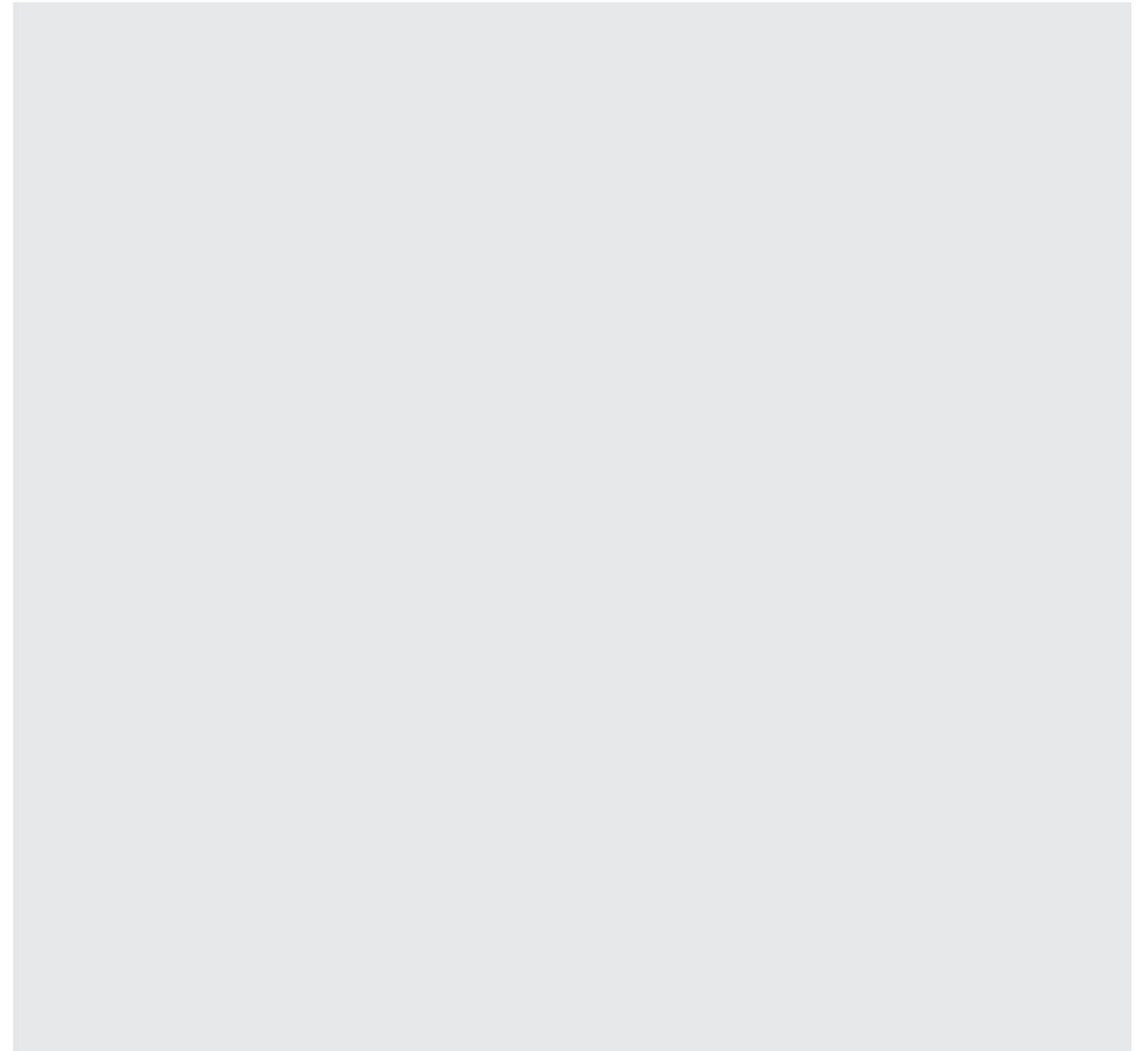


JOHAN FALK (RED), HENRIK EDEFUR, ROLAND ERICKSON,  
DANIEL HENRIKSSON, PER-ÅKE TORLUND



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.

Johan Falk (red), Henrik Edefur, Roland Erickson, Daniel Henriksson, Per-Åke  
Torlund

## UAV ESM Förstudie - Slutrapport



<b>Utgivare</b> FOI - Totalförsvarets forskningsinstitut Ledningssystem Box 1165 581 11 Linköping	<b>Rapportnummer, ISRN</b> FOI-R--2054--SE	<b>Klassificering</b> Teknisk rapport
	<b>Forskningsområde</b> 6. Telekrig och vilseledning	
	<b>Månad, år</b> Augusti 2006	<b>Projektnummer</b> E7111
	<b>Delområde</b> 69 Breda projekt inom telekrig och vilseledning	
	<b>Delområde 2</b>	
<b>Författare/redaktör</b> Johan Falk (red) Henrik Edefur Roland Erickson Daniel Henriksson Per-Åke Torlund	<b>Projektledare</b> Johan Falk	
	<b>Godkänd av</b>	
	<b>Uppdragsgivare/kundbeteckning</b> FM	
	<b>Tekniskt och/eller vetenskapligt ansvarig</b> Johan Falk	
<b>Rapportens titel</b> UAV ESM Förstudie - Slutrapport		
<b>Sammanfattning</b> <p>I ett uppdrag inom ramen för försvarsmaktens FoT-beställning fick FOI uppdraget att i en förstudie studera aspekter rörande hur ett UAV-baserat signalspaningssystem bör utformas. Arbetet har dels redovisats i seminarieform och dels i form av denna rapport.</p> <p>Inledningsvis innehåller rapporten en introduktion samt några förkortningar och definitioner. Dessutom beskrivs övergripande det behov som försvarsmakten indikerat.</p> <p>Större delen av rapporten fokuserar på tekniska och taktiska aspekter kring UAV-baserad signalspaning. I kapitel 5 beskrivs vilka grundläggande funktioner som en ESM-system kan ha. Kapitel 6 redovisar de stora och viktiga tekniska utmaningar som finns för att kunna realisera ett UAV-baserat ESM system. I kapitel 7 redovisas några systemexempel. Dessa system används sedan i kapitel 8 där de taktiska möjligheterna genomlysas med hjälp av ett scenario och ett antal tillhörande typsituationer. Kapitel 9 fokuserar på plattformsaspekter och redovisar ett antal exempel på plattformar med varierande flygprincip. Mervärde av UAV-baserad ESM berörs i kapitel 10. Avslutningsvis återfinns några förslag på fortsatt arbete inom området.</p>		
<b>Nyckelord</b> UAV, ESM, signalspaning, positionering, pejling, internationella uppdrag, telekrig		
<b>Övriga bibliografiska uppgifter</b>	<b>Språk</b> Svenska	
<b>ISSN</b> 1650-1942	<b>Antal sidor:</b> 69 s.	
<b>Distribution enligt missiv</b>	<b>Pris:</b> Enligt prislista	

<b>Issuing organization</b> FOI – Swedish Defence Research Agency Command and Control Systems P.O. Box 1165 SE-581 11 Linköping	<b>Report number, ISRN</b> FOI-R--2054--SE	<b>Report type</b> Technical report
	<b>Programme Areas</b> 6. Electronic Warfare and deceptive measures	
	<b>Month year</b> August 2006	<b>Project no.</b> E7111
	<b>Subcategories</b> 69 Interdisciplinary Projects regarding Electronic Warfare and deceptive measures	
	<b>Subcategories 2</b>	
<b>Author/s (editor/s)</b> Johan Falk (red) Roland Erickson Daniel Henriksson Per-Åke Torlund Henrik Edefur	<b>Project manager</b> Johan Falk	
	<b>Approved by</b>	
	<b>Sponsoring agency</b> Swedish Armed Forces	
	<b>Scientifically and technically responsible</b> Johan Falk	
<b>Report title (In translation)</b> UAV ESM study - Final report		
<b>Abstract</b> <p>In a project initiated by the Swedish Armed Forces the Swedish Defence Research Agency have studied aspects concerning UAV-based ESM. The study has been presented in a seminar and in this final report.</p> <p>This report contains an introduction with definitions and abbreviations used in the report. The demands indicated from the Swedish Armed Forces are presented in Chapter 4.</p> <p>The major part of the report focuses on technical and tactical aspects on UAV-based ESM. In Chapter 5 the elementary functions of an ESM-system are described. Chapter 6 contains the big and important technical challenges when realising a UAV-based ESM system. In Chapter 7 some examples of ESM-systems for UAVs are presented. These examples are used in Chapter 8 where the tactical possibilities are commented. Chapter 9 focuses on different UAV platforms. The gain of using UAV-based ESM compared to land based ESM is presented in Chapter 10.</p> <p>As a conclusion, the report gives some suggestions of future work in this area.</p>		
<b>Keywords</b> UAV, ESM, Positioning, direction finding, electronic warfareUAV, ESM, positioning, direction-finding, international missions, electronic warfare		
<b>Further bibliographic information</b>	<b>Language</b> Swedish	
<b>ISSN</b> 1650-1942	<b>Pages</b> 69 p.	
	<b>Price acc. to pricelist</b>	

## Innehållsförteckning

1	Introduktion.....	7
2	Förkortningar och definitioner.....	9
3	Angränsande verksamheter.....	11
3.1	Kopplingar till MBTK-studien (FM ATK99086S).....	11
3.2	Kopplingar till ”Signalspaning i ett brett elektromagnetiskt perspektiv – Förstudie” ....	11
3.3	Synpunkter från S1 Utvecklingsenheten Telekrigavdelningen.....	11
3.4	Samarbete med K3 UAV-enheten .....	11
3.5	Utländska verksamheter / system.....	11
4	Inventering av behov hos FM .....	13
5	Beskrivning av aktuella ESM funktioner.....	15
5.1	Monitorering .....	15
5.2	Rikttningsbestämning.....	15
5.3	Positionering .....	16
6	Tekniska utmaningar.....	19
6.1	Antennsystem.....	20
6.2	Länk mellan UAV och ”markstation”.....	27
7	Exempelsystem – vilken utrustning ska sitta i UAVn? .....	29
8	Scenario och typsituationer.....	31
8.1	Uppdragstyper/Scenarion/Bakgrund.....	31
8.2	Typsituationer .....	34
8.3	UAV-baserad SIS i aktuella typscenarion .....	37
9	Farkoster .....	45
9.1	Vingburna UAVer.....	45
9.2	Rotorburna UAVer.....	45
9.3	Hybrid av rotor- och vingburen UAV .....	45
9.4	Aerostater/Drakar.....	45
9.5	Motorer (förbränning, el och jet) .....	46
9.6	Möjliga prestanda.....	46
9.7	Befintliga tänkbara farkoster.....	49
9.8	Framtida tänkbara farkoster .....	53
9.9	Vilken betydelse har valet av plattformstyp för respektive ESM funktion .....	58
10	Mervärde av UAV-baserad ESM.....	59
10.1	Teknisk och taktisk förmåga för ett UAV-baserat system.....	59
10.2	Tekniska möjligheter att realisera ett UAV-baserat system .....	59
11	Projektförslag – fortsatt arbete.....	61
12	Referenser .....	63
13	Appendix – Inventering RF emitterar.....	65
13.1	Landbaserade emitterar.....	65
13.2	Fartygsbaserade emitterar.....	67
13.3	Flygburna emitterar .....	68



# 1 Introduktion

Denna rapport redovisar resultat från FOI projektet ”Förstudie UAV ESM” inom ramen för FM samlingsbeställning.

Den huvudfråga som studerats är vilka möjligheter och begränsningar som gäller för ett UAV-baserat ESM system för marklägesuppfattning. Projektet har särskilt studerat vilket mervärde dessa system kan ge jämfört med signalspaningssensorer placerade på andra plattformar.

I huvudsak har små UAVer studerats, dvs. totalvikten understiger ca 10 kg med maximal lastvikt om ca 2 kg. Ett fåtal andra UAVer har studerats för jämförande analyser.

Tekniska möjligheter och taktisk förmåga har studerats för användning av små UAV-system vid internationella insatser inom 3-5 år samt 5-10 år.

I denna rapport ligger tyngdpunkten på signalspaning mot radiosignaler, både kommunikation och radar, men samverkan med andra sensorer, t ex optiska, bör kunna ge ett stort mervärde.





## 2 Förkortningar och definitioner

AFRL	Air force research lab (USA)
AIS	Automatic identification system
ALU	Arithmetic Logic Unit (del av DSP)
ATC	Air traffic control
DC	Direct current (likspänning)
DDOA	Doppler difference of arrival
DSP	Digital signal processing/processor
ESM	Electronic Support Measures - Signalspaning
FDOA	Frequency difference of arrival
FoT	Försvarsmaktens forsknings- och teknologiutvecklingsåtgärder
FM	Försvarsmakten
FPGA	Field programmable gated array
IED	Improvised explosive devices
KOS	Kommunikationssignalspaning
LBI	Lång bas interferometri
LPI	Low probability of intercept (smygsignaler)
MCM	Multi chip modul
MMIC	Monolithic Microwave Integrated Circuit
MEMS	Micro Electro Mechanical Systems
NBG08	Nordic Battle Group 08
RF	Radiofrekvent
ROE	Rules of engagement
SIS	Signalspaning
SNR	Signal to noise ratio (signal till brus förhållande)
TDOA	Time difference of arrival
TES	Teknisk signalspaning (radarsignalspaning)
TK SE	Telekrig stödenhet (FM)
UAV	Unmanned aerial vehicle – obemannad flygande farkost
UHF	Ultra High Frequency 300 – 3000 MHz
VHF	Very high frequency 30 – 300 MHz
VMS	Varnar och motverkanssystem



### 3 Angränsande verksamheter

Inom detta område – signalspaning från UAVer – finns kopplingar till ett flertal andra verksamheter.

#### 3.1 Kopplingar till MBTK-studien (FM ATK99086S)

FOI har deltagit i pågående studie Markbaserade telekrigsförband (FM ATK99086S), numera omdöpt till (LED 040601S). Inom ramen för denna studie har ett antal frågeställningar behandlats. Dessa har bland annat varit inriktade mot att, via ett antal systemförslag, påvisa vilket mervärde signalspaning från UAV skulle tillföra jämfört med markbaserad signalspaning. Arbetet finns redovisat i ett underlag till en ännu ej framställd HKV-rapport som på FOI är registrerat under beteckningen (06-H66) med titeln ”Svar på fördjupningsfrågor, studie LED 040601S, Markbaserade Telekrigsförband”.

#### 3.2 Kopplingar till ”Signalspaning i ett brett elektromagnetiskt perspektiv – Förstudie” (FOI MEMO 1532)

Inom ”Signalspaning i ett brett elektromagnetiskt perspektiv – Förstudie” (FOI MEMO 1532) diskuteras signalspaning i ett allmännare perspektiv än i denna rapport. Genom att samutnyttja scenarion mellan projekten kan rättvisande jämförelser göras. I denna rapport koncentreras arbetet mot UAV-baserade signalspaningssystem medans ”Signalspaning i ett brett elektromagnetiskt perspektiv – Förstudie” gäller i ett allmännare perspektiv.

#### 3.3 Synpunkter från S1 Utvecklingsenheten Telekrigavdelningen

Inför NBG08 skall ett litet UAV-system införskaffas men ingen inriktning mot signalspaning finns, endast optisk spaning avses. Utöver detta lilla UAV-system skall ett större system införskaffas men tidplanen är osäker.

Nyttan med signalspaning från ett UAV-baserat system är väl förankrad inom S1 Utvecklingsenheten men en flygande plattform saknas.

#### 3.4 Samarbete med K3 UAV-enheten

På grund av hög arbetsbelastning har K3/UAV-enheten avböjt att medverka i denna förstudie.

#### 3.5 Utländska verksamheter / system

Inom ramen för FOI projektet ”Kommunikationssignalspaning i det framtida försvaret” (FM samlingsbeställning) har inledande diskussioner hållits gällande samarbete med Storbritannien inom området ”UAV ESM Payload Research”. Det samarbetsområde som avses är alltså den ESM utrustning som skall placeras i UAVn. I dagsläget (september 2006) finns ett MOU undertecknat men ingen specifik projektverksamhet pågår.

En omvärldsinventering av tillgängliga UAVer redan utrustade med ESM-system har genomförts och listas nedan (tabell 3.1). Genomgående kan sägas att de flesta företag är villiga att utrusta sina UAVer ”enligt kundens önskemål och behov”. Tyvärr leder detta förhållningssätt till bristfällig information om vad kända system verkligen har för förmåga.

Land	Tillverkare	Namn	Förmåga	Prestanda
ISRAEL	IAI/Malat	Heron (Mahatz) MALE System / Heron TP (Eitan)	COMINT, SIGINT, IMINT, SAR etc.	Längd: 8,5 m Vingspann: 16,6 m Motor: 100 hk Vikt (MTOW): 1 150 kg Max last: 250 kg
FRANKRIKE	EADS/IAI	<b>Eagle 1</b> (se Heron)	COMINT(?), SIGINT(?), SAR/MTI, EO/IR etc.	Längd: 8,9 m Vingspann: 16,3 m Motor: 115 hk Vikt (MTOW): 1200 kg Max last 250 kg
FRANKRIKE	SAGEM	<b>Sperwer-LE</b> under utveckling	EW COMINT, ELINT, EO/IR, SAR, vapen 60+ kg	Längd: 3,5 m Vingspann: 6,5 m Motor: 70 hk Vikt (MTOW): 350 kg
FRANKRIKE	SAGEM	<b>Sperwer (Ugglan)</b>	COMINT, ELINT, SAR etc	Längd: Vingspann: 4,2 m Motor: 70 hk Vikt (MTOW): 375 kg Max last: 45 kg
PAKISTAN	AWC	<b>VISION 1</b>	COMINT, ELINT, FLIR sensors etc	Längd: - Vingspann: - Motor: 20-25 hk Vikt (MTOW): - Max last 25 kg
USA	BAE SYSTEMS	<b>Skyeye (RAE-50)</b> <b>(R4E-100)</b>	COMINT, ELINT	Längd: 4,12 m Vingspann: 7,32 m Motor: 50 hk (RAE-50) 98 hk (R4E-100) Vikt (MTOW): 566 kg (R4E-50) Max last: 61 kg. (R4E-50)
USA	EADS	<b>Global Hawk</b>	COMINT, ELINT	Längd: 13,5 m Vingspann: 35,4 m Vikt (MTOW): na Max last: 900 kg

Tabell 3.1: Lista på UAV-ESM system.

## 4 Inventering av behov hos FM

De indikationer vi fått om behov hos FM gällande UAV-baserade ESM system är:

- Små system som handhas på bataljonsnivå utan krav på ramper eller flygfält.
- Tidshorizonten som avses är NBG08 och senare
- Ingen specifik UAV enhet avses utan farkost och ESM system skall ingå i annan ESM (telekrig) enhet.
- Både ESM mot kommunikations- och radaremittrar är av intresse.
- Kombinerade sensorer, dvs. både RF och optiska sensorer är önskvärt.

Utifrån ovanstående punkter har arbetet koncentrerats mot små system med önskvärda egenskaper.



## 5 Beskrivning av aktuella ESM funktioner

Gällande UAV-baserad signalspaning står optisk och elektrooptisk spaning för huvuddelen av de idag använda metoderna. I detta projekt har signalspaning mot kommunikations- och radarsändare studerats. Tre huvudförmågor har identifierats – monitorering, rikttningsbestämning och positionering av (mål)sändare. Innebörden av dessa är beskrivna i följande kapitel. Notera att dessa förmågor kan erhållas såväl vid enskilt uppträdande som då två eller flera UAV-plattformar samverkar. Exempelvis kan UAv'er med rikttningsmätande förmåga utbyta information och på så sätt bidra till en gemensam lägesbild av upptäckta och klassificerade sändare. Samverkan mellan UAv'er innebär att kraven på bland annat kommunikation ökar. Dessutom kan svårigheter uppstå vid associering av de olika plattformarnas observationer, dvs. samma problem som vid all signalspaning.

Beskrivna ESM förmågor avser signalspaning mot avsiktliga sändningar från såväl militära som civila sändare men även oavsiktlig strålning från andra typer av elektriska apparater.

De sändare som beaktas i denna rapport finns beskrivna i kapitel 13. Generellt kan sägas att de ESM-system som diskuteras i denna rapport kan hantera en stor mängd existerande och framtida sändare. Inom kommunikationsområdet omfattar detta t ex WCDMA, GSM, WLAN, diverse radiolänkar, frekvenshoppande och bandspridda taktiska radiosystem och civila komradio men även de idag existerande typerna av smygradiosystem.

På radarområdet bedöms intressanta emitterar vara olika typer av radarer med luftvärnsanknytning, fältradarer och radar för övervakning av luftrummet, så kallad ATC (Air Traffic Control). Utöver dessa kan exempelvis även artillerilokaliseringsradar vara intressant som emitter. Denna radartyp återfinns dock inte i de scenarier som beskrivs kapitel 8.2.

Oavsiktlig strålning från elektriska apparater, t ex datorer, monitorer, mikrovågsugnar och framförallt IEDs beaktas utifrån samma perspektiv som avsiktliga sändare. De förmågor som beskrivs nedan kan även tillämpas på oavsiktliga strålare men på grund av den svaga signalstyrkan ställs höga krav på ESM-systemens känslighet.

### 5.1 Monitorering

Begreppet monitorering är sammansatt av ett antal delförmågor, som kan genomföras i olika grad beroende på ESM-systemets uppbyggnad och förmåga. De olika delförmågorna är:

- Förmågan att kunna upptäcka förekomsten av en (eller flera) sändare.
- Förmågan att klassificera en (eller flera sändare), dvs. avgöra sändarens typ och/eller identitet.
- Förmågan att avlyssna informationsinnehållet i aktuell sändning, vilket ofta inkluderar dekryptering.

De två förstnämnda delförmågorna är aktuella för både kommunikationssignaler och radarsignaler, medan den sistnämnda förmågan endast är relevant för kommunikationssignaler. Det beror på att signalen i radarfallet inte är att betrakta som en informationsbärare.

### 5.2 Rikttningsbestämning

Förmågan rikttningsbestämning innebär att kunna bestämma riktningen från sensor till emitter i horisontal- och/eller vertikalplanet. För att åstadkomma detta finns ett antal tillgängliga metoder. Denna rapport avgränsas till att behandla interferometri och amplitudmonopuls. Den senare bygger på att antenner med viss riktverkan används och är först och främst aktuell för radarsignaler medan interferometri är aktuell både för kommunikations- och radarsignaler.



### 5.3 Positionering

Förmågan positionering av en (eller flera) sändare avser positionsbestämning i två eller tre dimensioner av en (eller flera) sändare. Beroende på sändartyp och frekvensband kan positionering ske på mycket olika sätt. De metoder som beaktas i denna rapport är:

1. Krysspejling från två (eller fler) riktningsmätande enheter.
2. Egentriangulering där en inmätande enhet genomför upprepade mätningar från olika positioner och på så sätt skapar en egen mätbas.
3. Vertikal triangulering där infallsriktningen bestäms i två dimensioner. Denna riktning skär marknivån i en punkt som antas vara identisk med sändarpositionen.
4. Time Difference Of Arrival (TDOA) där signalens gångtidsskillnad från emittern till tre (eller fler) inmätande enheter används.
5. Doppler Difference Of Arrival (FDOA/DDOA) utnyttjar frekvensvariationer i den inmätta signalen för att åstadkomma positionering av emittern. Frekvensvariationerna uppkommer som en följd av att den relativa hastigheten mellan emitter och mottagare.
6. Long Baseline Interferometry (LBI) som är en interferometer där en icke entydig interferometer används.

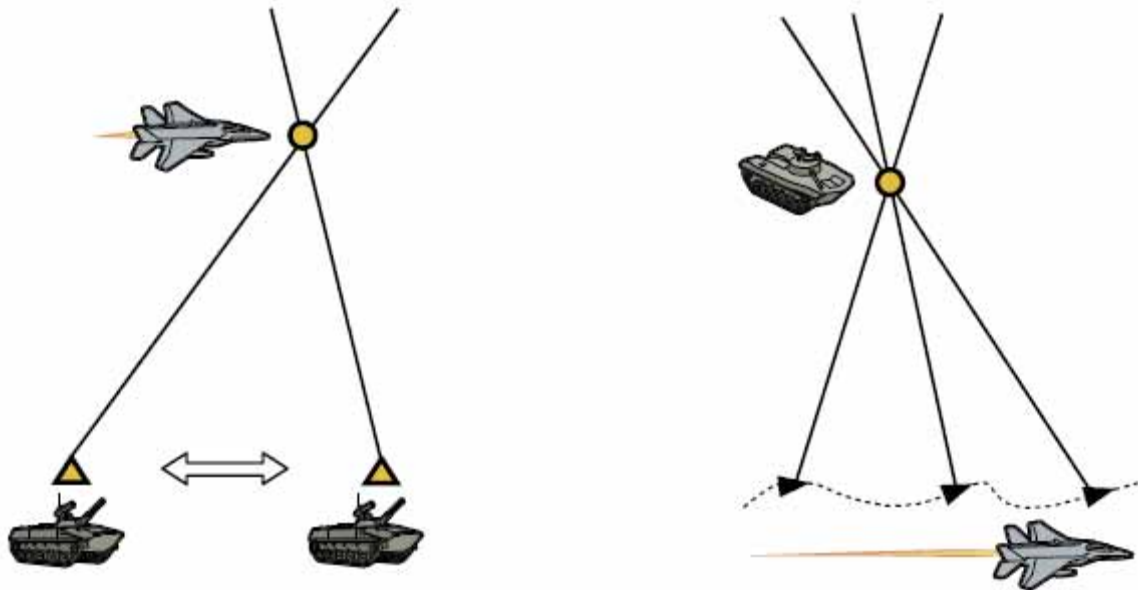
Nedan beskrivs varje metod att positionera mer ingående. Beskrivningar och bilder är hämtade från [5.1]. I ett modernt digitalt ESM-system kan flera av ovanstående metoder tillämpas parallellt för att maximalt utnyttja den information som finns i den mottagna signalen. Resultatet, efter viss informationsfusion, blir generellt att en högre positioneringsnoggrannhet erhålls.

#### **Krysspejling**

Det enklaste och mest självklara sättet att bestämma ett läge är att pejla riktningen till emittern från två olika punkter och se var linjerna som representerar riktningarna skär varandra. Metoden kallas för triangulering eller krysspejling, se den vänstra delen av figur 5.1. Felet i lägesskattningen varierar beroende på emitterns läge i förhållande till SIS-plattformarna. För att få en bra skattning av läge på långa avstånd från pejlbasen ska den vara så lång som möjligt. Med enkel geometri kan det konstateras att felet i inmätt emitterläge blir mycket stora nära pejlbasens förlängningar. De minsta lägesfelen fås när skärningen mellan de inmätta riktningarna är  $90^\circ$ .

#### **Egentriangulering**

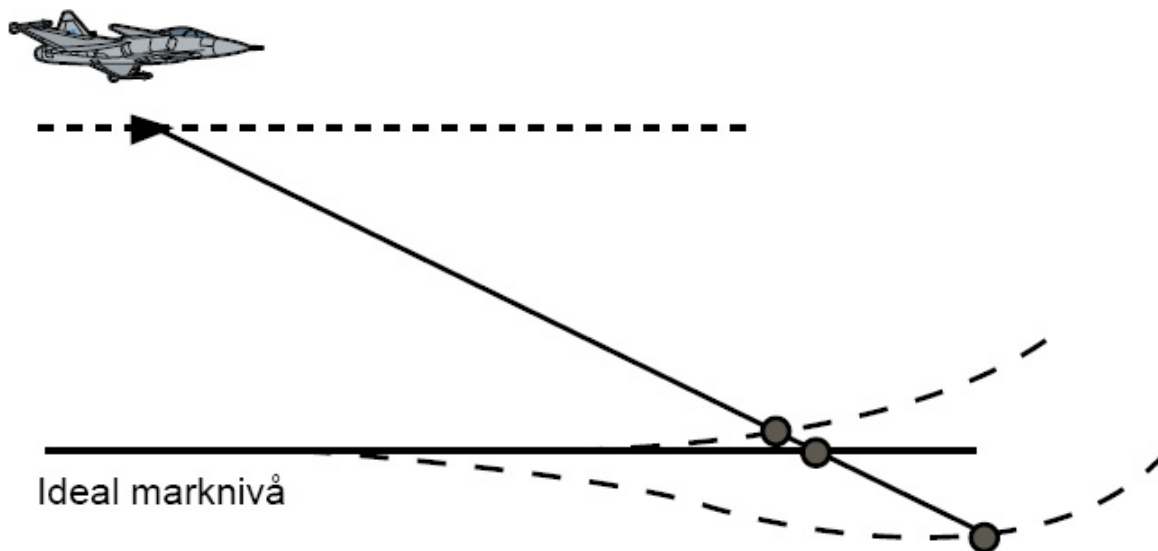
Det är möjligt att använda en ensam rörlig plattform för att bestämma en emitters läge. Förfarandet kallas för egentriangulering och bygger på att det är möjligt att genom egen rörelse skapa en mätbas, se den högra delen av figur 5.1. En förutsättning för detta är att signalkällan är stationär eller endast rör sig långsamt och att den sänder under en tillräckligt lång tid, eller att den är återkommande.



Figur 5.1: Två sätt att triangulera. Till vänster sker trianguleringen med två samverkande inmätare. Till höger sker en egentriangulering där en inmätare genom att förflytta sig mellan mätningarna av infallsvinkel kan bestämma läget för en fast emitter.

### Vertikal triangulering

Genom att från en flygande plattform mäta både azimuth och elevationsvinkel är det möjligt att med kännedom om flyghöjden bestämma var på marken en emitter befinner sig. Se figur 5.2. Denna metod har vissa svagheter då marknivån inte är plan.



Figur 5.2: Vid vertikal triangulering kan markens variationer i nivå vara ett problem. I figuren ger de båda alternativa nivåerna (streckade) helt andra resultat än den idealt plana. Detta kan lösas med hjälp av höjddatabaser.

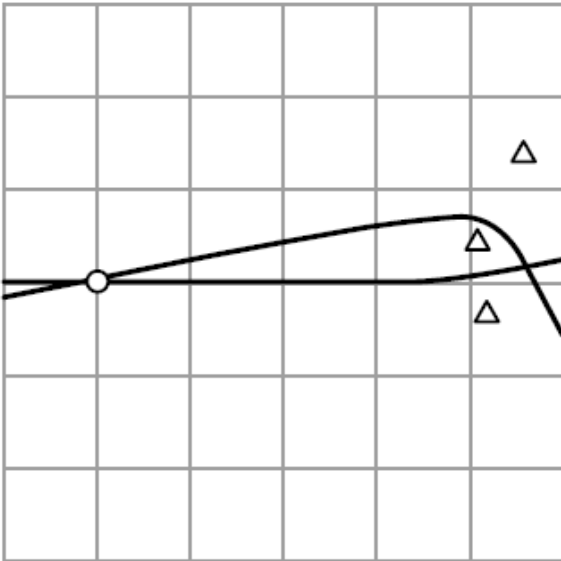
### Precisionsmetoder för lägesbestämning

I många fall önskas en bättre lägesbestämning än vad som är möjligt med triangulering. Detta kan åstadkommas med högre precision i riktningmätningarna, en längre mättid eller genom att använda så kallade precisionsmetoder. Till dessa räknas TDOA (Time Difference of Arrival), DDOA (Doppler Difference of Arrival) samt LBI (Long Baseline Interferometry).

### TDOA (Time Difference of Arrival)

TDOA eller tidsdifferens-mätningar bygger på att mäta skillnaden i ankomsttid för en signal mottagen på två eller fler i rummet skilda mottagarstationer. Varje par av stationer ger, som tidigare nämnts, en tidsdifferens vilken i sin tur med lite geometriska beräkningar resulterar i en hyperbelgren på vilken emittern kan befinna sig. Dessa hyperbelgrenar kommer att skära varandra i den punkt som emittern befinner sig i. Under vissa geometriska förhållanden uppstår mångtydigheter i positioneringen, se figur 5.3. Problematiken med ett falskt läge kan lösas med en extra inhämtningsenhet eller ändrad mottagarplacering.

En nackdel med TDOA är att signalen från emittern måste ha någon form av modulation, i annat fall kan inte tidsdifferenserna mätas.



Figur 5.3: Det sanna emitterläget är markerat med en ring, och de tre inhämtningsenheterna är markerade med trianglar. De två tidsdifferenser som kan mätas resulterar i två hyperbelgrenar som skär varandra i emitterläget, men också i ett falskt läge.

### DDOA (Doppler Difference of Arrival)

DDOA bygger som namnet anger på de frekvensförändringar som uppkommer när det finns en relativ rörelse mellan emitter och signalspaningsplattform. En dopplerdifferens mätt mellan två punkter resulterar i en isodopplerskillnadslinje. Denna beskriver alla punkter som kan ge upphov till den mätta dopplerskillnaden. Linjen kommer att ha olika form beroende på hastighetsvektorerna vid tidpunkterna för mätningarna. Med ytterligare en mätning kan en linje till skapas och skärningen mellan dessa pekar ut emitterns läge.

### LBI (Långbasinterferometri)

Långbasinterferometri är en metod som bygger på mätning av fasskillnaden mellan två mottagarkanaler, men till skillnad från interferometri så är mätbasen – avståndet mellan antennerna – vanligtvis betydligt längre än en halv våglängd. Den långa mätbasen i kombination med att det inte är möjligt att mäta fas i ett större intervall än  $360^\circ$  gör att interferometern blir mångtydig, d.v.s. flera infallsriktningar ger samma mätta fassdifferens. Som ett exempel kan avståndet mellan två antenner antas vara 4 cm. Den mottagna frekvensen är 10 GHz, vilket ger en våglängd på 3 cm. Antas infallsriktningen vara  $0^\circ$ , dvs. vinkelrätt mot antennmätbasen, kommer även riktningarna  $-48,6^\circ$  och  $48,6^\circ$  att ge samma uppmätta fasskillnad. Genom att mäta fassdifferensen med täta intervall samtidigt som signalspaningsplattformen rör sig kan en historik över fassdifferenserna skapas. Ur historiken kan de fassprång, där fasläget byter från  $-180^\circ$  till  $+180^\circ$  eller vice versa, hittas. Genom att kompensera för fassprången kan fasens förändring beräknas, och ur denna kan slutligen ett entydigt läge bestämmas.

## 6 Tekniska utmaningar

Att utrusta en liten UAV med kvalificerad signalspaningsutrustning ställer krav på utrustningens vikt, storlek och effektförbrukning, speciellt om ytterligare nyttolast ska finnas med.

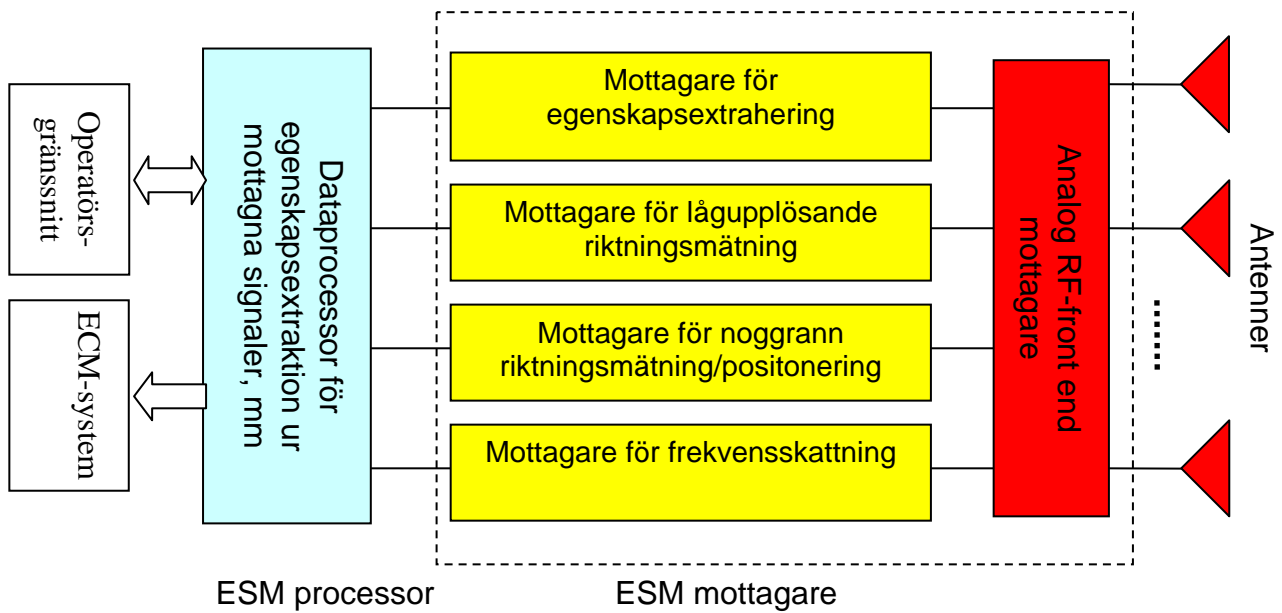
Kommersiellt tillgänglig ESM-utrustning som marknadsförs som lämpliga för UAVer har typiskt en uppgiven vikt i storleksordningen 15-25 kg och effektförbrukning 150-300 W, se Tabell 6.1 nedan. Dessa system bedöms kunna bäras av t ex större taktiska UAVer typ Ugglan och större, åtminstone om övrig nyttolast är ringa. För mindre UAVer, t ex de som behandlats i denna rapport, är de dock för tunga och effektkrävande. En reduktion med 3-10 ggr i vikt och effekt bedöms vara nödvändigt beroende på omfattningen på övrig nyttolast samt storleken på UAVen. Kravet blir än mer uttalat om UAVen ska kombinera kommunikations- och radarsignalspaning.

Lastutrymmet ombord på UAVen ska räcka för ESM-elektronik, antenn(er) och övrig last. För antenner är frekvensområdet, bandbredden och valet av antenntyp avgörande för möjligheterna att integrera dessa ombord. Speciellt antenner för låga frekvenser och stora bandbredder för kommunikationssignalspaning är en teknisk utmaning på en liten UAV, se avsnitt 6.1.2.

Tillverkare	System	Typ	Frekvens- område (GHz)	Vikt (kg)	Volym (dm <sup>3</sup> )	Effekt- förbrukning (W)
ELTA Systems	EL/K-7071 Integrated UAV COMINT/DF System	Interferometrisk COMINT	i.u.	Uppges kunna bäras av taktisk UAV	Uppges kunna bäras av taktisk UAV	Uppges kunna bäras av taktisk UAV
RAFAEL Systems	TOPSCAN	ESM/ELINT	0.5 - 18	< 15	i.u.	< 150
Thales	Phalanger	Interferometrisk ESM/ELINT	2-18	< 25	i.u.	< 300
SAAB Avionics	ESP - Electronic Surveillance Payload for UAV	Interferometrisk ESM/ELINT	0.5 - 18	10 (Elektronik) 6 (Antenner)	8 (Elektronik)	i.u.

**Tabell 6.1: Data för några ESM-system som marknadsförs som lämpliga för UAVer. Alla data är tillverkarnas uppgifter.**

Att minska vikt och effektförbrukning hos ESM-systemet kräver att samtliga delar i systemet optimeras, samtidigt som prestandakraven uppfylls. Den mest effektkrävande delen är i regel mottagaren. Den står också för en stor del av vikten och kostnaden för systemet. Mest platskrävande för lågfrekventa system är oftast antennen, men för högre frekvenser kan mottagaren stå för uppskattningsvis hälften av systemvolymen. I Figur 6.1 visas en principskiss av ett ESM system. Notera att moderna system till mycket stor del byggs av mjukvarudefinierade radiokomponenter. Detta leder till att alla digitala delar av systemet kan påverkas genom att byta programvara.



Figur 6.1: Schematiskt blockschema över ett ESM system som består av en uppsättning antenner för att fånga in signalen, en ESM-mottagare samt en ESM-processor. ESM-mottagaren består av en RF front end med analog mottagningselektronik (för att förstärka signalen, blanda ned bärvågen samt digitalisera signalen), samt olika mottagare och enheter som mäter frekvens, riktning med olika noggrannhet samt extraherar övriga parametrar ur mottagen signal.

## 6.1 Antennsystem

I den last som UAVn måste bära för att fungera som en signalspanande plattform måste antenner medföras.

### 6.1.1 Styrande krav för antennsystemet

Utformningen av ett antennsystem, dvs. antenn och dess analoga RF-front end, för ESM styrs av systemkrav på bl a

1. Centerfrekvens och bandbredd
2. Polarisation
3. Mottagarkänslighet
4. Dynamik
5. Antennvinst
6. Sidlobsnivå
7. Riktningnoggrannhet
8. Vikt och fysisk storlek
9. Effektförbrukning

Parametrarna 1-2 bestäms av målemittornas frekvenser, bandbredder och polarisationer i kombination med t ex vilka polarisationsförluster som kan accepteras. Mottagarkänsligheten bestäms av hur svaga signaler som systemet ska kunna mäta in. Dynamiken anger systemets förmåga att samtidigt registrera svaga och starka signaler. Antennvinsten anger antennens riktningskänslighet, i regel relativt en rundstrålande antenn. Sidlobsnivån anger hur stor undertryckning antennen minst ska ge i oönskade mätriktningar. Operativa krav på riktningnoggrannhet ställer olika systemkrav på antennsystemets beroende på riktningsmätningssprincip. För t ex interferometrisk mätning ställs toleranskrav på delantennernas egenskaper och ömsesidiga koppling. Antennsystemets maximala vikt och fysiska storlek bestäms av plattformens lastförmåga och vikt på övrig nyttolast. Största tillåtna effektförbrukning avgörs av tillgänglig DC-effekt från UAVn.

### 6.1.2 Antennstorlek, våglängd och bandbredd

Lastförmågan kan på en liten UAV sätta påtagliga begränsningar i antennstorlek och payloadvikt. Samtidigt sätter våglängden,  $\lambda$ , en gräns för antennens minsta möjliga storlek, eftersom antennprestanda påverkas starkt av dess storlek relativt våglängden.

Emittertyp	Våglängd (m)	Typisk minsta antennlängd (m)
Truppradio	10	1 – 4
GSM	0.4	0.05 – 0.10
S-bands radar	0.1	0.025 – 0.05
X, Ku-bands radar	0.03 – 0.02	0.01

**Tabell 6.2 : Översikt över sambandet mellan våglängd och typisk minsta effektiva antennstorlek för några olika typer av emitterar.**

Ur bandbredds- och effektivitetssynpunkt kan man skilja mellan *elektriskt små antenner*, *resonanta antenner*, *multibandantenn*er och *bredbandiga antenner*.

*Elektriskt små antenner* (antennstorleken  $\ll \lambda$ ) är ineffektiva eftersom antennvinsten och strålningseffektiviteten sjunker mycket kraftigt för antenner kortare än ca  $\lambda/4$ . Antennvinsten är typiskt så låg som runt -10 dB. Deras impedans är också starkt frekvensberoende, vilket gör det svårt att överföra effekt från antennen till mottagaren då frekvensen ändras. De kan användas om den låga antennvinsten kan kompenseras av hög emittereffekt eller genom att mottagaren befinner sig tillräckligt nära emittern, vilket ges av Friis transmissionsformel<sup>1</sup>:

$$P_r = P_t \frac{G_r G_t \lambda^2}{(4\pi R)^2} \quad (1)$$

Exempel på elektriskt mycket små antenner är radiomottagarantenner för mellanvåg.

*Resonanta antenner* är som namnet antyder smalbandiga och aktuella när samtliga emittersystem utnyttjar samma, begränsade frekvensområde. Exempel på antenntyper i denna kategori är

- Kvartsvågs-monopolantenner
- Halvvågs-dipolantenner
- Meander-antenner
- Loopantenner
- Helix-antenner

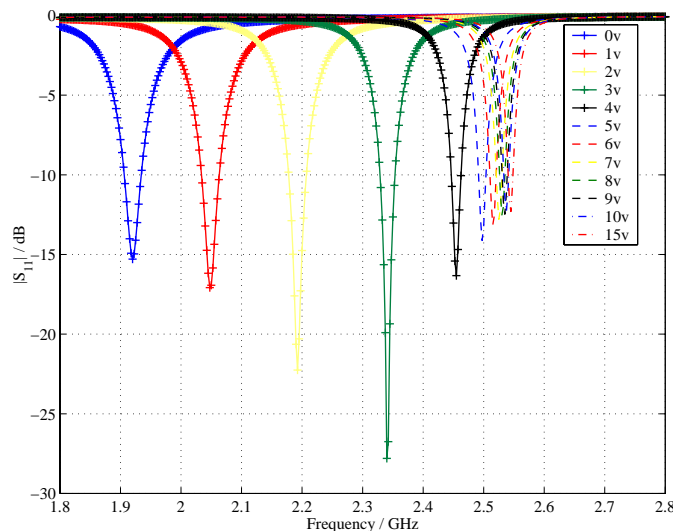
<sup>1</sup>  $P_r$  = av mottagarantennen mottagen effekt,  $P_t$  = av sändarantennen utsänd effekt,  $G_r$  = mottagarantennens antennvinst,  $G_t$  = sändarantennens antennvinst,  $R$  = avstånd mellan sändare och mottagare. Uttrycket gäller för antenner som är perfekt anpassade och polarisationsmatchade.



**Figur 6.2: Meanderantenn - metalledare tryckt på ett dielektriskt substrat.**

För små krav på bandbredd kan sprötkonstruktioner som kvartsvågsdipoler fungera bra, om frekvensen är tillräckligt hög. För mycket låga frekvenser som VHF blir antennerna dock långa/stora om de ska vara någorlunda effektiva. Ytkonforma antenner där antennen integreras i flygkroppen är en möjlighet som det pågår forskning inom. Amerikanska AFRL har t ex utvecklat en vingmonterad UHF-array med antennelementen integrerade i vingytan. Dessa får dock troligen begränsad bandbredd, kanske 10-20%. Vill man ha större bandbredd behövs t ex en logperiodisk antenn se nedan.

*Multibandantenn*er är resonanta på flera diskreta frekvenser men har ingen täckning i områden mellan resonansfrekvenserna. Antenner i t ex trippelbandsmobiltelefoner är konstruerade efter denna princip. Typiskt kan man i dessa antenner täcka upp till tre eller fyra frekvenser, utan avstämning. På forskningsstadiet finns också elektriskt avstämbara multibandantenn

er där avstämba

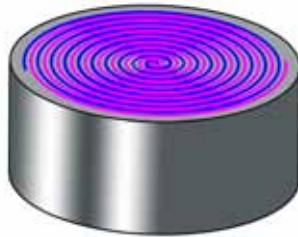
**Figur 6.3: Illustration av frekvenstäckningen hos en avstämba antenn. Figuren visar impedansanpassningen för olika styrsänning 0-15 V över en integrerad varaktor [6.1].**

*Bredbandiga antenner* har godtagbara prestanda över ett brett frekvensområde, som för vissa antenntyper kan sträcka sig över flera oktaver. Exempel i denna kategori är:

- Bikoner/diskoner
- Logperiodiska antenner
- Spiralantenn
- Sinusantenn
- Taperade slitsantenn
- Bredbandiga monopolantenn

En begränsning för bikoner och logperiodiska antenner är att de är relativt utrymmeskrävande vid lägre frekvenser och svåra att integrera på en liten UAV. En logperiodisk antenn kan fungera för horisontell polarisation genom att antenspröten får sticka ut bakom/framför vingen, eller för vertikal polarisation hängande under en rotor-UAV. För vertikal polarisation är de dock nog mycket svåra att använda vid VHF på en liten fastvinge-UAV. Spiral- och sinusantenn

att integrera, eftersom de kan monteras ytplant i skrovet. De är mest aktuella för frekvenser över någon GHz, men blir för lägre frekvenser ofta för skrymmande, se faktarutan.

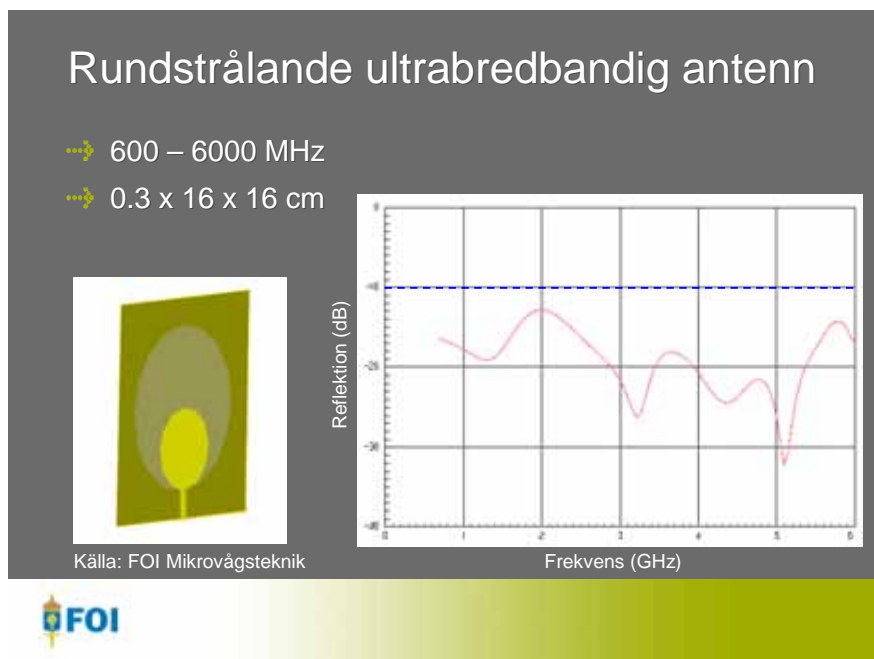


**Figur 6.4: CAD-illustration av en spiralantenn i kavitet backad med förlustmaterial. Diametern motsvarar typiskt  $\lambda/3$  vid lägsta gränsfrekvensen.**

Antenntyp	Frekvensområde (MHz)	Tjocklek (cm)	Diameter/Längd (cm)	Polarisation	Antennvinst (dBi)
Spiralantenn	600 – 6000	8	17	CP	-6 till +1.5
Ultrabredbandig monopol	600 – 6000	0.3	16	LP	+5

*Jämförelse av prestanda för två bredbandiga antenntyper.*

Under senare tid har utvecklingen inom kompakta, mycket bredbandiga antenner som (ultra)bredbandiga monopolantennerna fått ett starkt uppsving. Den visar på flera möjligheter att i kompakta format nå extremt bredbandiga prestanda. figur 6.5 visar ett exempel på en antenn, 3 mm tjock, som täcker mer än 600 – 6000 MHz, vilket omfattar t ex de flesta förekommande mobiltelefoni-frekvenserna inklusive GSM, 3G och satellittelefoni, WLAN, liksom S- och C-bandsradar. Antennen är skalbar till andra frekvensområden. Antenntypen lämpar sig väl för att t ex integrera i en fena eller en vingspets på en UAV.



**Figur 6.5: Rundstrålande ultrabredbandig antenn som täcker 600 - 6000 MHz (skalbart till andra frekvensområden). Konstruktionen är baserad på enkel tillverkningsteknik med antenn och matning etsade på ett tunt laminat (3 mm). Antennlängden motsvarar typiskt  $\lambda/4$ -  $\lambda/3$  vid den undre gränsfrekvensen.**



## FAKTARUTA - NÅGRA BREDBANDIGA ANTENNTYPER FÖR ESM

### Bi- och monokon antenner

Bikonantennen är en bredbandig antenn med låg riktverkan. Strålningsdiagrammet liknar den från en dipol med samma längd, om bikonen har liten öppningsvinkel (smal kon). Den nedre gränshfrekvensen bestäms av bikonens längd vilken motsvarar ca  $\lambda/2$ . En 0.5 m lång antenn ger en undre gräns om ca 300 MHz. För låga frekvenser blir antenntypen lätt otymplig. Om ena halvan av antennen ersätts med ett jordplan fås en monokon där längden motsvarar ca  $\lambda/4$  vid lägsta frekvens. Typisk bandbredd är ca en oktav, men med speciell utformning kan flera oktaver täckas. Antennvinsten är typiskt ca 5 dBi. Båda antenntyperna är linjärpolariserade. Monokonantennen bör vara lättare att integrera på ett farkostskrov än bikonvarianten.

### Logperiodiska antenner

Logperiodiska antenner kan utformas för stor bandbredd men ger låg riktverkan och måttlig antennvinst. Typisk bandbredd är ca en oktav eller mer. Antennvinsten ligger oftast i spannet 6 – 11 dBi. Antenntypen ger linjär polarisation. Antennens geometri kan vara svår att integrera på en flygande farkost.

### Spiral- och sinusantenner

Spiral- och Sinusantenner kan utformas för mycket stora bandbredder som täcker flera oktaver. De ger betydligt lägre antennvinst än tex logperiodiska antenner beroende på att de är mer rundstrålande och att de i regel måste placeras i en kavitet med förlustmaterial för att avlägsna backloben på bekostnad av sänkt antennvinst. En typisk spiralantenn är Randtrons 2-18 GHz, modell P/N 53411, med en antennvinst från -6 dBi till knappt +2 dBi från 2 GHz till 18 GHz. Diametern är 5 cm, motsvarande  $\lambda/3$  vid lägsta frekvens, vilket är typiskt för antenntypen. Spiralantennen ger cirkulär polarisation. Sinusantennen kan ses som en hybrid mellan spiral- och logperiodiska antenner. Antennen består av armar formade i ett logperiodiskt, koncentriskt mönster, och kan ge dubbla polarisationer. En typisk sinusantenn är Randtrons 2-18 GHz, modell P/N 53620, med en antennvinst kring 0 dBi, varierande mellan -3 dBi till +1 dBi mellan 2 GHz och 18 GHz. Diametern är 6 cm, motsvarande drygt  $\lambda/3$  vid lägsta frekvens. Spiral- och sinusantenners plana geometri gör att de enkelt kan integreras ytplant med tex ett skrov. För långa våglängder blir de dock lätt otympliga, och används mest över ca 1 GHz.

### Ultrabredbandiga monopolantenner

Ultrabredbandiga monopolantenner, se figur 6.5, är exempel på mycket bredbandig antenner vars riktverkan liknar kvartsvågs monopolantennens. De behöver ingen kavitet med förlustmaterial varför antennvinsten om ca 5 dBi blir högre än för tex spiralantenner. Bandbredden täcker flera oktaver och längden motsvarar ca  $\lambda/4$ - $\lambda/3$  vid den undre gränshfrekvensen. För antennvarianten i figur 6.5 bör antennen vara ca 5 cm lång för en undre gränshfrekvens på 2 GHz, och för 600 MHz ca 16 cm. Antenntypen är linjärpolariserad.

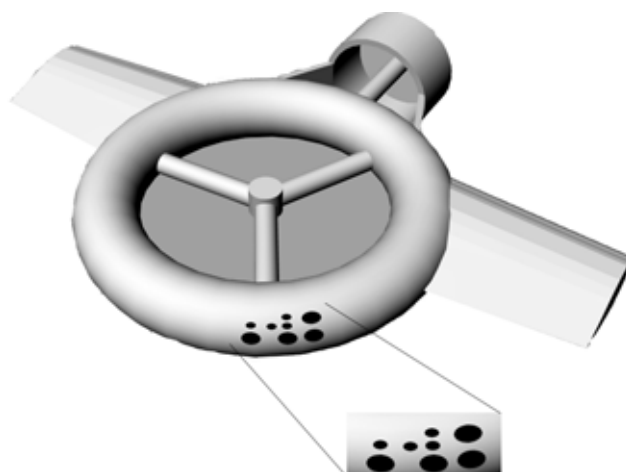
## 6.1.3 Antenner för olika principer för riktnings/positionsbestämning

### Riktningsbestämning med en UAV

Riktningsbestämning med enbart en UAV kan göras med interferometriska antenner eller antenner med hög riktverkan. En interferometrisk antenn består av en liten uppsättning delantenner som mäter in fasfrontens riktning på inkommande signaler. Antennplaceringen inbördes är en kompromiss mellan riktningsnoggrannhet och undvikande av tvetydigheter. För att undvika tvetydighet i riktning ska antennerna placeras på ett inbördes avstånd av högst halva våglängden ( $\lambda/2$ ). För att maximera riktningsnoggrannheten bör antennerna å andra sidan placeras så långt från varandra som möjligt för att ge en lång baslinje, varför en kompromiss måste göras. På en liten UAV är förstås det största möjliga antennavståndet begränsat. Interferometriska antenner är därför mest realistiska för högre frekvenser, uppskattningsvis från ca 700-800 MHz och uppåt. För smalbandiga antenner kan exempelvis monopolantenner vara lämpliga delantenner. För bredbandiga antenner kan tex spiralantenner vara lämpliga för högre frekvensband, över säg 3-4

GHz, om den låga antennvinsten kan accepteras. Om också frekvenser under 3-4 GHz ska täckas, eller om högre antennvinst eftersträvas är t ex bredbandiga monopolantenner lämpligare. Dessa har kompaktare dimensioner och kan packas tätare, och saknar förlustmaterial i antennen.

En annan viktig aspekt som påverkar riktningsnoggrannheten är den påverkan på antenndiagrammen som farkosten kan ha. Speciellt vid låga frekvenser kan verkliga antennpredanda skilja sig väsentligt från de ideala egenskaperna. Exempel på metoder för att analysera antennpredanda på små farkoster och farkostinverkan har studerats t ex inom FOI-projektet "Gruppantenn teknik och programmerbara mikrovågssystem" [6.2] och [6.2b].



**Figur 6.6: Schematisk illustration av en interferometrisk antenn med spiralantenner integrerade på en generisk UAV.**

### **Riktungs- och positionsbestämning med flera samverkande UAVer**

Med flera samverkande UAVer kan både riktungs- och positionsbestämning göras med t ex krysspejling eller TDOA. Några designfaktorer som avgör riktningsnoggrannheten är:

- antennvinst i riktning mot den sändande enheten
- antal diversitetantenner i varje punkt.
- antal mottagarpunkter.
- medelavstånd från sändande enhet, ex mobiltelefon, till mottagarpunkten.
- geometri mellan mottagande enheter
- medelhöjd på mottagarantennerna.

Om inmätning ska ske från alla riktningar är antennerna lämpligen runtomtäckande. Enklast är att använda en rundstrålande antenn men för att t ex minimera multipath kan sektoriserade antenner krävas. Mängden flervägsutbredning (multipath) som når en antenn påverkas kraftigt av antennegenskaperna, t ex om antennen är rundstrålande eller sektoriserad, lobvidden i horisontal och vertikalplan, lobriktning i elevation mm. Om antennen har högre antennvinst i signalkällans riktning och lägre i riktningar med flervägsutbredning förbättras SNR väsentligt.

#### **6.1.4 Mottagare och signalbehandlingselektronik**

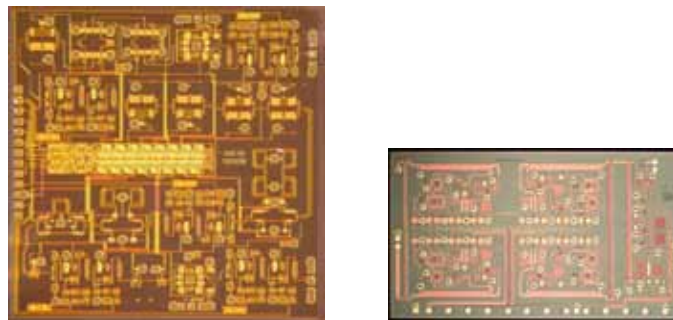
Mottagaren är i regel den mest effektkrävande delen i ESM-systemet. Den står också för en stor del av vikten och kostnaden för systemet. Att finna metoder att minska storlek, vikt och effektförbrukning hos mottagaren är därför av central betydelse, speciellt i system med multipla kanaler. Traditionellt har ESM-mottagare ofta konstruerats av diskreta komponenter på

elektronikkort med låg integrationsgrad, som sällan optimerats för mycket låg effekt- eller utrymmessnålhet.

Ett steg mot kompaktare mottagare är att utveckla multichipmoduler (MCM) där flera chip byggs samman i en kompakt modul. Den tekniska utmaningen ligger bl a i att de trots miniatyriseringen ska klara krav på kanalisolation, amplitud- och fas-likhet mellan kanaler, immunitet mot mikrofoniska effekter, termiska fluktuationer mm. Typiskt mäter en modul 1-2 dm<sup>2</sup>. Ett exempel på konstruktioner är en RF-front-end mottagare som täcker 2-18 GHz i två band i en modul som mäter 18 x 10 x 2 cm<sup>3</sup>, som publicerats av Plextek och QinetiQ [6.3]. Modulen består av totalt 12 st MMIC<sup>2</sup>-chip, samt externa filter, bias och kontrollkretsar. Ett annat exempel är en 6-18 GHz RF-front-end mottagarmodul publicerad av Ericsson [6.4] som kan switcha mellan multipla antenn och mottagarkanaler, men dock inte inkluderar nedblandningssteg. Modulen baseras på LTCC-teknik (Low-temperature Co-fired Ceramic) med tre MMIC-chips och mäter ca 8 x 7 cm<sup>2</sup>.

Ett mer drastiskt steg mot kompaktare mottagare är att integrera väsentliga delar av en mottagare eller tom *hela* mottagaren på *ett enda* chip, ett område som forskningen är mycket intensiv inom. Bredbandiga front-end chip har utvecklats inom FOIs telekrigsprogram inom FoT16. Forskningen har bl a resulterat ett T/R-modul chip för mycket bredbandiga flerkanaliga antenner som täcker 3-16 GHz [6.5] se figur 6.7a, och som baseras på teknik utvecklad inom Bredbandsteknik Mikrovåg. Att integrera *hela* mottagaren på ett enda chip är än så länge förbehållet mer smalbandiga applikationer. FOI har, inom ramen för projektet Amalia utvecklat en en-chipsmottagare för en 8-12 GHz mottagararray [6.6] där MMIC-chipet mäter 3 x 6 mm<sup>2</sup>.

Inom kommunikationsområdet pågår inom FOI-projekt STEJL utveckling av T/R-moduler för pejling och störsändning. Ett flertal versioner existerar för olika frekvensband i området under 1 GHz med olika momentana bandbredder. Modulerna består i princip av en programmerbar sändar/mottagar-struktur som kan användas till ett flertal telekrigstillämpningar. Storleken är i storleksordningen 0.5 dm<sup>3</sup>.



**Figur 6.7: Exempel på kompakta, högintegrerade mottagarchip utvecklade av FOI. a) Core-chip för en 3-16 GHz T/R-modul med komplett sänd- och mottagarkedja exklusive ned/uppblandning [6.5]. b) En-chips X-bands mottagare (3 x 6 mm<sup>2</sup>) med lågbrusförstärkare, filter och nedblandning integrerat on-chip [6.6].**

Tidigare har forskningen främst inriktats på att reducera storleken, och därmed också kostnaden, hos mottagare eftersom priset står i proportion till chipytan. På senare tid har forskningen mer fokuserats på att reducera effektförbrukningen. Ett exempel är forskningen inom s.k. RF-MEMS<sup>3</sup> baserad teknik. Jämfört med halvledarbaserade teknik uppvisar RF MEMS bättre prestanda speciellt vid högre frekvenser (i form av lägre förluster och effektförbrukning samt högre isolation och linearitet) något som potentiellt förväntas möjliggöra besparingar av såväl yta, kostnad och effektförbrukning. Ett storskaligt genombrott för användningen av RF MEMS i kommersiella

<sup>2</sup> MMIC : Monolithic Microwave Integrated Circuit

<sup>3</sup> MEMS : Micro Electro Mechanical Systems

tillämpningar förutsätter dock förbättrad tillförlitlighet, m.a.p livslängd, robusthet och effekttålighet, samt tillverkning och kapsling till låga kostnader vid stora volymer.

Förutom RF-front-end är stora effektförbrukare A/D-omvandling och digital signalbehandling. Ett typiskt elektronikkort som implementerar signalbehandlingsalgoritmer för ESM med FPGA kan förbruka 20-40 W för 1-2 kanaler. Nya mycket energisnåla kretsarkitekturer för AD-omvandling är av stort intresse, liksom effektoptimerade och konfigurerbara DSP-algoritmer, ALUer och accelerators för filtrering, transformer, och felrättning. Exempelvis har forskning vid Linköpings Universitet startats i samarbete med FOI där reduktion av precisionskraven hos de analoga delarna, med resulterande minskning av effektbehovet, följs av digital felrättning för att bibehålla prestanda.

## 6.2 Länk mellan UAV och ”markstation”

Länken mellan UAV och markstation/förband behöver överföra information nödvändig för manövreringen av farkosten samt data från nyttolasten. Data kan överföras på en gemensam eller på skilda länksystem. Tre exempel på kommunikationstekniker är radiolänk, optisk fiber och laserkommunikation. Radiolänk bedöms vara den totalt dominerande tekniken under överskådlig framtid [6.7]. Svårigheten med optisk fiber är att en fiberoptisk tråd måste hasplas ut efter farkosten och laserkommunikation är väderkänslig, kräver fri sikt och tekniken är ännu på forskningsstadiet. Den teoretiskt möjliga överföringskapaciteten bedöms dock vara betydligt högre än för de bästa framtida RF-baserade teknikerna.

Två nyckelfrågor för länken är överföringskapacitet och räckvidd.

### 6.2.1 Länkkapacitet

Inmätningmetoder som ska väga samman mätdata från flera plattformar kräver hög länkkapacitet mellan plattformarna. TDOA bedöms t ex kräva en kapacitet upp till storleksordningen Mbit/s mellan enheterna. Nedlänkning av inmätt information ställer däremot måttliga krav på överföringstakt. Antag att en spaningsfunktion typiskt detekterar 50 mål med en söktakt på 2 sekunder och varje mål genererar 250 tecken x 8 bitar mätdata, vilket ger en datatakt på ca 50 kbit/s.

I dimensionering av länken måste hänsyn tas till länkbehovet från övriga sensorer. Störst kapacitetsbehov har i regel nedlänkning av sensordata från bildalstrande sensorer som EO/IR och SAR vilket kan medföra bandbredds krav på 10-20 Mbit/s eller mer [6.8]. Summeras behovet för hela plattformen kan kravet bli ännu högre. Den amerikanska UAV Predator uppges ha ett totalt behov av 45 Mbit/s [6.9].

Upplänkning av exempelvis kontrolldata till en UAV och dess nyttolast har uppskattats till ca 10 kbit/s. [6.8].

### 6.2.2 Räckvidd

Länkens räckvidd bestäms av faktorer som atmosfärstransmission, topografi och radioskugga, flyghöjd, antennvinst, uteffekt mm. I stadsmiljö kan flervägsutbredning och radioskugga försvåra Line-of-sight (LOS) kommunikation. Räckvidden kan förlängas genom att reläa signalen via en relästation (UAV, flygplan, antennmast mm) eller via ett cellbaserat kommunikationsnät.

### 6.2.3 Kommunikationsstandarder

Beroende på om UAV ska vara exklusiv för det egna förbandet eller om krav ställs på interoperabilitet kan kravet på vilken kommunikationsstandard som ska utnyttjas variera. Ett flertal kommunikationsstandarder finns som Link 16, CDL, TCDL (se nedan), olika SATCOM m. fl. För en liten förbandsnära UAV är valet av standard troligen relativt fritt. Smalbandig, rundstrålande

kommunikation sker i dagens system bl a på UHF med låga datatakter upp till 2.4 -16 kbit/s. För en UAV som också ska kunna samverka med andra förband ställs däremot troligen krav på att länken ska följa en gemensam standard. Under 2005 startade inom ramen för European Defence Agency ett 3-årigt studieprojekt, *Digital Line of Sight (LOS) and Beyond Line of sight (BLOS) Data Links for Long-Endurance Unmanned Aerial Vehicles (LE-UAVs)*. Syftet är att ta fram en teknisk arkitektur för LOS och BLOS-datalänkar och genomföra initiala demonstrationer. Inom NATO finns standarden STANAG 7085 för interoperabla datalänkar för bl a bildalstrande sensorer (Interoperable data links for imaging systems) som inkluderar länkstandarden CDL (Common Data Link) och en variant kallad TCDL (Tactical Common Data Link) [6.8]. CDL ligger på X band (9.7-10.5 GHz) och K<sub>u</sub>-band (14.5-15.35 GHz). CDL är en digital, full-duplex, störskyddad, frekvensspridd länk för punkt-till-punkt kommunikation. Upplänken arbetar idag vid 200 kbit/s och standarden stödjer datatakter upp till 45 Mbit/s. Nedlänken kan arbeta med 10.71 – 45 Mbit/s, 137 Mbit/s och 234 Mbit/s datatakt. I framtiden uppges att standarden ska utökas med 548 och 1096 Mbit/s. Militär SATCOM används flitigt på UAVer inom bl a NATO men tillgången till SATCOM för svenska behov är okänd för författarna. Exempel på kommersiell satellitkommunikation med olika protokoll är INMARSAT, Globalstar och Iridium.

## 7 Exempelsystem – vilken utrustning ska sitta i UAVn?

I de tidigare kapitlen diskuteras och beskrivs delar av den hårdvara och de funktioner som behövs i en UAV för att genomföra signalspaning mot olika typer av radiosändare. Naturligtvis stöter man på ett antal begränsande parametrar för den utrustning som kan tas med, t ex vikt, storlek och strömförbrukning.

För att uppnå mesta möjliga nytta med ett UAV-baserat signalspaningssystem bör radiospaningen kombineras med andra sensorer, t ex optiska.

Listat nedan finns fyra exempel-UAVer som kan lösa ett flertal uppgifter. UAV-system 1 och 2 är inriktade mot kommunikationssignalspaning (KOS). System 3 och 4 används för spaning mot radarsändare (TES).

### UAV-system 1

ESM Last	KOS - Enkanalig mottagare + dator + länk	< 1 kg + ström
Antennstorlek	< 50 cm vertikalt spröt, under farkost	< 0.5 kg
Uthållighet	från 1 timme, möjligen 12 timmar	
Höjd	50 – 1000 m	
Hastighet	Låg, gärna möjlighet till hovrande	
Funktioner	Monitorering av målsändare TDOA-positionering med minst 3 UAVer. Täcker kommunikationsområdet 30 – 3000 MHz.	
Övrigt	Farkostens position måste vara känd vid pejling/positionering. Farkostens riktning/attityd är ej viktig	

### UAV-system 2

ESM Last	KOS - Trekanalig mottagare + dator + länk	< 3 kg + ström
Antennstorlek	3 st spröt (vardera ca 50 cm vertikalt) separerade ca 1.5 m i liksidig triangel (horisonellt) under farkost < 3 kg	
Uthållighet	från 1 timme, möjligen 12 timmar	
Höjd	50 – 1000 m	
Hastighet	Låg, gärna möjlighet till hovrande	
Funktioner	Monitorering av målsändare Interferometer-pejl mot målsändare. TDOA-positionering med minst 3 UAVer mot målsändare. Interferometer-positionering med minst 2 UAVer mot målsändare. Täcker kommunikationsområdet 30 – 3000 MHz.	
Övrigt	Farkostens position måste vara känd vid pejling/positionering. Farkostens riktning och attityd måste vara känd vid interferometer pejling/positionering, dvs. antennernas vinkel i horisontal och vertikalplanen måste vara kända.	

**UAV-system 3**

ESM Last	TES – Tvåkanalig mottagare + dator + länk (ca 10 kg)
Antennstorlek	4 st planspiralantenn (3 cm diameter) placerade med 90-graders skelvinkel så att 360-graders täckning uppnås.
Uthållighet	från 1 timme, möjligen 12 timmar
Höjd	50 – 1000 m
Hastighet	ej viktig
Funktioner	Klarar av att upptäcka och riktningsbestämma emitterar med noggrannhet av ca 10 graders rms-fel. Täcker frekvensområde 3-18 GHz.
Övrigt	Farkostens position måste vara känd vid pejling/positionering. Farkostens riktning och attityd måste vara känd, dvs. antennernas vinkel i horisontal och vertikalplanen måste vara kända. Kan positionera emittern med hjälp av egentriangulering eller genom samverkan med annan UAV. Rikttningsbestämning i 2-D vilket medför att så kallat koningsfel kan uppstå.

**UAV-system 4**

ESM Last	TES – Enkanalig mottagare + dator + länk (ca 10 kg)
Antennstorlek	1 st bikon antenn (omniantenn) ca 14 cm hög och diameter 12-15 cm. Vikt drygt 1 kg (inkluderar radom).
Uthållighet	från 1 timme, möjligen 12 timmar
Höjd	50 – 1000 m
Hastighet	Spelar ingen roll vid TDOA men vid FDOA gynnas metoden om farkosten kan hålla hög fart
Funktioner	Klarar av att upptäcka emitterar. Kan i samverkan med andra UAVer lägesbestämma med precision då systemet har god förmåga att mäta inkommande signals frekvens och/eller ankomsttid med hög noggrannhet. Kan lägesbestämma enskilt om signalens frekvens kan mätas in upprepade gånger från olika plattformpositioner jämför egentriangulering. Det förutsätter fast eller återkommande frekvens. Täcker frekvensområde 3-18 GHz.
Övrigt	Farkostens position måste vara känd vid pejling/positionering. Farkostens riktning/attityd är ej viktig.

## 8 Scenario och typsituationer

I följande kapitel definieras ett scenario med ett antal tillhörande typsituationer. Samtliga dessa är hämtade från [8.1].

Scenarion och typsituationerna användes där för att illustrera hur olika typer av definierade exempel på signalspaning i ett brett elektromagnetiskt perspektiv kan samutnyttjas för en ökad förmåga. Typsituationerna är sammanförda i ett internationellt scenario som grundar sig på tankar från NBG08 konceptet.

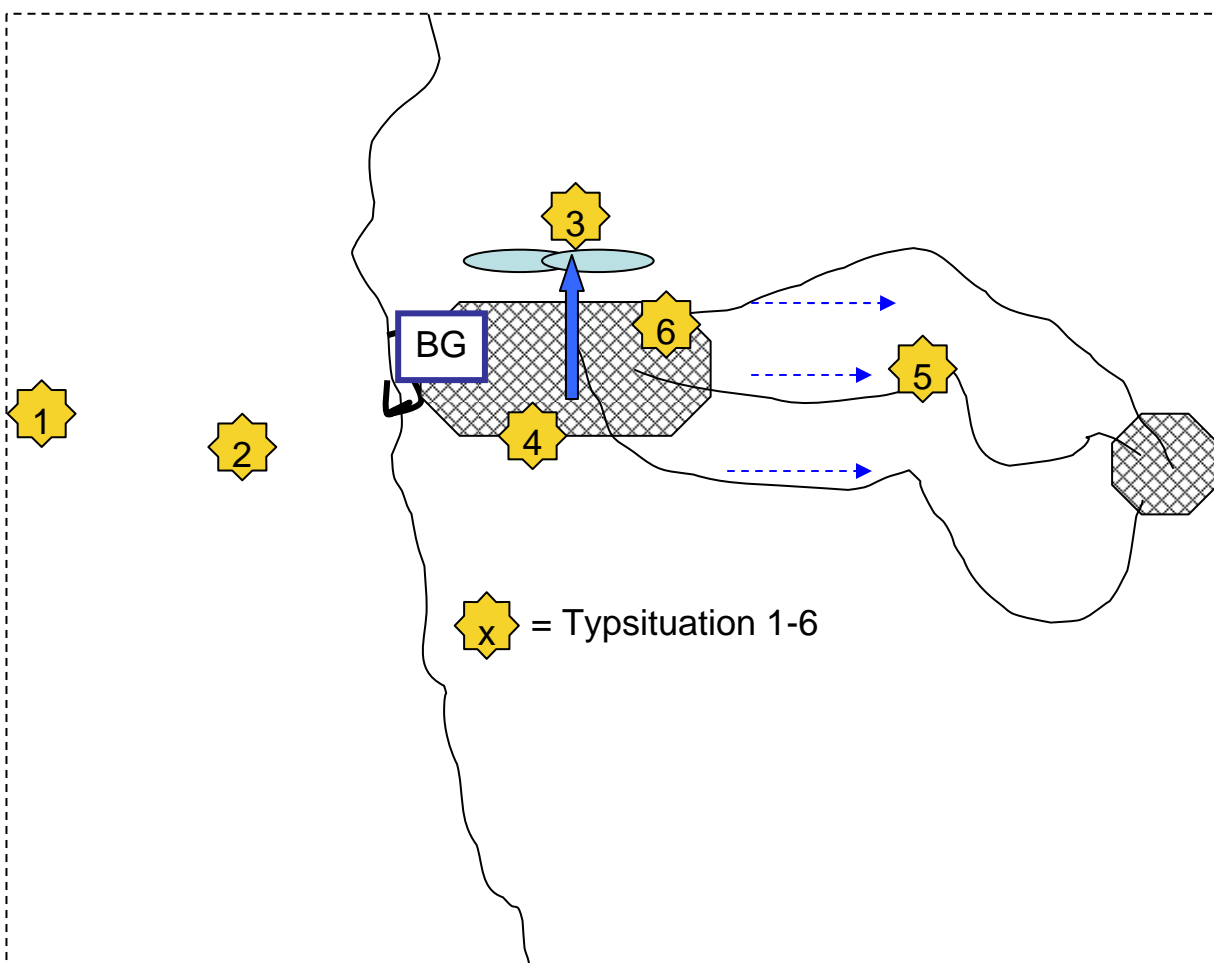
I denna rapport kommer istället fokus att ligga på vilket mervärde en signalspanande UAV jämfört med exempelvis ett markbaserat ESM-system tillför i respektive typsituation.

Fokus för projektet är att studera ESM-system, vilket innebär att mervärden inom exempelvis optikspaning inte berörs mer än undantagsvis.

### 8.1 Uppdragstyper/Scenarion/Bakgrund

Bakgrunden för scenariot är en intern konflikt i en kuststat eller lika gärna mellan två gränsande stater. FN/EU har gjort en förfrågan om Sverige är berett att ingripa i området (Peace Enforcement) och har fått positivt svar, men inget mandat är ännu givet.

Underrättelseinformationen över området är bristfällig men det är troligt att de 5 SAM system som anskaffades på 80-talet fortfarande är i bruk. Det finns även ett mindre antal äldre stridsvagnar och artilleripjäser i området, varav stridsvagnarna bedöms vara obrukbara. Det bedöms vidare att det finns tillgång till ett stort antal PV-vapen.



Figur 8.1: Figuren beskriver översiktligt typsituationernas geografiska platser

Inget underlag finns tillgängligt för att förse våra enheter med relevanta signal- och hotbibliotek. Sverige anser det för farligt att insätta marktrupp, innan det finns bättre information tillgänglig. Vi



måste därför snarast inhämta SIS underlag från området för att få en aktuell taktisk lägesbild och för att bygga nödvändiga signal- och hotbibliotek. Detta kräver viss tid i området, varför Sverige beslutar att påbörja operationen trots att något mandat från FN/EU ännu inte erhållits.

Sverige sänder ledningsfartyget Carlskrona och en korvett till området, för att påbörja signalspaning från territorialvattengränsen. Fartygen är utrustade med TES (avser här bl.a. radarsignaler och andra avsiktliga och oavsiktliga signaler) och KOS system.

Signalspaningsflyg från Sverige utför uppdrag mot området från säkert avstånd för att verifiera och komplettera innehållet i de påbörjade signalspaningsbiblioteken.

När tillräckligt underlag inhämtats för att erhålla en god uppfattning om signalmiljön, truppreleaser, har även mandat erhållits från FN. Nu kan svensk trupp, innefattande ett EW förband insättas i området.

Det tidsperspektiv som åtgår för att förbereda underlaget startar med tekniskt underlag som är insamlat för aktuellt område. Övriga insatser inför insatsen omfattar följande aktiviteter:

- Fartyg. förberedelse för gång
- Fartyg. gång till operationsområdet
- Inhämtning av TES data
- Inhämtning av KOS data
- FRA bearbetning av insamlat data och framtagning av EOB (Electronic Order of Battle), med egna och motståndarens signaler redovisade)
- NBG transport till operationsområdet

Det förutsätter att FM TK SE eller någon annan redan tidigare har gjort en biblioteksupbyggnad i vilken framtaget underlag kan hanteras.

### 8.1.1 Områdesbeskrivning:

#### Vapensystem

Genomförd signalspaning bekräftar förekomst av det sovjettillverkade luftvärnssystemet SA-8 *Gecko* genom att signaler från spaningsradar upptäcks och identifieras. Systemet består av luftvärnsrobotvagnar med egen radarfunktion vilket tillåter självständigt uppträdande. Utöver spaningsradar finns även en målföljningsradar respektive robotföljningsradar samt mikrovåg-baserade kommandolänkar för samtidig styrning av två avfyrate robotar mot målet. NATO-beteckningen för hela radarsystemet är *Land Roll*. Operatörerna kan vid störning stötta målföljningen med hjälp av TV-kameror.

System/antal	Invisning	Frekv. omr.	Räckvidd	Anm.
SA-8, 5 st	Radar	Se Land Roll	Avstånd: <20 km, Höjd: 8 km	
SA-18 (MANPAD)	Optiskt sikte			Utv av SA-7

## Radarsystem

System	Typ	Frekvensområde	Räckvidd	Anmärkning
Land Roll	Lokal spaningsradar	6-8 GHz	30 km	Radarfunktioner i SA-8-systemet
	Målföljning	14,5 GHz	20 km	
	Robotföljning	8-10 GHz		
ATC-radar	Luftövervakning	1-2 GHz	300 km	Används normalt för övervakning av civilflyg. Kan även användas militärt.
Squire LPI	Stridsfältssradar med LPI-egenskaper	10,1-10,4 GHz (andra modeller i intervallet 8-18 GHz förekommer)	10 km mot trupp respektive 40 km mot fordon vid rörliga mål	Kan fordonmonteras eller placeras på ett enkelt stativ.

## Radiosystem

System	Frekv. omr. (MHz)	Modulation	Anm.
HF	1,5-30	PSK, FSK, SSB	Amatörstationer, militära system. Data- och fonitrafik
Jaguar CNR	30-88	FM	Frekvenshoppare, ca 200 hopp/s. 10 mW eller 5 W. Endast militär användning.
Komm. radio	70-80, 108-174, 225-400	AM/FM	Åkeri, polis, flyg- och sjötrafik-ledning samt militära system.
WLAN			Civil användning
GSM			Främst civil användning men även militär
Radiolänk	15 000		Rörlig militär radiolänk
Radiolänk	7 000 -38 000		Fast monterad länk för mobiltelefoni
Radiolänk	3 500 resp 5 400		Fast monterad länk för LAN, civil användning

## Optronik system

System	Våglängd	Modulation	Anm
Kikare/Kikarsikte	VIS	CW	
PV-sikte	VIS, MWIR, LWIR	CW eller Moduler.	Bildfrekv 25/30 Hz
Strf-sikte	VIS, MWIR, LWIR	CW eller Moduler.	Bildfrekv 25/30 Hz
TV-kamera	VIS, NIR	CW	
IR-kamera	MWIR, LWIR	CW eller Moduler	Bildfrekv 25/30 Hz
Kamera	VIS	CW eller Moduler.	Slutare kan ge modulation
Bildförstärkare	VIS, NIR	CW	
Lasrar	Alla våglängder	CW eller moduler.	Mycket begr. "synfält" och våglängd

## Signalmiljö

System/Miljö	Frekv. område [MHz]	Dominant signaltyp	Anm
Urban	0.1 – 1000 (ca)	Impulsstörningar	Avser den allmänna bakgrundsmiljön
Glesbygd	0.1 – 1000 (ca)	Gaussiskt brus	Avser den allmänna bakgrundsmiljön
Civila personatorer	30 – 100 (ca)	Bredbandig	Inom ca 100 meter från enheterna
-"	100 – 1000 (ca)	Smalbandig	-"
-"	1000 – 3000 (ca)	Smalbandig Bredbandiga bandspridda klocksinaler	-"

## Geografi/topografi

Havsområdet har ett djup av över 100 m intill c:a 1 nautiska mil från kusten. Området är subtropiskt och den kustnära delen är låglänt med blandad vegetation bestående av bush och skog, intill c:a 7 mil från kusten. De inre delarna av landet är bergigt och skogbeväxt.

## Infrastruktur

Landet har en större hamnstad XXX CITY med en större oljedepå. Trafik till och från hamnen samt övrig verksamhet i staden, är än så länge inte påverkad av oroligheterna i landet. Staden har c:a 200 000 innevånare och en relativt god infrastruktur.

## 8.2 Typsituationer

Följande avsnitt beskriver mer i detalj de 6 typsituationer som ingår i scenariet. Vilket mervärde signalspaning från UAV kan ha i dessa typsituationer beskrivs i kapitel 10.

Eftersom förstudien fokuserat på vilket bidrag signalspaning från UAV kan ha på marklägesuppfattningen bedöms typsituationer med markinnehåll vara mest intressanta. Dock bör poängteras att signalspaning från UAV även kan bidra till omvärldsuppfattningen i typsituationer som saknar markinnehåll, exempelvis typsituation 2.

### 8.2.1 Typsituation 1 – Mark/Sjö/Luft

*Sis i syfte att samla in signaler som kan utgöra grunden för att hitta möjliga hot och skapa en normalbild som grund för ändringar som kan betyda nya eller förändrade hot mot vår verksamhet.*

**Läge:** Ledningsfartyget Carlskrona och en korvett har anlänt till området, för att påbörja signalspaning från territorialvattengränsen. Fartygen är utrustade med TES (avser här bl.a. radarsignaler och andra avsiktlig och oavsiktliga signaler) och kommunikationsspaningssystem system, de har lång uthållighet och effektivt egenskydd. Carlskrona är vidare utrustad med 3 st UAV (VTOL), där lasten kan utgöras av antingen signalspanings- eller EO-utrustning.

I detta läge, innan FN mandat, torde UAV endast kunna nyttjas för distansspaning som sannolikt ställer krav på tillgång till höghöjdsUAV. Kan endast tillgodoses via EU eller USA. Luftfarkoster kan sannolikt inte gå så nära kusten som fartyg, ca 30 km. Möjligtvis kan man ta risken att sända in UAV vilket om det upptäcks kan vara att betrakta som en krigshandling.

UAV kan inledningsvis utnyttjas för att signalspana i de områden som på grund av topografi m m inte är möjliga att nå från fartygen, för att senare utföra fotospaningsuppdrag i de områden där aktiviteter upptäckts.

Insamlat SIS-data förbearbetas ombord på Carlskrona och sänds dagligen, via satellit till Sverige för bearbetning av FRA och biblioteksframtagning av FM TK SE. (Förutsätter en förändrad och utökad inriktning).

Signalspaningsflyg från Sverige utför uppdrag över området för att verifiera och komplettera innehållet i de påbörjade signalspaningsbiblioteken.

*Intressanta signalkällor som motståndaren utnyttjar.* Inledningsvis finns en mängd signalkällor. Ur denna signalbild måste bakgrundsbrus filtreras bort och olika delar för radiokommunikation i olika användningsområden och kommersiell radio och teve. Ur alla dessa signaler gäller det att dels fastställa sändare, vilka som kan vara intressanta och hur en normalbrusbild ser ut över dygnet, veckan mm.

En del kommunikationssändare används uppenbart av militära enheter, bl.a. det frekvenshoppande Jaguar-systemet (30-88 MHz). Spaning mot denna typ av radio ger relativt snabbt en bild av den ena av parternas huvudsakliga grupperingar och även en grov bild av hierarkin mellan dessa enheter. Genom samlad information från radarsignalspaning och kommunikationssignalspaning

vet man att SA-8 systemen är samlokaliserade med såväl Jaguar-sändare som vanliga GSM-mobiltelefoner, vilka eventuellt används som reservsambandsmedel. Vanlig foni-trafik (taltrafik) över kommersiellt tillgängliga kommunikationsradioapparater som monterats ur taxibilar har observerats i samband med den ena av parternas fordonsrörelser. Lägesbilden försvåras av att samma typ av system används civilt av åkerier och taxirörelser inom landet.

Signalkällor inom radarområdet som är aktuella för luftförsvaret är de olika radarfunktionerna i SA-8 systemet. Även de radarsystem som normalt används för civil trafikledning (ATC-radar) kan användas för militära syften och bör därför hanteras av radarsignalspaningen. I sjö tillämpningar är det aktuellt att skapa en bild av den användning av fartygsbaserad radar som förekommer i området. Detta inkluderar civil navigationsradar. Även motsidans eventuella användning av radar för marktillämpningar, exempelvis stridsfältsradar, är intressant. På grund av att dessa system är förhållandevis små, enkla och billiga kan förekomsten vara svår att känna till genom annan underrättelsetjänst.

### 8.2.2 Typsituation 2 - Sjö

*Sis i syfte att kontrollera och skydda sjötrafik i farleder in till en hamn.*

**Läge:** Carlskrona och en korvett finns utanför kusten för att förbereda insatsen genom signalspaning. I detta läge finns det ett FN-mandat som grund för agerandet. Uppgiften innebär dels skydd av egna fartyg, dels att skydda fartyg på väg till eller inne i hamnen samt anläggningar som finns i hamnen bl.a. i form av oljecisterner. Tidsförhållanden mellan detektion och beslut om insats är beroende av ROE och tillgången till system med önskad verkan.

#### *Intressanta signalkällor*

Vi disponerar Carlskrona och en korvett som med hjälp av signalspaning, kommunikationsspaning, EO-spaning och radarspaning kontrollerar vilken utrustning som båtar och fartyg använder. Med den insamlade informationen som hjälp upprättas en databas över de fartyg och den normalbild som normalt råder i området. För att klara normala avvikelser kompletteras databasen med "mjuka data" som samlas in bl.a. med hjälp av HUMINT. Dessa utgör viktiga delar i lägesbilden. När sedan nya signaler eller nya båtar/fartyg som inte sänder signaler upptäcks används databasen som ett viktigt underlag i analysarbetet för att fastställa agerande. Radar är i denna typsituation en viktig sensor för att ha kontroll över fartygsrörelserna i området. För att identifiera fartyg och båtar krävs komplettering av andra sensorer. AIS-systemet förutsätts finnas på alla fartyg över 150 bruttotonn inom området. Underlättar för att hålla reda på större fartyg så länge de flesta använder systemet. Mindre fartyg och fartyg som inte önskar bli upptäckta och/eller identifierade kan stänga av systemet.

### 8.2.3 Typsituation 3 – Luft

*Sis i syfte att upptäcka hot i anslutning till flygplats som används av helikoptrar och transportflyg (TP 84).*

**Läge:** Förutom VMS-system på helikoptrar och transportflyg används även annan signalspaning för att detektera och klassificera hot. Dessa kan bestå av manburna luftvärnsrobotsystem. Andra vapenhot kan vara pansarskott (RPG) och tunga kulsprutor, eventuellt monterade på lätta fordon. Flygplatsen är belägen i utkanten av bebyggelse med möjlighet att start och landning oftast kan ske i riktning från bebyggelsen.

EW-troppen bör vara organiserad för att hantera dessa hot. Det behöver innefatta UAV som har optikspanare vilken flyger över inflygningsområdet omedelbart för start och landning med TP 84 och helikopter. Underlaget ger flygplatsledningen underlag för beslut om åtgärder. Sannolikt måste hotet hanteras med små enheter som uppträder på marken.

SA-18 finns i området och är ett manburet system som kräver liten samordning för eldgivning men för att nå politiska mål krävs identifiering av mål för eldgivning. Dessutom finns även sedan tidigare SA-8 som är ett luftvärnsrobotsystem med såväl spaningsradar som målföljningsradar.

*Intressanta signalkällor som motståndaren kan utnyttja är; både spaningsradar och målföljningsradar till kvalificerat luftvärn. Dessutom kommunikationsspaning för samordning av insatser mot flyget samt varning för våra motåtgärder. Därutöver kan möjligtvis optiska system användas som sikten till vapen eller som komplement i form av målföljning. Vid kvalificerad ledning skulle även användning av datorstöd vara möjligt.*

#### **8.2.4 Typsituation 4 – Mark**

*Sis i syfte att få underlag för beslut om uppträdande och agerande under framryckning genom bebyggelse med relativt kort avstånd.*

Typsituationen syftar till att genom signalspaning upptäcka och analysera hot som kan uppstå under vår framryckning genom bebyggelse där vi tidigare inte varit.

**Läge:** Förflyttning skall ske genom bebyggelsen till flygplatsen. Sträckan är totalt ca 5 km och endast en del av sträckan medger val av väg. Förflyttningen tar totalt ca 30 min (ostört) och beslut om framryckningen tas 6 timmar före genomförandet. Vi har inte varit i terrängen tidigare och därmed kunnat placera ut någonting i förväg. En UAV har passerat i området och genomfört bl.a. signalspaning för att inhämta underlag till en normalbild. Syftet är att ta fram ett underlag för beslut avseende vårt uppträdande vid framryckning genom ett område som vi måste passera. Det innefattar val av väg, hastighet, framryckningsmetod mm. Hot som kan uppträda längs vägen är IED (Improvised Explosive Devices), minor, prickskyttar eller förbandsenheter med handeldvapen, lätta pansarskott och tunga kulsprutor.

*Intressanta signalkällor som motståndaren kan utnyttja är; kikarsikten till viktiga vapen, utlösning via radio, radar eller mobiltelefon av minor eller IED, fältradar, radiostationer och persondatorer för ledning.*

#### **8.2.5 Typsituation 5 – Lång transport Mark/Luft**

*Sis i syfte att ta fram underlag för val av väg på marken eller i luften på långa avstånd genom känsliga områden med främst landsbygd men mindre byar.*

##### **Läge:**

Typsituationen avser val av framryckningsväg för en transport genom ett område där det utförts attacker på transporter i form av fjärrutlösta minor och eldöverfall. Avståndet är 20 till 30 km och kan genomföras antingen som marktransport eller som helikoptertransport under dager eller mörker.

Situationen omfattar sis i syfte att upptäcka och analysera signaler som kan tyda på åtgärder som syftar till att utlösa attentat mot vår transport. Hoten kan vara av många olika slag från IED vid passage av passartad terräng, broar, byar mm, prickskyttar eller eldöverfall med förband. På motsvarande sätt kan manburna luftvärnssystem (SA-18) eller tunga kulsprutor användas mot helikoptertransporter. (Eventuellt kan även helikopterminor förekomma, dessa behandlas dock inte här).

Signalspaningen kan förutom att genomföras i samband med transporten även genomföras med hjälp av system som placeras ut längs möjliga framryckningsvägar och varna för hot innan beslut om transportväg tas eller för att upptäcka aktiviteter när transporten är på väg.

*Intressanta signalkällor som motståndaren kan utnyttja är; kommunikation som används för att samordna verksamheten mot vår transport. Fältradar kan användas för att detektera våra transporter. Även persondatorer kan användas som ledningsstöd. Dessutom kan optik användas*

som sikten för viktigare vapen eller som stöd för dessa. Både radar och radio kan användas för att utlösa IED.

### 8.2.6 Typsituation 6 – Upplopp

*Sis i syfte att analysera risken för allvarliga upplopp mellan folkmassor.*

**Läge:** Typsituationen syftar till att genom signalspaning upptäcka och analysera risken för upplopp och sammandrabbningar mellan folkmassor inom landet, alternativt folkmassor från de två länderna som är i konflikt med varandra. Situationen omfattar signalspaning i syfte att upptäcka var folkmassorna befinner sig, om det finns vapen samt om kommunikationen med mobiltelefoner förändras över tiden. Helikoptrar med IR-kameror detekterar var folkmassorna befinner sig, i vilken riktning och med vilken fart de rör sig. Optikspaning upptäcker förekomsten av kikarsikten i eller i skydd av folkmassorna (exempelvis prickskyttar) och övervakningskameror i närområdet som används för att ge förvarning om våra åtgärder. Signalspaning mot kommunikation med mobiltelefoner indikerar en eventuell förändrad aktivitet inom grupperna som kan tyda på planering och organisation. Vidare behövs ytterligare information som kan bidra till förståelse av situationen och hotbilden i form av databaser med geografisk information, väderdata samt information om objekt gjorda av människan. För att försvåra situationen kan motståndarens milisförband användas för att försvåra vår rörlighet och möjlighet till underrättelseinhämtning.

*Intressanta signalkällor som motståndaren kan utnyttja* kan utgå från två typer av hot som påverkar oss. Det första är organiserade förband som kan utnyttjas för att begränsa vår rörlighet utan att ta direkt strid. De kan ha radiokommunikation, ledningssystem och fältradar i förbandet. Det andra hotet är mer eller mindre organiserade och ledda folkmassor. Här finns sannolikt bara system för kommunikation inom folkmassan men också med andra folkmassor eller organiserade förband. I båda typerna av enheter kan optik finnas för olika typer av vapen eller stöd för dessa.

### 8.3 UAV-baserad SIS i aktuella typscenarion

Följande avsnitt innehåller tankar och reflektioner kopplade till de typsituationer som presenterades i kapitel 8.2.

Gemensamt för scenariona nedan är att de signaler som benämns som starka är de signaler som har stor styrka när de når UAVn. Vilka signaler som har lång räckvidd bestäms av utsänd effekt, sändarantennens höjd och vilken frekvens som används. Generellt kan sägas att höga frekvenser dämpas mer än låga varför t ex WCDMA, WLAN, GPS, och traditionell radar har begränsad räckvidd. Längre räckvidd har frekvenshoppande radio på truppradiobandet (30-88 MHz) och komradio (70-400 MHz) eller lågfrekvent radar. Oavsiktlig strålning från elektronik har mycket kort räckvidd och kan inte upptäckas på långa avstånd.

### 8.3.1 Typsituation 1 – Mark/Sjö/Luft

Från fartygen kan kontinuerlig spaning på både kommunikations- och radarområdet genomföras. Det sker dels för att säkerställa egenskyddsförmågan och dels för att få kunskap vilka emitterar som normalt finns i området. Inom radarområdet utgörs navigationsradarer på civila fartyg merparten av dessa sändare och på kommunikationsområdet förväntas alla typer av civila sändare, t ex mobil telefoni, broadcast-system (TV & rundradio).

#### Kommunikationssignalspaning

För att öka räckvidden av ett land/yt-baserat signalspaningssystem kan antennhöjden ökas, exempelvis genom att placera systemet på en UAV. Stora vinster i räckvidd kan därför göras med UAV-baserad signalspaning, helt enkelt för att antennhöjden kan ökas väsentligt. För de avstånd som avses här (ca 30 km) krävs en antennhöjd på 200-500 meter.

UAV-baserade system som används på dessa avstånd ställer stora krav på känsligheten hos mottagare och antenner för att radiosignalerna ska kunna uppfattas. Om detta uppfylls kan en normalbild, och avvikelser från denna, observeras även på stort avstånd från sändarnas position. Insamling av information för att skapa en normalbild över tiden kan göras under flera tidsintervall, men inte nödvändigtvis kontinuerligt över tiden. Detta medger avbrott i insamlingen, t ex för att tanka den UAV som används. En uthållighet på ca 1 timme bedöms vara tillräckligt även om längre tid är önskvärt.

När en normalbild skapats kan skillnader mot denna observeras och åtgärder mot dessa signaler kan göras. Under goda förhållanden kan upptäckt, klassificering och avlyssning av vissa signaler göras. Rikttningsbestämning eller positionering av sändare på detta långa avstånd endast kan göras med begränsad noggrannhet.

För signalspaning mot kommunikationssändare

För att lösa uppgiften monitorering i denna typsituation kan ett UAV-system av typ 1 eller typ 2 användas, med de begränsningar som diskuteras ovan. Eftersom ingen riktning eller position av målen studeras är den exakta positionen av använd UAV inte viktig. Detta förändras då riktning eller position av målen är av vikt eftersom en osäkerhet i positionen av UAVn direkt leder till motsvarande osäkerhet i riktning eller position av målet.

Rikttningsbestämning kan göras med en UAV av typ 2 för de signaler med tillräcklig signalstyrka. För att positionera signaler krävs minst två UAVer av typ 2 eller tre UAVer av typ 1.

Observera att för förmågorna monitorering, rikttningsbestämning och positionering används exakt samma ESM-hårdvara, skillnaden sitter i den mjukvara som den enskilda UAVn bär med sej. En och samma UAV kan alltså samtidigt användas för alla tre funktionerna genom att simultant köra flera mjukvaror.

För att öka räckvidd, känslighet och noggrannhet kan riktade smalbandiga antenner användas. Dessa antenner är anpassade för ett begränsat frekvensområde, t ex GSM 900 bandet, där de har hög rikttningsverkan och förstärkning jämfört med en rundstrålande bredbandig antenn. Då riktade antenner används krävs att riktning och attityd på UAVn kan hållas i avsedd riktning eftersom antennerna endast fungerar i en rikttningssektor.

#### Radarsignalspaning

Precis som vid kommunikationssignalspaning ökar räckvidden vid radarsignalspaning om antennhöjden ökar, vilket i sin tur leder till att mer avlägsna radaremitterar kan påträffas. I den aktuella typsituationen kommer därmed täckningsområdet även att inkludera en del av landområdet. Eftersom täckningsområdet ökar kommer även antalet emitterar som ska hanteras av

ESM-systemet sannolikt att öka. Det leder i sin tur exempelvis till ökade krav beträffande beräkningskapaciteten hos signalsystemets pulssorteringsmodul och lägesbestämningsmodul.

En väsentlig skillnad från radiofallet är att det i radarfallet uteslutande är fråga om riktade sändningar. Det kan i sin tur leda till att ESM-systemet i sin tur får mindre energinivåer att arbeta med eftersom en ökning i antennhöjd kan leda till att antennerna befinner sig utanför huvudlooben, vilket minskar möjligheterna till upptäckt.

UAV-systemet kan utformas på ett antal olika sätt beroende på syftet med signalspaningen. Om syftet endast är att kartlägga vilka emitterar som finns i området kan ett enklare signalspaningssystem med förmåga att lägesbestämma emitterar grovt eller helt utan förmåga att lägesbestämma användas (exempelvis UAV-system 3).

När det gäller signalspaning mot spaningsradarn i SA-8-systemen erhålls dock ett mervärde av en noggrann lägesbestämning eftersom det ger möjlighet att följa de omgrupperingar som sker relativt ofta. Om signalspaningssystemet dessutom förses med möjligheter att individbestämma radaremitterar erhålls möjligheten att dels räkna antal system som fortfarande är i drift och dels studera på vilket sätt omgrupperingarna sker mer i detalj genom att varje enskilt systems förflyttning kan följas. Det innebär att UAV-system 4 är mer lämpat i för denna uppgift, eftersom det ger ökad möjlighet att lägesbestämma med god noggrannhet.

Eventuellt kan även korta sändningspass med SA-8 målföljningsradar upptäckas men dessa förekommer troligen relativt sällan. Eftersom målföljningsradarn inviseras från spaningsradarn är avsökningssektorn begränsad vilket medför att radarsignalspaningen i de flesta fall måste ha förmåga att hantera emission från radarns sidolober. Hög utstrålad effekt i kombination med bra systemkänslighet hos radarsignalspaningen ger dock användbara räckvidder även vid dessa förutsättningar. Genom taktisk UAV-användning kan uppstart av SA-8-systemets målföljningsradar eventuellt provoceras fram.

Information om i vilken omfattning stridsfältsskärningsradar förekommer i området kan inledningsvis förväntas vara osäker. Signalspaning genomförd av framförallt UAV och signalspaningsflygplan kan efterhand eventuellt ge resultat men det finns internationellt ett relativt stort utbud av fältradar med smygkaraktäristik som är förhållandevis svår att hantera på avstånd med signalspaning. Möjligheterna att upptäcka systemen med UAV-spaning kan öka om flyghöjden hålls relativt låg eftersom detta ökar sannolikheten för att kunna utnyttja signalerna från radarns huvudlob. Markreflekterade radarsignaler kan också öka sannolikheten för upptäckt.

En intressant möjlighet öppnar sig om antingen det fartygsburna eller det UAV-burna signalspaningssystemet medger att radarindivider kan särskiljas. Om den möjligheten finns kan individinformation kombineras med information från det kooperativa identifieringssystemet AIS (Automatic Identification System) så att gemensamt bibliotek med båda informationstyperna erhålls. Dessutom kan även information från eventuell EO-spaning från UAV adderas till biblioteket. Fördelen med att koppla samman informationen från AIS med emitterindivider är att försök att manipulera AIS-signalen kan upptäckas. Då ett sådant försök upptäcks kan exempelvis kompletterande spaning initieras.

### **8.3.2 Typsituation 2 - Sjö**

UAV-buren radarsignalspaning bedöms kunna göra nytta även i denna typsituation, men eftersom den ligger utanför förstudiens inriktning görs inga ytterligare kommentarer här.



### 8.3.3 Typsituation 3 – Luft

#### Kommunikationssignalspaning

För att skydda inflygande flygplan och helikoptrar måste närområdet till flygplatsen avspans regelbundet. Viktigt är att uppfatta förändringar mot normalbilden som kan tyda på oönskad aktivitet i området. För att lösa denna uppgift kan ett UAV-system typ 1 användas för monitorering av närområdet, dvs. uppbyggnad av en normal bild och senare avvikelser från denna. Efter upptäckt av oönskad aktivitet kan signalspaningen kompletteras med optiska sensorer eller marktrupp.

För att nå lång uthållighet kan en aerostat användas. På vajern ner till marken fästes ett antal sensorer av den typ som beskrivs under UAV-system 1. Med dessa sensorer kan många typer av målsändare upptäckas och positioneras. Förutom ESM sensorer kan även andra funktioner inrymmas i denna aerostat, t ex radar ESM, kommunikationsrepeater och optisk spaning/övervakning.

#### Radarsignalspaning

Tidigare kartläggning av aktuell signalmiljö på radarområdet med hjälp av flyg- och UAV-buren samt fartygsbaserad utrustning är en bra grund för radarsignalspaningen i den här typsituationen. EW-troppens förmåga ökar möjligheter att kontinuerligt hålla bevakning på var relevanta radarhot finns grupperade, bland annat genom att övervakning av stora landområden kan ske med UAV-buren radarsignalspaning. Dessutom ger UAV-buren radarsignalspaning även en fördel då det gäller att skapa förutsättningar för god noggrannhet vid lägesbestämning genom att dessa lättare kan grupperas på ett geometriskt gynnsamt sätt. Kravet på noggrannhet vid lägesbestämningen avgör om UAV-system 3 eller 4 kan komma ifråga för att lösa uppgiften.

Den radarsignalspaning som genomförs har huvudsyftet att minska risken för att våra flygande plattformar hamnar i farliga situationer samt att reducera hotnivån om så ändå sker. De egenskaper som SA-8 har avseende bland annat höjdtäckning innebär att systemet är ett påtagligt hot mot såväl transportflygplan som helikoptrar. Det är därför väsentligt att så långt möjligt ha en klar uppfattning om var SA-8-system är grupperade. Denna uppfattning kan exempelvis skapas genom möjligheten till noggrann lägesbestämning. Med denna kunskap kan helikoptertransporternas in- och utflygningsvägar väljas för att exempelvis utnyttja terrängmask. Radarvarnaren som ingår i VMS-utrustningen kan användas för att reducera konsekvenserna av att förhandsinformationen är felaktig eller ofullständig.

Flexibiliteten är betydligt mindre för flygningarna med Tp 84. Ett rimligt antagande är att det endast i undantagsfall är acceptabelt att passera SA-8 verkansområde om detta är känt i förväg. Förhindras start eller landning av detta skäl kan verkansinsats mot luftvärnssystemet vara aktuellt om detta är i enlighet med aktuell ROE. Vid denna typ av undertryckning eller bekämpning skulle UAV-system 4 kunna användas för att lägesbestämma SA-8-systemens positioner med hög noggrannhet varefter insats med hjälp av exempelvis GPS-styrd ammunition möjliggörs.

### 8.3.4 Typsituation 4 – Mark

#### **Kommunikationssignalspaning**

Detta scenario är i huvudsak ett uppdrag av typen Force protection, dvs. avsikten är att skapa en bubbla runt våra enheter där vi har koll på all radiostrålning. Detta kan åstadkommas med en eller flera UAVer som förtrupp.

Svårigheten med denna uppgift är den mångfald av hot som kan uppträda.

Den enkla uppgiften är att upptäcka och positionera avsiktliga sändningar som mobiltelefoner och radiostationer. Svårare är det att monitorera den mångfald av radiosändare som kan användas för utlösning av IED och minor. När det gäller oavsiktlig strålning från IED, datorer och minor krävs känsliga signalspaningsresurser med hög undertryckningsförmåga och dynamiskt omfång för att upptäcka dessa svaga signaler på avstånd.

I samtliga fall ovan kan monitorering av radiosignaler göras med ett UAV-system av typ 1. Svårigheten ligger i avsaknaden av en normalbild vilket medför att en stor mängd sändare måste analyseras under kort tid. För monitorering av radiosändare som kan användas för utlösning av minor och IED så ligger svårigheten att särskilja ”normal” användning av dessa sändare från intressanta användningsområden. Det område där en UAV kan göra stor skillnad är vid spaning mot oavsiktlig strålning. Eftersom denna strålning är mycket svag måste avståndet mellan strålare och mottagare(UAVn) vara litet. Detta gör att UAVn måste operera på låg höjd (<100 m) förslagsvis rakt ovanför avsedd färdväg. En antenn riktad rakt neråt gör då att en ungefärlig position kan fås på upptäckta strålare och antalet falsklarm kan minimeras.

För positionering av radiostationer för ledning kan en kombination av UAV-baserade sensorer och markbaserade sensorer användas. En metod som visar lovande resultat för positionering i urban miljö är TDOA-baserade positioneringsmetoder. Denna förmåga kan fås genom användning av minst tre sensorer av typen i UAV-system 1, t ex med två UAVer och en marksensor.

Då UAVn behöver tankas kan framryckning stoppas på ”säker” plats. När sedan UAVn är i luften kan framryckning fortsätta.

#### **Radarsignalspaning**

I typsituationen är förekomsten av radarsignaler som kan inverka på händelseförloppet ganska begränsad. Fältradar kan användas för att övervaka och förvarna om exempelvis fordonsrörelser på relativt stora avstånd men i bebyggelse medför den faktiska vågutbredningen i många fall stora begränsningar. Radar kan även användas för automatutlösning av minor eller IED på samma sätt som för zonströmsammuniton. De aktuella radartyperna kan eventuellt upptäckas, identifieras och lägesbestämmas med signalspaning vid den beskrivna rekognoseringen med hjälp av UAV. Möjligheterna är dock större att detta kan ske om sensorer för radarsignalspaning, eventuellt av enklare typ, finns på ett eller flera av de fordon som utför transporten. Systemkänsligheten bör kunna bli tillräcklig för att vinna upptäcktsduellen med respektive radartyp. Detta innebär bland annat att alternativa vägval kan väljas när utrustningen indikerar radarsignal som kan förebåda en IED-fälla. Värt att notera är dock att det under senare tid skett en förskjutning mot att fjärrstyrning av IED genomförs med exempelvis en IR-fjärrkontroll.

### 8.3.5 Typsituation 5 – Lång transport mark/luft

#### **Kommunikationssignalspaning**

För att skapa en normalbild (innan transporten) kan en UAV typ 1 (eller 2) användas innan transporten genomförs. Avvikelse från normalbilden kan tyda på ej önskvärd aktivitet. Vid sådant tillfälle kan totalt två UAVer av typ 2 eller totalt tre UAVer av typ 1 användas för att positionera intressanta nya sändare.

I samband med transporten kan en eller flera UAVer användas på samma sätt som beskrivs i Typsituation 4 ovan för att upptäcka avvikelser från normalbilden. Genom att använda UAVer som förtrupp varnas eventuella fiender, men värdet av den information som kan fås från UAVerna bedöms som viktigare.

För specialfallet med IED-hot måste lågflygande UAVer användas för att kunna spana mot dessa svaga signalkällor. Tekniken av idag tillåter upptäckt av elektroniken i en IED på avstånd, t ex från en lågtflygande UAV. Genom att upptäcka en IED innan marktransporten anländer kan motåtgärder vidtas i god tid innan hotet blir farligt (se typsituation 4 ovan).

#### **Radarsignalspaning**

Förutsättningarna och behovet av radarsignalspaning är avseende marktransport i huvudsak likartat med vad som gäller för typsituation 4 - Mark. Förekomsten av fältradar kan dock antas vara mer sannolik eftersom transporten till större delen sker genom landsbygd med mer öppna ytor. En tänkbar möjlighet är att låta en eller flera UAV:er agera förtrupp och signalspana området framför transporten. Värt att notera då är att flertalet fältradarer är av LPI-typ varför signalen från dessa kan vara svår att detektera på långa avstånd. Dessutom är loben i elevationsled begränsad vilket kan ge detektionsproblem på korta avstånd om flyghöjden är för hög. Det är dock rimligt att fältradarer inte behöver lägesbestämmas med höga krav på noggrannhet, vilket betyder att den noggrannhet som UAV-system 3 erbjuder är fullt tillräcklig. Om det av någon anledning krävs bättre noggrannhet klarar även UAV-system 4 av uppgiften.

För helikoptertransporter är radarområdet framförallt intressant med tanke på hotet från SA-8. I likhet med typsituation 3 -Luft är det väsentligt att så långt möjligt planera färdväg för att undvika att passera aktuella verkansområden. Som har konstaterats tidigare är radarsignalspaningen den huvudsakliga sensorn för att lägesbestämma SA-8. Eftersom systemet har stor rörlighet har inmätta lägen en begränsad giltighet. Det är därför angeläget att spaningen sker med god tidstäckning. Även om så sker ökar, på grund av mobilitet, lägesosäkerheten snabbt när systemet slutar att sända. Kompletterande EO-spaning från UAV kan av detta skäl vara värdefull för att bevaka kända enheter.

### **8.3.6 Typsituation 6 – Upplopp**

In denna typsituation bedöms optisk spaning, exempelvis en vanlig kamera, kunna tillföra mer än traditionell signalspaning. Det kan i och för sig finnas fördelar med att kombinera den optiska informationen med signalspaningsinformation från framförallt kommunikationsområdet.

#### **Kommunikationssignalspaning**

Inför ett förväntat upplopp kan en UAV på högre höjd (500 – 3000 meter) spana av ett stort område för att upptäcka var folksamlingar samlas. Detta kan lösas med en UAV av typ 1 eller 2. När en folksamling upptäckts kan denna följas för att urskilja enskilda sändare – t ex 3G & GSM-mobiler, komradio och militära system.

För att följa och positionera enskilda sändare i en folkmassa behövs 3 st UAVer av typ 1 eller 2 st UAVer av typ 2. Om dessa ”omringar” folkmassan på en höjd om minst 200 m kan positionering av samtliga sändare göras med mycket hög precision.

Mot GSM-mobiler kan mängden (sändande) mobiler per ytenhet bestämmas (densiteten). Mobiler kan även följas på individnivå för att se rörelser inom gruppen. Då signalspaningssensorn befinner sej på hög höjd kommer mycket stor positionsnoggrannhet att erhållas, även i urban miljö.

På samma sätt som GSM-mobiler kan densiteten av (sändande) komradio (även frekvenshoppande) bestämmas och följas på individnivå. Positionering kan göras med mycket hög noggrannhet då hög signalstyrka erhålls pga. att en hög antennhöjd (UAV) används.

Ett markbaserat system kan användas för att erhålla samma lägesbild som ovan diskuterade UAV-system – men med sämre noggrannhet på grund av lägre mottagen signalnivå och mer flervägsutbredning. Ett UAV-baserat system tillåter dessutom informationsinhämtning utan att ha personal i området.

#### **Radarsignalspaning**

Signalspaning på radarområdet har i den aktuella situationen i huvudsak betydelse för att på samma sätt som tidigare minska hotet mot helikopter från SA-8. Liksom tidigare medger radarsignalspaning från UAV att stora geografiska avsnitt kan genomsökas för att på så sätt upptäcka radarhot mot de egna flygande plattformar som eventuellt används. Det är även i detta fall en klar fördel om signalspaningen har god lägesbestämmande förmåga eftersom det ger ökad möjlighet att bedöma hotsystemens verkansområdet mer noggrant varefter dessa områden med större säkerhet kan undvikas.

Liksom tidigare är den kravet på framförallt lägesbestämmande förmåga som avgör vilket av UAV-system 3 eller UAV-system 4 som är mest lämpligt.



## 9 Farkoster

Det finns många olika sorters flygande farkoster som man skulle kunna tänka sig använda för att bära upp den ESM-utrustning som beskrivs i kapitel 6. Det som skiljer farkosterna åt är främst hur de alstrar den lyftkraft som behövs och hur detta påverkar prestandan i övrigt.

### 9.1 Vingburna UAVER

Kännetecknas av hög effektivitet vad gäller främst fart, räckvidd, och uthållighet. I denna kategori befinner sig den allra största delen av UAVER och beskrivs enklast utseendemässigt med ett konventionellt flygplan. Dessa kräver normalt start från bana eller ramp, eventuellt med hjälp av katapult. Även landningen ställer krav på någon slags bana, fångstnät eller fallskärm om UAVn ska kunna återanvändas. Sammantaget krävs det en hel del utrustning runtomkring för att operera farkosten, vilket oftast leder till stora krav på en fungerande logistik. Undantaget från detta är mindre UAVER som ibland inte kräver mer utrustning än det som får plats i en ryggsäck.

### 9.2 Rotorburna UAVER

Kännetecknas av relativt enkel start, däremot har landningen visat sig mer kritisk. Detta är dock ett överkomligt problem i dagsläget. UAVERna har generellt mycket sämre räckvidd och uthållighet jämfört med vingburna farkoster. Denna sort av UAV kräver också en väl fungerande logistik. Troligen minst i klass med den för vingburna flygplan. Den största fördelen med den här sortens system är det inte krävs någon klargjord startplats (landningsbana) då farkosten startar och landar vertikalt. Detta är troligen den näst största kategorin av UAVER och kan oftast beskrivas utseendemässigt som en helikopter.

### 9.3 Hybrid av rotor- och vingburen UAV

Genom att på olika sätt kombinera rotor och vinge hoppas man att få det bästa av båda världar. Alltså bra fart/räckvidd/uthållighets-prestanda men också förmågan att starta och landa vertikalt. Ofta hamnar man någonstans mittemellan. Man får hyfsad fart/räckvidd/uthållighets-prestanda men inte lika bra som för en rent vingburen farkost, och effektiviteten i hovrande läge är inte lika bra som för en rent rotorburen farkost. Anledningen till detta är att en rotor/propeller som används för framdrivning måste ha mindre diameter för att få rimlig verkningsgrad. Detta gör att rotorn/propellern blir högt belastad vid hovring och därmed mindre effektiv. Däremot är den mer torderade formen hos en propeller också bra för hovring. Anledningen till att en helikopterrotor är nästan plan är framåtflygningen. Beroende på hur UAV-systemet ska användas kan denna sorts farkost vara ett framtida tänkbart alternativ.

### 9.4 Aerostater/Drakar

Luftskepp kännetecknas av sin storlek, låga fart och korta räckvidd. Detta leder till begränsningar vid stark vind, till exempel dålig uthållighet. Kombinationen drake och ballong ser lovande ut om man klarar sig med att vara stationär. Då samtliga UAV-system i detta projekt dock kräver en viss räckviddsprestanda har inte aerostater eller drakar undersökts närmare.

## 9.5 Motorer (förbränning, el och jet)

Vad gäller förbränningsmotorer är inom de närmaste åren tvåtakts bensinmotorer det enda alternativet för små UAVer. Det finns en mängd typer i alla effekter upp till 200 hk, ursprungligen avsedda för modellflygplan, små UAVer och ultralätta flygplan. Tvåtaktsmotorer kännetecknas av låg vikt men hög bränsleförbrukning särskilt vid små effektuttag.

De minsta fytaktsmotorerna som konstruerats för flygbruk är på 60 hk. Det finns också fyrtakts modellflygmotorer på någon hästkraft.

I USAs försvar pågår ett stort arbete på att endast ha ett bränsle (egentligen ett jetbränsle) inom mark- och luftstridskrafterna "Single Fuel Concept". Många intressanta projekt med motorer i alla storlekar pågår, men dessa ligger i de flesta fall flera år från en färdig produkt. Många amerikanska UAV-projekt uppger dock redan prestanda med dessa framtida motorer.

Elmotorer är mindre och lättare än motsvarande förbränningsmotorer. Problemet är energilagringen. Batterierna har dock gjort stora framsteg. Litium-jon och litium-polymer ackumulatörer har en energitäthet på 150-200 Wh/kg, detta är ca fyra gånger bättre än de bästa bly-ackumulatörerna. Litium-svavel med ytterligare en fördubbling av energitätheten är på gång. Detta (400Wh/kg) motsvarar ca 3.3% av energitätheten hos bensin. Jämförelsen blir i praktiken mindre dålig för el eftersom elmotorer har mycket bättre verkningsgrad än förbränningsmotorer, särskilt tvåtakts.

Jetmotorer förekommer också i UAV-sammanhang och även dessa motorer finns i många olika storlekar. Bränsleförbrukningen är dock mycket hög. Dessutom är jetmotorer mest effektiva i höga farter och för betydligt större farkoster än vad som behandlas i detta projekt.

## 9.6 Möjliga prestanda

För att jämföra olika UAV- eller flygplanskoncept bör man sätta upp en specifikation och sedan ändra en parameter t.ex. uthållighet. Detta innebär en preliminärkonstruktion för varje parameterpunkt. Konfigurationen blir alltså större ju längre uthållighet som önskas.

För en befintlig konfiguration får man i stället jämföra vid konstant max startvikt och se hur mycket t.ex. uthålligheten minskar om man lastar mer nyttolast, ökar motsåndet o.s.v.

Alla följande prestandaexempel är baserade på tvåtaktsmotor.

### 9.6.1 Jämförelse rotor- och vingburen flygning

Här är en jämförelse (figur 9.1) av vad man kan åstadkomma med en helikopter som hovrar eller flyger framåt respektive ett flygplan med vingar. Alla med 10 kg nyttolast. Jämförelsen är gjord enligt metoden att preliminärkonstruera för varje önskad uthållighet men i övrigt samma data.

Resultatet blir alltså en större konfiguration där startvikten går upp med ökande uthållighet.

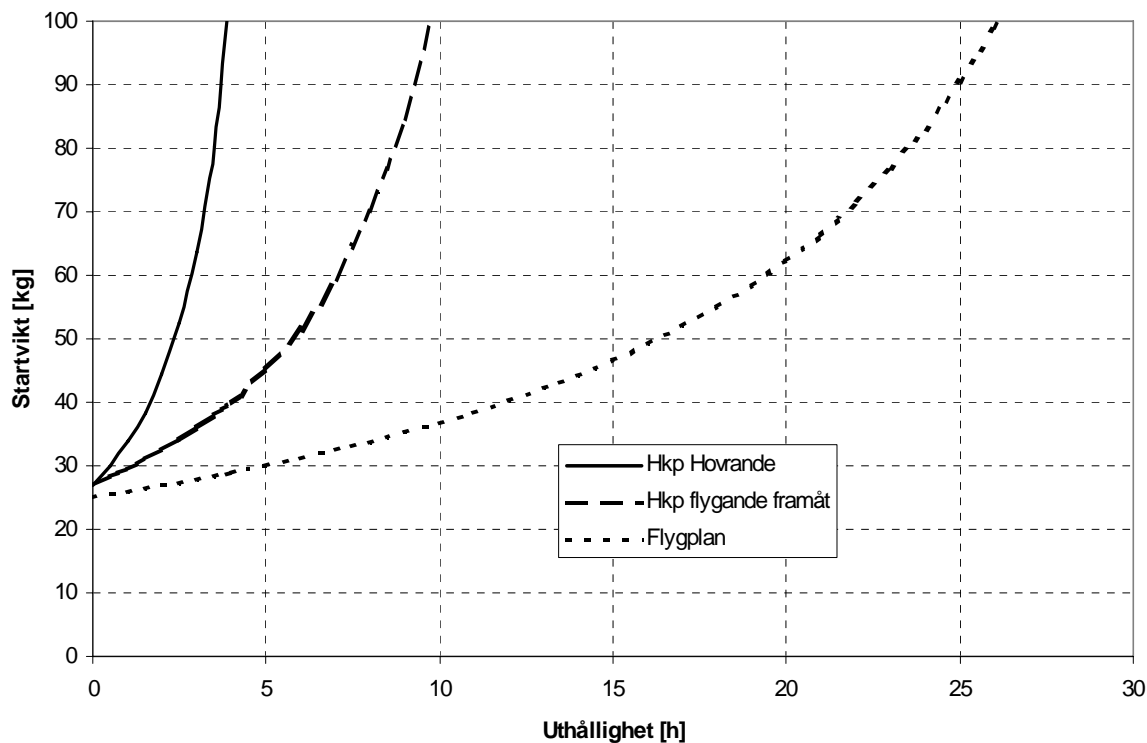
Observera att det är samma antaganden för den hovrande respektive den framåtflygande helikoptern. Detta innebär att de kan betraktas som samma helikopter som kan användas för hovring eller framåtflygning, där flygning framåt ger ca två gånger så stor uthållighet för given konstruktions-startvikt. Konfigurationen är alltså inte optimerad för vare sig hovring eller framåtflygning. Det vingburna flygplanet har ca tre gånger så stor uthållighet som den framåtflygande helikoptern. Det antagna flygplanet har också stor potential för bättre uthållighet och räckvidd om aerodynamiken förfinas. Detta gäller inte helikoptern där mycket av motståndet hänger samman med rotern. Givetvis kan dessutom vikten för nyttolast användas för bränsle och vice versa.

För spårbarhet anges nedan de antaganden som gjorts vid beräkningarna:

Hkp;  $m/S=12\text{kg/m}^2$ ,  $h=1000\text{m}$ ,  $V=15\text{m/s}$ ,  $m\text{landning}/m\text{start}=0.63$ , Figure of Merit=0.6,

$P_{tailrotor}/P_{rotor}=0.18$ ,  $\eta_{mek}=0.95$ ,  $SFC_{hovring}=0.544\text{kg/kWh}$ ,  $L/D_{loiter}=4$ ,  
 $SFC_{framåt}=0.611\text{kg/kWh}$ .

Fpl:  $m/S=20\text{kg/m}^2$ ,  $h=1000\text{m}$ ,  $V=14.9\text{m/s}$ ,  $m_{landning}/m_{start}=0.6$ ,  $L/D_{max}=12$ ,  $\eta_{prop}=0.7$ ,  
 $SFC=0.544\text{kg/kWh}$ .



**Figur 9.1: Jämförelse mellan hovrande helikopter, framåtflygande helikopter och flygplan med 10 kg nyttolast. Konstruktionsvikt för start för en given uthållighet.**

### 9.6.2 Effekt av större nyttolast

Om farkosten behöver bära mer nyttolast måste detta tas av bränslevikten för att inte farkosten ska överlastas. Alternativet är att använda sig av en större farkost.

Exempel: Om en vingburen UAV konstruerats för UAV-system 2 med 6 kg nyttolast och 12 timmars uthållighet, och i övrigt med samma tekniknivå som föregående exempel, blir bränslevikten 3.7 kg.

Om man behöver 2 kg extra nyttolast går uthålligheten ner till ca 5 timmar.

### 9.6.3 Effekt av extra luftmotstånd

De flesta UAVer är konstruerade för att bära någon slags sensorlast som elektrooptisk utrustning (kamera, ir-kamera m.m.) eller radar och signalspaning vid högre frekvenser, och dessutom utrustning för trådlös kommunikation. Den sortens last går att strömlinjeforma ganska väl och att gömma undan i kroppen. Detta är dock en svårighet när man kommer till de antennerna som används i ESM-sammanhang. Det betyder för normala flygplanskonfigurationer att antennen sitter i sämsta tänkbara aerodynamisk position, vinkelrätt mot flygriktningen pekandes ner mot marken. Detta gör det svårt att gömma antennerna i t.ex. vingarna eller kroppen. Man måste helt enkelt låta dem hänga ner under flygplanet. För helikoptrar så är detta ett mindre problem då man inte flyger



särskilt fort eller länge ändå. Men för vingburna farkoster med hög uthållighet, som dessutom flyger ganska fort, ökar luftmotståndet och bränsleförbrukningen med denna. Ju mindre farkost, relativt antennstorleken, desto större förluster.

Exempel: Om UAV-system 2 enligt ovan (9.6.3) förses med tre vertikala, 0.5 m långa, sprötantenner med cirkulärt tvärsnitt,  $\varnothing=5\text{mm}$ , gör det extra luftmotståndet att bästa glidtal minskar från 12 till 11. Då minskar uthålligheten med 4.4 % och räckvidden med 8.5 %. Om UAVn haft mindre luftmotstånd, eller haft krav på högre fart, hade det extra motståndet inverkat mer och på en helikopter hade det knappast märkts.

Ett annat problem med dessa antenner som hänger under farkosten är att man på något sätt måste skydda antennerna vid start och landning. Det är troligen inte några problem att lösa en uppfällning mekaniskt men vikten ökar. Något som i sin tur försämrar UAVns prestanda. De data som presenteras i rapporten för olika UAVer är inte korrigerade för de förluster som antennerna skapar.

#### 9.6.4 Effekt av elförsörjning av nyttolasten

Effekten för försörjning av nyttolasten kan vara av samma storleksordning som effekten för framdrivning för en flygplanskonfiguration.

Exempel: För UAV-system 2 antar vi en elförbrukning på 200 W för trekanalig mottagare, dator och länk. Ett litium polymerbatteri för denna effekt i 12 timmar skulle väga minst 14 kg. Det är således bättre att sätta en generator på motorn. Verkningsgrad för generatoren och dess transmission antas till  $\eta_{\text{gen}} = 0.65$ .

Exempelflygplanet har konstruerats för 12 timmars uthållighet med noll effekt för nyttolast. Detta gav en startvikt på 24 kg. Med 200 W effekt för nyttolast fås en uthållighet på ca 7 timmar med samma bränslemängd och startvikt.

Om vi konstruerar om flygplanet för samma specifikation, d.v.s. 12 timmars uthållighet, men med 200 W effekt till nyttolasten blir startvikten ca 33 kg.

Klart är att vid fortsatta studier måste effekten av elförsörjningen beaktas noggrant. Risker finns att man måste gå upp i storlek på UAV om strömförsörjningen är av betydande storlek.

#### 9.6.5 Effekt av kylning av nyttolast

För att kyla elektronik etc. måste luft tas in i farkosten och sedan släppas ut. Impulsförlusten på kyl luften ger ett motstånd. En olämplig placering av intag och utsläpp kan ge ytterligare motstånd. Detta är en liten faktor för de relativt långsamma UAVer som diskuteras här. För snabbare farkoster kan dock kylförluster vara avsevärda om inte intag, inre kanaler och utsläpp är väl konstruerade.

## 9.7 Befintliga tänkbara farkoster

På den öppna marknaden finns idag en uppsjö av olika sorters UAVer i alla möjliga storlekar och med en lika stor variation i prestanda. En del används redan i militära och/eller civila applikationer medan andra fortfarande befinner sig under utveckling och provning. I ett första steg har kommersiellt befintliga farkostsystem undersökts för att se om det finns några tänkbara kandidater till att bära den ESM-utrustning som beskrivs i kapitel 6. Farkosterna som valts ut för att presenteras här i rapporten valdes på grund av att de först och främst borde klara av att lösa uppgiften men också för att de bevisligen har flugit och fabrikanterna presenterar trovärdiga datauppgifter över prestandan. Det betyder inte att just dessa system är bäst lämpade för att utföra uppgiften. Det kan finnas bättre kandidater.

Observera att alla data som presenteras kommer från tillverkarna själva. Dessa uppgifter får alltså inte uppfattas som en garanterad specifikation för farkosten. Generellt sett, om man tittar runt på olika UAV-system, är tillverkarnas prestandauppgifter behäftade med stora svagheter. Till exempel:

- Stor optimism.
- Data baserade på obefintlig motor.
- Data hör inte ihop: Angiven räckvidd eller uthållighet gäller ofta för ingen eller liten nyttolast. (Begreppet ”payload”, som ofta anges i engelska data, inkluderar ofta bränslevikten).

### 9.7.1 APID 55 / SKELDAR (ref. [9.1])

Detta är ett helikopterbaserad UAV-system. Systemet är utvecklat av ett i Linköping baserat företag (CybAero AB) och har använts en del i forskningssyfte tillsammans med FOI och försvarsmakten. Numera går APID 55-systemet under namnet SKELDAR och vidareutvecklas av SAAB. En nyligen tagen bild (figur 9.2) på SKELDAR avslöjar en mer futuristisk look men det är i stort samma plattform som APID 55.

Att just detta företags system valts att presenteras i denna rapport beror främst på att företaget lämnar mycket teknisk information på sin hemsida vilket underlättar arbetet i projektet. Det är dock värt att nämna att det finns många fler tillverkare av liknande helikoptersystem som skulle kunna vara tänkbara kandidater.



Figur 9.2: SKELDAR fotograferad på EuroSAT 2006 i Paris.

APID 55-systemet är ett förhållandevis stort helikoptersystem (se mer teknisk data i tabell 9.1). Fördelen med detta är att den kan ta en ganska stor last, alternativt mycket bränsle och inte är så väderkänslig som ett mindre system. Främsta nackdelarna är att det krävs en del logistiska resurser för att transportera och hantera farkosten samt att prislappen per UAV blir ganska hög. Om man bortser från nyss nämnda nackdelar så skulle detta (eller ett liknande) system troligen passa in på alla i kapitel 6 angivna UAV-system (1 – 4) utan några större problem.

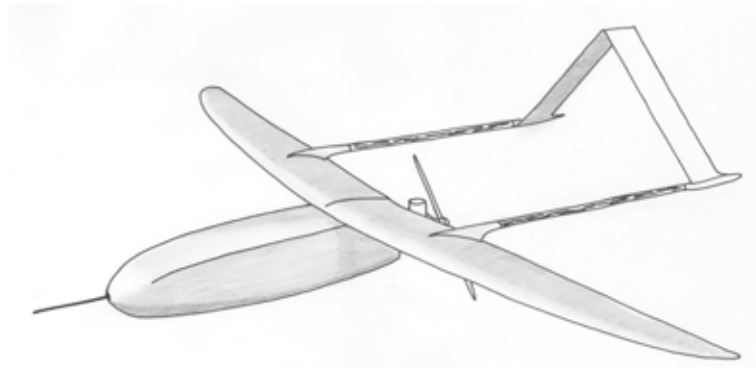
Antenner kan monteras på undersidan av kroppen, eventuellt ihopfällbara för start och landning, och övriga system innanför kroppskalet.

<b>Kropp och rotor</b>	
Längd:	4.0 m (inkl. rotor) 3.2 m (exkl. rotor)
Höjd:	1.2 m
Bredd:	0.95 m
Rotordiameter:	3.3 m
Tomvikt:	95 kg
Maximal startvikt:	150 kg
Last och bränsle:	55 kg
<b>Motorsystem</b>	
Effekt:	55 hk
Typ:	Vattenkyld 2-cylindrig, 2-taktsmotor med bränsleinsprutning och el-start
Bränsle:	Bensin
Bränsleförbrukning:	8 – 12 liter/timme 20 liter/timme vid hovring och max last
Bränsletank:	60 liter
<b>Prestanda</b>	
Max fart:	90 km/h
Normal flygfart:	60 km/h
Aktionstid:	3 – 6 timmar
Aktionsradie:	Max 50 km
Max flyghöjd:	3000 m (SL)

Tabell 9.1: Tekniska data för APID 55 (data från ref. [9.1])

### 9.7.2 Aerosonde (ref. [9.2])

Aerosonde är ett konventionellt vingburet UAV-system med bevisat mycket bra prestanda med avseende på flygtid och räckvidd (se figur 9.3). Det är det första obemannade flygplanet som korsat Atlanten. Med tanke på dess storlek (spännvidd 2.9 m) och tillgängliga bränslemängd (ca 5.7 liter) så är det en stor bedrift. Farkosten konstruerades från början med tanke på bland annat metrologiska observationer på otillgängliga platser, men har sedan dess använts inom många andra civila och militära ändamål. UAVn opereras och utvecklas av Aerosonde Pty Ltd (AePL) i Australien och Aerosonde North America (AeNA) i USA. Saab Systems Australien är bland annat ett av de företag som har varit engagerat i Aerosonde-systemet.



**Figur 9.3: Aerosonde**

Till skillnad från tidigare nämnda helikopterbaserade system så får man med denna farkost en betydligt längre flygtid (cirka 10 timmar med 5 kg last) till en bråkdel av den bränslemängd som helikoptern kräver (se mer tekniska data i tabell 9.2). Flygplanet är dessutom betydligt lättare i sig vilket klart underlättar logistikarbetet. Dock så krävs det en startramp, alternativt att man startar från taket på ett rullande fordon (bil). Landning sker med fallskärm. Främsta ”nackdelen” med detta system är att den, till skillnad från helikoptern, inte kan hovra stilla i luften och därmed bland annat kräver lite mer utrymme vid start och landning. Aerosonde borde vara mest lämpad till UAV-system 1. Kroppen kan anpassas efter lasten som bärs internt och antennen bör kunna monteras under vingen eller under kroppen.

<b>Kropp och vinge</b>	
Spännvidd:	2.9 m
Längd:	1.8 m
Vikt:	13 – 15 kg
Last:	max 5 kg
<b>Motorsystem</b>	
Effekt:	1 kW
Slagvolym:	24 cc (bränsleinsprutning)
Bränsle:	Bensin
Bränsleförbrukning:	180 g/hr vid planflykt
Bränsletank	5 kg
<b>Prestanda</b>	
Flygfart:	80 – 150 km/h
Aktionstid:	> 30 timmar utan last ca 10 timmar med 5 kg last
Räckvidd:	> 3000 km utan last
Flyghöjd:	100 – 7000 m

**Tabell 9.2: Tekniska data för Aerosonde (data från ref. [9.2] och ref. [9.3])**

### 9.7.3 Skylark (ref. [9.4])

Skylark är liksom Aerosonde ett vingburet UAV-system (se figur 9.4). Den stora skillnaden är storleken och framdrivningsmetoden. Startvikten är endast 5.5 kg och den är elmotordriven. Detta betyder att den inte kan ta fullt så mycket last som tidigare nämnda system och att aktionstiden är kortare (cirka 2 timmar). Å andra sidan är den betydligt lättare att transportera och hantera. Farkosten och dess kringutrustning packas ner i några väskor och kan skötas av 2 personer. Start sker med gummirepskatapult, vinschning eller vid gynnsamma förhållanden genom att man kastar

den för hand. Landning sker med fallskärm. Det krävs alltså inte något större startområde. Dess fysiska storlek och elmotordrift gör dessutom att syn- och ljudsignaturen blir liten.



**Figur 9.4: Skylark**

Skylark-systemet är utvecklat av ett Israeliskt företag (Elbit Systems Ltd) och har nyligen provats i fält av Försvarets materielverk (FMV) ref. [9.5]. Systemet passar dessutom relativt bra in på den tekniska specifikationen för en framtida mini-UAV som FMV håller på att upphandla till Nordic Battle Group (NBG) ref. [9.6]. Farkosten borde vara lämplig som farkost till UAV-system 1. Utrymme finns i kroppsgondolen och antennen (uppfällbar för landning) borde man kunna montera under vingen eller under gondolen. Beroende på vikten på ESM-systemet och om man önskar ha andra sensorer, som t.ex. kamera, ombord på farkosten så påverkas troligen aktionstiden. Mera teknisk data för Skylark finns i tabell 9.3.

<b>Kropp och vinge</b>	
Spännvidd:	2.4 m
Längd:	2.2 m
Vikt:	5.5 kg
Last:	(troligen kring 2 kg)
<b>Motorsystem</b>	
Typ:	Elmotor
<b>Prestanda</b>	
Flygfart:	37 – 74 km/h
Aktionstid:	c:a 2 timmar
Aktionsradie:	5 – 10 km

**Tabell 9.3: Tekniska data för Skylark (data från ref. [9.4])**

#### 9.7.4 Tern (ref. [9.7])

Till UAV-system 3 och 4 krävs det en lite större farkost för att klara av att bära ESM-utrustningen som väger drygt 10 kg. Ett exempel på en UAV som troligen skulle klara det är Tern från BAI Aerosystems (USA). Denna UAV är principiellt mycket lik Aerosonde-farkosten om än aningen större till vikt och storlek (se tabell 9.4 för tekniska data). Den större storleken gör också att

farkosten skulle kunna användas till UAV-system 2 där antennerna måste placeras i en liksidig triangel med sidorna 1,5 m. Tern startar och landar som ett konventionellt flygplan och kräver därför också en start- och landningsbana. Man kan starta den från en ramp med katapult. Generellt kan man säga att ju större farkost desto lättare är det att få med sig den utrustning man vill ha. Priset är dock att de logistiska kraven ökar och även kostnaden per farkost. Tern-UAVn skulle med lätthet också kunna användas till UAV-system 1 men den skulle helt enkelt vara onödigt stor och dyr för den uppgiften.

<b>Kropp och vinge</b>	
Spännvidd:	4.3 m
Längd:	3.4 m
Vikt:	59 kg (max startvikt) 43 kg (tomvikt)
Last:	1.4 kg i nosen 10 kg under kroppen
<b>Motorsystem</b>	
Typ:	150 cc 2-cylindrig, 2-taktsmotor
Bränsle:	Bensin
Bränsletank	12.7 kg
<b>Prestanda</b>	
Flygfart:	72 – 256 km/h
Aktionstid:	4 timmar
Räckvidd:	320 km

Tabell 9.4: Tekniska data för Tern (data från ref. [9.7])

## 9.8 Framtida tänkbara farkoster

Under denna sektion hamnar de så kallade hybrid-UAVerna. Alltså de farkoster som använder sig av olika tekniker för att starta och landa vertikalt, eller på väldigt kort sträcka, men som samtidigt har en del av den fart/räckvidd/uthållighets-prestanda som konventionella flygplan har. De flesta av dessa farkoster befinner sig fortfarande på utvecklingsstadiet men har ändå visat på en teknik som kan komma att bli mer allmänt tillgänglig i framtidens UAVer.

### 9.8.1 Scorpion 60-25 (ref. [9.8])

Scorpion bygger på en teknik där man under start och landning lutar nosen och motorn snett uppåt samtidigt som vingarna bibehåller sin anfallsvinkel mot luftströmmen som ett konventionellt flygplan. På detta sätt vektoriserar man dragkraften från motorn snett uppåt och får då extra lyftkraft från motorn samtidigt som den drar farkosten framåt vilket genererar lyftkraft på vingarna. När UAVn sen är luftburen lutar nos och motor framåt och farkosten flyger då som ett konventionellt flygplan (se figur 9.5).



**Figur 9.5:Scorpion 60-25.**

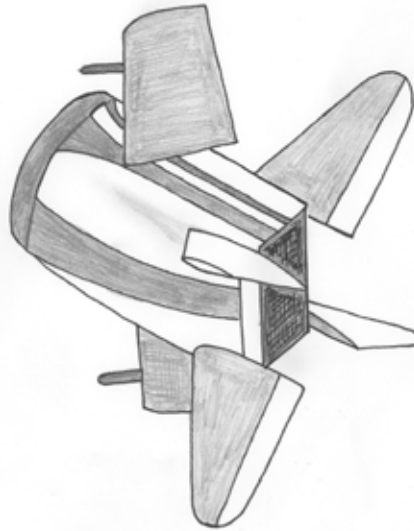
Denna UAV startar och landar alltså inte vertikalt men start- och landningssträckan blir betydligt kortare än för ett konventionellt flygplan. Farkosten byggs och flygs av Freewing Aerial Robotics Corporation (USA) som har flera tunga samarbetspartners med i projektet såsom NASA, Boeing, Matra BAe Dynamics m.fl. För det här projektet skulle den här sortens farkost vara lämplig i första hand för UAV-system 3 och 4. Den skulle även kunna användas till UAV-system 1 men till detta är den större än nödvändigt. Mer teknisk data på UAVn finns i tabell 9.5.

<b>Kropp och vinge</b>	
Spännvidd:	3.7 m
Längd:	2.0 m
Vikt:	34 kg (tomvikt)
Last:	11 kg
<b>Motorsystem</b>	
Effekt:	22 hk
Slagvolym:	200 cc
Bränsle:	Bensin
Bränsletank	22.7 liter
<b>Prestanda</b>	
Flygfart:	180 km/h (max) 32 km/h (starthastighet) 36 km/h (landningshastighet)
Aktionstid:	4.3 timmar
Flyghöjd:	Max 1500 m

**Tabell 9.5: Tekniska data för Scorpion 60-25 (data från ref. [9.8])**

### 9.8.2 GoldenEye-100 (ref. [9.9])

GoldenEye 100 är en UAV som startar och landar vertikalt sittandes på stjärten ("Tail sitter"). Den kan utseendemässigt närmast beskrivas som en tunna, tillplattad i ena ändan, med vingar i korskonfiguration i aktern och två ledade huvudvingar längre uppströms på kroppen. När den väl kommit en bit upp i luften övergår den till konventionell flygning framåt med fasta vingar (figur 9.6). För att öka stabiliteten under start och landning kan man låta vingarna inta ett horisontellt läge. Med detta system har man alltså helt eliminerat behovet av start- och landningsbana men vunnit en del av prestandan från konventionell flygning. GoldenEye finns även i en betydligt mindre variant som kan ta en last på cirka 1 kg (GoldenEye-50).



**Figur 9.6: GoldenEye, på väg att övergå från vertikal till horisontell flygning.**

Systemet är utvecklat av Aurora Flight Sciences på uppdrag av DARPA och har genomfört flera framgångsrika testflygningar. I det här projektet skulle GoldenEye kunna vara en tänkbar kandidat främst till UAV-system 3 och 4 men skulle även kunna användas till UAV-system 1 och troligen även till UAV-system 2. I tabell 9.6 finns lite mer tekniska data från tillverkaren.

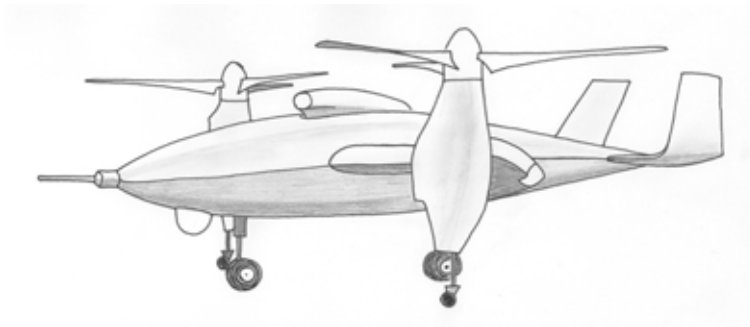
<b>Kropp och vinge</b>	
Spännvidd:	2.7 m
Längd:	1.8 m (uppskattat från foto)
Vikt:	68 kg
Last:	9 kg
<b>Prestanda</b>	
Flygfart:	295 km/h (max)
Aktionstid:	4 timmar
Flyghöjd:	max 3000 m

**Tabell 9.6: Tekniska data för GoldenEye-100 (data från ref. [9.9])**

### 9.8.3 Eagle Eye HV-911 (ref. [9.10])

Eagle Eye UAVn bygger på samma princip som den kända V-22 Osprey men är betydligt mindre och obemannat. I princip så är det ett tvåmotorigt turboprop-flygplan med motorgondolerna monterade i vingspetsen. Genom att vrida motorgondolerna 90° uppåt så kan man få farkosten att starta och landa vertikalt som en helikopter (figur 9.7). Väl i luften vrider man tillbaka motorerna och flyger som ett konventionellt flygplan. Bell Helicopter i USA är det företag som utvecklat farkosten. UAVn är för tillfället tänkt att användas av US Coast Guard i olika roller. Den ska då starta och landa från ett fartyg som normalt inte kan hantera mer än en helikopter.





**Figur 9.7: Eagle Eye HV-911.**

Eagle Eye är egentligen en för stor farkost för de UAV-system som behandlas i det här projektet. Anledningen till att den ändå får vara med är för att demonstrera ytterligare ett intressant koncept på hur man kan kombinera prestandan från en helikopter med ett vingburet flygplan, och även om det inte finns något känt mindre UAV-system som använder sig av samma lyftteknik så betyder inte det att det inte går att bygga små UVer enligt samma koncept. Vid en mindre storlek är möjligen en "tail-sitter" en enklare lösning för att få en stor flygenvelopp från vertikalstart till hög hastighet.

Eagle Eye uppvisar en mycket bred flygenvelopp. De starka motorerna som behövs för start ger också en hög maximal hastighet.

Om man då tänker sig att man tar fram en mindre variant av Eagle Eye enligt samma koncept så skulle en sådan UAV troligen vara lämplig att använda till UAV-system 1, 2, 3 och 4. Lite mer tekniska data för Eagle Eye finns i tabell 9.7.

<b>Kropp och rotor</b>	
Längd:	5.46 m
Höjd:	1.73 m
Spännvidd:	4.63 m
Rotordiameter:	2.9 m
Tomvikt:	590 kg
Maximal startvikt:	1020 kg
Last:	90 kg
<b>Motorsystem</b>	
Effekt:	420 hk
Typ:	Allison 250-C20 GT (turbojet)
Bränsle:	Fotogen
Bränsletank:	340 kg
<b>Prestanda</b>	
Max fart:	400 km/h
Normal flygfart:	0 – 340 km/h
Aktionstid:	6 timmar
Aktionsradie:	200 km
Max flyghöjd:	3000 m (SL)

**Tabell 9.7: Tekniska data för Eagle Eye HV-911 (data från ref. [9.11])**

#### 9.8.4 Utveckla en helt ny UAV

Ett alternativ till att köpa en befintlig UAV är förstås att utveckla en helt ny farkost som då är anpassad till just det UAV-system som man önskar använda, eller om man hellre vill ta fram en farkost som går att använda till alla system. Fördelen med att utveckla nytt är förstås att man får en

farkost som klarar av precis det man vill att den ska klara av. Detta gör också att den inte behöver bli större än nödvändigt. Nackdelen är att kostnaden för att ta fram en ny sorts farkost ofta är mycket hög. Generellt sett kan man alltså spara mycket på att se vad som redan finns på marknaden och anpassa/modifiera detta till det ESM-system man ämnar använda. Dock är ju inte detta alltid ett alternativ om kravspecifikationen är sådan att det inte finns någon befintlig UAV som uppfyller specifikationen. Då är det nytutveckling som gäller.

### 9.8.5 Sammanfattning

För att sammanfatta vilka farkoster som skulle kunna användas till vilket UAV-system har en tabell satts samman (tabell 9.8). Som nämnts tidigare så är inte dessa UAVer de enda som skulle kunna användas utan bara ett litet urval av alla de farkoster som finns tillgängliga nu eller i en nära framtid.

	UAV-system 1	UAV-system 2	UAV-system 3	UAV-system 4
<b>APID 55</b>	x	x	x	x
<b>Aerosonde</b>	x	-	-	-
<b>Skylark</b>	x	-	-	-
<b>Tern</b>	o	x	x	x
<b>Scorpion 60-25</b>	o	-	x	x
<b>Golden Eye 100</b>	o	(x)	x	x
<b>Eagle Eye HV-911</b>	x	x	x	x

x = Lämplig farkost

o = Farkosten är större än nödvändigt

- = Farkosten ej lämplig

**Tabell 9.8: Sammanfattning av farkosters lämplighet för givet UAV-system**

Generellt kan man säga att det inte är några större problem att få fram en farkost som är lämplig att använda till UAV-system 1. Mycket på grund av att utrustningen inte väger så mycket och antennen är ganska enkel. Vill man ha en farkost som kan hovra till detta system ökar dock vikten och komplexiteten.

Även till UAV-system 3 och 4 går det att finna enklare farkoster som är lämpliga att bära ESM-utrustningen. På grund av den ökade vikten på ESM-utrustningen blir dock dessa UAVer större än till UAV-system 1.

Det system som ställer till störst problem är UAV-system 2. Problematiken ligger i placeringen av antenner som gör att farkosten antingen måste bära med sig en ställning under kroppen eller vara så pass stor att antennerna ändå kan placeras i den föreskrivna liksidiga triangeln. För en helikopter-liknande UAV borde det inte vara några problem att bära med sig en ställning på undersidan, men för ett konventionellt flygplan blir det svårare. Dels ökar luftmotståndet men även problemet med att skydda antennerna vid start och landning blir inte obetydligt.

## 9.9 Vilken betydelse har valet av plattformstyp för respektive ESM funktion

Beroende på funktionen hos ESM-systemet så kan valet av plattform och motor spela stor roll för systemets prestanda. Ett allmänt problem är vibrationerna från motorn. 2-takt och 4-taktsmotorer skapar mycket vibrationer. Dessa vibrationer går att dämpa ut relativt bra men är ändå något man måste ta hänsyn till. Elmotorn är av dess natur mindre benägen att skapa sådana vibrationer. Helt vibrationsfri är den dock inte. Elmotorer har däremot problemet i sammanhanget att de själva skapar elektromagnetisk strålning som man på något sätt måste ta hänsyn till för att ESM-utrustningen inte ska störas. Även detta problem är relativt enkelt att lösa i dagsläget. Generellt sett kan man säga att helikoptrar lider betydligt mer av vibrationer än sina vingburna kollegor. Dels från motorn i sig men den största källan till vibrationer är rotorbladen. Dessa vibrationer är svårare att hantera på grund av att amplituden är betydligt högre än för de rena motorvibrationerna. Vibrationerna går att dämpa ut men den utrustning som krävs ökar vikten på farkosten med försämrad prestanda som följd.

En del av ESM-systemen gynnas av hög hastighet medan andra fungerar bäst om farkosten står stilla i luften. Detta är något som i högsta grad påverkar valet av farkost. Vingburna farkoster fungerar oftast bäst i högre farter. Även rotorburna farkoster är mer effektiva om de flyger framåt, men om kravet är att kunna hålla en position i luften finns det inte mycket annat att välja på. Om man nu har behovet att både kunna flyga fort framåt men under kortare stunder stå stilla i luften så är troligen en hybridfarkost lösningen på problemet, men till kostnaden för en mer komplicerad farkost.

För bästa funktion av ESM-systemen behövs ofta noggrann information om farkostens läge i luften och positionen på kartan. I dagsläget finns det tillgängligt många olika sätt att få denna information med hjälp av t.ex. GPS, tröghetsnavigering, gyron m.m. Detta är alltså inte något som borde skapa oöverkomliga problem. Dock så ökar vikten på navigation- och positionssystemen med noggrannheten.

## 10 Mervärde av UAV-baserad ESM

I projektplanen är en av huvudfrågorna att besvara hur UAV-baserad signalspaning ska utformas och utföras för att mest effektivt bidra till marklägesuppfattningen vid internationella insatser? Utifrån denna fråga har en matris sammanställts för att påvisa styrkor och svagheter med ett UAV-baserat system ur såväl teknisk som taktisk synvinkel.

### 10.1 Teknisk och taktisk förmåga för ett UAV-baserat system

	Teknisk	Taktisk
Styrkor/ Möjligheter	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lättare att uppnå hög kvalitet i lägesbestämning pga. mindre effekter av vågutbredning, t ex fri sikt mellan sändare och mottagare.</li> <li>• Lättare att få hög mottagen signalstyrka pga. närhet till målet, vilket medger lägre krav på ESM utrustningen, t ex lägre krav på antensystem. Alternativt kan svagare signaler upptäckas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kan ge ökat upptäcktsavstånd vilket medger ökat avstånd till <i>farligt</i> område</li> <li>• Ger ökad yttäckning pga. ökad antennhöjd</li> <li>• Medger precisions-SIS, t ex positionering i urban miljö</li> <li>• Erbjuder möjligheten att spana under förflyttning</li> <li>• Erbjuder möjlighet till framskjuten spaning</li> <li>• Förbättrar möjligheterna till bra egenskydd – Force protection</li> <li>• Möjliggör SIS mot IED</li> <li>• Ger möjlighet till att söka länkstråk utan hänsyn till markförhållanden</li> <li>• Samverkan mellan UAVer ger ökad prestanda</li> </ul>
Svagheter/ Svårigheter	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ökad signaldensitet pga. ökad antennhöjd (speciellt inom kommunikationsområdet)</li> <li>• Kommunikation mellan UAVer och mark</li> <li>• Svårighet kvarstår gällande SIS mot riktade sändningar, t ex upptäckt av länkstråk</li> <li>• Strömförsörjning av utrustning</li> <li>• Aerodynamik och antenner (vid låga frekvenser)</li> <li>• Samverkan mellan UAVer</li> <li>• Viktbegränsningar för små UAVer</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Är mer begränsad beträffande uthållighet jämfört med ett markbaserat system</li> <li>• Kräver flygtillstånd</li> <li>• Kan kräva mer resurser i form av personal och logistik</li> <li>• Kan, beroende på plattformsväl, kräva tillgång till stort start- och landningsområde</li> </ul>

### 10.2 Tekniska möjligheter att realisera ett UAV-baserat system

Utöver de flygtekniska svårigheter som måste övervinnas för samtliga UAVer kan ett UAV-baserat signalspaningssystem realiseras med dagens tekniknivå. Ytterligare en tids utveckling av tekniken kan göra stor skillnad i fråga om signalprocessing, strömförbrukning, vikt, storlek, bandbredd, dynamik och informationslänkar.

Inom områdena antenner, aerodynamik, bränsle/last begränsning och referenssystem (tid, frekvens, position) har forskningen nått en nivå där prestandaförbättringar förväntas vara mer måttliga.

### 10.2.1 Verklighet idag 2006

Radar-SIS system av idag kräver stora plattformar pga. vikt/volym (>10 kg). De flesta kom-SIS system av idag är pappersprodukter och bedöms därför kräva en viss mognadstid innan de är klara för "marknaden".

Ett omfattande försöksprogram har genomförts med plattformen Global Hawk [10.1]. Detta är en mycket stor plattform som kan bära ett flertal olika sensorer samtidigt.

Ett flertal företag/nationer bedriver forskning inom området. Vanligt är att "surrogat-UAVer" används, dvs. ett vanligt bemannat flygplan eller helikopter.

Både radar- och kom-SIS system (UAV-burna) går att realisera i dagens teknikläge även om utbudet på marknaden är begränsat.

### 10.2.2 Verklighet inom ca 5 år

Inom en femårsperiod bedöms ett flertal "pappersprodukter" att ha mognat till realiserade system. Tiden gör även att minskad volym, lägre vikt och strömförbrukning kan uppnås. Detta leder till ett ökat utbud av system på "marknaden".

Dessutom bör förbättrad prestanda i urban miljö och vid svåra signalförhållanden kunna erhållas genom den utveckling av sis-metoder/algoritmer som pågår idag. Kraftfullare signalprocessning medger kraftfullare algoritmer för undertryckning av t ex flervägsutbredning.

### 10.2.3 Verklighet inom ca 10 år.

Inom 10 år bör stora framsteg ha åstadkommit beträffande exempelvis strömförbrukning och signalprocessning. Dessutom bedöms forskningsprojekt som pågår inom motorutvecklingsområdet kunna ge stora framsteg beträffande framdrivning. Den civila kommunikationsutvecklingen bör även kunna bidra till framsteg bland annat beträffande länkapacitet.

I takt med att utvecklingen sker bedöms även kostnaden för höga prestanda bli allt lägre.

Sannolikheten för att kunna placera ESM-system på små plattformar bedöms öka då denna tidshorisont betraktas. Det beror i sin tur på att miniatyriseringen framskridit tillräckligt långt.

Ansträngningar att integrera ett flertal samtidiga RF sensorer i en plattform bör kunna ge resultat i ett 10års perspektiv. Det innebär att samma utrustning kan användas för t ex radar-sis och GSM-positionering, men också erbjuda möjlighet till störsändning om det är önskvärt.

## 11 Projektförslag – fortsatt arbete

Projektet är en inledande studie vilken avses kunna ge rekommendationer till FM gällande fortsatt verksamhet inom området.

Inom FOIs ordinarie verksamhet pågår ansträngningar för att påbörja ett bilateralt samarbete med Storbritannien inom området ”UAV ESM payloads”. I dagsläget (augusti 2006) finns inget datum för projektstart.

Eftersom projektet UAV-ESM är en förstudie är en viktig del av arbetet att föreslå relevanta forskningsområden och problem för eventuella framtida projekt och aktiviteter inom området. Nedan listas ett antal forskningsinriktningar som skulle kunna studeras inom ramen för olika projekt.

- På ett mer fördjupat sätt studera möjligheter och krav med UAV-baserad signalspaning
- Genomföra en grundlig analys av behov inom försvarsmakten
- Studera på vilket sätt UAV-plattformen spelar in, dvs. jämföra vilka ytterligare svårigheter som tillförs som en följd av plattformsvalet, exempelvis vibrationer eller liknande.
- Utredda hur mycket funktionalitet som kan erhållas för olika maxgräns avseende payload.
- Specifikation och design av ett ESM-system för UAV. Möjligtvis kan ett mindre användningsområde och eller frekvensområde väljas för att avgränsa arbetet. I så fall för detta föregås av en inventering av FMs behov. Särskild möda bör ägnas åt att optimera ESM-systemet så att eventuella vikt-, storleks-, och effektkrav uppfylls.
- Bygga ett demonstratorsystem helt eller delvis. Det kan ge värdefull kunskap vilka svårigheter som uppstår såväl som vilka möjligheter som erbjuds med ett UAV-baserat system. Uppbyggnaden kan lämpligtvis ske i steg där de mest kritiska komponenterna bedöms vara intressantast att inleda forskningsinsatsen mot.



## 12 Referenser

- [5.1] FOI Orienterar om Sensorer., Alm A et al, FOI orienterar om: nr 3, 2004, ISBN 91-7056-119-2
- [6.1] J-M. Laheurte, "A switchable CPW-fed slot antenna for multifrequency operation", Electronics letters, 2001, Vol.37, pp. 1498-1500.
- [6.2] ”Gruppantenneteknik och programmerbara mikrovågssystem – slutrapport”, R. Erickson m fl, FOI-R--1816—SE, 2005 ;
- [6.2b] “A visualization tool for conformal antenna arrays on platforms” T. Martin, FOI-S--1978--SE, 4th European Workshop on Conformal Antennas, Stockholm, May 23-24, 2005
- [6.3] L. M. Devlin et al, “A 2-18 GHz ESM Receiver Front-End”, The 2002 European Microwave Conference", Milano, September 2002
- [6.4] Magnus Isacson et al, “A Wide Band Receiver Module”, 12th GAAS Symposium – Amsterdam, 2004, s 267
- [6.5] F.E. van Vliet<sup>1</sup>, M. van Wanum<sup>1</sup>, A.W. Roodnat<sup>1</sup>, M. Alfredson, “Fully-integrated wideband TTD core chip with serial control”, 11th GAAS Symposium - München 2003, s 89
- [6.6] R. Malmqvist et al., "A 7.9-9.7GHz on-chip radar receiver front-end for future adaptive X-band smart skin array antennas," 2002 IEEE MTT-S Int. Microw. Symp. Dig, pp. 1431-1434, June 2002.
- [6.7] Anders Lundqvist et al, IPT-UAV del B UAV i nätverk, 2002, DNR03-H1, s 14
- [6.8] A. Alm, R. Erickson, A. Nelander, “Systemanalys flexibla mikrovågssystem. Lägesrapport 2004-06-30”, FOI-R--1252--SE, s24-25
- [6.9] “UAV Roadmap 2002-2027”, s 100, USA DoD
- [8.1] Svensson L., et. al., ”Signalspaning i ett brett elektromagnetiskt perspektiv – Förstudie”, FOI-MEMO—1532, 2005.
- [9.1] APID 55, CybAero AB, [www.cybaero.se](http://www.cybaero.se) (2006-04-07)
- [9.2] Aerosonde, Aerosonde Pty Ltd, [www.aerosonde.com](http://www.aerosonde.com) (2006-04-07)
- [9.3] Dr Anthony Finn, Dr Kim Brown, Dr Tony Lindsay, *Miniature UAV's & Future Electronic Warfare*, EW & Radar Division DSTO, Edinburgh, SA 5111  
[www.aerosonde.com/downloads/Aerosonde\\_DSTO\\_EW.pdf](http://www.aerosonde.com/downloads/Aerosonde_DSTO_EW.pdf) (2006-04-07)
- [9.4] Skylark, Elbit systems Ltd, [www.elbitsystems.com](http://www.elbitsystems.com) och [www.elbitsystems.com/data/Skylark\(1\).pdf](http://www.elbitsystems.com/data/Skylark(1).pdf) (2006-04-07)
- [9.5] Jerry Lindbergh, Artikel: *Mini-UAV Skylark*, PROTEC nr. 1 – 2006
- [9.6] Technical requirements specification, MINI UAV SYSTEM, VO Flyg&Rymd 35 801:15637/2006
- [9.7] Tern, L-3 BAI Aerosystems, [www.baiaerosystems.com](http://www.baiaerosystems.com) och [www.baiaerosystems.com/pdf/TernPush-LowRes.pdf](http://www.baiaerosystems.com/pdf/TernPush-LowRes.pdf) (2006-04-07)
- [9.8] Scorpion 60-25, Freewing Aerial Robotics Corporation, [www.freewing.com](http://www.freewing.com) (2006-04-07)
- [9.9] GoldenEye-100, Aurora Flight Sciences Corporation, [www.aurora.aero](http://www.aurora.aero) (2006-04-07)
- [9.10] Eagle Eye HV-911, BELL Helicopter  
[www.bellhelicopter.textron.com/en/aircraft/military/pdf/EagleEye\\_PG\\_05\\_web.pdf](http://www.bellhelicopter.textron.com/en/aircraft/military/pdf/EagleEye_PG_05_web.pdf) (2006-04-07)
- [9.11] [www.globalsecurity.org/intell/systems/eagle-eye.htm](http://www.globalsecurity.org/intell/systems/eagle-eye.htm) (2006-04-07)
- [10.1] eDefense magazine, Brendan P. Rivers, Januari, 2006





## 13 Appendix – Inventering RF emitterar

Uppgifterna baseras i huvudsak på material från projekten *Gruppantenn teknik och programmerbara mikrovågssystem* samt *Antenna Centre of Excellence*.

Vilka emitterar som är relevanta för framtida ESM-funktioner beror delvis på vilken tidshorisont man vill fokusera. En emitter som fått en kraftigt ökad spridning är mobiltelefoni som idag finns spridd över hela världen. I vissa utvecklingsländer dock endast i urbaniserade områden. Även satellittelefoni är tillgänglig över hela världen och trådlösa nät växer i snabb takt världen över. Men även nya emitterar kan tillkomma inom en snar framtid. Inom fem år bedöms t ex störsändare mot mobiltelefoni och GNSS kunna bli allmänt tillgängliga. En illasinnad aktör kan exempelvis relativt lätt störa ut eller vilseleda GPS, och liknande system. Små, batteridrivna GPS-störare har redan demonstrerats med räckvidder på 10 km och bygger på enkla elektronikkonstruktioner tillgängliga på internet<sup>4</sup>. Ett våglängdsområde som kan få väsentligt ökad betydelse på längre sikt, säg tio år, är mm-vågsområdet. Förekomsten och användningen av mm-vågsemittorer i framtida konflikter kan förväntas öka väsentligt över hela skalan från fredsbevarande insatser till storskaliga militära konflikter. Från att historiskt varit starkt förknippat med målsökare och höga tekniska kostnader pågår en snabb teknisk utveckling med både civila och militära drivkrafter. Den tekniska utvecklingen kombinerat med en civil massmarknad möjliggör en breddning av applikationsområden och öppnar för kostnadsreduktioner. Inte minst ett växande behov av bredbandskommunikation mellan mobila noder i militära och civila tillämpningar utgör en stark drivkraft att utveckla mm-vågsbaserad kommunikation. Kommersiella system för Fordonsradar på 24 GHz och 76-77 GHz förutspås medföra radikalt sänkta kostnader för närspanande system. En ökad tillgång på civilt framtagna komponenter och system kan innebära att mm-vågssystem går från att vara en militär exklusivitet förbehållet stora nationalstater till att få en allt större spridning både i det civila samhället och i militära tillämpningar.

Nedan redovisas en översikt över olika nutida emitterar, såväl militära som civila.

### 13.1 Landbaserade emitterar

#### 13.1.1 Militära och blåljus-emitterar

Kommunikationssystem och -störare

Typ	Frekvensband MHz	Bandbredd MHz	Uteffekt
Truppradio	30-90	0.025.	1-100 W
TETRA	380-395	i.u.	i.u.
Satellitlänk	K <sub>u</sub> , K <sub>a</sub>	100	i.u.
Datalänk	L, X, K <sub>u</sub>	100	i.u.
GSM störare	900,1800,1900	i.u.	i.u.
3G störare	1900,2100	i.u.	i.u.
GPS och Galileo störare	1176, 1189,1227, 1278, 1575	i.u.	1 W - 1 kW
GSM	900, 1800, 1900	0.25	< 2 W
3G	1900, 2100	4	<0.25 W

<sup>4</sup> J. A. Volpe, *Vulnerability assessment of the transportation infrastructure relying on the global positioning system*, US Dept. of Transportation, Aug 29, 2001.

## Fordonsburna emittrar

Typ	Frekvensband	Bandbredd MHz	Uteffekt dBW
Spaningsradar	S, C, X, K <sub>u</sub>	1 - 100	20 - 40
Störsändare	C, X, K <sub>u</sub>	1000	20 - 30
IK-frågare	L, K <sub>u</sub>	10	30
IK-transponder	L, K <sub>u</sub> , K <sub>a</sub>	10	20
Fordonsradar	X - W	100	0 - 10
Datalänk	L, X, K <sub>u</sub>	100	10
Robotlänk	X	10	10
Satellitlänk	K <sub>u</sub> , K <sub>a</sub>	100	10

Källa: Systemanalys flexibla mikrovågssystem, A. Nelander, R. Erickson, FOI-R--1865--SE

## 13.1.2 Civila eller dual-use emittrar

## Mobiltelefoni och trådlösa nät

	Standard	Frekvens MHz		Geografisk spridning
		Tx	Rx	
Mobiltelefoni	AMPS/D-AMPS	824-849	869-894	i.u.
	GT 800	806-821	851-866	i.u.
	GSM 400	450.4-457.6	460.4-467.6	i.u.
	GSM 850	824-849	488.8-496	Nordamerika, Sydamerika
	E-GSM (GSM 900)	880-915	925-960	Europa, Latinamerika, Asien, Afrika
	DCS (GSM 1800)	1710-1785	1805-1880	Europa, Asien, Afrika
	PCS (GSM 1900)	1850-1910	1930-1990	Nordamerika, Sydamerika
	UMTS FDD	1920-1980	2110-2170	i.u.
	UMTS TDD	1900-1920	2010-2025	i.u.
Trådlösa nät	Bluetooth	2400-2483.5		Globalt
	WLAN	2400-2500		Globalt
	HIPERLAN/1 - /2	5150-5350 (inomhus) 5470-5725 (utomhus)		i.u.
	UWB IEEE 802.15.3a	3.1-10.6 GHz		USA, standardisering pågår i övriga världen
	Wi-Fi IEEE 802.11a/h	5150-5250 ((inomhus) 5250-5350 (utomhus) 5725-5825 (CSMA/CA <sup>5</sup> )		i.u.
	Wi-Fi IEEE 802.11b/g	2400-2483.5		i.u.

<sup>5</sup> CSMA/CA: Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance

Källor: ITU, Antenna Centre of Excellence EU-FP6, [www.gsmworld.com](http://www.gsmworld.com), [www.umtsworld.com](http://www.umtsworld.com)

#### Satellitkommunikation

Typ	Frekvensband	Bandbredd MHz	Uteffekt dBm	Gain
Satellitlänk	X, K <sub>u</sub>	100	45	35-45

Källa: Swe-dish

### 13.2 Fartygsbaserade emittrar

#### 13.2.1 Militära och blåljus-emittrar

Funktion	Band	Bandbredd MHz	Uteffekt dBW	Apertur-storlek m <sup>2</sup>	Synfält
Spaningsradar, flera moder	S, C, X	1 - 100	20 - 50	0.1 - 10	Runtom
Störsändare	S - K <sub>u</sub>	1000	20 - 30	0.01 - 0.1	Runtom, Sida
IK-frågare	L	10	30	0.1 - 1	Runtom
IK-transponder	L	10	20	0.01	Runtom
Navigeringsradar	S, X	10 - 100	0 - 30	0.1	Runtom
Datalänk	L, X, K <sub>u</sub>	100	20	0.01	Runtom
Robotlänk	X	10	10	0.1	Runtom
Satellitlänk	K <sub>u</sub> , K <sub>a</sub>	100	10	0.1 - 1	Uppåt
Radiokommunikation	VHF, UHF	10	20	0.1	Runtom

Källa: A. Alm, R. Erickson, A. Nelander, Systemanalys flexibla mikrovågssystem. Lägesrapport 2004-06-30, FOI-R--1252--SE.

#### 13.2.2 Civila eller dual-use emittrar

Typ	Frekvensband	Bandbredd MHz	Uteffekt	Geografisk spridning
Navigationsradar	S	250	30 kW toppeffekt	SOLAS-fartyg
Navigationsradar	X	250	5-25 kW toppeffekt	Fiskefartyg, fritidsbåtar, SOLAS-fartyg
AIS	VHF	25/125 kHz	i.u.	Alla fartyg > 300 bruttoton
Satellitkommunikation	1.5-1.6 GHz, X, Ku	i.u.	i.u.	Fartyg i kommersiell trafik
Fartygsradio	VHF	i.u.	i.u.	Nöjesbåtar och fartyg i kommersiell trafik

### 13.3 Flygburna emittrar

#### 13.3.1 Militära och blåljus-emittrar

##### Helikopterburna emittrar

Funktion	Band	Bandbredd MHz	Uteffekt dBW	Aperturstorlek m <sup>2</sup>
Spaningsradar	C, X, Ku, Ka	1 - 1000	10 - 30	0.1 - 1
Störsändare	S - Ku	1000	20 - 30	0.01 - 0.1
IK-frågare	L, Ku	10	30	0.1 - 1
IK-transponder	L, Ku	10	20	0.01
Hindervarnare	Ku, Ka	100	20	0.1
Datalänk	L, X, Ku	100	20	0.01
Robotlänk	X	10	10	0.1
Satellitlänk	Ku, Ka	100	10	0.1
Radiokommunikation	VHF, UHF	10	20	0.1

Källa: Systemanalys flexibla mikrovågssystem, A. Nelander, R. Erickson, FOI-R--1865--SE

##### Flygplansbaserade emittrar

Funktion	Band	Bandbredd MHz	Uteffekt dBW	Aperturstorlek m <sup>2</sup>	Synfält
Spaningsradar	S, X	1 - 1000	20 - 50	0.1 - 10	Framåt, Sida, Runtom
Störsändare	S - Ku	1000	20 - 30	0.01 - 0.1	Runtom, Sida
IK-frågare	L	10	30	0.1 - 1	Framåt, Sida
IK-transponder	L	10	20	0.01	Runtom
Höjdmätare	Ku, Ka	100	0 - 10	0.01	Nedåt
Hindervarnare	Ku, Ka	100	20	0.1	Framåt
Datalänk	L, X, Ku	100	20	0.01	Runtom
Robotlänk	X	10	10	0.1	Framåt
Satellitlänk	Ku, Ka	100	10	0.1 - 1	Uppåt
Radiokommunikation	VHF, UHF	10	20	0.1	Runtom

Källa: A. Alm, R. Erickson, A. Nelander, Systemanalys flexibla mikrovågssystem. Lägesrapport 2004-06-30, FOI-R--1252--SE.

**13.3.2 Civila eller dual-use emittrar**

Typ	Frekvensband	Bandbredd MHz	Geografisk spridning
Väderradar	X	i.u.	Passagerar- och fraktflyg
ADS-B	VHF	25/125 kHz	Passagerar- och fraktflyg
Satellitkommunikation	1.5-1.6 GHz, X, Ku	i.u.	Passagerar- och fraktflyg
Flygradio	108-137MHz	6-16 kHz.	Privat-, passagerar- och fraktflyg
Höjdmätare	C	i.u.	Passagerar- och fraktflyg
Secondary surveillance radar transponder	1027.5 - 1032.5 (Frågefrekvens), 1087.5 -1092.5 (Svarsfrekvens) MHz	i.u.	Passagerar och fraktflyg