

Slutrapport: Simuleringsbaserade metoder för sensorvärdering

Värdering av spaningsförmågan för obemannade system

FREDRIK NÄSSTRÖM, JONAS ALLVAR,
DAVID BERGSTRÖM, PER GRAHN, ROBERT FORSGREN,
JOHAN HEDSTRÖM, ANDREAS PERSSON, MORGAN ULVKLO



Fredrik Näsström, Jonas Allvar, David Bergström,
Per Grahn, Robert Forsgren, Johan Hedström,
Andreas Persson, Morgan Ulvklo

Slutrapport: Simuleringsbaserade metoder för sensorvärdering

Värdering av spaningsförmågan för obemannade system

Titel	Slutrapport: Simuleringsbaserade metoder för sensorvärdering – Värdering av spaningsförmågan för obemannade system
Title	Final report: Simulation based sensor system assessment – Assessment of reconnaissance performance for unmanned systems
Rapportnr/Report no	FOI-R--3993--SE
Månad/Month	December
Utgivningsår/Year	2014
Antal sidor/Pages	56 p
ISSN	1650-1942
Kund/Customer	FM
Forskningsområde	7. Sensorer och signaturanpassning
FoT-område	Sensorer och signaturanpassning
Projektnr/Project no	E54541
Godkänd av/Approved by	Per Johannesson
Ansvarig avdelning	Sensor och TK-system

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

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

Omslagets bildcollage: Bilden på översta raden föreställer Shadow 200B (Foto: Niclas Ehlén/Försvarsmakten). Nedersta raden från vänster till höger, den vänstra bilden föreställer MQ-9 Reaper (Foto: U.S. Air Force photo/Staff Sgt. Brian Ferguson) och den högra bilden föreställer MQ-8B Fire Scout (Foto: Jrfreeland)

Sammanfattning

Projektet SIMSENS (Simuleringsbaserade metoder för sensorvärdering) har i uppgift att vidareutveckla metodik att värdera sensorsystem. Vid värdering av sensorsystem behövs en bra värderingsmetod som kan ta hänsyn till olika faktorer som: sensorsystemet, taktik, miljö, ekonomi, människa-system-interaktion, utbildning, etc. I denna studie har vi utgått från en metod som kallas för COAT/TVS-metoden och vidareutvecklat metoden och verktyg för sensorvärdering.

För att testa den vidareutvecklade värderingsmetoden och verktygen har ett tillämpningsexempel studerats. Tillämpningsexemplet som vi har valt handlar om att värdera förmågan för tre relativt olika UAV-system i två olika scenarier. För att öppet kunna diskutera metoder och verktyg har vi valt att arbeta med enbart öppen information. UAV-systemen som har studerats i värderingen kan skilja sig något från de verkliga UAV-systemen, eftersom data i vissa fall har saknats. I dessa fall har rimliga värden istället antagits och använts.

Projektet har även haft i uppgift att utveckla en simuleringsmiljö för värdering av sensorsystem. Simuleringsmiljön som vidareutvecklas för detta är MSSLab (MultiSensorSimuleringsLab). I simuleringsmiljön kan olika sensorer simuleras i olika miljöer, väderförhållanden och tidpunkter. Simuleringsmiljön har använts vid värderingen av UAV-systemen för att simulera sensorer i de olika scenarierna. För att kunna göra högkvalitativa simuleringar av sensorsystem krävs att alla simuleringsmodeller som t.ex. terrängmodeller, målobjekt, materialklassificering, scen-simulering och sensormodeller är av hög kvalitet. I detta kvalitetsarbete ingår verifiering av sensorsimuleringar mot mätningar och mätresultat som ett mycket viktigt arbete.

Nyckelord: Värdering, sensorsystem, simulering, modellering, obemannade system

Summary

The task for the SIMSENS project (Simulation based sensor system assessment) is to further develop methodology to assess sensor systems. When doing assessment of a sensor system a good method is required that can take into account various factors such as: the sensor system, tactics, environment, economy, human system interaction, education etc. In this study, we have used a method called COAT/TVS method and further developed the method and tools for sensor assessment.

To test the enhanced assessment methodology and tools an application example has been studied. The example we have chosen is about assessing the ability of three relatively different UAV systems in two different use cases. To be able to discuss methods and tools, we have chosen to work only with unclassified information. UAV systems that have been assessed may differ slightly from the actual UAV systems, as data in some cases has been lacking. In these cases, reasonable values have been used instead.

The project also has the task of developing a simulation environment for the evaluation of sensor systems. Simulation environment to be developed further for this is MSSLab (MultiSensorSimuleringsLab). In the simulation environment, various sensors are simulated in various environments, weather conditions and time periods. The simulation environment has been used in the assessment of UAV systems to simulate sensors in the various use cases. In order to make high-quality simulation of sensor systems all simulation models such as terrain models, target objects, materials classification, scene simulation and sensor models are required to have high quality. This work includes validation of sensor simulations with data from real sensor measurements.

Keywords: Assessment, sensor systems, simulation, modeling, unmanned systems

Innehåll

1	Inledning	7
1.1	Projektets leveranser	8
2	Metod för värdering av sensorsystem	9
2.1	Kunddialog	9
2.2	Planering och modellering	10
2.3	Bearbetning	10
2.4	Sammanställning	11
3	Simulering av sensorsystem	12
3.1	Verifiering av sensorsimuleringar	14
4	Fallstudie: Värdering av UAV-system	19
4.1	UAV-system	19
4.1.1	UAV-system A: Fyra RQ-7 Shadow 200 med POP 300	19
4.1.2	UAV-system B: MQ-9 Reaper med ARGUS-IS och MTS-B	20
4.1.3	UAV-system C: MQ-8B Fire Scout med Safire STAR 380-HLD	21
4.2	Typsituationer	22
4.2.1	Eldöverfall	22
4.2.2	Tidskritiska mål	23
4.3	National Image Interpretability Rating Scales (NIIRS)	24
4.4	Specificering av UAV-spaning	25
4.4.1	Eldöverfall	25
4.4.2	Tidskritiska mål	26
4.5	Värdering av UAV-system	27
4.5.1	Beräkning av sannolikhet med NV-IPM	28
4.5.2	Operatörstider	30
4.5.3	Värdering av typsituationen eldöverfall	31
4.5.4	Värdering av typsituationen tidskritiska mål	33
4.6	Värderingsresultat	34
4.6.1	UAV-system A: 4 st RQ-7 Shadow 200 med POP300	34
4.6.2	UAV-system B: MQ-9 Reaper med MTS-B och ARGUS-IS	40
4.6.3	UAV-system C: MQ-8B Fire Scout med Safire STAR 380-HLD	45
4.7	Slutsatser från fallstudien	50
4.8	Diskussion	52
5	Generella slutsatser och fortsatt arbete	54
5.1	Vision för användning av COAT/TVS-metoden	54
6	Referenser	55

Bildförteckning

Figur 4-1: Foto: Niclas Ehlén/Försvarsmakten

Figur 4-2: Foto: U.S. Air Force photo/Staff Sgt. Brian Ferguson

Figur 4-3: Foto/montage: DARPA

Figur 4-4: Foto: Jrfreeland

Figur 4-7: Foto: Vitaly Ragulin, [http://commons.wikimedia.org/wiki/File: Russian_TOS-1_MRL.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Russian_TOS-1_MRL.jpg) by CC 3.0

Förkortningar

COAT	Communication Assessment
CONOPS	Concept of operations
FOV	Field of view
LWIR	Long-wavelength infrared
MTF	Modulation transfer function
MTS-B	Multispectral Targeting System (Model B)
MWIR	Mid-wavelength infrared
NFOV	Narrow FOV
NIIRS	National Imagery Interpretability Rating Scale
QWIP	Quantum Well Infrared Photodetector
RPAS	Remotely piloted aircraft system
SWIR	Short-wavelength infrared
TTP	Targeting task performance
TVS	Taktisk Värdering av Sensorsystem
UAV	Unmanned aerial vehicles
UNFOV	Ultra-narrow FOV

1 Inledning

Projektet SIMSENS (Simuleringsbaserade metoder för sensorvärdering) har i uppgift att vidareutveckla metodik att värdera sensorsystem. Enligt Nationalencyklopedin handlar värdering om att sätta ett (positivt eller negativt) värde på något eller resultatet av att utföra en sådan handling. Resultatet har i allmänhet formen av ett omdöme, en åsikt eller en uppfattning [1].

Vid värdering av sensorsystem behövs en bra värderingsmetod som kan ta hänsyn till olika faktorer som: sensorsystemet, taktik, miljö, ekonomi, MSI, utbildning, etc. Ett sensorsystems förmåga påverkas av många olika scenariovariabler och det är viktigt att verktyg för estimering av sensorförmåga och värderingsmetod kan hantera detta. Exempel på viktiga scenariovariabler som ofta påverkar sensorförmågan är:

- Målobjekt: konfiguration, signatur, kamouflage, skylda eller oskylda, stillastående eller rörliga, etc.
- Terräng: typ av terräng (ex. bebyggd, öppen, småbruten, betäckt, öken, djungel, etc.), topografi (platt, kuperad eller bergig), inslag av sjöar och vattendrag, mm.
- Vegetation: fördelningar av träd och buskar och dess årstidsförändringar.
- Väder/atmosfärstransmission: geografisk plats, årstid, dygnstid, klimat, luftfuktighet, temperatur, molnighet, molnbas, nederbördstyp, etc.
- Ljushöjdhållanden: tid på året och dygnet, aktuellt väder och geografisk plats.
- Datainsamling: observationstid, avstånd, höjd, aspektvinkelförändring på målet under observation, hastighet på sensorplattform, etc.
- Hot och störningar mot sensor och sensorbärare.
- Handlingsregler för uppdraget (ROE - Rules of Engagement)

För att undvika begreppsförvirring är det viktigt att man standardiserar viktiga begrepp. För begreppen: detektion, igenkänning, identifiering och teknisk analys har vi använt samma definition som används i STANAG No. 3769:

- Detektion (eng. Detection): I bildtolkning ska man kunna upptäcka existensen av ett objekt, men utan att kunna känna igen objektet.
- Igenkänning (eng. Recognition): På denna nivå ska målen delas in i mer detaljerade klasser såsom stridsvagn, lastbil, personbil, spaningsflygplan etc. För ett fordon ska man kunna bestämma formen och förhållandet mellan längd och bredd.
- Identifiering (eng. Identification): På denna nivå ska målen delas in i modelltyp såsom T-72, M1-A1, MiG-21 J etc. På artillerisystem ska längden på eldrören, mynningsbroms, rekylbroms etc. kunna bestämmas för att systemet ska identifieras till en specifik klass.
- Teknisk Analys (eng. Technical Analysis): Teknisk analys är definierad som förmågan att exakt beskriva en funktion, objekt eller komponent.

1.1 Projektets leveranser

Projektet har presenterats och demonstrerats vid många tillfällen för både FM, FMV och industrin. Projektet har även tagit fram flera publikationer, vilket visas i sammanställningen nedan.

F. Näsström, S. Björkert, T. Chevalier, H. Habberstad, M. Karlsson, A. Persson, G. Tolt, "Plan för validering av simuleringsmodellerna i MSSLab", FOI-R--3220--SE, Maj 2011.

F. Näsström, J. Allvar, J. Berggren, T. Chevalier, R. Forsgren, H. Habberstad, J. Hedström, F. Hemström, G. Hendeby, M. Karlsson, A. Persson, "Simuleringsbaserade metoder för sensorvärdering, Årsrapport 2011", FOI-R--3357--SE, juni 2011.

R. Forsgren m.fl. "An Architecture of Distributed Simulation Control Tools – NetScene", Simulation Integration Workshop, 19 september 2011, Orlando USA. (Parallellpublicering FOI-S--3824--SE)

F. Näsström, J. Berggren, J. Hedström, R. Forsgren, "FOI Memo 4009", juni 2012.

F. Näsström, A. Persson, D. Bergström, J. Berggren, J. Hedström, J. Allvar, M. Karlsson, "High fidelity simulations of infrared imagery with animated characters", SPIE Defense, Security and Sensing, Baltimore, USA, 2012.

F. Näsström, A. Persson, D. Bergström, J. Berggren, J. Hedström, J. Allvar, M. Karlsson, "High fidelity simulations of infrared imagery with animated characters", ITBMS, Ettlingen, 26 juni 2012.

A. Persson, F. Näsström, "IR-signature modeling for survivability assessment", European survivability workshop, Halmstad, Sweden, 2012.

J. Karlholm, A. Persson, "Infrared Target Recognition Performance Prediction", SSBA, 2012.

F. Näsström, "Simuleringsbaserade metoder för sensorvärdering", FOI Memo 4694, december 2013.

F. Näsström, J. Allvar, J. Berggren, J. Hedström, "Generering av terrängmodeller och målbibliotek för sensorvärdering", FOI-R--3683--SE, juni 2013

2 Metod för värdering av sensorsystem

I detta projekt har värderingsmetoden COAT/TVS¹ använts. COAT skapades för att möta Försvarsmaktens och FMV:s behov av värdering av tekniska kommunikationsfunktioner, tjänster och grad av sårbarhet i olika kommunikationsnätverk. Metoden skapar en spårbar och kvalitetsstämplad värdering av kommunikationssystemet utifrån kundens uttalade behov av tjänster. Metoden utgår ifrån kundens eller uppdragsgivarens frågeställning (behov) och bryter sedan ner densamma till indirekta behov på underliggande teknisk (system)nivå. Detta görs för att finna de relevanta parametrarna, exempelvis tekniska, som krävs för att kunna hantera problemställningen. Grundmetoden vidareutvecklades senare så att den skulle kunna tillämpas på sensorsystem och det är denna utvecklade variant som vi tillämpat den.

COAT/TVS består av ett ramverk av processer, verktyg och metoder lämpliga för en behovsorienterad strukturerad värdering av komplexa telekommunikationssystem i ett taktiskt och operativt sammanhang. Metoden värderar helheten – inte bara tekniken – och skapar en struktur och en spårbarhet i arbetet. COAT skall ses som ett ramverk som är enkelt och flexibelt och därför kan metoden användas både för stora och små värderingar och för olika miljöer. En av de stora fördelarna med COAT-metoden är att den skapar en dialog mellan taktiker och tekniker. Metoden, som redovisas i sin helhet i [2], är modulärt uppbyggd och består av fyra processer:

- Kunddialog
- Planering och modellering
- Bearbetning
- Sammanställning

Därutöver finns en övergripande process för att säkerställa att arbetet dokumenteras på ett tillfredsställande sätt.

2.1 Kunddialog

Den första processen innebär att formulera och förankra värderingsuppgiften och att definiera sammanhanget och det tekniska system som skall värderas. Den andra processen producerar främst en genomförandeplan och modeller. Tredje delen, bearbetningsprocessen, bryter ner värderingsuppgiften i mätbara storheter i form av ett behovsträd där man mäter och analyserar. Slutligen viktas man samman behovsuppfyllnaden i trädet för att kunna svara på värderingsfrågan. Sista processteget genomför den slutliga analysen, exempelvis i form av variations/konsekvensanalys och sammanfattar resultaten som levereras till kunden.

Genom att använda COAT-metoden ges en vägledning till vilka frågeställningar som är viktigast för värderingsuppgiften. Den inledande kunddialogen har bland annat som mål att skapa underlag för att om möjligt prioritera dessa frågeställningar. Denna prioritering är ofta mycket viktig och nödvändig på grund av begränsningar i tid och budget.

Detta är den första processen som också måste anses som den viktigaste eftersom den syftar till att fastställa uppgiften. Uppdragsgivaren och personer med nyckelkompetens intervjuas för att klargöra och förankra uppdraget. Dessa intervjuer ligger sedan till grund för genomförandet av värderingen. Ur kunddialogen härleds också de övergri-

¹ COAT/TVS = COMMUNICATION ASSESSMENT / Taktisk Värdering av Sensorsystem

pande behov som den militära situationen ställer på ingående förband och system. Dessa kundbehov utgör utgångspunkten i själva bearbetningsarbetet.

2.2 Planering och modellering

Denna process förbereder genomförandet av värderingen. Underlag i form av tekniska specifikationer, scenarion, vinjetter samt övrig relevant information tas fram och bearbetas. För större värderingsuppgifter kan insamlingen av indata vara en omfattande uppgift, eftersom material ska inhämtas från många olika källor.

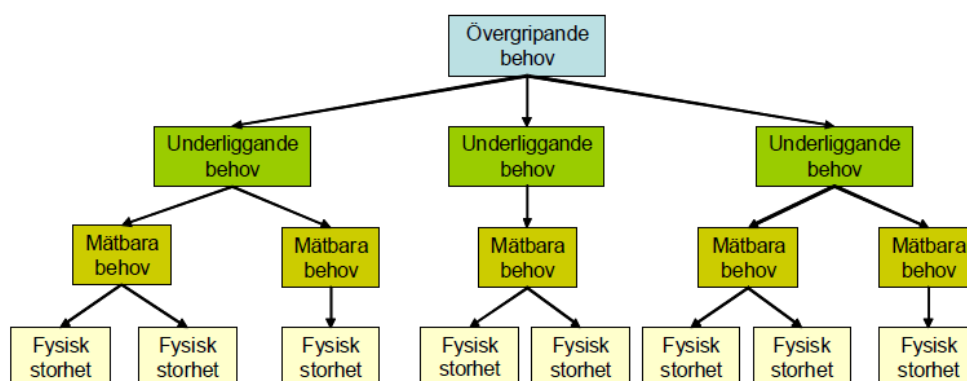
Med modellering avses att skapa väldefinierade beskrivningar av det tekniska system som är i fokus för värderingen. För små värderingsuppgifter kan dessa modeller vara mycket enkla, i form av skisser och funktionsdiagram, medan de för omfattande värderingar kan inkludera komplexa simuleringsmodeller. För att kunna värdera systemets funktion och effekt i sitt taktiska sammanhang måste även denna omvärld modelleras. Dessa modeller ska beskriva det operativa sammanhanget, de uppgifter som förbandet som använder systemet ska lösa samt grunddata som geografi och andra fysikaliska parametrar. På det tekniska planet krävs även någon form av modell för att beskriva systemomgivningen, t.ex. de ledningssystem och stödsystem som det värderade systemet är knutet till. Komplexiteten på dessa omvärldsmodeller kan vara mycket varierande och anpassas för varje tillfälle, för att matcha värderingsuppgiftens omfattning.

I denna fas görs en plan för värderingsarbetets genomförande. Förutom en sedvanlig arbetsplan ska denna slå fast vilka indata som skall användas och vilka verktyg och tekniker som ska användas i de kommande faserna. Eventuell granskning bör anges i planen. En riskanalys med handlingsalternativ bör ingå i planen. Ett exempel på en risk är att viktiga indata visar sig vara otillgängliga, av för låg kvalitet eller inte kommer fram i tid.

2.3 Bearbetning

Denna process hanterar genomförandet av värderingen. Här ligger den största arbetsbördan. Däremot behöver det inte vara den del som tar längst tid. Värderingen sker genom att i flera steg bryta ner kundbehoven till underliggande behov. Under detta arbete är det helt avgörande att dokumentera alla gjorda antaganden, förutsättningar och vikter mellan de olika delbehoven. Nedbrytningen representeras naturligt i en trädstruktur (behovsträd), se figur 2-1 som går från de övergripande kundbehoven, ner till mätbara faktorer. Dessa faktorer kan ibland bestämmas med hög precision, men ibland blir man tvungen att göra grova uppskattningar eller rena bedömningar. Det viktiga är att grunden för dessa redovisas tydligt. När värden erhållits förs dessa förs de sedan uppåt i behovsträdet igen och värderas på varje plan utifrån de antaganden, förutsättningar och vikter de getts.

För att kvalitetssäkra resultatet genomförs slutligen i denna process en känslighetsanalys och en granskning. Känslighetsanalysen är en viktig del i metoden och går ut på att undersöka hur känsliga slutsatserna är för gjorda antaganden under värderingen. Granskningen kan både ske internt såväl som med en extern granskare.



Figur 2-1. Ett generiskt träd för nedbrytning av behov (behovsträd).

2.4 Sammanställning

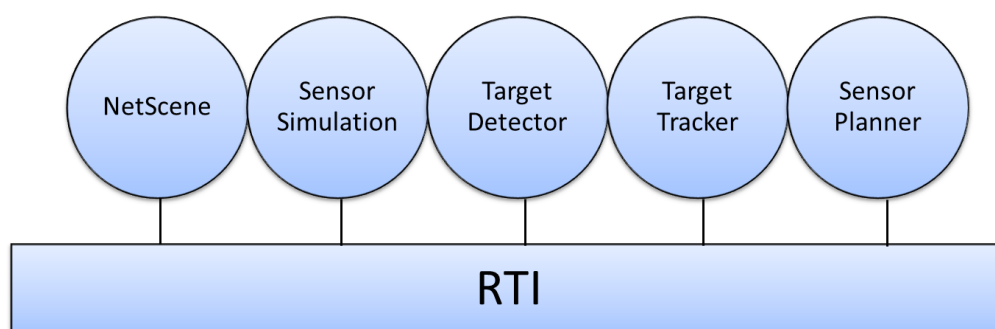
Då bearbetningsprocessen är genomförd vidtar arbetet med att sammanställa slutresultatet. Detta görs genom att sammanfatta alla resultat som vuxit fram i behovsträdet. Med detta som utgångspunkt är det förhållandevis enkelt att undersöka hur känsligt resultatet är för mindre variationer i olika faktorer. Det ger dessutom en stabil grund för att resonera om konsekvenser av att byta ut någon av de övergripande förutsättningarna. Detta är nödvändigt för att kunna uttala sig om hur generellt resultatet är. I denna process ingår därför en variationsanalys (och även konsekvensanalys) för att stödja generaliserbarheten utgående från resultaten från kunddialogen och behovsprocesserna. Variationsanalysen kan ske genom att t.ex. flytta använda scenarion eller vinjetter till en annan fysisk miljö, exempelvis från djungel till ökenterräng. Vidare skrivs också de slutliga leveransdokumenten och allt material från värderingen arkiveras.

3 Simulering av sensorsystem

Ett delprojekt inom projektet har haft i uppgift att utveckla en simuleringsmiljö för värdering av sensorsystem. Simuleringsmiljön som vidareutvecklas för detta är MSSLab (MultiSensorSimuleringsLab). I simuleringsmiljön kan olika sensorer simuleras i olika miljöer, väderförhållanden och tidpunkter. Simuleringsmiljön har använts vid värderingen av UAV-systemen för att simulera sensorer i de olika scenarierna. För att kunna göra högkvalitativa simuleringar av sensorsystem krävs att alla simuleringsmodeller som t.ex. terrängmodeller, målobjekt, materialklassificering, scensimulering och sensormodeller är av hög kvalitet. I detta kvalitetsarbete ingår verifiering av sensorsimuleringar mot mätningar och mätresultat som ett mycket viktigt arbete.

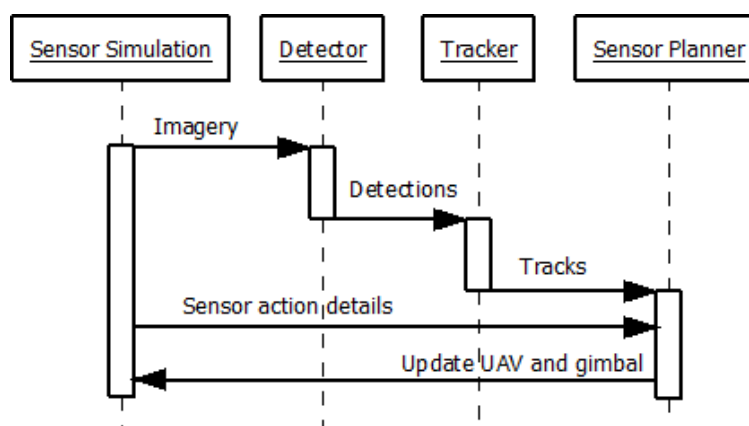
Simuleringsmiljön MSSLab är designad för att vara en distribuerad simuleringsmiljö, vilket gör den modulär och flexibel. Den distribuerade simuleringen i MSSLab bygger på MOSART [3], som är ett ramverk för High Level Architecture (HLA) [4]. HLA-simuleringar kallas federationer och federater är de distribuerade delarna i simuleringen.

MSSLab bygger upp federationer på ett sätt som efterliknar ett sensorsystem. Fördelen med detta är att man kan ersätta en beräkningsenhet mot en annan bara genom att ansluta en annan version av t.ex. detektor-federaten (se figur 3-1).



Figur 3-1. Exempel på en federation i MSSLab.

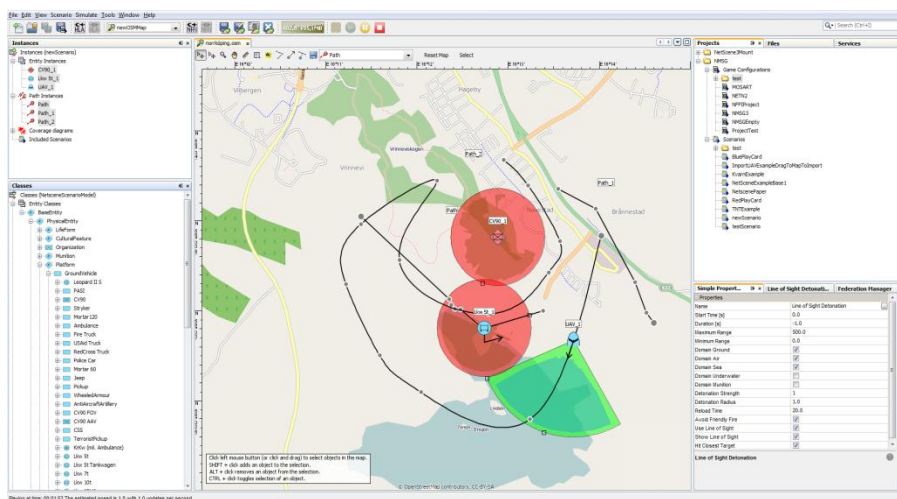
Delarna i simuleringen utbyter data genom en Federation Object Model (FOM). MSSLab har utökat existerande standard med information nödvändig för att de olika delarna av sensorsystemet ska kunna kopplas ihop i en sensoralgoritmkedja (se figur 3-2).



Figur 3-2. Informationsutbyte i en typisk MSSLab-federation.

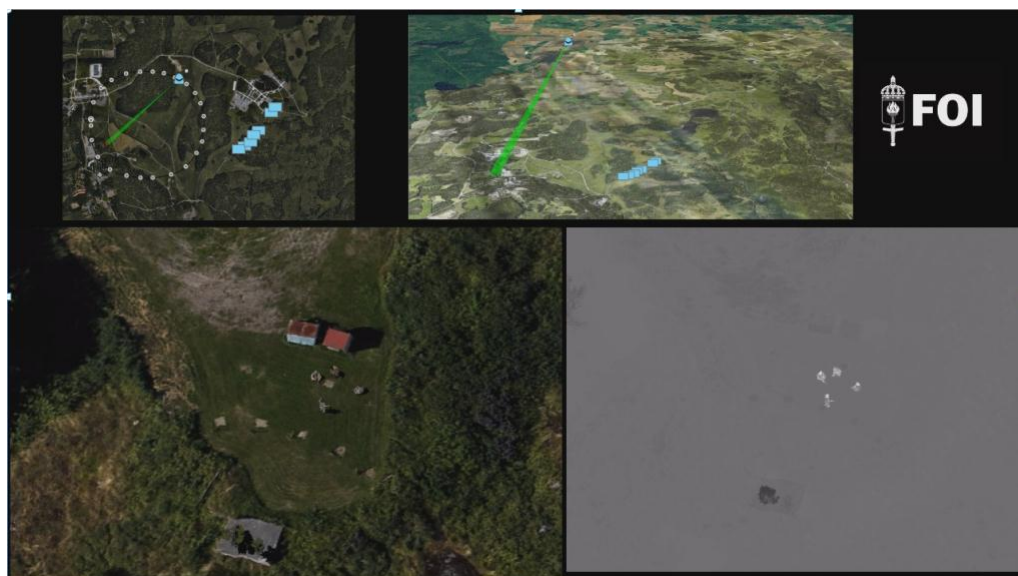
Sekvensdiagrammet i figur 3-2 beskriver hur sensorinformation kommuniceras och förädlas. En federat, *Sensor Simulation*, genererar sensordata, i det här fallet en visuell bild som skickas till prenumeranter i federationen. Federaten *Target Detector* genomför detektion i bilden och genererar sedan detektioner. Detektionerna filtreras sedan till målspar i federaten *Target Tracker*. Målspar och information om sensoraktioner kan sedan användas av federaten *Sensor Planner* för att styra federaten *Sensor Simulation*. För simulering av sensorer används flera olika verktyg i MSSLab såsom SE-WORKBENCH-EO, SE-WORKBENCH-EM, SceneServer, FOI LadarSim, FOI Akustiksim. En mer detaljerad beskrivning av de olika sensorsimuleringsverktygen i MSSLab finns i [5].

NetScene är en scenarioeditor och en scenariomotor för distribuerade simuleringar. I detta verktyg kan olika scenarier specificeras och objekten i simuleringen parameterställas. Scenarioinformationen distribueras sedan till övriga simuleringskomponenter (federater) som sedan sköter själva simuleringarna av resp. objekt/företeelse. Detta medger en mycket stor flexibilitet där en viss simuleringskomponent kan bytas ut mot en mer lämplig sådan utan att scenarioverktyget behöver förändras. *NetScene* innehåller rörelsemodeller, enkla sensormodeller, bekämpningsmodeller etc., vilket visas i figur 3-3.



Figur 3-3. Beteendemodeller visualiserade i *NetScene*, bekämpningsmodell i rött, sensormodell i grönt, rörelsemodeller enligt utritade trajektorier.

MSSLab har använts vid värderingen av UAV-systemen för att simulera sensorer i de olika scenarierna. I figur 3-4 och figur 3-5 visas bilder från respektive scenario.



Figur 3-4. Simulering av scenariot Eldöverfall med MSSLab.



Figur 3-5. Simuleringar av scenariot Tidskritiska mål med MSSLab.

3.1 Verifiering av sensorsimuleringar

Inom SEMARK-projektet [6, 7] gjordes i september 2004 ett antal mätningar med QWIP-systemet [8] på Prästtomta skjutfält vid Kvarn. QWIP-systemet består av en IR-sensor och en visuell sensor som är monterade i en styrbar gimbal. IR-sensorn i QWIP-systemet är en ThermoCAM SC3000 från FLIR Systems, vilket är en infraröd sensor i LWIR med en QWIP (Quantum Well Infrared Photodetector) fokallinsarray. Arrayen i sensorn består av 320×240 pixlar och dess känslighetsområde är ungefär $8.0\text{--}9.2\ \mu\text{m}$.

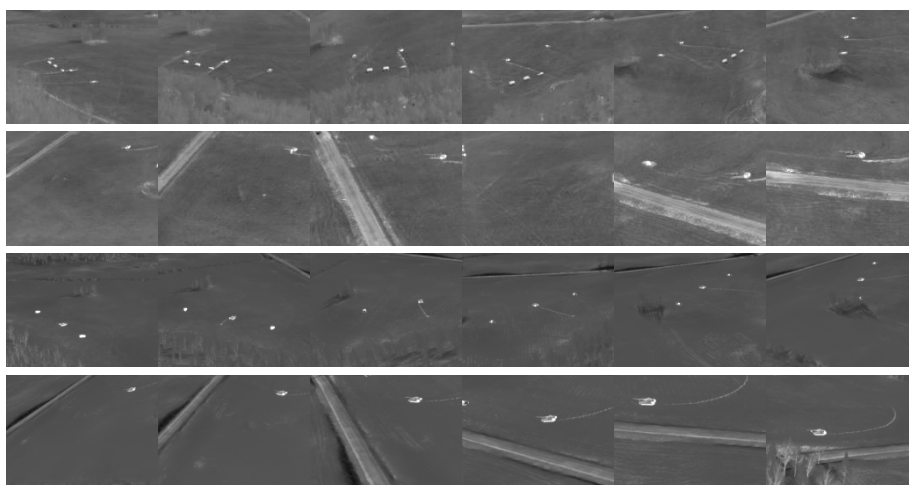
I SEMARK-försöket monterades QWIP-systemet i en flygkropp utan vingar och hängdes under en helikopter för att enkelt kunna samla in sensordata som liknar sensordata från en UAV. QWIP-systemet flögs sedan över ett målspele bestående av ett antal fordon, bl.a. T72 och MTLB, och mätdata spelades in. En sekvens från mätningen gjord på eftermiddagen den 11:e september valdes som underlag till verifiering av sensorsimuleringar. I sekvensen åker systemet i en cirkel runt ett fält på Prästtomta skjutfält i Kvarn i Östergötland. I sekvensen åker en T72 och två MTLB över skjutfältet.

Temperatur och väderdata loggade vid tiden för mätningen och dessa data har använts för att beräkna atmosfärsegenskaperna i simuleringen samt det termiska tillståndet för omgivningen. Signaturen på fordonen i simuleringen har tidigare beräknats med hjälp

av programmet RadTherm [9]. Själva simuleringen av IR-sensorn och den visuella sensorn utfördes i programmet SE-Workbench-EO där en sekvens på 60 sekunder genererades. Figur 3-6 visar mätt data för IR och visuellt sida vid sida med simulerad data. I figur 3-7 visas sekvensen med 5 sekunders mellanrum med mätdata och simulerad data.



Figur 3-6. Mätdata och simulerad data från QWIP samt visuell sensor från Kvarn september 2004. Övre vänster: mätdata från QWIP, övre höger: simulerad QWIP, nedre vänster: mätdata från visuell kamera, nedre höger: simulerad visuell data.



Figur 3-7. Övre två rader: QWIP-data med fem sekunders mellanrum. Nedre två rader simulerad sensordata med fem sekunders mellanrum. Skalan i IR bilden går mellan 290 K och 300 K.

Tre olika jämförande metoder för verifiering undersöktes: applicering av boosting-detektor, analys med TerrTex samt histogramfördelning av gradientmagnituden i bilden.

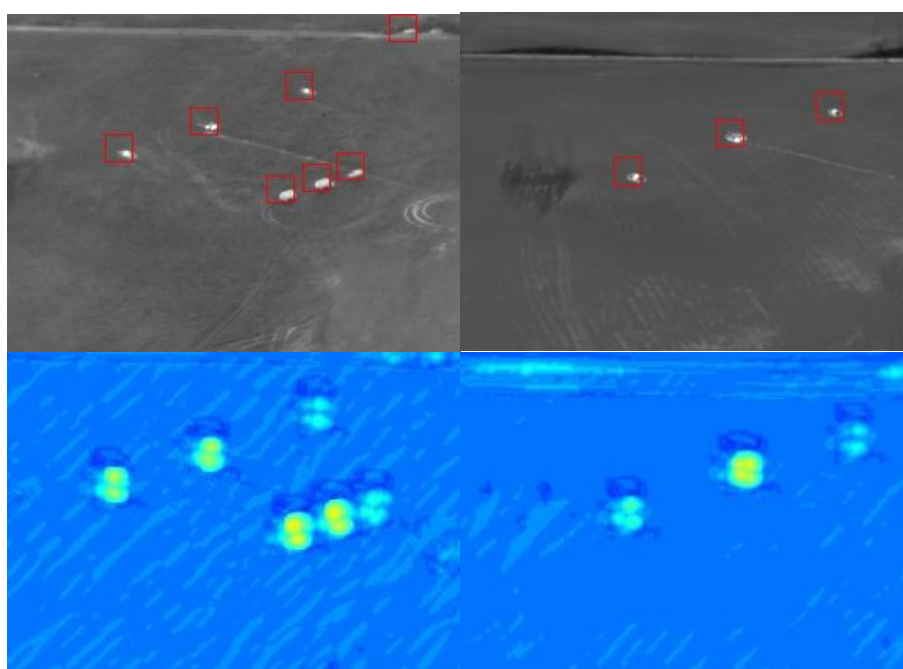
3.1.1.1 Boosting-detektor

Första metoden som undersöktes var att ta en detektor baserad på boosting-teknik och applicera på både QWIP mätdata och simulerad data. Detta gjordes för att undersöka om skillnader i mätdata och simulerad data påverkar aspekter viktiga för algoritmer som använder särdrag i bilden. Den detektor som användes i det här fallet var en tidi-

gare utvecklad detektor [10] tränad på syntetiska T72, MTLB och BTR70 mot en uppmätt bakgrund. Detektorn applicerades på 30 bilder i sekvensen och resultatet i form av sanna detektioner (TP), falska detektioner (FP) och missade detektioner (FN) noterades. Från detta beräknades precision och recall för varje bild och medelvärde för alla bilder beräknades, se tabell nedan för resultatet. Precision är definierat som $TP/(TP + FP)$ och Recall är definierat som $TP/(TP+FN)$. Figur 3-8 visar detektioner och detektorsvar på en bild i sekvensen.

Tabell 1. Jämförelse av mätdata och simulerat data med precision och recall.

	Precision	Recall
QWIP data	0,84	0,94
Simulerad data	1	0,98

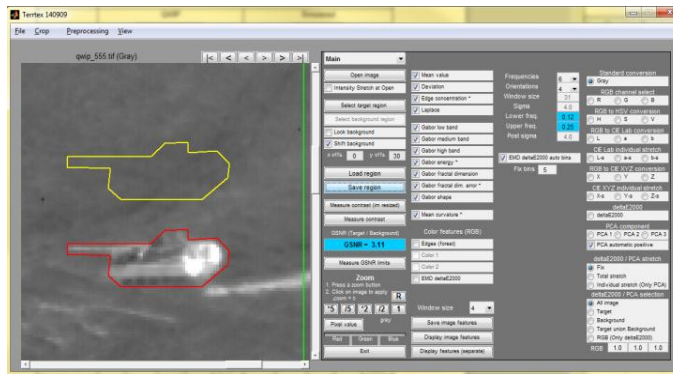


Figur 3-8. Detektioner och detektorsvar för QWIP data (vänster) och simulerat data (höger). I mätningen finns det sex fordon medan i simuleringen finns det tre fordon.

Slutsatsen från analysen är att detektorn fungerar likvärdigt mellan uppmätt data och simulerad data. Dock var felfallen särskilt höga i en del av sekvensen med mycket detaljer i den mätta bilden som saknades i den simulerade. Särskilt kan noteras att detektorsvaret i figur 3-8 visar att detektorn ser bakgrunden på jämförbart sätt i både uppmätt data och simulerat.

3.1.1.2 TerrTex

Som en andra metod har programvaran TerrTex [11, 12] använts, vilket är ett verktyg för att bestämma rumsliga egenskaper hos mål och bakgrund. Detta gjordes för att undersöka skillnaden mellan uppmätt data och simulerad data när det kommer till aspekter viktiga vid analys av detektering, klassificering och identifiering. Figur 3-9 visar ett bildexempel på verktygets gränssnitt.

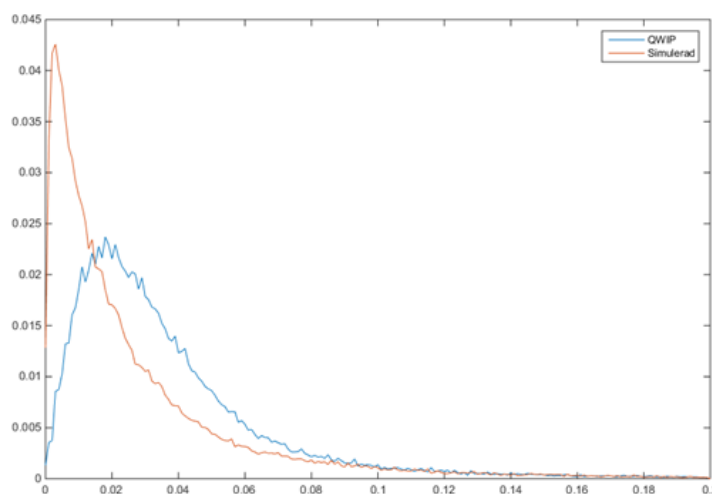


Figur 3-9. Verktøget TerrTex.

Fyra olika vinklar på målet i sekvensen ovan valdes och analyserades i programmet. Verktygets olika mätetal jämfördes med avseende på målet och den lokala bakgrunden bakgrunden. I resultatet från analysen kan det ses att mätetalet för målet är i samma storleksordning för både mätdata och simulerat data. Däremot så är mätetalet för bakgrunden ca en faktor två lägre på simulerade data jämfört med mätdata. Detta kan härledas till att dynamiken i bakgrunden är lägre i simulerade jämfört med mätdata. Slutsatsen blir att mer arbete behövs på att öka dynamiken i simulerade bilden.

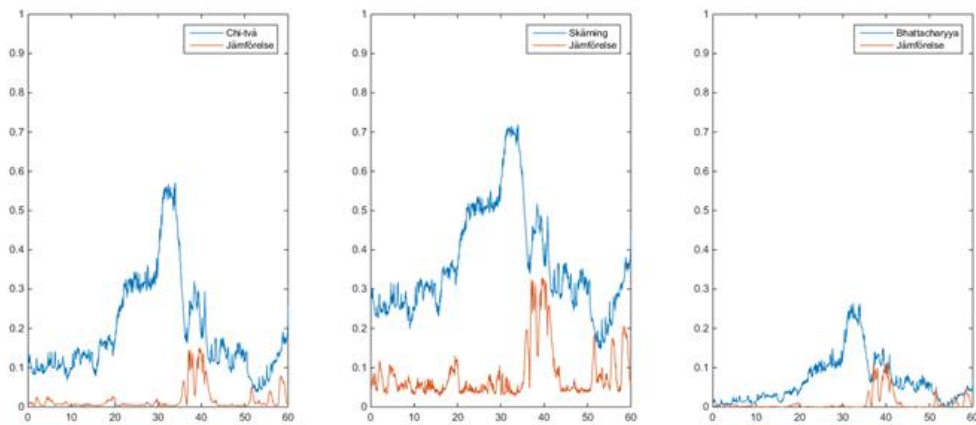
3.1.1.3 Gradientmagnitudfördelning

Många algoritmer använder kanter och gradienter för att uppnå sitt resultat. Den sista metoden som användes beräknade gradientmagnituden i bilderna och jämförde avståndet i fördelningen av dessa. Figur 3-10 visar exempel på fördelningen från bilderna i figur 3-6.



Figur 3-10. Fördelning över gradienter i QWIP-bild och simulerad bild.

De avståndsmått som har undersökts för att jämföra fördelningarna är chi-två, histogramskärning samt Bhattacharyya. För att få jämförande värden gjordes avståndsberäkning för fördelningen från QWIP-bilden, den simulerade bilden samt för övre halvan av QWIP-bilden mot den nedre halvan av densamma. Detta gjordes på alla bilder i sekvensen och resultaten presenteras i figur 3-11.



Figur 3-11. Avstånd mellan fördelningar i QWIP-bild och simulerad bild.

Från fördelningen i figur 3-10 kan man se att mängden mindre gradientmagnituder är större i de simulerade bilderna. Även här kan det härledas till att dynamiken i bakgrunden på bilden är aningen mindre i de simulerade. I figur 3-11 ser man att avståndet i fördelningen ökar vid ca 30 sekunder och i figur 3-7 ser man att det är då huvuddelen av bilden tas upp av ett homogent område. Mer arbete behövs alltså i att öka det dynamiska omfånget i bakgrunden hos simuleringen.

4 Fallstudie: Värdering av UAV-system

För att undersöka vilka delar av COAT/TVS-metoden och vilka verktyg som behövde vidareutvecklas har vi testat COAT/TVS-metoden på ett tillämpningsexempel. Tillämpningsexemplet som vi har valt handlar om att värdera förmågan för tre relativt olika UAV-system i två olika scenarier. För att öppet kunna diskutera metoder och verktyg har vi valt att arbeta med enbart öppen information och alla data från UAV-systemen har därför hämtats från öppna källor. UAV-systemen som har studerats i värderingen kan dock skilja sig något från de verkliga UAV-systemen, eftersom data i vissa fall har saknats. I dessa fall har rimliga värden istället antagits och använts. De tre UAV-systemen som har studerats är:

- UAV-system A: Fyra stycken RQ-7 Shadow 200 med sensorsystemet POP 300
- UAV-system B: MQ-9 Reaper med sensorsystemen ARGUS-IS och MTS-B
- UAV-system C: MQ-8B Fire Scout med sensorsystemet Safire STAR 380-HLD

UAV-system A med fyra stycken RQ-7 Shadow 200 och sensorsystemet POP 300 har valts för att vi vill kontrollera att metoden kan hantera flera UAV-system. I värderingen har vi därför valt att studera om flera mindre UAV:er kan ersätta ett dyrt och mycket avancerat UAV-system. Vi har valt RQ-7 Shadow 200 för att öka vår kunskap om detta UAV-system som används i Försvarmakten.

UAV-system B med MQ-9 Reaper och sensorsystemen ARGUS-IS och MTS-B har valts på grund av det ökade intresset för WAPS-sensorer (Wide Area Persistent Surveillance). Dessa sensorer täcker ett mycket större synfält än normala EO/IR-sensorer och ett exempel på WAPS-system är ARGUS-IS. ARGUS-IS är ett nytt och mycket intressant sensorsystem och tillsammans med MQ-9 Reaper som är ett mycket kapabelt UAV-system är det ett intressant UAV-system för värderingen.

UAV-system C med MQ-8B Fire Scout och sensorsystemet Safire STAR 380-HLD har vi valt för att kontrollera att metoden kan hantera VTOL-UAV-system. Detta är ett relativt nytt VTOL-UAV-system som US Navy använder.

4.1 UAV-system

4.1.1 UAV-system A: Fyra RQ-7 Shadow 200 med POP 300

I maj 2010 köpte Sverige in två ”system” Shadow 200B med fyra plattformar i varje system. Ett UAV-system består här av transportfordon, avskjutningsramp, datalänkar samt fyra plattformar för att kunna ha dem konstant i luften. Prisuppgiften anges till 500 MSEK [13].

Farkosten Shadow 200B är utvecklad av AAI Corporation, som sedan köpts upp av företaget Textron. Övriga nationer förutom USA och Sverige som beställt systemet är i dagsläget Italien och Australien. I juli 2012 hade Shadow-systemen genererat 750000 operativa flygtimmar [14].

Maximal flyghöjd för plattformen är 4570 meter och marschfarten är 130 km/h. Systemet som värderas är utrustat med sensorsystemet POP 300. IR-kameran är känslig i våglängdsbandet MWIR och har en upplösning på 640×480 pixlar. IR-kameran har tre olika synfält: $29^\circ \times 22^\circ$, $9.2^\circ \times 6.9^\circ$ och $2.3^\circ \times 1.7^\circ$. Färg-TV-kameran har en upplösning på 768×494 pixlar, och en kontinuerlig zoom från $23^\circ \times 14.8^\circ$ till $1^\circ \times 0.6^\circ$.

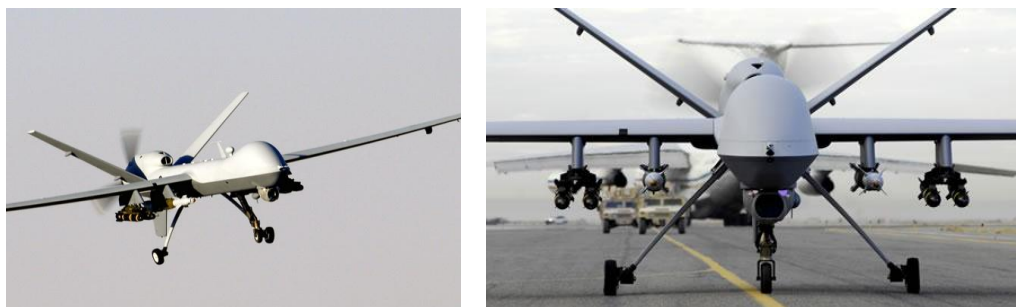


Figur 4-1. Shadow-200B.

4.1.2 UAV-system B: MQ-9 Reaper med ARGUS-IS och MTS-B

MQ-9 Reaper (se figur 4-2), som även initialt benämndes Predator B, är större och betydligt kapablare än dess föregångare MQ-1 Predator [15, 16]. Reaper är utrustad med en turbopropmotor på hela 900 hp, till skillnad från Predators kolvmotor på endast 119 hp. Reaper är kapabel att bära 8 gånger mer nyttolast och har betydligt högre marschfart. Reaper kan bestyckas med olika vapen som Hellfire eller bomber av typen GBU-12 eller GBU-38. Den hanteras via samma markstationssystem som MQ-1 Predator och flygs av US Air Force, US Customs and Border Protection, men har även exporterats till Italien och Storbritannien.

MQ-9 Reaper är designat för en operativ höjd på 8000-16000 meter. För att kunna spana mot misstänkta terrorister etc., vilket kräver hög bildupplösning, nyttjas det ofta på betydligt lägre höjd, 3000-5000 meters höjd, om hotbilden och terrängen medger detta [17].



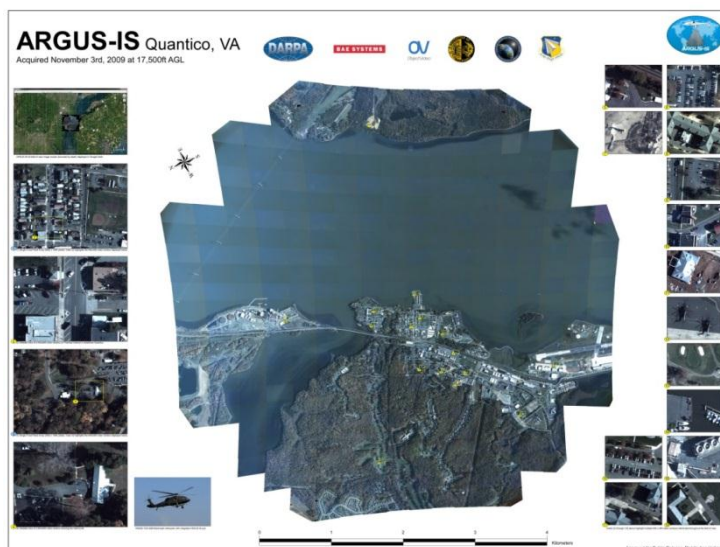
Figur 4-2. MQ-9 Reaper.

De EO/IR-system som beskrivs här är de som standardmässigt sitter monterade på plattformarna Predator och Reaper. Övriga relevanta standardsensorer är SAR-systemet AN/APY-8 Lynx II, utvecklat av Sandia National Laboratories i samarbete med General Atomics [18].

MQ-9 Reaper är utrustad med Raytheon AN/AAS-52 Multi-Spectral Targeting System MTS-A [19], vilket är en gimbalmonterad 6-axligt stabiliserad sensorsvit med en gimbaldiameter om 46 cm. Sensorerna i detta multispektrala spanings- och målutpekningssystem utgörs av en infraröd sensor, en färg/monokrom dagljus-TV, en bildförstärkt TV-kamera, en laserbaserad målutpekare och en laserbelysare. Följande bildvinklar finns tillgängliga: Wide (TV/IR): $45^\circ \times 34^\circ$, Medium-wide (TV/IR): $22^\circ \times 17^\circ$, Medium (TV/IR): $7.6^\circ \times 5.7^\circ$, Medium-narrow (IR): $3.7^\circ \times 2.8^\circ$, Medium-narrow (TV): $2.6^\circ \times 2.2^\circ$, Narrow (TV): $1.3^\circ \times 1.0^\circ$, Ultra-narrow 1 (TV/IR): $0.6^\circ \times 0.5^\circ$,

Ultra-narrow 2 (TV): $0.22^\circ \times 0.16^\circ$. Gimbalvikten är 59 kg och drivelektroniken väger 11 kg.

ARGUS-IS (Autonomous Real-Time Ground Ubiquitous Surveillance Imaging System) är ett DARPA-projekt som är kontrakterat till BAE Systems. Syftet med detta sensorsystem är att generera en sensor med mycket stor yttäckning. Lösningen består av 368 fokalplansarrayer på 5 Megapixel var och dessa är sammansatta i 4 grupper om 92 st vardera. Varje grupp delar på ett linssystem, där alltså det totala fokalplanet utgörs av en mosaik bestående av 92 st 5 Megapixel-sensorer. Totalt erhålls en sensor på 1800 Megapixel, vilket visas i figur 4-3. Om vi bortser från geometriskt överlapp genereras en bild med sidan 45000 pixlar med en bildfrekvens på hela 10-15 Hz. Om systemet antas befinna sig på 6 km höjd och skall täcka en spaningsyta på 8×8 km erhålls därmed en upplösning på hela 0.18 meter per pixel. Den snedaste infallsvinkeln, mot ytterkanten av spaningsområdet, är 34 grader. Systemet är kapabelt till följning av 64 simultana mål. Kring dessa genereras regioner om 640×480 pixlar som distribueras. En global rörelsedetektion utförs och potentiella mål utpekade för operatören. ARGUS-IS bygger på visuella sensorer, men utveckling pågår för att ta fram ett system med IR-sensorer för att möjliggöra mörkerkapacitet [20].



Figur 4-3. Översiktsbild från flygprov med ARGUS-IS 5250 m över Quantico i Virginia. Bilden är på 1.8 Gigapixel från totalt 368 sensorer. De gula regionerna, som inzoomade visas i höger ytterkant, är en delmängd av de totalt 64 områden som kontinuerligt kan distribueras från plattformen till operatörer. Till vänster visas några av de 368 originalbilderna.

4.1.3 UAV-system C: MQ-8B Fire Scout med Safire STAR 380-HLD

US Navy krävde i slutet av 90-talet en RPAS (Remotely Piloted Aircraft System) som skulle kunna ta en nyttolast på 90 kg, ha en räckvidd på 200 km, en uthållighet på tre timmar vid en flyghöjd på 6 km och en förmåga att landa på ett fartyg vid en vind på 13 m/s. Farkosten skulle ha en sammanlagd flygtid på minst 190 timmar mellan servicetillfällen. Schweizer Aircraft och Teledyne Ryan vann tävlingen med en RPAS baserad på helikoptern Schweizer 330 som kan lyfta tre passagerare. Programmet RQ-8A Fire Scout avslutades redan i december 2001, utan att egentligen ha stött på några tekniska problem.

Northrop Grumman köpte Teledyne Ryan år 1999 och fortsatte att utveckla Fire Scout som fick beteckningen MQ-8B Fire Scout. MQ-8B Fire Scout utrustades med en fyr-

bladig rotor med betydligt högre förmåga att bära tyngre nyttolast, ända upp till 320 kg vid kortare uppdrag. Ett modulärt tänkande för nyttolasterna medförde att snabb rekonfigurering av farkosten var möjlig. Alternativa sensorsystem på MQ-8B Fire Scout är en gimbal med EO/IR-sensorer och laserutpekare, ett SAR-system [21], en SIGINT-modul, ett multispektralt sensorsystem, ett minspaningssystem mot IED:er (Target Acquisition Minefield Detection System), ASTAMIDS (Airborne Standoff Minefield Detection System and Airborne Surveillance) och ett datalänksystem TCDL (Tactical Common Data Link) [22, 23]. Även möjligheten att släppa förnödenheter till marktrupper är intressant [24]. Möjlig beväpning består av Hellfire missiler, Viper Strike (laserstyrda glidbomber) och 70 mm laserstyrda raketer av av typen Advanced Precision Kill Weapon System.



Figur 4-4. MQ-8B Fire Scout.

US Navy anser att MQ-8B Fire Scout kan ersätta flera funktioner som idag utförs via bemannade helikopter. US Navy har köpt 23 MQ-8B Fire Scout och dessa har flugit mer än 8000 timmar [25, 26]. MQ-8B Firescout är normalt utrustad med en EO/IR-gimbal av typen FLIR System Safire STAR II. En vidareutveckling av den är FLIR System STAR Safire 380-HLD baserad på sensorer med högre upplösning och helt igenom digitalt gränssnitt. Sensorerna i en STAR Safire 380-HLD består av en termisk MWIR-kamera, en SWIR-kamera och en visuell kamera.

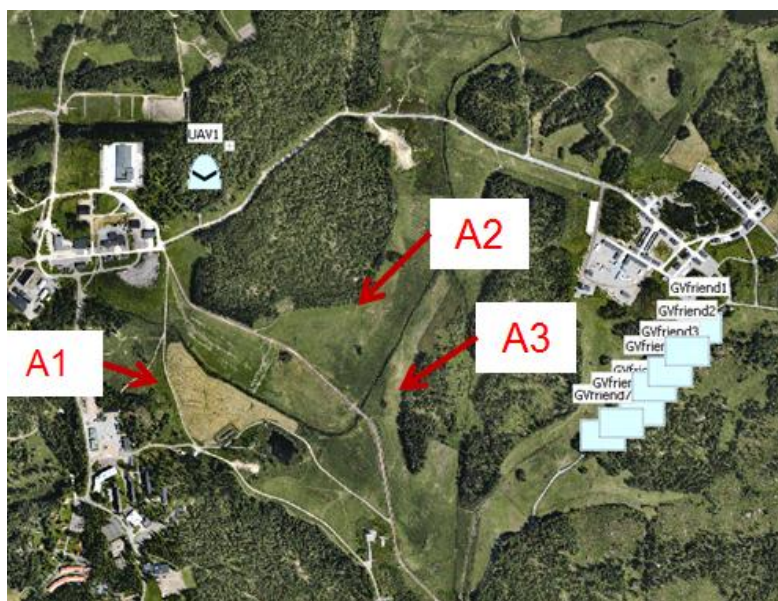
4.2 Typsituationer

Två typsituationer har tagits fram för värderingen av de tre UAV-systemen. Det ena handlar om UAV-spaning för att upptäcka förberedelser för eldöverfall utmed en väg som en egen fordonspatrull sedan ska åka längs med. Den andra typsituationen handlar om UAV-spaning efter tidskritiska mål.

4.2.1 Eldöverfall

Syftet med typsituationen Eldöverfall är att studera UAV-systemens förmåga att upptäcka förberedelser för eldöverfall utmed en väg som en fordonspatrull sedan ska åka längs med. Syftet med UAV-spaningen är att minska risken för fordonspatrullen att bli utsatt för eldöverfall. Eldöverfall är ett vanligt hot vid internationella insatser och bara under 2009 utsattes den svensk-finska styrkan i Afghanistan för 45 eldöverfall [27]. Vägen som UAV-systemen ska spana av i denna typsituation är ca 200 km lång och en liten bit av vägsträckan visas i figur 4-5.

Flygbasen för UAV-systemen för typsituationen är förlagd till Karlsborg som befinner sig 50 km från Kvarn där mikrosituationen utspelar sig. Risken för luftvärn anses låg i denna typsituation.



Figur 4-5. En bild som visar fordonspatrullen som rör sig utmed en väg. I typsituationen förbereder insurgenterna ett eldöverfall från positionerna A1-A3.

4.2.2 Tidskritiska mål

Denna typsituation har tagits fram för att värdera UAV-systemens förmåga att genomföra yttäckande spaning i ett område för att hitta tidskritiska mål som bara syns under en kort tid innan de gömmer sig. De tidskritiska målen består av två stycken raketartillerisystem TOS-1 Buratino, vilket är ett raketartillerisystem monterat på ett T72 stridsvagnschassi, se figur 4-6.



Figur 4-6. Raketartillerisystemet TOS-1 Buratino.

Typsituationen är baserat på scenario 2a från en tidigare genomförd markmålsstudie [28]. De två tidskritiska målen har tre olika grupperingsplatser var, som de växlar mellan, varifrån de genomför en terrorbeskjutning av en stad på 30 km avstånd. De skjuter växelvis i följande cykel: Från skydd åker de till den första grupperingsplatsen. Där grupperar de och skjuter 2 raketer. Därefter åker de tillbaka till skydd. Medelhastigheten under förflyttningar för TOS-1 Buratino är ca 25 km/h och grupperingstid inklusive två skott tar 5 min. Den går sedan i skydd vilket tar ca 5 minuter och detta återupprepas under 4 h.

4.3 National Image Interpretability Rating Scales (NIIRS)

För att specificera UAV-spaningen har vi använt oss av NIIRS. NIIRS togs fram på grund av svårigheterna att på ett korrekt sätt mäta kvalitén i en bild givet enkla bildmått som upplösning, skala etc. Till exempel kan en ökning av brusnivån sänka den observerade upplösningen. Denna ökning av brusnivån kan dock ha en annan effekt på informationen som kan extraheras ur bilden än vad som vore fallet om den riktiga bildupplösningen sänks. Målsättningen då NIIRS togs fram var att ge en skala som kan förklara vilken information som kan, eller inte kan, extraheras ur en bild. För att definiera denna skala togs en stor uppsättning bildtolkningsuppgifter fram, vilka sedan klassificerades av en grupp bildtolkare. Uppgifterna sträckte sig från detektering av stora anläggningar till identifiering av små detaljer. Bilder med känd kvalitet presenterades sedan för en annan grupp av bildtolkare för att bestämma den svåraste uppgift som kunde utföras. Den resulterande skalan ger ett kvalitetsmått på bildmaterial i en skala från 0 till 9 (bäst). Vid en bildkvalitet på NIIRS 2 kan bildtolkarna t.ex. detektera stora hangarer på flygfält, medan på NIIRS 9 kan registreringsnumret på en lastbil identifieras. NIIRS togs först fram för det visuella området, men har sedan kompletterats med skalor för radar, IR och multispektralt [29].

Tabell 2. En liten del av NIIRS-skalan för visuella sensorer.

Rating	NIIRS Visible (V) / Civil (C)
3	- Detect the presence/absence of support vehicles at a mobile missile base. (V)
4	- Identify, by general type, tracked vehicles, field artillery, large river crossing equipment, wheeled vehicles when in groups. (V)
5	- Detect large animals (e.g., elephants, rhinoceros, giraffes) in grasslands. (C) - Identify, by type, deployed tactical SSM (surface-to-surface missile) systems (e.g., FROG, SS-21, SCUD). (V)
6	- Detect individuals, when not in a group. (C) - Distinguish between SA-6, SA-II, and SA-17 missile airframes. (V)
7	- Identify limbs (arms, legs) on an individual. (C) - Detect the mount for antitank guided missiles (e.g., SAGGER on BMP-1). (V)
8	- Identify a hand-held SAM (e.g., SA-7/14, Redeye, Stinger). (V) - Identify farm or construction tools by general shape (e.g., shovel, pitchfork, pick, ax, sledge-hammer). (NIIRS 7.9) (C)
9	- Identify an ear tag on large game animals (e.g., deer, elk, moose.) (C)

Tabell 3. En liten del av NIIRS-skalan för IR-sensorer.

Rating	NIIRS IR
4	- Detect individual thermally active vehicles in garrison.
5	- Detect armored vehicles in a revetment.
6	- Distinguish between a 2-rail and 4-rail SA-3 launcher. - Distinguish between SA-6, SA-11 and SA-17 missile airframes.
7	- Identify an individual person. - Distinguish between an SA-2/CSA-1 and a SCUD-B missile transporter when missile are not loaded.
8	- Identify limbs (e.g. arms, legs) on an individual. - Identify equipment in an open-bed, light duty truck.
9	- Identify cargo (e.g., shovels, rakes, ladders) in an open-bed light-duty truck. - Identify door handles on small to medium vehicles.

4.4 Specifiering av UAV-spaning

4.4.1 Eldöverfall

Utifrån tabell 2 och tabell 3 kan man dra slutsatsen att för att detektera en människa behöver visuella bilder ha minst NIIRS 6 och IR-bilder ha minst NIIRS 7. För att kunna identifiera att de har vapen i händerna behöver de visuella bilderna ge minst NIIRS 8 och för IR-bilder minst NIIRS 9.

En beskrivning har tagits fram för UAV-spaningen för typsituationen Eldöverfall, vilket även visas i figur 4-7 och figur 4-12.

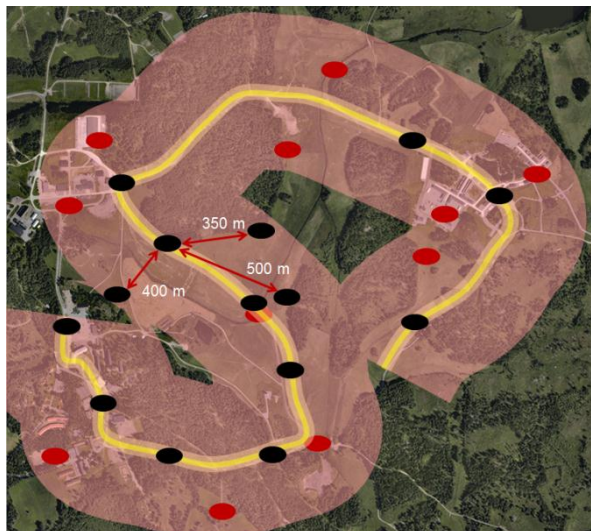
Zon1: 0 - 15 m från mitten av vägen. I detta område vill man kunna se objekt som är större än 6×6×10 cm som t.ex. kartonger, lådor och stillastående bilar. För att en operatör ska kunna upptäcka ett sådant objekt har vi bestämt att både visuellt och IR-data ska ha ett NIIRS-värde på 9 och varje pixel ska finnas kontinuerligt i synfältet i 3 sekunder. Minor, petflaskor, små förändringar i jordlager etc. är oftast för små för att upptäckas från en UAV så det eftersöks inte.

Zon 2: 15 - 70 m från mitten av vägen. I detta område spanar operatör efter insurgen-ter med vapen. Vi har därför bestämt att både visuellt och IR-data ska ha ett NIIRS-värde på 8 och varje pixel ska finnas kontinuerligt i synfältet i minst 6 sekunder.

Zon 3: 70 - 500 m från mitten av vägen. I detta område spanar operatören efter insur-genter. Vi har därför bestämt att både visuellt och IR-data ska ha ett NIIRS-värde på 6 och varje pixel ska finnas kontinuerligt i synfältet i minst 10 sekunder.

Zon 4: 30 hotområden utmed vägen som redan innan spaningsuppdraget identifierats som intressanta att spana emot. Vi har därför bestämt att både visuellt och IR-data ska ha ett NIIRS-värde på 8 och varje pixel ska finnas kontinuerligt i synfältet i minst 5 sekunder. Det genomsnittliga avståndet mellan dessa hotområden är 500 meter.

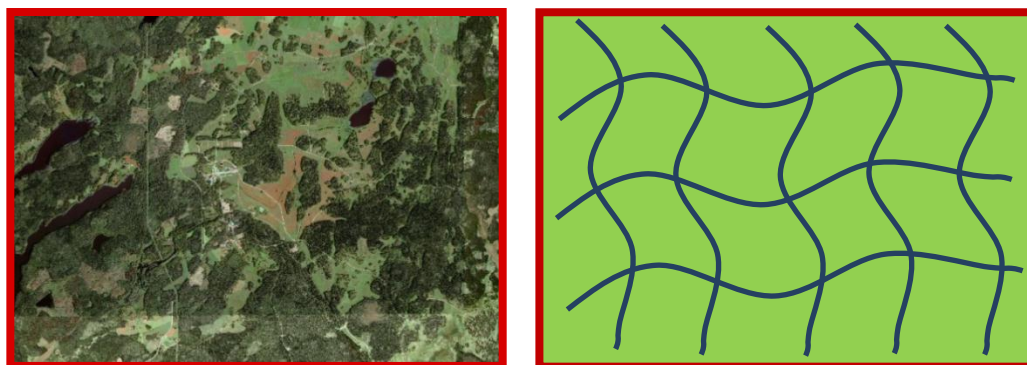
Zon 5: 60 misstänkta punkter som man upptäcker vid spaningsinsatsen och som man vill spana noggrannare på. Vi har bestämt att man vill kunna spana mot dessa misstänkta punkter med visuella och IR-data som har ett NIIRS-värde på 9 och varje pixel ska finnas kontinuerligt i synfältet i minst 8 sekunder. Det genomsnittliga avståndet mellan dessa misstänka punkter är 250 meter.



Figur 4-7. Specifiering av UAV-spaningen för typsituation Eldöverfall.

4.4.2 Tidskritiska mål

UAV:erna visas in till ett spaningsområde som är 7×5 km stort och som visas i figur 4-8. I området bedöms det dessutom finnas 20 civila och militära fordon. Handburet luftvärn kan också finnas i området.



Figur 4-8. Spaningsområde som har en storlek av 7×5 km (t.v.). Till höger visas en förenklad modell av terrängen där ett rutnät av 5 vägar i nord/sydlig riktning och 3 vägar i öst/västlig riktning används.

Uti från tabell 2 och tabell 3 kan man dra slutsatsen att för att detektera en TOS-1 så behöver både visuella bilder och IR-bilder ha minst NIIRS 4. För att kunna identifiera att det är en TOS-1 behöver man visuella bilder som har minst NIIRS 7 och IR-bilder minst NIIRS 8.

En beskrivning av UAV-spaningen har tagits fram för typsituationen Tidskritiska mål, vilken även visas i figur 4-8. En förenklad modell av terrängen har använts med 5 vägar från norr till söder och 3 vägar från väster till öster.

Spaningsuppgiften för UAV-systemen består av att:

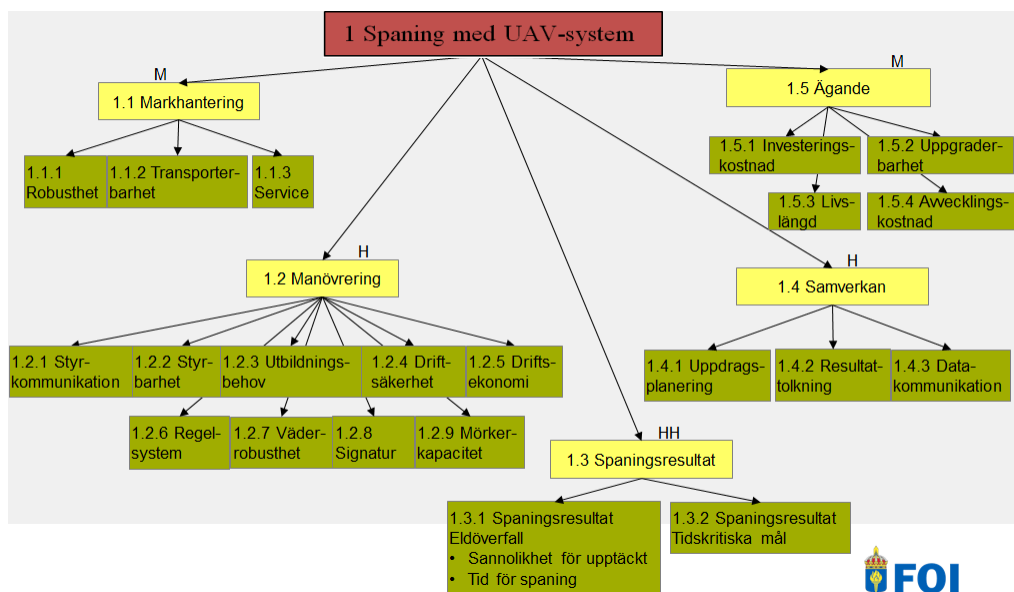
1. Hitta vägarna i området. Först vill man att operatören ska upptäcka vägar. Vi har bestämt att visuellt data ska ha ett NIIRS-värde på lägst 3.5 och att IR data ska ha ett NIIRS-värde på lägst 4.5. Varje pixel ska dessutom finnas kontinuerligt i synfältet i minst 6 sekunder.
2. Leta efter larvbandspår ("infarter") utefter vägarna. Operatören ska sedan upptäcka larvbandspår utefter vägarna. Vi har bestämt att visuella data ska ha ett NIIRS-värde på lägst 3.5 och att IR data ska ha ett NIIRS-värde på lägst 4.5. Varje pixel ska dessutom finnas kontinuerligt i synfältet i minst 3 sekunder.
3. Detektion av fordon. Om larvbandspår upptäcks ska dessa följas för att leta efter fordon i anslutning till dessa larvbandspår. Vi har bestämt att vid spaning efter fordon i anslutning till larvbandspår behöver både visuella bilder och IR-bilder ha minst NIIRS 4 och varje pixel ska finnas kontinuerligt i synfältet i minst 3 sekunder. Den genomsnittliga längden på ett larvbandspår har bestämts till 40 meter.
4. Identifiering av fordon. Misstänkta fordon ska identifieras och vi har här bestämt att för denna spaningsuppgift ska den visuella sensorn ge minst NIIRS 7 och IR-sensorn minst NIIRS 8. Dessutom ska varje pixel finnas kontinuerligt i synfältet i minst 6 sekunder.

4.5 Värdering av UAV-system

Värderingen av de tre UAV-systemen bygger på modellering av spaningssituationen i de två utvalda typsituationerna. Som indata i dessa modeller används prestanda hos sensorer och plattformar och antaganden om plattformarnas utnyttjande i respektive situation. Utdata är ett antal sammansatta sannolikhetsmått som uttrycker hur väl sensorerna fungerar samt ett antal mått på hur tidskraven uppfylls. Modellerna är medvetet enkla för att sannolikhetsmått ska kunna beräknas och generella slutsatser kunna dras och någorlunda enkelt kunna beskrivas. Modellerna beskriver också delar av det som brukar kallas CONOPS² för plattformen ifråga.

Ett centralt verktyg i COAT/TVS är ett behovsträd som används för att väga samman olika faktorer. I detta fall ser behovsträdet ut enligt, figur 4-9. I detta avsnitt kommer vi att redovisa behovsuppfyllnaden för de tre UAV-systemen. Resultat för UAV-systemen har delats upp i: markhantering, manövrering, spaningsresultat, samverkan och ägande.

² CONOPS = CONcept of OPerationS.

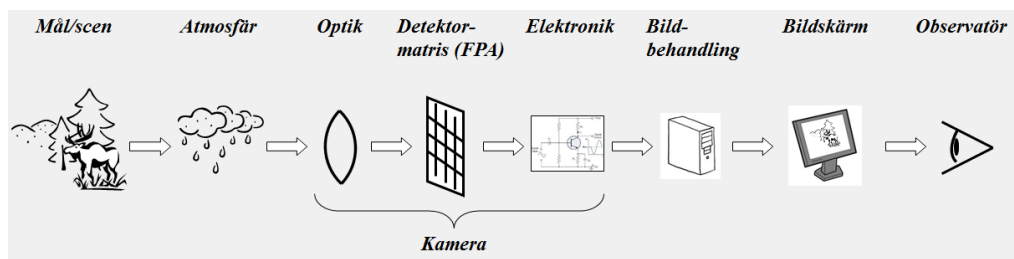


Figur 4-9. Behovsträdet för UAV-värderingen.

4.5.1 Beräkning av sannolikhet med NV-IPM

För beräkning av sannolikheter för detektion och identifiering har verktöget NV-IPM (Night Vision Integrated Performance Model) från SENSIAC/NVEDS använts. Programmet använder en värderingsmetrik för modellering och skattning av räckvidd och sannolikheter för observatörsbunden måldiskriminering som kallas TTP (Targeting Task Performance). Metriken introducerades 2003 av US Army Night Vision and Electronic Sensor Directorate (NVEDS) i USA [30]. Den har tagits fram som en ersättare till den tidigare Johnson-metriken, som ej var anpassad till att hantera moderna samplande sensorsystem. Modellen är validerad genom flertalet perceptionsförsök.

För prediktion av bildkvalitet tar TTP hänsyn till det avbildande systemets kontrastgivande prestanda vid samtliga spatiala frekvenser, något som bäst beskrivs av systemets modulationsöverföringsfunktion (MTF). En avbildningskedja är en fenomenologisk kedja från scen till sensor till observatör, se figur 4-10, där den ursprungliga informationen i form av modulation (ett annat ord för kontrast) försämras via olika oskärpe- och brusbidrag som introduceras längs dess väg.



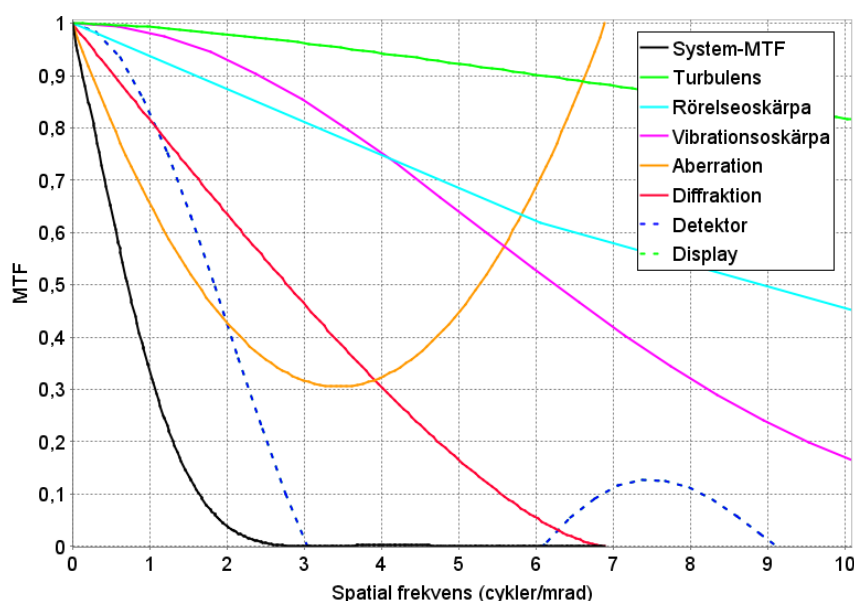
Figur 4-10. En avbildningskedja är en serie av fysikaliska länkar från scen till sensor till observatör. Länkarna i kedjan introducerar oskärpa och brus till den överförda informationen.

Modulationen är en funktion av spatial frekvens (något som brukar betecknas med ξ) vilket är ett mått på linje- eller mönstertäthet i en bild (där låga frekvenser representerar stora, grovkorniga variationer och höga frekvenser fina detaljer). För ett linjärt och spatialt skiftinvariant avbildningssystem kan den sammanlagda (superponerade) för-

sämringen av kontrast i bilden matematiskt beskrivas av avbildningskedjans modulationsöverföringsfunktion (MTF). Systemets MTF, här betecknad $MTF_{sys}(\xi)$, kan tecknas som:

$$MTF_{sys}(\xi) = MTF_{atmosfär}(\xi)MTF_{optik}(\xi)MTF_{detektor}(\xi)MTF_{display}(\xi) \dots \quad (1)$$

som i frekvensrummet blir en produkt av de enskilda degraderande MTF-bidragen (se exempel i figur 4-11). Komponenterna i kedjan som inverkar kan exempelvis vara atmosfär (pga. turbulens och aerosolspridning), optik (pga. diffraktion och aberrationsfel), detektor (pga. pixlars storlek och utformning), display (pga. pixelstorlek, uppdateringsfrekvens, ljusreflexer, mm.) och observatörens seende (pga. diffraktion och synskärpa). Ytterligare försämringar kan förstås även uppstå pga. relativ rörelse mellan mål och bakgrund, rörelse- och vibrationsoskärpa hos sensorplattformen (och/eller observatören relativt displayen) eller genom nödvändig komprimering av data i länken ned till en markstation. Många faktorer inverkar vanligtvis men vilka av dessa som faktiskt dominerar och vilka som kan försummas är olika från fall till fall. Matematiska modeller finns framtagna för de flesta av dessa effekter och många av dem finns redan integrerade i mjukvaran NV-IPM.



Figur 4-11. MTF för en typisk EO-sensor bestäms av flertalet olika degraderande bidrag i avbildningskedjan, som exempelvis atmosfär (turbulens), rörelse- och vibrationsoskärpa hos sensorplattform, optik (diffraktion och aberration), detektor och display. Om dessa är linjärt oberoende av varandra (vilket de vanligtvis är) kan de multipliceras samman till en resulterande system-MTF, som representerar hela avbildningssystemets upplösande och kontrastgivande förmåga. Kurvan för display ligger under kurvan för detektor.

Eftersom TTP är en human-in-the-loop-metrik för räckviddsprestanda ingår också en modell för den mänskliga observatörens förmåga att diskriminera kontraster med olika spatial frekvens. Modellen är empiriskt uppbyggd från olika perceptionsförsök med sinusmönster med olika frekvenser och kontraster. Förmågan varierar mellan individer, förändras med ålder och beror på fysisk och psykisk status hos den mänskliga

observatören (trötthet, sjukdomar, osv.). Yttre faktorer så som brus (från ex. sensor, display och öga) samt luminansnivå (ex. från en display) inverkar också, vilket beror på att det mänskliga ögats stavar och tappar har olika ljus- och färgkänslighet, olika densitet över näthinnan och olika kontrastdiskriminerande egenskaper.

4.5.2 Operatörstider

För att kunna jämföra olika UAV-system mot varandra måste varje ingående system få möjlighet att anpassas till uppgiften utgående från sina egna prestanda och förutsättningar. I analysen i denna rapport har detta skett genom att varje system använder lämplig sensorkonfiguration för att uppnå ställda upplösningskrav. Därefter ställs samma tidskrav för att ge sensoroperatören möjlighet att avsöka området.

Men vilka tidskrav kan ställas i de olika spaningsuppgifterna? Kommer dessa tidskrav påverka värderingsresultatet? Den första frågan kan inte enkelt besvaras. Tidsåtgången för spaningsuppgiften beror på en mängd faktorer, vilka kortfattat beskrivs nedan. På den andra frågan, om valet av tidsåtgång kommer att påverka värderingsresultatet, är svaret nej. Eftersom alla systemen har samma operatörstider kommer rangordningen mellan systemen att bibehållas om operatörstiderna justas. Däremot kommer den totala spaningstiden att förändras för alla UAV-system, och därmed kommer systemens måluppfyllnad att förändras, men rangordningen bibehålls.

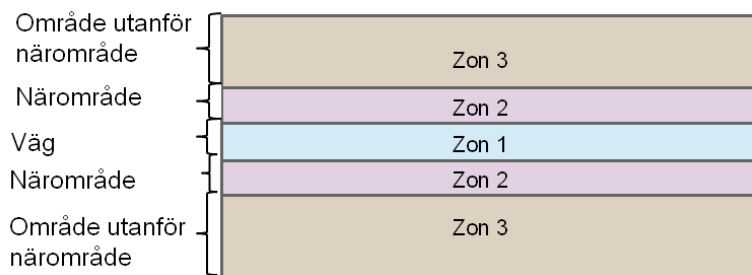
Tidsåtgången för en sensoroperatör beror på uppgiftens karaktär, och hur alert operatören är. En viktig fråga är hur snabbt uppmärksamheten sjunker, vilket är beroende av system och situation. Det finns studier som visar att uppmärksamheten sjunker inom 15 minuter [31], men om arbetsuppgiften är krävande kan det ske redan inom fem minuter [32]. I de aktuella fallen som studeras i denna värdering är det huvudsakligen sökning efter specifika objekt eller avvikelser från normalbild som föreligger. Detta kan sägas vara en detektionsuppgift. Det finns studier som visar att förmågan hos den mänskliga perceptionen kräver minst två sekunders observationstid för att hinna bedöma om en region kräver närmare granskning [33]. Denna tidsgräns på två sekunder kommer från perceptionsexperiment där uppgiften var att söka efter välupplösta människor i skogsbakgrund i perspektivet mark-till-mark. I den studien simulerades en panorerande sensor, vilket också antas vara fallet i vår värderingsstudie.

Om sensorn täcker ett större område, som kräver att operatören kontinuerligt utför en egen skanning i bilden, kommer tidsåtgången att analysera varje del av det totala spaningsområdet att markant öka. Här kommer komplexiteten i scenen att påtagligt påverka tidsåtgången. Om scenens klotternivå är hög, och den naturliga bakgrundens karaktär i stort liknar de eftersökta objekten, kan operatörstiden bli påtagligt lång för att uppnå satta kravställningar på sannolikheter för detektion. Att analysera operatörstider för olika spaningsuppgifter i omväxlande miljöer, med varierande upplösning i sensordata, är ett eget forskningsprojekt. Det finns inga rättframma modeller att tillgå från det internationella forskningssamfundet inom detta område. Däremot är området intressant och viktigt, framförallt med tanke på uppdragsplanering, men även i ett värderingsperspektiv.

I denna värderingsstudie har operatörstiderna för spaning fastställts till att ligga i intervallet tre till tio sekunder. Fallet med tre sekunder har använts i situationer med mycket inzoomad sensor mot bakgrunder som förväntas vara relativt homogena (t.ex. vägen i typsituation eldöverfall). Tio sekunder har använts då avsökt området förväntas innehålla mer varierande terräng, vilket kräver en mer aktiv operatörsavsökning av delregioner i bilden.

4.5.3 Värdering av typsituationen eldöverfall

Spaningsområdet i typsituationen för eldöverfall, som visas i figur 4-7, kan schematiskt illustreras som sökning längs väg enligt figur 4-12. Dessutom finns det på förhand kända hotområden (zon 4) sporadiskt i zon 3.



Figur 4-12. Illustrativ beskrivning av spaning längs väg.

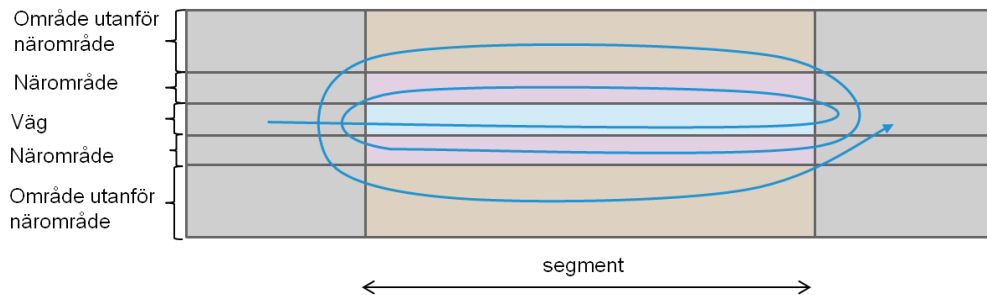
För att kunna jämföra spaningsresultatet mellan de olika plattformarna har gemensamma minimala upplösningskrav använts enligt avsnitt 4.4.1. Då plattformarnas sensorer har olika spatiell upplösning kommer detta medföra att plattformarna har olika momentan yttäckningsgrad. I beskrivningen av typsituationen har det fastställts hur lång tid sensoroperatörer behöver för att lösa spaningsuppgiften, se tabell 4. En konsekvens av denna jämförelsemetodik är att sannolikheten för upptäckt av hot blir relativt jämförbar mellan plattformarna, samtidigt som tidsåtgången för att uppnå denna nivå blir plattformsberoende.

Tabell 4. Kravställning för minimala yttäckningstider.

Spaningsområde	Gemensamma tidskrav på yttäckningstid för sensoroperatör	Upplösningskrav NIIRS
Zon 1, väg	3 sekunder	NIIRS 9
Zon 2, närområde väg	6 sekunder	NIIRS 8
Zon 3, utanför närområde	10 sekunder	NIIRS 6
Zon 4, hotområden	5 sekunder	NIIRS 8

4.5.3.1 Ruttanalys

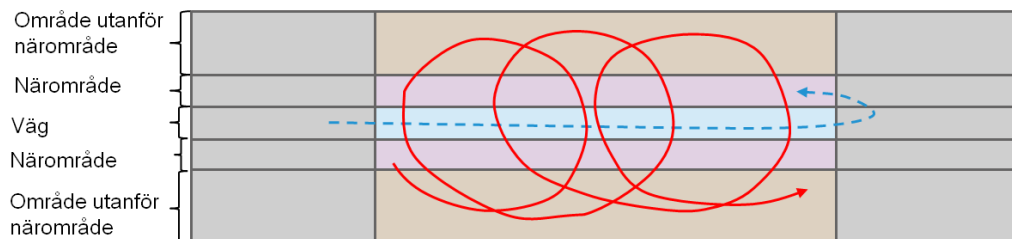
För att genomföra spaningsuppgiften har det totala spaningsområdet delats upp i ett antal segment. Typiskt är ett segment några kilometer långt, vilket medför att hela spaningsområdet typiskt delats upp i 3 till 10 segment beroende på plattformarnas flygprestanda. Vid avspaningen av ett segment visar det sig att kraven på operatörstid och upplösning medför att plattformarna tvingas flyga flera gånger över ett segment för att hinna inhämta tillräckligt högupplöst sensordata över segmentet. Detta illustreras i figur 4-13, där plattformens ungefärliga flygrutt visas. Först avspans zon1, sedan zon 2 norr och söder om vägen och slutligen avsöks zon 3, också den norr och söder om vägen. Detta ger i normalfallet fem planerade rutter över ett segment. Observera att plattformarna har olika minimala svängradier, så den faktiska flygrutten för de olika plattformarna skiljer sig åt.



Figur 4-13. UAV-systemets förflyttning för att avspaña ett segment längs en väg.

Vid närmare analys av tidsåtgången för att inhämta sensordata, givet krav på upplösning och operatörstid, framkommer det att plattformarnas typiska marschhastighet vida överskrider rimlig förflyttning av sensorsystemets footprint på marken. Gränssättande är att operatörerna ska kunna betrakta varje punkt på marken en viss minsta tid för att ha en rimlig chans att göra rätt åtgärder. Att avspaña bara en av zonerna visar sig vara så tidskrävande att plattformen alltför snabbt hamnar för långt från aktuellt markområde, vilket medför risk för skuggning och att infallsvinkeln blir påtagligt sned med följd att upplösningen avtar under specificerad gräns för detektion.

För att kunna hantera detta fenomen har en plattformsberoende *fördröjningsfaktor* för flygningen beräknats. Ofta ligger denna faktor på 5 till 10. Alltså överskrider UAV:ernas marschhastighet vida sensorsystemets avspanningsförmåga. I figur 4-14 illustreras denna fördröjningsflygning genom att UAV:n flyger i storscirklar, markerade i rött, som i snitt förflyttas som den planerade ruten för att avspaña aktuell zon, här zon 1 (blått). Lämpliga faktiska flygbanor kan vara "åttor" eller "storscirklar", beroende på fördröjningsfaktor och plattformskaraktäristik.

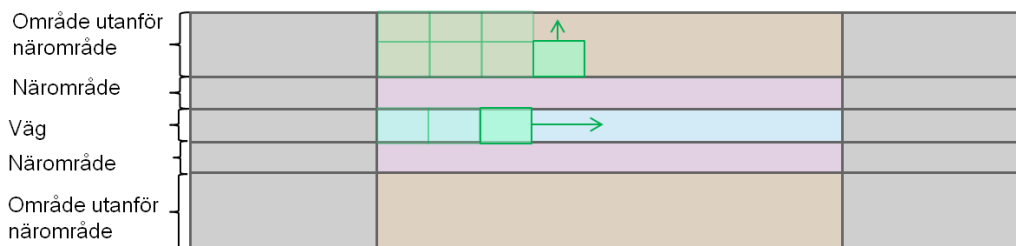


Figur 4-14. UAV-systemet tvingas till fördröjningsflygning (röd) kontra den övergripande ruttplaneringen (blå) för att garantera rimliga sensordata för operatören. Här avspañas zon 1.

4.5.3.2 Sensorstyrning

I zon 1 och 2 räcker det för samtliga plattformar att i lämplig takt svepa med sensorsystemet över zonen i vägens utbredningsriktning. Zonernas bredd täcks alltså utan att någon skanningsrörelse vinkelrätt mot vägen krävs. Detta illustreras i figur 4-15 där vi kan se att zon 1 avspañas genom en svepande sensorrörelse längs vägen. På samma sätt räcker en stirrande sensor över zon 4 för att ge tillräckligt spaningsunderlag för operatörsanalys av på förhand definierade hotområden.

I zon 3 krävs däremot, för samtliga gimbalmonterade sensorer, att sensoroperatören genomför en skannande rörelse i två riktningar för att erhålla tillräcklig upplösning på marken för att lösa spaningsuppgiften. Detta illustreras i figur 4-15. Sensorn ARGUS-IS däremot är ett system som med hjälp av mosaikteknik kan avbilda ett mycket stort vinkelområde med hög upplösning. Då den används i zon 3 är skanning varken nödvändig eller möjlig, då upplösningen i sensordata över aktuellt segment momentant har tillräcklig upplösning överallt i segmentet.



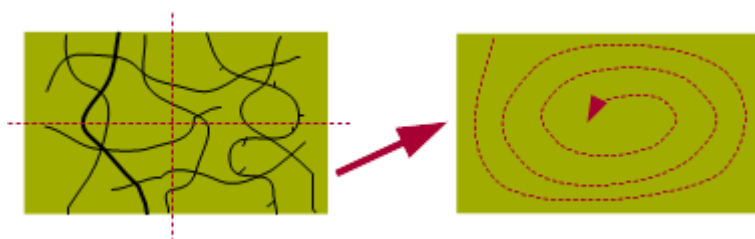
Figur 4-15. Sensorstyrningen varierar beroende på vilken upplösning som krävs kontra zonernas storlek.

4.5.4 Värdering av typsituationen tidskritiska mål

I förutsättningarna för denna typsituation ingår att UAV-systemet blir invisat till ett område med storleken 7×5 km med uppgiften att leta rätt på skjutande fordon för att sedan visa in ett attackvapen mot detta fordon.

Vår CONOPS säger att vi ska leta ute efter vägarna i området efter misstänkta avfarter, larvbandspår eller hjulspår. Varje sådant ska följas en bit in för att leta efter ett fordon. Varje upptäckt fordon ska identifieras och om det är det misstänkta fordonet ska målet följas.

För att kunna räkna fram sannolikhetsmått har vi valt att ansätta ett modellandskap med i medeltal 5 vägar i nord-sydlig riktning och 3 i öst-västlig riktning. Varje väg har en avfart eller hjulspår i medeltal var 500:e meter och dess spår är i medeltal 50 m långa. I detta landskap finns det 2 äkta mål och 20 icke-relevanta fordon som skulle kunna vara ett mål, se figur 4-16.



Figur 4-16. Skiss över det invisade området med vägar till vänster. Till höger visas den schematiska flygbanan.

Vi väljer då att dela in detta modellandskap i ett antal segment. I var och en av dessa segment får UAV-plattformen flyga i en spiral och samtidigt avsöka segmentet. UAV-plattformen spanar utmed vägarna, leta efter infarter, verifiera infart, leta efter fordon utmed verifierade infarter och identifierar funna fordon. Man kommer då att behöva använda tre olika öppningsvinklar (zoom-lägen) som väljs vid uppdragsplaneringen så att sannolikheten för var och en av deluppgifterna blir ca 75%. Öppningsvinklar mm plus antaganden om hur länge en operatör måste se en given punkt gör att vi kan uppskatta antalet varv som UAV:n måste göra och till slut hur lång tid som alltsammans tar.

Sannolikheten att hitta rätt fordon beror på sannolikheten att lyckas i varje delmoment kombinerat med att fordonet endast är synligt för sensorn under en begränsad del av varje skjutcykel som fordonet utför. I vår värderingskalkyl bortser vi från vapeninsatsdelen där uppgiften är att vidmakthålla följning av målet fram till vapenträff. En sensor som momentant ser ett stort område utan någon avsökning kommer därmed att gynnas.

Observera att vi i dessa beräkningar inte gör några antaganden om exakt hur en avsökning sker, utan endast använder relationer mellan ytor hos det betraktade området och ytan som sensorn momentant kan se, plus att operatörerna måste ges tillräcklig tid för att dessa ska hinna med.

Det optimala valet av antalet segment, flyghöjd, öppningsvinklar mm är beroende av vilken plattform och vilken sensor som analysen avser. Även antalet plattformar och antalet repetitioner av hela sökmönstret är parametrar som kan väljas. Ett framtida planeringsverktyg som bygger på våra principer skulle mycket väl kunna tänkas optimera användningen mer eller mindre automatiskt och ta hänsyn till t.ex. väderprognoser.

4.6 Värderingsresultat

Till COAT/TVS-metodiken finns ett verktyg för att beräkna behovsuppfyllnaden för de olika systemen. Vid beräkning av medelvärde för ett stort antal sannolikhetsvärden kommer medelvärdet ligga nära väntevärdet för systemet, dvs. medelvärdet kommer att jämnas ut sig i det långa loppet. På de övre nivåerna i trädet är det därför inte lämpligt att tolka behovsuppfyllnaden i absoluta tal, utan på denna nivå bör man endast göra relativa jämförelser mellan de olika UAV-systemen.

För de olika noderna i behovsträdet har vi bestämt behovsvikter som beskriver hur viktiga de olika noderna är för systemets totala förmåga. För noderna som är längst ner i behovsträden, de s.k. löven, har vi bedömt behovsuppfyllnaden och ett assuransvärde, som är ett mått på osäkerheten i vår bedömning av behovsuppfyllnaden. För noder i behovsträdet som inte är löv har behovsuppfyllnaden och assuransvärdet beräknats.

Under värderingen har alla gjorda antaganden, förutsättningar och vikter dokumenterats. En fullständig redovisning av detta skulle bli allt för lång för denna rapport. I detta avsnitt ges därför endast en kort sammanfattning av våra bedömningar av behovsuppfyllnad, behovsvikt och assurans för de olika UAV-systemen. För behovsvikterna, behovsuppfyllnaden och assuransvärden har vi använt en fyrgradig skala: låg (L), medium (M), hög (H) och mycket hög (HH). Numeriska värden för dessa värden visas i tabell 5.

Tabell 5. Numeriska värden för behovsvikter, behovsuppfyllnad och assuransvärden som har använts i värderingen.

	Låg (L)	Medium (M)	Hög (H)	Mycket hög (HH)
Behovsvikt	0,15	0,3	0,75	0,95
Behovsuppfyllnad	0,25	0,5	0,75	0,9
Assuransvärde	0,2	0,5	0,8	0,95

4.6.1 UAV-system A: 4 st RQ-7 Shadow 200 med POP300

4.6.1.1 Markhantering

UAV-systemet bedöms ha god driftsstatistik och kan dessutom opereras från gräsfält. Transporterbarheten bedöms god eftersom det är ett relativt litet UAV-system. Vår bedömning av behovsuppfyllnaden, behovsvikt och assurans för UAV-systemets markhantering, visas i tabell 6.

Tabell 6. Behovsuppfyllnad, behovsvikt och assurans för markhanteringen för system A.

Namn	Behovsuppfyllnad	Behovsvikt	Assurans
1.1 Markhantering	0,80625	M	0,8
1.1.1 Robusthet	HH	H	H
1.1.2 Transporterbarhet	H	HH	H
1.1.3 Service	H	M	H

4.6.1.2 Manövrering

Shadow 200 bedöms som ganska robust mot olika väder. Sensorerna däremot påverkas mycket av dimma, regn mm. UAV-systemet bör flygas under molnbas. Det kan dock vara fördelaktigt att ha flera mindre UAV-system som flyger under molnbas, jämfört med ett stort UAV-system som normalt spanar från hög höjd. Mörkerkapacitet bedöms som god då UAV-systemet har en termisk IR-kamera. Den akustiska signaturen hos plattformen är hög. Vår bedömning av behovsuppfyllnaden, behovsvikt och assurans för UAV-systemets manövrering visas i tabell 7.

Tabell 7. Behovsuppfyllnad, behovsvikt och assurans för manövrering med system A.

Namn	Behovsuppfyllnad	Behovsvikt	Assurans
1.2 Manövrering/Operera	0,73	H	0,68
1.2.1 Styr-kommunikationen	H	HH	H
1.2.2 Styrbarhet	L	M	H
1.2.3 Utbildningsbehov	H	M	M
1.2.4 Driftsäkerhet	HH	M	H
1.2.5 Driftekonomi	H	H	M
1.2.6 Klart regelsystem	HH	H	H
1.2.7 Väderrobusthet	H	H	M
1.2.8 Signatur	L	M	M
1.2.9 Mörkerkapacitet	H	H	H

4.6.1.3 Spaningsresultat Eldöverfall med UAV-system A

Resultaten för UAV-system A i typsituationen eldöverfall sammanställs i tabell 8 där det framgår, för de olika zonerna, sensorernas detektionssannolikhet och valda synfält. En sammanvägning presenteras i tabell 9.

Flygdata för detta scenario har valts till:

- Flyghöjd: 1300 m
- Marschfart: 130 km/h
- Normal svängradie: >200 m

Effektiviteten av att kunna utnyttja multipla plattformar varierar med spaningsuppdragets karaktär. I scenariot med eldöverfall har en relativt enkel princip utnyttjats, segmenten uppdelas mellan plattformarna sekventiell. Med fyra plattformar blir alltså

uppdelningen 1,2,3,4,1,2,3,4 o.s.v. Det innebär att tre plattformar passerar längs ett segment som avspänas av den fjärde plattformen. Avspänningen av ett segment sker enligt grundprincipen, visad i . För att erhålla en högre nyttjandegrad används de tre passerande plattformarna för att granska zon 4 för aktuellt segment, alltså de på förhand kända hotområdena. Aktuellt segment kommer totalt sätt därmed avspänas något snabbare än med endast en plattform. Vi antar att det inte finns någon begränsning i markstationens förmåga att hantera fyra simultana UAV:er.

Tabell 8. Sannolikheter för deluppgifterna samt använda sensorinställning för UAV-system A för typsituation eldöverfall.

4 st RQ-7 Shadow 200	Visuell sensor			IR-sensor		
	Sannolikhet upptäckt	Markupp-lösning	NIIRS	Sannolikhet upptäckt	Markupp-lösning	NIIRS
Zon1 Väg	0.52	Zoomläge 22.5 × 30 m	7.0	0.53	NFOV 39 × 52 m	7.6
Zon 2 Närområde väg	0.87	Zoomläge 41 × 55 m	6.5	0.83	NFOV 39 × 52 m	7.6
Zon 3 Utanför närområde	0.50	Zoomläge 110 × 147 m	5.4	0.19	MFOV 158 × 211 m	6.0
Zon 4 Hotområden	0.87	Zoomläge 41 × 55 m	6.5	0.83	NFOV 39 × 52 m	7.6

Tabell 9. Sammanställning av spaningsresultat för UAV-system A i typsituation eldöverfall.

4 st RQ-7 Shadow 200 med POP300	Genomsnittlig sannolikhet för upptäckt	Spaningstid
Visuellt	0.74	65 min (1st, 4h 10min)
IR	0.65	45 min (1st, 2h 53min)

Vägsträckan som UAV:erna ska spana av har delats upp i segment där varje UAV-system tar vart 4:e segment. UAV:n som ska spana av ett vägsegment spanar inte efter hotområdena för det vägsegmentet, utan det gör de övriga UAV:erna när de flyger förbi till sina vägsegment. Effektivare fördelning än så är möjlig, men då måste det faktiska vägens utsträckning beaktas. 4 st RQ-7 Shadow 200 är det enda systemet som uppfyller tidskraven för spaningen, det har samma spaningstakt som kolonnens framryckning om 4 plattformar används. För att sensoroperatören skall hinna med måste plattformen ”fördröjningsflyga” med en faktor 3-5 i zon 1 och 2, och med 4-8 för zon 3. Ett vanligt sätt att ”fördröjningsflyga” är att flyga i en spiral.

IR-sensorn i POP 300 har fast optik (ej kontinuerlig zoom), vilket inte medger optimal field-of-view (FOV) för alla zoner från en fast flyghöjd. Konsekvensen blir undermåliga detektionsresultat, med ett värde på endast 0.19 för zon 3 med IR-sensorn. Denna zon avsågs med mellanoptiken betecknad MFOV, se tabell 8. Att välja optiken med minsta synfältet NFOV skulle förvisso ha ökat förmågan till detektion till hela 0.83 men avspaningstiden skulle samtidigt blivit starkt lidande tack vare det smala synfältet och kolonnens framryckning skulle hindrats av detta. Fördröjningsfaktorn för UAV-systemet skulle nämligen stiga från 4 till 64. Därmed utesluts den optiken för zon 3 i scenariot eldöverfall. Att skillnaden blir så stor beror på att IR-sensorn i POP 300 endast har tre fasta öppningsvinklar.

Vår bedömning av behovsuppfyllnad, behovsvikt och assurans för UAV-systemets spaningsförmåga i typsituation Eldöverfall, visas i tabell 10.

Tabell 10. Behovsuppfyllnad, behovsvikt och assurans för spaning i typsituation Eldöverfall för system A.

Namn	Behovsuppfyllnad	Behovsvikt	Assurans
1.3.1 Spaningsresultat Eldöverfall	0,76	HH	H
1.3.1.1 Spaningsförmåga, VIS	0,75	HH	H
1.3.1.2 Spaningsförmåga, IR	0,64	HH	H
1.3.1.3 Spaningstid, VIS	0,93	M	H
1.3.1.4 Spaningstid, IR	0,93	M	H

4.6.1.4 En jämförelse mellan ett, två eller fyra UAV-system

Om en jämförelse utförs mellan ett, två och fyra system av typen RQ-7 Shadow 200 kommer detektionsprestanda att bli densamma, då samma sensorer och flyghöjd används. Däremot kommer spaningstiden påverkas påtagligt. För att hinna med kolonnens framfart måste fyra system lösa spaningsuppgiften enligt dessa beräkningar. Se tabell 11.

Tabell 11. Jämförelse mellan ett, två och fyra UAV-system A.

RQ-7 Shadow 200 med POP300	Antal system	Genomsnittlig sannolikhet för upptäckt	Spaningstid
Visuellt	1	0.74	249 min
IR	1	0.65	173 min
Visuellt	2	0.74	122 min
IR	2	0.65	83 min
Visuellt	4	0.74	65 min
IR	4	0.65	45 min

4.6.1.5 Spaningsresultat Tidskritiska mål med UAV-system A

Denna typsituation kräver överblick, vilket medför att man bör välja en hög flyghöjd. Flyghöjden har därför valts till 3250 m. Sannolikheten för de olika deluppgifterna visas i tabell 12.

Tabell 12. Sannolikhet för de olika deluppgifterna för visuella resp. IR-sensorer.

Deluppgift	Visuellt		IR	
	Sannolikhet	NIIRS	Sannolikhet	NIIRS
Upptäcka larvbandspår	0.76	2.7	0.75	4.7
Upptäcka fordon	0.75	3.6	0.75	4.7
Identifiera fordon	0.75	4.8	0.81	6.3

Eftersom de intressanta fordonen är detekterbara under en liten andel av tiden finns det en mycket stor risk att UAV:erna inte lyckas detektera fordonen. För att maximera upptäckningssannolikheten krävs ett bra avsökningsförfarande. Detta hanteras genom att använda flera plattformar och eventuellt upprepa hela spaningsförfarandet så att förväntad sammanvägd upptäcktsannolikhet blir minst 0.5.

- En enda plattform löser inte spaningsuppgiften tillräckligt bra och tar för lång tid.
- Fyra plattformar löser inte heller spaningsuppgiften tillräckligt bra, men uppfyller tidskravet.
- Fyra plattformar som upprepar spaningsuppgiften fem gånger eller fler löser uppgiften acceptabelt, men uppfyller inte tidskraven acceptabelt.

Vår estimerade behovsuppfyllnad samt vår bedömning av behovsvikt och assurans för UAV-systemets spaning i typsituationen tidskritiska mål, visas i tabell 13. Behovsuppfyllnad beräknas ur våra modeller för prestanda i hela förloppet.

Tabell 13. Behovsuppfyllnad, behovsvikt och assurans för spaning i typsituation Tidskritiska mål för system A.

Namn	Behovsuppfyllnad	Behovsvikt	Assurans
1.3.2 Spaningsresultat Tidskritiska mål	0,25	HH	H
1.3.2.1 Spaningsförmåga, VIS	0,071	HH	H
1.3.2.2 Spaningsförmåga, IR	0,083	HH	H
1.3.2.3 Spaningstid, VIS	0,77	M	H
1.3.2.4 Spaningstid, IR	0,87	M	H

4.6.1.6 Spaningsresultat med UAV-system A

Generellt lider systemet av att ha alltför låg upplösning hos den termiska sensorn i POP 300. Vidare har MTF-analysen visat att gimbalsens högfrekventa jitter ställer till problem, så att endast uppgradera detektorn är inte tillräckligt.

Optiken hos IR-systemet har endast tre fasta synfält, med alltför stor skillnad mellan lägena. Det är svårt att erhålla en optimal inställning, vilket medför att man antingen har sugrörsperspektiv, och endast ser detaljer, eller har alltför låg upplösning för att kunna detektera eftersökta objekt. Att ersätta med en kontinuerlig zoom skulle öka användbarheten hos systemet, men pris och vikt på sådana linser kan vara begränsande faktorer.

I tabell 14 redovisas vår estimerade behovsuppfyllnad samt vår bedömning av behovsvikt och assurans för UAV-systemets spaning för de två typsituationerna. Behovsuppfyllnaden är högre för typsituationen Eldöverfall än för typsituationen Tidskritiska mål.

Tabell 14. Behovsuppfyllnad, behovsvikt och assurans för spaning med system A.

Namn	Behovsuppfyllnad	Behovsvikt	Assurans
1.3 Spaningsresultat	0,51	HH	0,8
1.3.1 Spaningsresultat Eldöverfall	0,76	HH	H
1.3.2 Spaningsresultat Tidskritiska mål	0,25	HH	H

4.6.1.7 Samverkan

Många plattformar som används koordinerat till en och samma uppgift är svåra att leda effektivt. Dagens markstation saknar en effektiv delgivningsfunktion till slutanvändaren annat än röstförbindelse, vilket i eldöverfallssituationen inte har så stor betydelse. I fallet med tidskritiska mål är det däremot avgörande för att en vapensinsats ska kunna genomföras med tillräcklig precision.

För att kommunicera data mellan UAV och markstation krävs fri sikt och inte för långa avstånd. I svåra fall krävs relästation. Vår bedömning av behovsuppfyllnaden, behovsvikt och assurans för samverkan med UAV-systemet, visas i tabell 15.

Tabell 15. Behovsuppfyllnad, behovsvikt och assurans för samverkan med system A.

Namn	Behovsuppfyllnad	Behovsvikt	Assurans
1.4 Samverkan	0,5	H	0,54
1.4.1 Uppdragshantering	M	M	H
1.4.2 Resultatolkning	M	H	M
1.4.3 Datakommunikation	M	HH	M

4.6.1.8 Ägande

Shadow är ett välbeprövat UAV-system som har använts i många miljöer. Det är ett relativt billigt system med god driftsstatistik. Vår bedömning av behovsuppfyllnaden, behovsvikt och assurans för ägande av UAV-systemet, visas i tabell 16.

Tabell 16. Behovsuppfyllnad, behovsvikt och assurans för ägande av system A.

Namn	Behovsuppfyllnad	Behovsvikt	Assurans
1.5 Ägande	0,75	M	0,82
1.5.1 Investeringskostnad	H	H	HH
1.5.2 Uppgraderbarhet	H	M	H
1.5.3 Livslängd	H	M	M
1.5.4 Avvecklingskostnad	H	L	H

4.6.2 UAV-system B: MQ-9 Reaper med MTS-B och ARGUS-IS

4.6.2.1 Markhantering

MQ-9 Reaper kräver asfalterade flygfält. Systemet transporteras normalt inte längre sträckor på marken, utan UAV-systemet flygs mellan baser eller med transportflygplan. UAV-plattformen Reaper är beprövad, men ARGUS-IS är att betrakta som ett oprövat forskningssystem och kommer troligen att kräva en del justeringar. Värt att notera dock är att systemet numera är operativt inom USAF [34]. Vår bedömning av behovsuppfyllnaden, behovsvikt och assurans för markhantering av UAV-systemet, visas i tabell 17.

Tabell 17. Behovsuppfyllnad, behovsvikt och assurans för markhantering av system B.

Namn	Behovsuppfyllnad	Behovsvikt	Assurans
1.1 Markhantering	0,5	M	0,3
1.1.1 Robusthet	M	H	L
1.1.2 Transporterbarhet	M	M	M
1.1.3 Service	M	M	M

4.6.2.2 Manövrering

Reaper är ett väl beprövat UAV-system och tillsammans med dess mindre föregångare MQ-1 Predator har det flugit mer än 2000000 flygtimmar [35]. MQ-9 Reaper bedöms vara relativt väderrobust. De optiska sensorerna däremot påverkas mycket av dimma, regn etc., och måste flygas under molnbas eller i molnfritt väder. Radarsignatur, IR-signatur och akustisk signatur bedöms som måttlig, trots storleken, eftersom den flyger på relativt hög höjd. Vår bedömning av behovsuppfyllnaden, behovsvikt och assurans för manövrering av UAV-systemet, visas i tabell 18.

Tabell 18. Behovsuppfyllnad, behovsvikt och assurans för manövrering av system B.

Namn	Behovsuppfyllnad	Behovsvikt	Assurans
1.2 Manövrering/Operera	0,63	H	0,60
1.2.1 Styr-kommunikationen	H	HH	H
1.2.2 Styrbarhet	H	L	H
1.2.3 Utbildningsbehov	H	M	M
1.2.4 Driftsäkerhet	H	H	M
1.2.5 Driftekonomi	L	H	L
1.2.6 Klart regelsystem	HH	H	H
1.2.7 Väderrobusthet	H	H	M
1.2.8 Signatur	M	L	L
1.2.9 Mörkerkapacitet	L	H	H

4.6.2.3 Spaningsresultat Eldöverfall med UAV-system B

Resultaten för UAV-system B i scenariot eldöverfall sammanställs i tabell 19 där sannolikheten för detektion och valda synfält för de olika zonerna presenteras. En sammanvägning presenteras i tabell 20.

Flygdata för Reaper för detta scenario har valts till:

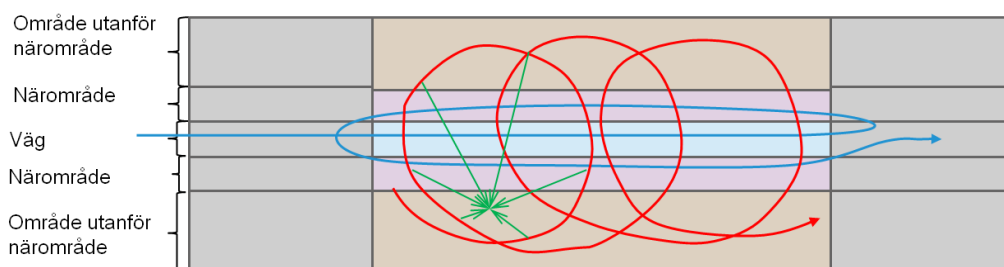
- Flyghöjd: 4000 m
- Marschfart: 285 km/h
- Normal svängradie: >700 m

Tabell 19. Sannolikheter för deluppgifterna samt använda sensorinställning för UAV-system B i typsituationen eldöverfall.

MQ-9 Reaper	Visuell sensor				IR-sensor		
	Använd sensor	Sannolikhet upptäckt	Mark- upplösning	NIIRS	Sannolikhet upptäckt	Mark- upplösning	NIIRS
Zon1 väg	MTS-B Vis	0.76	UNFOV1 33 × 44 m	7.6	0.66	UNFOV1 33 × 44 m	8.0
Zon 2 närområde väg	MTS-B Vis	0.97	UNFOV1 33 × 44 m	7.7	0.88	UNFOV1 33 × 44 m	8.0
Zon 3 utanför närområde	ARGUS- IS	0.72	7 × 7 km	6.1	0.11	NFOV 194 × 260 m	5.9
Zon 4 hotområden	MTS-B Vis	0.97	UNFOV1 33 × 44 m	7.7	0.88	UNFOV1 33 × 44 m	8.0

Tabell 20. Sammanställning av spaningsresultat för UAV-system B i typsituationen eldöverfall.

MQ-9 Reaper med MTS-B och ARGUS-IS	Genomsnittlig sannolikhet för upptäckt	Spaningstid
Visuellt	0.72 (ARGUS aktivt)	120 min
IR	0.29 (gimbalmonterad IR-sensor)	174 min



Figur 4-17. Sensorn ARGUS-IS medger dagtid mycket stor momentan spaningskapacitet över alla zonerna i ett segment. Detta medför att intressanta områden över tiden kan betraktas från olika vinklar utan någon sensorstyrning (gröna pilar). Upplösningen med ARGUS-IS är endast tillräckligt hög för analys av zon 3. I zon 1 och 2 måste istället den gimbalmonterade sensorn användas för att sannolikheter för detektion ska bli tillräckligt stora, se tabell 19.

Resultaten för UAV-systemet skiljer sig påtagligt beroende på om ARGUS-IS kan nyttjas eller inte (ARGUS-IS saknar mörkerkapacitet). Detta system medför att spaningstiden minskar med 1/3, samtidigt som spaningsprestanda förbättras påtagligt. Se figur 4-17. Oavsett sensorsystem är dock MQ-9 Reaper alltför långsamt för spaningsuppgiften, och kolonnen kör minst dubbelt så fort fram mot avspaningen av hotområdena kring vägen.

Gimbalen MTS-B har fast optik (ej kontinuerlig zoom) för IR och visuellt, vilket inte medger optimal FOV för alla zoner från en fast flyghöjd. Antalet fasta optiska lägen är relativt högt, men ändå kan systemet inte anpassas väl för spaning i zon 3 med IR-sensorn.

Zon 1 och 2 kräver högre upplösning än vad sensorn ARGUS-IS kan leverera på aktuell spaningshöjd. Detta medför att dessa zoner måste avspanas sekventiellt med gimbalmonterad sensor (MTS-B) på normalt sätt.

Dagtid ger ARGUS-systemet möjlighet att kontinuerligt övervaka hela zon 3, så att multipla registreringar från olika orienteringar erhålls, vilket rimligen ökar robustheten mot felklassificering. Se figur 4-17.

För att sensoroperatören skall hinna med måste plattformen ”fördröjningsflyga” med en faktor 7 till 12 för zon 1 och 2. Ett vanligt sätt att ”fördröjningsflyga” är att flyga i en spiral. Goda spaningsprestanda erhålls på bekostnad av spaningstiden.

Då ARGUS-IS inte har mörkerkapacitet, måste den gimbalmonterade IR-sensorn användas i mörker. En konsekvens av detta är att Reaper nattetid tvingas flyga som övriga plattformar, totalt fem gånger över ett segment för att ge lämplig marktäckning, enligt . Detta påverkar påtagligt spaningstiden. För zon 3 används IR-sensorn med synfältet NFOV vilket gav en fördröjningsflygningsfaktor på nära 6. Detektionspre-

standa blev då endast 0.11, vilket är under vår målsättning på minst 0.5. Detektionsprestanda skulle bli anmärkningsvärt förbättrade, och hamna på hela 0.88, om synfältet UNFOV1 istället användes för IR-sensorn i zon 3, men fördröjningsfaktorn skulle samtidigt öka från 6 till 34. Detta skulle medföra att kolonnens framfart nästintill helt skulle stanna upp, vilket är ohållbart. Därav valet av synfältet NFOV.

ARGUS-IS har en funktion för automatisk detektion av rörliga markmål. Med aktuell spaningshöjd är det rimligt att anta att personer som går utan skyl kommer att automatiskt detekteras och utpekats för operatörsgranskning. Scenens komplexitet, i form av tredimensionell struktur och antalet rörliga markmål (personer, djur och fordon), måste ställas i relation till antalet tillgängliga fototolkar för att kunna bedöma om systemet riskerar att mättas under en initial bortsortering av ickerelevanta detektioner.

ARGUS-IS medger möjlighet till närmare granskning av intressanta regioner genom förändringsanalys, eftersom hela spaningsområdet i ett segment registreras under hela tiden plattformen avspanar segmentet (se figur 4-17.), vilket normalt är under många minuter. Vår bedömning av behovsuppfyllnad, behovsvikt och assurans för spaning i typsituationen Eldöverfall för system B, visas i tabell 21.

Tabell 21. Behovsuppfyllnad, behovsvikt och assurans för spaning i typsituation Eldöverfall för system B.

Namn	Behovsuppfyllnad	Behovsvikt	Assurans
1.3.1 Spaningsresultat Eldöverfall	0,68	HH	H
1.3.1.1 Spaningsförmåga, VIS	0,87	HH	H
1.3.1.2 Spaningsförmåga, IR	0,70	HH	H
1.3.1.3 Spaningstid, VIS	0,46	M	H
1.3.1.4 Spaningstid, IR	0,28	M	H

4.6.2.4 Spaningsresultat Tidskritiska mål med UAV-system B

I denna typsituation letar vi efter infarter utmed vägar och eventuella fordon som kan associeras med dessa. Det är då viktigt med överblick, speciellt då fordon inte förväntas stå still speciellt länge och ARGUS-sensorn har stort synfält med hög upplösning. Av den anledningen har vi valt flyghöjden till 8500 m med i övrigt samma flygprestanda som i eldöverfall. Sannolikheten för de olika deluppgifterna med dessa flygdata visas i tabell 22.

Tabell 22. Sannolikheten för de olika deluppgifterna för visuella resp. IR-sensorer.

Deluppgift	Visuellt (ARGUS-IS)		IR (MTS-B)	
	Sannolikhet	NIIRS	Sannolikhet	NIIRS
Upptäcka larvbandspår	0.99	4.9	0.83	4.7
Upptäcka fordon	0.96	4.9	0.79	4.7
Identifiera fordon	0.75	4.9	0.92	6.7

Vid dagsljusförhållanden är ARGUS-sensorn mycket kapabel eftersom den kan se i princip hela det invisade området momentant med tillräcklig upplösning för att upptäcka larvbandspår med hög sannolikhet. Dessutom finns det rörelsedetektering vilket gör att samtliga synliga fordon kan följas i scenen. Under mörker och andra förhållanden när IR-kameran behöver användas saknas denna överblick vilket gör att prestanda blir jämförbara med de andra plattformarnas prestanda. IR-kameran måste då avsöka området med samma metodik som övriga plattformar.

- I dagsljus löser detta system uppgiften mycket bra och dessutom på kort tid.
- I mörker och dåliga ljusförhållanden är prestanda sämre än VTOL-systemet.

Vår estimerade behovsuppfyllnad, behovsvikt och assurans för spaning i typsituationen tidskritiska mål med UAV-systemet, framgår av tabell 23.

Tabell 23. Behovsuppfyllnad, behovsvikt och assurans för spaning i typsituation Tidskritiska mål för system B.

Namn	Behovsuppfyllnad	Behovsvikt	Assurans
1.3.2 Spaningsresultat Tidskritiska mål	0,46	HH	H
1.3.2.1 Spaningsförmåga, VIS	0,62	HH	H
1.3.2.2 Spaningsförmåga, IR	0,15	HH	H
1.3.2.3 Spaningstid, VIS	1,00	M	H
1.3.2.4 Spaningstid, IR	0,44	M	H

4.6.2.5 Spaningsresultat med UAV-system B

ARGUS-IS är en förträfflig sensor för kontinuerlig övervakning av stora regioner, speciellt med möjligheten att autonomt detektera och följa alla rörliga objekt på marken. En nackdel med MTS-B är de fasta optiska lägena som trots att de är många inte ger bra spaningsprestanda. Vår bedömning av behovsuppfyllnaden, behovsvikt och assurans för spaning med MQ-9 Reaper, visas i tabell 24.

Tabell 24. Behovsuppfyllnad, behovsvikt och assurans för spaning med system B.

Namn	Behovsuppfyllnad	Behovsvikt	Assurans
1.3 Spaningsresultat	0,57	HH	0,8
1.3.1 Spaningsresultat Eldöverfall	0,68	HH	H
1.3.2 Spaningsresultat Tidskritiska mål	0,46	HH	H

4.6.2.6 Samverkan

ARGUS-sensorn levererar många normal-upplösta videoströmmar parallellt till olika operatörer, vilket gör den unik. Detta betyder att många operatörer samtidigt kan få en anpassad bild, vilket är unikt och bra. Begränsningen ligger i kommunikationslänkens kapacitet. För att kommunicera data mellan UAV och markstation krävs dessutom fri sikt och inte alltför långa avstånd. I svåra fall kan relästation utnyttjas.

Vår bedömning av behovsuppfyllnaden, behovsvikt och assurans för samverkan med UAV-systemet, visas i tabell 25.

Tabell 25. Behovsuppfyllnad, behovsvikt och assurans för samverkan med system B.

Namn	Behovsuppfyllnad	Behovsvikt	Assurans
1.4 Samverkan	0,77	H	0,25
1.4.1 Uppdragshantering	M	M	M
1.4.2 Resultatolkning	HH	H	L
1.4.3 Datakommunikation	H	HH	L

4.6.2.7 Ägande

Detta är ett dyrt system med unika prestanda. En plattform kan ge informationsstöd till många parallella aktiviteter. Denna plattform är stor vilket ställer krav på flygbaser och underhållssystemet. Man förväntar sig lång livslängd från ett dyrt system, vilket också kräver ständiga uppgraderingar. Vi bedömer att många mjukvaruuppdateringar under livstiden kan förväntas och är nödvändiga för att hålla systemet modernt. Vår bedömning av behovsuppfyllnaden, behovsvikt och assurans för ägande av UAV-systemet, visas i tabell 26.

Tabell 26. Behovsuppfyllnad, behovsvikt och assurans för ägande av system B.

Namn	Behovsuppfyllnad	Behovsvikt	Assurans
1.5 Ägande	0,45	M	0,38
1.5.1 Investeringskostnad	L	H	L
1.5.2 Uppgraderbarhet	M	M	M
1.5.3 Livslängd	H	M	M
1.5.4 Avvecklingskostnad	H	L	H

4.6.3 UAV-system C: MQ-8B Fire Scout med Safire STAR 380-HLD

4.6.3.1 Markhantering

VTOL-UAV:er kräver generellt mer service, kortare serviceintervall, jämfört med fixvings och vi bedömer att så är fallet även för MQ-8B Fire Scout. MQ-8B Fire Scout bedöms ha små krav på flygfält utan de kan starta och landa på många olika platser. Väl på marken kan den rullas eller skjutas, men det är ganska tungt. Vår bedömning av behovsuppfyllnaden, behovsvikt och assurans för markhantering av UAV-systemet, visas i tabell 27.

Tabell 27. Behovsuppfyllnad, behovsvikt och assurans för markhantering med system C.

Namn	Behovsuppfyllnad	Behovsvikt	Assurans
1.1 Markhantering	0,35	M	0,5
1.1.1 Robusthet	L	H	L
1.1.2 Transporterbarhet	M	M	H
1.1.3 Service	L	M	M

4.6.3.2 Manövrering

Systemet hade i början relativt mycket problem, men nu har de flugit i mer än 8000 flygtimmar och bedöms nu att ha god driftstatistik. MQ-8B Fire Scout bedöms vara ganska väderrobust, men sensorerna däremot påverkas mycket av dimma, regn etc. så systemet måste flygas under molnbas eller i molnfritt väder. Detta gäller samtliga sensorer vi analyserar i rapporten.

Det gimbalmonterade sensorsystemet Safire STAR 380-HLD karaktäriseras av två saker. För det första har såväl IR-sensorn som den visuella sensorn betydligt högre upplösning än de övriga gimbalmonterade sensorerna som analyserats i rapporten. För det andra har både IR-systemet och det visuella systemet kontinuerlig zoom i optiken. Det första medför att givet samma footprint på marken så kommer Safire STAR 380-HLD ge en högre upplösning i bilddata. För det andra kan optiken justeras så att precis tillräcklig upplösning erhålls för att klara detektionskraven som ställs i jämförelsen. Den högre upplösningen hos sensorn medför att systemet då erhåller ett större synfält givet samma markupplösning. Därav blir det mer tidseffektivt än de andra gimbalerne i jämförelsen.

I utvärderingen av spaningsuppdragen används inte möjligheten att flyga långsamt eller hovra hos VTOL-systemet. Anledningen är att det dels genererar påtagliga vibrationer som kan vara ofördelaktiga för sensorerna, dels att det bränslemässigt är ineffektivt att flyga långsamt eller att hovra. Vår bedömning av behovsuppfyllnad, behovsvikt och assurans för manövrering av UAV-systemet, visas i tabell 28.

Tabell 28. Behovsuppfyllnad, behovsvikt och assurans för manövrering med system C.

Namn	Behovsuppfyllnad	Behovsvikt	Assurans
1.2 Manövrering/Operera	0,70	H	0,59
1.2.1 Styr-kommunikationen	H	HH	H
1.2.2 Styrbarhet	H	M	H
1.2.3 Utbildningsbehov	H	M	M
1.2.4 Driftsäkerhet	M	M	M
1.2.5 Driftekonomi	M	H	L
1.2.6 Klart regelsystem	HH	H	H
1.2.7 Väderrobusthet	H	H	M
1.2.8 Signatur	L	M	L
1.2.9 Mörkerkapacitet	HH	H	H

4.6.3.3 Spaningsresultat Eldöverfall med UAV-system C

Resultaten för UAV-system C i scenariot eldöverfall sammanställs i tabell 29 där sannolikheten för detektion och valda synfält för de olika zonerna presenteras. En sammanvägning presenteras i tabell 30.

Flygdata för detta scenario har valts till:

- Flyghöjd: 5000 m
- Marschfart: 200 km/h
- Normal svängradie: >182 m

Tabell 29. Sannolikheter för deluppgifterna för UAV-system C samt använda sensorinställning för typsituationen eldöverfall.

MQ-8B Fire Scout	Safire STAR 380-HLD					
	Visuell sensor			IR-sensor		
	Sannolikhet upptäckt	Mark- upplösning	NIIRS	Sannolikhet upptäckt	Mark- upplösning	NIIRS
Zon1 väg	0.79	Zoomläge 22.5 × 30 m	8.1	0.73	Zoomläge 22.5 × 30 m	8.5
Zon 2 närområde väg	0.96	Zoomläge 41 × 55 m	7.6	0.91	Zoomläge 41 × 55 m	8.2
Zon 3 utanför närområde	0.78	Zoomläge 161 × 215 m	6.3	0.53	Zoomläge 161 × 215 m	7.0
Zon 4 hotområden	0.97	Zoomläge 41 × 55 m	7.6	0.91	Zoomläge 41 × 55 m	8.2

Tabell 30. Sammanställning av spaningsresultat för UAV-system C i typsituationen eldöverfall.

MQ-8B Fire Scout	Genomsnittlig sannolikhet för upptäckt	Spaningstid
Visuellt	0.87	176 min
IR	0.85	176 min

Sensorsystemet Safire STAR 380-HLD har mycket god upplösning hos såväl IR som den visuella sensorn vilket ger överlägsna detektionsprestanda.

Både IR-systemet och den visuella sensorn i Safire STAR 380-HLD har möjlighet till kontinuerlig zoom istället för en serie skiftbara fasta linser. Detta medför att yttäckningen kan optimeras gentemot spaningsuppdraget.

Systemet har den absolut högsta detektionsnivån på 0.53 i zon 3 då IR-sensorn utnyttjas tack vara ovanstående punkter angående optiken och IR-detektorn.

För att sensoroperatören skall hinna med måste plattformen ”fördröjningsflyga” med en faktor 3-5 i zon 1 och 2, och med 4-8 för zon 3. Ett alternativ till detta i fallet med Fire Scout är att hovra eller flyga långsamt, vilket dock bedöms vara ineffektivt ur bränslesynpunkt och skulle kunna degenerera spaningsresultatet på grund av ökade vibrationer.

MQ-8B Fire Scout är, trots sitt goda sensorsystem, alltför långsamt kontra konvojens framryckning. Tidsåtgången för spaningen är tre gånger längre än konvojens körtid. Detta gäller såväl visuell som termisk sensor.

Ett helikopterbaserat UAV-system kan stå helt stilla och hovra, vilket gör det rimligt att lättare upptäcka små rörelser i spaningsområdet, t.ex. en människa som går. Det är svårare för en fixed wing. En förutsättning för förbättringen är dock att vibrationer från den hovrande plattformen inte degenererar spaningsdata. Bedömning av det sist-nämnda kräver djupare analys och eventuellt fältprov av såväl plattform som gimbal.

Vår bedömning av behovsuppfyllnad, behovsvikt och assurans för spaning i typsituationen eldöverfall med UAV-systemet, visas i tabell 31.

Tabell 31. Behovsuppfyllnad, behovsvikt och assurans för spaning med system C för typsituationen Eldöverfall.

Namn	Behovsuppfyllnad	Behovsvikt	Assurans
1.3.1 Spaningsresultat Eldöverfall	0,74	HH	H
1.3.1.1 Spaningsförmåga, VIS	0,90	HH	H
1.3.1.2 Spaningsförmåga, IR	0,88	HH	H
1.3.1.3 Spaningstid, VIS	0,25	M	H
1.3.1.4 Spaningstid, IR	0,25	M	H

4.6.3.4 Spaningsresultat Tidskritiska mål med UAV-system C

Typsituationen kräver överblick och vi letar efter relativt stora objekt så flyghöjden har valts till 6000 m och i övrigt samma marschfart som i eldöverfallssituationen. Sannolikheten för de olika deluppgifterna visas i tabell 32.

Tabell 32. Sannolikheten för de olika deluppgifterna för visuella resp. IR-sensorer.

Deluppgift	Visuellt		IR	
	Sannolikhet	NIIRS	Sannolikhet	NIIRS
Upptäcka larvbandspår	0.75	2.8	0.75	4.7
Upptäcka fordon	0.76	3.6	0.77	4.9
Identifiera fordon	0.75	4.9	0.77	6.4

Att utnyttja möjligheten att stå still är inte lika intressant i denna typsituation eftersom det inte ger så stora fördelar. Vår bedömning av behovsuppfyllnad, behovsvikt och assurans för spaning i typsituationen tidskritiska mål med UAV-systemet, visas i tabell 35.

Tabell 33. Behovsuppfyllnad, behovsvikt och assurans för spaning med system C för typsituationen Tidskritiska mål.

Namn	Behovsuppfyllnad	Behovsvikt	Assurans
1.3.2 Spaningsresultat Tidskritiska mål	0,21	HH	H
1.3.2.1 Spaningsförmåga, VIS	0,071	HH	H
1.3.2.2 Spaningsförmåga, IR	0,081	HH	H
1.3.2.3 Spaningstid, VIS	0,67	M	H
1.3.2.4 Spaningstid, IR	0,58	M	H

4.6.3.5 Spaningsresultat med UAV-system C

Sensorsystemet Safire STAR 380-HLD är ett mycket bra sensorsystem. Systemet har mycket bra prestanda då de ska spana av en väg, men yttäckning klarar inte systemet lika bra. Ett mer högupplöst sensorsystem eller en SAR skulle vara ett bra komplement. Förmågan att hovra skulle rimligen minska antalet falsklarm vid detektion av rörliga markmål med ARGUS-IS i fall med svårare terräng, som urban miljö eller glesare skog. Vår bedömning av behovsuppfyllnaden, behovsvikt och assurans för spaning med Fire Scout visas i tabell 34.

Tabell 34. Behovsuppfyllnad, behovsvikt och assurans för spaning med system C.

Namn	Behovsuppfyllnad	Behovsvikt	Assurans
1.3 Spaningsresultat	0,47	HH	0,8
1.3.1 Spaningsresultat Eldöverfall	0,74	HH	H
1.3.2 Spaningsresultat Tidskritiska mål	0,21	HH	H

4.6.3.6 Samverkan

Vi antar att detta system hanteras på liknande sätt som Shadow-systemet. Det betyder att markstationen saknar en effektiv delgivningsfunktion till slutanvändaren annat än röstförbindelse, vilket i eldöverfallssituationen inte har så stor betydelse. I fallet med tidskritiska mål däremot är det avgörande för att ett attackvapen ska kunna sättas in med tillräcklig precision.

För att kommunicera data mellan UAV och markstation krävs fri sikt och inte för långa avstånd. I svåra fall kan relästation utnyttjas. Vår bedömning av behovsuppfyllnaden, behovsvikt och assurans för samverkan med UAV-systemet, visas i tabell 35.

Tabell 35. Behovsuppfyllnad, behovsvikt och assurans för samverkan med system C.

Namn	Behovsuppfyllnad	Behovsvikt	Assurans
1.4 Samverkan	0,59	H	0,5
1.4.1 Uppdragshantering	M	M	M
1.4.2 Resultatolkning	H	H	M
1.4.3 Datakommunikation	M	HH	M

4.6.3.7 Ägande

Investeringskostnaden är medelhög beroende på komplicerad plattform och bra sensor-system. Systemet har ett modultänkande, vilket underlättar uppgraderingar på nytolasten dvs. sensorerna som från början har bra prestanda.

Helikoptersystem har kortare livslängd än fixed wing och har större behov av service, därför är det troligt att livslängden är relativt kort. Vår bedömning av behovsuppfyllnaden, behovsvikt och assurans för ägande av UAV-systemet, visas i tabell 36.

Tabell 36. Behovsuppfyllnad, behovsvikt och assurans för ägande av system C.

Namn	Behovsuppfyllnad	Behovsvikt	Assurans
1.5 Ägande	0,58	M	0,65
1.5.1 Investeringskostnad	M	H	M
1.5.2 Uppgraderbarhet	H	M	H
1.5.3 Livslängd	M	M	H
1.5.4 Avvecklingskostnad	H	L	H

4.7 Slutsatser från fallstudien

Vår värdering visar att de tre olika UAV-systemen har olika egenskaper i de två typsituationer som vi analyserat. Inget av dem är bäst i alla situationer.

I Eldöverfall-situationen visar det sig att flera Shadow-system är bäst när de används på det sätt vi föreslagit, men det är en utmaning att hantera fyra system samtidigt och koordinerat över en liten yta. Reaper-systemet flyger för fort för att sensoroperatörerna ska hinna med att avsöka vägen med tillräcklig upplösning, vilket betyder mycket fördröjningsflygning. VTOL-systemet har bra prestanda, kan flyga långsamt eller stå still, men är dyrt och sensoravsöker något för långsamt.

I situationen med tidskritiska mål är Reaper-systemet överlägset så länge som ARGUS-IS kan användas, beroende på att hela området momentant kan ses med hög upplösning och uppdateringstakt. Under mörker eller andra svåra förhållanden när IR-kameran behöver användas blir dock prestanda något sämre jämfört med VTOL-systemet. I detta fall är sannolikheten att hitta det rätta fordonet vid varje avsökning mycket liten eftersom fordonen inte är synliga så stor andel av tiden. Det är därför viktigt att UAV-systemen snabbt kan avsöka området så att man hinner avsöka området flera gånger. Fyra Shadow-system kan avsöka den nödvändiga ytan snabbt. Om man upprepar avsökningen mer än 5 gånger så ökar chansen till en acceptabel nivå, men detta tar en oacceptabelt lång tid istället. VTOL-systemet har bättre sensorer, men lider av samma problem som Shadow-systemet med en liten sensortäckning.

RQ-7 Shadow 200

Shadow-systemet är robust och välbeprövat men har två större problem: akustisk signatur och mindre bra sensorsystem. Det som framför allt behöver förbättras är stabiliteten i sensorupphängningen som framkallar rörelseoskärpa.

Systemet lider av att ha alltför låg upplösning hos den termiska sensorn i POP 300. Vidare har MTF-analysen visat att gimbalens högfrekventa jitter ställer till problem, så att endast uppgradera detektorn är inte tillräckligt.

Optiken hos IR-systemet har endast tre fasta synfält, med alltför stor skillnad mellan lägena. Det är svårt att erhålla en optimal inställning, vilket medför att man antingen har sugrörsperspektiv, och endast ser detaljer, eller har alltför låg upplösning för att kunna detektera eftersökta objekt. Att ersätta med en kontinuerlig zoom skulle öka användbarheten hos systemet, men pris och vikt på sådana linser kan vara begränsande faktorer.

Shadow-systemet opererar normalt på en lägre höjd jämfört med de övriga systemen, vilket är en nackdel då risken för att motsidan ska upptäcka den är större. Den lägre höjden är dock en fördel vid molnigt väder. Vår bedömning av behovsuppfyllnaden, behovsvikt och assurans för spaning med Shadow 200, visas i tabell 37.

Tabell 37. Behovsuppfyllnad, behovsvikt och assurans för spaning med system A.

Shadow 200	Behovsuppfyllnad	Behovsvikt	Assurans
1 Spaning med Shadow200	0,61	HH	0,71
1.1 Markhantering	0,81	M	0,8
1.2 Manövrering/Operera	0,73	H	0,68
1.3 Spaningsresultat	0,51	HH	0,8
1.4 Samverkan	0,5	H	0,55
1.5 Ägande	0,75	M	0,82

MQ-9 Reaper

Sensorsystemet MTS-B är undermåligt upplösningssmässigt kontra Safire STAR 380-HLD. Likaså är de fasta optiska lägena till nackdel, trots att de är många. Ett utbyte av sensorsystemet till Safire STAR 380-HLD skulle förbättra spaningskapaciteten, speciellt nattetid.

ARGUS-IS är en förträfflig sensor för kontinuerlig övervakning av stora regioner, speciellt med möjligheten att autonomt detektera och följa alla rörliga objekt på marken. Djupare studier krävs för att mer specifikt analysera vilka nackdelar detta system eventuellt har. Vår bedömning av behovsuppfyllnaden, behovsvikt och assurans för spaning med MQ-9 Reaper, visas i tabell 38.

Tabell 38. Behovsuppfyllnad, behovsvikt och assurans för spaning med system B.

Reaper	Behovsuppfyllnad	Behovsvikt	Assurans
1 Spaning med Reaper	0,59	HH	0,57
1.1 Markhantering	0,5	M	0,33
1.2 Manövrering/Operera	0,63	H	0,60
1.3 Spaningsresultat	0,57	HH	0,8
1.4 Samverkan	0,77	M	0,25
1.5 Ägande	0,45	M	0,38

MQ-8B Fire Scout

Plattformen är kapabel att lyfta större sensorlast än endast Safire STAR 380-HLD. Som kompletterande sensor skulle en SAR-radar, eller kanske en något förminskad ARGUS-IS, utgöra en relevant uppgradering. Förmågan att hovra skulle rimligen minska antalet falslarm vid detektion av rörliga markmål med ARGUS-IS i fall med svårare terräng, som urban miljö eller glesare skog. Vår bedömning av behovsuppfyllnaden, behovsvikt och assurans för spaning med Fire Scout, visas i tabell 39.

Tabell 39. Behovsuppfyllnad, behovsvikt och assurans för spaning med system C.

Fire Scout	Behovsuppfyllnad	Behovsvikt	Assurans
1 Spaning med Firescout	0,56	HH	0,63
1.1 Markhantering	0,35	M	0,5
1.2 Manövrering/Operera	0,70	H	0,59
1.3 Spaningsresultat	0,47	HH	0,8
1.4 Samverkan	0,59	H	0,5
1.5 Ägande	0,58	M	0,65

4.8 Diskussion

Samtliga vikter mellan olika faktorer är bedömningar som naturligtvis kan diskuteras i en granskning. Det viktiga är dock att det faktiskt framgår hur vikterna är satta, då kan man ändra dessa i efterhand och se hur det påverkar slutresultatet.

Det finns också ett antal mått som är satta utgående från bedömningar gjorda efter att ha läst datablad mm och relatera till vår egen kunskap och erfarenhet. Det är viktigt att dokumentera hur detta gjorts, och på vilka grunder så att resultatet kan granskas.

När man sedan ska tolka resultatet är det viktigt att komma ihåg att det inte är de absoluta talen som är det intressanta utan relationen mellan dem, speciellt när man jämför alternativ som vi gjort i denna studie. Vad som är viktigt då är samtliga jämförda värden är framtagna på ekvivalenta grunder. Känslighetsanalys och variationsanalys är viktiga moment i COAT/TVS-metoden, men på grund av tidsbrist har vi varit tvungna att prioritera bort dessa delar.

Att samla in nödvändig data om de olika UAV-systemen, ta fram tillförlitliga typsituationer och ev. lära sig COAT/TVS-metoden har tagit en hel del tid, men har gett mycket kunskap om de olika UAV-systemen. Under värderingsarbetet har vi haft flera möten med K3 UAV som har varit mycket intressanta och lärorika. Det visar också på

vikten av att ta del av användarkompetensen från slutanvändare under värderingsarbetet.

UAV:er har de senaste tio åren använts i konflikter där användaren i praktiken haft luftherravälde som t.ex. vid internationella operationer. I denna värdering har vi valt två vanliga typsituationer och de har därför varit inriktade mot internationella operationer där hotet från luftvärn varit lågt. I det fortsatta arbetet bör nya typsituationer tas fram för försvar av Sverige där luftvärnshotet kommer att vara stort. I det fortsatta arbetet bör verktyg och metoder vidareutvecklas för att kunna värdera UAV-spaning i de nya typsituationerna. Förutom luftvärnshotet kommer även vädersituationen att hanteras på ett bättre sätt. Det fortsatta värderingsarbetet bör även ta hänsyn till andra sensorer som t.ex. radar.

5 Generella slutsatser och fortsatt arbete

Syftet med detta arbete har varit att vidareutveckla COAT/TVS-metoden för att förbättra FOI:s förmåga att värdera sensorsystem. Att göra en värdering av tre olika UAV-system i två vanliga scenarier har varit mycket intressant och lärorikt. Vi har under värderingen upptäckt flera svagheter med framförallt verktygen som har använts, vilka därför bör vidareutvecklas i ett fortsatt arbete. Det har även uppkommit flera frågor om bildtolkning där vi inte har funnit tillfredställande svar som t.ex. hur en operatörs detektionsprestanda påverkas av observationstiden.

Att göra en noggrann värdering av flera olika sensorsystem i realistiska typsituationer är ett omfattande arbete som kräver en bra värderingsmetod och verktyg som är lämpliga. Den del i COAT/TVS-metoden som har tagit längst tid att genomföra i denna värdering har varit beräkning av spaningsresultat för de olika UAV-systemen. Vi har utvecklat ett sätt att med hjälp av relativt enkla modeller beräkna prestandamått hos hela systemet givet en typsituation. För att testa detta har ett enkelt verktyg för att beräkna spaningstid och genomsnittlig sannolikhet tagits fram. Under värderingsarbetet har det visat sig att detta verktyg behöver vidareutvecklas ytterligare för att effektivisera framtida värderingsarbete. Förbättringar avser generalitet, kvalitet och lätthanterlighet. På lite längre sikt kan man tänka sig att det går att ta fram ett planeringsverktyg som bygger på våra metoder vid värdering av alternativa taktiska val, och som ändå är anpassade för slutanvändaren.

Sensorsimuleringen har utvecklats och visar på förmågan att simulera de typsituationer som har varit aktuella i arbetet. Verifieringen visar på goda resultat när det bland annat kommer till algoritmutveckling av detektorer. Viss dynamik saknas i bakgrunden på simuleringen och ett fortsatt arbete inom materialklassning och materialegenskaper skulle öka realismen och trovärdigheten ännu mer. Mer omfattande verifiering skulle också vara intressant för att få med fler aspekter i användningen av simuleringen.

5.1 Vision för användning av COAT/TVS-metoden

Vi har sett att metoden kan vara användbar i ett antal olika situationer:

- Som en del av FM:s förmågeutveckling. Frågeställningen kan vara vilken materiel som ska anskaffas för att stödja en ny förmåga eller om man kan avveckla någon materiel utan att förlora en önskad förmåga. En tredje frågeställning skulle kunna vara om en föreslagen modifiering av ett befintligt system, t.ex. en sensoruppgradering, kan förväntas åstadkomma den förväntade effekten.
- Vid FM-studier för att t.ex. värdera effekten av en föreslagen taktikförändring, ändrad inriktning eller ändrad omfattning vid användandet av ett befintligt system.
- När man planerar inför en utlandsinsats frågar sig vilken utrustning som ska tas med för att lösa givna uppgifter. Andra frågeställningar kan handla om konsekvenser av brister i kunskap, avsaknad av taktik och liknande.
- När man inför en taktisk situation frågar sig hur man kan utnyttja sin utrustning, exempelvis: effekter av mer eller mindre mängd utrustning, ny användning av utrustning, taktikändring etc.
- När man planerar utbildningsverksamhet så att kända brister ska kunna ges mer uppmärksamhet och därmed kunna motverka dessa brister.
- I forskningen för att tydliggöra effekter av nya koncept, komponenter etc.

6 Referenser

- [1] Internet: <http://www.ne.se/lang/v%C3%A4rdering>, besökt 2014-10-13.
- [2] B. Asp, C. Carling, A. Hunstad, B. Johansson, P. Johansson, J. Nilsson och Å. Waern, "COAT - Användarguide", FOI-R--2409--SE.
- [3] T. Horney, M. Brännström, J. Bergman, D. Andersson, R. Forsgren, S. Ahlberg, B. Lindahl, A. Törne: "Slutrapport MOSART", FOI-R--1814--SE, 2011.
- [4] IEEE: "IEEE 1516, High Level Architecture (HLA)", www.ieee.org, March 2001.
- [5] F. Näsström, J. Allvar, J. Berggren, T. Chevalier, R. Forsgren, H. Habberstad, J. Hedström, F. Hemström, G. Hendeby, M. Karlsson, A. Persson, "Simuleringsbaserade metoder för sensorvärdering – Årsrapport 2011", FOI-R--3357--SE.
- [6] P. Grahm, L. Svensson, S. Ahlberg, L. Ahlberg, T. Chevalier, P. Follo, R. Forsgren, G. Haapalahti, M. Karlsson, F. Näsström, M. Ulvklo, H. Habberstad, "2.SEMARK, multipla sensorer för markspaning, Slutrapport etapp 1.", FOI-R--2163--SE.
- [7] M. Almqvist, V. Andersson, R. Björling, J. Frisk, A.-C. Johansson, L. Nordström, L. Persson, P. Skoglar, M. Ulvklo, "QWIP/MASP-systemet: Målspearsarkitektur för fältförsök med rörliga markmål", FOI-R--1333--SE.
- [8] J. Nygårds, T. Högstöm, M. Ulvklo, "The QWIP/MASP system. An airborne experiment platform with georeferenced EO/IR sensors for research on image processing i UAV applications", FOI-R--0505--SE.
- [9] F. Näsström, M. Karlsson, L. Carlsson, T. Chevalier, P. Follo, J. Hedström, N. Karlsson, A. Persson, A. Sume, "Simuleringsbaserade metoder för sensorvärdering", FOI-R--2629--SE, 2008.
- [10] F. Näsström, J. Gustavsson, G. Haapalahti, J. Hedström, F. Hemström, M. Lundberg, J. Nilsson, A. Persson, J. Nygårds, J. Rydell, P. Skoglar, K.-G. Stenborg, K. Åberg, "Simuleringsbaserade metoder för sensorvärdering - Årsrapport 2009", FOI-R--2890--SE.
- [11] P. Hermansson, S. Nyberg, E. Andersson, D. Börjesson, "Methods for validating optical signature simulations - progress report", FOI-R--1421--SE.
- [12] S. Nyberg, "Models used in assessment of optical sensors", FOI-R--2290--SE.
- [13] Internet: <http://www.flightglobal.com/news/articles/sweden-to-acquire-aais-shadow-200-342307/>, besökt 2012-06-12.
- [14] Internet: <http://www.army-technology.com/projects/shadow200uav/>, besökt 2014-12-12.
- [15] Internet: <http://www.af.mil/information/factsheets/factsheet.asp?id=6405>, besökt 2012-06-12.
- [16] Internet: http://www.deagel.com/Unmanned-Combat-Air-Vehicles/MQ-1-Predator_a000517002.aspx, besökt 2012-06-15.
- [17] Internet: http://battleland.blogs.time.com/2012/02/29/3-finding-the-right-targets/#_edn2#ixzz1x6K9yvJv, besökt 2012-06-15.

-
- [18] Internet: http://www.sandia.gov/radar/files/spie_lynx.pdf, besökt 2012-06-10.
- [19] Internet: <http://www.raytheon.com/capabilities/products/mts/>, besökt 2012-06-13.
- [20] Internet: http://www.darpa.mil/Our_Work/I2O/Programs/Autonomous_Real-time_Ground_Ubiquitous_Surveillance_-_Infrared_%28ARGUS-IR%29.aspx, besökt 2014-12-12.
- [21] Internet: <http://www.army-technology.com/projects/mq-8b-fire-scout/>, besökt 2012-06-12.
- [22] Internet: http://en.wikipedia.org/wiki/Target_Acquisition_Minefield_Detection_System, besökt 2012-06-12.
- [23] Internet: <http://www.gs.flir.com/products/airborne/starsafireii.cfm>, besökt 2012-06-12.
- [24] Internet: <http://www.northropgrumman.com/paris2009/images/pdf/paris-as-fire-scout-briefing.pdf>, besökt 2012-06-12.
- [25] Internet: <http://www.dote.osd.mil/pub/reports/fy2012/pdf/navy/2012vtuav.pdf>, besökt 2013-11-28.
- [26] Internet: http://defense-update.com/20130312_us-navy-orders-additional-mq-8c-long-endurance-firescouts.html, besökt 2013-11-28.
- [27] Internet: http://www.nyteknik.se/nyheter/fordon_motor/flygplan/article770327-ece, besökt 2014-10-13.
- [28] Scenariobeskrivning för Framtida markmålsbekämpning (ATK00148S), 2003.
- [29] <http://www.fas.org/irp/imint/niirs.htm>, besökt 2010-06-05.
- [30] R. H. Vollmerhausen, E. Jacobs och R. G. Driggers, "New metric for predicting target acquisition performance", Proc. SPIE, Vol. 5076, s. 28-40, 2004.
- [31] W. H. Teichner, The detection of single visual signal as a function of time on watch. Human Factors, 16, 339-353, 1974.
- [32] W. S. Helton, W. N. Dember, J. S. Warm and G. Matthews, Optimism, pessimism, and false failure feedback: Effects on vigilance performance. Current psychology, 18, 311-325, 2000.
- [33] M. A. Hogervorst, A. Toet, P. Bijl, "Human search with a limited field of view: effects of scan speed, aperture size, and target conspicuity", Optical Engineering, vol. 52(4), april 2013.
- [34] Internet: <http://www.flightglobal.com/news/articles/sierra-nevada-fields-argus-is-upgrade-to-gorgon-stare-400978/>, besökt 2014-10-23.
- [35] Internet: http://en.wikipedia.org/wiki/General_Atomics_MQ-1_Predator, besökt 2014-10-14.

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



FOI
Totalförsvarets forskningsinstitut
164 90 Stockholm

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

www.foi.se