

Ove Gustafsson (red.)

## Slutrapport i projektet: Värdering Telekrig i EO sensorer





TOTALFÖRSVARETS FORSKNING SINSTITUT

Sensorteknik  
Box 1165  
581 11 Linköping

FOI-R--1460--SE

November 2004

ISSN 1650-1942

**Användarrapport**

Ove Gustafsson (red.)

## Slutrapport i projektet Värdering Telekrig i EO sensorer

<b>Utgivare</b> Totalförsvarets Forskningsinstitut - FOI Sensorteknik Box 1165 581 11 Linköping	<b>Rapportnummer, ISRN</b> FOI-R--1460--SE	<b>Klassificering</b> Användarrapport
	<b>Forskningsområde</b> 6. Telekrig	
	<b>Månad, år</b> November 2004	<b>Projektnummer</b> E3040
	<b>Verksamhetsgren</b> 5. Uppdragsfinansierad verksamhet	
	<b>Delområde</b> 61 Telekrigföring med EM-vapen och skydd	
<b>Författare/redaktör</b> Ove Gustafsson (redaktör) Göran Bolander                      Lars Tyden Claes Nelsson                        Christer Wigren Per Nilsson Sten Nyberg Ingemar Renhorn Ove Steinvall	<b>Projektledare</b> Ove Gustafsson	
	<b>Godkänd av</b> Dietmar Letalick	
	<b>Uppdragsgivare/kundbeteckning</b>	
	<b>Tekniskt och/eller vetenskapligt ansvarig</b>	
<b>Rapportens titel</b> Slutrapport i projektet Värdering Telekrig i EO sensorer		
<b>Sammanfattning (högst 200 ord)</b> <p>Denna rapport är en del av slutredovisning av försvarsmakts projekt ”Värdering Telekrig i Elektro-Optiska sensorer” för åren 2002-2004. Projektet har genomförts av avdelningarna Sensorteknik och Ledningssystem. Projektets målsättning är; att bygga upp kunskaper och resurser för prov och försök med elektrooptiska sensorer i realistisk telekrigsmiljö, att skapa en forskningsbas för värdering av EO sensorers telekrigsegenskaper missil-motmedelseffekter, mot-motmedelsmöjligheter samt det integrerade plattformsskyddet samt att studera värderingsmetodik för olika optroniska motmedelsteknologier. I denna rapport presenteras en diskussion kring värderingsmetodik som pekar på behovet av nya värderingsmetoder för laser-motmedelssystem (exempelvis DIRCM system). I rapporten presenteras en generell utrustning för att inrikta och styra sensorer mot mål, ett s.k. vridbordssystem. Vridbordet är utrustat för att m.h.a. analoga videosignaler följa och inrikta utrustning mot rörliga mål. Dessutom rapporteras arbetet med att skapa strålkällor för att väcka robotskottsvarnare med realistiska, spektralt och tidsmässigt, signaler.</p>		
<b>Nyckelord</b> värdering, simulering, telekrig, laser, målsökare, facklor, motmedel, DIRCM, robotar		
<b>Övriga bibliografiska uppgifter</b>	<b>Språk</b> Svenska	
<b>ISSN</b> 1650-1942	<b>Antal sidor:</b> 51 s.	
<b>Distribution enligt missiv</b>	<b>Pris:</b> Enligt prislista	

<b>Issuing organization</b> FOI – Swedish Defence Research Agency Sensor Technology P.O. Box 1165 SE-581 11 Linköping	<b>Report number, ISRN</b> FOI-R--1460--SE	<b>Report type</b> User report
	<b>Programme Areas</b> 6. Electronic Warfare	
	<b>Month year</b> February 2004	<b>Project no.</b> E3040
	<b>General Research Areas</b> 5. Commissioned Research	
	<b>Subcategories</b> 61 Electronic Warfare including Electromagnetic Weapons and Protection	
<b>Author/s (editor/s)</b> Ove Gustafsson (editor) Göran Bolander                      Lars Tyden Claes Nelsson                         Christer Wigren Per Nilsson Sten Nyberg Ingemar Renhorn Ove Steinvall	<b>Project manager</b> Ove Gustafsson	
	<b>Approved by</b> Dietmar Letalick	
	<b>Sponsoring agency</b>	
	<b>Scientifically and technically responsible</b>	
<b>Report title (In translation)</b> Final report within the project Assessment EW in EO sensors		
<b>Abstract (not more than 200 words)</b> <p>This report is a part of final account of the defense research project “Assessment Electronic warfare in Electro-Optical sensors” for the years 2002-2004. The project is a cooperation of the divisions of Sensor Technology and of Command and Control Systems.</p> <p>The objective of the project is to collect knowledge and to build resource’s doing tests and trials with electro optical sensors in a realistic environment, to creating a foundation of research within electronic warfare assessments of electro optical sensors, as equipments for countermeasures and counter-countermeasures together with the integrated protection of vehicles and to study methods of electronic warfare assessments.</p> <p>This report presents some discussion about methods of electronic warfare assessments and pointing at the need of new methods of electronic warfare assessments for IR countermeasure system as DIRCM system. A general stand for directing electro optical equipments towards targets is also presented in this report. This stand can be turned and aimed at a moving target by analog video signals (PAL). The report also account for the work creating different light sources, doing some time and spectral resolved irradiance measurement, as a means for testing threat warning systems.</p>		
<b>Keywords</b> methods for assessment, valuation, simulation, EW, laser, homing, flare, missiles, DIRCM		
<b>Further bibliographic information</b>	<b>Language</b> Swedish	
<b>ISSN</b> 1650-1942	<b>Pages</b> 51 p.	
	<b>Price acc. to pricelist</b>	



## Innehåll

1	Inledning .....	7
2	Värderingsmetodik.....	9
2.1	Begrepp .....	11
2.2	Värderingsstrategi allmänt .....	12
2.2.1	Modellvalidering.....	14
2.3	Värdering av medel (vapen, målsökare) .....	15
2.4	Värdering av motmedel.....	17
2.4.1	Verkanslasersystem / antisensorlasersystem / DIRCM .....	17
2.4.2	Vilseledare motmedel: Facklor .....	23
2.5	Inledande diskussion om strategi för systemvärdering.....	25
2.5.1	Systemvärdering av nya eller mindre kända system.....	26
2.6	Diskussion kring värderingsstudien.....	29
3	Utrustning för att genomföra studier av motmedelssystem .....	31
3.1	Krav.....	31
3.2	Vridbord från DST Control.....	35
3.3	Videomålföljare LinovaTracker.....	36
3.3.1	Test av videomålföljare.....	37
3.4	Diskussion.....	39
4	Stimulator.....	40
4.1	Mätning av strålkällor .....	40
4.1.1	Mätutrustning .....	40
4.2	Ljuskällor .....	41
4.2.1	Signaturer hos flammor från krutladdningar.....	41
4.2.2	Övriga ljuskällor .....	44
4.3	Stimulator.....	47
5	Diskussion och slutsatser .....	49
6	Referenser .....	50
	Appendix A.....	51





## 1 Inledning

Målsättningen för projektet ”Värdering Telekrig i Elektro-Optiska sensorer” är att bygga upp kunskaper och resurser för prov och försök med elektrooptiska (EO) sensorer. Dessutom skall en forskningsbas skapas för värdering av EO sensorers telekrigsegenskaper missil-motmedelseffekter, mot-motmedelsmöjligheter samt det integrerade plattformsskyddet samt studera värderingsmetodik för olika optroniska motmedelsteknologier.

Frågeställningen som ställdes inledningsvis var: Hur påverkas olika EO-system av telekrigsåtgärder inom det optiska våglängdsområdet? Senare skärptes frågeställningen en aning genom en ändring av frågeställningen till: Hur påverkas olika EO-system av telekrigsåtgärder inom det optiska våglängdsområdet, speciellt vid internationella insatser?

Förväntade nytta – förväntad effekt av projektet är:

- kunskaper om EO sensorers egenskaper i realistisk telekrigsmiljö
- resurser för prov och försök med EO hot- och sensorer för exempelvis validering av simuleringar
- kunskaper om systemens känslighet och sårbarhet.

Detta är nödvändigt för bedömning av överlevnadsförmåga och stridseffekter. Realistisk och relevant signalomgivning åstadkommes genom att utföra prov, analys, modellering och simulering i taktisk miljö.

Utvecklingen av optroniska sensorer för vapensystem, exempelvis målsökare, har under senare år gått mot användning av bildgenererade system samtidigt som utvecklingen för att uppdatera de traditionella retikelsystemen fortsätter. Bedömare anger att mer än 80% av de hot som flygoperationer är utsatta för kommer från EO/IR SAM alternativt kombinerade RF/EO/IR SAM. Hotet från terroristgrupper mot det civila flyget är till del ett hot från EO/IR-sam hot. Detta illustrerar att optroniska hotsystem är realistiska samtidigt som vet vi att utvecklingen av nya tekniker introduceras och gamla system förfinas.

Stora resurser läggs på signaturanpassning av flyg, fartyg och fordon och/eller på motmedel, för att skydda utrustningar. Dessa utrustningars prestanda kan inte testas på ett enkelt sätt, utan tester måste genomföras i en så realistisk provmiljö som möjligt, efter grundläggande studier av utrustningarnas egenskaper i laboratoriemiljö. Dessutom kan tävlan mellan medel, motmedel alternativt mot-motmedel inte avgöras genom att enbart testa en av kontrahenterna för sig. Realistiska prov i taktisk miljö är väsentliga i validering av duellsimulering.

Framtidens målsökare kommer antagligen att arbeta med sensorer för flera olika våglängdsband för att klara smyganpassade mål och inte heller luras av motmedel. En annan utveckling skulle dessutom kunna vara användningen av smart optik byggd på diffraktiv optik, som använder interferenseffekter för avböjning av ljuset snarare än böjer strålningen som med refraktiv optik. Med den typen av optik ges exempelvis möjlighet att skapa optik som samtidigt klarar både att fokusera och ha ett perifert synfält, se [1].

Arbetet inom projektet har inriktats mot i huvudsak två områden, värderingsmetodik och utrustning för att genomföra tester och försök. Rapporten diskuterar dessa delar som projektet har behandlat. Kapitel 2 tar upp värdering och värderingsmetodik gällande EO medel och motmedel. I kapitel 3 presenteras utrustning som har tagits fram som resurser för det fortsatta arbetet att testa EO sensorer. En liten förstudie samt delstudien som hanterar värderingsmetodik för EO sensorer diskuterar bland mycket annat styrda vridbord och dess

användning. I kapitel 4 redovisas arbetet som omfattar framtagande av en stimulatorprototyp och signaturmätningar av olika strålkällor.

Delar av kapitel 2 är hämtade från kommande rapporter om värderingsmetodik. Kapitel 3 och 4 innehåller material som endast finns i interna provrapporter.

## 2 Värderingsmetodik

Värderingsmetodik har studerats inom projektet utifrån målsättningen att höja kompetensen hos deltagande samt med målsättningen att titta på värderingen av nya tekniker hos medel och motmedel.

Den pågående utvecklingen där försvarsmakten inriktas mot större engagemang i internationella operationer gör att hotbilden innehåller hela spektret av vapensystem från enkla ”dumma” system till de mest avancerade som tekniken kan erbjuda. Det gör att metoder att värdera system måste klara både gamla, liksom nya och även ”framtida” system, avseende både medel och motmedel. Det tilltagande internationella engagemanget med vidgad horisont ställer dessutom krav på att gamla system, som inte ansetts höra till mängden hotsystem längre, bör återinföras.

Det framtida försvarets utformning baseras inte enbart på, eller ens i första hand på, de tekniska system som finns tillgängliga. Det framtida försvaret kommer i hög grad att vara politiskt viljestyrt, baserat på vetenskaplig och teknisk information. Det är därför av stor vikt att kunna särskilja de mål som är möjliga att nå, från de mål som är ett önsketänkande. Detta är inte en lätt uppgift med tanke på de snabba framsteg som görs inom det vetenskapliga området. Erfarenheten säger oss att i verkliga konflikter har teknologiska fördelar visat sig vara av avgörande betydelse. Ett sådant område som har identifierats och även i viss utsträckning utprovats är betydelsen av informationsöverläge.

Man kan förvänta sig att motsidan i en konflikt försöker motverka förmågan att skapa ett informationsövertag genom taktikanpassning och motverkanssystem.

Det nätverksbaserade försvaret är en metod som kommer att kräva omfattande arbete och stora investeringar om det skall kunna förverkligas. Utnyttjande av information för att möta nya hot kräver goda kunskaper om både dess möjligheter och dess begränsningar. De uppgifter som möter oss i framtiden kommer i högre grad att vara inriktade på fredsbevarande och fredsframtvängande internationella åtaganden och humanitära uppdrag. Hotbilden kommer därmed att vara mycket varierad och handlingsutrymmet begränsat av hänsyn till det civila samhället.

Hotet från terroristgrupper och från nationer som stöder terrorism är avsevärt, inte minst med avseende på kemiska och biologiska vapen. Därmed utökas försvarets ansvarsområde till att omfatta delar av det civila samhället under tider av stor påfrestning. Forskningen och teknologiutvecklingen inom försvarsområdet ger nu möjligheter att sätta in åtgärder med ökad hänsyn till skador på det civila samhället.

Sverige söker även aktivt internationellt samarbete där så är möjligt. Detta är delvis betingat av att svenska system måste kunna fungera i en internationell miljö.

En öppen arkitektur baserad på standardiserade gränssnitt medger även ett ökat utnyttjande av teknologiutvecklingen inom den civila sektorn. Några av de utmaningar som svenskt försvar står inför är att hålla fast vid det förändringsarbete som är nödvändigt för att åstadkomma det som tidigare gick under benämningen RMA, utveckla koncept för det framtida luftförsvaret, förverkliga det nätverksbaserade försvaret, öka förmågan och skyddet av nya plattformar (t.ex. VISBY korvetter, JAS 39 Gripen, helikopter 14 och 15, nytt pansarstridsfordon) och förmågan hos nya vapen (t.ex. IRIS-T, BONUS). Ett centralt område i det nätverksbaserade försvaret är behovet av sensorer med förbättrad förmåga och signalbehandlingskapacitet för både autonomt utnyttjande och för ökat operatörsstöd.

Fartyg kommer att behöva passiva sensorsystem för att öka överlevnadsförmågan (t.ex. högpresterande IRST). Målsökarens robusthet mot aktiva motmedel måste valideras och förbättrad förmåga att mäta in och följa mål studeras. Möjligheten att utveckla smarta kryssningsmissiler borde studeras. Helikoptrars sensorkostym måste integreras, inklusive varnarsystem och elledningssystem. Även framväxande hot bör beaktas med avseende på överlevnadsförmågan.

Precision omfattar en rad områden utöver vapenprecision. Effektiviteten styrs även av förmågan att navigera, spana, övervaka, upptäcka och mäta in mål, fatta beslut baserat på en omvärldsuppfattning samt snabbt upptäcka och motverka överraskande hot. De flesta av dessa funktioner kräver ett effektivt nätverk. Etablering av sådana nätverk i samband med internationella operationer kräver standardiserade system. Precision och nätverk medger även att icke avsedda skador kan minskas. Trots en ökad precision är operationer i tätort oerhört svårt. Möjligheten att operera i sådan miljö underlättas av obemannade plattformar och etablering av förbjudna områden. Precisionsvapen kan därmed sättas in i områden som är utom synhåll.

Högupplösande sensorer, navigationshjälpmedel, precisionsvapen tillsammans med nya system för navigering, övervakning och ledning har revolutionerat försvarsförmågan. 'Precisionsoperationer' kräver precision längs hela aktivitetspektret. Precisionskravet ökar ytterligare i en krävande duellsituation. Hotet måste mätas in med precision och motåtgärddar vidtas med kort fördröjning. Detta gäller såväl bemannade som obemannade system. Obemannade system kräver dock i allmänhet en större grad av autonomi än motsvarande bemannade system. För att uppnå ett nätverksbaserat försvar måste målen preciseras för att resultaten skall kunna värderas och strategin anpassas.

Varnare och motverkanssystem utgör en delmängd av de utmaningar som ingår i det nätverksbaserade försvaret. Bland de övergripande kraven kan nämnas:

- Dygnetruntkapacitet och allväderkapacitet.
- Upptäckt av hot som döljer sig i skogsterräng eller i tätort.
- Upptäckt och oskadliggörande av minor.
- Upprätthållande av tillförlitligt samband för tillförlitlig bild av egna och andras styrkor.
- Administration av stridsfältets sensorer inklusive varnarsystem.
- Utnyttja obemannade farkoster för reella stridsuppgifter.

Varje situation måste kunna värderas så att det sannolika utfallet kan uppskattas. Målen får därefter anpassas till vad som är möjligt. Det övergripande målet måste vara känt för att deltagarna skall kunna agera snabbt och målmedvetet i helhetens intresse.

Dygnetruntkapacitet kan nu uppnås med hjälp av radar, positioneringssystem och sensorer känsliga för termisk strålning. Optiska sensorer påverkas av atmosfärsförhållanden och kontraster varierar med dygnets timmar. Detta gäller dock båda sidor och ett effektivt samutnyttjande ger avsevärda fördelar. För identifiering i duellsituationer kan även aktiv belysning av målet för identifiering utnyttjas. Många av de tekniker som utnyttjas har även en civil användning och tekniken sprids därmed till motsidan. Systemsamverkan är dock komplex och nätverksanslutna sensorsystem kan ge stora fördelar. En civil marknad gör även att kostnaderna för systemen minskar.

Målupptäckt i skogsterräng förbättras väsentligt med lågfrekvensradar som dämpas avsevärt mindre i trädkronor än exempelvis mikrovågsradar. Upptäckt av mål i tätort är väsentligt svårare och kräver en kombination av obemannade farkoster och optiska sensorer. Små och tysta (eldrivna) plattformar har goda förutsättningar att kunna operera utan att bli upptäckta.

På den civila marknaden ökar utnyttjandet av fiberoptik för säker och bredbandig kommunikation. Tyvärr är det många situationer på den militära sidan där fiberoptik inte är lämpligt. Det behövs därför alternativa kommunikationsnätverk både för att minska sårbarheten hos det civila samhället och för de militära systemen.

På grund av den ökande precisionen hos vapensystemen har upptäckt, målselektion och målinmätning ökat i betydelse. Detta kommer i förlängningen att kräva olika lager av distribuerade sensorer. Detta i sin tur medför ett behov av sensoradministration, vilket kommer i sin tur att kräva understöd från mjukvara som kan bistå i optimering av sensorernas täckningsområden. Tillförlitligheten hos automatiska målupptäcktssystem måste även ökas. Systemen måste testas i realistiska scenarier för att undersöka vilka system och koncept som fungerar.

Många av de funktioner som är aktuella för obemannade farkoster utnyttjas redan i bemannade farkoster. Ett sådant exempel är flygkontrollsystem och landningssystem. Obemannade farkoster har fortfarande relativt enkla uppgifter eftersom de saknar människans förmåga att kunna dra slutsatser från ett antal sensorer och förhandsuppgifter. De funktioner som utvecklas med avseende på obemannade farkoster kommer dock att kunna utnyttjas även i bemannade farkoster för att stärka den mänskliga beslutsförmågan. I vissa situationer, exempelvis i högriskområden med en relativt känd hotbild, kan beslut överlåtas till de automatiska systemen. Detta gäller exempelvis insats av motverkande system vid hotvarning.

## 2.1 Begrepp

Viktiga begrepp för målsättningen av studien, förutom de speciella tekniska termerna som naturligt finns inom respektive område, är; värdera, validera, verifiera, testa och prova. Termen ackreditering hamnar något utanför denna studies syfte.

Tekniska delsystem, apparater eller simuleringsmodeller kan vanligtvis inte bevisas vara korrekta eller ens fungera korrekt i ett sammanhang eller i en miljö tillsammans med andra utrustningar. Möjligtvis kan de bevisas fungera inkorrekt eller fungera på ett specifikt sätt som följer en specifikation. Därför genomförs ett antal tester och prov av utrustning eller simuleringsmodeller för att visa på trovärdigheten hos dessa. Trovärdigheten i verifieringen eller valideringen blir i en sådan situation nog så viktigt och svår att visa.

Begreppen värdering, verifiering och validering har olika nyanser i detta dokument liksom i allmänna sammanhang. Det kommer att vara av betydelse för förståelsen men trots det har ingen entydig definition genomförts. Här tas endast några allmänna beskrivningar upp för att visa på vanskligheten i begreppsapparaten. Andra termer, som upptäckt, upptäcktsavstånd, klassificering och identifiering har olika definitioner inom olika områden. Då detta dokument är i någon betydelse överskridande mellan olika (snäva) tekniska områden så kan betydelsen av dessa variera från område till område. Begreppen kan ges en mycket allmän tolkning.

En spridd uppfattning inom FM är att industrin verifierar systemen men att FM skall validera systemen. Den definitionen ger inte en helt tillfredställande beskrivning speciellt då begreppet system inte är klart definierat. System kan betyda allt från delar av mätsystem, simulator, delprogram upp till hela system av system. Här har endast delsystem eller enskilda system studerats.

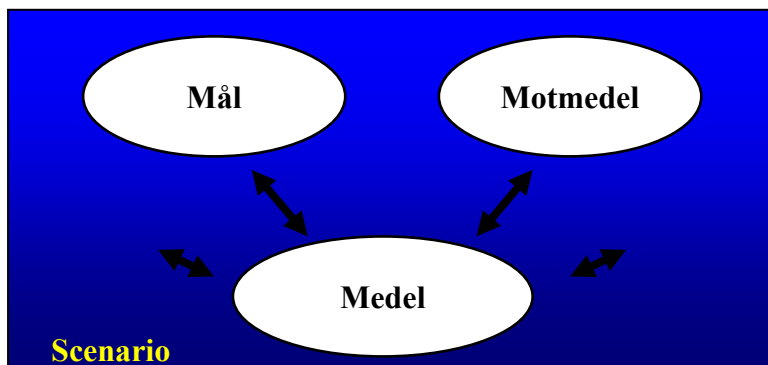
I detta sammanhang avses det kontinuerliga arbetet med värdering av teknik eller metod i försvarstillämpningar därför begränsas processen värdering eller värderingsbegreppet enligt [4] till att bedöma förmåga att uppfylla ett eller flera mål. Värdering kan göras genom:

- avvägning mellan ett eller flera alternativ (relativ värdering),
- bedömning av ett eller flera alternativs förmåga att uppfylla några fastställd mål (absolut värdering).

Här avses endast värdering på teknisk nivå vilket betyder att den taktiska eller operativa bedömningen inte tas upp.

## 2.2 Värderingsstrategi allmänt

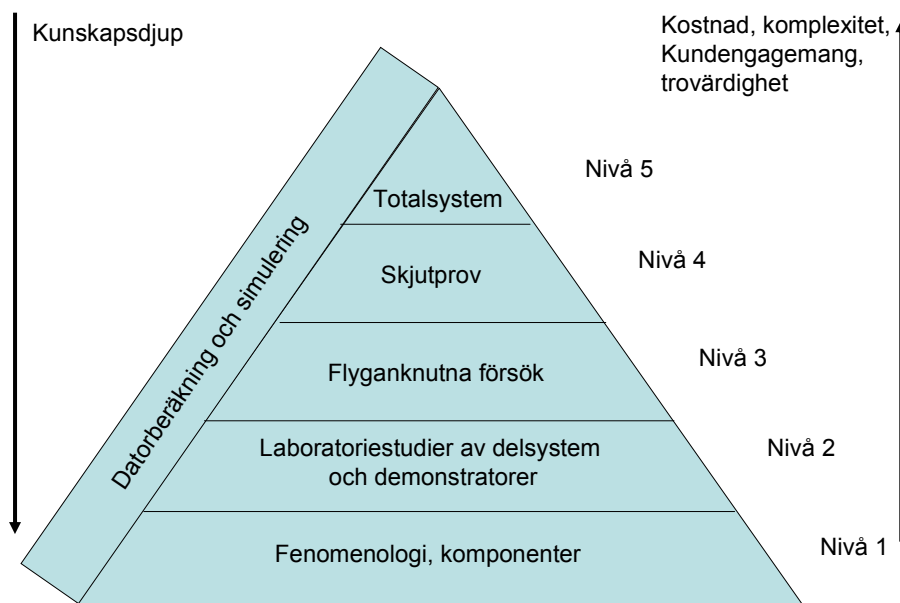
Den tekniska duellen inom EO-systemområdet innebär en interaktion mellan mål, målsökare och motmedel under villkor som ges av miljön. Syftet med värderingen är att på något sätt beskriva och kvantifiera funktionen hos en eller flera av komponenterna för det givna scenariot. Till scenariot räknas då den bakgrund som målsökaren ser, atmosfärens inverkan på signalen, den taktiska situationen, mm, se figur 2.1. Av ekonomiska orsaker måste det finnas en strävan att i möjligaste mån hitta så allmängiltiga mått som möjligt för att minska mängden scenarier som behöver värderas.



**Figur 2.1:** Schematisk skiss av en teknisk duellsituation.

Den säkraste formen av värdering är att faktiskt realisera det scenario som man vill värdera. Det är i många fall otänkbart eller oekonomiskt och därför får delar av duellsituationen ersättas med funktioner simulerade antingen i hårdvara eller i mjukvara. Vilka delar som simuleras varierar från värdering till värdering. En lista på provningsmetoder för att testa eller värdera system finns beskrivna i [7]. Provmethoderna kan användas för att få en så bra uppskattning som möjligt av de objekt som skall värderas.

Värdering av teknologi, och på sikt konkreta tekniska lösningar, kräver ett långsiktigt arbete på olika nivåer och kan illustreras med hjälp av en pyramid, se figur 2.2. Varje högre nivå bygger på de underliggande och är en förutsättning för att arbetet ska vara trovärdigt. Nedan kommenteras de olika nivåerna.



**Figur 2.2:** Olika nivåer i värderingspyramiden.

#### Nivå 1 Fenomenologi, komponenter

Kunskapsuppbyggnad rörande fenomen och komponenter. Laborieförsök och markbundna mätningar på komponentnivå. Studier av nya lösningar. Kontakter med universitetet och forskningslabb. Denna nivå rymmer även studier av grundläggande begrepp inom exempelvis signalbehandling och propagering.

#### Nivå 2 Laboratoriestudier av delsystem och demonstratorer

Delfunktioner studeras och demonstreras med markbunden utrustning. Olika typer av HWIL-prov (HardWare In the Loop – prov, innebärande att operativa utrustningar eller delar av utrustningar används i proven) men även olika prototypstudier.

#### Nivå 3 Flyganknutna försök

Prov och försök med flyganknytning exempelvis med målsökare eller motmedel på marken. Alternativt kan både målsökare och motmedel vara flygande men utan avfyrad robot.

#### Nivå 4 Skjutprov

Prov och försök med så serielika system som möjligt exempelvis med kabelvagn eller drone. Skjutning från mark eller flygplan. Försöken genomförs gärna med instrumenterade system för att få med så många parametrar och fenomen som möjligt.

#### Nivå 5 Totalsystem

Värdering av hela systemet i exempelvis ett NBF-perspektiv. På denna nivå kan även taktiska och strategiska studier genomföras.

#### Datorberäkningar: Modellering och simulering

Modellering och simulering är ett naturligt verktyg på alla nivåer i pyramiden. På varje nivå kan validering av modellerna göras och därmed ökar trovärdigheten för användande på högre nivå. På nivån 2 integreras hård och mjukvara i HWIL-simuleringar. Värdering av hela systemet eller delsystem kan modellmässigt göras på tidigt stadium. Till en början är

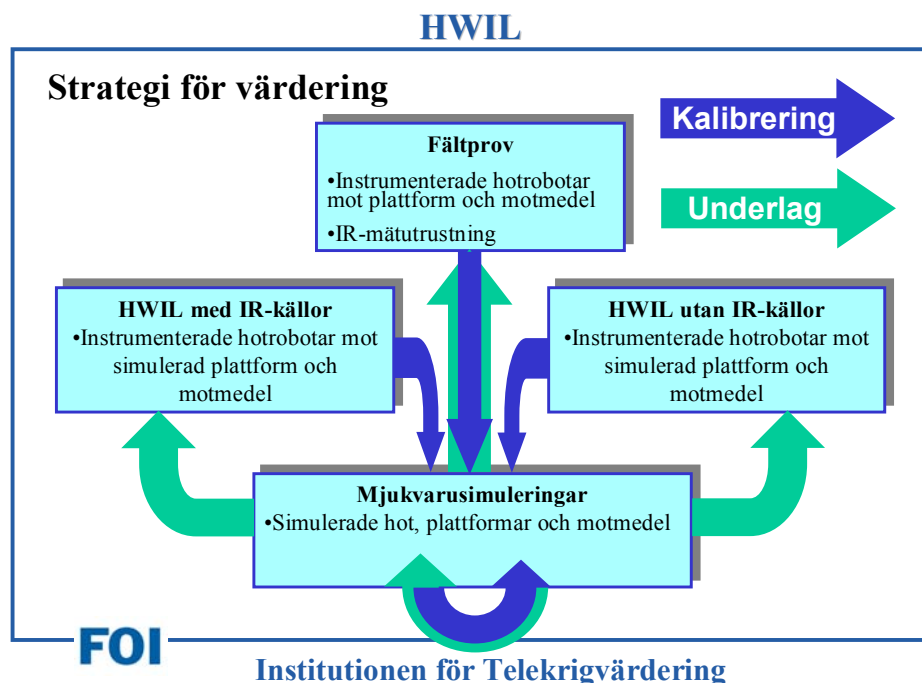
osäkerheten ganska stor i dessa simuleringar men allt eftersom försöksverksamheten ger valideringsunderlag ökar säkerheten.

## 2.2.1 Modellvalidering

Alla modeller behöver valideras för att säkerställa trovärdigheten vid mjukvarusimuleringar. Validering innebär att man bekräftar att modellen ger en tillräckligt bra förutsägelse om något fenomen enligt vissa kriterier. En modell kan alltså valideras med inriktning på olika egenskaper hos modellen. Det är därför viktigt att man har klart för sig vilka frågor simuleringarna ska svara på. Många gånger kan det vara effektivt att validera en del av modellen i taget för att tydliggöra var eventuella brister finns. Modellvalidering kan ibland ske enligt en hierarki på så sätt att en modell valideras mot en tidigare validerad modell. I slutänden bör det alltid finnas någon form av experimentellt underlag. I vissa fall kan validering ske mot grundläggande fysikaliska samband som kan bestämmas analytiskt.

I [7] presenterats flera metoder och verktyg för värdering av EO-motmedel. Metoderna kan sinsemellan användas för validering. Valideringen av simuleringssmodeller bör genomföras i en växelverkan med ett antal olika prov och försök för att lägga grunden för stabil och tillförlitlig modell. I figur 2.3 visas hur en valideringsstrategi kan byggas upp. En sådan validering av en simuleringssmodell gör modellen mer trovärdigheten vid de tillfällen utvidgade simuleringssfall skall skapas, för att exempelvis simulera hela förlopp eller en duell.

Det innebär också att när en ny typ av simulering skall genomföras måste valet av simuleringssmodell analyseras utifrån vilka frågor som skall besvaras. Detta innebär inte att svaret av simuleringen är känt innan valet av simuleringssmodell är genomförd, utan enbart att förutsättningarna för vilka simuleringar som kan genomföras är analyserade.



**Figur 2.3:** Exempel på strategi för värdering av motmedelsfacklor. ”Kalibrering” innefattar modellvalidering.



## 2.3 Värdering av medel (vapen, målsökare)

Värderingen av medlen (som här avser exempelvis vapen med tillhörande system för styrning och avfiring, etc.) kan genomföras med hjälp av den värderingspyramid som diskuterades i kapitel 2.2. De metoder för att genomföra tester eller prov som redovisas i [7] kan, i mån av resurser (ekonomiska och tid) användas, i många fall, lika väl för att utvärdera medel som motmedel.

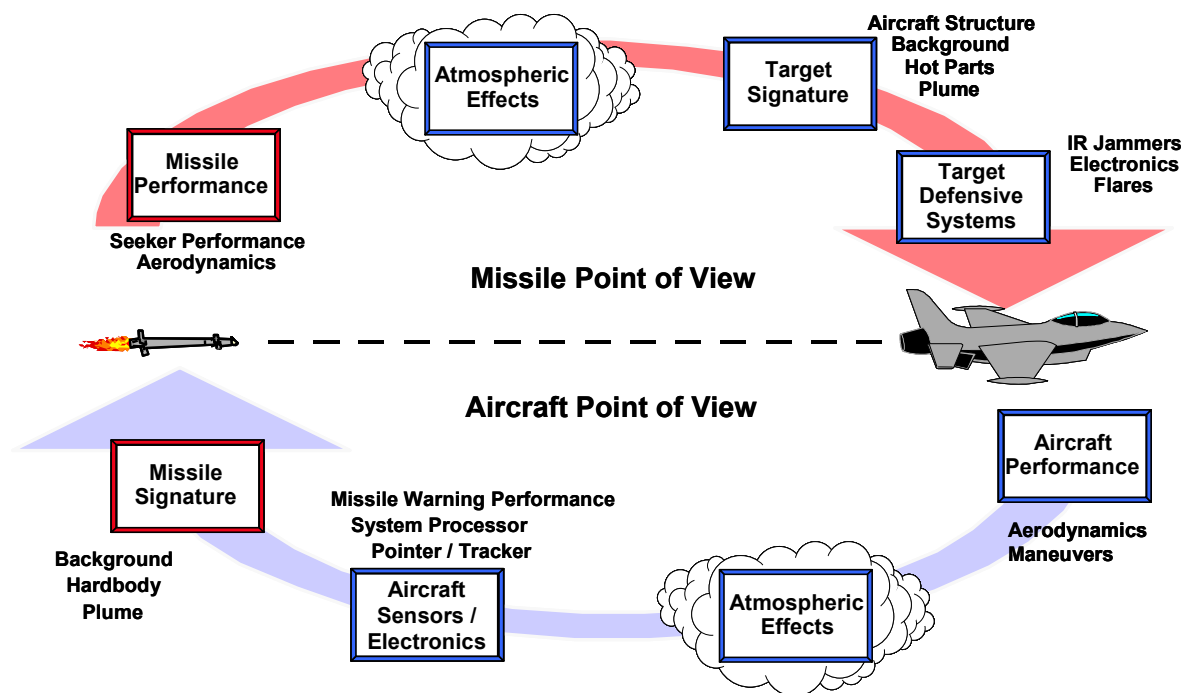
I detta sammanhang begränsas diskussionen till värdering av medlens sensorsystem, eventuella effekter eller räckvidder hos verkansdelar kan vara av intresse då det gäller styrtoggrannheter etc. men diskuteras inte djupare här. Det finns dessutom ett stort forskningsområde där vapenfunktionen inbegripande även medlens verkansfunktioner diskuteras. Detta tas inte upp i denna rapport.

Det finns en stor överlappning när det gäller värdering av medel och motmedel. För att utveckla eller testa funktionen hos exempelvis en störlaser behövs en ingående kunskap om målsökaren, miljö etc.

### Nivå 1, Fenomenologi och komponenter

Värdering av exempelvis målsökare, på denna nivå, kan genomföras genom mätningar, avbildning och genomlysning (röntgen) av delsystem eller komponenter. Instrumentering av system innebär en fördjupning av kunskaperna kring systemen. Systemstudier av prestanda och funktionsprinciper eller fysikaliska förutsättningar för funktionen tillhör denna nivå.

Dessa studier är naturligtvis beroende av vilken tillgång som finns på hårdvarusystem, dvs målsökare. Tillgång på system ger naturligtvis större möjlighet att studera djupare detaljer gällande funktion, tidsrelationer och gränser för funktionen. Finns det inte tillgång till hårdvara genomförs det av nödvändighet teoretiska studier tillsammans med mjukvarusimuleringar med stora mängder av antagande av prestanda och funktioner.



**Figur 2.4:** Effekter relevanta för analys av DIRCM system men som även illustrerar de effekter som är relevanta för medel (robotar). Efter Seth Shepherd, Lt Col, USAF, presentation vid AOC Stockholm 2002.

Erfarenhet från tidigare system och forskning av fenomen underlättar (och kan vara nödvändiga) avdömning av funktioner och prestanda.

En stor mängd simuleringsmodeller och teoretiska beräkningar kan genomföras som exempelvis atmosfärspropageringsberäkningar (för lista se exempelvis [8]) optiska systemprestandasimuleringar, signatursimuleringar av mål, bakgrunder och motmedel etc., komponentsimuleringar för detektorer, elektronik etc., m.m.

### Nivå 2 Laboriestudier av delsystem och delfunktioner

Laboriestudier av delsystem, attrapper eller demonstratorer ger den nödvändiga tekniska förståelsen (kunskapen) och möjlighet att avgöra praktiska funktionen.

Flera av de i [7] angivna provmetoderna kan användas för att testa delsystem eller hela system men kräver naturligtvis tillgång till system eller attrapper. Varje metod har sina egenskaper och begränsningar vilket gör att varje metod bör analyseras utifrån vilken kunskap som efterfrågas och hur svaret skall användas.

Några exempel på prov är exempelvis belysningstester av detektorer, domer eller optik för att se hållfastighet eller funktionsstörningar. Andra typer av prov kan vara förbränningsprov av drivmedel till start eller drivmotorer, för att beräkna fart-prestanda, motoregenskaper och signaturer. Vridbord med möjlighet att styra sensorer in viss riktning under provet alternativt följa mål under rörelser kan ytterligare kunskap om delsystem och funktioner.

En speciell grupp av prov gällande målsökare benämns HWIL med eller utan IR-källor samt med eller utan kinematik, se [7]. Dessa prov ger möjlighet att studera dynamiken hos sensorsystem och/eller styrfunktionerna hos robotar utan att genomföra fullständiga skjutprov.

Alla dessa laboriestudier och delprov måste kombineras med simuleringar av systemen som provas. Det finns en stor mängd simuleringsmodeller och metoder som diskuteras i rapport [7].

### Nivå 3 Flyganknutna försök

Delar av värderingen av delsystem eller hela system kan genomföras vid fältförsök med flygande utrustning eller mot flygande mål eller attrapper, dock utan att använda start- eller drivmotorer hos robotarna. Det kan vara uppställningar där exempelvis målsökare, monterade på vridbord för följning, testas mot fackelfällande flygplan eller målsökare monterade i helikoptrar för att simulera anflygning etc.

### Nivå 4 Skjutprov

Skjutprov ger kunskaper om tidsförlopp, styregenskaper, banegenskaper och prestanda. Allt är viktiga egenskaper som behövs för att förbättra eller validera simuleringsmodeller men även exempelvis vid bedömningen av sensoregenskaper.

Prov av denna typ kräver tillgång till fungerande robotar, skjutfält och en stor mängd utrustning för att följa missilernas verkliga bana i luften och värdera resultatet. Ofta krävs speciella arrangemang gällande uppställning av utskjutnings- och mål-utrustning. Proven kan endast genomföras vid gynnsamma förhållanden och enklare provsituationer, dvs fritt från störande objekt i närheten etc.

Dessa typer av prov kan ge mycket viktig information för validering av simuleringsmodeller och som svar på frågor om speciella funktioner hos systemen.

## Nivå 5 Totalsystem

Värdering av totala system, exempelvis bestående av en eller flera målsökarrobotar i ett anfall mot sjömål, sträcker sig betydligt över detta arbetets ambitionsnivå. Dessa totalsystemvärderingar kan dock troligtvis genomföras betydligt bättre när underliggande (i värderingspyramidens) nivåer har genomarbetats och levererat ett realistiskt och trovärdigt studieunderlag.

## **2.4 Värdering av motmedel**

### **2.4.1 Verkanslasersystem / antisensorlasersystem / DIRCM**

Vi diskuterar utifrån enkla störare för vilseledning till DIRCM-system och på sikt för laservapensystem.

#### 1/ Enkla laserstörare eller lasrar med sensorförstörande verkan.

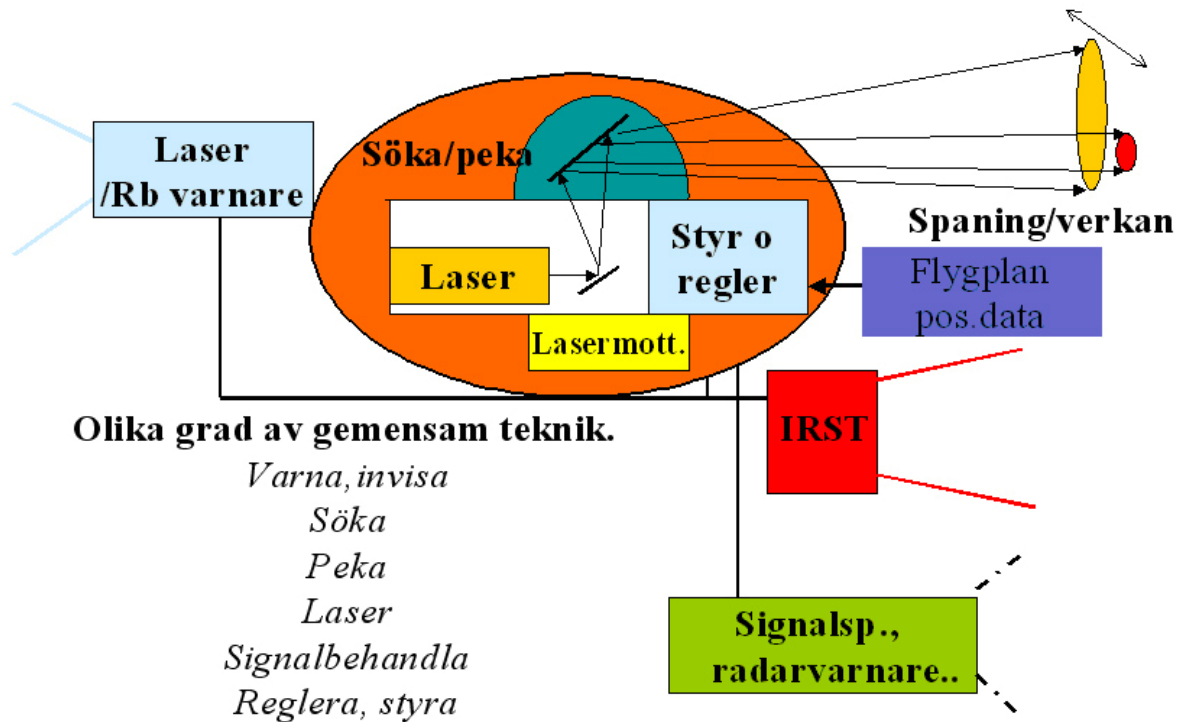
Dessa lasrar kan användas för att blända operatörer eller optiska sensorsystem (NVG, IR eller TV sensor). Invisning kan ske manuellt via kikare, NVG, varnare, optiskspanare eller IR/TV kameror. I dessa fall behöver lasersändarens emissionskaraktistik kunna mätas upp (lasereffekt, pulseffekter, stråldivergens etc.) samt prov mot representativa sensorer kunna ske i rätt miljö så att atmosfärens inverkan kan värderas liksom laserns följe- och pekförmåga inklusive den laserbärande plattformens dynamik. På den störda sensorsidan behöver effekter på sensorfunktioner studeras allt ifrån operatörsaspekter till systemeffekter t ex i ett vapensikte. En annan viktig aspekt som kopplar till ovanstående är röjningsaspekter av lasern bland annat innefattande tid från laserpåslag till störeffekt, atmosfärsbreddning och spridning som kan öka röjningsriken utanför laserloben mm. Det senare kopplar väl till laservarnare, se nedan.

Slutlig värdering görs på basis av fältprov och simuleringar i taktisk miljö. Det är viktigt att representativa hotsensorer kan modelleras ur optiska och systemmässiga aspekter. Kan en laserstörning ge ”mission kill” t ex. för en helikopter med pilot försedd med NVG och FLIR etc.

En hel del erfarenheter av mätningar av ovanstående slag finns vid Institutionen för lasersystem på FOI Sensorteknik. Dock saknas vad vi sett standardiserade metoder och utvärderingar som kan accepteras för exempelvis leveranskontroll av störutrustning. Mätetal för störeffekter har hittills varit enkla (av typ andel utstört bildfält etc.) och behöver definieras och anpassas till operatörs- och systemnivån.

#### 2/ Avancerade antisensorlasersystem/DIRCM.

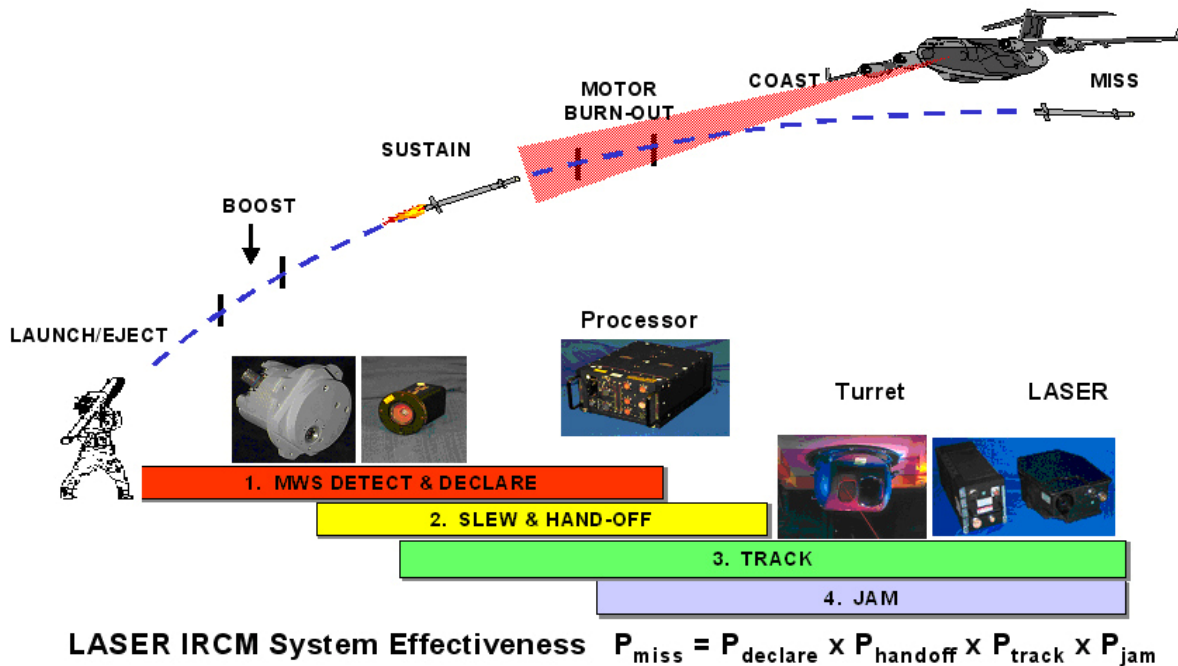
Vi koncentrerar oss på DIRCM system inklusive de av avancerat slag som kan tänkas utvecklas på sikt (se diskussionen om MEDUSA i [7]). Figur 2.5 illustrerar ett generiskt system. När vi diskuterar prov och simuleringsmetoder för denna typ av system bör vi särskilja i vilken fas av systemutvecklingen som prov eller simulering skall ske.



**Figur 2.5:** Sammanfattning av effekter och problem som ingår vid värdering av DDIRCM system. Ett generiskt framtida spanings-motverkanssystem baserat på laser.

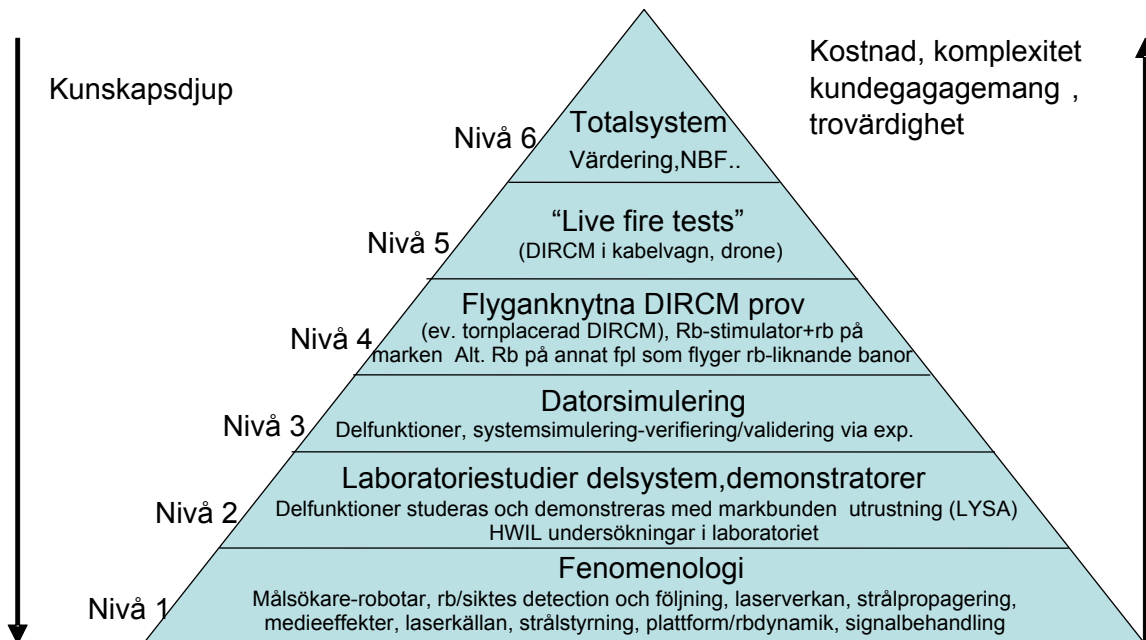
Invisning av störande laser kan ske via en mängd sensorer från robotvarnare, IRST, laservarnare och signalspaning. Lasersystemet kan dessutom ha en egen sektorspaningsförmåga. Efter retropptäckt/målidentifiering inriktas lasern, följer målet och verkar genom störande eller förstörande förmåga mot siktes eller målsökarsensor. Hela denna kedja är viktig att studera och prova i olika avseenden. I figur 2.5 och 2.6 sammanfattas, ganska väl, den typ av effekter och problem som ingår vid värdering av DDIRCM system.

Viktiga aspekter utgör inverkan av plattformsjitter, plattform- och robotdynamik samt atmosfäreffekter inklusive aerooptiska effekter, flammans inverkan samt atmosfärens inverkan på peknoggrannhet och strålkvalitet, se [9] för en behandling av detta ämne.



**Figur 2.6:** Olika faser och delproblem i DIRCM, efter Seth Shepherd, Lt Col, USAF, presentation vid AOC, Stockholm, 2002.

Figur 2.7 försöker illustrera de olika steg som behövs för en totalvärdering av DIRCM byggande på egen uppbyggd kompetens (inte den artificiella kompetens som man kan tillägna sig via att läsa broschyrer, tidsskrifter o besöka några av de otaliga kortkurser som ges inom området). Några kommentarer till de olika nivåerna i figuren nedan.

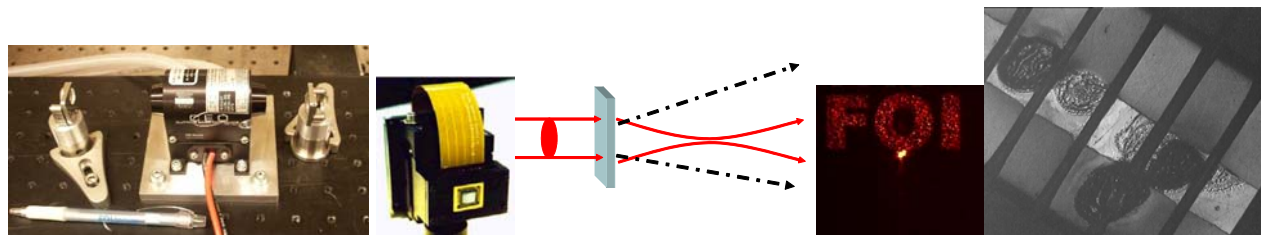


**Figur 2.7:** Olika nivåer i DIRCM värdering.

#### Nivå 1 Fenomenologi

Fenomenologi är traditionellt forskar/teknik kompetensen på FOI och hos industrin. Man kan värdera lasrar, strålstyrning, målsökare, störformer, förstörande verkan, strålpropagering etc.

via egna experiment parat med olika beräkningsprogram. Det är på denna nivå som man oftast lätt kan byta till sig kunskap via samarbeten, forskarutbyten etc. Vi anser att nuvarande verksamhet på FOI innefattar denna nivå.



**Figur 2.8:** Illustration av fenomenologi relevant för DIRCM, f. v. laserkällan, icke mekanisk strålstyrning samt lasergenererade skador på en målsökardetektor.

### Nivå 2 Laborariestudier innefattande delsystem, demonstratorer

Laborariestudier innefattande delsystem, demonstratorer. Denna nivå är nödvändig för att över huvud taget ha en teknisk förståelse om hur ett DIRCM system fungerar, var de egentliga problemen är samt hur samverkan mellan olika delsystemen sker. Vi anser att nuvarande LYSA-systemet faller inom denna nivå. En annan mycket viktig delstudie omfattar målsökaren och hur den uppför sig med avseende på störning, signatur etc.

HWIL studier för värdering av DIRCM är en absolut nödvändighet för att verkligen se effekterna av DIRCM i hela missilsystemet. Dessa studier kan göras på ett flertal olika sätt men kan grovt indelas i följande.

1. HWIL med optiksystem och kinematik
2. HWIL med optiksystem men utan kinematik
3. HWIL utan optiksystem men med kinematik, är idag under uppbyggnad vid FOI.

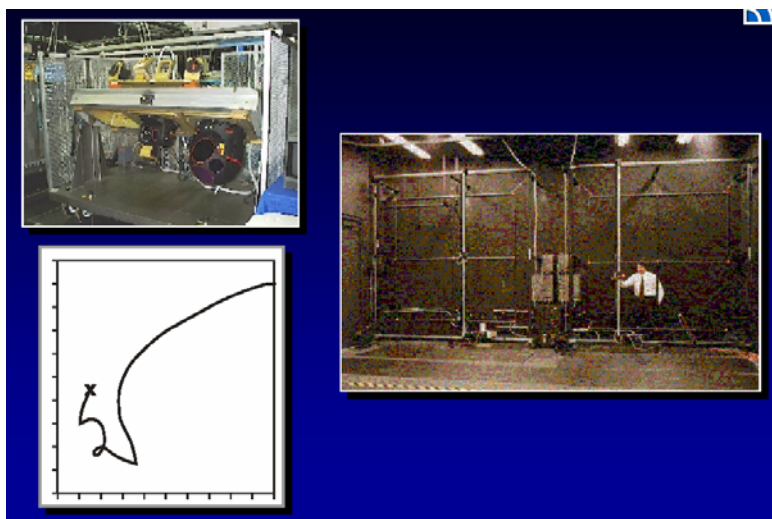
För att studera effekt på målsökargyrot av en viss pulsform med riktig missil kan denna driftsättas i labb under enkla förhållanden och därefter belysas varvid man kan studera hur gyrot i målsökaren beter sig och hitta en störform som är effektiv mot gyrot. Det som begränsar denna typ av test är att man inte kan avgöra vad som händer med styrningen av missilen t. ex. störskydd man kan inte heller få med målets signatur och rörelser. Störskydden måste simuleras med verklig målsökarelektronik till dess att man vet hur de fungerar. Störskydden är inbyggda i elektroniken i form av hård eller mjukvara och detta gör att möjligheten att variera signalerna in till målsökaren är nödvändigt. I alternativ ett ovan så kan målets rörelser och signatur inkluderas samt även robotens flygenvelopp simuleras dessutom kan godtyckliga störformer simuleras allt med den verkliga signalbehandlingselektroniken och därmed får man med effekten av störskydd. En förutsättning för att denna typ av simulering ska ge bra resultat är att signalerna som injekteras till målsökaren är uppbyggda efter verkliga signaler detta åstadkoms genom att mäta signalerna inne i målsökaren i några referensfall med optik och IR-mål/störformer under kontrollerade förhållanden. Alternativ ett ovan ger i de flesta fall den mest kompletta värderingen av scenariot men det är kostsamt och komplicerat samt finns fysiska begränsningar med IR-källor och laserkällors placering för simulering av signaturen och laserstörare.





**Figur 2.9:** Illustration av nivå 2 DIRCM-värdering , f. v. LYSA monterat på vridbord, målsökarattrapper samt bild från LYSA systemets presentationsenhet i fältprov mot flygburna mål.

Lysa-systemet är inriktat på att studera teknik och funktioner inte nödvändigtvis hårdprova taktiska prestanda t ex i form av inriktning, följning och m.a.p. olika plattformar och hotscenarier. I figuren 2.10, hämtat från Northrop Grumman föredragning om Nemesis, visas typiska provuppställningar för att prova APT= acquisition, pointing and tracking under reella plattformsrörelser.



**Figur 2.10:** Exempel på arrangemang för prov av APT (= acquisition, pointing and tracking) under reella plattformsrörelser. Källa Northrop Grumman.

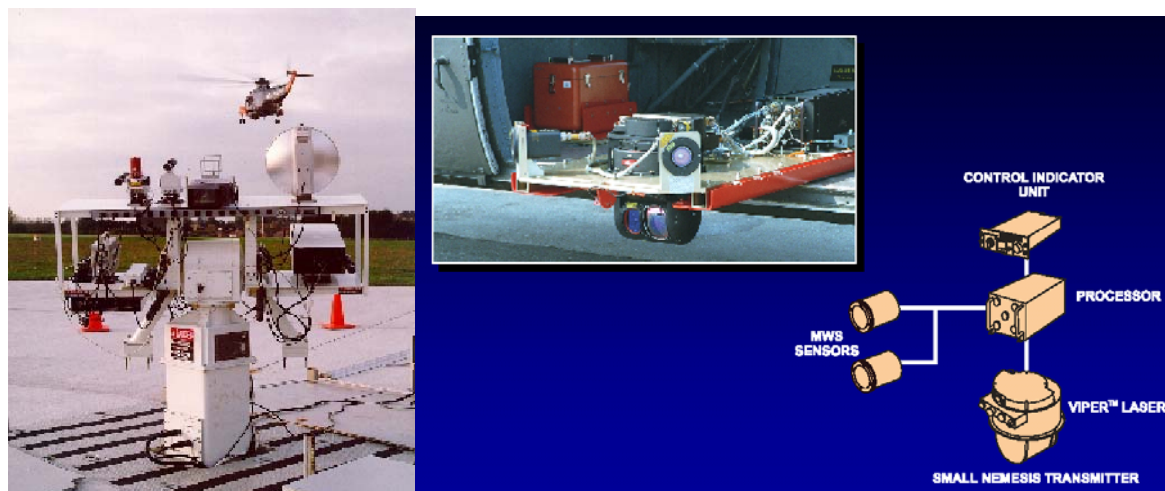
### Nivå 3 Datorsimulering

Datorsimulering är ett mycket viktigt komplement till experiment. De behövs för att kunna göra en taktisk värdering i de många hotfall som kan tänkas uppstå för olika plattformar. Modellerna behöver också valideras via experimentella prov. Modeller kan vara av olika slag beroende på detaljnivå. T ex kan avancerade modeller för strålpropagering utnyttjande slumpade fas-skärmar användas för att värdera inflytande från flammen och aerooptiska samt för att studera adaptiv optik. För en totalsimulering av duellen robot-DIRCM blir dessa beräkningar för krävande och förenklingar måste införas. I dag pågår utveckling av en sådan DIRCM-simuleringsmodell vid FOI.

### Nivå 4 Flyganknytna DIRCM prov

Flyganknutna DIRCM-prov där robotsimulatorer och hotrobotar placeras på plattformar på marken och DIRCM på flygplan eller helikopter. Det kan också bestå av tornplacerad DIRCM med robot-stimulator och robot på marken alternativt robot på annat flygplan, som flyger i robot-liknande banor. För att kunna uppnå realistisk värdering av DIRCM:s

effektivitet behövs prov mot olika hotrobotar i en någorlunda realistisk miljö. Detta innefattar realistisk robotsignatur för att pröva varning och invisning, störeffekter och följeförmåga. DIRCM systemet kan vara placerat i en helikopter/flygplan eller i ett torn och simulatorn/roboten på ett markplacerat vridbord.



**Figur 2.11:** Flyganknutna prov, robot och robotsimulator på vridbord på marken. DIRCM installerad i flygande plattform. Man prövar varnare via hårdvarusimulerad robotemission och robotens målsökare kan interageras och störas via laser i plattformen. Från Nemesis utprovning, källa Northrop Grumman.

#### Nivå 5 "Live fire"

Det ultimata provet är naturligtvis att skjuta robotar mot DIRCM systemet som placeras i kabelvagn eller i en dron. Här kan man exempelvis testa DIRCM-systemens reaktionstid genom att variera skjutavstånd, pröva kapaciteten att bekämpa samtidiga hot, validera modeller, skjuta mot både stillastående och rörliga mål samt verifiera systemfunktioner i faser/tider av robotbanan.



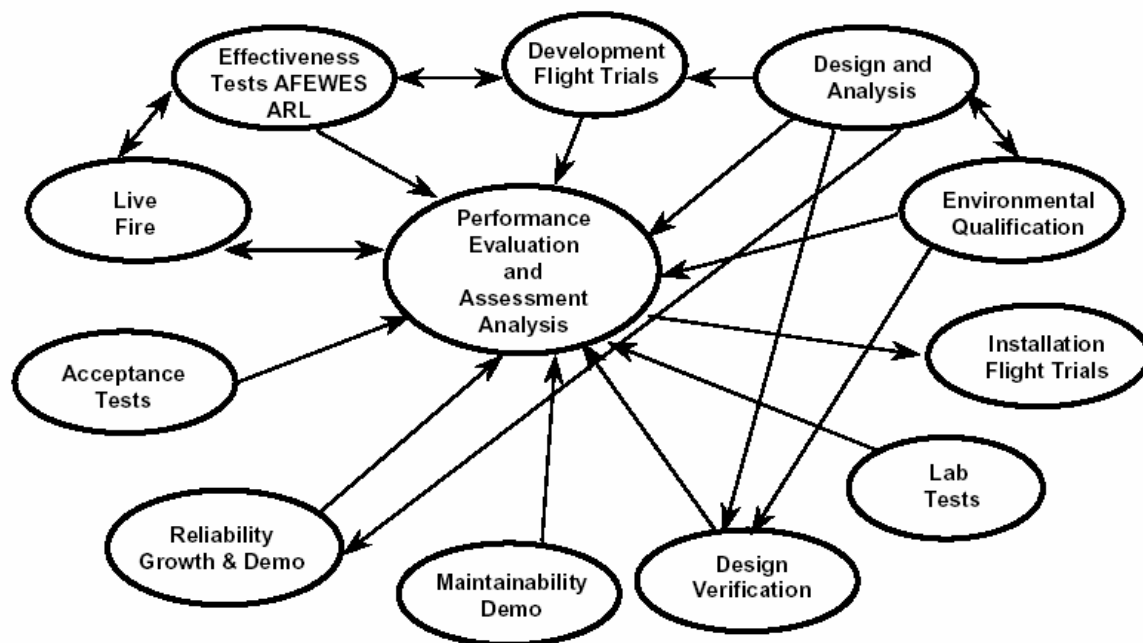
**Figur 2.12:** "Live fire prov" av DIRCM system vid White Sand i USA.

#### Nivå 6 Totalsystem

Totalsystemvärdering som sträcker sig över den rena duellvärderingen. Denna värdering bör rimligen baseras på inslag från alla nivåer. Prov kan ske mot kända hot men man bör även med en lämplig kombination av laboratorieprov och simulering av kommande målsökartekniker och möjliga laserskydd kunna värdera DIRCM-funktionen på längre sikt. En utvidgning av värderingen bör rimligen inbegripa NBF-aspekter som multipla plattformar och multipla varnar/sensorsystem, snabb kommunikation mm. Framtida möjligheter och ev. krav på förstörande verkan eller nya verkansformer (t ex laserinducerade gnistor) behöver värderas.



I figur 2.13 visas en översiktligt schema över värdering av totalsystemet som det presenterades vid AOC Stockholm, 2002, av Seth Shepherd, Lt Col, USAF. En analys av detta schema eller hur totala värderingen går till är en ambition för fortsatt arbete.



**Figur 2.13:** Värderings schema för "Live fire" prov av Seth Shepherd, Lt Col, USAF, presentation vid AOC Stockholm 2002.

## 2.4.2 Vilsledare motmedel: Facklor

Vid värdering av olika typer av facklor och pyrofora motmedel kan pyramiden i figur 2.2 tjäna som utgångspunkt. Det är hela tiden frågan om att arbeta på olika nivåer för att successivt närma sig en trovärdig värdering av en fackla i ett verkligt scenario. Nedan diskuteras värderingen utifrån de olika nivåerna. Beräkningar och simuleringar kommenteras på varje nivå.

### Nivå 1 Fenomenologi, komponenter

Studier av olika fackelkoncept bedrivs. Ren produktutveckling sker i den pyrotekniska industrin. Signaturen hos nya fackelbrinnkroppar mäts upp statistiskt för att bedöma intensitet, spektralfördelning samt brinn- och stigtid. För att bestämma vinddämpningskoefficienten görs vindsblåsningstester i vindtunnel. Empiriska eller semi-empiriska modeller av facklornas signatur tas fram. Viss parametervariation genomförs vid mätningarna i syfte att ge underlag till modellarbetet. Nya fackelkoncept ställer troligen nya krav på mätningarna.

### Nivå 2 Laboratorie-studier av delsystem och demonstratorer

Dynamiska signaturmätningar av facklorna utförs, i regel i form av fällning från flygplan med mätutrustningen på marken. Signaturmätningarna görs spektralt och i vissa fall även med bildalstrande radiometrar. För utbredda facklor är bildinformationen viktig. Tidsupplösningen ska vara tillräckligt hög för att stigtiden ska kunna bestämmas. Minst 100 Hz samplingstakt är önskvärd. Facklans trajektorier registreras med ett optiskt inmätningssystem. Resultaten används för modellarbete och simuleringar.

Olika typer av HWIL-simuleringar genomförs, baserade på resultat från mätningar eller beräkningar av fackelsignaturen. Förutom fackeldata krävs god kännedom om skyddsobjektets signatur vilken har mätts upp eller beräknats, se [7]. Beroende på typ av HWIL används en större eller mindre del av roboten och dess målsökare. De delar som inte ingår hårdvarumässigt i HWIL-simuleringen måste vara kända på annat sätt. Signaturdata från facklor och skyddsobjekt kan behöva anpassas för att vara relevanta för målsökaren ifråga, framför allt med avseende på spektralintervall. Anpassningen kan göras med hjälp av modeller eller med hjälp av mätunderlag från olika mätningar. I takt med att målsökarna blir mer avancerade kommer ett allt mer fullständigt signaturunderlag att krävas. Vilken HWIL-metod som väljs är i hög grad en kostnadsfråga men de olika metoderna ger också olika möjligheter.

HWIL-simuleringar ger underlag för validering av mjukvarumodeller av mål, motmedel och målsökare. HWIL-simuleringarna används också mer direkt för att värdera en facklas effektivitet för ett givet scenario samt för utformning av taktik i form av fällsekvenser.

### Nivå 3 Flyganknutna försök

På denna nivå avses försök där facklor fälls från flygplan mot en verklig målsökare. Fällningen kan ske från det avsedda skyddsobjektet och då kan skyddseffekten hos facklan bedömas direkt. Alternativt fälls facklan från ett godtyckligt flygplan och då kan endast mer generell kunskap om duellen fackla-målsökare erhållas. Målsökaren bör i det fallet vara instrumenterad så att interna signaler kan registreras.

Målsökaren kan antingen vara monterad på ett vridbord på marken eller i ett flygplan. Alternativt kan en verklig robot användas där låsningssignalen registreras. Genomgående för försöken på denna nivå är att målsökaren är stationär relativt facklan och inte närmar sig facklan nämnvärt under brinntiden. Försöken bör genomföras på olika avstånd för att simulera närmandeförloppet.

Försöken ger underlag för validering av mjukvarusimuleringar och HWIL-simuleringar. Styrkan i metoden är att verkliga facklor och verkliga målsökare används. Nackdelen är att närmandeförloppet målsökare-fackla/mål inte realiserar, vilket ger en osäkerhet.

### Nivå 4 Skjutprov

Skjutprov genomförs med verkliga robotar mot målattrapper som kan utgöras av en kabelvagn eller en drone. Målattrappen ska ha en relevant signatur som kan åstadkommas på olika sätt. Dessutom har den fackelfällare monterade och faller facklor enligt bestämd fällsekvens. Detta försök ger hög trovärdighet men av kostnadsskäl kan endast ett begränsat antal fall genomföras. Fallen bör därför väljas med omsorg för att ge mesta möjliga information för validering av modeller. Robotens trajektorier registreras och likaså bör målattrappens signatur kontinuerligt registreras. Signaturen hos attrappen är kritisk vid denna typ av prov eftersom ett verkligt mål av naturliga skäl inte kan användas. Attrappens signatur måste verifieras i förväg genom mätning och analyseras med hänsyn till målsökarens egenskaper.

Som ett alternativ till skjutprov görs duellsimuleringar av fackla, mål och robot/målsökare. Dessa simuleringar kan genomföras antingen baserat direkt på mätdata eller på validerade modeller. Ofta är de olika komponenterna hanterade på lite olika sätt beroende på att dess egenskaper är mer eller mindre kända eller lätta att modellera. Om mer detaljerad simulering görs måste den i regel begränsas till ett fåtal fall. Förenklade beskrivningar ger möjlighet till mängdkörningar. Simuleringarna valideras av skjutproven eller av HWIL-simuleringar. Helt mjukvarumässiga simuleringar kan ligga till grund för studier av olika tekniska lösningar och

ge underlag till utformning av lämplig taktik. Taktiken omfattar både tekniska avvägande såsom fällsekvenser samt undanmanövrar.

### Nivå 5 Totalsystem

Värdering på denna nivå avser inte den rena duellsituationen mål - målsökare- motmedel utan scenariot flera mot flera. NBF-perspektivet kommer in här: Om flera sensorer samverkar för att styra en robot mot målet, hur ska motmedlet då utformas?

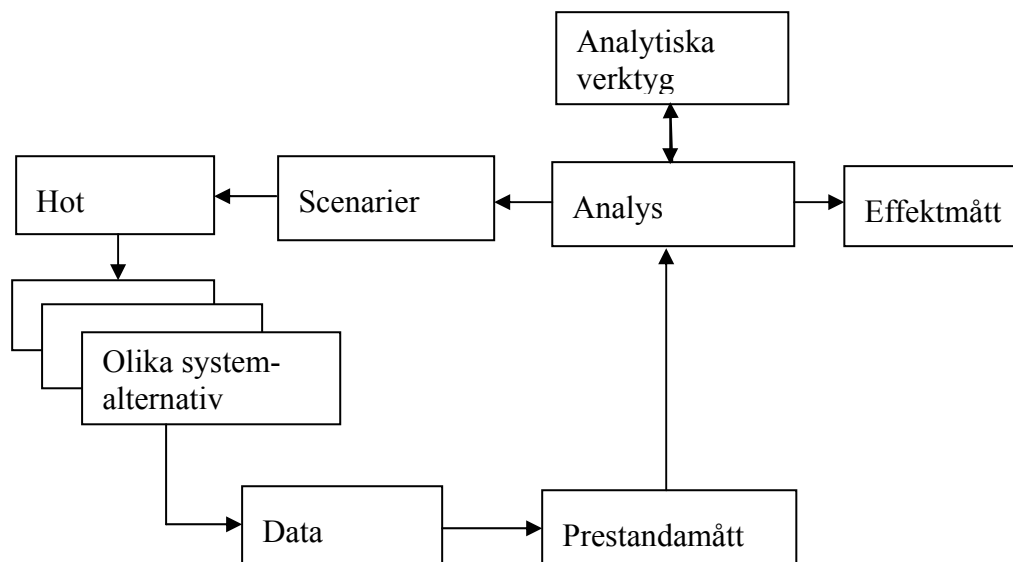
Under denna rubrik bör också den mer fullständiga en-mot-en duellen eller som ofta i fartygsfallet flera-mot-en duellen värderas. Förutom ovan nämnda komponenter i duellen så ingår också något slags varnarsystem samt SAT-teknik för målet. Varnarens prestanda är helt avgörande för ett effektivt användande av motmedel. Likaså har SAT-åtgärder hos målet ett nära samband med motmedlets dimensionering. Speciellt intressant är styrbara SAT-material och lågsignaturmoder hos motorer.

## **2.5 Inledande diskussion om strategi för systemvärdering**

Ett system definieras att bestå av ett antal komponenter. Dessa kan i sin tur utgöras av system som klarar någon delfunktion. Likväl som för delar så skall ett system bedömas efter sin förmåga att klara en given uppgift. Ett mått på ett systems värde kan ej enkelt beräknas från de olika delarnas förmåga. Det finns ett antal viktiga begrepp i samband med militär värdering:

- Data. Med data avses här de parametrar som karakteriserar delkomponenterna, t ex känslighet, reflektans, emission eller liknande.
- Mått på prestanda (eng. Measure of Performance, MOP). Exempel kan vara tid för upptäckt, upptäcktsavstånd, lokaliseringsfel, bomavstånd.
- Scenarier. Beskrivning av ett begränsat stridsförlopp i viss miljö. Analytiska verktyg. Detta begrepp kan indelas enligt
  - Analytiska modeller. Enkla matematiska formler tillhör denna klass. De simulerar ett system på ett begränsat sätt.
  - Deterministiska modeller. Noggranna modeller med stor detaljrikedom, som ge reproducerbara resultat.
  - Sannolikhetsmodeller. Inparametrar hämtas ur fördelningar i stället för användning av fixa värden. Många körningar krävs för varje situation.
  - Krigsspel. Används ofta på högre nivåer. Hanterar i regel ett komplicerat scenario. Med många ingående delsystem, ofta med stora osäkerheter, blir det svårt att se inverkan av ett enskilt delsystem.
  - Fältförsök. Mycket realistiska, med beslutsfattare i systemet blir graden av reproducerbarhet låg. Hög kostnad.
- Effektmått (eng. Measure of Effectiveness, MOE). Den verkan som insatsen eller användningen har. Uttrycks i termer av förlust eller liknande.

De olika delarnas samband illustreras i figur 2.14. Ofta gäller en värdering att väga olika system eller systemkonfigurationer mot varandra inför en kommande upphandling. Därför innehåller figuren ett antal alternativa system.



**Figur 2.14:** Ingående delar i en värdering

Den svåra delen vid värdering är sambandet mellan prestandamått och effektmått.

Hotbild och scenarier är de två drivande faktorerna. Dessa avgör vilka av ett systems delar som är begränsande, men även om systemet innehåller delar som inte kommer till användning i vissa situationer.

Effektmåtten utgör det viktiga resultatet av en värdering och måste formuleras omsorgsfullt. Exempel på effektmått kan vara:

- Tid för att klara av ett uppdrag. Kan t ex gälla tid för att slå ut en luftvärnsenhet.
- Mål i riskzonen. Hur många av fiendens mål har varit nära att förgöras?
- Antal eliminerade mål. Kräver verkansberäkningar.
- Nivå på icke avsiktlig skada. Viktig parameter i begränsade krig.
- Egna överlevande. Hur många kom tillbaka efter ett uppdrag?
- Typer och antal av förbrukade resurser.

En värdering startar med att identifiera de olika delarna enligt figur 2.14:

- Val av uppdrag, effektmått och prestandamått.
- Val av hot och scenarier.
- Olika systemalternativ som skall prövas.
- Bestämning av detaljnivån som behövs för analysen.
- Identifiering av lämpliga modeller och specifikationer på delsystemen.

### 2.5.1 Systemvärdering av nya eller mindre kända system

En indelning kan göras för att skapa en värderingsstrategi vid värderingen av nya eller tidigare okända system, både målsökare och motmedelssystem, utifrån några typfall som exempelvis; när målsökare med robot är okänd, när motmedel är okända eller när måltypen är okänd.

Värdering av system, exempelvis målsökare och motmedel, från dessa utgångspunkter görs och har gjorts tidigare men detta är ett försök att distribuera ämnet utifrån frånvaro av eller med stora brister i kunskapen om systemen. Diskussionen bör fortsätta för att komplettera och förbättra processen med värdering av delsystem och system.

### Om måltypen okänt

Detta avser frågan hur skall målsökarprestanda eller motmedelsprestanda värderas vid de fall då målsignaturen är okänd. Ett par typiska fall skulle kunna vara värderingen av en sjömålsrobots målsökarfunktion mot signaturanpassade fartyg med okänd målsignatur, eller värderingen av målsökare mot exempelvis helikopter. Kan vi inte på ett realistiskt sätt fastställa målsignatur kommer inte mjukvarusimulering av situationen vara realistisk och trovärdig. Lika osäkert är det att fastställa funktionen, sannolikheten för effektiv insats mot mål med otillfredsställande kunskap om målsignaturen.

Signaturen hos målet måste värderas i förhållande till bakgrunds klotter och motmedelssignatur alternativt mot motmedelsstörning (för fallet med störande motmedel). Hur länge kommer målsökaren vara låst på målet då rök, facklor eller andra åtgärder sätts in?

Strålningsmätning av mark/sjö kan ge omgivningsmiljöns bakgrunds nivåer som är en del av de data som definierar målsignaturen. Detta är naturligtvis känt sedan länge för svensk omgivning även om kompletteringar kan krävas. När det gäller internationella insatser aktualiseras ytterligare. Bakgrundsstrålningen liksom väderförhållanden och alla miljöinformationer måste eventuellt värderas då nya områden skall ingå i svensk trupper verksamhetsfält.

Underrättelsekällor kan ge information om tidigare utvecklingssteg eller prototypers egenskaper vilket sedan skulle kunna vara underlag för bedömning eller avdömning av målsignaturer.

Prediktering med hjälp av validerade modeller kan vara ett sätt att bygga upp en bedömningsgrund för värdering av målsignaturer. Detta måste dessutom samordnas med informationsinhämtning samt i möjligaste mån tester i liknande miljöer. Förändras signaturnivåerna hos ett känt mål genom att dess starkaste bidragande signaturkomponenter reduceras kommer andra signatur egenskaper att träda fram vilka ger svårigheter att identifiera målet. I kritiska lägen kan eventuellt mål ges planerad signaturförändring som gör att system som använder på karaktäristiska drag hos signaturen förlorar funktion eller tillförlitlighet.

Fällprov från mål (avhållningsprov) och prov med laserstörare mot instrumenterade riktiga målsökare kan användas som en metod att testa störnivåer och funktion. Dessa validerade simuleringsmodeller med realistiskt bedömda eller predikterade målsignaturer ger indikering på signaturkänslighet.

Ingen realistisk prediktering av signaturerna kan göras utan ingående kännedom signaturernas egenskaper i kombination med kännedom om bakgrunder.

### Motmedel okänt

Sensorers funktion reduceras kraftigt eller helt på grund av motmedel eller motåtgärder. Skall målsökare värderas mot mål vars motmedelsfunktioner är i det närmaste okända eller innehåller delar som är okända är detta nästan omöjligt. Det kan finnas fall där funktionen, eller delfunktionen, är känd men prestanda är mindre kända exempelvis nya typer av facklor eller antisensorlasersystem typ DIRCM.

De grundläggande parametrarna av mindre kända systemen måste fastställas för att det skall vara möjligt att skapa simuleringsmodeller och för att kunna genomföra simuleringar. Detta

kräver naturligtvis att aktiv kunskap om systems uppbyggnad och att egenskap finns eller kan återskapas genom utveckling av generiska system, demonstratorer eller labbsystem.

Dessutom, beroende på delsystem eller system, kan det behövas att ett antal mätningar genomförs tillsammans med simuleringar av mer grundläggande art, exempelvis känslighetsmätningar av detektorer och signaturegenskaper (hos både målet och eventuellt av komponenter som lasrar, facklor etc.). Vidare utvecklande av modeller för signalbehandling, både för att skapa modeller samt förstå vilka begränsningar som finns vid exempelvis metoden av motmedelsinsatsen.

### Robot med okänd målsökare

Den absolut viktigaste frågan när det gäller värdering av robotar med målsökare är huruvida det finns möjlighet att tillgå någon eller några robotar alternativt underrättelseinformation. Även om man har tillgång till en målsökare kan dess funktion eller dess egenskaper var i stort sett okända ifall man inte undersökt den noggrant. Kan sådana informationer skaffas som behövs vid värderingen utifrån, så finns stora vinster både i tid och pengar. Internationellt samarbetet är naturligtvis en metod som kan underlätta arbetet.

Finns det tillgång till robotar eller målsökare så kan olika typer av test eller undersökningar genomföras exempelvis, HWIL-tester av olika sort, fällprov från mål mot målsökare (avhållningsprov), hårdvaruanalys, skjutprov mm. En väl genomförd hårdvaruanalys kan ge viktiga indata till prestanda beräkningar såsom aperturer, funktion (scannade, stirrande e.dyl.), transmissionen genom fönster eller domer etc.

Saknas tillgång till robotar kan analys av vapenfunktioner genomföras teoretiskt i olika steg. Information kan hämtas från videofilmer från skjut tillfällen, med hela eller delar av skjutförloppet, reklambroschyrer, tidskrifter eller översiktsverk (JANE's etc) med bilder på målsökare dess interiör eller funktionsprinciper. Andra data som är intressanta är påstådda prestandasiffror eller informationer om tidigare versioner som exempelvis roboträckvidder, diametrar, motor och bränslet sort samt pålåsning-räckvidder, flygtider m.m.

### Värdering av nya koncept

Utveckling av nya system eller nya koncept, exempelvis fackelsystem, bör innehålla i stort sett alla delar som finns i pyramiden beskriven i figur 2.2. Arbetet måste dock drivas utefter andra principer än att genomföra en serie undersökningar antingen uppifrån eller nerifrån i pyramiden. Det vanliga är att olika typer av behovsundersökningar, eller behovsanalyser genomförs (även kallade marknadsanalyser). Därefter definieras en målbild eller vilket prestandasegment som skall uppfyllas.

Lämpligen startar arbetet i form av en förstudie för att få en inblick om i vilken riktning vidare arbete ska bedrivas. Förstudien bör innehålla dels en fysikalisk/teknisk studie av den teknologi som det nya konceptet ska bygga på, dels bör förstudien innehålla en enklare duellsimulering för att få en första uppskattning av vilka de kritiska parametrarna är. Resultaten från förstudien kan leda till att man går vidare eller till att arbetet avslutas.

Kan ett nytt koncepts målbild eller prestandasegment bestämmas har en stor del av värderingsarbetet klarats av. En realiserbarhetsstudie bör indikera möjligheten att genomföra en konstruktion och någon typ av kostnadsanalys. Kostnadsanalysen är viktigt för bedömningen av om delar av tekniken är realistisk.

Det fortsatta arbetet med värdering av ett nytt koncept bygger på realiserbarhetsstudier av delsystem samt på genomförande av tester och prov i labbmiljö. Därefter kan den pyramidstruktur som beskrivs i tidigare kapitel användas för det fortsatt arbetet.

## Riskvärdering

En viktig faktor som inte har hanterats under denna del av studie är riskvärdering. I detta sammanhang måste en riskvärdering göras utifrån kvaliteten i värderingen och dess grundläggande indata. Det kan betyda värdering av effekten av fel i värderingen på grund av fel indata, fel metoder, handhavandefel etc. och dess konsekvenser i teknisk mening för funktionen hos de intressanta systemen. Detta arbete återstår att genomföra.

Att göra en riskvärdering på högre nivåer bör inte ingå i fortsättningen av denna studie. Med benämning 'högre nivåer' avses exempelvis ekonomiska konsekvenser av felaktiga prestanda antaganden hos ett vapensystem. Exempelvis kan mycket dyra ansträngningar göras för att minimera konsekvenser av vapensystem, genom exempelvis tilläggsskydd eller att uppdrag inte genomförs, om vapeneffektiviteten överskattas. Det motsatta förhållandet kan ha andra kostsamma konsekvenser.

## **2.6 Diskussion kring värderingsstudien**

Värdering av duellen mellan medel och motmedel behöver naturligtvis analyseras utifrån ett stort antal aspekter, taktiska som tekniska. I denna delstudie har en inledande diskussion mellan olika grupper som arbetar med 'duellen', i vid mening, genomförts. Duellen avser här duellen mellan medel, såsom målsökande optiska robotar, och motmedel som facklor och antisensorlaser, gällande både hårdvara och mjukvara.

Diskussionen har hållits på en teknisk nivå. Detta kan ses som en skarp begränsning då värderingen av system måste göras både tekniskt och taktiskt, då utfallet av antingen taktiska eller tekniska åtgärder inverkar på utfallet.

Ett antal olika begrepp, medel och metoder har granskats (mönstrats). En inledande diskussion kring värdering av medel och motmedel har förts mellan grupper inom FOI som har djupa kunskaper inom respektive specialområden och goda grundläggande kunskaper om andra. Denna diskussion är tänkt att fortsätta för att leda till förbättrad värderingsmetodik vilket bör leda till en höjning av kvalitén vid värderingsarbete.

Det saknas idag standardiserade metoder att värdera och utvärdera störutrustningar inom laserområdet. Mätetal bör utvecklas för störeffekter och dess inverkan på system. Idag används metoder som 'andel utstört bildfält' etc. Mätetalen behöver definieras och anpassas till operatörs- och systemnivå.

Den totala värderingen av nya typer av motmedelssystem, exempelvis lasermotmedelssystem som DIRCM-system, bör inledas och drivas. En utgångspunkt kan Shepherds schema i figur 2.13 vara.

Hotet idag domineras av retikelmålsökare utan eller med primitiv CCM. De mycket störfasta laserledstrålesystemen kommer att finnas kvar i många år. Detta gäller inte minst i konfliktområden som innehåller både högteknologiska och tekniknivåer som är något äldre med i huvudsak kulvapen och bärbara luftvärnsvapen, s.k. asymmetrisk krigföring. Därför är det viktigt att fortsätta studiet av även äldre målsökarsystem, sk. MANPADS.

Arbetet med att analysera värderingsmetodiken bör fortsätta. En metod är att inrikta diskussionen mot mera konkreta fall där ett skyddsobjekt, med ett eller ett par olika hot (både nya och gamla typer) samt lämpliga motmedelssystem väljs för en värdering.

Instrumenterade målsökare monterade på ett vridbord på marken eller i ett flygplan kan vara metoder för att genomföra flyganknutna försök av exempelvis fackelmotmedel eller prestanda jämförelser mellan olika målsökare. Den typen av försök skulle kunna ge underlag för validering av mjukvarusimuleringar.

Varnarfunktionens prestanda är helt avgörande för ett effektivt användande av motmedel, detta gäller både traditionella fackel- och laser-motmedel.

Värdering av totala system bör genomföras gällande nya tekniska lösningar på motmedel exempelvis DIRCM-system.



### 3 Utrustning för att genomföra studier av motmedelssystem

Den långsiktiga målsättningen för projektet är också att bygga upp utrustning för test av elektrooptiska sensorer i realistisk telekrigsmiljö. Som ett steg i den strävan har ett vridbordssystem tagits fram för att kunna inrikta och följa olika typer av mål som fordon eller flygplan med sensorer.

Vridbordet är konstruerat med optiska bord för att ge möjlighet att enkelt montera många olika sensorer, exempelvis målföljare. Genom att inrikta vridbordet och samtidigt ha möjlighet att följa mål kan dessa sensorer inriktas mot målet varvid ett antal olika tester genomförs. Det är möjligt att styra vridbordets rörelse utifrån videosignaler eller på ett programmerbart sätt.

Vridbordssystemet, som består av motoriserat vridbord för att klarar en last upp till 150 kg, är konstruerat av DST Control AB, Linköping. Detta vridbord har en egen styrfunktion för manuell styrning med en joystick, se [11]. Vridbordet anpassades även för att kunna styras av en kommersiell videomålföljare av typen ADAPT 20, OCTEC Inc. I systemet ingår en släpkärra, från HECO, Sala, speciellt avpassad för montage av vridbordet för att på ett enkelt sätt kunna flytta utrustningen till olika övningsfält.

Till detta system har dessutom en ny videomålföljare och annan programvara för att programmera rörelsen hos vridbordet tagits fram av Linova AB, Linköping. Linova AB har dessutom tagit fram speciell programvara för att spara bilder från videomålföljaren, se [12]. Dessa system, för att spara bilder från videomålföljaren samtidigt som videomålföljaren följer mål, sparar för varje bild dessutom information om tid och vridningsvinklarna i både azimut och elevation från vridbordets vinkelsensorer. I systemet ingår även möjligheten att bestämma vanliga GPS-positionen och synkronisera datorklockorna med GPS-tid.

Exempelvis kan flera sensorer (målföljare) av olika typ inriktas mot samma mål alternativt görs tester av enskilda sensorer mot specifika typer av mål. Detta ger möjlighet till relativtester av sensorer för att se reaktionen vid exempelvis signaturmätningar.

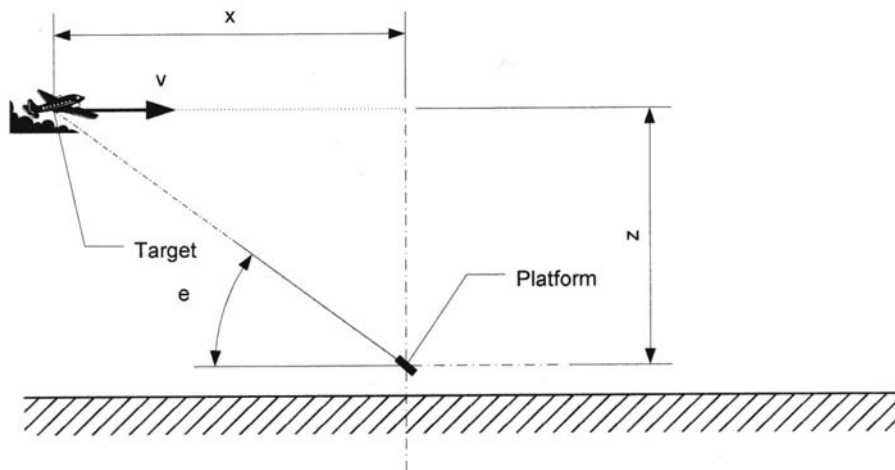
Vridbordet inhandlades med en så kallad EU upphandling under slutet av 2002 och i början av 2003 varefter systemet tillverkades av DST Control AB, Linköping. Vridbordet levererades under hösten 2003. Vridbordet justerades och anpassades under processen som videomålföljningssystemet skapades och ansågs vara färdigt utifrån den specifikationen vid slutet av 2003. Videomålföljningssystemet LinovaTracker påbörjades under våren 2003 och testades färdigt under december 2003.

Under slutet av 2003 påbörjades arbetet med att konstruera en personbilssläpkärra med överbyggnad för att transportera vridbordet. Släpkärran konstruerades utifrån en standardkärra som levererades från HECO, Sala, strax innan årsskiftet. Under våren och sommaren 2004 anpassades släpkärran varvid arbete med att stabilisera botten samt montering av lyftanordning med stödben för att inte kärren skall stå på gummihjul då vridbordet används.

#### 3.1 Krav

Krav på vridbordet konstruerades utifrån en typisk provsituation där ett antal sensorer skulle följa ett flygande mål, dessa krav sammanställs i ett dokumentet [5]. Vridbordet skall kunna inrikta elektrooptiska sensorer i både azimut och elevation mot ett mål, inriktningen skall kunna låsas mot målet samt inriktningen skall följa med målet under dess rörelser.

Inledande studier visade att test där sensorer (målsökare) monteras på vridbord för att ge en grovinriktning vid sensorprov är värdefulla vid test och försök av målsökarfunktioner samt vid motmedelsprov. Dessa prov kan ge information om exempelvis målsökarnas möjlighet av pålåsning, avhakning på grund av motmedelsinsats samt sensorernas följenoggrannhet. Denna typ av utrustning skall kunna klara av att bära flera olika sensorer samtidigt för jämförande studier, samt vara rimligt lätt att transportera, för att kunna flyttas ut på skjutfält och till övningsområden.

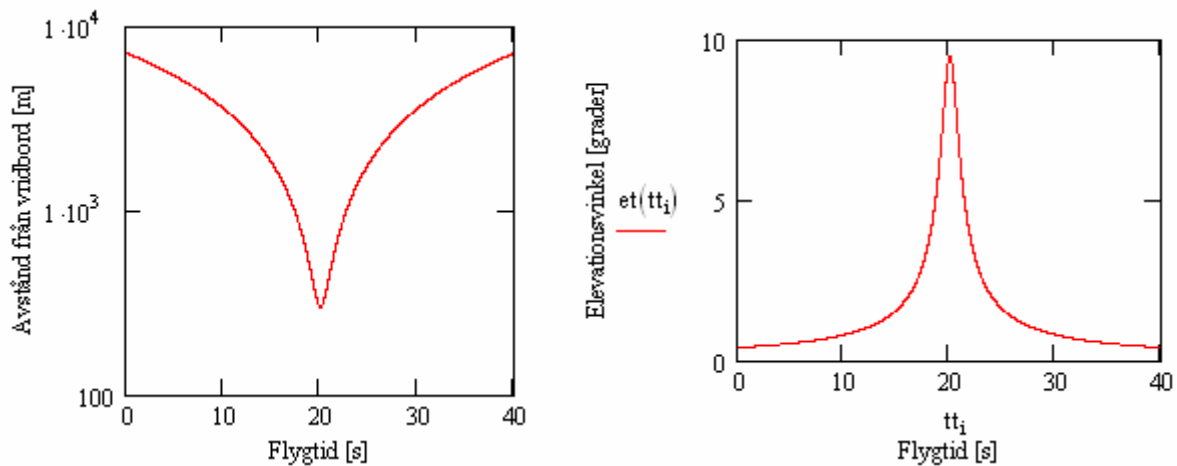


**Figur3.1:** Princip situation vid användning mot flygande föremål, figuren från [10].

En typsituation med målföljning mot flygande mål som helikopter eller stridsflygplan kan användas för att ställa realistiska krav målföljningssystemets vinkelvridningshastighet och acceleration. Det innebär tillräckligt flexibel situation för att hitta de hörnpunkter i den kravspecifikationsmatrix som skall fastställa de nödvändiga systemprestanda som efterfrågas. Här har helikopterns och stridsflygplanets rörelse begränsats något till realistiska provsituationer.

En plattform som inriktas mot flygmål är grundförutsättningen. Det innebär antingen en helikopter eller ett stridsflygplan som rör sig längs en rak bana som passerar uppställningen på ett avstånd som kan variera, normalt inte kortare än ca 300 – 500 m. Helikoptern antas ha en nominell hastighet av ca 200 km/h, horisontellt. Inget antagande om flyghöjd för helikopter har gjorts men den förväntade flyghöjden kommer att vara låg.

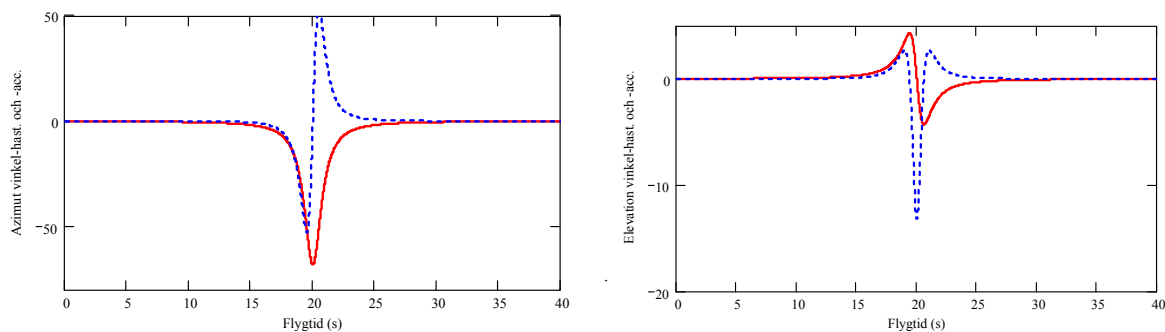
Flygplanet antas flyga med hastighet strax under ljudhastigheten, dvs. Mach 0,9 vilket motsvarar ca 300 m/s. Inte heller här gjordes något antagande om flyghöjd.



**Figur 3.2:** Flygavstånd (mätt på marken) t.v. samt elevationsvinkel för flygplan som passerar vridbord på 300 m avstånd och höjden 50 m.

Avståndet till målen har stor inverkan på den nödvändiga vinkelhastigheten eller accelerationen. Vid de beräkningar som genomfördes för att uppskatta vridmomentkraven antogs avståndet vara så kort som ner till ca 300 m.

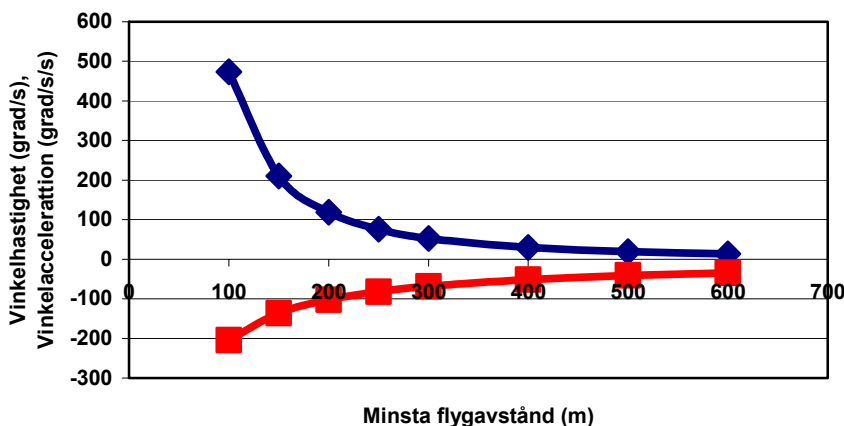
Denna typ av målrörelser ger upphov till hastigheter och accelerationer för vridningsvinkeln på sensorplattformen som återges i figur 3.3 för azimut respektive för elevationsvinkel.



**Figur 3.3:** Vinkelhastighet [ $^{\circ}/s$ ] (heldragen) och vinkelacceleration [ $^{\circ}/s^2$ ] (streckad) för azimut vinkeln t.v. och för elevationsvinkeln t.h. som funktion av flygtiden för mål som passerar plattformen på 300 m avstånd och höjd 50 m.

Vinkelhastigheten och vinkelaccelerationen som funktion av minsta flygavstånd visas i figur 3.4. Där syns att dessa parametrar ökar drastiskt vid kortare flygavstånd.

Dessa förutsättningar tillsammans med några förutsättningar för sensorstorlek, vikt och videomålföljare (typ och egenskap) lämnades till DST Controll AB, för att en bestämning av nödvändiga krav på moment och vridhastigheter skulle fastställas. Detta resulterade i en rapport, se referens [10].



**Figur3.4:** Vinkelhastighet (nedre kurvan) och vinkelacceleration (övre) i azimut som funktion av minsta målpassagavstånd.

I dessa beräkningar, se [10], gjordes några justeringar gällande exempelvis avstånd, som ökades till 500 m. Det uppfattades inte som så stor avvikelse att inte beräkningarna kunde användas för kravsättning.

I Strömbergs rapport, [10], ges ett typiskt fall med förbiflygning, rak bana, av ett mål förbi en plattform som följer målet. I rapporten antas att målets hastighet är 1000 km/h, dess avstånd från vridbordet är ca 500 m. Det innebär att vinkelhastigheten och vinkelaccelerationen når sina hösta värden vid, samt strax före och efter passage.

Minsta flygavstånd	500 m
Flyghastighet	1000 km/h
Max vinkelhastighet	< 35 %/s
Max Vinkelacceleration	< 15 %/s <sup>2</sup>

**Tabell 3.1:** Typiskt beräkningsexempel med data tagna från [10].

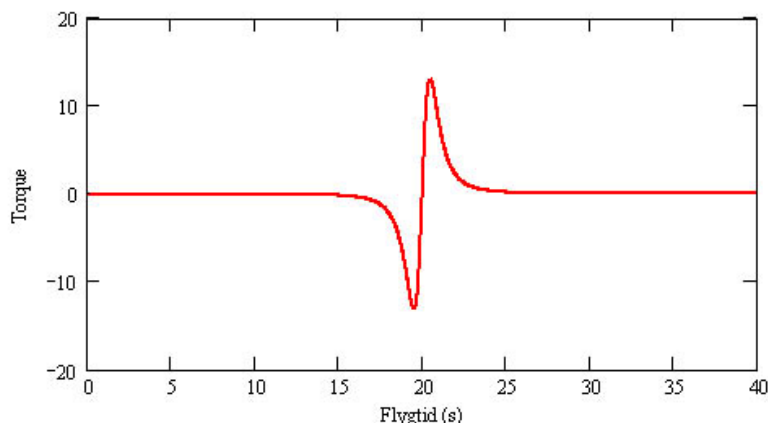
Utifrån de krav på laster och en tänkt fördelning på en typisk vridplattform beräknades de moment som lasterna kommer att ge upphov till. Med de ovan angivna vridhastigheterna och vridaccelerationerna erhöles momenten som ges i tabell 3.2 nedan.

Rörelse	Moment
Azimut	14,3 kgm <sup>2</sup>
Elevation	7,4 kgm <sup>2</sup>

**Tabell 3.2:** Beräknade moment som krävs för att vrida plattformen med tillräcklig hastighet och acceleration enligt [10].

Dessa vridaccelerationer tillsammans med momentet för lasten ger ett vridmoment från enbart lasten, se figur 3.5. Dessa figurer visar tydligt att de största påkänningarna på

utrustningen sker just då målet passerar. Vridmomentet är samtidigt en indikation på hur stor effekt som krävs för att vrida lasten så att målet följs.



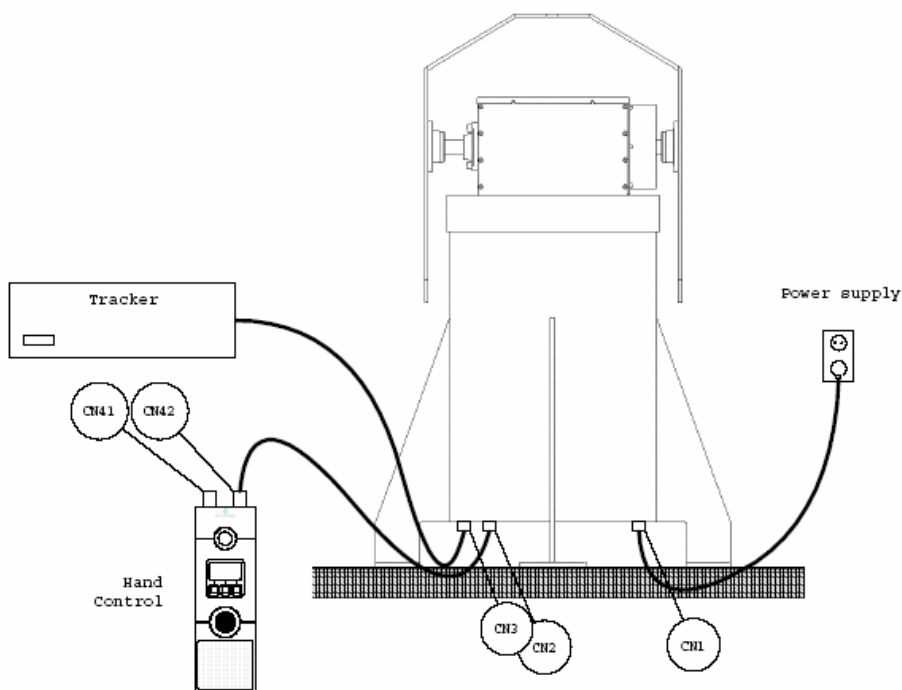
**Figur 3.5:** Vridmoment som funktion av målets flygtid, beräknat i denna figur för flygpassage på 300 m avstånd.

Ytterligare krav ställdes på utrustningen för att klara varierande temperaturer och väderlekar.

### 3.2 Vridbord från DST Control

Det vridbord som beställdes av DST Control, Linköping är ett tvåaxligt rörelse plattform. DST Control kallade utrustningen ”FOI Mobile Optical Platform Mechanical System, förkortat MOPS. Systemet består av själva vridbordet, en handkontroll samt kablage för kraft och styrning. Kablage till styrningen består av kabel till videomålföljaren samt till handkontrollen, se figur 3.7.

Vridbordet är byggt med glappfria motorer samt med vinkelavkännare. Noggrannheten hos systemet är i storleksordningen  $<100 \mu\text{rad}$ . Kravet ställdes från början till ca  $350 - 500 \mu\text{rad}$ . Den verkliga noggrannheten är inte testad ordentligt vare sig vid statiska eller dynamiska förhållanden.



**Figur 3.7:** Principskiss över delarna av vridbordet. Målföljaren har ersatts av LinovaTrackern från Linova AB.

I figur 3.6 syns vridbordet monterat på släpkärnan vid test genomförda under sommaren 2004. Bilden visar konstruktionen på släpkärnan med den isolerade skyddshuven som dras över utrustningen vid transport och förvaring. En luftavfuktare finns monterad på kärnan för att under exempelvis natten till nästa dags prov ha möjlighet att torka utrustning, om utrustningen utsatts för regn eller snö.



**Figur 3.6:** Vridbordet fotograferat stående på specialbeställd släpkärna vid test i juni 2004.

Ett antal tester eller prov genomfördes under hösten för att exempelvis anpassa styrsystemets reglerparametrar till monteringen på släpkärnan.

### 3.3 Videomålföljare LinovaTracker

En videomålföljare för att underlätta styrningen av vridbordet beställdes av Linova AB. Videomålföljaren kallas av Linova AB för LinovaTracker. Den är utvecklad för att ta emot

analog videosignal från en monokrom videokamera och leverera styrsignaler till vridbordssystemet från DST Control AB.

Videomålföljarsystemet LinovaTracker innehåller videomålföljare, system för synkronisering av bildfiler och vridbordsvinklar i azimuth och elevation, ett system för sparande av videomålföljarens bilder i bildfiler, GPS position, GPS tid och system för programkörning av vridbordet. Detta är installerat i två PC-datorer som har anslutningar så att systemet kan anslutas till DST Control's vridbord. Videomålföljaren och de övriga funktionerna är skrivna som s.k. java applikationer, delvis skrivna i J++ och C++.

LinovaTrackersystemets videomålföljare är en korrelationmålföljare med Kalmanfiltrering som använder sig av videobilder. Videomålföljaren kan använda video-PAL eller någon annan typ av videobild. Hittills har endast en liten gråskale-PAL video kamera från Watec samt en IR-kamera (IRK2000, IRMA kamera från SAAB Tech) med analog videoutgång används vid videomålföljning. Endast videokameran från Watec har använts då systemet varit kopplat till vridbordet. Videomålföljaren är endast tänkt för följning av mål vid prov och test och därför har inte prestanda för svåra miljöer eller knepiga följesituationer efterfrågats. Den typen av avancerade videomålföljare är inte ekonomiskt försvarbart i denna typen av utrustning.



Figur 3.7: Datorkabinett med två PC-datorer med bland annat vidomålföljarsystemet LinovaTracker installerat.

Systemet för att spara videobilder vid målföljning, kallas ImageSaver i applikationen, kräver att två olika PC-datorer, med operativsystemet Window XP, måste användas. Detta då belastningen av målföljningsalgoritmen gör att sparande av bilden inte klaras utan sparfunktionen skulle fördröja följealgoritmen.

Funktionerna GPS -tid och -position bygger på standard hårdvara och program Garmin GPS35 från Garmin Inc, Kansas, US som anpassas till systemet.

Synkroniseringssystemet använder sig av GPS-tid för att ställa datorernas klockor. Det finns möjlighet att ställa tiden med fasta intervall. Den synkroniserade datortiden används sedan för att märka sparade bildfiler från videomålföljarens bildsparningsprogram. Datortiden används dessutom för att logga vridbordets vridning i både azimuth och elevation i en speciell loggfil.

### 3.3.1 Test av videomålföljare

Videomålföljarens uppgift är att styra inriktningen av vridbordet och dess utrustning mot mål som skall mätas in eller följas. Då denna uppgift skall fullföljas under förhållanden som vanligtvis är rena från störningar så har kravet på videomålföljaren inte ställts för att klara

avbrott eller störningar i bildfältet. Det innebär att videomålföljaren inte nödvändigtvis klarar av att följa målet när den passerar buskar, träd eller andra föremål. Kravet ställdes i jämförelse med en kommersiell videomålföljare, Adapt 20 från Octec, England.

Möjligheten att testa en videomålföljare föreligger framförallt vid praktisk hantering. Därför gjordes tester av LinovaTracker som jämförelse med Adapt 20 på videofilmer av flygplan som spelades upp på en LCD skärm, på radiostyrd bil på en gräsplan samt på trafik passerande på väg utanför FOI. Dessa tester genomfördes av Linova AB som slutfasen av deras utveckling av videomålföljaren och redovisas i [13]. Dessa tester visade att LinovaTracker klarade av de olika exemplen betydligt bättre än Adept. Den kvalitetsförsämring som filmning av en LCD skärm innebär gör att denna test inte ger rättvisa varken åt LinovaTracker eller Adapt 20.

Videofilmerna hämtades ur arkivet av gamla mätsekvenser alternativt egna videofilmer. En sammanställning av resultatet ges i tabell 3.3: LinovaTracker klarade 19 av de 20 testerna medan Adept 20 klarade 7 av samma videofilmerna.

Videofilm	LinovaTracker	Adept 20	Kommentar
Car4	4/4	1/4	Radiostyrd bil körde runt på gräsmattan utanför FOI. Bilden av bilen förändrades kontinuerligt då den körde runt en bana och visade hela varvets aspektvinklar.
Plane 1	4/4	2/4	Propellerdrivet militärt transportflygplan filmat vid provvarv under ett signaturförsök. Typisk provsituation.
Plane 3	4/4	1/4	Motsvarande plane 1 men en annan sekvens, sämre kontrastförhållanden.
Topgun 1	4/4	0/4	Sekvens av startande passagerarflygplan vid start. Sekvensen hämtat från TV sändning. Dålig kvalitet på videofilmen.
Man	3/4	3/4	Man går på startbanan på flygplats.

**Tabell 3.3:** Jämförelse mellan vidoemålföljare LinovaTracker och Adept 20 vid tester mot förinspelade videofilmer. Fyra tester av genomfördes för varje film och varje videomålföljare.



Figure 3.7: Bilder hämtade från filmsekvens Plane 1 som användes för att testa videomålföjlarna LinovaTracker och Adept 20.



Senare har videomålföljaren tillsammans med vridbordsystemet testats mot framförallt bilar, andra fordon, cyklister och promenerande längs vägar i närheten av FOI. Ett planerat försök mot inhyrt målflyg har av olika anledningar ställts in vid ett flertal tillfällen. Detta prov återstår att genomföra.

### **3.4 Diskussion**

Vridbordet tillsammans med videomålföljaren kommer att vara en generell resurs för test och försök för olika ändamål. Dess prestanda, gällande laster och vridningshastigheter och accelerationer, är tillräckligt goda för att inrikta optiska instrument och kameror för att följa rörliga mål. Möjligheten att följa mål har visat sig god i de tester som genomförts.

Prestanda gällande inriktning med mycket hög inriktningsnoggrannhet, under tiotals µrad, har inte testats. Det har inte varit någon målsättning att bygga någon utrustning med den typen av prestanda. Noggrannhet av den storleksordningen byggs bättre med gyrokontrollerade speglar, se exempelvis LYSA-utrustningen, se [18].

## 4 Stimulator

Utrustning för simulering av robotflamsignaturer för test och prov av robotvarnare eller andra multispektrala sensorer kallas i detta sammanhang för stimulator. Det finns ett antal stimulatorer på marknaden avpassade för att testa operationell utrustning på flygplan såsom robotvarnare. Dessa stimulatorers signatur måste spektralt efterlikna de hotsignaturer som varnarna skall varna för. Signaturerna skall efterliknas på ett sådant sätt att de inte förorsaka skada eller anses kunna utgöra en risk för dess omgivning, varken i ett labb eller på flygfält.

Kraven som ställs på en stimulator, tänkt att användas vid varnarprov eller vid test av nya typer av multispektrala sensorer, är inte lika höga gällande hanterbarhet som de kommersiella stimulatorerna. Däremot kan kraven på spektralintensitet inom olika områden vara annorlunda och i vissa fall mer omfattande.

Vid inköp av dessa kommersiella stimulatorer förväntas köparen att ange vilken varnare som skall testas och hur den spektrala känsligheten är hos dessa varnare. Stimulatorerna är alltså av mycket specifik karaktär och inte gjorda för varierade tester med möjlighet att påverka strålningen. Studier av varnare kräver därför andra typer av stimulatorer som kan leverera spektrala intensiteter som så långt som möjligt stämmer överens med riktiga hotsignaturer.

För att undersöka både behovet spektrala intensiteter och för att hitta olika strålningskällor som kan generera tillräckligt med strålning i specifika delar av spektrat genomfördes ett antal mätningar irradiansmätningar. Mätningarna gjordes i våglängdsområdena för UV-strålning, visuella våglängdsområdet samt för IR-strålning.

Med utgångspunkt från dessa mätningar genomfördes bygget av ett par prototyper av stimulatorer. Dessa tagits fram och för att testas. Arbetet har dessutom haft influens på byggandet av IR-mål vid olika försök, se exempelvis [17].

Detta kapitel behandlar dels mätningar av olika ljuskällors signaturer och något om stimulatorprototyp som byggdes och testades.

### 4.1 Mätning av strålkällor

#### 4.1.1 Mätutrustning

Vid mätningarna nyttjades en FTIR-spektrometer från Bomem benämnd MR254, en gitterspektrometer från ORIEL benämnd Instaspec IV, för UV-spektrat, samt en echellespektrometer av typen Mechelle Spectrograph från Multichannel Instruments AB, Stockholm, för visuella spektrat. Instrumenten användes både vid ljuskällemätningarna samt vid proven av förbränningsmotorerna. Här redovisas inte de visuella spektra som samlades in då kalibreringsmetoden inte klarade av att justera ofullkomligheter i detektoreffektiviteten. Detta gjorde att de visuella spektra som samlades är svårtolkade.

##### 4.1.1.1 FTIR-spektrometer

Vid mätningarna var spektrometern monterad i ScanSpec-mod, [2], varför strålkällorna studerades via en spegel. Avståndet mellan mätobjekt och spektrometers objektiv varierade något för de olika källorna men var i storleksordningen 7.5 m, (1.25 m för PulsIR). Spektrometern nyttjades med ett objektiv med en FOV på 3.2° vilket gav ett synfält vid strålkällorna på ca 0.4 m. Detta innebar att samtliga mätobjekt låg väl inom spektrometers synfält.

Mätningen på PulsIR gjordes tidsupplöst med spektralupplösningen  $16 \text{ cm}^{-1}$ , för att komma åt lampans nivåmässiga variation. I den påföljande analysen, för samtliga registreringar med lampfrekvensen 1 Hz, beräknades ett medelvärde av de nivåmässigt största spektrerna. I de fall då frekvensen var högre beräknades ett medelvärde för samtliga spektra. För övriga strålkällor gjordes registreringar med spektralupplösningen  $4 \text{ cm}^{-1}$ . Intensitetsvariationen över tiden antogs liten för de övriga ljuskällorna varför inga tidsupplösta registreringar gjordes.

Kalibrering och analys genomfördes enligt [5], dock gjordes ingen kompensation för strålningens dämpning på grund av atmosfärsabsorption. För själva kalibreringsmätningarna nyttjades en svartkroppsstrålar från Infrared Industries, se [5]. Utdata från mätningarna är kalibrerade intensitetsspektra för de olika strålkällorna i  $\text{W}/(\text{sr cm}^{-1})$ . Integrerade värden inom våglängdsintervallet  $3.8\text{-}5 \mu\text{m}$  presenteras för samtliga mätfall.

#### 4.1.1.2 Gitterspektrometer

En gitterspektrometer av typen ORIEL Instaspec IV användes för mätningar i UV-området. Spektrometern, hantering och teori för utvärdering av data finns beskrivna i [2]. Mätningar gjordes med och utan filter framför spektrometern. Filtren användes för att undertrycka ströljus i möjligaste mån. Metoden för detta är beskriven i [2] där även transmissionskurvor för filtren finns. Filtren kontrollmättes i samband med mätningarna på flammor. Parametrar för gitterspektrometern vid mätningen finns i Tabell 4.1.

**Tabell 4.1:** Parametrar för gitterspektrometern.

Parameter	Värde
Insamlingmod	Real time, irradiance
Spektralområde	218 - 392 nm
Spaltbredd	0,2 mm
Synfält	ca 8 x 8 grader
Konfigurationsfil	irr1.cfg
Filter	utan, U340, I300, I280, I260, I240, I220
Integrationstid	0,025 - 1 s
Avstånd	0,94 - 5,68 m

Kalibrering av spektrometern skedde i lab 2001-10-23. För våglängdskalibreringen användes Hg-lampa och för nivåkalibreringen deuteriumlampa UV-40, kalibrerad augusti 1999.

## 4.2 Ljuskällor

### 4.2.1 Signaturer hos flammor från krutladdningar

En serie spektral mätningar genomfördes för att kartlägga strålningsegenskaperna hos tre typer av fastbränslemotorer (laddningar). Det var en drivladdning till närlysraket, en krutmotor med kompositkrut (HA80) samt en motor till en meteorologisk raketsond.

Mätningarna utfördes vid Grindsjöns skjutplats under 2001-12-04--05 tillsammans med Bengt Eiderfors, Stefan Olsson och Bertil Sandberg vid Institutionen för Framdrivning och stridsdelar. Organiseringen, iordningställande av all nödvändig utrustning och genomförande av skjutningen samt hanteringen av alla tillstånd för skjutningen sköttes av Institutionen för Framdrivning och stridsdelar. Strålningsmätningen sköttes av Institutionen för IRsystem och Lasersystem.

Här följer en kort presentationer av de tre fastbränslemotorerna.

## Närlys

Den första raketen kallades närlys, vilket är en liten krutmotor. Motorkruset är ett fenolharts-krut som kan anses vara något ålderdomlig typ. Brinntiden var några sekunder.

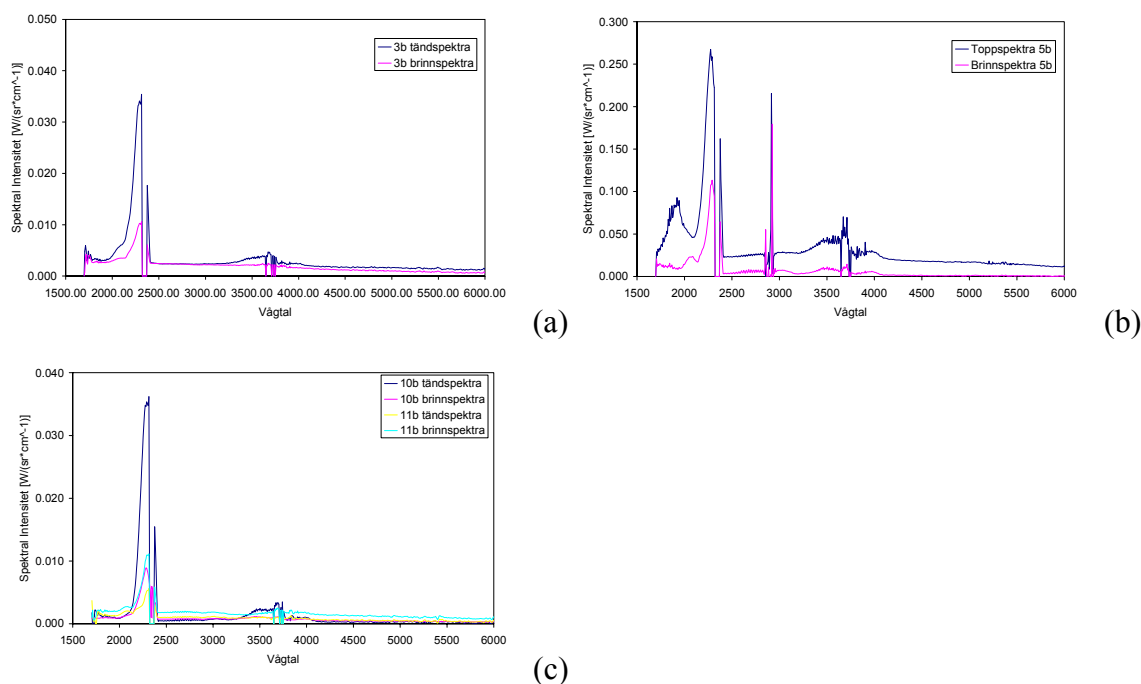
## Motor3

En speciell provmotor med beteckningen Motor 3 laddades med ett kompositkrut med beteckningen HA80. Denna modell var oerhört intensiv i startskedet, vilket i princip var hela brinnförloppet. Motorn brann ca 0.7 sekunder. Längden på flammen var större än synfältet på vissa av mätinstrumenten varför inte den totala strålningen erhöles.

## Vaisala raket

Den tredje motorn som undersöktes är en raketsondmotor, tillverkad av Boulder Operations [6], till en raketsond från Vaisala OY med beteckning Vaisala RK91 Rocketsond. Det är en svagare raketmotor, som nyttjas av FOI för att skjuta upp raketsond för mätning av meteorologiska parametrar i luften till en höjd av ca 1100-1200 m.

Raketmotorn har av tre delar eller steg. Det första steget skjuter upp raketsonden, då motorn brinner under kort tid och ger raketten en kraftig impuls. Nästa steg är en fördröjningsladdning för att raketsonden skall hinna flyga upp till rätt höjd. Sista steget frigör sondens sensorer genom att övre delen av raketten sprängs iväg från rakethylsan. Liknande motorer, men med något svagare drivladdning, används för uppskjutning av hobbyraketer.

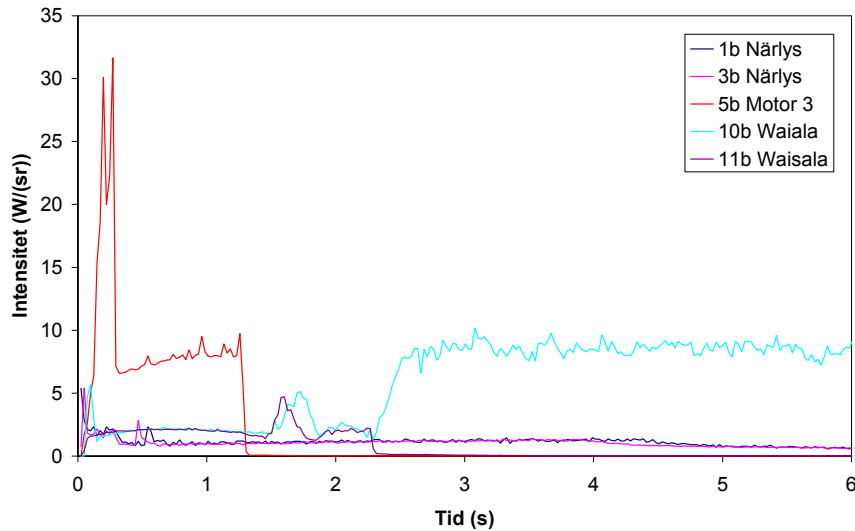


**Figur 4.1:** IR spektrat från bränning av tre motorer. Där a/ är närlys, b/ motor 3 samt c/ är Vaisalas drivmotor till vädersond RK91. Kurvorna beskriver startfas och brinnfas.

Motorerna har i IR-våglängdsområdet starkaste spektrala irradiansen under tändfasen, med betydligt högre irradians över hela spektrat. Karaktäristiskt är dessutom kolmonoxidtoppen som ligger strax under  $2300\text{ cm}^{-1}$  (motsvarande ca  $4\text{ }\mu\text{m}$ ) samt vattenmolekylens spektra som finns mellan  $3300\text{--}4200\text{ cm}^{-1}$ , se [15] för vidare diskussion om fastbränslemotor spektra.

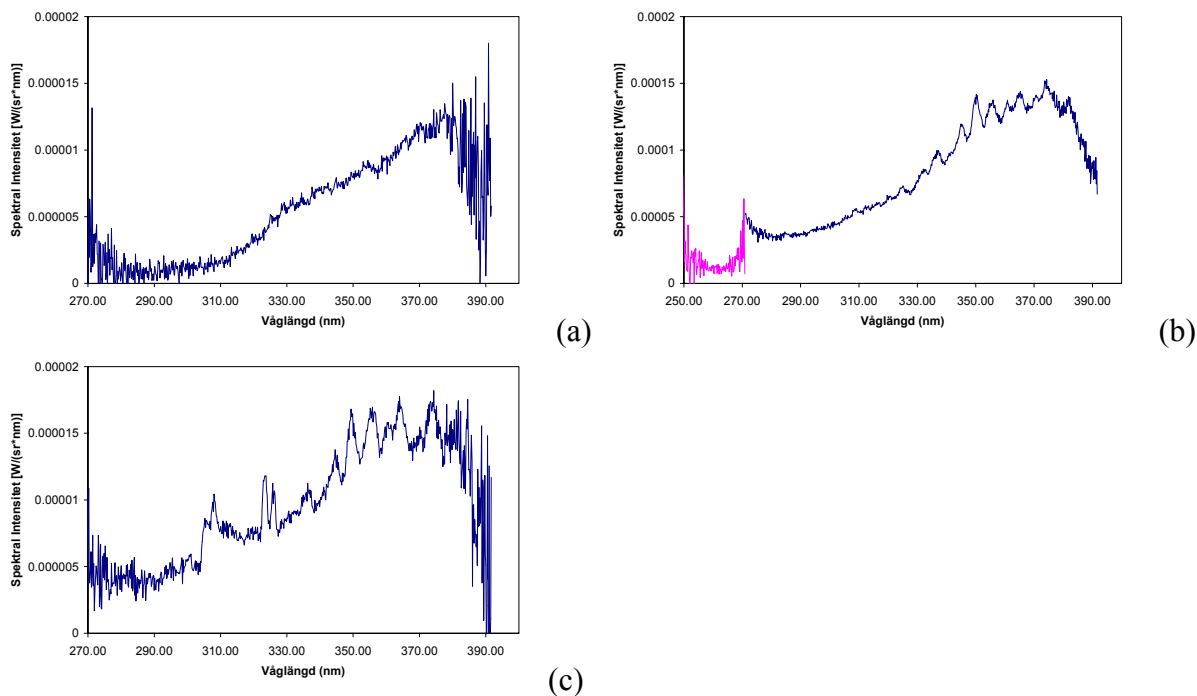
Det integrerade spektrala irradiansen, dvs radianta intensiteten ( $\text{W}/\text{Sr}$ ), från mätningarna visas för några av de testade motorer i figur 4.2. Markant är den kraftiga spiken i tändfasen av

motorbränningen. Motor 3 och Närlys visade en stark intensitet under tändfasen och en något svagare irradians under brinnfasen. Vaisalamotorerna följer exakt det samma mönstret som andra raketmotorer med en startfas och en drivfas med betydligt lägre irradians. Därefter har Vaisalamotorn en paus (möjligtvis inte så tydlig) samt en ny tändfas för att separera motorsteget från mätsonden som är tänkt att falla tillbaka till marken. Figuren 4.2 visar att något har hänt ca 2,5 s efter start i en av Vaisalamotorerna.



**Figur 4.2:** Intensitetsvärden integrerat över IR-området som funktion av tiden för de olika motorerna.

UV-spektrat visar kontinuerligt sjunkande irradians med ökande energi, dvs med minskande våglängd. Detta är naturligt då eventuella partiklars svartkroppstrålning minskar med minskande våglängd dessutom är atmosfären optiskt tätare längre ner i våglängd (spektralt).



**Figur 4.3:** UV spektrat från bränning av tre motorer. Där a/ är Närlys, b/ Motor 3 samt c/ är Vaisalas drivmotor till vädersond RK91. Kurvorna är medelvärde hämtat från den intensivaste brinnperioden.

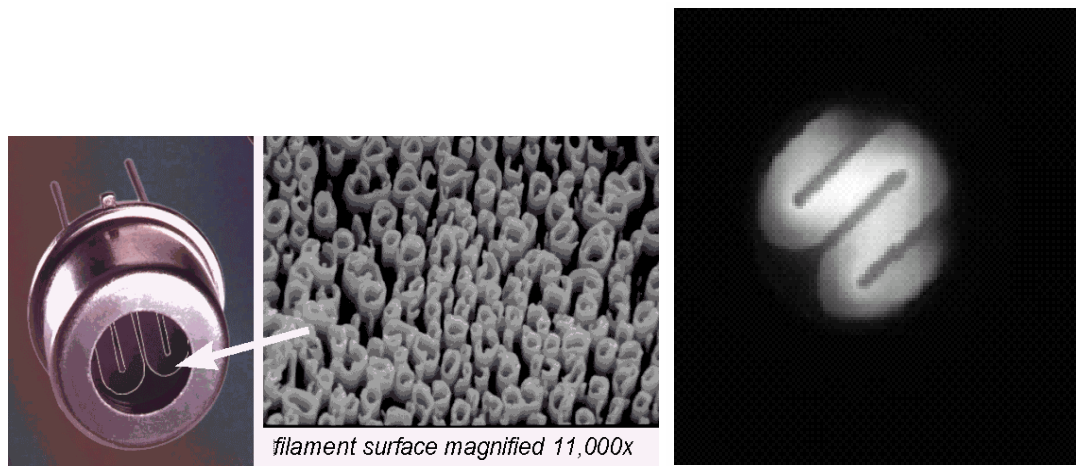
## 4.2.2 Övriga ljuskällor

I sökandet efter ljuskällor till stimulator testades olika typer av svetsar samt andra typer av ljuskällor. Vid mättillfället genomfördes mätningar på ett antal olika källor. Vissa av dem testades även vid olika driftsfall. Följande listning beskriver kort de olika källorna samt de olika driftsfallen.

### PulsIR

PulsIR är en elektrisk IR-källa från Ion Optics, Inc, Waltham, MA, USA, som erbjuder möjligheter till ett antal olika driftsfall. Lampan är avsedd för spektroskopiska studier och gasanalys enligt tillverkarna.

I de inledande mätfallen kördes lampan med 1Hz och en pulsbredd på 28.4% med olika temperaturer, 500-800° C i steg om 100° C. Avslutningsvis kördes lampan på 500° C, med frekvensen 10Hz och pulsbredderna 10% och 50%.



**Figur 4.4:** PulsIR ljuskällan, bilden hämtad från Ion Optics, Inc broschyrer .

### Fotogenlampa

En fotogenlampa av traditionell modell testades i samband med de övriga mätningarna. Denna kördes bara i en mod. Transmissionen genom fotogenlampans glas mättes upp med hjälp av svartkroppen från Infrared Industries. I de presenterade intensitetsspektra har ingen kompensation för glasets transmission gjorts. Avstånd mellan källan och spektrometern var ca 0,5 m.

### Gasol

Irradiansen från en vanlig gasolbrännare med ett litet och ett stort munstycke för verkstadsbruk registrerades. Gasolen som användes var standard propanol inköpt från en bensinstation. Det gjordes ytterligare analys av innehållet i gasen.



**Figur 4.5:** Gassvetsmunstycke (t.v) och gasolbrännarmunstycke med lågor.

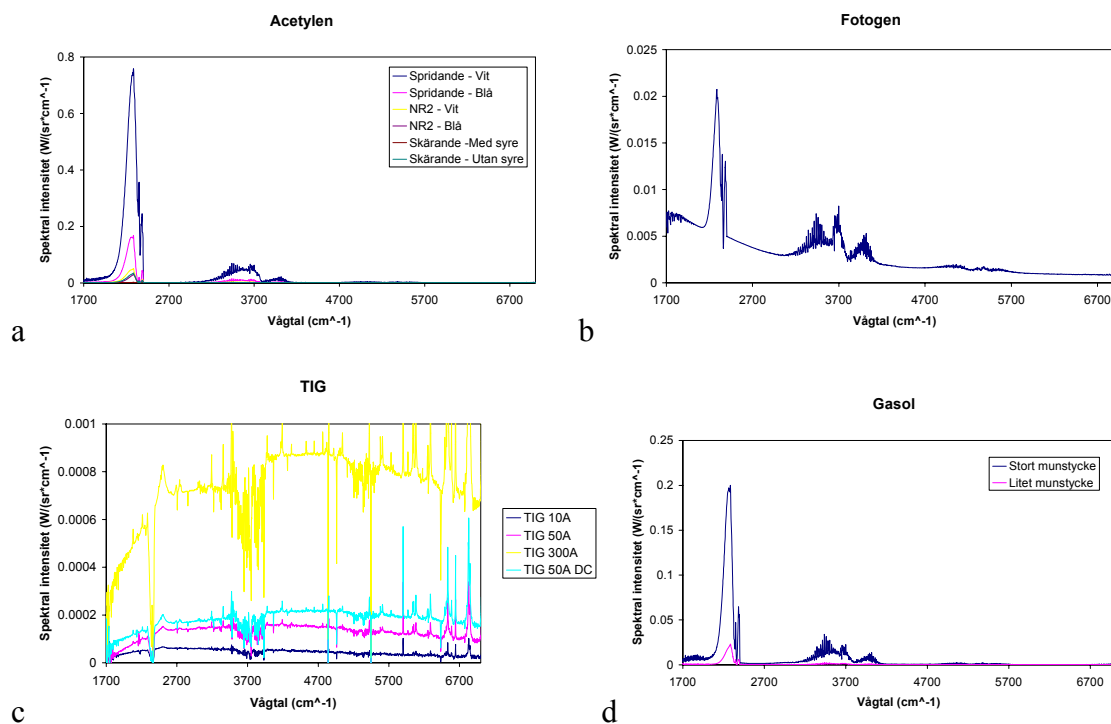
### Acetylensvets

En acetylensvets nyttjades med tre olika munstycken benämnda, Spridande, NR2 och Skärande, där det sistnämnda skiljer sig från de två övriga på det viset att syrgasen har en egen kanal i centrum. I de övriga två blandas syre och gas före munstycket. För samtliga tre munstycken varierades graden av tillgängligt syre. Om syretillgången i lågan stryps så erhålls en vitare och större låga då förbränningen istället sker med syre i luften.

### TIG-svets

En TIG-svets registrerades då den kördes mot en kopparplatta. Svetsen kördes vid likströmmarna 10A, 50A och 300A samt en gång även med 50A växelström.

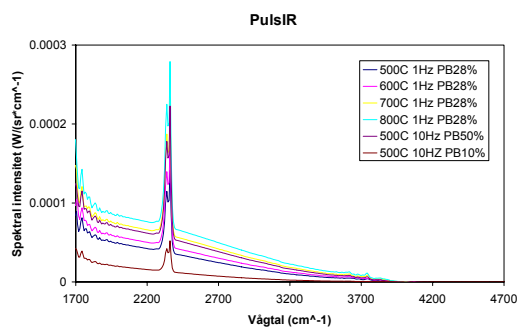
Mätningarna genomfördes i svetshallen tillhörande verkstadsgruppen vid FOI i Linköping. De olika strålkällorna krävde något olika positionering i rummet. Alla källor utom PulsIR placerades var och en på ett stort arbetsbord ca 3-4 m från spektrometrarna. PulsIR var så svag att den placerades mycket närmare FTIR-spektrometern.



**Figur 4.6:** IR-spektra från olika brännare och svetsar, a/ acetylen, b/ fotogen, c/ TIG-svets samt d/ gasolbrännare.

Gassvets, gasolbrännare och fotogenlampan visade alla de karaktäristiska koloxidtopparna samt vattentopparna som även finns i spektrat från raktmotorerna. Gasollågan visar dessutom ett relativt starkt svartkroppsspektrum. TIG svetsen visar helt annan karaktäristisk i spektrat. Detta har inte analyserats men det finns en svartkroppsstrålning motsvarande en temperatur på ca 1200-1500 K och dessutom ett antal intensiva spektrala linjer.

Spektrat från den speciella IR-ljuskällan IRpuls som enligt tillverkarna används för att simulera IR-ljuskällor vid testanläggningar för HWIL prov, visar det typiska koloxidspektrat samt en svartkroppsstrålning som liknar gasollampans utseende. Det finns dock ingen vattenmolekyl topp i spektrat från IRpuls. Svartkroppsstrålningen visar inte något maximum inom det uppmätta området vilket indikerar att svartkroppsstrålningen är definitivt mindre än 500 K. Den låga temperaturen i svartkroppsstrålningen motiverar antagandet att en stor del av strålningen kommer från uppvärmda delar av glaset eller kapseln kring ljuskällan.





**Figur 4.7:** IR-spektra från speciella IRpuls-ljuskällan som används, enligt tillverkarnas uppgift, för simulering av IR-ljus i stimulatorer.

IRpuls-ljuskällan är mycket liten och spektrala irradiansen är tämligen svag. Det gör att ett stort antal ljuskällor behöver sättas samman för att få till den ljusstyrka som krävs för att väcka en varnare på långt avstånd.

### 4.3 Stimulator

En stimulator bör kunna generera strålning vars tidsförlopp efterliknar en tändpuls samt driv- eller brinnförlopp hos raketmotorer, eventuellt med något lägre i intensitet. Dessutom bör både IR-spektrat och UV-spektrat kunna genereras på dessa egenskaper för att ha en fullständig testutrustning för varnare.

En metod att konstruera en strålkälla med dessa egenskaper är att återanvända raketmotorer eller andra pyrotekniska utrustningar, exempelvis gamla krutladdningar. Detta ansågs inte lämpligt för att testa elektrooptiska system, mer än tillfälligtvis vid enstaka försök på skjutfält. Det behövdes utrustning som kan hanteras vid tester i labb miljöer eller på icke avlysta försöksfält.

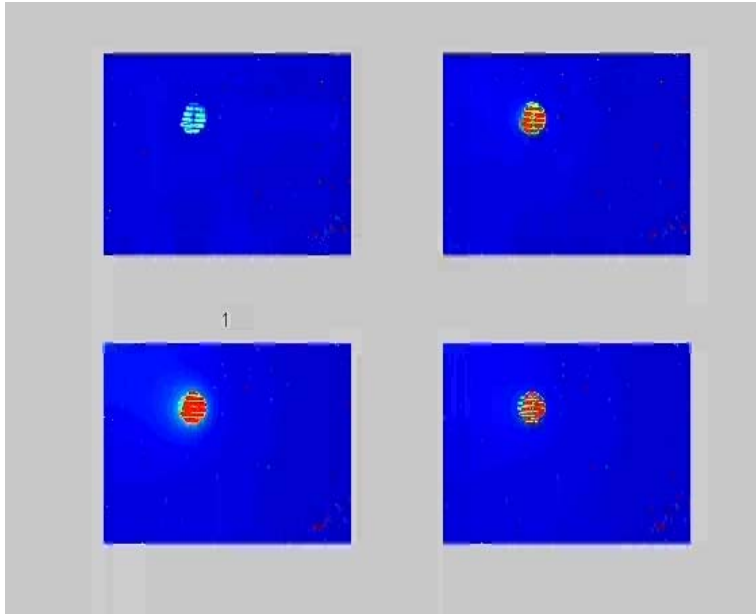
De olika spektrala områdena IR och UV kan hanteras var för sig då de ofta separeras i olika detektorer. Detta då det av tekniska skäl är svårt att skapa detektorer som är tillräckligt snabba och känsliga i hela optiska spektrala området.

En prototyp konstruerades, se bild 4.8, som bygger på användningen av både svartkroppsstrålningen hos en relativt het kropp samt spektrala egenskaper hos gasolflamman. För att få möjlighet att styra irradiansen som funktion av tiden byggdes denna ljuskälla kring en signallampa med jalusi. Senare byggdes en motorstyrning av detta jalusi.



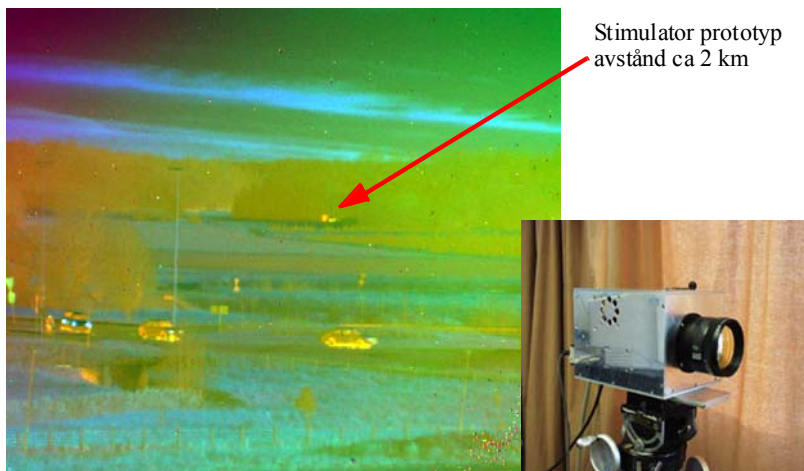
**Figur 4.8:** Prototyp av stimulator som använder både en svartkroppsstrålar och gasolbrännare. Framför ljuskällan är ett jalusi monterat för att kunna variera intensiteten.

I figur 4.9 finns en bild från en videoupptagning där stimulatorprototypen filmades med MultiMIR-kamera, AIM (AEG Infrarot –Module), se referens [15] för mer information om IR-kamerasystemet. Bilden är uppdelad i fyra olika fält representerande varsitt spektralt område. De i bilden använda filtren är: 1,55-1,75  $\mu\text{m}$ , 2,05-2,45  $\mu\text{m}$ , 3,45-4,15  $\mu\text{m}$  samt 4,55-5,2  $\mu\text{m}$ . Intensiteten ökar med rött och gult medan blått innebär låga nivåer.



**Figur 4.9:** Stimulatorprototypen visad i fyra olika våglängdsområden registrerade med MultiMIR-kamera. Bilderna är tagna på mycket nära avstånd för att registrera spektrala fördelningen.

Stimulatorn testades mot MultiMIR kameran även på längre avstånd, cirka 2 km, se figur 4.10. Denna bild visar att stimulatorn ger tillräcklig energi för att detekteras av en tämligen avancerad varnar. Signalens karaktäristik bör vara sådan att en varnare kommer att upptäcka och klassa stimulatorns signal som IR-strålning från en robotflamma.



**Figur 4.10:** Signaturen hos stimulator prototypen på ca 2 km avstånd i en realistisk miljö, fälten utanför FOI Linköping. MultiMIR-kameran använde hela dess känsliga våglängdsområde. Till höger är en bild på MultiMIR-kameran.

Ett börkrav på stimulatorn är att den skall vara relativt lätttrölig, lätthanterlig och helst inte kräva stora mängder elektrisk energi.

## 5 Diskussion och slutsatser

I projektet "Värdering Telekrig i elektrooptiska sensorer" har aspekter kring telekrigsduellen studerats samt diskuterats. Resultatet innefattar dels diskussion om värderingmetodik, utvecklande av utrustning för att genomföra test och försök samt för att kunna genomföra den utvecklingen innefattades även undersökning av grundläggande delar av signaturen hos olika strålkällor, exempelvis raketmotorer.

Robothotet mot flyg och helikopter anses idag dominerat av retikelmålsökare med eller utan primitiv mot-motmedelsfunktion. Detta gör att studier av gamla typer av målsökare bör fortsätta, speciellt i skenet av terroristhotet med många bärbara luftvärnsvapen s.k. MANPAD.

En slutsats från värderingsmetodikstudien är att det idag saknas standardiserade metoder att värdera och utvärdera störutrustning inom laserområdet. Störeffekten och dess inverkan bör kvantifieras med ett eller flera måttal. Dessa måttal bör definieras och anpassas till operatörs- och systemnivåer.

Arbetet med att analysera värderingsmetodiken bör fortsätta för att förbättra och utveckla metodiker för att utvärdera nya typer av motmedel och för att förbättra metoderna att värdera sedan tidigare kända medel eller motmedel. En metod att göra detta är att inrikta diskussionen mot mera konkreta fall där ett skyddsobjekt väljs för en värdering mot ett fåtal olika hot.

Den totala värderingen av nya typer av motmedelssystem, exempelvis lasermotmedel (DIRCM) bör genomföras. Denna totala värdering bör innefatta både värdering på taktiska och tekniska nivåer. Några frågor som är av intresse vid värdering av nya motmedel är exempelvis; blandning av motmedelssystem (DIRCM och facklor); skyddande av annat objekt, exempelvis annan helikopter som inte utrustats med dessa motmedel; då många optiska system finns inom räckvidden.

Instrumenterade målsökare monterade på vridbord på marken eller i flygplan som metod att värdera genom jämförelse, exempelvis motmedel och medel, bör utredas ytterligare.

Varnarfunktionens prestanda är helt avgörande för att effektivt använda motmedel, gäller både traditionella fackelmotmedel liksom lasermotmedel. Därför behöver arbetet med att utveckla utrustning för att generera olika robotsignaturer och för att testa robotskottsvarnare fortsätta.

## 6 Referenser

1. Kincade K.; (2004). Vision Systems. Photon sieves enhance weapons vision. Laser Focus World, pp. 34-35, February 2004.
2. Nilsson C. and Nilsson P.; (1999). Measurement Equipment at the Department of IR Systems, FOA rapport, FOA-R--99-01111-615--SE, April 1999.
3. Nilsson P., Nilsson C. och Gustafsson O.; (2001). Strålningsmätning av flammor. FOI rapport, FOI-D--0026--SE, November 2001.
4. Kindvall G.; (2002). Värdering av telekrig, FOI-R-0691-SE, December 2002
5. Nilsson P. m.fl.; (1996). Optiska strålningsmätningar av tjudrad robot 27, rapport FOA-RH--96-00122-3.1, maj 1996.
6. Boulder Operations, 8401 Baseline Rd., Boulder, CO 80303, USA.
7. Gustafsson, K. O. S (red); (2004). Värderingsmetodik inom projektet Värdering Telekrig I ElektroOptiska sensorer. Kommande FOI rapport.
8. Gustafsson, K. O. S., Hågård A., Karlsson E., and Persson R.; (2002). Vågutbredningsanalys för elektrooptiska system. FOI Användarrapport FOI-R- -0513--SE, Juni 2002.
9. Steinvall O. och Sjökvist L.; (2003). Kulor av ljus – Översikt av tillämpningar och teknik för laservapen. FOI-R--0920--SE, Juni 2003.
10. Strömberg J.-E.; (2002). Tracking System Requirements. FOI Linköping Optical Radar Tracking Transportable Evaluation System. DST Control report, version 0.2.0, 2002-05-06, Linköping.
11. Strömberg J.-E.; (2003). User's Guide FOI Linköping Mobile Optical Platform System. DST Control, Linköping, Sweden.
12. Lundberg F. (2003).; Linova Tracker Manual. Linova AB, Linköping, 2003-11-03.
13. Lundberg F.; (2003). Test Report. Linova AB, Linköping, 2003-11-03.
14. Östman P. och Ericsson B.; (1999). Metoder för bildstörningsanalys. FOA rapport, FOA-R--99-01115-612--SE, April 1999.
15. Victor A. C.; (1996). Solid rocket plumes. Progress in Astronautics and aeronautics, vol. 170, Tactical missile propulsion. Ed. Gordon E. Jensen and David W. Netzer. AIAA, Virginia, USA.
16. Renhorn, I., Svensson T., Carlsson G., Letalick D., Larsson H. och Steinvall O.; (2001). Försök med multispektrala aktiva/passiva sensorer. Teknisk rapport FOI-R- -0290- -SE, 44 pp, December 2001.
17. Renhorn I.; (2004). Erfarenheter vid försök med robotskjutningar i Vidsel, föredrag 2004-06-08.
18. Bolander G., Allard L., Berglund F., Karlsson K., Larsson T., Nordell C., Steinvall O. och Widén A.; (2004). Förprov med LYSA hösten 2000. FOI underlagsrapport, FOI-RH--0013--SE, Maj 2002

## Appendix A

Tabell A: Tabell över vridbordets tekniska specifikation, hämtat från [11].

PARAMETER	VALUE
Mechanical gearbox backlash	Azm: 0.0° (preloaded backlash-free) Elv: 0.0° (preloaded backlash-free)
Mechanical torque	Azm: 213 (426) Nm continuous (peak) Elv: 90 (336) Nm continuous (peak)
Mechanical travel limits	Azm: ±170° Elv: ±95°
Maximum angular speed	Azm: 60 (70) °/s nominal (absolute maximum) Elv: 60 (80)°/s nominal (absolute maximum)
Maximum angular acceleration No load	Azm: 225 (450)°/s <sup>2</sup> nominal (peak) Elv: 630 (2400)°/s <sup>2</sup> nominal (peak)
Maximum angular acceleration Load case 1, Figure 2 in [11]	Azm: 155 (310)°/s <sup>2</sup> nominal (peak) Elv: 270 (1010)°/s <sup>2</sup> nominal (peak)
Maximum angular acceleration Load case 2, Figure 3 in[11]	Azm: 140 (220)°/s <sup>2</sup> nominal (peak) Elv: 190 (740)°/s <sup>2</sup> nominal (peak)
Angle sensor accuracy	Azm: 0.004° Elv: 0.004°
Angle sensor resolution	Azm: 0.00017° Elv: 0.00017°
Speed sensor resolution	Azm: 600, 000 /rev Elv: 600, 000 /rev
Environment	0 . . . + 50°C operating -30 . . . + 70°C storage
System weight (no payload)	270 kg
Payload capacity (balanced)	200 kg
Electric power supply	230Vac, ±20%, 0.7(1.5) kW nominal (peak)
Protective paint	Zinc based primer + RAL7035 two component Epoxi based finish