillstånden. Många likheter finns mellan Dolda Markovprocesser [35] och POMDP. [36] beskriver hur Dolda Markovprocesser tillsammans med Bayesianska nät kan användas för att modellera observation och följdning av markmål.

Dynamic Decision Network (DDN) [21, 37] är en metod för att planera handlingsalternativ med hjälp av Bayesiansk teknik. [38] beskriver Bayes sats, Bayesianska nät samt Influensdiagram som är komponenter i DDN. [37] presenterar DDN för planering av egenskydd för en stridsflygare samt jämför denna teknik med regelbaserade åtgärdsbibliotek.

Hur lämpade MDP och DDN är för dynamisk taktikanpassning har vi ej haft möjlighet att bedöma. Den tillståndsmodell som beskrivs i kapitel 7 verkar dock passa väl mot MDP metoden. Planeringsmetoderna beskrivna ovan är troligtvis lämpliga i mindre tidskritiska skeenden.

¹⁸ En effektiviserande beräkningsmetodik som nyttjar lösningar på delproblem för att iterativt lösa större problem, se http://en.wikipedia.org/wiki/Dynamic_programming

6.4 Från värdering till stöd

Utvärdering och värdering kan vara underlag till ett stödsystem ”on-line” eller ”off-line”. ”Off-line” innebär att simuleringar och värderingar har gjorts långt tidigare och resultat i form av effektiva åtgärder finns insamlat. Ett sådant underlag kan vara samlat från en mängd värderingar genomförda vid olika tillfällen. ”On-line” innebär att värderingen görs under uppdraget, dvs. det vi främst har diskuterat i tidigare kapitel.

Traditionellt är VMS-system regelbaserade och reaktiva. Värderingar har gjorts ”off-line” och de mest effektiva åtgärderna mot olika hotsystem har sparats i åtgärdsbibliotek. Då en hotsituation uppkommer försöker stödsystemet matcha en eller flera parametrar erhållna från egna sensorer för att utröna hotets identitet. Efter denna hotidentifikation plockar systemet ut en effektiv åtgärd och rekommenderar alternativt effektuerar automatiskt denna åtgärd. I många fall finns begränsade möjligheter att noggrant identifiera hotet utan robusta åtgärder (åtgärder som klarar flera hot) väljs. Robusthet innebär oftast att ”man tar i mer än nödvändigt” och slösar på t ex rök eller facklor vilket kan ha negativa konsekvenser i ett senare skede av uppdraget.

I vissa system finns dock en motmedelsalgoritm som ”on-line” försöker att beräkna en mer skraddarsydd åtgärd. Motverkansalgoritmen i det fartygsbaserade svenska ledningssystemet 9LV Mk4 (CETRIS) har en sådan funktion¹⁹. Ur underlag som radarmålarea för fartyget, aktuellt hotsystem, vindkurs, etc. så beräknar systemet en bästa manöver och kastmönster för facklor eller radarremсор för att undgå hotet. Fortfarande är dock beteendet reaktivt.

I kapitlet 3.1.1 har vi skissat på stödsystem som informerar användaren om aktuellt eller framtida skeende. I kapitel 3.1.2 skissar vi på system som kan rekommendera åtgärder till användaren för att hantera framtiden på bästa sätt. Det rekommenderande stöd vi har skissat på är främst av proaktiv karaktär och ”on-line” värderar situationen och olika handlingsalternativ för att ge användaren rekommendationer som undviker ett eventuellt framtida reaktivt beteende. För att kunna medge detta, måste ett så bra beslutsunderlag som möjligt finnas tillhands, vilket endast är möjligt under själva uppdragets genomförande. Givetvis kan och ska underlag av mer statisk natur nyttjas med hjälp av databaser med t ex terrängens topografi, hotsystemprestanda, etc.

Ovanstående lösningarna förutsätter att den aktuella situationen har värderats eller kan modelleras och värderas. Om situationen är helt ny eller varken kan modelleras eller värderas, utan måste hanteras med en förhoppningsvis ”robust” åtgärd så kan plattformen vara illa ute.

Case-based Reasoning²⁰ (CBR) [39, 40] är en metod som kombinerar värdering ”on-line” med värderingsunderlag ”off-line”. CBR syftar till att finna en lösning på ett ej studerat fall genom att nyttja kunskap från andra liknande studerade fall och vidareutveckla dessa för att finna en ny lösning. Lösningen på det nya fallet sparas för kommande behov. CBR bygger på fyra processer (retrieve, reuse, revise, retain) samt att information om enskilda fall och deras lösningar är lagrade i en databas. Genom att söka likheten mellan det aktuella fallet och tidigare lagrade fall återvinns (retrieve) ett eller flera likartade fall. Lösningen på dessa fall återanvänds (reuse) på det aktuella fallet. Med t ex simulering testas den gamla lösningen på det nya fallet och revideras (revise) tills ett godtagbart utfall fås. Den nya lösningen används i det aktuella fallet som ett beslutstöd. Om lösningen ger det förväntade utfallet behålls (retain) lösningen och sparas som ett nytt underlag för kommande fall. [41] beskriver hur CBR kan användas för beslutstöd vid upplopp under internationella operationer. Intressant vore att studera om CBR skulle kunna användas där en dynamisk taktikanpassning söks.

¹⁹ I delsystemet Air Defence Coordination (ADC), se

<http://products.saabgroup.com/PDBWebNew/GetFile.aspx?PathType=ProductFiles&FileType=Files&Id=5865>

²⁰ Fallbaserat lärande

7 Tillämpad modell - Tillståndsmodellen

I förstudien till projektet studerades i demoarbetet ett navigeringsproblem i småbruten terräng, se kapitel 8.1. Navigeringsproblemet löstes genom att vikta samman kartor (mobilitet och visibilitet) till en kostnadskarta och lösa problemet med en grafsökningsmetod (A* alternativt Dijkstrastrs metod). Grafen som skapades över det lilla scenariot om 3x3 km med upplösningen 25 m gav 14 400 beslutsnoder kopplat till geografiska platser. Varje nod kan sägas vara ett möjligt tillstånd.

En önskan i projektet har varit att separera den geografiska navigeringen från den skyddsrelaterade navigeringen, dvs. vilka skyddsåtgärder (TK/SAT) och i vilken ordning bör jag effektuera dessa. För detta syfte satsades det fortsatta arbetet på att studera Strid i bebyggelse (SiB) som, om grafsökning används, medför ett enklare navigeringsproblem. Vidare gjordes en abstraktion till 7 skyddsrelaterade *tillstånd*, se Figur 17. Försvarmaktens synpunkter på dessa tillstånd är inarbetade i denna modell.



Figur 17 Tillstånd och tillståndsovergångar

Tillstånden i Figur 17 definierar relationen mellan egen plattform och hotsensor respektive vapensystem. Tillståndet bekämpningsbar är i realiteten (våra tankar) den tid det tar för en skytt/operatör att göra hotsystemet klart innan avfyring. Tillstånden har hämtat inspiration från tillstånd i ”skyddslöken”, se Figur 14, och tillstånd i US Air Force ”Kill Chain”²¹ och ”Threat Kill Chain”²² där ”Threat Kill Chain” närmast liknar de tillstånd vi har använt.

Vilket tillstånd som en plattform befinner sig i är en hypotes som kan vara mer eller mindre osäker. Sensorer kan i vissa fall indikera ett tillstånd, t ex en ”Missile Approach Warner” (MAW) indikerar med god säkerhet tillståndet ”under bekämpning”. Detektion av optik med hjälp av en optikspanare ger inledningsvis en svag indikation om tillståndet, men kontinuerliga detektioner från samma optik ökar sannolikheten att tillståndet är ”detekterad”, ”klassificerad”, osv. Andra indikatorer, erfarenhetsunderlag och modeller kan även underbygga aktuell tillståndshypotes.

Målet för ett stödsystem är att ge rekommendationer till operatören hur han/hon ”rätt” nyttjar sina åtgärder på väg mot uppdragsmålet. Vad som är ”rätt” i en situation beror till stor del på i vilket tillstånd stridsfordonet befinner sig i, i relation till ett hot. Är t ex tillståndet ”ej detekterad” kan rökläggning (som en olämplig åtgärd) leda till att stridsfordonet detekteras (inträder tillståndet ”detekterad”). Se kapitel 4.4.

Vilka tillstånd som däremot prioriteras beror på *uppdragets karaktär* (visa styrka, spana, försvara, ta, ...). T ex ”spana” innebär ofta att i tillståndet ”ej detekterad” samla information,

²¹ ”Kill Chain” innehåller tillstånden: Find, Fix, Track, Target, Engage och Assess.

²² ”Threat Kill Chain” innehåller tillstånden: Surveillance, Identification, acquisition, guidance och Endgame.

varför andra tillstånd ej är önskvärda. Uppdragets syfte kan dock förändras över tiden, t ex blir spaningsuppdraget upptäckt kan andra tillståndsprioriteringar bli aktuella (uppdraget kanske övergår till "försvar" av plattformen). Se kapitel 4.3.

Över tiden i duellen mellan hot och plattform kommer tillstånden att genomlöpas utgående från ett initialtillstånd. Initialtillståndet kan vara satt genom att hotet via underrättelser har blivit medvetna om vår existens och därigenom står beredda i ett högre tillstånd.

Vilket tillstånd plattformen befinner sig i, beror på tidigare tillstånd samt de åtgärder plattformen och dess fiende gjort tidigare.

Framtiden däremot är ett öppet kort och är i det aktuella tillståndet oberoende av tidigare tillstånd, jämför Markovegenskaper [30].

Då tillstånden är en hypotes, vilken definitionsmässigt innehåller osäkerheter, så inriktades projektet under 2007 till att studera om tillståndsmetodiken kunde kompletteras för att hantera sannolikheter. Speciellt studerades om Bayesianska metoder [42] kunde nyttjas för att bedöma (leda i bevis) det aktuella tillståndet. En kurs anordnades för att öka kunskapen kring Bayesiansk teknik.

8 Demoarbeten

I projektet har demoarbeten varit ett viktigt instrument för att komma i kontakt med och inse problematiken kring TK/SAT beslutsstöd. Genom arbetet har nyttiga lärdomar dragits.

8.1 Demo 0 (genomförd i förstudien 2005)

I demo 0 demonstrerades en förenklad avvägningsmetodik mellan signaturanpassningsteknik och telekrigsteknik. Då detaljerade demonstrationer av SAT respektive telekrig redan förekommer inom många andra projekt, så har tyngdpunkten här varit att studera hur olika egenskaper kan vägas mot varandra och sedan ligga till grund för att på ett så bra sätt som möjligt välja nästa handling. Ett annat syfte har också varit att ha ett gemensamt scenario där olika aspekter kan diskuteras. Detta har lett till att nya problemställningar och insikter har framkommit.

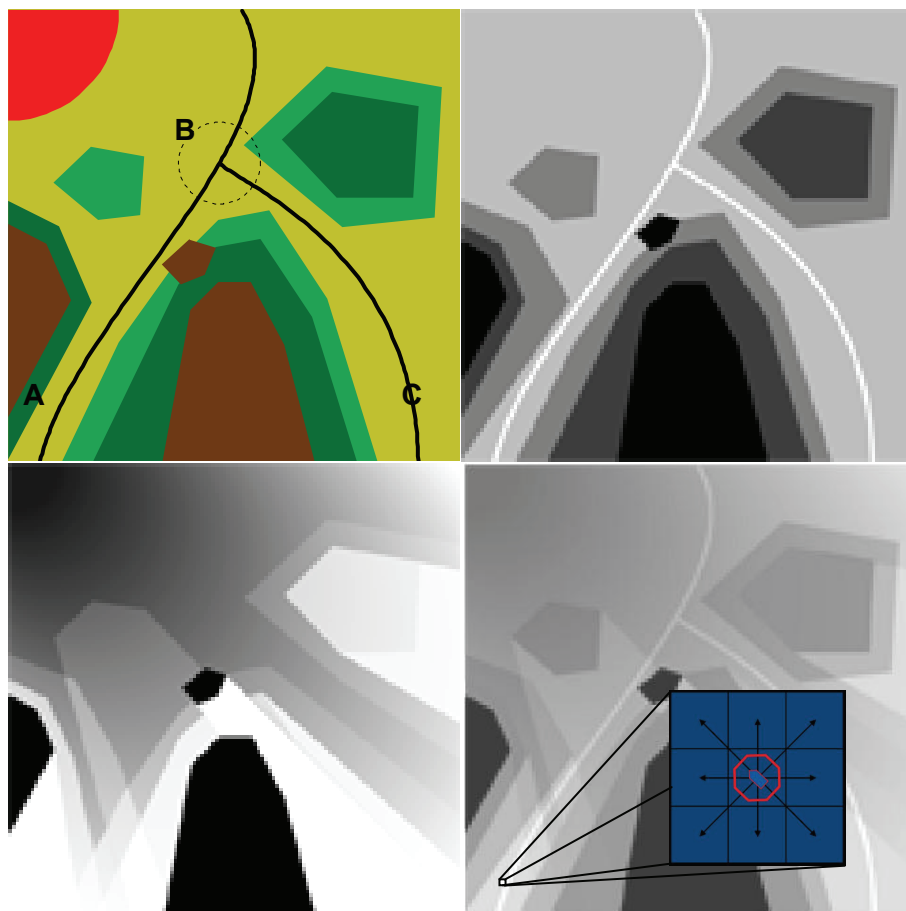
Det valda scenariot består av ett terrängavsnitt där ett stridsfordon skall ta sig från startpunkten (A) via en brytpunkt (B) till en slutdestination (C), se övre vänstra figuren i Figur 18. Genom att väga ihop framkomlighet i terrängen med en bedömning av hur synligt fordonet är från ett hot, så skall den bästa vägen fram till nästa punkt väljas. Potentiell hotposition är markerad med rött i figuren och om hotnivån bedöms bli för hög kan fordonet använda motmedel genom att skjuta rök i hotriktningen. De färgade områdena i figuren beskriver terrängen som berg (brunt), tät vegetation (mörkgrönt), gles vegetation (ljusgrönt) och öppna fält (gult). En väg (svart) med en trevägskorsning löper igenom terrängen.

Först skapas en mobilitetskarta, dvs. en bedömning av hur framkomligheten är i det aktuella området, övre högra figuren i Figur 18. Här har mobiliteten graderats efter terrängtyp och ju ljusare ett område är, desto lättare är det att tas sig fram. Svarta områden är helt oframkomliga.

Vidare så skapas en visibilitetskarta, se nedre vänstra figuren i Figur 18. Den beskriver hur lätt fordonet kan upptäckas av aktuellt hot. Visibilitetskartan kan ses som en sammanslagning av fordonets signatur, hur synligt det är mot bakgrunden och hur god sikt det är vid den aktuella platsen. Ju lättare fordonet är att upptäcka desto mörkare är färgen i kartan. Områden som är omöjliga att beträda har markerats i svart. Möjligheterna till att använda telekrig har begränsats till att skjuta rök. Effekterna av röken ger då en modifierad visibilitetskarta.

På samma sätt som för mobilitet och visibilitet skulle bedömningar av signaturer och hot inom andra våglängdsområden kunna beskrivas med liknande kartor för att skapa en komplett omvärldsuppfattning. I denna demo har vi valt att endast studera mobilitet och visibilitet.

För att kunna välja en lämplig väg genom terrängen, så väljer vi att vikta ihop de två kartorna för att skapa en omvärldsbild. Syftet med detta är att endast ha en ”karta” att välja väg igenom. I denna demo har vi möjlighet att styra hur mobilitet och visibilitet skall vägas samman med en enkel parameter. Exemplet i nedre högra figuren i Figur 18 visar en sammanvägning där mobilitet och visibilitet ges samma vikt.



Figur 18 Överst vänster: terrängavsnitt för demoscenario med startpunkt (A), brytpunkt (B) och slutdestination (C).
 Överst höger: mobilitetskarta för aktuellt scenario.
 Nederst vänster: inledande visibilitetskarta för aktuellt scenario.
 Nederst höger: sammanvägd karta för aktuellt scenario. Aktuell nod med fordon samt de åtta möjliga angränsande noderna.

När den sammanvägda omvärldsbilden är fastlagd gäller det att välja väg genom terrängen. I denna demo har varje pixel i bilden antagits vara en möjlig position. Bilden är 120 x 120 pixlar vilket skulle symbolisera en terräng om 3 x 3 km givet att varje pixel svarar mot en yta på 25 x 25 m. Varje pixel ses som en nod i en graf och att hitta vägen igenom terrängen blir då ett grafsökningsproblem, där det gäller att hitta bästa vägen genom grafen från startnoden till slutnoden. För att detta skall vara en korrekt graf måste det finnas bågar mellan noderna och till dessa bågar kopplas en kostnad för att ta sig från en nod till en annan. I demokartan sätts bågkostnaden till medelvärde av pixelvärdet i den befintliga noden och pixelvärdet i nästa nod. Vidare så antas varje nod (utom kantnoderna) var knuten till de åtta angränsande pixlarna (noderna), se nedre högra figuren i Figur 18. Grafen antas följaktligen vara viktad men inte riktad d v s det finns en kostnad men den är lika stor oavsett färdriktning mellan två noder.

Vägen från startnoden till slutnoden via ett antal noder beräknas med algoritmen A* (A-star eller A-stjärna). Heuristiken i algoritmen kan initieras antingen genom att välja det minsta avståndet antingen som det euklidiska, "fågelvägen", eller som ett som följer pixelmönstret utan att gå diagonalt, "Manhattanavståndet". Det finns även möjlighet att välja Dijkstras grafsökningsalgoritm. För beskrivning av A* se t ex [21, 22].

Genom att välja att beräkna vägen med en grafsökningsalgoritm som A* eller Dijkstra, så har det medfört vissa begränsningar i problemställningen. Dels så måste, vilket har påpekats ovan, all information om omvärld, hot, signaturer o.s.v. komprimeras ned i ett enda värde:

kostnaden att gå från en nod till en annan. Detta kan innebära en för kraftig beskärning av informationen och att sammanvägningen blir avgörande för utfallet. Dels så får varje nod endast användas en gång och algoritmen kommer alltid fram till slutmålet oavsett totalkostnad. Att varje nod endast får användas en gång är kanske ett mindre problem, men det senare innebär att någon möjlighet till att avbryta uppdraget på grund av för hög kostnad, d.v.s. hotet är för stort, finns inte.

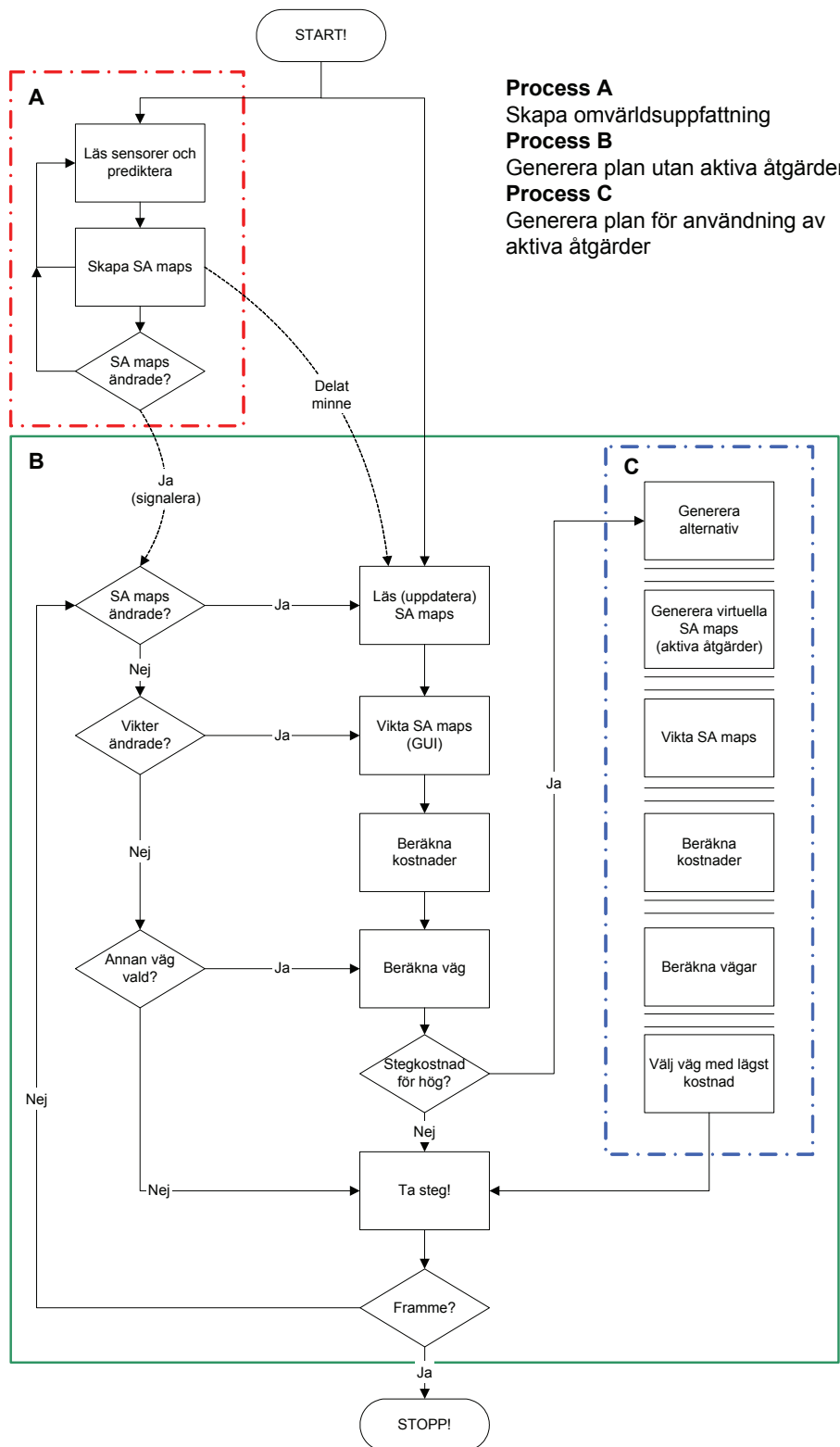
Den metodik som har legat till grund för tankarna med demoarbetet kan delas upp i tre processer, se Figur 19.

Process A skapar omvärldsuppfattning med hjälp av underrättelser, sensorinformation och modeller. I demon innebär det inläsning av nya mobilitets- och visibilitetskartor.

Process B beräknar utifrån omvärldsuppfattningen och uppdragsmålet den bästa färdvägen utan att räkna med aktiva åtgärder. Detta innebär även att övervaka förändringar, indata från process A och C, för att beräkna ny väg om förändringar sker. I demon innebär det att om mobiliteten eller visibiliteten förändras så beräknas en ny väg till nästa brytpunkt.

Process C hanterar valet av lämpliga åtgärder om valet i Process B leder till behov av åtgärder. I demon innebär det att motmedel i form av stridsrök skjuts i hotriktningen, om kostnaden vid ett steg överskrider en viss ställbar nivå.

Tanken är att process A startar först och ger förutsättningarna för planeringen, därefter matas önskade brytpunkter och slutmål in och process B startar. Process A löper i bakgrunden och håller koll på omvärldsbeskrivningen. Om något förändras meddelas process B. Process B i sin tur löper under hela tiden och kontrollerar om vägen behöver omplaneras p.g.a. att omvärlden förändras eller om omplanering behöver göras under gång p.g.a. nya direktiv från operatören (det senare är inte implementerat i demon). Om kostnaden från ett steg till nästa överstiger en viss nivå bedöms att en åtgärd behöver sättas och process C anropas. Process C skall då generera alternativ för att minska kostnaden (hotet) genom insats av lämpligt vald åtgärd och detta leder till att färdvägen planeras om. Se Figur 19.

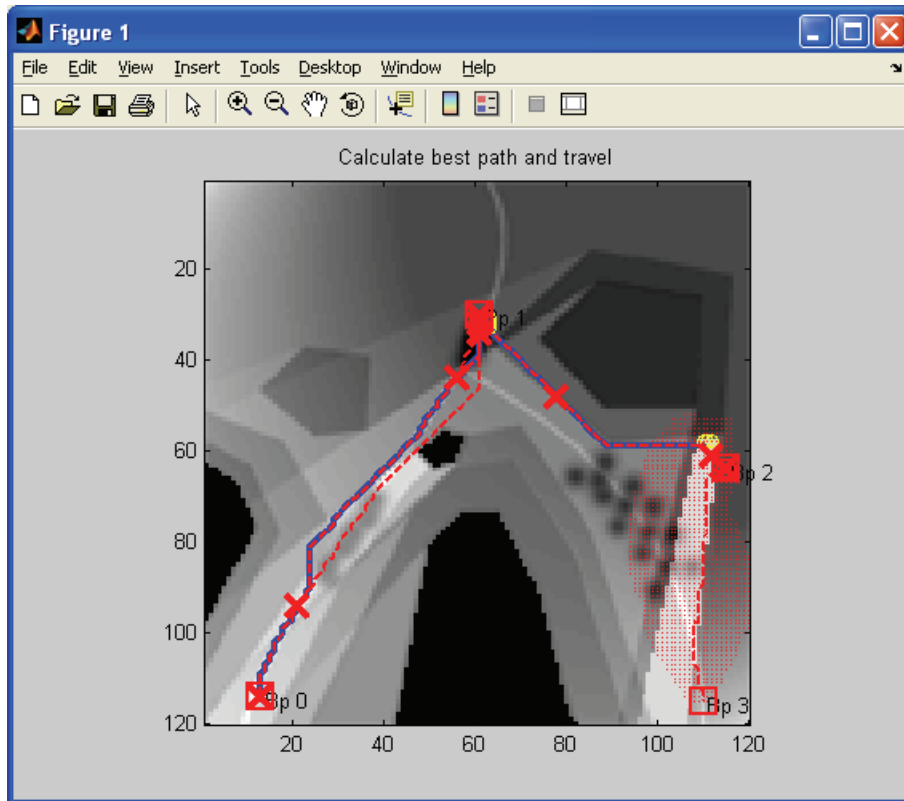


Figur 19 Principbild över använd metodik

Sammanfattningsvis kan man säga att avvägningen mellan SAT och telekrig genomförs dels i sammanvägningen och viktningen av omgivningen (SAT) och dels i kostnadströskelsättningen för att aktivera en åtgärd (telekrig). En vidareutveckling skulle kunna vara att lägga in viktning på en vägsträcka om åtgärder behöver användas någonstans på vägen. Det skulle kunna göra det möjligt att bestämma hur villig man är att använda motmedel under den

aktuella vägsträckan. Vilket prioriteras mest: Snabb framryckning, med kraftig signatur, i skydd av motmedel eller försiktigare framryckning, med låg signatur och utan att röja sig genom att använda motmedel?

Demonstrationsprogrammet har implementerats i MATLAB där den grafiska presentationen har gjorts tämligen spartansk samt att inmatning av parametrar görs direkt i koden. Anledningen till detta är att fokuseringen är att på ett enkelt sätt ge möjligheter att testa idéer och algoritmer samt snabbt kunna göra ändringar i koden, snarare än att lägga ner tiden på grafisk formgivning och användargränssnitt.



Figur 20 Exempelbild från demonstrationsprogrammet

I Figur 20 ges en exempelbild från demonstrationsprogrammet där fordonet ska färdas från $Bp0$, via $Bp1$ och $Bp2$ till slutmålet $Bp3$. Fordonet befinner sig just nu vid $Bp2$. Bakgrunden är den sammanvägda bilden av mobilitet och visibilitet där några extra mobilitetshinder har införts samtidigt som ursprungshotet har flyttat från det övre vänstra hörnet till övre högra. Röda fyrkanter markerar startpunkt, brytpunkt och slutpunkt. Röda kryss markerar platser där omplanering har skett. Röda streckade vägar är planerade vägar och blå väg är den väg som fordonet hittills har färdats. Området med röda punkter till höger markerar vilka möjliga noder som har tagits med i beräkningen för det aktuella vägavsnittet. Platser där motmedel, rök, har använts har markerats med gula cirklar och det ljusa stråket till höger är effekten av rök som fortfarande är aktiv.

8.2 Demo 0.5 (genomförd 2006)

I projektet var vi intresserade att se om andra metoder än grafsökning kunde användas för att lösa navigeringsproblemet som presenterades under förstudien, se föregående kapitel. En kort studie av optimal styrning gjordes därför.

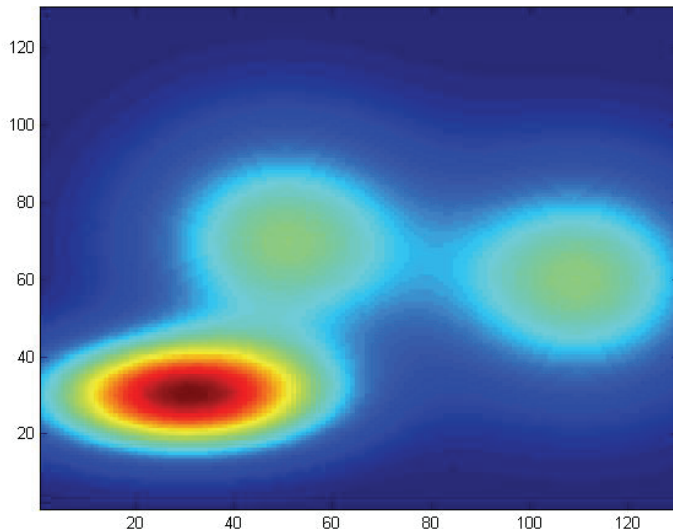
Målsättningen är att välja styrsignaler för ett dynamiskt system så att systemet beter sig så bra som möjligt. Ett typexempel är att bestämma optimal väg från en punkt till en annan.

Det optimala styrproblemet [43] kan i kontinuerlig tid formuleras som att man söker minimum av målfunktionen:

$$J(\mathbf{u}) = \Phi(\mathbf{x}(t_f)) + \int_0^{t_f} L(\mathbf{x}(t), \mathbf{u}(t)) dt$$

med avseende på en vektor av styrvariabler $\mathbf{u}(t)$, där modellen för det dynamiska systemet är $\dot{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{f}(\mathbf{x}(t), \mathbf{u}(t))$ och bivillkor $\mathbf{u}(t) \in U$, $0 \leq t \leq t_f$, $\mathbf{x}(0) = \mathbf{x}_0$ och $\Psi(\mathbf{x}(t_f)) = 0$.

Låt oss betrakta ett exempel som illustrerar hur optimal styrning skulle kunna användas i ruttplanering med hänsyn tagen till signatur- och telekrigsaspekter. Vi betraktar ett scenario liknande det i kapitel 8.1, där man söker en optimal färdväg i en sammanvägd omvärldskarta. Vi betraktar här en fiktiv sammanvägd omvärldskarta, skapad matematiskt genom att kombinera tre tvådimensionella Gaussfunktioner. Den fiktiva omvärldskartan visas i Figur 21, där vi tolkar blå områden som områden med låg kostnad (risk) och röda områden som områden med hög kostnad (risk).



Figur 21 Fiktiv sammanvägd omvärldskarta.

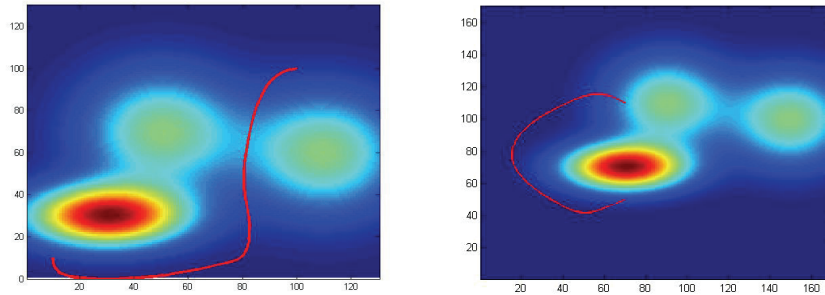
Allmänt uttryckt vill vi bilda vår kostnadsfunktion (målfunktion) så att en rutt som går genom röda områden kostar mer än en som går genom blå områden, viktat mot längden av den sträcka som passeras. Ett val av kostnadsfunktion som uppfyller dessa krav är t.ex.

$$\begin{aligned} J(u_1, u_2) &= \int_0^{t_f=1} G(x_1, x_2) dl = \int_0^{t_f=1} G(x_1, x_2) \frac{dv}{dt} dt = \\ &= \int_0^{t_f=1} G(x_1, x_2) \sqrt{\dot{x}_1^2 + \dot{x}_2^2} dt = \int_0^{t_f=1} G(x_1, x_2) \sqrt{u_1^2 + u_2^2} dt \end{aligned}$$

där (x_1, x_2) är koordinaterna i x- och y-led på banan (rutten), $G(x_1, x_2)$ är en viktsfunktion svarande mot "risken" på omvärldskartan (värdet av summan av de tre Gaussfunktionerna plus ett konstant bidrag), dl är ett infinitesimalt längdsegment av banan, v är farten längs banan och styrsignalerna (u_1, u_2) svarar mot hastigheterna i x- och y-led, d.v.s.

$\dot{x}_1 = u_1$, $\dot{x}_2 = u_2$. Vi har dessutom för enkelhets skull villkorat problemet så att banan startar och slutar i givna punkter och slutpunkten nås vid tiden $t_f = 1$.

Vi har löst vårt optimala styrproblem genom att utnyttja programpaketet ”dyn.Opt” [44] vilket är en Java-applikation utvecklat för lösning av problem i optimal styrning. Figur 22 visar vi två exempel på banor som erhållits som lösningar för två olika val av start- och slutpunkter.



Figur 22 Två exempel på banor som erhållits som lösningar för två olika par av start- och slutpunkter.

Demo 0.5 visade att andra metoder än grafsökning kan användas för navigering på en kostnadskarta.

8.3 Demo 1 (genomförd 2006)

Demo 1 hade som syfte att studera den tillståndsmodell som beskrivs i kapitel 7.

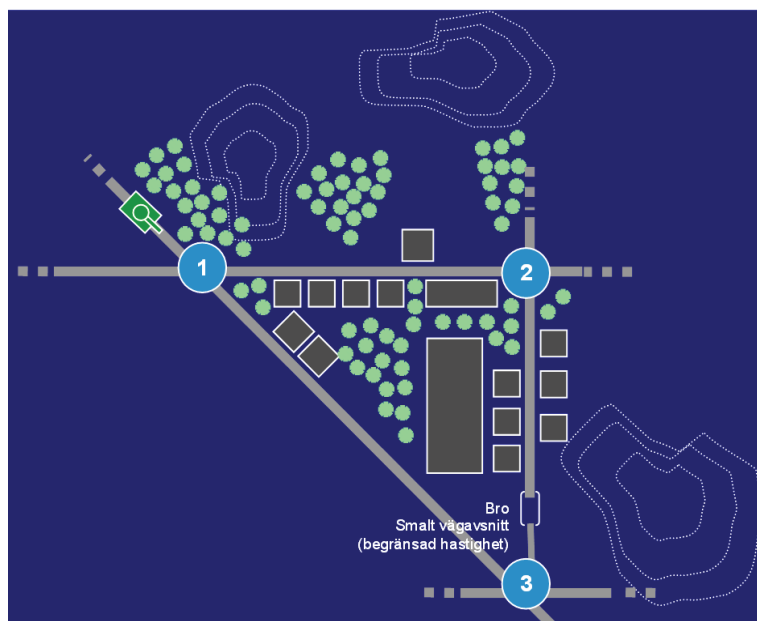
8.3.1 Scenario

Inför demoarbetet har diskussioner förts kring ett scenario som visas i figuren nedan. Här visas ett terrängavsnitt med punkterna 1, 2 och 3 är noder där beslut och val av alternativ färdväg kan fattas. Ett tämligen enkelt scenario med raka vägar och enkla terrängavsnitt, utkant av urban terräng, har valts som utgångspunkt. Härigenom är det relativt korta stridsavstånd, max 2 km, vilket medför att sensorerna i de flesta fall har räckvidd nog att upptäcka våra plattformar. Upptäckten är därför starkt kopplad till hur lång tid plattformen befinner sig i en sensors synfält.

Inför uppgiften planeras lämplig färdväg med avseende på uppdragets art och underrättelseläge. Uppgiften är att med ett fordon förflytta sig från 1 till 3 utan att bli bekämpad, där val av lämplig väg måste vägas mot sträckan och den hotmiljö som befaras. Med hjälp av planeringsverktyget läggs kända och förmodade hotsystem in i scenariot.

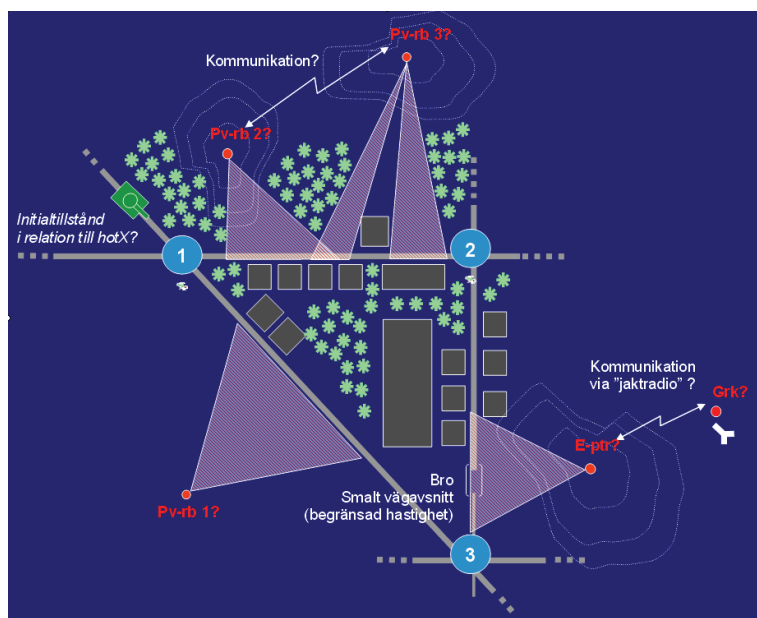
I scenariot ovan har ett antal antagna hotsystem i form av pv-robot, RPG, granatkastare (grk) och minor placerats ut, se bilaga 1. Utifrån dessa antaganden beräknas tillgängliga täckningsområden för sensorer samt siktsträckor för respektive hotsystem (streckade områden). I scenariot har dessutom antaganden om kommunikationsnät där information mellan olika enheter kan utbytas indikerats.

Förflyttningen mellan punkt 1 och 3 kan genomföras via två alternativa vägar. Direkt mellan 1 och 3 eller via 2, se Figur 23.



Figur 23 Beskrivning över studerat scenario. Stridsfordonet har till uppgift att enskilt förflytta sig från 1 till 3 utan att bli bekämpat.

I detta exempel finns två alternativa vägval möjliga för att genomföra uppdraget. En viktig del är kännedom om motståndarens vapensystem och eventuella gruppering. I det aktuella scenariot var främst styrda pv-vapen av generation 2 det studerade hotet [45]. Robotskytten styr roboten efter avfyrning mot målet genom att hålla robotsiktets hårkors över målet. I bakre delen av roboten sitter en lampa som utnyttjas för att mäta in robotens position i förhållande till robotskyttens siktlinje till målet. Nödvändiga korrekationer av roboten sker via styrsignaler från siktet via tråd (hasplas kontinuerligt ut mellan sikte och robot i banan) eller laser.



Figur 24 Inför planering studeras terrängen med avseende på en motståndares tänkbara grupperingsplatser. I detta fall pv-vapen med antagna eldområden och områden lämpliga för indirekt eld.

Figur 24 visar en bedömning över var en motståndare skulle kunna gruppera pv-vapen för att verka mot olika vägsnitt. Denna bedömning kan vara grundad på tänkbara vapenhot, aktuella underrättelser, terränganalys, mm. I det aktuella exemplet står vägvalet mellan 1-3 eller 1-3 via 2.

För att närmare analysera ett vapensystems förmåga att verka måste en kedja av konsekutiva tillstånd genomlöpas som i projektet har definierats i tillståndsmodellen, se kapitel 7.

För att kunna bli bekämpad krävs att alla steg i denna kedja genomlöps i angiven ordning. Genom lämpliga signaturanpassningsåtgärder kan förutom upptäckt även klassificering och identifiering försvåras och fördröjas. För att kunna bedöma om stridsfordonet kan bli bekämpat eller ej måste tider kopplas till de olika faserna från upptäckt till bekämpning.

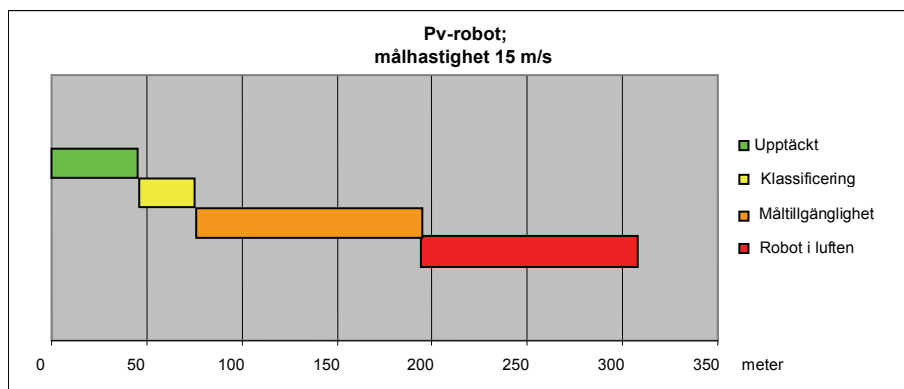
Med tid för upptäckt menas den tid det tar från det att objektet är synligt till dess att en operatör har observerat föremålet. För att kunna avgöra om det är ett objekt som ska bekämpas måste det därefter klassificeras eller identifieras. Klassificering innebär att ett fordon kan bestämmas till hjulgående eller bandgående, alternativt bestämmas till stridsvagn eller stridsfordon. Identifiering kan innebära när det gäller t.ex. ett fartyg att detta bestäms till individ medan ett stridsfordon bestäms till typ, t.ex. stridsfordon 9040. Det kan ibland vara lämpligt att slå samman klassificering och identifiering då gränsen mellan dessa båda begrepp är diffus.

När ett objekt har upptäckts och klassificerats/identifierats måste skytten av pv-robotsystemet avgöra om målet kan bekämpas eller ej. Här gör skytten en bedömning över målets tillgänglighet vilket i detta fall innebär att målet måste vara synligt och kunna följas av robotskyttens sikte under hela bekämpningsfasen, dvs. målet måste vara synligt från avfyrning av robot till dess att den träffar i målet. En mycket viktig faktor för denna bedömning är det tänkta målets hastighet i sida relativt robotskytten.

8.3.2 Tillämpning av tillståndsmodellen

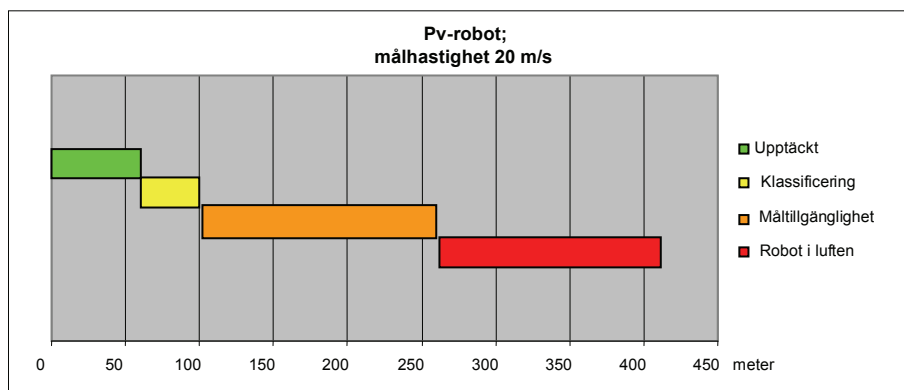
För att kunna avgöra om ett objekt kan bli bekämpat eller ej från en viss grupperingsplats krävs i princip kännedom om tider för upptäckt, klassificering/identifiering och bedömning av måltillgänglighet. En enkel beräkning utgående från antagna tider och för några olika pv-robotsystem kan ge som resultat den sträcka på fri sikt (skjutfönster) som krävs för att kunna bekämpa ett mål från en given plats. Genom att variera olika parametrar såsom målets hastighet, tid för upptäckt skjutavstånd, mm. kan en bedömning göras huruvida målet kommer att kunna bli bekämpat eller ej vid passage över den givna sträckan.

Antag att en pv-robot är grupperad i punkt pv-rb 1 längs vägen 1-3 (Figur 24). Skjutavstånd är 1000 m. Med given hastighet hos målet (15 m/s) och antagna tider för upptäckt (3 s), klassificering (2 s), bedömning av måltillgänglighet (8 s) samt aktuell robots skjuttid beräknas den minsta sträcka som målet måste vara tillgängligt dvs. synligt för att kunna bekämpas. Ansatta tider för upptäckt, klassificering mm har hämtats ifrån [46] och [47] där tidskrav för godkänd utbildning har utnyttjats. Här finns ett behov av att genomföra kontrollerade försök, då det verkar finnas mycket få undersökningar gällande tider för upptäckt, klassificering, mm. De flesta undersökningar berör upptäcktsavstånd för olika sensorer vilket kan vara av intresse vid långa stridsavstånd, vilka sällan förekommer vid strid i bebyggelse. Resultatet från beräkningen visar (se Figur 25) att om vägsträckan med fri sikt till målet är längre än 310 m så kan målet bekämpas från grupperingsplatsen pv-rb 1 i Figur 24.



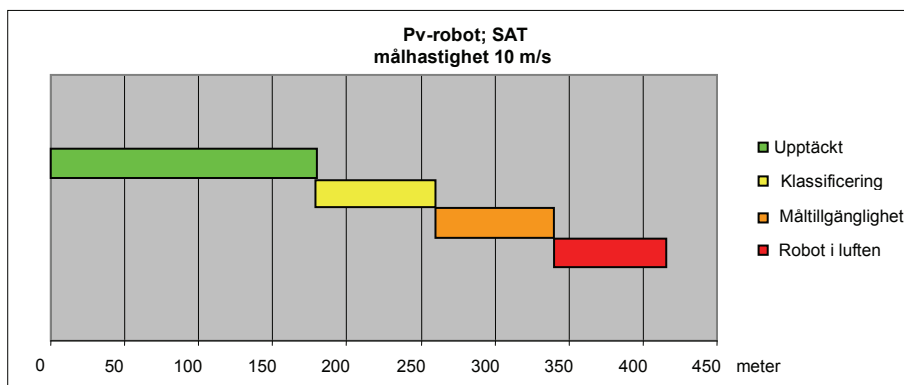
Figur 25 Stapeldiagram som visar ett exempel på den sträcka av fri sikt som krävs för bekämpning (avstånd 1000m) av ett mål med sidhastighet 15 m/s (54 km/h). Grön stapel beskriver sträckan som målet hinner tillryggelägga under tid för upptäckt (3 s). Gul stapel anger sträckan för klassificering (2 s). På samma sätt anger orange stapel sträcka för bedömning av måltillgänglighet (8 s). Slutligen röd stapel anger skjuttid för robot.

För att undvika bekämpning finns två möjligheter. Antingen ökas hastigheten på målet eller så försöker man förlänga tider för upptäckt och klassificering. En beräkning där hastighet hos målet har ökat från 15 m/s (54 km/h) till 20 m/s (72 km/h) redovisas i Figur 26. Övriga parametrar har antagits vara samma som i Figur 25. Med en hastighet på 20 m/s krävs ett skjutfönster på ca 410 m, en ökning på 100 m jämfört med den lägre hastigheten (15 m/s). I vissa fall kan detta vara en lämplig och tillräcklig stridsteknisk åtgärd för att passera ett område med fientliga pv-robotar.



Figur 26 Stapeldiagram som visar ett exempel på den sträcka av fri sikt som krävs för bekämpning (avstånd 1000m) av ett mål med sidhastighet 20 m/s (72 km/h). Grön stapel beskriver sträckan som målet hinner tillryggelägga under tid för upptäckt (3 s). Gul stapel anger sträckan för klassificering (2 s). På samma sätt anger orange stapel sträcka för bedömning av måltillgänglighet (8 s). Slutligen röd stapel anger skjuttid för robot.

Signaturanpassningsteknik (SAT) torde kunna utnyttjas för att undvika bekämpning av pv-robotsystem genom att förlänga tiderna för upptäckt och klassificering. I detta fall har SAT-åtgärder vidtagits i form av el-drift, med maximal hastighet 10 m/s, samt åtgärder för att minska den visuella och IR-signaturen. Tid för upptäckt ökas från 3 s till 18 s och tid för klassificering från 2 s till 8 s. Resultatet redovisas i Figur 27, där sträckan för bekämpning är ca 410 m. I detta exempel är en ökning av hastighet alternativt utnyttjande av en SAT-åtgärd två möjliga åtgärder med likvärdig effekt. Ett informerande stöd presenterar båda alternativen som likvärdiga åtgärder och det är upp till operatören att välja vilken åtgärd som är mest lämplig. Ett rekommenderande stöd presenterar det alternativ som är mest fördelaktigt för uppdragets genomförande.

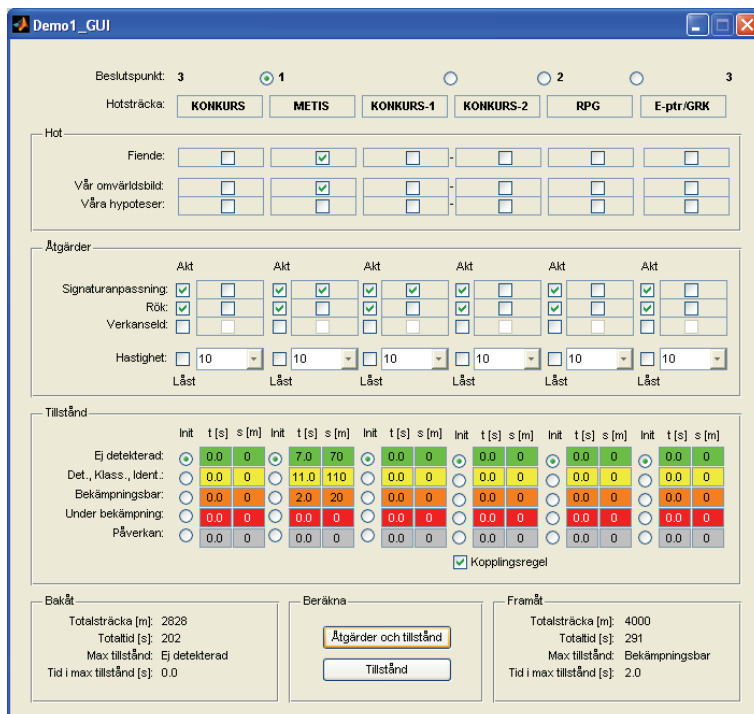


Figur 27 Stapeldiagram som visar ett exempel på den sträcka (röd stapel) av fri sikt som krävs för bekämpning (avstånd 1000m) av ett signaturanpassat mål med sidhastighet 10 m/s (36 km/h). Grön stapel beskriver sträckan som målet hinner tillryggelägga under tid för upptäckt (18 s). Gul stapel anger sträckan för klassificering (8 s). På samma sätt anger orange stapel sträcka för bedömning av måltillgänglighet (8 s). Slutligen röd stapel anger skjuttid för robot.

De med SAT-åtgärder ansatta tiderna ska här enbart ses som exempel. Det skulle behövas omfattande försök att fastlägga hur olika SAT-åtgärder kan påverka tider för upptäckt och klassificering.

Utifrån denna relativt enkla modell är det möjligt att bedöma möjligheten att passera en viss vägsträcka med kännedom eller antagande om pv-robothot genom att vidta lämplig åtgärd. Modellen kan dessutom ge indikation på vilka krav som bör ställas på en viss SAT-åtgärd som t.ex. fördröja upptäckt och klassificering med 20 respektive 10 sekunder.

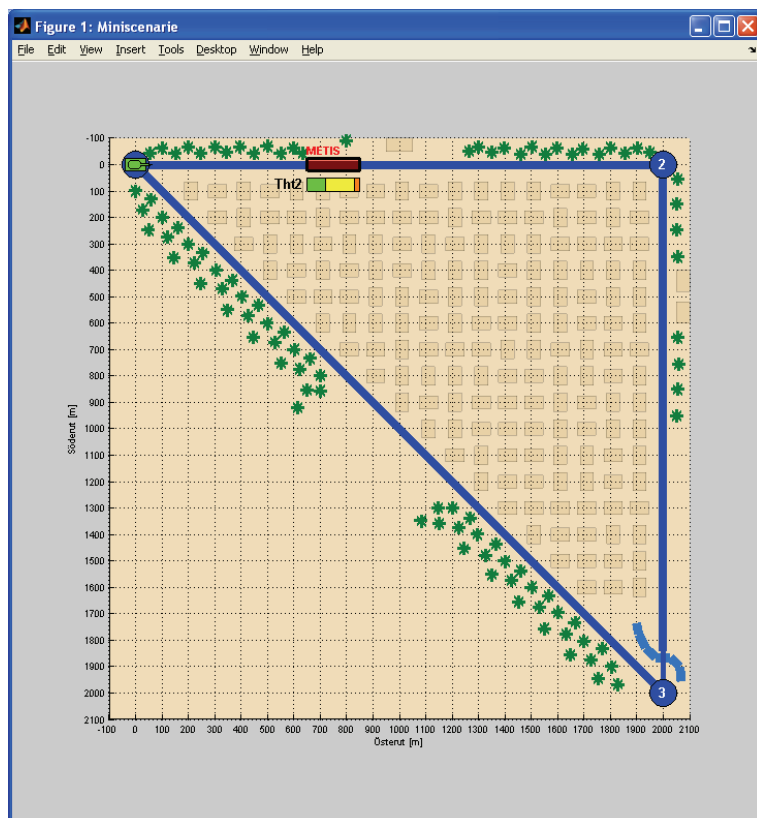
Ett program som visualiserar ovanstående har utvecklats i MATLAB. Programmet är interaktivt med ett användargränssnitt där bekräftade och hypotetiska hot (se hotens placering i Fig. 2) anges i en matrisstruktur där hoten är förtecknade i kolumner, se Figur 28.



Figur 28 Användargränssnittet till demoprogrammet. Signaturanpassning har valts som åtgärd mot hotet METIS (pv-rb 2) och tillståndstider i hotområdet har beräknats.

Genom att klicka på "Beräkna tillstånd" itererar programmet över de åtgärdsalternativ som har aktiverats (kryssrutan "Akt" vid respektive åtgärdsalternativ) och finner den kombination

av åtgärder som resulterar i lägsta tillstånd mot de hot som aktiverats. I programmet kan initialtillståndet mot respektive hot sättas. En presentation görs av de tillståndstider och den tillståndssträcka som åtgärderna resulterar i inom hotområdet. Genom att själv välja åtgärdsalternativ och klicka på knappen "Tillstånd" beräknas tillståndstiderna för den valda åtgärds kombinationen. Nederst i användargränssnittet visas information av totalsträcka, totaltid, maximalt tillstånd och tid i maximalt tillstånd för att rycka framåt (medurs) samt bakåt (moturs) mot punkt 3 från den beslutspunkt som valts överst i användargränssnittet. Som visas i Figur 28 så finns det beslutspunkter inte enbart vid hörnen i triangeln utan även mellan hotområden. Resultatet från programmet visas även i 2D-vy, se Figur 29.



Figur 29 2D-vy över scenariot. Tillståndssträckorna visualiseras i figuren tillsammans med hotområdet.

Under arbetets gång har det framkommit vilka brister det finns när det gäller underlag angående tider för upptäckt och klassificering. De studier som finns berör oftast vilken räckvidd för upptäckt respektive klassificering olika typer av elektro-optiska system har, mycket ofta baserat på det s.k. Johnsson kriteriet och framräknad kontrast. Förutsättningarna i aktuellt exempel är dock annorlunda. Här befinner sig ett mål på avstånd där den spatiella upplösningen på pv-robotsiktet är fullt tillräcklig för upptäckt och klassificering.

8.4 Demoarbete 2007

På grund av projektets avslut fokuserades arbetet till väcka idéer för möjlig implementation i t ex EWSim samt för att sammanställa projektårens arbete (detta dokument). Någon demonstrerbar "modell" har därför inte presenterats under 2007, däremot delar som skulle kunna finnas i ett stödsystem.

8.4.1 Sannolikhetsbedömning

I det arbete som beskrivs i kapitel 8.3 kunde tillstånden direkt beräknas utifrån förlöpt tid samt de handlingar som kan genomföras över tiden. Som beskrivs i kapitel 7 är tillståndet en hypotes om förhållandet mellan plattformen och dess hot. Då vi ej med säkerhet kan avgöra hotets handlande och reaktion på våra åtgärder så kan vi ej heller säga med exakthet vad tillståndet är. Observationer kan stärka vår hypotes om tillståndet.

Diskussion om alternativa möjligheter att studera problemet initierades och ett förslag var att se om begreppet sannolikhet kunde utnyttjas i arbetet. För att få in lite mer dynamik i modellen så diskuterades möjligheten att utnyttja sannolikheter i de olika faserna för att på så sätt kunna erhålla sannolikheten för bekämpning enligt vissa givna betingelser. Arbetet gick vidare i denna riktning och speciellt intresse inriktades mot Bayesianska metoder.

8.4.2 Betingad sannolikhet

Betingad sannolikhet eller Bayesianska metoder framstod som något mycket intressant och ett alternativ. Vi har dock ej helt kunna döma av om Bayesianska metoder är det som ska användas. Nedan skissas ett förslag till hur denna metodik skulle kunna utnyttjas.

Grunden för det hela ligger i *Bayes sats* och kan formuleras i ord enligt följande:

När två händelser beror på varandra är sannolikheten för den sammansatta händelsen produkten av sannolikheten för den första händelsen och sannolikheten för den andra, givet att den första redan inträffat.

Bayes sats kan tillämpas på den händelsekedja som har beskrivits tidigare på sidan 25 och som återfinns i Figur 30. Förutsättningen för att kunna tillämpa Bayes sats är att för varje länk i kedjan finns det en sannolikhet för att händelsen ska inträffa. Varje enskild sannolikhet för att en händelse inträffar, multipliceras och produkten ger den totala sannolikheten för bekämpning.



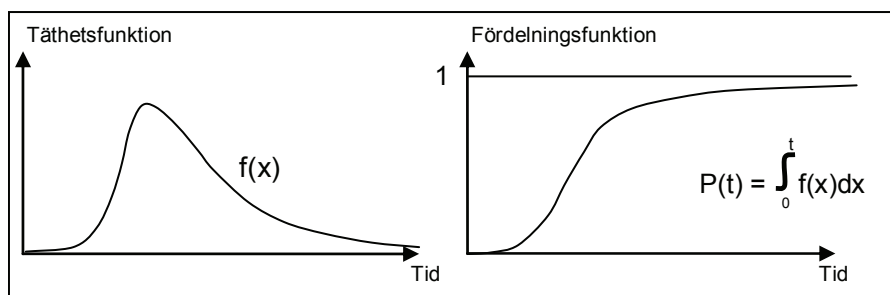
Figur 30 Händelsekedja för att kunna bekämpa ett mål samt iterationen kring händelsekedjan för att bedöma aktuellt tillstånd. Varje händelse i kedjan måste inträffa och i konsekutiv följd för att nästa händelse ska kunna inträffa. Uteblir någon händelse kan bekämpning ej genomföras.

Vid rörligt mål gäller att varje enskild sannolikhet kopplat till en händelse måste anges på något sätt tidsrelaterat. Sannolikheten för upptäckt kan anges t ex 90 % inom 3 s. Detta kan betyda endera att:

- av 10 observatörer upptäcker 9 målet inom 3 sekunder
- av 10 enskilt uppträdande mål upptäcks 9 inom 3 sekunder

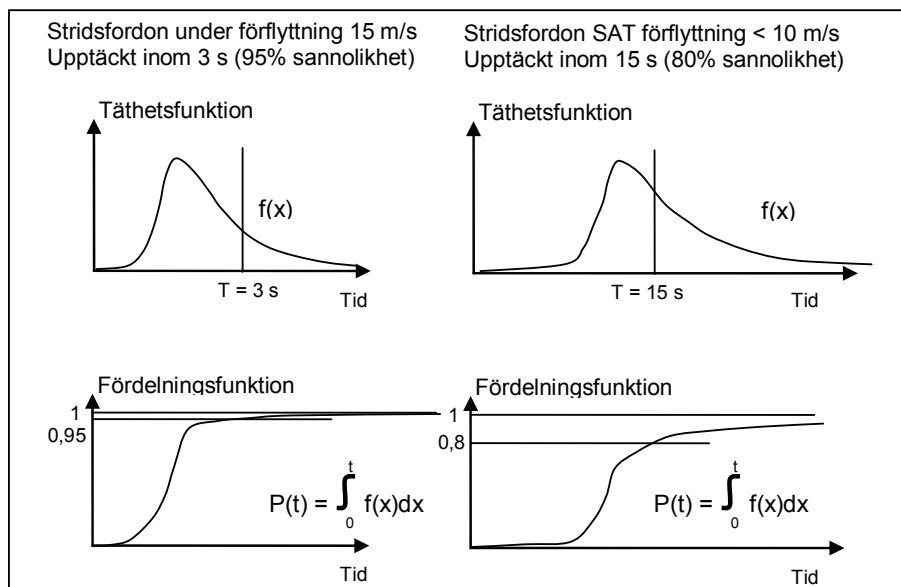
eller en kombination av ovanstående punktsatser. För vårt fall är det troligtvis den första punkten som är mest relevant.

Vid denna diskussion om sannolikheter är det mycket viktigt att klart definiera vad som avses. Generellt sett skulle sannolikheterna principiellt kunna uttryckas som en täthetsfunktion eller dess integral (fördelningsfunktion), se Figur 31. Fördelningen, i Figur 31 exemplifierad med en Poissonfördelning, kan omvandlas till sannolikheten för händelsen vid en viss tid t och kan beräknas genom integration med gränserna 0 och t . Ur den erhållna kurvan $P(t)$ kan för en given sannolikhet tiden för händelsen utläsas. Omvänt kan för en given tid sannolikheten för händelsen utläsas.



Figur 31 "Sannolikhet" kan anges genom en täthetsfunktion, i detta fall med antal "rätta" målupptäckter som funktion av tid. Täthetsfunktionen $f(x)$ kan omvandlas till upptäcktsannolikhet $P(t)$ genom integration.

Det är ytterst sällan man känner till motståndarens kriterier för målval och bekämpning. Dessa kriterier kan vara mycket olika, allt från att bekämpa alla typer av upptäckta fordon till att bekämpa enbart stridsfordon. Dessa osäkerheter påverkar givetvis respektive tillstånds täthets- och fördelningsfunktion.



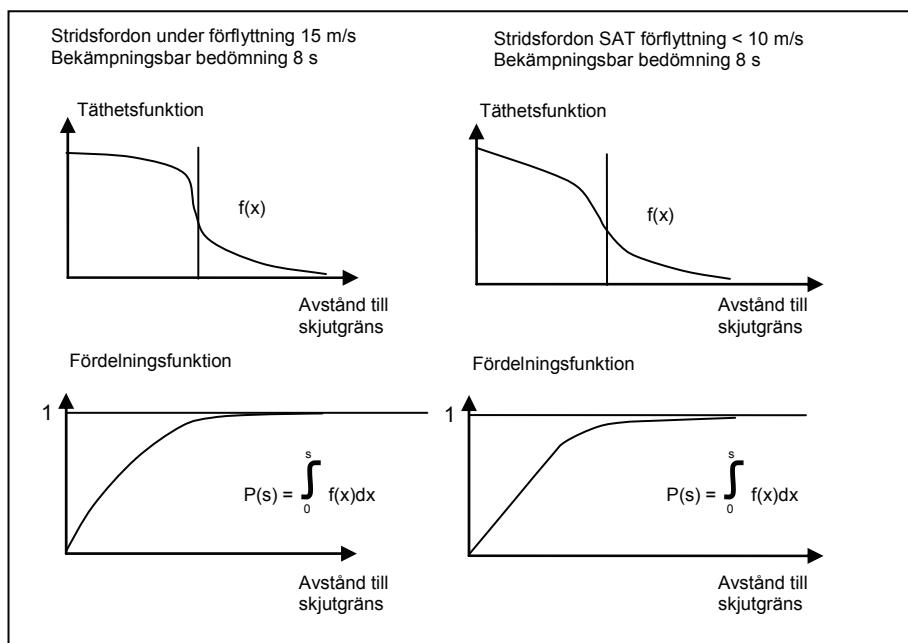
Figur 32 Exempel på täthetsfunktioner för upptäckt som funktion av tid. Troligtvis är dessa någon typ av Poissonfördelning. Bilderna till vänster visar antagen täthets- respektive fördelningsfunktion för ett normalt mål och bilderna till höger visar antagen täthets- respektive fördelningsfunktion för ett signaturanpassat mål.

I Figur 32 redovisas exempel på fördelningsfunktioner för upptäckt av ett mål, under olika förutsättningar, som funktion av tid. Två olika fördelningar, här antagits som Poisson-fördelningar, beskriver upptäckt av normalt stridsfordon 9040 samt signaturanpassat. På

liknande sätt torde täthets- respektive fördelningsfunktion kunna beskrivas för klassificering och identifiering.

För att beskriva sannolikheter med syfte att avgöra om ett upptäckt och identifierat mål är bekämpningsbart eller inte måste troligtvis andra kriterier än enbart tid vägas in. Detta avgörande beror till stor del på operatörens skicklighet, tid för eldförberedelser (kännedom om skjutavstånd och flygtid för pv-roboten), vilken marginal som finns, dvs. hur nära målet är ena "kanten" av skjutfönstret, vilka skjutregler som skytten går efter, mm. Sannolikheten för att skytten ska ange målet som bekämpningsbart är starkt beroende på vilka marginaler som finns. Är tillgängligt skjutfönster dubbelt mot vad som krävs är sannolikheten i stort sett 1 till att skytten anger målet som bekämpningsbart, medan en liten marginal ger en låg sannolikhet. Detta innebär att sannolikheten för bedömning av "bekämpningsbart eller ej" är en funktion av marginalens storlek.

Tiden för bedömning om bekämpningsbar eller ej har inte så stor betydelse utan den är troligtvis att betraktas som konstant för en och samma skytt. Tiden kan dock variera stort från individ till individ beroende på hur väl övad skytten är. Bedömning bekämpningsbar eller ej måste ske inom en viss tid. Tar detta för lång tid minskar tillgängligt skjutfönster och tar detta för kort tid är risken att målets sidohastighet kan bli felaktigt bedömd med påföljd att skjutfönstrets storlek blir felaktigt uppskattat.



Figur 33 Exempel på täthetsfunktioner för bedömning av bekämpningsbar som funktion av målets position i förhållande till bortre gräns av skjutfönstret (skjutgränsen). Troligtvis är dessa någon typ av "S-kurva" (del av Gauss-kurva). Bilderna till vänster visar täthetsfunktion (gissad) respektive fördelningsfunktion för ett normalt mål och bilderna till höger visar täthets- respektive fördelningsfunktion för ett signaturanpassat mål.

Genom att påverka tiden för upptäckt och klassificering/identifiering och därmed påverka sannolikheten för respektive tillstånd, påverkas indirekt bedömning av måltillgängligheten. För ett och samma scenario kommer tillgänglig sträcka för bekämpning (skjutfönster) att variera. Hur detta kan påverka den totala sannolikheten för bekämpning illustreras i exemplet i Tabell 4. Observera dock att sannolikheten för bekämpning inte är det samma som träffsannolikhet.

Nedanstående tabell med olika sannolikheter (fiktiva värden) för upptäckt, klassificering/identifiering och måltillgänglighet illustrerar hur totala sannolikheten för bekämpning kan beräknas utifrån kännedom om sannolikheten för respektive tillstånd (upptäckt, klassificering/identifiering och måltillgänglighet).

Tabell 4 Sannolikhet för bekämpning i två exempel utgående från sannolikheter (fiktiva värden) för upptäckt, klassificering/identifiering och måltillgänglighet.

	Normalt mål		SAT-anpassat mål	
	P(t)		P(t)	
Upptäckt	0.50	3 sek	0.9	8 sek
Klassificering/identifiering	0.90	2 sek	0.9	5 sek
Måltillgänglighet	0.90	120 m	0.2	50 m
Total sannolikhet för bekämpning	$0.5 \times 0.9 \times 0.9$ =0.41		$0.9 \times 0.9 \times 0.2$ =0.16	

Ett försök till att kunna uppskatta värden på de olika tillståndssannolikhetererna är att utnyttja olika typer av modeller. I [48] studeras fyra olika modeller för värdering av optiska sensorer. Av dessa torde eventuellt Bailey's modell [49] för upptäckt och eventuell klassificering kunna utnyttjas. Modellen publicerades 1970 och beskriver beräkning av sannolikheten för igenkänning för ett givet objekt baserat på fyra separata sannolikhetsvärden, enligt nedan.

- Storlek på övervakningsarean i förhållande till sökta målets storlek samt antal falskmål (klotter)
- Målets kontrast i förhållande till bakgrunden
- Målets storlek i förhållande till sensorsystemets upplösning, vilket kopplas till Johnson kriteriet dvs. det antal pixlar som behövs för t.ex. upptäckt, klassificering och identifiering
- Brus i visad bild kopplat till ett givet signal-brus förhållande.

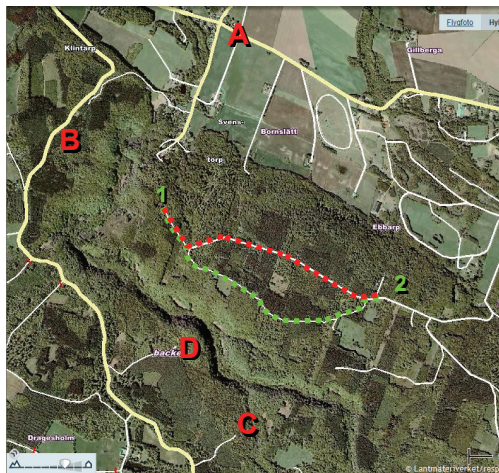
Genom att multiplicera de separat erhållna sannolikhetererna beräknas den totala sannolikheten för upptäckt, klassificering eller identifiering. Denna sannolikhet är ej kopplad till någon tid. I [11] ges ett uttryck för beräkning av den tid det åtgår för att t ex upptäcka ett mål av viss typ inom ett givet avsökningssområde.

Brist på underlag i form av fördelningar och sannolikheter har inskränkt diskussionen om betingade sannolikheter. I ett vidare arbete för att bedöma bekämpningssannolikheter finns det ett behov av försök t ex i samverkan med MSS för att ge underlag i form av upptäcktssannolikheter och bedömning av måltillgänglighet, med eventuell möjlighet att värdera användbarheten av Bailey's modell.

På sikt bör studeras om sannolikhetsbaserade planeringsmetoder som Markov Decision Process (MDP) och Dynamic Decision Network (DDN) kan vara lämpliga då vi vill finna en "optimal" sekvens av TK/SAT åtgärder över tiden, se kapitel 6.3.2.

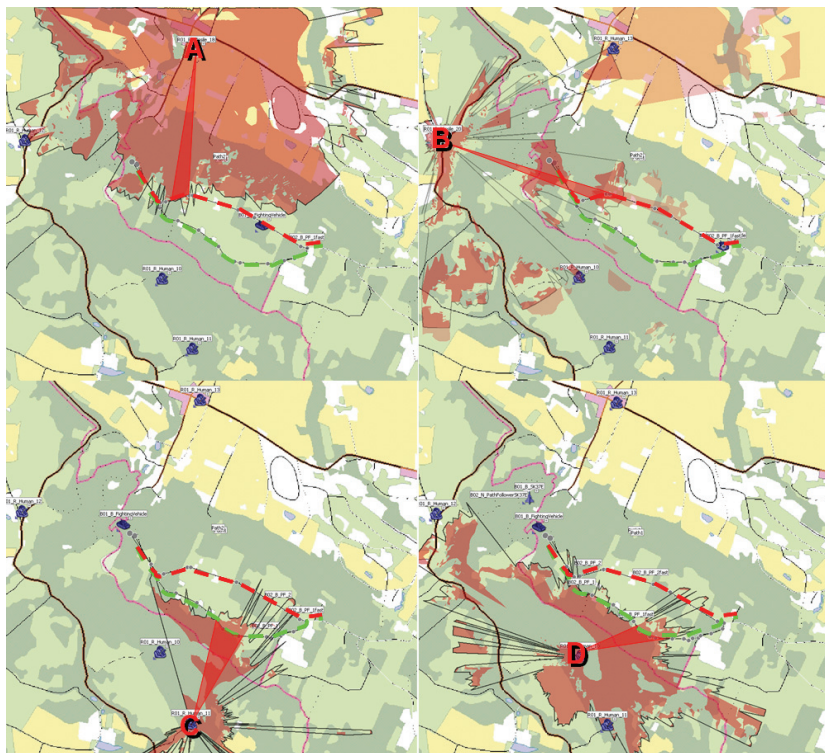
8.4.3 Hotprediktering

Det är som tidigare nämnts av stor vikt att veta så mycket som möjligt om sin motståndare. Om en motståndares positioner är kända, kan detta utnyttjas för att bestämma vilken väg som är mest lämpad att välja med hänsyn tagen till exponeringstid. Ett stridsfordon ska ta sig från punkt 1 till punkt 2. Hot finns på fyra platser A, B, C och D, se Figur 34. Vilken väg ska väljas?



Figur 34 Vägval med fyra hot i scenariot. (bakgrundsbild från Eniro).

För varje känd hotposition kan täckningsdiagram tas fram som visar vilka områden som syns från den angivna hotpositionen, se Figur 35.



Figur 35 Sikt från hotplatserna A, B, C, D. Sträckan längs del av vägen som kan ses från hotplatsen markerad med röd sektor. Bilder genererade med EWSim.

Fria siktsträckor från de olika hotpositionerna till våra vägalternativ kan beräknas²³, se sektorer i Figur 35. Med kunskap om siktsträckor är vi förberedda och kan ta fram olika handlingsalternativ med hjälp av tillståndsmodellen och bedöma vilken väg som är lämpligast att ta.

Om motståndarens position däremot är okänd, så kan ett alternativ vara att studera siktsträckan från stridsfordonet längs den planerade vägen. Genom att beräkna

²³ Denna beräkning är avsevärt mindre komplex än de täckningsdiagramberäkningarna som skett i Figur 35, då täckningsdiagrammet endast behöver beräknas för de aktuella vägvägnen.

täckningsdiagram från fordonet till omgivande terräng för ett lämpligt antal punkter längs den valda vägen (t ex var 25:e meter) och väga samman alla dessa siktdiagram så kommer de positioner på kartan som ser mest av färdvägen att framträda, se Figur 36.



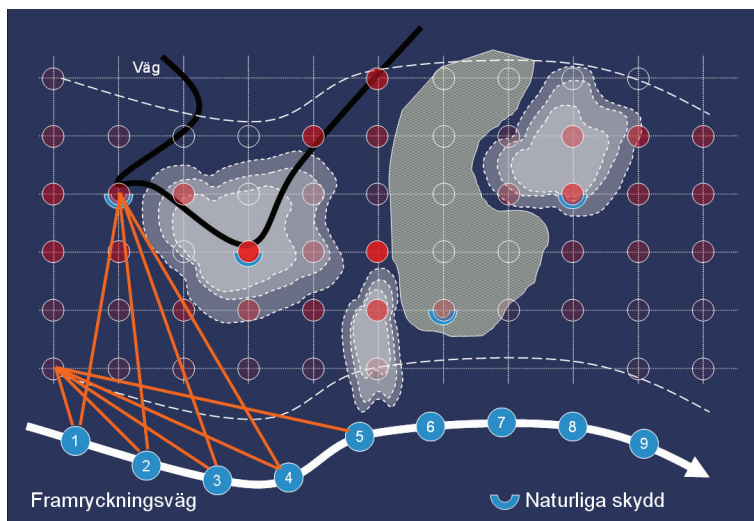
Figur 36 Vänstra bilden: siktdiagram från aktuell fordonsposition till omgivande terräng.
Högra bilden: överlagrade siktdiagram längs den norra vägen. De röda cirklarna markerar områden som ser mest av vald framryckningsväg.

Den ovan beskrivna metodiken kan utnyttjas för att ta fram lämpliga positioner för egna eldställningar om en motståndares framryckningsväg är känd. Dvs. finna de platser där stridsfordonet får bra siktsträckor för verkan. Det kan också användas som ett underlag för att prediktera lämpliga grupperingsplatser för hotet.

Vid val av grupperingsplats kan ett antal kriterier vägas in för att platsen ska godkännas, dessa kan vara:

- Möjlighet att observera önskat terrängavsnitt från grupperingsplatsen.
- Möjlighet att bekämpa mål inom önskat terrängavsnitt (innanför vapenräckvidd).
- Möjlighet att nå grupperingsplatsen (vägar, terräng).
- Möjlighet till skydd vid den.
- Möjlighet till urdragning i skydd från grupperingsplatsen.

Genom att lägga ett rutnät över det intressanta området och beräkna egenskaper för positioner i denna grid kan vi bedöma platser i rutnätet som mer eller mindre troliga att en fiende väljer, se Figur 37.



Figur 37 Exempel på terrängavsnitt för framryckningsväg. Korsningar i rutnätet indikerar de punkter som utnyttjas vid beräkningar.

För varje korsning i rutnätet beräknas siktmöjligheterna till punkterna längs framryckningsvägen (nio stycken i Figur 37). På motsvarande sätt tas alla punkter bort som ligger utanför vapenräckvidd. Vidare studeras vilka av punkterna som har tillgång till skydd. Slutligen beräknas vilka punkter som går att ta sig fram till (dvs. närheten till väg). När detta är gjort kan resultaten viktas och ett antal punkter kommer att kunna pekats ut som troliga grupperingsplatser för en motståndare. Med den kunskapen kan sensorer och vapen dynamiskt inriktas mot dessa platser.

Möjligtvis kan "Bayesian search theory" [50] användas för att bedöma sannolikheten för hot på en viss position.

9 Omvärldsbevakning

Behovet av beslutsstöd är stort och omvittnat. Omvärldsbevakning kan upprätthållas genom deltagande i olika konferenser och genom diskussioner med företrädare från olika länder. Generellt sett är grundproblemen desamma och så länge problemformuleringarna hålls på en generell nivå torde inte några sekretessproblem begränsa diskussioner och informationsutbyte. Det skulle kanske tvärtom vara fruktbart att bredda diskussionerna och presentera och ”bolla” idéer på nationella och internationella konferenser i en öppnare krets med företrädare representerande forskare, militär personal och industri.

Under 2006 deltog en projektmedarbetare i en konferens i London om ”International Land System for the Digitized Battlespace” med ett föredrag med titeln ”DAS for the future – Increased survivability and/or flexibility.” Konferensen avhandlade stridsfordonens framtida stridsmiljö såsom bebyggelse, asymmetriska hot mm. Behov av olika stödsystem och integration samt arkitektur berördes. Bland annat presenterade Hans-Josef Maas från Tyska Bundeswehr en OH-bild med liknade tankegångar om dynamisk taktikanpassning som stöd till stridsfordonsbesättningen. Andra intressanta föredrag handlade om alternativa drivmedel (vätgas) för specialfordon samt utnyttjande av ”bromsenergi” med hjälp av kraftiga kondensatorer, som kan vara intressant för SAT. Konferensen belyste på ett balanserat sätt stridsfordon ur flera aspekter med föredrag om nya vapensystem såsom eldrörsutskjuten laserstyrd robot och olika VMS-tekniker. Då antalet deltagare var relativt få fanns goda möjligheter till personliga kontakter och diskussioner med konferensdeltagarna.

Under 2007 deltog projektet vid konferensen ”Light & Medium Armoured Vehicles 2007”. Vid denna konferens fokuserades tyvärr plattformsskyddet till tjockare och mer effektivt pansar snarare än taktiska stöd för ökad överlevnad. IQPC som företrädde denna konferens har dock en årligt återkommande konferens som heter ”Mission Planning” som i det avseendet kan vara lämpligare att delta vid. Agendan för denna konferens (2007) verkar dock fokuseras mot högre taktiska nivåer.

Andra konferenser där militär användning av beslutsstöd ibland förekommer är Interservice/Industry Training, Simulation and Education Conference” (I/ITSEC) [51], ”Simulation Interoperability Workshop” (SIW) [52] och ”Behavior Representation in Modeling and Simulation” (BRIMS) [53]. Specialiserade och ofta mer forskningsnära konferenser kring AI (Artificiell Intelligens) och beslutsstöd förekommer med jämna mellanrum världen över.

Intressegrupper kring beslutsstöd finns ofta för att underlätta utbytet mellan olika universitets forskning. Intressegrupper som specifikt behandlar militär användning av beslutsstöd har vi dock ej funnit. Ett exempel på en webbaserad intressegrupp kring beslutsstöd är ”Decision Support Systems Resources” (DSSResources) [54], där en mängd material kring beslutsstöd är samlat.

I många datorspel, speciellt sådana av ”First-Person Shooter” karaktär, används AI-tekniker för att styra motståndarna på ett taktiskt intelligent sätt. Ett flertal böcker kring AI-teknik i spel finns utgivna [55] där några av dessa har studerats. Ofta förklarar dessa böcker olika tekniker som kan användas i militära beslutsstöd på ett enkelt och kortfattat sätt. Intressegrupper kring AI-teknik i spel finns inom ”International Game Developers Association” (IGDA) [56].

10 Diskussion, slutsatser och rekommendationer

10.1 Generellt

SAT och TK är två viktiga komponenter för att öka överlevnaden för en plattform eller ett förband så att ett uppdragsmål kan nås. Traditionellt utvecklas SAT och TK-teknik var för sig, där förhållandevis liten samordning sker mellan områdena. Avsaknaden av samordning kan lätt leda till att fördyrande och motverkande satsningar görs inom de olika teknikområdena. TK och SAT ska inte ses som varandras motsatser, utan är komplement till varandra och bör därför värderas tillsammans.

- **TK och SAT kompletterar varandra och bör studeras integrerat.**

Genom en integration av TK/SAT mot en plattforms ledningssystem finns stora möjligheter till merutnyttjande av andra system som t ex sensorer, underrättelsedata, terrängdatabaser, etc. En mängd underlag finns idag i ledningssystem som ej nyttjas för TK/SAT men som skulle kunna bidra till balanserade och lämpliga TK/SAT-åtgärder. Detta gör att TK och SAT bör betraktas i ett systemperspektiv.

- **Vid fortsatta studier av TK och SAT bör dessa betraktas som integrerade mot plattformens ledningssystem.**

TK och SAT skall betraktas som några av de stöd som disponeras för att kunna genomföra ett tilldelat uppdrag. Genom att samordna och kombinerat avväga SAT och TK-teknik utifrån dess användning kan en helhetssyn fås där snäva suboptimeringar kan undvikas. För att optimalt kunna utnyttja dessa stöd måste taktiska/stridstekniska aspekter beaktas. Hur utnyttjande av TK/SAT bör utformas för att lösa tilldelad uppgift är starkt kopplad till givet scenario, plattformens uppträdande och dess ledningssystem.

- **TK och SAT bör betraktas i ett taktiskt uppdragsperspektiv.**

För dynamisk taktikanpassning krävs att det som ska anpassas har dynamiska egenskaper. I projektet har vi insett att många system har alltför långsam dynamik för att medge en effektiv dynamisk taktikanpassning. Som exempel har många plattformar alltför begränsade manöverprestanda (acceleration, retardation, etc.) för att medge en effektiv anpassning. Kännedom om en plattforms signatur kan dock ofta nyttjas dynamiskt om plattformen besitter goda manöveregenskaper. Många SAT-åtgärder har begränsade egenskaper vilket i mångt och mycket beror det på fysikaliska orsaker, men även på att tidskrav eller vilka taktiska behov som ska tillgodoses sällan har framställts. Den inom projektet framtagna tillståndsmodellen kan här utnyttjas vid framtida krav- och behovsframtagning.

- **För att medge en dynamisk taktikanpassning måste de dynamiska egenskaperna hos plattformar och olika åtgärder tydligare kravsättas och värderas. För detta syfte kan tillståndsmodellen nyttjas.**

10.2 Tillståndsmodellen

För studier av dynamiska duellsituationer kan tillståndsmodellen utnyttjas. Tillståndsmodellen är främst lämplig där tidsberoende och tidskritiska situationer ska värderas. Sådana situationer är vanliga vid strid i bebyggelse. Med tillståndsmodellen fokuseras på en händelsekedja, från upptäckt till bekämpning där tider och sannolikheter behöver sättas. Denna process är nyttig i sammanhang, t ex scenarioframtagning, skydds- och verkansvärdering, där en tidssekventiell händelsekedja ska studeras.

Tillståndsmodellen kräver underlag i form av systemtider för egen plattform som för hotet för att kunna bedöma tillståndet. I arbetet har vi funnit att underlag ofta saknas där tid i de olika tillstånden kan utläsas. Modeller och försök kan bidra till ett förbättrat underlag. Dock saknas metodik hur sådana underlag bäst tas fram och formateras.

- **Modeller behöver utvecklas där tillstånd och tillståndstider kan bedömas.**
- **Metodik för försök och försöksanalys där tillstånd och tillståndstider kan bedömas/mätas behövs utvecklas i samverkan med Försvarmakten.**

Det skulle vara intressant att försöka tillämpa tillståndsmodellen på förband av typ en stridsfordonspluton. Här torde andra och mer komplicerade tillstånd kunna vara möjliga med fler och andra tillståndsövergångar. Ytterligare en komplikation är att olika delar av förbandet kan befinna sig i olika tillstånd under en och samma tid. Vilken effekt får det? Att ett fordon är upptäckt innebär ju inte att förbandet är upptäckt.

- **Tillståndsmodellens användning för förbandsvärdering bör studeras.**

Dynamisk taktikanpassning kommer att till stor del att bygga på olika värderings- och planeringsmetoder, modeller och simuleringar för att ge ett så bra stöd till operatören som möjligt. Detta innebär att utnyttjade planeringsmetoder och modeller måste vara enkla och snabba dvs. fungera i många fall mycket snabbare än realtid. Metodik för att avgränsa beräkningsmängden är även intressant i detta avseende. Modeller och simuleringar kan komma till nytta dels i ett planeringsskede inför ett uppdrag men även mindre omplaneringar under ett uppdrag. Där det senare ställer störst krav på beräkningshastighet.

- **Förenklade modeller som medger tidseffektiv exekvering men samtidigt ger relevanta svar är nödvändiga att utveckla, för att medge dynamisk taktikanpassning.**

10.3 Mot visionen

Dynamisk Taktikanpassning kräver kompetens från flera områden såväl från telekrig, SAT, ledningssystem, MSI, planeringsmetoder, modellering och simulering som från kompetenta framtida stödsystemanvändare. En gemensam strategi där alla dessa kompetenser kan tillvaratas bör utformas för att visionen som beskrivs i detta dokument ska kunna förverkligas. Genom studier av integrerade system i ett förbandsperspektiv kan koncept avseende framtida stödfunktioner utvecklas och eventuellt implementeras som ledningssystemfunktioner, t ex i SLB.

- **Bredare forskningsansträngningar kring Dynamisk Taktikanpassning bör göras.**
- **Användarna måste aktivt delta i utvecklingsprocessen för att stödet ges rätt utformning och att systemtilltro skapas.**
- **Möjligheten bör undersökas om någon del av framkommen metodik skulle kunna implementeras och testas i StridsLedning Bataljon (SLB).**

11 Referenser

- 1 Försvarsmakten, "FoT-strategi 2002", M7759-779002, 2002
http://www.mil.se/attachments/fot_strategi_02.pdf
- 2 Klum Peter, Carlsson Patrik, Olsson Gustaf, Johansson Peter, Westerlund Carl-Lennart, Svensson Pär, Pettersson Göran, Hermansson Patrik, Nelsson Claes, Gadd Staffan, Rahm Jonas, Habberstad Hans
"Värdering avvägning TK/SAT, en förstudie",
FOI-R--1817--SE, Metodrapport, December 2005
- 3 Tydén Lars, Andersson Hanna, Andersson Ulrika, Festin Leif, Forslund Fredrik, Haavisto Daniel, Klum Peter, Nordin Morgan, Olsson Sebastian, Petersson Mikael, Wigren Christer,
"Lägesrapport Duellsimulering framtida telekriginsatser",
FOI-R--2136--S, Användarrapport, December 2006
- 4 Tydén Lars, Festin Leif, Petersson Mikael, Nordin Morgan, Olsson Sebastian, Klum Peter, Wigren Christer, Andersson Hanna,
"Planeringsverktyg EWPlan med yttäckningsberäkningar för kommunikation, radar och optronik",
FOI-R-2129--SE, Metodrapport, December 2006
- 5 "Ledningskrigföringssimulator version 2 (LKS v2) FEDEP 2, Konceptuell analys",
FMV beteckning: VO FoT 23 321:57062/2006.
- 6 Klum Peter, Nelsson Claes, Nyberg Sten, Hermansson Patrik, Bolander Göran, Rahm Jonas, Ousbäck Jan-Olof, Johansson Peter, Tydén Lars, Habberstad Hans,
"Systemvärdering SAT"
FOI-R--1480--SE, Användarrapport , December 2004.
- 7 Klum Peter, Berglund Lars, Olsson Gustaf,
"Lägesrapport Dynamisk Taktikanpassning TK/SAT", MEMO 1921, November 2006
- 8 Svenmarck Peter
"Förstudie om tänkbara tillämpningar av situationsanpassade system",
FOI-R--0836--SE, Underlagsrapport, Mars 2003
- 9 Thomas B. Sheridan
"Humans and Automation, System design and Research Issues",
A John Wiley & Sons, Inc. Publication, ISBN 047123428-1, 2002, sidan 58
- 10 NATO Research and Technology Organisation
"RTO-TR-HFM-078 Uninhabited Military Vehicles (UMVs): Human Factors Issues in Augmenting the Force", Juli 2007
[http://ftp.rta.nato.int/public/PubFullText/RTO/TR/RTO-TR-HFM-078/\\$\\$TR-HFM-078-ALL.pdf](http://ftp.rta.nato.int/public/PubFullText/RTO/TR/RTO-TR-HFM-078/$$TR-HFM-078-ALL.pdf)
- 11 Hollnagel Erik, Woods David D.,
"Joint Cognitive Systems, Foundation of Cognitive Engineering",
CRC Press Taylor & Francis Group, ISBN

-
- 12 Derefeldt Gunilla, Berggrund Ulf, Linde Lena, Wikberg Per
”Läsbarhet och förståelse av insatsplaner”,
FOI-R--0051--SE, Användarrapport, FOI 2001
 - 13 Kylesten Birgitta, Lindoff Jenny, Hasewinkel Håkan, Andersson Peter, Carlander Otto,
Fors Karin, Hedström Johan, Kindström Mattias, Lindahl Björn, Lif Patrik
”Kognitiv lägespresentation”,
FOI-R--1436--SE, Användarrapport, FOI 2004
 - 14 Suzić Robert, Wallenius Klas
“Effects Based Decision Support for Riot Control: Employing Influence Diagrams and
Embedded Simulation”, Proceedings of Workshop on Situation Management SIMA
2005, US, Oktober 2005.
 - 15 Klum Peter, Wigren Christer, Pettersson Magnus, Bolander Göran, Olsson Gustaf
”VMS-funktion i nätverk för stridsfordonsförband, några typfall”,
FOI-R--1328--SE, Metodrapport, September 2004
 - 16 Andersson Jan, Malm Michael, Thurén Ronny
”Systemtilltro”,
FOI-R--1121--SE, , Vetenskaplig rapport FOI 2003
 - 17 ”Försvarsmaktens doktrin för markoperationer” (DmarkO)
2005 Försvarsmakten, M7740-774004
 - 18 Berglund Lars, Waern Åsa
”Rapport från Urban Krigföring 2004-01-21—22”
FOI-R--1189--SE, Underlagsrapport, FOI 2004
 - 19 Porter Rusty,
“Electronic Warfare – Measures of Effectiveness”,
Association of Old Crows, August 1994
 - 20 Ögren Petter
Att förstå Artificiell Intelligens genom Uppdragstaktik och Optimeringslära.
FOI-R--2262--SE , Användarrapport, FOI 2007
 - 21 S. Russel, P. Norvig,
“Artificial Intelligence a modern approach, second edition”,
Prentice Hall, 2003.
 - 22 <http://theory.stanford.edu/~amitp/GameProgramming/>
 - 23 Jönsson Markus,
“An optimal pathfinder for vehicles in real-world digital terrain maps”,
<http://www.student.nada.kth.se/~f93-maj/pathfinder/index.html>
 - 24 Kepner Charles H., Tregoe Benjamin B.
”Rationellt tänkande - Metoder för bättre problemanalys och beslutsfattande”,
MIMER Förlag, 1985, ISBN 91-7806-058-3
 - 25 http://en.wikipedia.org/wiki/Analytic_Hierarchy_Process
 - 26 <http://www.boku.ac.at/mi/ahp/ahptutorial.pdf>

-
- 27 http://en.wikipedia.org/wiki/Genetic_algorithms
- 28 http://en.wikipedia.org/wiki/Simulated_annealing
- 29 http://en.wikipedia.org/wiki/Markov_Decision_Process
- 30 http://en.wikipedia.org/wiki/Markov_property
- 31 Johansson Ronnie, Mårtensson Christian, Suzić Robert, Svenson Pontus,
"Stochastic dynamic programming for resource allocation",
FOI-R--1666--SE, Metodrapport, September 2005.
- 32 <http://en.wikipedia.org/wiki/POMDP>
- 33 <http://www.cassandra.org/pomdp/tutorial/index.shtml>
- 34 <http://www.cassandra.org/pomdp/tutorial/index.shtml>
- 35 http://en.wikipedia.org/wiki/Hidden_Markov_model
- 36 Kaijser Thomas
"Om modeller för observation och följning av markmål baserade på Dolda
Markovprocesser och Bayesianiska nät",
FOI-R--1192--SE, Vetenskaplig rapport, Mars 2004
- 37 Paulo Cesar G. da Costa
"The Fighter Aircraft's Autodefense Management Problem: A Dynamic Decision
Network Approach",
GEORGE MASON UNIVERSITY, 1999
http://www.pr-owl.org/papers/1999_PC_Master_Thesis.pdf
- 38 Blixt Johan, Jansson Benny, Mossberg Karin,
"Baysianska nätverk och dess tillämpningar inom OA-verksamheten",
FOI- R--1411--SE, 2005
- 39 http://en.wikipedia.org/wiki/Case-based_reasoning
- 40 Aamodt Agnar, Plaza Enric,
"Case-Based Reasoning: Foundational Issues, Methodological Variations, and System
Approaches",
Published in: AI Communications, Vol. 7 Nr. 1, March 1994, pp 39-59
<ftp://ftp.ifi.ntnu.no/pub/Publikasjoner/vitenskaplige-artikler/aicom-94.pdf>
- 41 Göran Neider
"Att insamla och återanvända erfarenheter om upplöppsförvarning. Underlag till
beslutsstöd vid internationella operationer.",
FOI-R--1886--SE, Underlagsrapport, 2006
- 42 http://en.wikipedia.org/wiki/Bayes%27_theorem
- 43 Bertsekas D.P.,
"Dynamic Programming and Optimal Control",
Vol. 1, second edition, Athena Scientific, Belmont, Massachusetts, U.S.A., 2000.
- 44 <http://abs-5.me.washington.edu/dynOpt/index.html>

-
- 45 <http://sv.wikipedia.org/wiki/Pansarv%C3%A4rnsrobot>
- 46 SPaMek 2004 STRIDSFORDON 9040 Bilaga 1 till 09 833:90614
- 47 Skjutreglemente för Försvarsmakten Pansarvärnsrobotsystem 55C (SkjutR Pvrbs 55C), 1999 års utgåva (M7742-110321)
- 48 Nyberg Sten,
“Models used in assessment of optical sensors”,
FOI-R--2290--SE, Teknisk rapport , Juni 2007.
- 49 Bailey, H.H.,
“Target detection through visual recognition; A quantitative model,”
The Rand Corporation, Memo RM-6158-PR, (AD-721 446), February 1970.
- 50 http://en.wikipedia.org/wiki/Bayesian_search_theory
- 51 <http://www.iitsec.org/index.cfm>
- 52 <http://www.sisostds.org/index.php?tg=articles&idx=More&article=18&topics=8>
- 53 <http://www.sisostds.org/index.php?tg=articles&idx=More&article=20&topics=10>
- 54 <http://dssresources.com/>
- 55 http://www.amazon.com/s/ref=nb_ss_b/102-2340480-7205700?url=search-alias%3Dstripbooks&field-keywords=ai+game+programming
- 56 <http://www.igda.org/ai/>

1 Hotpresentation

I de studerade scenarierna har olika typer av hotsystem utnyttjats. Ett antal äldre men ändå moderna pansarvärnsrobotsystem (pv-rb) har därvid utnyttjats. Genom att studera öppna källor har tekniska data för några aktuella och relevanta system inhämtats. Speciellt har två olika ryska pv-rb system valts ut och studerats: KONKURS och METIS-2. Dessutom har ett mycket i världen spritt pv-system av typ pansarskott, RPG (rocket propelled grenade), använts i scenarierna. Slutligen har även indirekt eld i form av granatkastare med spränggranater och eldledare även utnyttjats som en del i hotbilden.

1.1 KONKURS

KONKURS från 1977, (NATO beteckning Spandrel AT-5) är en pansarvärnsrobot med längre räckvidd (4000 m) än METIS-2 (som beskrivs i kapitel 1.2) och är avsedd att främst bekämpa bepansrade fordon inklusive reaktivt pansar. Andra mål är lågt flygande helikoptrar och fortifikatoriska anläggningar. Konkurs är ett precisionsstyrt fordonsmonterat (kan även hanteras buret) pv-robot system och kan förses med IR-sikte för mörkerkapacitet.



Figur 1 KONKURS med robot och siktesenhet(IR-sikte) monterad på tripod.

Robotsystemet är av generation 2,5 vilket innebär att styrprincipen bygger på SACLOS (Semi-Automatic Command to Line of Sight) översatt semiautomatisk kommandostyrning via siktlinjesstyrning. Detta innebär att före avfyrning följer skytten målet i ett hårkors i siktet. Därefter avfyras roboten och skytten fortsätter att följa målet ända fram till dess att roboten träffar. Under robotens flykt i luften hasplas en tråd ut genom vilken styrsignaler från siktet kan skickas. Bakre delen av roboten är försedd med en fackla. När roboten flyger genom luften mäter siktesdelen in dess position och korregerar eventuell avvikelse från skyttens siktlinje till målet genom att skicka styrsignaler via den uthaslade tråden till roboten.

Tabell 1 Tekniska data för KONKURS

Inre skjutgräns:	75 m
Yttre skjutgräns	
Dagsikte:	4000 m
Nattsikte:	2500 m
Robothastighet:	200 m/s (medelvärde)
Styrsystem:	Semiautomatisk styrsignaler länkade via tråd

1.2 METIS-2

METIS-2 är ett lätt, buret, medelräckviddigt (1500 m) pansarvärnsrobot system avsett att bekämpa bepansrade fordon. Systemet förekommer i två versioner METIS och METIS – 2. I detta scenario har data för METIS-2 används. METIS-2 är ett precisionsstyrt vapen med avsikt på vikt, dimension, enkelhet och användbarhet. Pv-roboten kan väljas med två olika stridsdelar: RSV tandemladdning eller spränggranat. METIS-2 kan fordonsmonteras. Systemet kan förses med IR-sikte för mörkerkapacitet.



Figur 2 METIS-2 med robot och siktesenhet monterad på tripod.

METIS-2 är ett semiautomatiskt trådstyrd pv-rb system med följande fördelar:

- Kort tid för gruppering och omgruppering (ca 30 s)
- Eldhastigheten är 3 – 4 robotar per minut.

Tabell 2 Tekniska data för METIS-2

Inre skjutgräns:	80 m
Yttre skjutgräns:	1500 m
Robothastighet:	180 m/s (medelvärde)
Styrsystem:	Semiautomatisk styrsignaler länkade via tråd

1.3 Rocket Propelled Grenade (RPG-7)

RPG-7 är ett mynningsladdat ostyrt pansarvärnsvapen och är avsett för att bekämpa bepansrade mål. Vikt ca 6,9 kg, Praktisk räckvidd är ca 300 m mot rörliga mål och 500 m mot stillastående. RPG-7 är lätt att bära och kan avfyras av enskild soldat från axeln. Granaten accelereras vid avfyring upp till en hastighet av 290 m/s under 0,1 s. Efter ca 900 m (flygtid 4,5 s) självdestrueras granaten. Detta har medfört att RPG-7 har utnyttjats som ett system för indirekt eld med syfte att skjuta spränggranat. En modifierad version av RPG-7 kan förses med en stridsdel innehållande en förpenetrator som ger möjlighet att penetrera reaktivt pansar.



Figur 3 **RPG-7komplett med granat och sikte.**