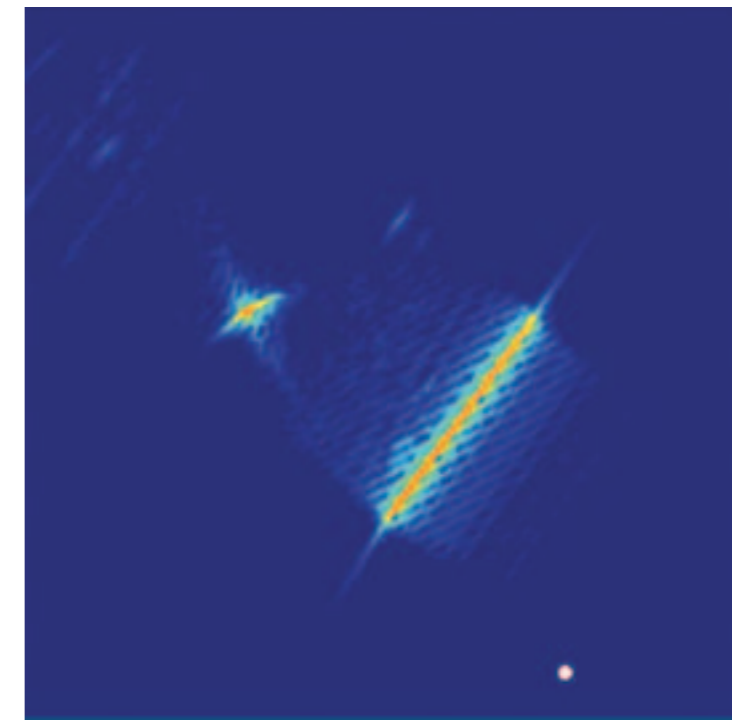
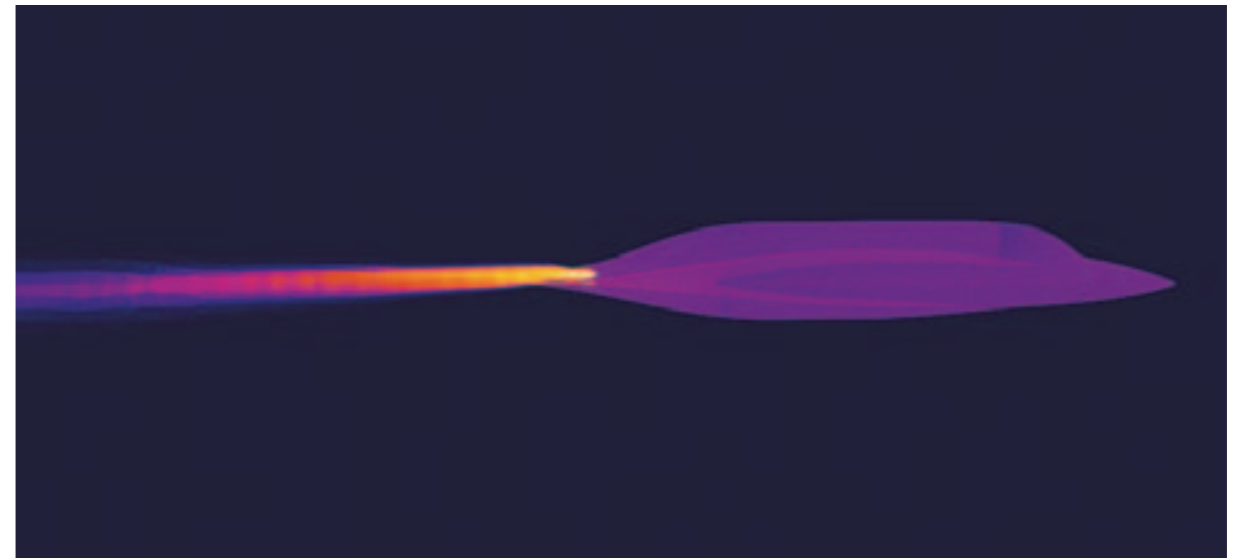


CLAES NELSSON, PATRIK HERMANSSON, JONAS RAHM,
HANS STRIFORS, AIN SUME, THOMAS WINZELL



FOI är en huvudsakligen uppdragsfinansierad myndighet under Försvarsdepartementet. Kärnverksamheten är forskning, metod- och teknikutveckling till nytta för försvar och säkerhet. Organisationen har cirka 1350 anställda varav ungefär 950 är forskare. Detta gör organisationen till Sveriges största forskningsinstitut. FOI ger kunderna tillgång till ledande expertis inom ett stort antal tillämpningsområden såsom säkerhetspolitiska studier och analyser inom försvar och säkerhet, bedömningen av olika typer av hot, system för ledning och hantering av kriser, skydd mot hantering av farliga ämnen, IT-säkerhet och nya sensorers möjligheter.

Multidisciplinär optimering av lågsignaturfarkost - slutrapport

Utgivare FOI - Totalförsvarets forskningsinstitut Sensorteknik Box 1165 581 11 Linköping	Rapportnummer, ISRN FOI-R--1811--SE	Klassificering Användarrapport
	Forskningsområde 6. Telekrig och vilseledning	
	Månad, år November 2005	Projektnummer E3072
	Delområde 62 Signaturanpassning	
	Delområde 2	
Författare/redaktör Claes Nelsson Patrik Hermansson Jonas Rahm Hans Strifors Ain Sume Thomas Winzell	Projektledare Claes Nelsson	
	Godkänd av Lena Klasén	
	Uppdragsgivare/kundbeteckning Försvarsmakten	
	Tekniskt och/eller vetenskapligt ansvarig Claes Nelsson / Jonas Rahm	
Rapportens titel Multidisciplinär optimering av lågsignaturfarkost - slutrapport		
Sammanfattning <p>Vid utformning av signaturanpassade flygfarkoster måste flera olika discipliner integreras: Signaturen ska vara så låg som möjligt för flera olika hotsensorsystem och dessutom måste de aerodynamiska och flygtekniska egenskaperna utformas enligt uppställda krav. En gemensam process krävs där olika koncept kan utvärderas och optimeringar kan göras med avseende på flera parametrar.</p> <p>Det här redovisade projektet har bedrivits under 2004-2005 inom ramen för FoT8 och har samordnats med projektet Utformning lågsignaturfarkost som drivits inom FoT25. Båda projekten har genomförts helt vid FOI och har syftat till att utforma, analysera och förbättra ett UCAV-koncept ("Unmanned combat air vehicle" benämnd EIKON) som bygger på experimentfarkosten Pegasus. Det här redovisade projektet har fokuserat framför allt på sensorrelaterade frågor såsom kravsättning inom signatur, signaturmodellering av mål och bakgrund, mätning av radarsignatur och utvärdering och analys av signatur. Dessutom har signaturmaterial och multidisciplinär optimering behandlats. Rapporten konstaterar att verktygen för denna typ av arbete i stort sett finns vid FOI. Några förbättringsområden har identifierats.</p> <p>Föreliggande slutrapport sammanfattar övergripande resultaten från projektet. De tekniska resultaten har tidigare redovisats mer i detalj i två rapporter som täcker aktiviteterna 2004 respektive 2005.</p>		
Nyckelord EIKON, IR, multidisciplinär, optimering, radar, signatur		
Övriga bibliografiska uppgifter	Språk Svenska	
ISSN 1650-1942	Antal sidor: 26 s.	
Distribution enligt missiv	Pris: Enligt prislista	

Issuing organization FOI – Swedish Defence Research Agency Sensorteknik Box 1165 581 11 Linköping	Report number, ISRN FOI-R--1811--SE	Report type User report
	Programme Areas 6. Electronic Warfare and deceptive measures	
	Month year November 2005	Project no. E3072
	Subcategories 62 Low Observables	
	Subcategories 2	
Author/s (editor/s) Claes Nelsson Patrik Hermansson Jonas Rahm Hans Strifors Ain Sume Thomas Winzell	Project manager Claes Nelsson	
	Approved by Lena Klasén	
	Sponsoring agency Armed Forces	
	Scientifically and technically responsible Claes Nelsson / Jonas Rahm	
Report title (In translation) Multi-disciplinary optimization of a low-signature air vehicle - Final report		
Abstract <p>When designing low-signature air vehicles several disciplines have to be integrated: The signature has to be as low as possible for different threat sensor systems and aerodynamic and manoeuvre characteristics have to fulfil the requirements. A common process is needed where different concepts can be evaluated and optimizations can be made with respect to several parameters.</p> <p>The project reported here has been conducted during 2004-2005 within the framework of FoT8 and has been coordinated with the project "Utformning lågsignaturfarkost" which is conducted in FoT25. Both projects were carried out completely at FOI and the objective was to design, analyze and improve a UCAV concept (Unmanned combat air vehicle called EIKON) which is inspired by the experimental air vehicle Pegasus. The project presented here focuses mainly on sensor related issues such as requirements for signatures, signature modelling of target in background, measurement of radar signature and signature analysis. Also, low observable materials and multidisciplinary optimization have been treated. The report concludes that appropriate tools for this kind of work basically are available at FOI.</p> <p>This report summarizes the results from the project. The technical results have been reported previously in two more detailed reports that cover the activities during 2004 and 2005.</p>		
Keywords EIKON, IR, multi-disciplinary, optimization, radar, signature		
Further bibliographic information	Language Swedish	
ISSN 1650-1942	Pages 26 p.	
Price acc. to pricelist		

INNEHÅLL

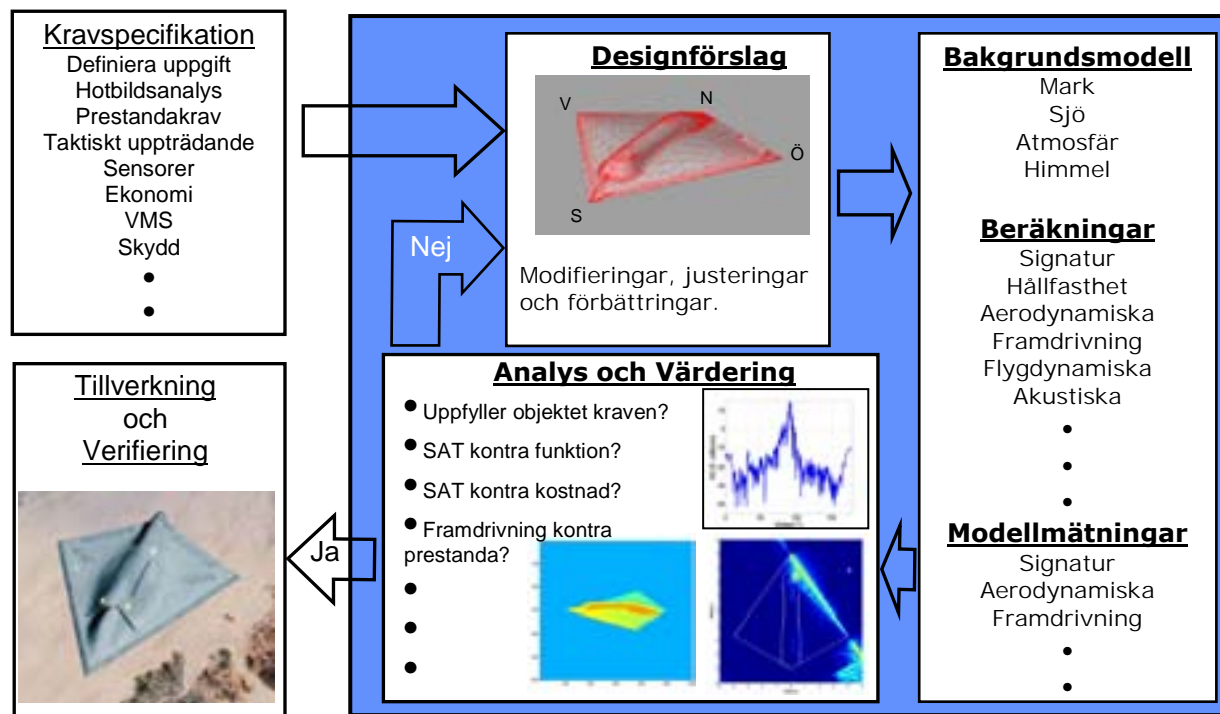
1	INLEDNING	5
2	EIKON	6
2.1	FARKOSTBESKRIVNING.....	6
2.2	FRAMDRIVNING.....	7
3	MULTIDISCIPLINÄR OPTIMERING – FÖRSTUDIE	7
4	KRAVSÄTTNING	9
4.1	ALLMÄNT	9
4.2	SCENARIO.....	10
4.3	OPTISKA OMRÅDET	10
4.3.1	Hot och sensorer.....	10
4.3.2	Kravutformning.....	11
4.4	RADAROMRÅDET	12
4.4.1	Hot och sensorer.....	12
4.4.2	Kravutformning.....	13
5	OPTISK SIGNATUR HOS EIKON	14
5.1	MODELLERING	15
5.2	UTVÄRDERING SIGNATUR	18
6	RADARSIGNATUR HOS EIKON	18
6.1	MODELLERING	19
6.2	MÄTNINGAR	20
6.3	UTVÄRDERING SIGNATUR	23
6.4	ANVÄNDNING AV RADARABSORBERANDE MATERIAL	23
6.4.1	Diffraction från diskontinuiteter och krökta ytor.....	23
6.4.2	Radarabsorbenter och polarisationseffekter	24
6.4.3	Impedansrandvillkor.....	24
6.4.4	Optimering av radarabsorbenter	24
7	SLUTSATSER	24
7.1	UTVÄRDERING AV UTFORMNINGSPROCESSEN.....	24
7.2	VERKTYG OCH METODER	25
8	REFERENSER	25

1 INLEDNING

Utformning av en smyganpassad flygande plattform kräver att flera olika kompetenser och funktioner samverkar. En smyganpassad design ställer speciella krav på den övergripande skrovutformningen i syfte att minska signaturen i framför allt radarområdet. Det påverkar i sin tur i hög grad flygegenskaperna och en avancerad analys krävs. Radarsignaturen minskas genom skrovets form men också med hjälp av olika radarabsorberande beläggningar och strukturer. Framdrivningssystemet måste smyganpassas för både radar och IR-området vilket innebär både nya material och avancerad formgivning vilket i sin tur mycket påverkar strömningsegenskaperna vid intag och utlopp. Det är viktigt att det finns en förmåga att hantera och värdera alla dessa aspekter i designarbetet.

Syftet med det här redovisade projektet *Multidisciplinär optimering av lågsignaturfarkost* har varit att förverkliga och demonstrera en gemensam process för att värdera och föreslå modifieringar av en flygande plattform utifrån krav på uppgift, flygegenskaper och olika typer av signaturer. Projektet har varit tvåårigt för perioden 2004 – 2005 och ingått i FOIs uppdrag från Försvarmakten inom FoT8, Sensorer över ytan med SAT. Det har bedrivits samordnat med projektet *Utformning lågsignaturfarkost* som är en del av FOIs uppdrag inom FoT25, Luftfarkoster. Syftet med detta arrangemang var att stärka kontakterna mellan de två FoT-områdena. Tillämpningsobjektet inom de båda projekten har varit enUCAV (Unmanned Combat Aerial Vehicle) av Pegasustyp som benämns EIKON och beskrivs kort i avsnitt 2.

En process för framtagning av en signaturanpassad farkost illustreras schematiskt i Figur 2.



Figur 1 Process för framtagning av farkost optimerad för låg signatur.

Det här redovisade projektet är betydligt mindre än *Utformning lågsignaturfarkost* och för att uppnå största nytta har projektet fokuserat på frågeställningar som ligger närmast sensorfrågorna och som anknuter till övrig signaturverksamhet inom FoT8. Projektet har framför allt arbetat med följande områden:

- Kravsättning inom signatur
- Studie och val av signaturmaterial
- Signaturmodellering av mål och bakgrund
- Mätning av radarsignatur
- Utvärdering och analys av signatur
- Metodik för multidisciplinär optimering av farkostutformning

Aktiviteten inom multidisciplinär optimering har begränsat sig till en förstudie i form av en metodöversikt. Genomförande av en regelrätt optimering av en hel farkost är en omfattande uppgift och har inte varit målet med projektet. Syftet har främst varit att belysa det multidisciplinära angreppssättet i arbetet. Titeln på projektet för därmed anses vara något olyckligt vald eftersom den inger förhoppningar om ett djupare arbete inom multidisciplinär optimering.

I denna rapport summeras projektets aktiviteter översiktligt. De tekniska resultaten har tidigare redovisats mer i detalj i två rapporter som täcker aktiviteterna 2004 (Ref 9) respektive 2005 (Ref 10). Dessutom har en genomförd radarmätning rapporterats (Ref 12). Inom optisk signaturmodellering har en benchmarking genomförts mellan två koder vid FOI: McCavity och SIGGE, och den kommer att rapporteras separat inom kort, se *Ref 4*.

Samverkan mellan detta projekt och projektet *Utformning lågsignaturfarkost* inom FoT25 har skett främst inom signaturmodellering där uppdelning av arbetsuppgifter skett. I övrigt har projekten haft komplementära uppgifter som redovisats ömsesidigt på ett antal projektmöten.

2 EIKON

2.1 FARKOSTBESKRIVNING

Ur projektdokumentation för projektet *Utformning lågsignaturfarkost* kan följande definition av EIKON hämtas.

Allmänt

Lågsignaturfarkosten ska vara ”medelstor”, 5-6 ton och 8 m och konstruerad för underljuds-fart. Den skall vara fenlös och olik Filur (se Ref 13), gärna med ”ruteress-konfiguration”. Den ska ha ett centralt placerat luftintag och endast en motor. Antenner antas vara strukturintegre-rade. Teknisk tidshorisont är år 2015-2020.

Start och landning: Bas 90: Start och landning skall kunna utföras på en 800 m lång bana. För landning gäller detta med bromskoefficient 0,35. Rullsträcka 800 m; 15 m höjd skall nås efter 1000 m.

Räckvidd: 1000 km, $M=0,85$ för $H=11$ km

Max fart: $M=0,95$ för $H=0$ km

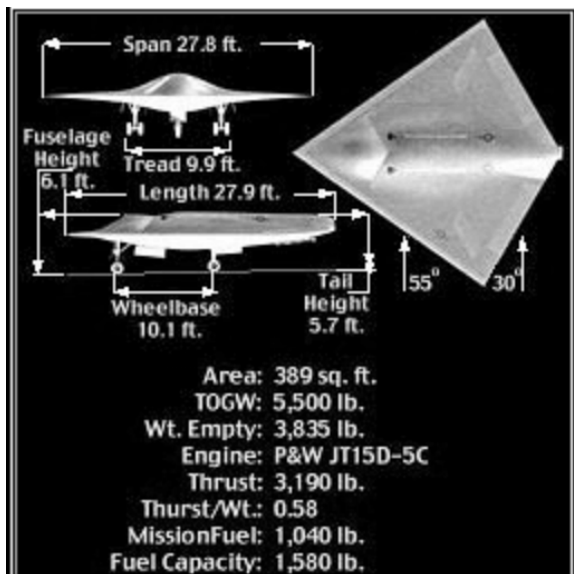
Rollprestanda: 90° på 1,7 s, $V>450$ km/h

Nz max 9 g

Nyttolast 1000 kg. Volym för lastutrymme: LxBxH=3,7 x 1,1 x 0,8 m³

Förslag till beväpning för Lågsignatur-farkost

- 1 8 x Small-Diameter Bomb (130 kg/styck)
- 2 4 x Mk82 bomber (241 kg/styck)



Figur 2 Planformen på EIKON ges av Pegasus utformning

2.2 FRAMDRIVNING

Framdrivningssystemet som använts i analysen har hämtats från projektet *Framdrivningsintegration* som under perioden genomförts inom FoT25 vid FOI. Till framdrivning räknas intag, motor och utloppsmunstycke. Samverkan har skett med Volvo Aero Corporation, se Ref 3. Det här studerade utloppsmunstycket har beteckningen Munstycke 6.0 och är den slutliga aerodesignen framtagen av Volvo Aero Corporation inom projektet TVC/LO Intag och utlopp inom FoT25.

3 MULTIDISCIPLINÄR OPTIMERING – FÖRSTUDIE

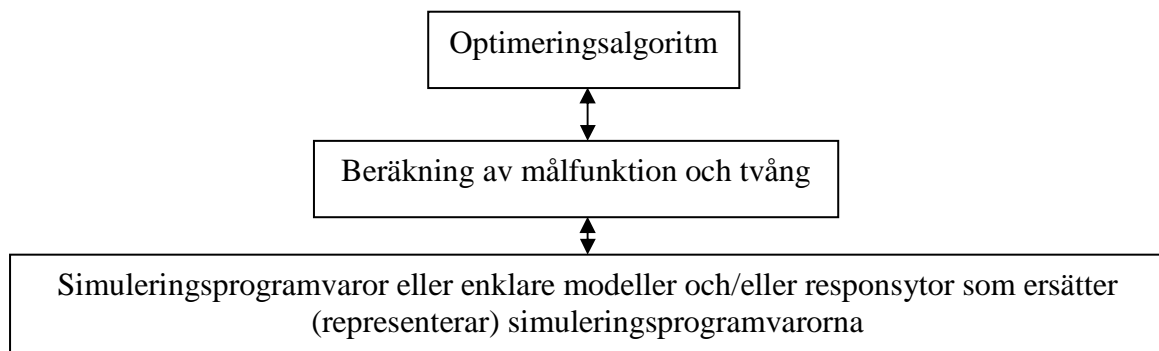
Vid utformning av signaturanpassade flygfarkoster måste ett flertal olika discipliner integreras såsom metoder för analys av optisk signatur och radarsignatur samt metoder för utformning av aerodynamiska och flygtekniska egenskaper. Ett mål vid utformningen av en signaturanpassad flygfarkost kan vara att minimera signaturen med avseende på ett antal hotsensorsystem under förutsättning att ett antal uppställda krav med avseende på aerodynamiska och flygtekniska egenskaper uppfylls (se avsnitt 4). Vi kan uttrycka detta som att vi har ett problem i multidisciplinär optimering, grovt formulerat: Minimera signaturen under aerodynamiska och flygtekniska bivillkor. Detta är dock i allmänhet ett mycket komplicerat problem ty de metoder som idag används för modellering och simulering av optisk signatur, radarsignatur, aerodynamiska egenskaper, hållfasthet m.m., är ofta mycket komplexa och de är implementerade i avancerade datorprogram som i många fall tar lång tid att köra för ett specifikt fall. Många optimeringsproblem är i sig själva mycket svåra att lösa (till rimlig kostnad i tid

och pengar) och att då koppla optimering till komplexa beräkningsmetoder för datorbaserad simulering är självklart ett mycket svårt problem att lösa. Vidare kan man i praktiken bara lösa optimeringsproblem med ett begränsat antal frihetsgrader, eller designparametrar. Man kan t.ex. ofta inte i praktiken lösa optimeringsproblem där en geometri godtyckligt kan deformeras. Man kan dock tänka sig att ”optimera” vissa enklare delproblem där man begränsar antalet frihetsgrader och utnyttjar att delproblemet i praktiken kan lösas oberoende av andra delproblem. Som exempel kan man t.ex. tänka sig att egenskaper hos (tunna) ytskikt på en flygkropp kan optimeras med avseende på signaturegenskaper utan att nämnvärt påverka aerodynamiska egenskaper. Ett annat exempel kan vara att man deformerar geometrin hos luftintag (eller utblås) med någon enstaka parameter och försöker minimera (eller åtminstone minska) signaturen med bibehållande av flygtekniska krav.

I projektet har en förstudie i form av en metodöversikt genomförts (Ref 10) som redovisar metoder som kan vara av värde vid multidisciplinär optimering. Speciellt fokuseras på metoder som kan hantera en del av de svårigheter som uppstår vid multidisciplinär optimering, nämligen:

1. Svårigheter att bilda en lämplig målfunktion (kostnadsfunktion) på grund av att multidisciplinär optimering kan kräva att flera olika (och ibland motverkande) målsättningar vägs mot varandra.
2. Den tid det tar att beräkna ett enda värde av målfunktionen (som kräver evaluering av beräkningsmodeller för signatur m.m.) för en uppsättning beslutsvariabler är ofta mycket stor.
3. Det är ofta inte möjligt att analytiskt beräkna derivator av målfunktion och tvång, vilket gör att man är hänvisad till alternativa metoder som normalt ökar beräkningstiden.
4. Optimeringsproblemet har ofta ett flertal lokala optima av vilka endast ett är ett globalt optimum.
5. Vid multidisciplinär optimering ingår oftast parametrar som har en osäkerhet vilket leder till beräkningskrävande optimering.

I Figur 3 illustreras schematiskt processen för deterministisk multidisciplinär optimering, där beräkningen av målfunktion och tvång tar data från exekvering av en eller flera simuleringsprogramvaror, t.ex. programvaror för signatursimulering. Eftersom simuleringsprogrammen ofta är mycket beräkningskrävande, är det vid multidisciplinär optimering ofta lämpligt att använda sig av metoder och modeller som approximativt ger samma resultat som simuleringsprogrammen. I vissa fall kan enklare analytiska (fysikaliska) modeller användas i stället för simuleringsprogrammen. I andra fall kan man med Monte Carlo-metoder generera responsytor (oftast minstakvadratanpassade polynom) som approximativt ger samma resultat som simuleringsprogrammen. När responsyfefunktionerna har konstruerats kan funktionsvärdet beräknas betydligt snabbare än med de ursprungliga programvarorna. En annan effektiv, och ofta använd, metod att reducera beräkningstider för multidisciplinär optimering är att utnyttja parallelliseringsmetoder för att distribuera beräkningarna på flera datorer och/eller processorer.



Figur 3 Schematisk beskrivning av optimeringsloopen mellan optimeringsalgoritm och simuleringsprogram, eller approximativa metoder som ersätter simuleringsprogrammen.

Vilken metod, eller vilken kombination av metoder, som bör användas i ett specifikt multidisciplinärt optimeringsproblem, beror av ett antal faktorer. Avgörande är antagligen i många fall om man kan genomföra optimeringsloopen "tillräckligt" många gånger med de beräkningsresurser som finns tillgängliga. Ibland är det kanske möjligt att minska beräkningstiden genom att använda olika typer av approximeringsmetoder, medan detta i andra fall inte är möjligt och man blir kanske tvungen att istället lösa ett enklare optimeringsproblem.

4 KRAVSÄTTNING

4.1 ALLMÄNT

Vid utveckling av lågsignaturfarkoster är det mycket viktigt att man utifrån t ex farkostens uppgift, hotbild, taktiskt uppträdande, funktion, prestanda mm tar fram en kravspecifikation för hela plattformen. Den stora utmaningen är att sätta realistiska krav på plattformen som helhet från början. Farkostens delsystem skall därmed vara väl balanserade mot varandra, dvs. alla delsystemen och dess egenskaper måste vägas mot varandra. Detta är ingen rättfram process utan kräver mycket erfarenhet, kunskap och framför allt samråd mellan experter inom olika kompetenser, t ex SAT, sensorer, aerodynamik, framdrivning och taktiskt uppträdande mm.

Arbetet som presenteras här är ett försök att beskriva en process som kan användas vid formulering av signaturkrav för en UCAV. Signaturkraven kan bygga på undvikande av detektion, klassificering, identifiering eller målföljning under vissa omständigheter. Ska UCAVen inte ens kunna detekteras av hotsensorsystemet? Eller ska man försvåra för målföljning? I scenarier där den hastigt kan komma inom synfältet för hotsensorerna är upptäckstiden kanske ett bättre mått. Detta kan t.ex. gälla vid lågflygning när skyddet från terrängmasken utnyttjas.

För att bedöma vilket upptäcktsavstånd, upptäckstid eller detektionssannolikhet ett visst hotsensorsystem har mot en UCAV bör simuleringar och mätningar genomföras som innefattar mål, bakgrund, atmosfär och sensorsystem inklusive signalbehandling. Vid utformning av en UCAV är det däremot nödvändigt att ha några signaturkrav att arbeta mot. Lämpligen utformas de som kontrastkrav som härleds ur brus och/eller klotternivån. Ett visst signal-brus-förhållande (SNR) krävs. Att de uppställda kraven är relevanta kan i ett senare skede verifieras genom en fullständig simulering. Vid multidisciplinär optimering av en UCAV kan man

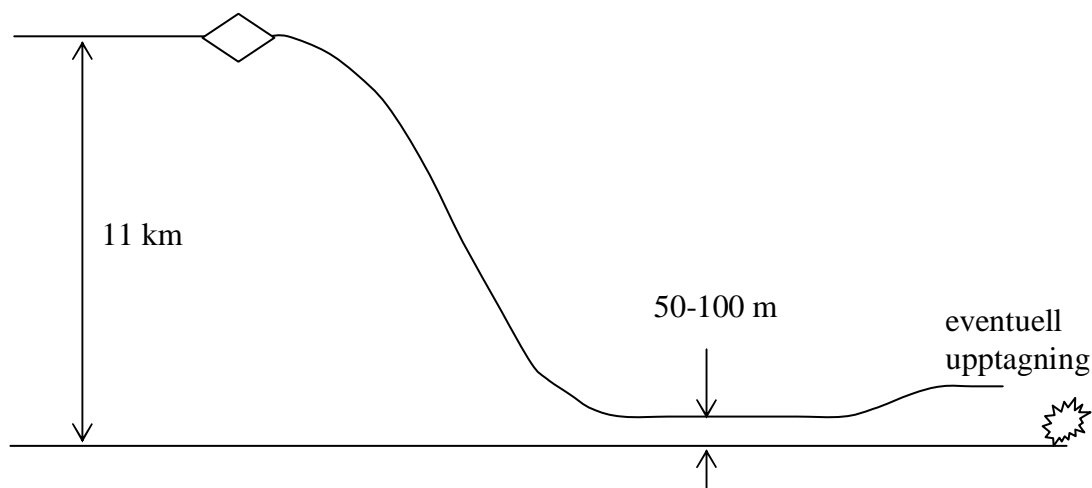
överväga att sätta kostnadsfunktioner på de olika kravparametrarna för att kunna göra avvägningar mellan motstridiga krav.

I denna rapport beskrivs ett tänkbart scenario för EIKON samt ett förslag på hur signaturkrav kan arbetas fram inom optik- och radarområdet. Fokus har varit på upptäcktsduellen och diskussionen om kravsättning har inriktats på spaningssensorer.

Arbetet med kravsättning har pågått under både 2004 och 2005 och rapporteras utförligare i *Ref 9* och *Ref 10*.

4.2 SCENARIO

Arbetet i projektet har utgått från ett tänkbart scenario med ett attackföretag med EIKON. Syftet med scenariot har varit att det ska ligga till grund för identifiering av hotsensorsystem och därmed utgöra en bas för signaturkraven. Uppgiften för EIKON är att leverera bomblast på en i förväg definierad position. EIKON ska inte röja sig under anflygningen för att på så sätt skydda sig och uppnå bästa insatseffekt genom överraskning. En skiss på en tänkbar banprofil fram till insats finns i Figur 4.



Figur 4 Tänkbar banprofil för uppdrag med EIKON.

Banan karakteriseras av följande moment.

- Anflygning, först på hög höjd, därefter på låg höjd. $M=0,85$
- Attack som eventuellt föregås av upptagning. $M=0,95$
- Returflygning

Insatsen ska kunna ske både under dagen och under natten. Inga speciella krav på sikt och molnighet finns med reservation för om speciella krav finns för att målet ska kunna lokaliserat och identifieras.

4.3 OPTISKA OMRÅDET

4.3.1 Hot och sensorer

EIKON har ett optiskt sensorhot från alla riktningar. Det är emellertid frågan om olika sensor-system i olika riktningar och prestanda varierar. Sensorsystemens prestanda har successivt

förbättrats och det finns därmed en stor spridning i hotnivå. Likaså finns det en naturlig spridning i kapacitet från enklare mängdsystem till spetsystem med hög prestanda. Ett sätt att hantera detta vid kravsättning är att välja ut dimensionerande hotsystem som ska ligga till grund för kravsättningen. I detta arbete har krav tagits fram för ett antal sensorer inom IR-området, IRV. De representerar både äldre system och nyare spetsystem. Som förebild till de äldre systemen har sensorer vid institutionen för IR-system på FOI använts eftersom de är väl kända och mätdata finns. Sensorsystemen kan man tänkas använda som markbaserade spaningssensorer eller som sikten.

4.3.2 Kravutformning

Som ett första steg i kravsättningen måste dimensionerande flygfall och dimensionerande hotsensorer identifieras. Dimensionerande flygfall utreds ur scenariobeskrivningen med hänsyn till de olika sensorernas förmåga. Lämpligen behandlas ett spektralområde och en riktning i taget. Det är tänkbart att det dimensionerande flygfallet inte blir samma för alla sensorer och riktningar. Dimensionerande sensorer identifieras i samma process.

Riktningintervall definieras utifrån scenariots flygfall. För luftfarkoster är den mest kritiska hotsektorn den framifrån inom specificerade intervall i azimut och elevation. Bakifrånsektorn och sidsektorn med på liknande sätt specificerade vinkelintervall är också viktiga, men kanske i mindre grad. Generellt kan sägas att spaningssystem, inklusiveIRST mm, kommer att utgöra hot mot EIKON framför allt i det centrala elevationsintervallet i framifrånsektorn. Målsökande missiler kommer att arbeta i hela det centrala elevationsintervallet men det kan uppstå lägen där EIKON exponerar övriga elevationsintervall också.

För det optiska området har anflygningen på låg höjd använts som dimensionerande flygfall och upptäcktsduellen mot ett spaningssystem har legat till grund för kravutformningen. Aspekten rakt framifrån i centrala elevationsintervallet mot EIKON har valts som dimensionerande hotriktning.

Principen för kravsättningen i det optiska området utgår från ett krav på största kontrast som målet får uppvisa mot bakgrunden i något avseende. Mål ska ha tillräckligt låg kontrast för att inte kunna detekteras, klassificeras och identifieras. Kravet utformas på olika sätt beroende på om målet är geometriskt upplöst eller inte. Krav sätts upp för varje spektralområde eller dimensionerande hotsensor.

För varje riktningintervall ges ett avståndskrav på vilket kontrastkravet ska vara uppfyllt. Kontrastkravet ska vara uppfyllt på alla avstånd större än det angivna avståndskravet. Avståndskraven är satta med hänsyn till den förvarningstid som krävs för olika riktningar för motståndarens motverkansinsats mot EIKON.

Kontrastkraven formuleras olika beroende på om målet är rumsligt upplöst eller inte. I fallet rumsligt upplöst mål sätts kravet på radiansen hos målet, d.v.s. ytans strålningsnivå. I fallet ej upplöst mål sätts kravet istället på irradiansen som avser den strålningstäthet som målet ger upphov till på ett visst avstånd. I båda fallen är det differensen mellan mål och bakgrund som avses. I projektet har båda dessa metoder använts och kommenterats.

I anvisningarna till projektet angavs avståndskravet 1,5 km i framifrånsektorn. För EIKON innebär det vinkelupplösningen 0,7 mrad för höjden vilket innebär att alla de här studerade sensorerna löser upp målet. Som en komplettering studerades också avståndet 5 km och då blev EIKONs storlek 0,2 mrad vilket innebär att vissa sensorer inte riktigt löser upp målet.

EIKON kommer dock att vara upplöst med hänsyn till dess bredd och därför antogs för enkelhets skull att den var upplöst även för 5 km. Därför beräknades radianskrav vilka redovisas i Tabell 1 för de studerade hotsensorerna .

Tabell 1 Krav för några exempel på hotsensorer i framifrånaspekten.

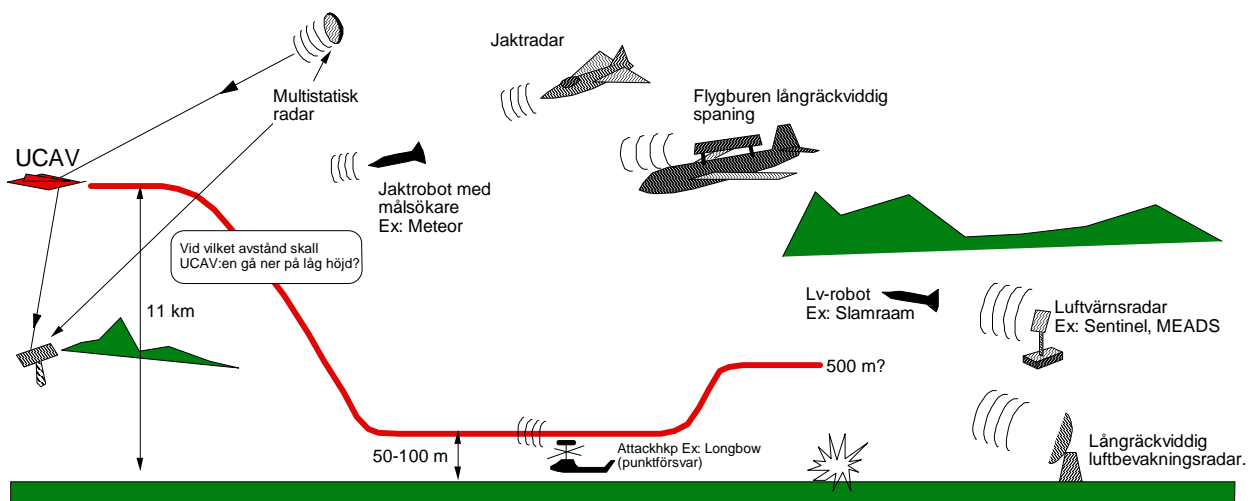
Kategori	Modellexempel	Ldiff W/m ² /sr
Äldre scannande IRV LWIR	Thermovision 900 LW	0,3
Modernare stirrande IRV LWIR	ThermaCam SC3000	0,075
Äldre scannande IRV MWIR	Thermovision 900 SW	0,065
Modern stirrande IRV MWIR	Emerald LR	0,03

Dessa krav för radiansdifferensen mål/bakgrund är gemensamma för de båda avstånden. Inför en designprocess kan dessa krav genom ytterligare arbete omformas till krav på t.ex. ytbeläggning.

4.4 RADAROMRÅDET

4.4.1 Hot och sensorer

Figur 5 visar schematiskt de vanligaste radarhoten mot en anflygande UCAV av typ EIKON, som kan förutses omkring 2020. Samtliga representerar kategorin spetsteknologi. I Ref 10 kommenteras egenskaperna hos de olika hotsystem i mer detalj.



Figur 5. Radarhot mot anflygande EIKON (banprofilen i rött).

4.4.2 Kravutformning

Kravsättning av radarmålarea mot olika radarsystem och bakgrundsmiljöer kan utföras med flera olika modeller, metoder och principer. Modellerna kan utformas deterministiskt eller statistiskt eller efter olika blandformer. De kan innehålla mer eller mindre kända egenskaper och parametrar för radarsensor, mål och bakgrund. Kravsättningen baseras på prestandamått, och både objektiva och subjektiva inslag kan ingå.

För en fullständig kravsättning behövs prestandamått på alla relevanta radarfunktioner såsom detektion, målinmätning, målföljning och igenkänning. Prestandamåtten beskriver möjligheten att genomföra respektive funktion. I detta arbete har endast kravsättningen i samband med detektion behandlats närmare. Den är den primära av nämnda funktioner och påkallas före de övriga. Som det grundläggande prestandamåttet för EIKON-målet i förekommande bakgrund föreslås detekteringssannolikhet med en förutbestämd falsklarmsannolikhet.

Vid kravsättningen är målet givet. Radarsignaturen kan vara känd i olika hög grad, alltifrån givet av omfattande mätningar till en ren ansats. Målet skall testas mot tillämpliga radarsystem, bakgrundsmiljöer och taktiska och tekniska målsättningar.

Bedömningen av ett mål kan ske med olika grad av precision och analysmetoderna kan delas in i tre nivåer:

- 1) Radarekvationen
- 2) Signalsimulering
- 3) Elektromagnetiska beräkningar

Komplexiteten för analysmetoderna ökar allmänt från nivå 1 till 3. Olika typer av modeller och mätdata ingår i metoderna beroende på krav på beräkningsbörda, noggrannhet, robusthet och realism. Blandningar av olika analysmetoder är möjliga för ökad noggrannhet och realism i beräkningarna. Mätdata kan ersätta modeller och tvärtom för ökad robusthet. Detta är även viktigt för validering av modeller och fysikalisk förståelse av olika fenomen.

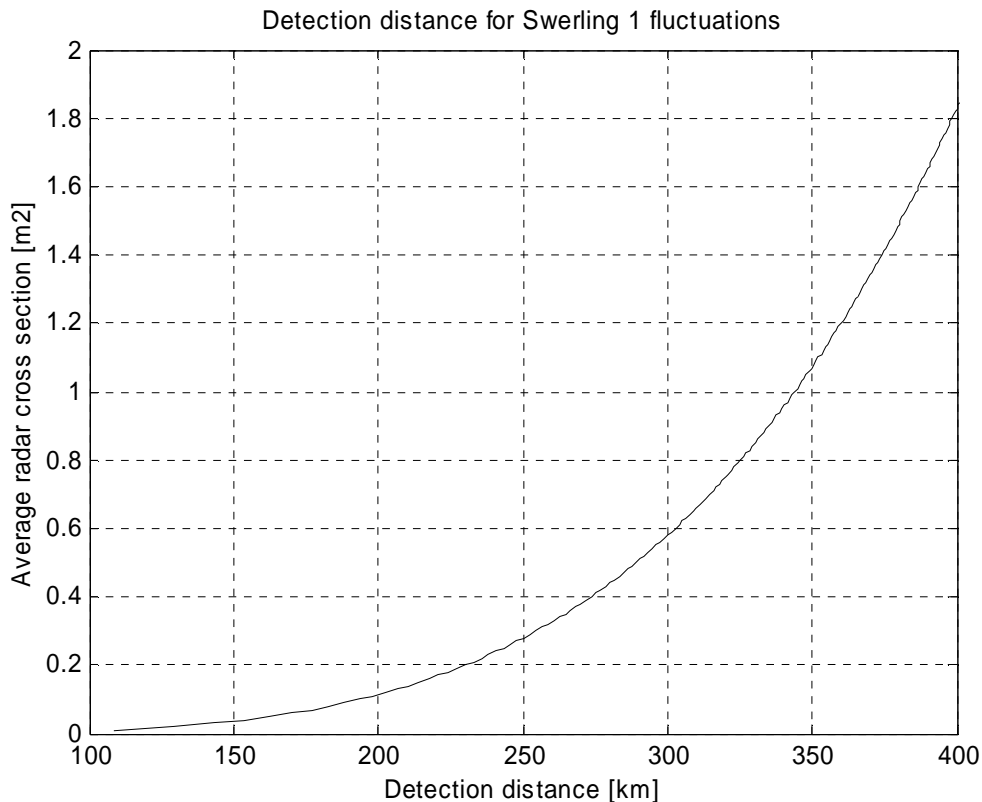
Detekteringssannolikheten beror på ett antal olika parametrar och scenariovariationer och är fundamentalt kopplad till målsignal/bakgrundsförhållandet. Detekteringssannolikheten kan beräknas i olika scenarier som funktion av radarmålarea, aspektvinkel i azimut och elevation, höjd och hastighet för målet och som funktion av upplösning, avstånd, hastighet och höjd för olika radarfunktioner. Detta ger en uppfattning om upptäcktsprestanda för ett visst scenario med given bakgrund och givna positioner för mål och radarsensor.

Alla de tre ovan nämnda metoderna (radarekvationen, signalsimulering, elektromagnetiska beräkningar) bedöms kunna användas för formulering av krav. Ambitionsnivån får avgöra valet. Både radarekvationsmetoden och signalsimuleringsmetoden bedöms ha goda förutsättningar för vidareutvecklingen av metoder för krav och värdering av radarmålarea. Elektromagnetiska beräkningsmetoder bedöms ha ökad tillämpning på delproblem inom krav och värdering av radarmålarea, men komplett systemvärdering bedöms ännu inte vara realiserbar.

Två dimensionerande fall för målarean hos EIKON har analyserats på den enklaste nivån enligt ovan, nämligen med radarekvationen. Det ena fallet berör den första fasen av EIKONs anflygning mot målområdet, då farkosten befinner sig på långt avstånd och på hög höjd (11 km). Där är huvudsyftet att uppskatta avståndet då EIKON kan detekteras av en markbaserad, långräckviddig spaningsradar. Kravsättningen kan antingen utgöras av ett krav på målarea så att detektionen omöjliggörs, eller ett krav på att farkosten måste ha gått ner på låg höjd för att undgå upptäckt. Låghöjdsanflygningen utgör det andra dimensionerande fallet för målarean.

Där är huvudsyftet detsamma, att uppskatta detektionsavstånd, men för en hotradar i form av en flygburen spaningsradar.

En beräkning av högsta tillåtna radarmålarea mot en markbaserad spaningsradar för olika avstånd visas i Figur 6. Som synes är den kraftigt beroende av avståndet. För fallet flygburen spaningsradar blir kravet inte lika strängt.



Figur 6. Krav på högsta tillåtna medelmålarea för fullskale-EIKON, för olika detektionsavstånd med detektionssannolikheten $P_D = 0.9$ och falsklarmssannolikheten $P_{fa} = 10^{-6}$ för en markbaserad spaningsradar.

5 OPTISK SIGNATUR HOS EIKON

Den optiska signaturen är inte knuten till skrovets geometri i lika hög grad som radarsignaturen. I IR-området är det istället skrovets temperatur och dess förmåga att reflektera omgivningens strålning som ger signaturen. Dessutom är motorutloppet och avgasstrålningen stora bidragsgivare i bakifrånaspekten. För att minska dessa strålningsbidrag utformas utloppet så att avgasernas temperatur blir så låg som möjligt och så att de heta delarna i utloppet döljs i så stort vinkelintervall som möjligt. Intaget kan ge en förhöjd signatur om det är olyckligt utformat.

I detta arbete har signaturen i IR-banden MWIR (3-5 μm) och LWIR (8-12 μm) studerats. Ingen studie har gjorts av signaturen i det visuella eller när-IR. I följande avsnitt sammanfattas det modelleringsarbete som genomförts och resultaten kommenteras. Aktiviteterna inom modellering av optisk signatur har koordinerats med projektet Utformning lågsignaturfarkost

och det här redovisade projektet har fokuserat på en benchmarking samt på en studie av olika ytmaterial. Simuleringsresultaten har dessutom jämförts med de krav som kan ställas, se ovan.

5.1 MODELLERING

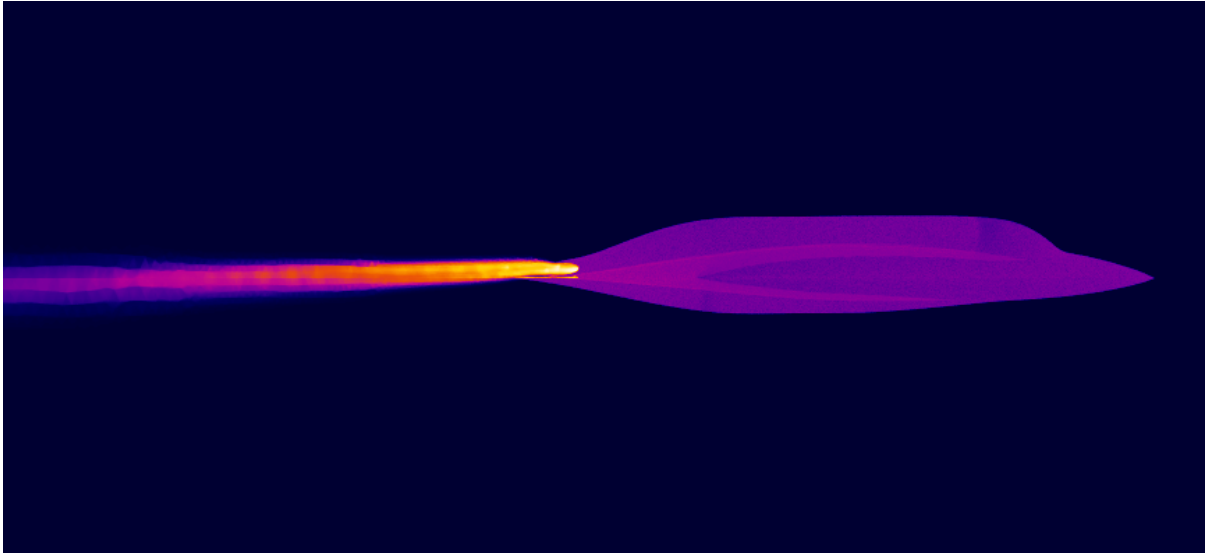
För modellering av den optiska signaturen hos en flygfarkost krävs två saker: i) skrovbeskrivning, och ii) beskrivning av motorkaviteter och dess gasinnehåll. Till detta kommer atmosfärsberäkning, t ex atmosfärstransmission. Skrovbeskrivningen är inte bara en geometrisk beskrivning utan information måste också finnas om skrovets aerodynamiska uppvärmning för aktuellt flygfall. För motorn måste väggtemperaturerna vara kända samt förbränningsgasens temperatur och sammansättning.

Det finns en rad olika metoder och mjukvaror för att uppskatta en flygfarkosts IR-signatur. I detta projekt har två kommersiella program som finns vid FOI använts:

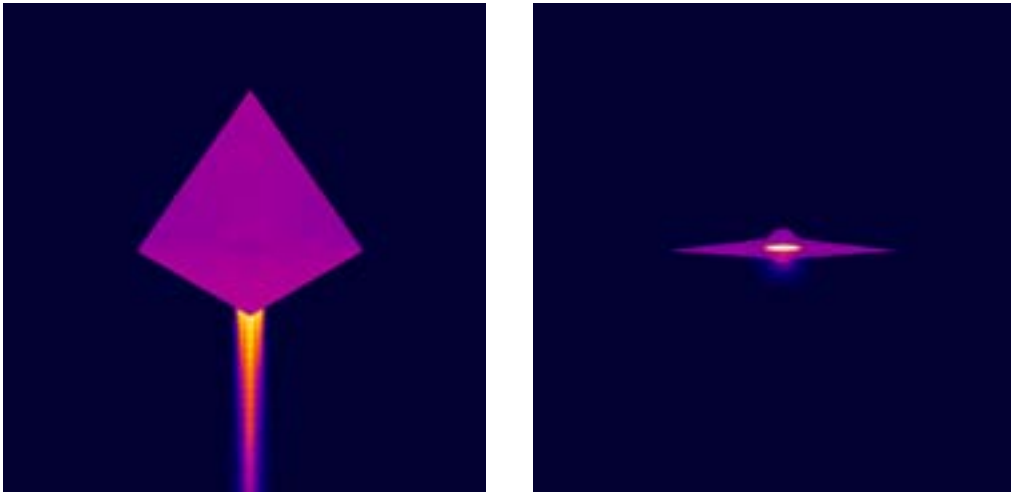
CAMEO-SIM (Camouflage Electro-Optic Simulation System) som är utvecklat av det brittiska företaget Insys Ltd genererar syntetiska bilder i det optiska våglängdsområdet 0,3-14 μm utgående från grundläggande fysikaliska principer, se *Ref 2*. Genom att mata CAMEO-SIM med information om 3D-geometri (inklusive omgivning), materialegenskaper, väderdata och enkla sensor karakteristika genererar CAMEO-SIM syntetiska bilder. Ytspridningsfenomen modelleras på ett kvalificerat sätt. CAMEO-SIM har använts för modelleringsarbetet som presenterats i *Ref 9*. Senaste versionen av CAMEO-SIM (5.5) är utökad med en modell för beräkning av strålning från gaser men den är inte utvärderad av FOI än och därmed inte använd i detta arbete.

McCavity (Monte Carlo Radiation Prediction Code) är ett kommersiellt datorprogram som också är utvecklat av det brittiska företaget Insys Ltd och används förutom av FOI bl.a. även av den brittiska försvarsmyndigheten DSTL, se *Ref 7* och *Ref 8*. Genom att mata McCavity med information om flygplansgeometri och/eller flödeslösningar (CFD) inklusive beskrivning av material (spektral reflektans och spridning) och omgivning predikteras spektral radian för aktuell farkost inklusive dess avgasplym. Strålning från kaviteter (intag och motorutlopp) beräknas. För beräkning av IR-strålningen från heta gaser kan olika band- och linjemodeller användas (definieras av användaren). I arbetet som redovisas här har en modell och databas utvecklad av NASA använts. Som utgångspunkt för beräkningarna i detta projekt har flödeslösningar utnyttjats som tagits fram vid FOI samt vid Volvo Aero Corporation (VAC).

Beräkningarna som utförts är baserade på flygfallet $M=0,85$ och höjd= 100m. I Figur 7 visas resultaten av en simulering utan atmosfärs effekter och utan bakgrundsstrålning. Strålningen från avgasplymen dominerar tydligt men även en del temperaturvariationer över skrovet kan skönjas. I Figur 8 finns simuleringsresultaten i aspekterna underifrån och bakifrån. Resultat från dessa simuleringar har använts för benchmarking med signaturberäkningsprogrammet SIGGE (*Ref 1*) som utvecklas vid FOI. Benchmarkningen rapporteras separat i *Ref 4*.

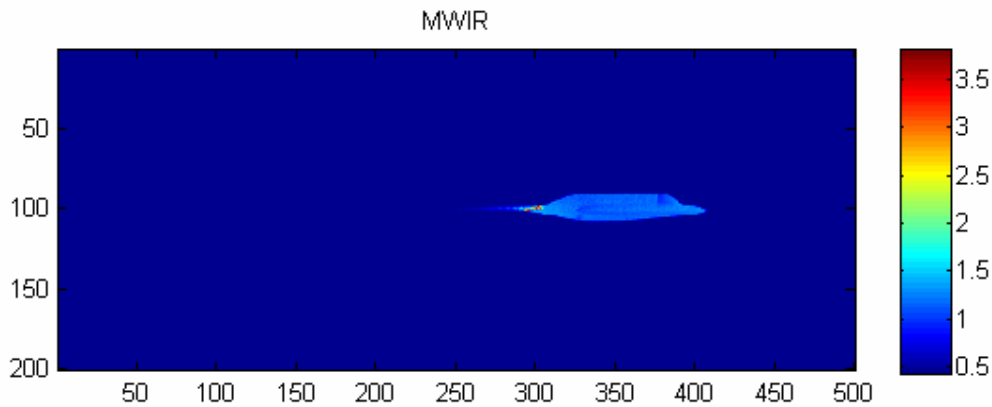


Figur 7. Simulering av signaturen hos EIKON i MWIR utan atmosfärseffekter i sidoaspekt. Logaritmisk skala



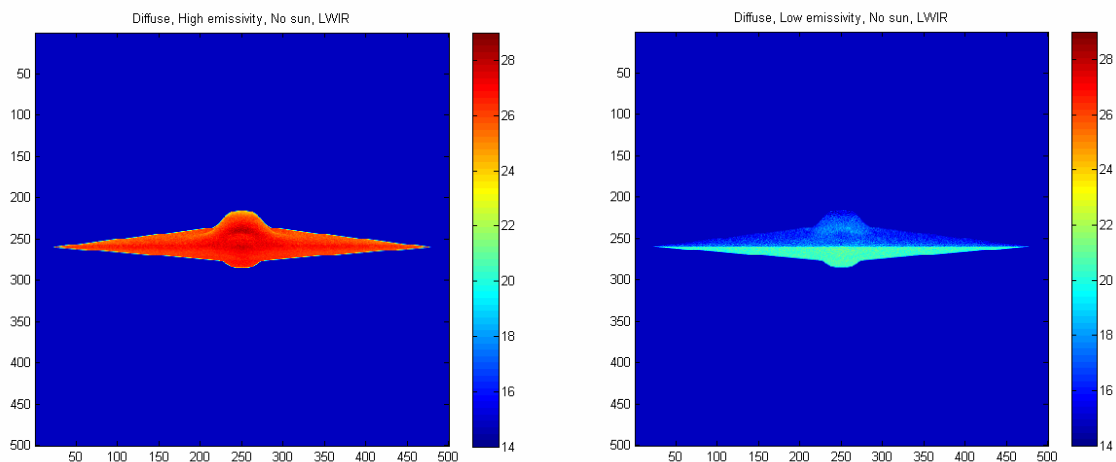
Figur 8. Simulering av signaturen hos EIKON i MWIR underifrån (vänster) och bakifrån (höger) utan atmosfärseffekter. Logaritmisk skala

För att kunna göra en fullständig signaturvärdering med beräkning av mål/bakgrundskontrast måste även bakgrunden modelleras. Resultat från en sådan finns i Figur 9 där den mest påtagliga skillnaden gentemot Figur 7 är att avgasplymens kontrast mot bakgrunden är väsentligt lägre. Gasstrålningens spektralfördelning gör att den effektivt dämpas av atmosfären. Detta är fallet eftersom gasen inte har alltför hög temperatur här. Vid högre temperaturer sker en spektralbreddning som minskar atmosfärsdämpningens effekt. Det förefaller alltså som att skrovets strålning dominerar över motorstrålningen i sidoaspekten (och i framifrånaspekten). Bakifrån är motorstrålningen däremot dominerande men nivån mycket beroende av hur mycket som syns av motorns inre delar. Ingen detaljerad studie har gjorts av det i projektet.

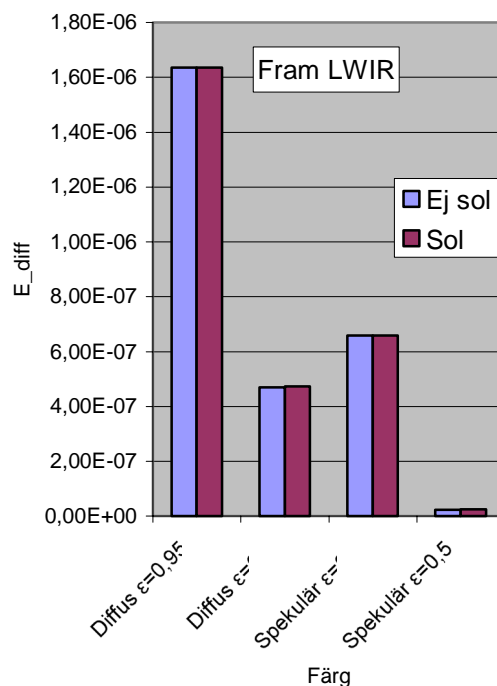


Figur 9. Signaturen hos EIKON i bakgrund i MWIR. Avstånd 5 km.

En parameterstudie har genomförts i vilken fyra olika ytmaterial simulerades: Diffus respektive blank yta med hög (0,95) respektive låg (0,5) emissivitet. Där diffus och blank syftar på egenskaperna i IR-området. Ett ytmaterial med låg emissivitet minskar utstrålningen från ett varmt objekt men ökar också reflektionen av strålning från omgivningen. I Figur 10 visas en jämförelse av signaturen hos EIKON i bakgrund i framifrånaspekt för två olika diffusa ytmaterial. För detta fall minskar kontrasten mot bakgrunden betydligt vilket också framgår i Figur 11. Kontrasten E_{diff} är här definierad som det tillskott i irradians vid sensorn som EIKON ger upphov till. I Ref 10 redovisas de fullständiga resultaten från studien som genomfördes i aspekterna fram, sida, bak och under.



Figur 10. Jämförelse av radiansen hos EIKON för diffus färg med hög emissivitet (vänster) och låg emissivitet (höger) i LWIR. Luftintag saknas.



Figur 11 Beräknad kontrast relativt bakgrunden för EIKON i framifrånaspekten.

5.2 UTVÄRDERING SIGNATUR

Som underlag för utvärdering av den optiska signaturen hos EIKON har endast resultat från simuleringar använts eftersom inga mätningar genomförts. Karaktären hos signaturen kommenterades kort i avsnittet ovan och mer utförligt i Ref 9 och Ref 10. I detta avsnitt redovisas kravuppfyllelsen samt en räckviddsberäkning i framifrånafallet. Bakifrånafallet, som innebär en än högre utmaning i IR-signaturhänseende, har inte analyserats m.a.p. krav och räckvidd.

Både vid avståndet 1,5 km (som anges i de befintliga kraven för projektet Utformning lågsignaturfarkost) och för avståndet 5 km är EIKON upplöst för de utvalda hotsensorerna. (För 5 km nätt och jämnt upplöst). Därför är det relevant att göra en jämförelse mellan resultat och krav i form av radiansdifferens. Slutsatsen av en sådan jämförelse är att EIKON inte uppfyller kravet för någon av de studerade färgerna. En lösning kan vara att välja olika färg på över och undersida men det måste i så fall utvärderas i alla aspekter. Strålningen från skrovet dominerar över strålningen från avgasplymen i framifrånaspekten.

En överslagsmässig räckviddsberäkning för låghöjdsfallet har genomförts baserad på modelleringsresultaten. Den visar på en räckvidd på ca 16 km mot EIKON för ett LWIR-system med ett synfält på ca 5°. Ett äldre MWIR-system förväntas ha en kortare räckvidd, ca 13 km. Moderna system med smalare synfält kan förväntas ha en räckvidd på flera tiotals km. Beräkningarna gjordes för ytmaterial med hög emissivitet.

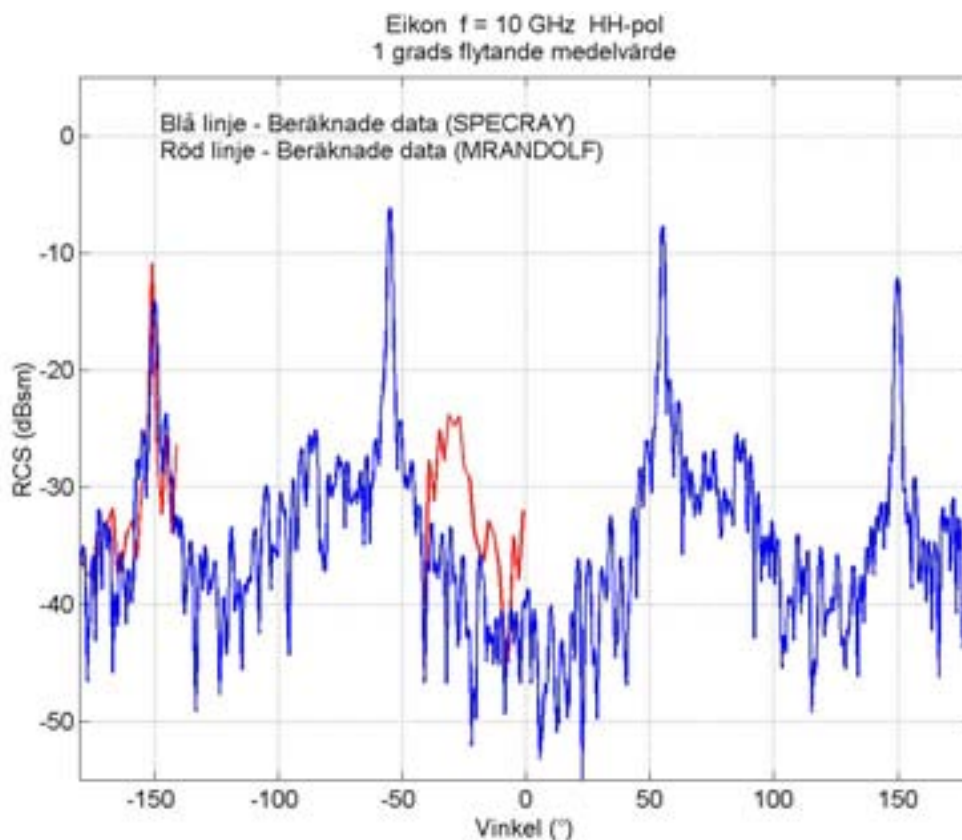
6 RADARSIGNATUR HOS EIKON

Både beräkningarna och mätningarna har utförts på en skalmodell av EIKON (1:10). Eftersom denna modell är målad med silverfärg kan man betrakta modellen som perfekt ledande (PEC). Därmed kan man på goda grunder skala alla resultaten till att motsvara målarean för

det fullskaliga fallet. Genom att addera målarean med +20 dB och dividera frekvensen med 10 fås den fullskaliga målarean vid given frekvens. Till exempel skulle då en målarea på -10 dBsm vid 100 GHz för skalmodellen motsvara +10 dBsm vid 10 GHz i fullskala.

6.1 MODELLERING

Radarmålareaberäkningarna har dels utförts med hjälp av beräkningsverktyget SPECRAY och dels med beräkningsverktyget MRANDOLF. SPECRAY har utvecklats av det franska företaget OKTAL. Programmet är baserat på fysikalisk optik (PO) i kombination med geometrisk optik (GO). Dessutom kan diffraktionseffekter tas hänsyn till. En mer detaljerad beskrivning och utvärdering av programmet redovisas i Ref 5. SPECRAY har använts för att beräkna radarmålarean för EIKON både vid X- och vid W-bandet. MRANDOLF är ett nationellt utvecklat program som är baserat på en metod som man brukar benämna "Fast Multipole Metod" (FMM). En mer detaljerad beskrivning av metoden ges i Ref 11. Den stora skillnaden mellan de ovan nämnda beräkningsmetoderna är att SPECRAY är en högfrequensmetod som bygger på ett antal approximativa antaganden medan MRANDOLF är en metod som löser Maxwells ekvationer utan att göra några approximationer. Följderna blir då att MRANDOLF ger ett mer noggrant resultat på bekostnad av höga minneskrav och långa CPU-tider emedan SPECRAY ej tar hänsyn till vissa spridningsfenomen (t ex krypvågor, ytströmmar mm) men kan användas för att utföra helkroppsbereäkningar samt för att ta fram tillräckligt med beräkningsdata för att kunna generera ISAR-bilder. Figur 12 visar den beräknade radarmålarean som funktion av azimutvinkel vid 10 GHz. Beräkningsresultaten och jämförelsen med mätdata presenteras mer i detalj i Ref 10.

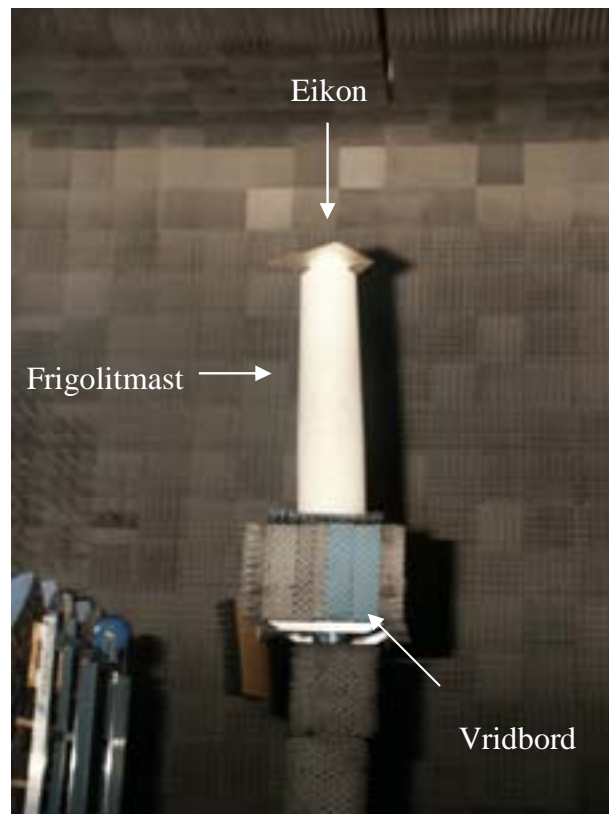


Figur 12. Den beräknade radarmålarean för EIKON som funktion av azimutvinkel vid 10 GHz.

6.2 MÄTNINGAR

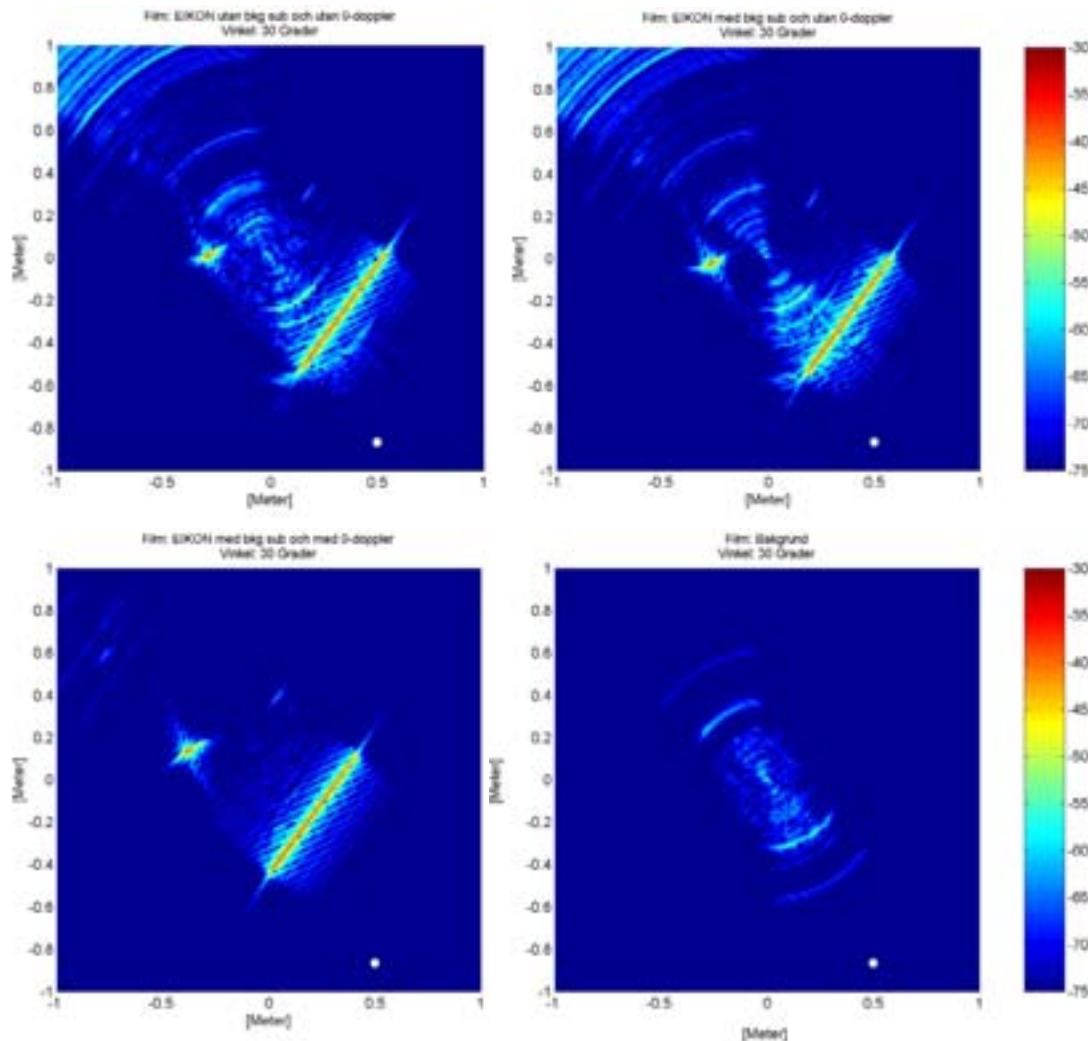
FOI har under 2005 utfört radarmålareamätningar på skalmodellen EIKON. Mätuppställning, mätmetodik, mätparametrar och mätresultat presenteras framför allt i Ref 12 men även i Ref 10. En kort sammanfattande del ges nedan.

Mätningarna har utförts dels vid X-band, dvs 6 – 16 GHz, och dels vid W-band, 90 – 100 GHz. X-bandsmätningarna utfördes i FOIs stora inomhusmätthall, se Ref 6. Figur 13 visar en bild tagen tvärs radarbelysningsriktningen, på mätuppställningen i Stora mätthallen.



Figur 13. Bild, tagen tvärs belysningsriktningen, på mätuppställningen i Stora mätthallen.

Resultaten från dessa mätningar indikerar att filtreringsmetoder som 0-doppler och bakgrundssubtraktion med fördel går att använda för att göra data mer frirymdlika. Figur 14 visar effekterna av dessa filtreringar på en ISAR-bild.



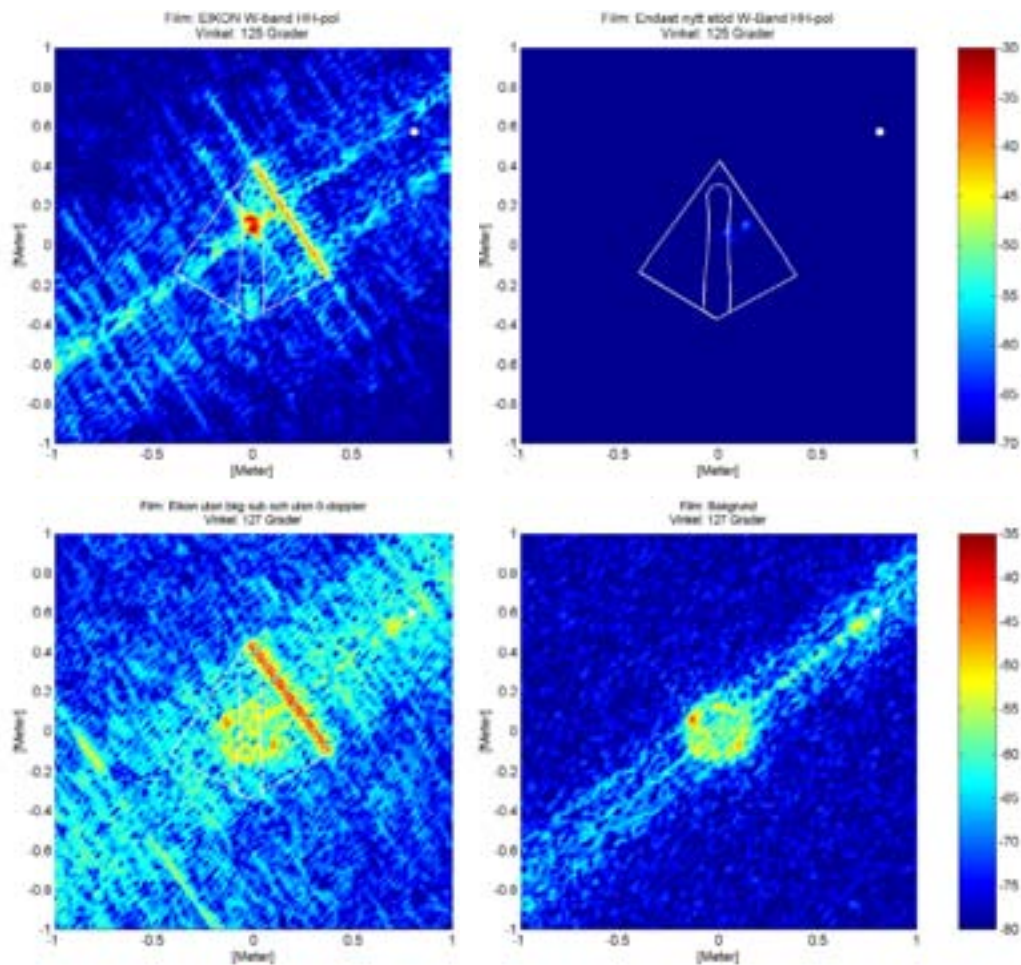
Figur 14. ISAR-bilder på EIKON och bakgrund med och utan filtrering vid X-band. Övre vänstra ISAR-bilden är genererad utan bakgrundssubtraktion och 0-dopplerfiltrering. Övre högra bilden är bakgrundssubtraherad men utan 0-dopplerfiltrering. Nedre vänstra bilden är bakgrundssubtraherad och 0-dopplerfiltrerad. Nedre högra ISAR-bilden visar bakgrunden.

Mätningarna vid W-bandet genomfördes utomhus och vindrörelser i kombination med den korta våglängden, ca 3 mm, ger inte tillräckligt stabila mätförhållanden för att de tidigare beskrivna filtreringarna ska kunna användas. Figur 15 visar de objektstativ som använts vid mätningarna. Det ena är ett traditionellt (i dessa sammanhang) frigolitstativ och det andra ett mer ”lågsignatur” stativ. På grund av omfattningen på uppdraget har det nya stativet konstruerats på ett sådant sätt att det ”följer med” rotationen av objektet.

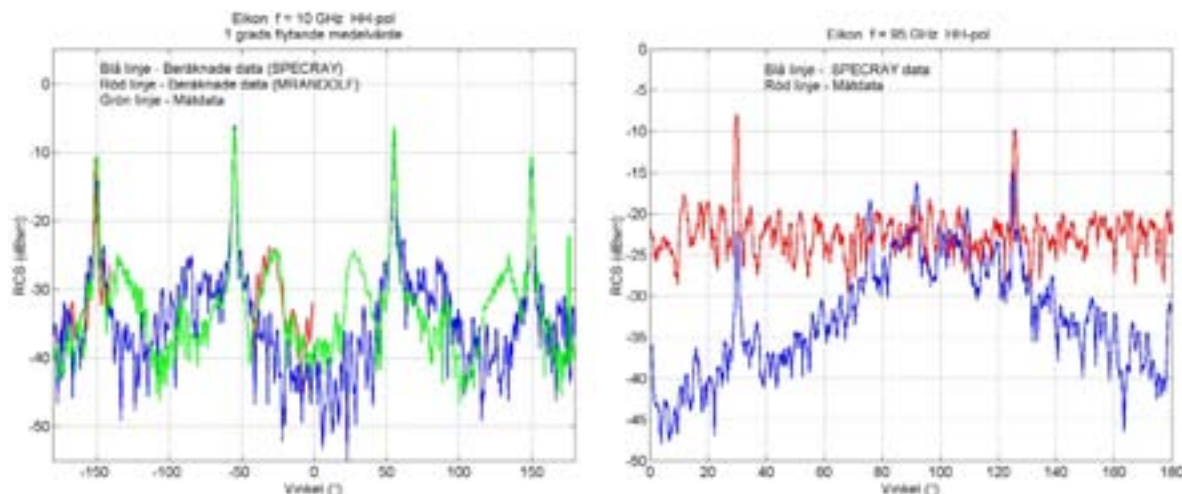
Figur 16 visar ISAR-bilder av mätningarna vid W-band. Ett exempel från jämförelserna visas i Figur 17. Mätresultaten och jämförelserna presenteras i detalj i Ref 10.



Figur 15. Mätningar har utförts på EIKON med två olika stöd vid W-band. Bilden till vänster visar EIKON på frigolitstöd och till höger EIKON på ett "lågsignaturstöd".



Figur 16. Övre bildraden visar ISAR-bilder med och utan EIKON på "nytt stöd". Nedre bildraden visar ISAR-bilder med och utan EIKON på frigolitstöd. Upplösningen i bilderna är ca 2 cm.



Figur 17. Figuren visar jämförelser mellan mätresultat och beräkningsresultat vid 10 GHz (figuren till vänster) och 95 GHz (figuren till höger).

6.3 UTVÄRDERING SIGNATUR

Som tidigare nämnts så är EIKON ett orealistiskt "rent" objekt, d.v.s. inga luftintag, utblås, skarvar, klaffar, roder och dylikt och som i sin form redan är smyganpassat. Detta medför att målarean är mycket låg vilket i sin tur ställer höga krav på både mätningarna och beräkningarna. Rent formgivningmässigt kan man inte göra så mycket mer för att sänka målarean utan att göra EIKON än mer orealistisk. Däremot kan man sänka radarmålarean genom att beklä vissa delar av EIKON med t ex resistiva skikt för att dämpa ut t ex ytvågor och dess interaktion med kanter.

6.4 ANVÄNDNING AV RADARABSORBERANDE MATERIAL

Lågsignaturfarkoster som EIKON ställer speciella krav på användningen av radarabsorberande material (RAM), vilket beror på att redan den geometriska utformningen är gjord i avsikt att åstadkomma extremt små monostatiska radarmålytor. Några konsekvenser för användningen av RAM tas upp här.

6.4.1 Diffraction från diskontinuiteter och krökta ytor

EIKON, liksom dess förebild Northrop Grumman's Pegasus, har genom sin geometriska utformning utomordentlig liten monostatisk radarmålyta när den belyses i hotsektorerna. De dominerande bidragen är främst kantdiffraction, ytvågsdiffraction och liknande effekter som inte kan beräknas med hjälp av optikbaserade metoder. Utan tillgång till kraftfulla ekvationslösare för Maxwells ekvationer är man hänvisad till metoder och algoritmer för speciella typer av diffraction för en tillfredsställande uppskattning av monostatiska radarmålytor. Diskontinuiteter i geometri eller material kan ge upphov till signifikanta målytebidrag i hotsektorerna. Detsamma kan ytvågor, även kallade krypvågor, göra. Sådana vågor genereras vid strykande infall mot krökta ytor, t.ex. vingytor. Ytvågorna utbreder sig längs ytan medan de successivt avstrålar i tangenrikningen. Om de reflekteras mot en diskontinuitet, kan de genom återspridning mot den belysande radarn bidra till radarmålytan.

6.4.2 Radarabsorbenter och polarisationseffekter

Optiska metoder för beräkning av radarmålytor kan i allmänhet inte ta korrekt hänsyn till de förändringar av polarisationen som infallande vågor undergår vid spridning. Härtill krävs mer kompletta spridningsmodeller. Detta bör beaktas när sensorhotbilden värderas.

RAM används primärt för att reducera ett radarmåls signatur, framförallt i hotsektorerna. För att väl utnyttja RAM på plana eller krökta ytor är det angeläget att kunna dra nytta av möjligheterna till depolarisation av det spridda fältet. Man kan t.ex. vilja undvika en absorbent som har otillräcklig effekt för en viss polarisation hos det infallande fältet, medan den istället är överstark för en annan. I sådana fall kan magnetodielektriska absorbenter (med eller utan magnetiska förluster) nyttjas, vilket demonstrerats i projektet, se Ref 10.

6.4.3 Impedansrandvillkor

Numerisk analys av radarmålytor hos ett objekt försett med RAM kompliceras i hög grad om den dielektriska materialstrukturen måste modelleras i tre dimensioner. Detta kan undvikas om RAM-strukturen först modelleras som en uppsättning impedansrandvillkor, eller effektivrandvillkor. Med hjälp av dessa kan därefter objektets radarmålytor numeriskt beräknas lika effektivt som om objektets begränsningsytor vore perfekt ledande. I ett tidigare projekt har fördelarna med impedansrandvillkor kunnat demonstreras. Mot denna bakgrund vore det önskvärt, att metoder och algoritmer utvecklades för beräkningsnoggranna modeller av radarabsorbenter i form av impedansrandvillkor. Moderna datorprogram för lösning av spridningsproblem erbjuder i allmänhet också möjligheten att använda impedansrandvillkor.

6.4.4 Optimering av radarabsorbenter

Prestanda hos en radarabsorbent kan verkningsfullt styras med hjälp av effektiva optimeringsalgoritmer. Som ett exempel på vad sådana algoritmer kan åstadkomma har en treskiktabsorbent av högtemperaturkeramer, applicerad på en perfekt ledande platta, optimerats för maximal absorption av vinkelrätt infallande mikrovågor i frekvensbanden 33–37 GHz och 91–97 GHz, se Ref 9. Moderna optimeringsmetoder har redan kommit att nydana utformningen av radarabsorbenter. De har också i hög grad underlättat design av ultrabredbandiga och multi-spektrala absorbentmaterial.

7 SLUTSATSER

EIKONS signatur är utvärderad i avsnitten ovan. Eftersom syftet med projektet var att demonstrera en process för utformning kommenteras istället processen och de tillgängliga verktygen i de följande avsnitten.

7.1 UTVÄRDERING AV UTFORMNINGSPROCESSEN

Projektet har endast hanterat signaturfrågorna och kommentarerna här ska ses ur ett sådant perspektiv. Allmänt kan sägas att utformningsprocessen förutsatte någon slags iterativ process där en design utvärderades vilket medförde förändringar. Därefter gjordes en ny utvärdering. I verkligheten tog det för lång tid dels att ta fram en design och dels att utvärdera den. Designen av framdrivningssystemet (intag, motor utlopp) blev klar först under 2005 medan skrovgeometrin var klar i början av projektet. Intag och utlopp är högst väsentliga ur signatursynpunkt. När det gäller utvärdering har framför allt signatursidan blivit försenad. Det berodde delvis på den sena designen av framdrivningen men också på att den beräkningsbaserade signaturkartläggningen var en större uppgift än förväntat. På radarsidan har beräkning av signaturen från

intag och utlopp ännu inte skett. På IR-sidan har signaturen hos intaget inte genomförts p.g.a. resursbrist. Erfarenheterna kan sammanfattas i några råd för framtida arbete:

- Gör tidigt en inventering av verktyg för signaturkaraktisering. Beräkning och mätning. Vad saknas?
- Tydliggör kraven. Hur ska olika krav ställas mot varandra? Nödvändigt att veta detta för att kunna genomföra förändringar och optimeringar i designen.
- Gör en tidslinje så att tidskrävande moment kan identifieras

7.2 VERKTYG OCH METODER

Även om förgående avsnitt diskuterar vissa problem i processen får det ändå konstateras att verktygen för denna typ av arbete i stort sett finns vid FOI.

För det optiska området har McCavity använts för simulering av signaturen hos skrov och avgasplym relativt bakgrunden. Resultaten bedöms ha varit av bra kvalitet. I en studie användes istället CAMEO-SIM som har möjligheter till avancerade simulering av mål mot markbakgrund. Några förbättringar inom signaturområdet är ändå nödvändiga eller åtminstone önskvärda. Inom det optiska området skulle signaturvärderingen kunna göras säkrare om en sensormodell kopplades till signatursimuleringen. Dessutom är det önskvärt att förbättra beskrivningen av klottret i himmelsbakgrunden samt av turbulenseffekterna i de optiska simuleringarna. Dessa är gränssättande i upptäcktsduellen. För rent optimeringsarbete bör förenklade modeller tas fram som åtminstone kan hantera delproblem, exempelvis optimering av emissivitet hos ytmaterial.

Inom radarområdet har dels beräkningar utförts med olika typer av metoder och dels har mätningar utförts med olika system, mätstativ och vid olika mätplatser. Resultaten från både beräkningarna och mätningarna vid X-band bedöms vara av god kvalitet och har uppvisat förväntade resultat. Den stora utmaningen har varit mätningar och beräkningar vid W-band. Man kan konstatera att verktygen finns men att metodiken och delar av utrustningen skulle behöva modifieras, t ex lågsignaturstöd. Det finns också ett behov att studera de olika beräkningsmetodernas begränsningar, giltighetsområden, facetteringsregler, för- och nackdelar mm. Detta gäller i princip för alla våglängdsband men speciellt för område där våglängden är liten i förhållande till objektets dimensioner, d.v.s. högfrekvensområdet. Genom god kunskap om dessa regler och egenskaper kan man ha möjlighet att effektivisera och optimera sina beräkningar för olika sammanhang, t ex signaturdesign, SAR-beräkningar, kravsättning mm.

8 REFERENSER

- Ref 1 M Andersson, *SIGGE VI.0. Theory, Implementation and Verification.*, FOI-R--0828--SE, 2003.
- Ref 2 D. Filbee et al., *Modeling of High Fidelity Synthetic Imagery for Defence Applications*, Proceedings of SPIE, Vol 4718, 2002, p. 12.
- Ref 3 Bernhard Gustafsson; *FoT25 nyckelteknologiprojekt TVC-LO Intag och Utlopp - AP 2.5 Analys CFD*, 2005VAC001418, FÖRETAGSINTERN.
- Ref 4 M Johansson och T Winzell, *Benchmarking av SIGGE och McCavity*, manuskript till FOI-rapport.

- Ref 5 M. Karlsson, M. Gustavsson, S. Molin och F Näsström, *Utvärdering av SPECRAY EM*, FOI-R—1354—SE, 2004.
- Ref 6 O. Lundén, *Mätsystemet i Stora Mäthallen. Dokumentation version 1.1*, FOA-D--00-00508-408--SE, December 2000.
- Ref 7 McCavity, *User Guide for McCavity Version 4.0*, March 2005, Insys Ltd, Reddings Wood, Ampthill, Bedford, MK45 2HD, England.
- Ref 8 McCavity, *Test Report McCavity Version 4.0*, March 2005, Insys Ltd, Reddings Wood, Ampthill, Bedford, MK45 2HD, England.
- Ref 9 C Nelsson, m.fl., *Multidisciplinär optimering av lågsignaturfarkost*, FOI-R--1465--SE, december 2004.
- Ref 10 C Nelsson, m.fl., *Multidisciplinär optimering av lågsignaturfarkost – projektresultat under 2005*, FOI-R--1870--SE, november 2005.
- Ref 11 M. Nilsson, *Fast numerical techniques for Electromagnetic Problems in Frequency Domain*, ACTA UNIVERSITATIS UPSALIENSIS, Uppsala 2003
- Ref 12 J Rahm, O Lundén, A Örbom och S Nilsson, *Radarmålareamätningar på EIKON*, FOI-R--1717--SE, augusti 2005.
- Ref 13 <http://www.saabaerosystems.com/4.d90453fedf4722d47fff454.html>