



Försvarshögskolan

Rapport självständigt arbete

Kurs: Påbyggnadskurs Militärteknik: Självständigt arbete C-nivå	
Kurskod: 1OP482	Poäng: 15 hp
Handledare: Kk/Tekn Dr Stefan Silfverskiöld	Datum: 2022-04-04
Examinator: Docent Hans Liwång	Antal ord: 11578
Dold luftlägesunderrättelseinhämtning	
– Passiva bistatiska radarsystems militära nytta inom ramen för en luftvärnsbataljon	
<u>Sammanfattning</u>	
<p>Luftvärnsradarns lokalisering av flygföretag genom emittering av energi gör den sårbar för fientliga motmedel och verkan. Passiva radarsystem, som inte sänder egen energi utan parasiterar på icke-kooperativa sändarantennerna undersöks i detta arbete som potentiellt komplement till luftvärnsförbandets befintliga aktiva radarsystem.</p> <p>Syftet med arbetet är att beskriva hur användandet av passiva sensorer påverkar luftvärnets förmågor inom ramen för luftförsvaret över Sverige. Arbetets frågeställningar är:</p> <ul style="list-style-type: none">- <i>Hur skulle en implementering av passiva radarsystem påverka luftvärnets grundläggande förmågor?</i>- <i>Vilken militär nytta har passiva radarer inom ramen för luftvärnsförbandet</i> <p>För att besvara frågeställningarna har MUAFT-metoden använts som en teoretisk ramverksmodell för att analysera och bedöma passiva radarers militära nytta genom att analysera deras påverkan på luftvärnsförbandets grundläggande förmågor. Inledningsvis konstruerades två spelkort utifrån nuvarande luftvärnsorganisation med och utan tillförd passiv radar, vilket presenterades i en SWOT-analys. Därefter bedömdes det passiva systemets påverkan utifrån de militära grundläggande förmågorna, samt faktorerna DOTPMFLI för att slutligen kunna bedöma systemets militära nytta. Resultaten från studien pekar mot att passiva radarer påverkar samtliga grundläggande förmågor, dock främst förbandets uthållighet och överlevnad. Vidare slutsatser tyder på att implementering av passiva radarsystem skulle ge militär nytta inom ramen för luftvärnsbataljon när de nyttjas i synergi med befintligt aktivt radarsystem.</p>	
<u>Nyckelord:</u> Passiv bistatisk radar, Luftvärn, Militär nytta, MUAFT-metoden, Militära grundläggande förmågor.	



Thesis report

Course: Advanced Course Military Technology, Independent Project	
Course code: 1OP482	Credits: 15 ECTS
Supervisor: Cdr/Assistant professor Stefan Silfverskiöld	Date: 04-04-2022
Examiner: Associate professor Hans Liwång	Number of words: 11578
Covert Air Defence Intelligence – The Military Utility of Passive Bistatic Radars in the Swedish Air Defence	
Abstract In the search of hostile aircraft air defence radars emit electromagnetic waves making them vulnerable to enemy countermeasures and effects. Passive radars, lacking dedicated transmitters utilize the electromagnetic radiation of non-cooperative transmitters. The possible introduction of passive radars is examined in this report as a potential complement to the currently used active radars of the Swedish Air Defence. The purpose of this study is to explore how the utilization of passive radars within the Swedish Air Defence effects the military capabilities regarding Air Defence over Sweden. The research questions of this report are: - <i>How would an implementation of passive radars affect the military capabilities of the Swedish air defence?</i> - <i>Would passive radars within the Swedish Air Defence provide military utility?</i> To answer the questions, the MUAFT-method has been used as a theoretical framework model to analyze and assess the military utility of passive radars and their impact on the Air Defence's military capabilities. Initially, two conceptual technical systems were presented based on the current organization of the Swedish Air Defence. One system with and one without added passive radar. Both systems were then subjected to a SWOT-analysis. Thereafter, the passive radar system was assessed on the basis of its impact on the military capabilities, as well as its footprint according to DOTPMFLI. Finally, the military utility of passive radars in Air Defence was assessed. The results indicate that an implementation of passive radar would impact all of the military capability factors, although most prominently regarding endurance and survivability. Conclusions regarding the implementation of passive radars indicate that the system does have military utility within the Air Defence unit, provided they are used as intended, in synergy with existing active radars. Keywords: Passive bistatic radar, Air defence, Military Utility, MUAFT-method, Military Capabilities.	

Innehåll

1.	Inledning.....	4
1.1	Bakgrund	4
1.2	Problematisering.....	4
1.3	Syfte.....	6
1.4	Frågeställning	6
1.5	Avgränsningar.....	6
1.6	Förväntat bidrag.....	6
2.	Litteratur och teoretiskt ramverk.....	7
2.1	Tidigare forskning	7
2.2	Luftvärnsförbandet	10
2.3	Teoretiskt ramverk - Militär nytta	12
2.4	De grundläggande militära förmågorna för luftvärnets enheter	14
3	Metod.....	16
3.1	Val av metod	16
3.1.1	Dokumentär forskning.....	16
3.1.2	MUAFT-metoden som teoretisk ramverksmodell.....	17
3.1.3	SWOT-analys som del av MUAFT-metoden	18
3.2	Källkritik.....	20
4	Empiri.....	21
4.1	Radarn som informationskälla.....	21
4.1.1	Aktiva CW- och pulsdopplerradarer.....	24
4.1.2	Passiv, bistatisk och multistatisk radar	26
4.2	Scenario och Spelkort.....	28
5	Analys.....	32
5.1	SWOT-analys för organisation med aktiv radar	32
5.2	SWOT-analys för organisation tillförd passiv radar	33
5.3	Bedömning av passiva radarers påverkan utifrån de grundläggande militära förmågorna.....	34
5.4	Bedömning av passiva radarers fotavtryck utifrån DOTPMFLI	36
5.5	Passiva radarers militära nytta	37
6	Avslut	39
6.1	Diskussion	39
6.2	Slutsatser och svar på frågeställningar.....	41
6.4	Förslag på fortsatta studier.....	42
7	Referenser.....	43

1. Inledning

1.1 Bakgrund

En grundförutsättning för att luftvärnsförbanden skall kunna verka mot fientliga flygföretag i luftarenan är att deras radarstationer först upptäcker dem. Våra egna trotjänare vad gäller observation av allt i vår omgivning, ögonen, har sedan många år tillbaka ersatts av sensorer allteftersom teknikutvecklingen fortskrider. Den aktiva radarn, en typ av sensor luftvärnet använder sig av, har i uppgift att upptäcka och fånga mål i luftarenan. Detta genom att emittera energi i form av elektromagnetiska vågor i sin omgivning. De elektromagnetiska vågorna som lyckas reflekteras mot flygfarkoster och återkomma till radarn kan efter signalbehandling presenteras som information i ett grafiskt användargränssnitt. Informationen som presenteras kan ge indikationer kring det fientliga flygföretagets position, kurs och hastighet. Luftvärnets verkansdel, eldenheterna, kan med hjälp av luftlägesbilden presenterad av sensorerna allokera robotar mot flygföretagen och således verka mot dem.¹

Den ständiga kapplöpningen mellan n medel ställer höga krav på teknisk utveckling och optimering för att kunna bekämpa fienden mer effektivt och således öka egen överlevnad. Luftvärnets tekniska system är inget undantag, enheterna som verkar inom förbandet är under ständigt hot av flygföretag såsom stridsflyg och dess last, tunga ballistiska missiler, kryssningsrobotar och signalsökande robotar, men även markbaserade specialförband och telekrig.

1.2 Problematisering

Försvarsmaktens omfattande reducering under den strategiska timeouten efter Warszawapaktens upplösning 1991 har medfört att luftvärnsförmågan substantiellt reducerats.² På senare år har en viss tillväxt av luftvärnsförmågan skett bland annat genom anskaffning av Patriotsystemet. För en liten stat, som Sverige, är det särskilt viktigt att luftvärnet kan försvara strategiskt viktiga mål som till exempel Gotland, större städer och flygbaser. För en motståndare blir det därför viktigt att kunna bekämpa våra luftvärnssystem. Sensorer som invisar våra luftvärnssystem blir för oss en kritisk sårbarhet.

¹ Sandqvist, A., Gerdle, P., *Lärobok i telekrigföring för luftvärnet – Radar och radartaktik*, Malmö: Mediablocket AB, 2004, ss. 313-314

² Silfverskiöld, *Ett militärtekniskt perspektiv på förmågeutveckling*, KKrVAHT "Gula tidskriften", Nr 1, 2017, ss. 65-85

Därför är det viktigt att studera luftvärnets procedurer för att identifiera mål. Radarsystem emitterar elektromagnetiska vågor mot flygföretag, vilket gör dem särskilt sårbara för fiendens signalspaning och därpå följande bekämpning. Genom användandet av signalspaningsutrustning som integrerats i flygfarkoster kan fienden få information om våra enheter, hur många de är och vart de är placerade. Informationen kan därefter utgöra underlag för anfall genom exempelvis fjärrbekämpning eller vapenfällning från stridsflyg.

Fientligt användande av motmedel (telekrig) mot våra system är oundvikligt och kommer alltid utvecklas för att returnera det hot som ställts. Luftvärnsradarernas lokalisering av flygfarkoster genom radarvågsemittering hotar fiendens flygföretag att kunna agera som de själva väljer i lufrummet. Flygföretagen motverkar detta genom att använda signalsökande robotar och störsändning för att slå ut vår luftvärnsförmåga. En fysisk grundförutsättning för att en radar skall upptäcka ett mål är att en elektromagnetisk våg reflekteras mot ett mål som sedan fångas upp av radarns mottagare, däremot kräver detta inte att vågens ursprung är från den egna sändaren. Fiendens förmågeutveckling av motmedel i form av smygteknik och radardämpande material syftar till att försvåra för luftvärnssystemen att upptäcka deras flygfarkoster. Den naturliga lösningen för luftvärnsförbandet torde således vara att optimera sättet radarsystemen lokaliserar målen på. Utveckling och forskning kring införande av nya tekniska systemlösningar är av vikt för att vidmakthålla fördelen i medel vs motmedelekvationen.³

En metod för att minska sannolikheten för upptäckt är att nyttja passiva radarsystem. Redan under andra världskriget utvecklades ett passivt system med förmåga att inhämta luftlägesinformation från fientligt flyg utan att emittera någon egen energi. Systemet gjorde detta genom att parasitera på icke-kooperativa sändare som rundstrålade energi i sin omgivning. Utvecklingen kring passiva radarsystem har sedan dess gått relativt långsamt, dock har intresset för dem ökat under senare år. Detta dels på grund av att teknikutvecklingen möjliggör effektivare signalbehandlingssystem, dels på grund av ett utökat hot från signalsökande vapen.⁴

³ Sandqvist & Gerdle, 2004, ss. 277-278

⁴ Griffiths, H. D., Baker, C. J., *An introduction to passive radar*, Artech House, 2017, ss. 19-23

1.3 Syfte

Syftet med denna studie var att beskriva hur användandet av passiva sensorer skulle påverka luftvärnets förmågor inom ramen för luftförsvaret över Sverige. På så vis förväntas studien bidra till förståelse för hur dessa kan komplettera luftvärnets luftlägesbild.

1.4 Frågeställningar

Hur skulle en implementering av passiva radarsystem påverka luftvärnets grundläggande förmågor?

Vilken militär nytta har passiva radarer inom ramen för luftvärnsförbandet?

1.5 Avgränsningar

Arbetet kommer inte avhandla den typ av bistatiskt radarsystem där egen dedikerad sändare är en del av systemet. I arbetet nyttjas istället begreppet *passiv radar* för att beskriva ett radarsystem där sändare och mottagare befinner sig på två geografiskt skilja punkter, där sändaren i fråga är av icke-kooperativ sort.

Studien kommer inte avhandla specifika radarsystem utvecklat av ett visst företag eller organisation. Studien kommer istället avhandla radarers påverkan utifrån radarsystemens typiska konceptuella funktioner.

Effekter kopplat mot flygvapengemensamma operationer kommer inte beröras i någon större utsträckning. Studien avhandlar mer specifikt den potentiella förmågeutveckling luftvärnet skulle få från ett utökat införande av passiva radarer.

1.6 Förväntat bidrag

Den egna studien ämnar besvara hur passiva radarer inom ramen för ett luftvärnsförband skulle påverka luftvärnets förmågor. Genom analys av de olika radarteknikkoncepten kan framtagna faktorer för de olika systemen ge indikationer på eventuell förmågeutveckling.

2. Litteratur och teoretiskt ramverk

I detta avsnitt avhandlas nuvarande teoretiska ståndpunkt utifrån tidigare forskning. Teorin som beskrivs har diskuterats för att skapa bättre förståelse för angränsande fenomen samt utgöra grunden för analysens teoretiska förhållningssätt. Först beskrivs aktiva och passiva sensorer ur ett tekniskt och taktiskt perspektiv, därefter beskrivs Militär nytta, slutligen beskrivs de grundläggande förmågorna och kriterierna ur ramverket DOTPMFLI.

Teorikapitlet har grundats i artiklar tagna från Anna Lindh-biblioteket. Vidare har handböcker utgivna av Försvarsmakten kring luftvärnets uppgift, organisation och funktion använts. I redovisning kring tidigare forskning har tre artiklar publicerade av Totalförsvarets Forskningsinstitut (FOI) lyfts.

2.1 Tidigare forskning

Det tekniska fenomenet bakom radarns funktion är ett välstuderat forskningsområde. God förståelse kring hur elektromagnetiska vågor kan utnyttjas för att lokalisera mål är relevant inom flera militära områden och sammanhang. Det finns även ett flertal användningsområden för radarer inom den civila marknaden och allt från kryssningsfartyg till kommersiella flyg använder sig av dem. Det passiva radarsystemet som koncept har inom militär verksamhet varit aktuell sedan andra världskriget⁵. Å ena sidan har en del forskning genomfört sedan dess, och genomförs fortfarande^{6,7,8}, å andra sidan definieras radarns möjligheter utifrån den tekniska ståndpunkt resterande samhället och dess teknik befinner sig i.⁹ Med andra ord har de tekniska förutsättningarna för att realisera ett så pass tekniskt systems databearbetning inte funnits förrän på senare tid, vilket nyligen skapat intresse för vidare forskning inom området.¹⁰

Internationella forskningsartiklar beskriver hur luftvärn kan gynnas av information från passiv luftlägesinhämtning.¹¹ Några publicerade källor kring hur detta påverkar det svenska

⁵ Griffiths H., Heidelberg, K., *The First Modern Bi-static Radar System*. IEEE Trans. On AES vol.46, NO.4, October 2010, ss. 1571-1588

⁶ Ulander, L., Frörlind, P-O., Grahn, P., Gustavsson, A., *Bistatisk och passiv radar, slutrapport*, FOI-R--4018—SE, Totalförsvarets Forskningsinstitut (FOI), 2014

⁷ Ragnarson, R., Grahn, P., Nelander, A., *Teknik för luftmålsdetektion - Översikt av framväxande radarmetoder i luftbevakningskedja*, FOI-R--4179—SE, Totalförsvarets Forskningsinstitut (FOI), 2015

⁸ Ragnarsson, R., Andersson, Å., Fagerström, J., Frörlind, P-O., Sjögren, T., Tryblom, A., *Bistatiska metoder för luftmålsradar – Slutrapport*, FOI-R--5082—SE, Totalförsvarets Forskningsinstitut (FOI), 2020.

⁹ Axberg et al., *Lärobok i Militärteknik, vol. 9: Teori och metod*, 2013, Stockholm: Försvarshögskolan (FHS), ss. 25-34

¹⁰ Ragnarsson et al., 2020, s. 11

¹¹ Klembowski, W., Kawlec, A., Wizner, W., *Passive Radars as Sources of Information for Air Defence Systems*, Saab Technologies Poland, 2013, ss. 10-1–10-6

luftvärnsförbandet har däremot inte påträffats, åtminstone inte som publicerats offentligt.

Därför ämnar denna studie bidra till förståelse för om och hur passiva radarer kan påverka det svenska luftvärnets förmåga att lösa sin uppgift.

Nedan lyfts tre artiklar från Totalförsvarets Forskningsinstitut (FOI) kopplat till det avhandlade ämnet och en kort beskrivning om varför de är intressanta för den egna studien.

Artiklarna utgör senare i arbetet en del av empirin som analyserats.

I rapporten: *Bistatisk och passiv radar*¹², beskriver Lars Ulander et al. hur passiva och bistatiska radarer fungerar för att ge lägesinformation om ett mål. Syftet var att öka kunskapen om olika typer av radarer där sändare och mottagare är belägna på åtskilda platser. I projektet genomfördes praktiska försök med luftburen bildalstrande syntetisk aperturradar (SAR) från helikopter, där lägesinformation om markmål eftersökts genom att parasitera på icke-kooperativa signaler från digital-tv. Positiva resultat visades i försök med passiva radarer och det skildras hur en taktisk fördel nås då radarn inte emitterar egen röjande signal.

Koordinering av upptagna signaler och avancerad synkroniseringshårdvara krävs för att realisera ett sådant system i syfte att erhålla en effektiv utkomst avseende lägesbild. I rapporten beskrivs det att de passiva- och bistatiska radarernas tillämpningsområde sträcker sig över alla stridsarenor, och är i synnerhet användningsbart där sekundaktuell lägesbild eftersträvas samtidigt som radiotystnad är av stor vikt.¹³

Denna rapport är relevant för detta arbete då den påvisar att tidigare försök med passiva och bistatiska radarer fungerar i praktiken. Vidare används rapporten för att beskriva konceptet bakom det tekniska systemens funktion och begränsningar.

I rapporten: *Teknik för luftmålsdetektion - Översikt av framväxande radarmetoder i luftbevakningskedja*¹⁴ beskriver Ragnarson et al. passiva radarer och hur de kan förbättra den nuvarande luftbevakningen. Rapporten beskriver hur denna typ av radarteknik är tydligt framväxande, och därigenom även vilka utmaningar det medför och hur dessa hanteras. Syftet med rapporten var att genom identifiering av kunskapsluckor inom teknikområden kopplat till radarsystemslösningar kunna bidra till inriktning av framtida försvarsforskning. I rapporten dras slutsatser kopplat till vilka system som ser mest lovande ut gällande luftbevakningsuppgifter, där multifunktionella AESA-system framhävs som en blivande

¹² Ulander et al., 2014

¹³ Ulander et al., 2014, s. 4

¹⁴ Ragnarson et al., 2015

segrare. Helt passiva system framhävs samtidigt som viktiga komplement kopplat till luftbevakningskedjan, framför allt eftersom det tillför ytterligare ett delsystem med andra funktioner och arbetsfrekvenser, som i sin tur minskar sårbarheten för radarnätverket i stort, samtidigt som det ökar flexibiliteten. Medan dessa typer av radarer tillför mer pålitlig luftbevakning i det stora hela, är det samtidigt viktigt att poängtera att det medför en högre total kostnad, trots att de passiva radarsystemen är relativt kostnadseffektiva i sig. Även i denna rapport påpekas behovet av vidare insatser kopplat till signalbehandling som stort.¹⁵

Rapporten är relevant för den egna uppsatsen eftersom den belyser dagens stationära radarsystem och deras begränsningar. Rapporten belyser även de uppgifter sensorsystemet i stort ämnar lösa samt vilka typer av hot den står inför.

I rapporten: *Bistatiska metoder för luftmålsradar*¹⁶ beskriver Ragnarsson et al. hur utvecklingen av metoder och radarsystem genomförs för att kunna realisera radarsystem med flexibla förmågor. I rapporten beskrivs hur dessa typer av system kan användas för att vid spaning uppnå god uthållighet, samtidigt som förmågan att nyttja egen sändare likt aktiva radarer kvarstår. I rapporten beskrivs hur teknisk utveckling av komponenter till radarerna utgör grunden för dess nuvarande utformning samt vilka faktorer som är kritiska under denna process. Rapporten lyfter även en modell för simulering av scenarier med bi- och multistatiska radarer. Modellen för simulering skulle potentiellt fungera för det egna arbetet, dock är arbetet bakom modellen ej färdigställt, varpå den inte kommer användas. I simuleringen nyttjades signaler från kommersiella markbaserade sändare för digital-tv samt FM-radio som radiovågskälla till systemets lägesinhämtning. Indikationer från resultat av de simuleringar som genomförts kommer användas i det egna arbetet för att kunna dra slutsatser utifrån det egna scenariot. Resultat från rapporten visade bland annat att passiv radarförmåga bäst lämpar sig i kombination med andra funktioner i ett multifunktionssystem, där förmågan finns till monostatisk radarsändning och signalspaning.¹⁷

Rapporten är av intresse för det egna arbetet eftersom den belyser passiva radarer som framtida system för underrättelseinhämtningsuppgifter i luftarenan. Genomförd forskning och resultat från prov och simuleringar kommer användas som empiri i den egna analysen.

¹⁵ Ibid. s. 3

¹⁶ Ragnarsson et al., 2020

¹⁷ Ibid. s. 12

Rapporten kommer bidra till att öka förståelsen för bistatiska radarsystem och vilka för- och nackdelar som föreligger vid nyttjandet av dem.

2.2 Luftvärnsförbandet

Luftvärnet, som tillsammans med flygvapnet utgör Sveriges luftförsvaret, har bland annat i uppgift att upprätthålla landets territoriella gränser och skydda samhällsviktiga funktioner och infrastruktur. Detta genom att övervaka luftrummet efter fientliga flygföretag, och vid behov nedkämpa dessa. Utefter operationsområde och uppgift varierar luftvärnsförbandet mellan att lösa uppgift samordnat med flygstridskrafterna eller inom egen bataljons ram. Vanligtvis agerar luftvärnsförbandet med sina enheter relativt tätt grupperat, samtidigt besitter förbandet förmågan att sprida ut sitt förband över en större geografisk yta, däremot nedgår effekten som resultat av försvårade kommunikations- och samordningsmöjligheter.¹⁸

Beroende på vilket hot som ställs behövs mer eller mindre potenta luftvärnssystem för att kunna försvara sig. Försvarsmakten nyttjar i dagsläget två olika eldenheter för att kunna möta flygfarkoster av varierande storlek och förmågor. Det första, robotsystem 98, är ett svenskt kortsräckviddigt luftvärnssystem placerat på bandvagn 410. RBS 98 nyttjar likt JAS 39 Gripen jaktroboten IRIS-T. Det andra systemet är det från USA nyligen inköpta medellångräckviddiga robotsystem 103, som ursprungligen benämns PATRIOT.¹⁹ Gemensamt för båda systemen är att de inom bataljons ram samgrupperar med flera underrättelseenheter i form av radarer som utgör ett nätverk för inhämtning av luftlägesbild. Luftlägesbilden sänds mellan radarer och eldenheter och utgör sedan grunder för robotar och i vilken riktning de ska avfyras i. Beslut som tas kopplat till striden i luften görs i en ledningscentral, tillsammans med eldenheter och underrättelseenheter utgör dessa sensorkedjan.²⁰ Detta kapitel presenterade organisation kommer beskrivas ytterligare i kommande kapitel, i syfte att formatera miljön de avhandlade radarsystemen ska analyseras utifrån.

Ett normalt händelseförlopp för luftvärnsförbandet ser ut som följer: Underrättelseenheterna söker av luftrummet efter fientliga flygfarkoster såsom stridsflyg, helikoptrar, robotar och

¹⁸ Olsson, J., *Handbok Luftvärn Grunder*, Försvarsmakten, 2020 ss.11-17

¹⁹ Försvarsmakten (2020). Robotsystem 98 – *En fullträff för luftvärnet*.

<https://www.forsvarsmakten.se/sv/aktuellt/2020/06/robotsystem-98-en-fulltraff-for-luftvarnet/> [15/3-2022]

²⁰ Sandqvist, & Gerdle, 2004, s. 328

drönare. De aktiva radarerna skickar elektromagnetiska vågor som efter reflektion av fientligt flyg återkommer till radarn, där de returnerande vågorna signalbehandlas och visas som information på ett användargränssnitt. En radaroperatör evaluerar informationen som utefter identifieringsprotokoll kan ge information om flygföretaget är fientligt eller inte.²¹ Luftlägesinformationen, som utgörs av bland annat flygföretagets hastighet och riktning skickas efter signalbehandling till en eldledningsenhet, där beslut om bekämpning tas. I syfte att kunna sprida måldata inom förbandet krävs god kommunikation mellan de olika enheterna. Beslutsunderlaget för bekämpning av fientliga mål måste som följd av flygfarkosternas hastigheter och verkansavstånd sker sekundaktuellt. Avfyrningstekniken tossbombning, där stridsflyg släpper sin last utefter en ballistisk bana, möjliggör långa skjutavstånd för fienden, vilket utgör ett hot mot luftvärnsförbanden som tvingas skjuta mot vapenlasten snarare än vapenbäraren.²² Långräckviddiga vapen såsom ballistiska missiler och kryssningsrobotar har kapaciteten att avfyras från mycket långa avstånd. Detta utgör ett betydande hot mot luftvärnsförbanden då de olika flygföretagstypernas flygbana varierar kraftigt mellan varandra.²³

Medan luftvärnsförbandets primära uppgift är att värna om luftrummet kring skyddsobjekt och andra strategiskt viktiga områden är det emellertid inte uteslutande i luftarenan som luftvärnsförbanden agerar. Markbaserade trupper såsom specialförband utgör ett hot för luftvärnets enheter, som alla utgår från markarenan. Som följd till luftvärnets sammankopplade karaktär är förbandet sårbart mot angrepp av viktiga enskilda komponenter och system. Det är genom förstöring/störning av dessa system en form av systemkollaps kan orsakas. Genom identifiering av dessa kritiska sårbarheter kan luftvärnsförbandets nyttja olika tekniska och taktiska lösningar för att förhindra systemkollaps att förekomma.²⁴

Radarsystemens förmåga att överleva kopplat mot dessa hot presenteras under arbetets analysdel, senare i arbetet.

Som nämnt tidigare utgör radarsystemet källan för luftvärnsförbandet luftlägesbild. Fientliga specialförband arbetar ständigt för att slå ut och störa ut dessa med direktriaktad- och indirekt eld, samt genom signalspaning som kan utgöra grunden för fjärrbekämpning. Syftet med

²¹Ibid ss. 328-330

²² Ibid ss.328-330

²³ Kindvall, G., Lindberg, A., Militärteknik 2045 - Ett underlag till Försvarsmaktens perspektivstudie, FOI-R--4985--SE, Totalförsvarets Forskningsinstitut (FOI), 2020, s. 90

²⁴ Sandqvist & Gerdle, 2004, s. 330

dessa medel är att eftersträva lamslagning av förbandet och förhindra luftvärnet från att bekämpa de egna flygfarkosterna.²⁵ Attacker mot luftvärn kan av fienden med fördel genomföras med kombinerad verkan. Däribland kombineras exempelvis störning av radarer genom elektroniska- och/eller fysiska medel såsom remsor och skenmål, IT-attacker, stridsflyg och signalsökande robotar. De signalsökande robotarna, som namnet insinuerar, nyttjar av motståndaren sända signaler för lokalisering och mållåsning av mål.²⁶

Informationen kring luftvärnsförbandet som presenterats syftar till att kunna sätta radarsystemet inom en organisatorisk kontext för att förstå miljön den förväntas verka inom.

2.3 Teoretiskt ramverk - Militär nytta

Militärtekniska postulat kring krig såsom att dess karaktär ändras i takt med teknikens utveckling, att teknisk ståndpunkt påverkar alla ledningsnivåer och att bristande teknisk förståelse resulterar i förlorade möjligheter ligger alla till grund för argumentet kring varför det är av stor vikt att kontinuerligt vara insatt i aktuellt internationellt militärtekniskt utgångsläge.²⁷

I artikeln *Military utility: A proposed concept to support decision-making*²⁸ beskriver Kent Andersson et al. begreppet militär nytta som ett centralt fenomen inom militärtekniken. Teknologin som väljs fram, menar Andersson et al., påverkar resultatet på fältet avsevärt. Militär nytta som koncept används som ett redskap för att effektivisera kommunikationen och processen bakom försvarets framtagande av nya militärtekniska system och tekniker. För att analysera ett visst systems militära nytta krävs kunskap kring tre situationsvariabler: systemet i fråga, den militära aktören och den militära kontexten den förväntas verka inom. Situationsvariablerna gör det alltså möjligt för ett visst system eller teknik att analyseras utifrån aktören som ska använda den och den miljö och organisation systemet ska användas inom. Genom att dela in systemet eller tekniken som fått ökat intresse gentemot den nuvarande systemkonstellationen i tre olika dimensioner kan resultatet ge en indikation om

²⁵ Ibid ss. 330-331

²⁶ Selin, P., *Underrättelseorientering - Hotet från luften*, vol. 2, Lv6 Und, 2019, ss. 41-42

²⁷ Axberg et al., 2013, ss. 25-31

²⁸ Andersson, K., Bang, M., Marcus, C., Persson, B., Stuesson, P., Jensen, E., Hult, G., *Military utility: A proposed concept to support decision-making*. Technology in society, 2015, <http://dx.doi.org/10.1016/j.techsoc.2015.07.001> s. 24

införandet av systemet är lönsamt eller inte utifrån den militär kontexten. De tre dimensionerna inom militär nytta utgörs av *militär effektivitet*, *militär lämplighet* och *kostnadseffektivitet*. Alla tre dimensioner krävs för att ett system ska kunna ha militär nytta. Ett system kan alltså inte inneha militär nytta om det uppfyller två dimensioner men inte är kostnadseffektivt.²⁹ Emellertid är det ofta svårt att bedöma kostnadseffektiviteten på framtida teknologier, särskilt om tidshorisonten är 20-30 år.

Militär effektivitet

Den militära effektiviteten av ett visst system kan beskrivas som dess övergripande förmåga att lösa en uppgift där systemet används av representativ personal inom miljön systemet utvecklats för att vara verksamt inom.³⁰

Militär lämplighet

Ett systems militära lämplighet bestäms av kontexten det ska användas inom. Ett system som löser en viss uppgift väl, men som exempelvis inte är kompatibelt med andra system inom ramen för den kontext den verkar inom har ingen militär nytta. Militärtekniska system med mycket hög militär effektivitet måste nödvändigtvis inte vara nyttosamma inom ramen för alla kontexter, detta kan handla om såväl vapenslag som mellan nationer.³¹

Kostnadseffektivitet

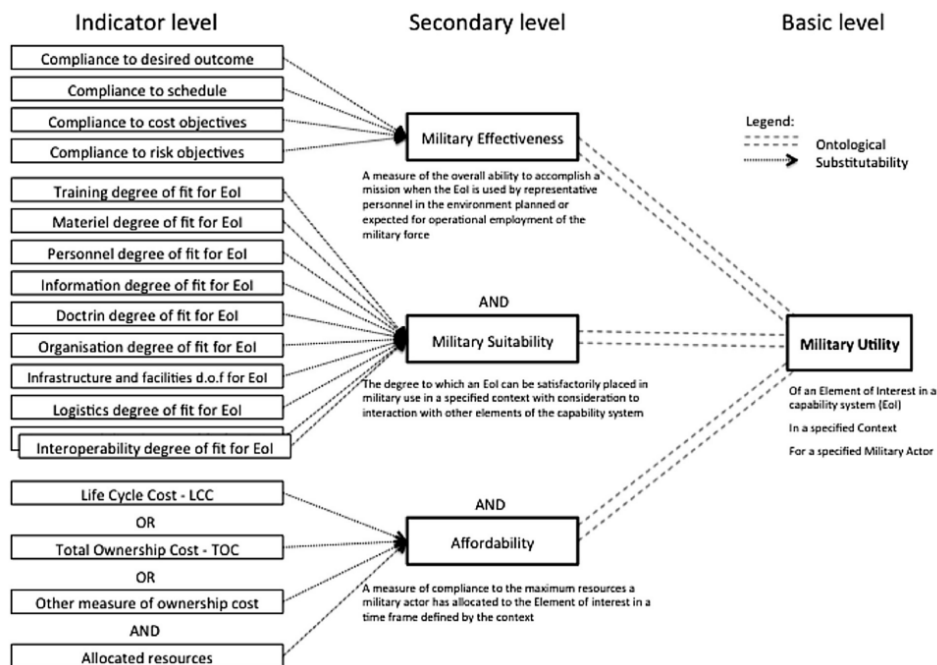
Ett systems kostnadseffektivitet baseras på hur väl det kan implementeras utifrån aktörens aktuella ekonomiska situation. Ett system med hög effektivitet och militär lämplighet men som innehar en alltför hög livscykelkostnad har inte militär nytta för den militära aktören. Eftersom den militära aktören utgör en av situationsvariablarna kan ett systems militära nytta endast bestämmas utifrån en specifik aktörs ekonomiska situation. Ett specifikt system kan således ha olika militär nytta för olika aktörer.³²

²⁹ Ibid. ss. 23-25

³⁰ Ibid. s. 28

³¹ Ibid. s. 28

³² Ibid. ss. 28-29



Figur 1. Ingående delar i konceptet bakom militär nytta utifrån ett Goertz-diagram. Källa: Andersson et al.³³

2.4 De grundläggande militära förmågorna för luftvärnets enheter

De grundläggande förmågorna, verkan, rörlighet, skydd, ledning, uthållighet och underrättelse är grundpelarna för förbandets egen överlevnad och förutsättningar för att kunna verka.³⁴ De militära grundläggande förmågorna nyttjas som en del av det teoretiska ramverket, militär effektivitet, i analysen och beskrivs utförligare under kommande metodkapitel.

Verkan

Verkan görs inom luftvärnet genom målinvisning från sensorer till eldenheterna som i sin tur verkar mot målet. Verkan kan i luftvärnssammanhang tekniskt sett även innefatta markstridsrelaterat agerande.³⁵

Rörlighet

Rörlighet innefattar förmågan förbandet har att taktisk och operativt förflytta sig över ett

³³ Andersson et al., 2015

³⁴ Försvarsmakten, *Arméreglemente – Taktik*, 2013 ss. 49-51

³⁵ *Ibid* s. 50

geografiskt område eller inom uppgift. Rörelse med enheter kan tvinga fienden att exempelvis förflytta sig till områden denne gärna undviker.³⁶

Skydd

Förutsättningar för att kunna verka och röra sig inom sin uppgift är att det förekommer någon form av skydd. Skydd kan gestalta sig som både fysiskt, verkanshinderande material och strukturer, men också som sken- och maskeringsåtgärder samt vilseledning.³⁷

Ledning

Ledning är förmågan att kunna samordna eld och rörelse för att kunna lösa uppgiften på bästa sätt. Ledning i luftvärnsförband sker både på markplanet genom taktiserande av enheter och soldater, men också i striden mot luftmål, där beslut om engagemang tas.³⁸

Uthållighet

Uthållighet, är för luftvärnsförbandet vitalt att säkerställa. Ett konstant lösande av uppgift kräver god uthållighet på förbandet. Förutsättningar för att kunna inneha god uthållighet över tid är en välfungerande funktion, som reparerar och servar systemen för optimal drift.³⁹

Underrättelse

Oberoende av uppgiften som löses skall luftvärnsförbandet inneha och leverera så god luftlägesbild som möjligt. Välfungerande taktik, soldater insatta i aktuellt orderläge, och system med god förmåga att upptäcka fientliga rörelser är faktorer som påverkar det egna förbandets förmåga att inneha ett gott underrättelseläge.⁴⁰

³⁶ Ibid s. 50

³⁷ Ibid ss. 50-51

³⁸ Ibid s. 51

³⁹ Ibid s. 51

⁴⁰ Ibid s. 51

3 Metod

I metodkapitlet beskrivs de val av metoder studien utformats efter. Inledningsvis beskrivs valet av datainsamlingsmetod, därefter modellen för det teoretiska ramverk studien förhåller sig till. Slutligen redovisas de källkritiska avväganden som gjorts kopplat till insamlad litteratur.

3.1 Val av metod

Detta arbete nyttjar två metoder, dokumentär forskning för insamling av empiri samt den militärtekniska metoden MUAFT för värdering av två tekniska system, samt tillhörande SWOT-analys. Båda beskrivs nedan.

3.1.1 Dokumentär forskning

Detta arbetes empiriska underlag har samlats in med hjälp av dokumentär forskning kring hur rollen för aktiva- och passiva sensorer beskrivs i militära sammanhang.

Dokumentinsamlingen består av material från flertalet olika slag.⁴¹ Syftet bakom valet dokumentär forskning som datainsamlingsmetod grundar sig i att underlaget av angränsande forskningsartiklar som var intressant för denna studie var god. En ytterligare anledning till valet av denna metod var att hålla forskningen öppen genom användandet att öppna källor. Eftersom en stor del av informationen kring sensorernas tekniska funktion och specifikationer är säkerhetsklassade kommer studien i stället utgå ifrån källor som publicerats för allmänheten. Informationssökningsprocessen har genomförts kontinuerligt under hela examensarbetets gång för att fortsatt konkretisera det egna arbetet och ge underlag för forskningen.

Datainsamlingsprocessen genomfördes inledningsvis genom att söka på Anna Lindh-biblioteket samt Google Scholar. I sökmotorerna användes först få och breda begrepp i syfte att ge en stor mängd träffar, såsom ”passive radar” och ”air defence”. Av dessa träffar sållades irrelevanta artiklar bort, för att närmare kunna studera de med värde för den egna forskningen. De artiklar som behandlades i det inledande skedet gav förståelse för ämnet samt de begrepp som var centrala för att vidare kunna söka relevant information. Ett konstaterande som kunnat göras kopplat till sökmotorerna var att de artiklar som hittades vid sökning hos Anna Lindh-biblioteket var mer nischade och fördjupade än de som hittades vid sökning hos Google

⁴¹ Thiel, D. V., *Research Methods For Engineers*, Cambridge University Press., 2014, ss. 44-47

Scholar. Detta främst eftersom Google Scholar har en bredare databas av artiklar. Samtidigt är det viktigt att ha i åtanke att artiklarna från Anna Lindh-bibliotekets databaser generellt sett har en bättre anknytning till militära sammanhang. Som följd av begränsad tillgång på öppna artiklar på berörda databaser kopplat till fenomenet det egna arbetet ämnar avhandla kontaktades personal ur Totalförsvarets Forskningsinstitut (FOI). Efter etablerad kontakt kunde ett par särskilt relevanta artiklar inhämtas genom mailkontakt och beställning från Totalförsvarets Forskningsinstituts hemsida om passiva sensorer. Vid sökning kring information kopplat till radarernas funktion har utöver läroböcker och handböcker utgivna av Försvarsmakten en stor del hämtats från utländsk litteratur. Detta eftersom den internationella vetenskapliga kunskapsbanken är betydligt bredare än den svenska.

3.1.2 MUAFT-metoden som teoretisk ramverksmodell

I rapporten *The Military Utility Assessment Method for Future Technologies*⁴² lyfter Kent Andersson et al. MUAFT-metoden och hur den kan användas som ramverk vid bedömning av framtida tekniska system. MUAFT, akronym för Military Utility Assessment of Future Technologies (på svenska ungefär ”värdering av framtida teknologiers militära nytta”) är en metod inspirerad av den NATO-utvecklade DTAG-modellen, men som kräver färre personal och är bättre lämpad för organisationer och nationer med lägre budget. Syftet med MUAFT-metodens ingående analysdelar är att kunna skapa bedömningsunderlag för det militärtekniska systemet eller teknologin utifrån dimensionerna ur teorin om militär nytta.⁴³

MUAFT-metoden har i detta arbete används som en metod för att strukturerat och systematiskt kunna belysa det passiva radarsystemets potentiella militära nytta som komplement till aktiva radarer inom ramen för luftvärnsförbandets nuvarande organisation. Fördelar med MUAFT-metoden är att dess tillgänglighet är god och fungerar med mindre forskningsgrupper och relativt liten budget. Nackdelar kan kopplas till validiteten av dragna slutsatser, som är en direkt följd av expertisen hos de personer ingående i utförandet av den genomförda analysen.⁴⁴

⁴² Andersson, K., Lundmark, M., Silfverskiöld, S., *The Military Utility Assessment Method for Future Technologies*, Stockholm, 2019.

⁴³Silfverskiöld, S., Andersson, K., Lundmark, M., *Does the method for Military Utility Assessment of Future Technologies provide utility?*, *Technology in Society*, 67, September 2021, <http://dx.doi.org/101736>, ss. 2-4

⁴⁴ Ibid. s. 9

Metoden inleds med att sätta in det tekniska systemet i ett trovärdigt scenario. För att kunna analysera systemet i fråga utformas scenariot på ett sätt som gör att fördelarna med systemet tydliggörs. Därefter beskrivs det tekniska systemets funktion och tänkt framtida användningsområde och syfte, samt begränsningar. Detta görs i detta arbete genom att producera två spelkort. Det första spelkortet utformas utifrån nuvarande luftvärnsorganisation (2022) och dess aktiva radarsystem, den andra med nuvarande system kompletterat med passiva radarsystem. Syftet med spelkorterna är att kunna särskilja den nuvarande radarlösningen med en tänkbar alternativ radarlösning inför den efterföljande SWOT-analysen. På så vis kan faktorer för respektive system lyftas.⁴⁵

3.1.3 SWOT-analys som del av MUAFT-metoden

Nedan beskrivs SWOT-analys och dess syfte som del i MUAFT-metoden.

SWOT-analys används i detta arbete som analysverktyg för att identifiera de egenskaper passiva radarer har gentemot aktiva radarer utifrån den insamlade empirin.

SWOT-analysen används inom både civila- och militära sammanhang som en planeringsmetod vid strukturering av en produkt, person eller industris *styrkor, svagheter, möjligheter* och *hot* (från engelskans *strengths, weaknesses, opportunities* och *threats* - SWOT. I militärtekniska sammanhang används modellen ofta som ett verktyg för att tydligt strukturera ett systems egenskaper, för att på så vis skapa ett underlag för beslutsfattande.⁴⁶

Första steget handlar om att fastställa målen för SWOT-analysen i fråga. Vid anskaffningsprocesser för nya militärtekniska system nyttjas SWOT-analysen ofta för att jämföra snarlika system i syfte att kunna välja mellan det ena och det andra. Identifiering av systemets tänkta ändamål utgör grunden för hur analysen genomförs, det är således systemets tänkta uppgift som utformar vilka faktorer som lyfts.⁴⁷

Andra steget handlar om att identifiera vilka faktorer som påverkar måluppfyllelsen. För att inte sammanblanda styrkor med möjligheter och svagheter med hot sorteras styrkor och svagheter som inre faktorer, medan möjligheter och hot sorteras som yttre faktorer. De inre faktorerna är medfödda systemet och påverkas direkt kopplat mot hur de utformats. De yttre

⁴⁵ Andersson et al., 2019, ss. 4-5

⁴⁶ Axberg et al, 2013, s.116

⁴⁷ Ibid s. 116

faktorerna påverkas oaktat de egna besluten och är en funktion av motståndarens och andra parters agerande.⁴⁸

Analysen struktureras vanligen som en fyrfältsmatris för överskådlig observation.

	<u>Positiva egenskaper</u>	<u>Negativa egenskaper</u>
<u>Inre egenskaper</u>	<p>Styrkor</p> <ul style="list-style-type: none"> - De fördelar systemet innehar som bidrar till de fastställda målens uppfyllelse. 	<p>Svagheter</p> <ul style="list-style-type: none"> - Kritiska sårbarheter i systemets utformning som stjälper måluppfyllelsen.
<u>Yttre egenskaper</u>	<p>Möjligheter</p> <ul style="list-style-type: none"> - De möjligheter systemet bidrar med kopplat mot fiendens agerande och utifrån miljön systemet ämnar vara verksamt inom. 	<p>Hot</p> <ul style="list-style-type: none"> - Identifierade risker från främmande aktörer och miljön som följd av systemets införande. - Hot som uppstår om vi inte inför teknologin men motståndaren gör det.

För MUAFT-metoden utgör därefter resultatet av SWOT-analysen grunden för en analys kring vilket förmågebidrag passiva radarsystem skulle innebära för luftvärnsförbandet. Potentiellt förmågebidrag analyseras utifrån de sex grundläggande förmågorna: *Verkan, rörlighet, uthållighet, ledning, skydd* samt *underrättelser*. Bedömning utifrån de grundläggande förmågorna skapar underlag för den passiva radarns påverkan kopplat mot militära nytta-dimensionen *militär effektivitet*.⁴⁹⁵⁰

Efter bedömning utifrån de grundläggande förmågorna kommer en bedömning av teknikens förutsedda fotavtryck (footprint) ur ett större perspektiv översiktligt presenteras utifrån faktorerna *DOTPMFLI* (doctrine, organization, training, personnel, materiel, facilities,

⁴⁸ Axberg et al, 2013, ss. 116-117

⁴⁹ Försvarsmakten, *Militärstrategisk doktrin – MSD 2016*, Försvarsmakten, 2016, s. 61

⁵⁰ Andersson et al., 2019, ss. 3-5

leadership och interoperability). Bedömningen i detta steg utgör grunden för den militära nyttans dimensioner *militär lämplighet* och *kostnadseffektivitet*.⁵¹

MUAFT-metodens sista steg innefattar bedömning av framtida forskningsbehov.⁵² Detta presenteras under diskussionskapitlet.

3.2 Källkritik

Vid all form av datainsamling, oavsett vilka källor det gäller, är det av stor vikt att vara källkritisk. Källkritikens grundprincip handlar om att vara vaksam gällande den litteratur som hanteras. Andra nationers och organisationers publicerade material kan till synes verka som trovärdig information vid första anblick, men kan innehålla avsiktligt missvisande eller felaktig information för att skapa bättre förhållanden för sin egna organisation. Det egna arbetet har avsiktligt undvikit att avhandla kvantitativa- och kvalitativa värden från märkesspecifika passiva radarsystem. Detta främst eftersom sådana organisationer potentiellt framlägger modifierade sanningar i syfte att öka sitt anseende och ekonomiska vinst.

Vidare är det viktigt att endast hantera litteraturutgivna och publicerade av organisationer som bedöms vara pålitliga. Vetenskapliga artiklar som granskas av forskare inom ämnen de avhandlar kan kvalitetsbedömas vetenskapligt innan de produceras. Genom denna kvalitetsgranskning, kallad "peer review", får de en vetenskaplig kvalitetsgaranti som ger andra forskare en indikation på att källan är pålitlig.⁵³ Under arbetets gång har bedömning kring berörda källors trovärdighet gjorts i syfte att undvika falskinformation från opålitliga källor. Vetenskapliga artiklar presenterade i arbetet har i huvudsak tagits från Totalförsvarets Forskningsinstitut och bedöms ha god reliabilitet. Information kring radarsystemens tekniska funktioner har till stor del tagits ur både svenska och utländska läroböcker. Informationen som tagits avhandlar bland annat fysiska egenskaper kring radiovågor, och då de presenterar samstämmig information har de bedömts godtagbara för det egna arbetet. Information kring luftvärnets nuvarande organisation har hämtats från Försvarmaktens egen hemsida, som också bedömts ha god reliabilitet.

⁵¹ Ibid. ss. 5-6

⁵² Ibid. s. 6

⁵³ Karlstads universitet. *Guider och Manualer - Källkritik*, 2019, <https://www.kau.se/bibliotek/sok/sokhjalp-och-guider/guider-manualer/kallkritik>, [15/3-2022].

4 Empiri

Empirin utgörs av den data som insamlats från artiklar och litteratur gällande passiva- och aktiva sensorer. I det kommande analyskapitlet analyseras sedan empirin för att därefter kunna dra slutsatser kring hur de avhandlade tekniska systemen påverkar luftvärnet.

4.1 Radarn som informationskälla

Radar, akronym för Radio Detection And Ranging är ett system som bygger på det fysikaliska fenomenet bakom vågrörelse, där utnyttjandet av elektromagnetiska vågor används för att ge information om ett föremåls avstånd, riktning och hastighet.⁵⁴ I dagsläget återfinns radarer i olika former i både militära och civila sammanhang. Redan 1904 förevisade den tyska ingenjören Christian Hülsenmeyer en kollisionsvarnare för fartyg som byggde på samma princip dagens radarer använder sig av. Sedan radarns tidigaste version byggdes har det fysiska fenomenet bakom dess funktion bättre kunnat förstås, varpå tekniken optimerats och användningsområdena för radarn blivit fler.⁵⁵ Att mäta en radars effektivitet utefter en linjär skala är problematiskt. Beroende på vad radarsystemet skall användas till kan ett visst system anses bättre än ett annat, som nödvändigtvis inte måste ha förutsättningarna att upptäcka mål på längre avstånd.⁵⁶

För den egna studien innebär detta att värdering av berörda radarsystems effektivitet inte kommer bedömas utifrån en numerär skala. Snarare värderas radarsystemens egenskaper utifrån olika förmågor. Syftet med detta är att möjliggöra en mer nyanserad bild av systemet och dess egenskapers militära nytta som helhet, snarare än en betygsättning på dess tekniska specifikationer.

För att en radar ska kunna ge information om ett flygföretags information krävs att elektromagnetiska vågor emitteras från en sändare, som efter reflektion mot flygföretaget yttas upp av en mottagare i radarn. Nedan beskrivs denna procedur utifrån två typer av radarer som använder sig av två olika metoder. Den ena, aktiv radar, fungerar genom att radarn emitterar och tar emot sina egna sända pulser. Den andra, passiv radar, bygger på att radarn mottar pulser som sänts från sändare utsedda för kommersiella ändamål såsom radiomaster

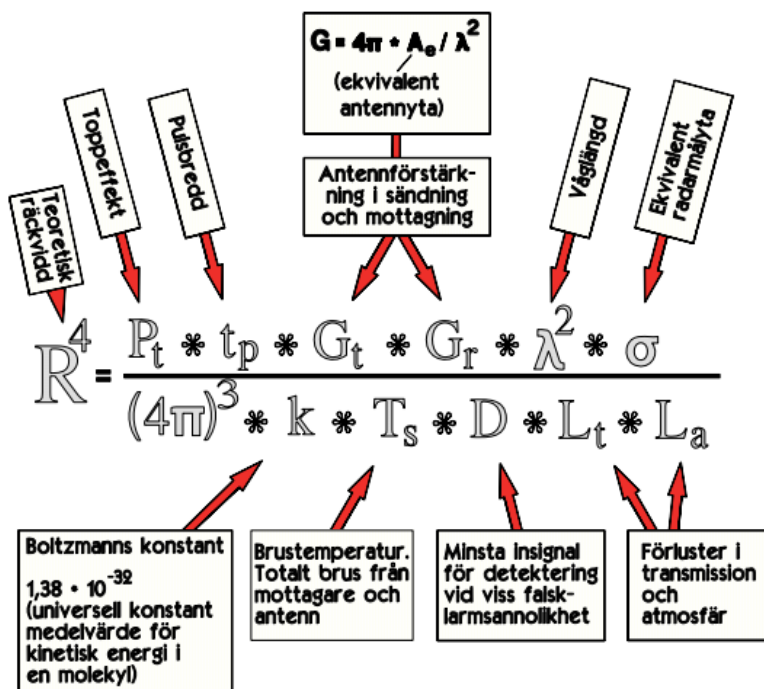
⁵⁴Artman, K., Westman, A., *Lärobok i Militärteknik, vol. 2: Sensorteknik*, Första upplagan, Vällingby: Försvarshögskolan, 2007, ss. 19-20.

⁵⁵ Ibid. s. 20

⁵⁶ Ragnarson et al., 2015, s. 11

och liknande.⁵⁷ Samtidigt som principen och tekniken bakom radarers inhämtande av information är densamma, eller åtminstone snarlika för de flesta radarsystem, skiljer sig uppgiften de ämnar lösa tämligen mycket dem emellan, både på taktiska, operativa och strategiska plan.⁵⁸

Beroende på vilken uppgift radarn är avsedd att lösa kan den vara utformad på olika sätt. En gränssättande faktor för en absolut bästa radar i alla sammanhang är de fysiska kraven på antennkonstruktionen. Radarekvationen, som innehåller parametrar såsom våglängd, ekvivalent radarmålyta, topp effekt och pulsbredd är en formel för uträkning av en radars potential vad gäller räckvidd. Faktorer som förlänger räckvidden är: högre topp effekt, längre våglängd och pulslängd, högre antennförstärkning och större radarmålarea. Generellt vad gäller radar innebär stor utsänd effekt längre räckvidd, men det finns faktorer som minskar längsta upptäcktsavstånd, såsom högt omgivningsbrus, minskad måldetekteringskänslighet och pulsens våglängdberoende som följd av atmosfären.⁵⁹



Figur 2. Radarekvationen. Källa: Artman et al.⁶⁰

⁵⁷ Melvin, W. L., Schee, J. A., Principles of Modern Radar : Advanced Techniques, Volume 2, Raleigh: SciTech Pub. 2013, ss. 739-744

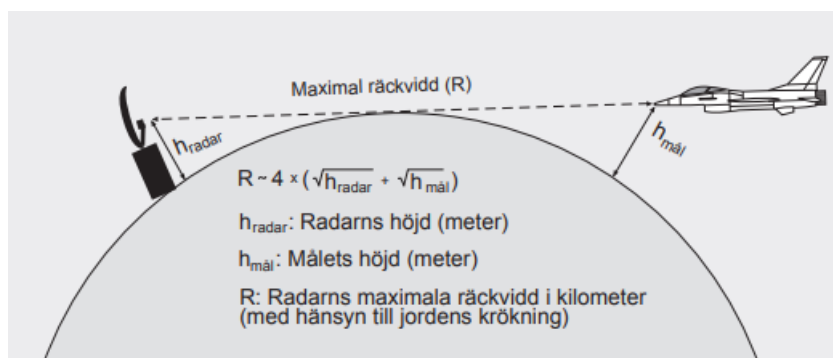
⁵⁷ Ragnarson et al., 2015, s.11

⁵⁹ Artman & Westman, 2007, ss. 28-29.

⁶⁰ Ibid. s. 28

Ett annat viktigt kriterium för upptäckt av flygföretag i luftarenan är hur stor mängd energi som fysiskt kan reflekteras mot ytan som radarn sänder mot. För att kunna mäta detta, benämnt radarmålarea (RCS) jämförs den reflekterade energimängden med den mängd energi en cirkulär metallplåt av samma storlek hade reflekterat. Radarmålarean är inte konstant från observation av flygets alla vinklar, varpå flygtaktik är viktig. De facto att radarns utsända energi måste färdas i en rak linje både till- och tillbaka från flyget gör det möjligt att optimera flygföretagets konstruktion på ett sätt som försvårar upptäckt. Detta kallas smygteknik (stealth) och kan uppnås både genom konstruktion av flygföretaget där mycket låg energimängd naturligt tillåts reflektera mot sidorna, och/eller nyttja radarabsorberande material.^{61 62}

En annan gränssättande faktor för luftvärnets radarer att upptäcka mål är jordens krökning, vilket gett upphov till begreppet radarhorisont. Radarhorisonten bestäms utifrån radarantennens- och flygföretagets höjd.⁶³



Figur 3. Radarhorisontens gränssättande för den maximala räckvidden. Källa: Artman et al.⁶⁴

Att använda radar som en metod att inhämta underrättelse har sedan dess uppkomst fått allt större betydelse. Typen och mängden information systemet ämnar ge beror på vilken typ av uppgift som löses, dock är det gemensamt för alla sensorer att de är i behov av viss form av resursallokering/styrning. Styrningen bygger på att den styrande chefen vet vad det övergripande målet är med sensorerna i syfte att kunna utnyttja dessa på rätt sätt. Vidare är styrningen en viktig faktor för att kunna kraftsamla sensorförmågan. Detta är i synnerhet vitalt vid användandet av flexibla radarsystem av multifunktionstyp, där en och samma radar kan

⁶¹ Skolnik, M. I., *Radar Handbook*, 3rd edition, McGraw-Hill, 2008, ss. 14.1-14.3

⁶² Artman & Westman, 2007, ss. 31-32.

⁶³ Ibid. ss. 33-34

⁶⁴ Ibid. s. 33

lösa flera uppgifter såsom signalspaning, konventionell monostatisk radar och störning av fientliga flygföretag.⁶⁵

Som ett led i att minska sårbarheten och öka förbandets prestanda är det fördelaktigt att ha en sensorbas av flera olika typer som nyttjar olika frekvensområden. Radarer med olika specialiteter och förmågor skapar problem för fienden. Fienden blir sårbar för luftvärnsförbandet och tvingas att antingen utveckla sina system eller ändra sin flygtaktik, som båda är resurskrävande. Utöver att nyttja flera typer av radar är det fördelaktigt att låta sina radartäckningsområden överlappa varandra i syfte att eftersträva luftöverlägsenhet. Detta bidrar till en utökad, mer precis luftlägesbild än den presenterad av en enstaka radarenhet.⁶⁶

4.1.1 Aktiva CW- och pulsdopplerradarer

Majoriteten av de radarsystem med ändamål att upptäcka flygföretag i luftrummet faller huvudsakligen under kategorin aktiva radarer. Det aktiva radarsystemet sänder stora mängder energi i sin omgivning, ofta genom antennrotation för att täcka 360 grader runtomkring sin position. Genom emittering av elektromagnetiska vågor kan radarn detektera föremål vars yta reflekterar vågorna, som sedan tas upp av radarns mottagare. Eftersom radiovågorna färdas med ljusets hastighet kan radarn genom signalbehandling räkna ut avstånd mellan egen antenn och upptäckt mål. Radarns egenemitterade vågor identifieras som radarns egna bland annat genom att alternera frekvensen mellan vågorna. Om de reflekterade vågornas frekvens överensstämmer med radarns tidigare utsända vågor kan signalen ge information om det flygföretag den träffat.⁶⁷

Alla vågor färdas med ljusets hastighet, varpå avståndskalkylering till ett mål i luftrummet möjliggörs genom att räkna ut differensen mellan tidpunkt för utsänd puls och tidpunkt för mottagande av puls. Mätning av tiden mellan dessa tillfällen ger dubbla avståndet till målet eftersom signalen färdats till målet och tillbaka, varpå tiden i sekunder divideras med 2 för att få ut avståndet.⁶⁸ De två huvudtyperna av aktiva radarer utgörs av pulsradar och CW-radar (continuous wave). Pulsradarn kan genom sändning av radarvågorna i specifika sändmönster med alternerande frekvenser mäta vinkel och avstånd till målet. Pulsradarn fungerar genom att skicka ut sina signaler i form av korta pulser. För att kunna utesluta att den mottagna pulsen

⁶⁵ Ragnarsson et al., 2020, s. 12

⁶⁶ Sandqvist & Gerdle, 2004, ss. 285-287

⁶⁷ Artman & Westman, 2007, ss. 19-22

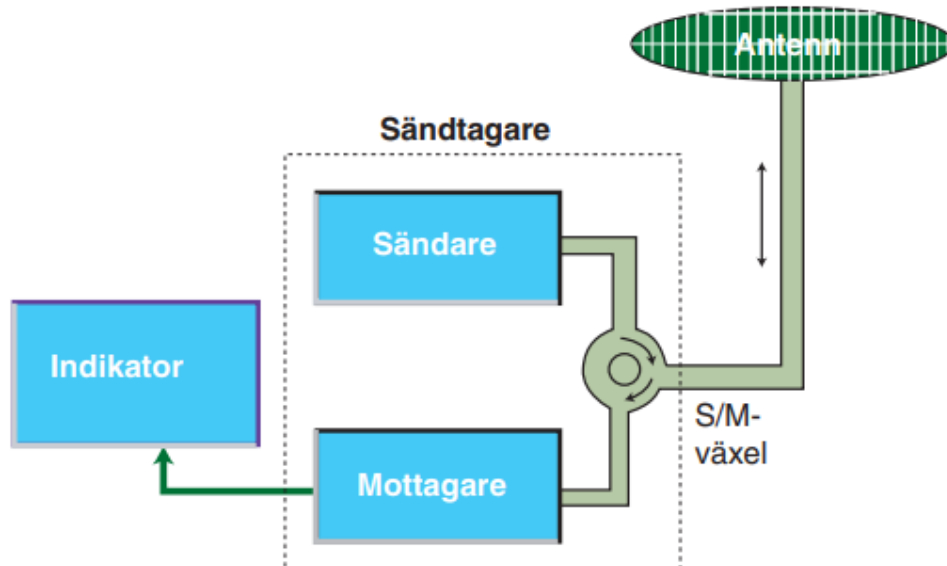
⁶⁸ Eaves, J. L., Reedy, E. K., *Principles of modern radar*, 1.st edition, Chapman & Hall, New York, 1987, s. 1

inte är falskmål eller klotter i form av träd och moln kräver radarsystemet att flera pulser träffar målet. I syfte att kunna urskilja avstånd till målet nyttjar den aktiva radarn ett särskilt pulsrepetitionsintervall (PRI) som möjliggör att flera signaler kan träffa målet, och därigenom kan räkna ut avståndet.⁶⁹

En CW-radar sänder en kontinuerlig signal, varpå avstånd inte kan urskiljas i dess grundförfarande.⁷⁰ Endast genom frekvensmodulation kan en CW-radar mäta avståndet, detta görs genom att variera utsänd frekvens kontinuerligt och således kunna jämföra frekvens i emitterad och mottagen signal.⁷¹

För att pulsradarn skall kunna uppfatta sina egna signaler krävs att den även ”lyssnar”, vilket endast kan göra då den inte sänder. Detta regleras med en S/M-omkopplare, även kallat duplex, som tillser att den utsända signalen skickas genom antennen och den mottagna signalen från antenn till mottagare. CW- och bistatiska radarer har ingen S/M-växlare eftersom de inte både sänder och mottar signal simultant likt pulsradarn.⁷²

Bilden nedan visar konstruktionen av en pulsradar, där sändare och mottagare tillsammans med S/M-växeln utgör sändtagaren.



Figur 4. Pulsradarns principiella uppbyggnad. Källa: Sandqvist & Gerdle⁷³

⁶⁹ Sandqvist & Gerdle, 2004, ss. 50-51

⁷⁰ Ibid s. 47

⁷¹ Artman & Westman, 2007, ss. 49-50

⁷² Sandqvist & Gerdle, 2004, s. 50

⁷³ Ibid. s. 50

4.1.2 Passiv, bistatisk och multistatisk radar

Begrepp för att beskriva passiv radar förekommer i flera olika former, engelskans *passive coherent location (PCL)* och *passive covert radar (PCR)* kan mer eller mindre nyttjas synonymt med begreppet passiv bistatiskt radar. Tekniken i fråga handlar om ett radarsystem som geografiskt frångår en sändare mottar elektromagnetiska signaler. Konceptet bakom att placera sändare och mottagare på två skilda punkter är vad som gör systemet bistatiskt. Att radarsystemet i fråga inte har en egen sändare att förlita sig på innebär att den är passiv, den parasiterar alltså på elektromagnetiska vågor emitterade från tredje parts stationer. Kombinationen av dessa fenomen resulterar i en så kallad passiv bistatisk radar (PBR), som för tydlighetens skull framgent kommer benämnas som passiv radar i detta arbete.⁷⁴

Det övergripande syftet med passiva radarsystem är i grunden att undkomma behovet att sända energi från den egna platsen och således undvika upptäckt från signalsökande robotar och andra flygfarkoster. Kommersiella telefonmaster, radiomaster och antenner som alla syftar till att sända radiovågor för civila ändamål sänder likt luftvärnets aktiva radarer stora mängder energi runt sin omgivning. Vågorna bär i grund och botten samma potential som en radarsänd våg gör vad gäller att reflektera mot flygföretag. Det passiva radarsystem bygger på att parasitera på icke-kooperativa enheters emittering av radiovågor, där radarn endast lyssnar.^{75 76} Till skillnad från pulsradarn, som genom egen emittering av vågor, har det passiva radarsystemet ingen egen sändardel. Det passiva radarsystemet kräver därför en längre tids stationering på en plats för att bygga upp ett slags signalbibliotek av sin omgivnings normalt sända frekvenser. Utifrån denna normalbild kan det passiva radarsystemet upptäcka signaler emitterade från externa sändare som reflekterats på inkommande flygföretag utan att den egna radarn själv sänder någon energi.⁷⁷ De icke-kooperativa sändarna är placerade på marken i form av master och torn. Energin som sänds rundstrålas runt en antenn längs markytan, varpå passiva radarers höjdtäckning begränsas till att upptäcka mål på relativt låga höjder.⁷⁸

Det bistatiska radarsystemets funktion bygger på en geometrisk princip där radarn kräver fri sikt mellan både mål, sändare och mottagare. Sträckan mellan de två sistnämnda benämns

⁷⁴ Griffiths & Baker, 2017, ss. 15-16.

⁷⁵ Ragnarsson et al., 2020, ss. 9-10

⁷⁶ Ulander et al., 2014, s. 7

⁷⁷ Griffiths & Baker, 2017, s. 15

⁷⁸ Ragnarsson et al., 2015, s. 18

baslinjen. Baslinjen är viktig för det bistatiska radarsystemet eftersom den är en förutsättning för att kunna identifiera tidsförskjutningen mellan mottagare och sändare. För att det bistatiska radarsystemet ska kunna urskilja en inkommen signal som reflekterats mot ett luftmål från en signal som kommer direkt från sändaren krävs således att radarn kontinuerligt tar emot signaler både direkt från sändaren och signal efter reflektion mot luftmål.⁷⁹

Som följd till de passiva radarernas position i förhållande till den vågemitterande icke-kooperativa sändaren medger detta system att upptäcka mål med relativt liten radarmålarea. Stealth-företagets konstruktion bygger på idén att reflektera vågor från sidorna i en annan riktning än den de kom ifrån. Då de passiva radarsystemen är geografiskt skilda från sändaren ökar därför sannolikheten för radarn att upptäcka målet.^{80 81}

De passiva radarsystemens konstruktion möjliggör en relativt billig konstruktion som resultat av att den inte nyttjar någon egen sändardel, och kräver således inte lika avancerad teknik som en aktiv radar gör.⁸²

Ett system som nyttjar samma princip som bistatiska radarer men bygger på en annan grupperingskonstellation är multistatisk radar. Det multistatiska radarsystemet placerar egen sändare och mottagare på skilda platser. Multistatisk radar kan beskrivas som flera bistatiska radarpar med flertalet sändare som arbetar tillsammans. Sändarna sänder signaler från olika platser, varpå en dedikerad sensor lyssnar. För att motverka att alla sändare sänder simultant och orsakar felaktiga ekon ges varje sändare antingen en egen tidslucka att sända på, eller en eget frekvensintervall.⁸³

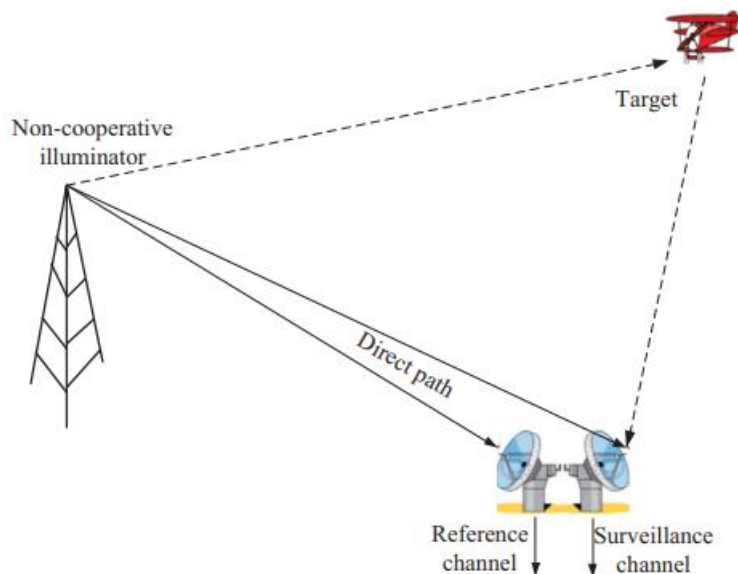
⁷⁹ Ragnarsson et al., 2020, s. 10

⁸⁰ Johnsen, T., Olsen, K. E., *Bi- and Multistatic Radar*, Norwegian Defence Research Establishment (FFI), 2006, s. 4-3

⁸¹ Kindvall & Lindberg, 2020, s. 96

⁸² Ragnarsson et al., 2020, ss. 34-35

⁸³ Ragnarsson et al., 2020, s. 10



Figur 5. Konfiguration av ett passivt radarsystem. Källa: Liu et al.⁸⁴

4.2 Scenario och Spelkort

För att beskriva den passiva radarn som fenomen utifrån luftvärnets nuvarande organisation kommer det taktiska scenariot den undersöks inom vara just en typisk luftvärnsorganisatorisk grupperingskonstellation. För att realisera undersökningen av hur de passiva radarerna skulle påverka luftvärnets grundläggande förmågor konstrueras två spelkort. Det ena beskriver den nuvarande luftvärnsorganisation vars luftlägesbildunderrättelse bygger på ett nätverk av fordonsgrupperade radarer som taktiskt grupperas på ett sätt som gör att deras täckningsområden överlappar varandra.

Spelkort 1 (nuvarande gruppering): Som följd av flygföretagens alltmer höghastiga karaktär, ofta flera gånger snabbare än ljudets hastighet, kräver luftvärnsförbanden sekundaktuell luftlägesbild för att kunna avfyra robotar med förhållandevis gynnsamma förutsättningar. Förbandets verkansdelar består idag av korträckviddiga Robotssystem 98, som avfyrrar IRIS T-robotar⁸⁵, samt det under implementering medellångräckviddiga

⁸⁴ Liu, J., Li, H., Hamed, B., *On the performance of the cross-correlation detector for passive radar applications*, Department of Electrical and Computer Engineering, Stevens Institute of Technology, Hoboken, NJ 07030, USA

⁸⁵ Försvarsmakten (2020). *Robotsystem 98 – En fullträff för luftvärnet*.

<https://www.forsvarsmakten.se/sv/aktuellt/2020/06/robotssystem-98-en-fulltraff-for-luftvarnet/> [15/3-2022]

Robotsystemet 103, som beräknas vara färdigställt 2025.⁸⁶ De radarenheter som inom luftvärnetsförbandet nyttjas i dagsläget är Spaningsradar 91 (PS-91) och Underrättelseenhet 23 (UndE-23). PS-91 är en bandvagnsgrupperad 3D-radar med kort grupperingstid och har förmåga att upptäcka bland annat flygplan och helikoptrar. PS-91-radarn har relativt låg utsänd effekt vilket gör att den klassas som en viskande radar, vilket innebär att den är svårupptäckt för fientliga signalsspaningssystem. Radarn har förmåga att lyssna passivt utan att själv sända effekt, dock kan den inte parasitera på kommersiella signaler utan bygger på direktriktad emittering från exempelvis fientligt sända vågor.⁸⁷ UndE-23-radarn är luftvärnets huvudradar för underrättelseinhämtning i luftarenan. UndE-23 är en tredimensionell pulsdopplerradar med maximal räckvidd på 100 km. Radarn har utöver helikoptrar och flygplan även förmåga att lokalisera och identifiera mål med betydligt mindre radarmålarea såsom drönare och kryssningsrobotar. UndE-23 har även förmåga att räkna ut projektiler med ballistiska banor såsom raketer och granaters beräknade nedslagsplats, samt vart de avfyrats från. Radarn kommunicerar genom radiolänkenheter mellan andra sensorer i förbandet och luftvärnsledningscentralen, där samtliga sensorers luftlägesbild sätts samman för att skapa en gemensam bild av det rådande luftläget i operationsområdet de verkar inom. Utöver lokalisering av luftmål kan Underrättelseenhet 23 användas som alternativ ledningsplats vid strid mot luftmål.⁸⁸

Nedan presenteras första spelkortet utefter kriterierna beskrivning, nyckelegenskaper och begränsningar, militärt användningsområde samt en preliminär bedömning av tillförda möjligheter och vilken påverkan systemet har på grundförmågorna. För att kunna urskilja skillnaderna mellan nuvarande luftvärnsorganisation med en organisation tillförd passiva radarsystem kommer endast sensorsystemet presenteras i spelkortet. De passiva sensorernas tillförsel påverkar inte primärt eldenheterna. Faktorer som berör luftvärnsförbandets möjligheter till verkan presenteras utifrån de grundläggande förmågorna i nästkommande kapitel.

⁸⁶ Försvarsmakten (u.å.). *Luftvärnssystem 103*. <https://www.forsvarsmakten.se/sv/information-och-fakta/materiel-och-teknik/mark/luftvarnssystem-103/> [15/3-2022]

⁸⁷ Försvarsmakten (u.å.). *Spaningsradar 91*. <https://www.forsvarsmakten.se/sv/information-och-fakta/materiel-och-teknik/sensorer/spaningsradar-91/> [15/3-2022]

⁸⁸ Försvarsmakten (u.å.). *Underrättelseenhet 23*. <https://www.forsvarsmakten.se/sv/information-och-fakta/materiel-och-teknik/sensorer/underrattelseenhet-23/> [15/3-2022]

Beskrivning

Luftvärnsförbandets aktiva 3D-pulsdopplerradarer förlitar sig på egenemitterade elektromagnetiska signaler för detektion av flygföretag. Radarsystemen transporteras huvudsakligen på hjulgående fordon och innehar således god rörlighet mellan operativa områden och inom egen uppgift. De aktiva radarerna har som följd av sin stora energiemittring god möjlighet att upptäcka mål på långa avstånd. I regel innebär större mängd utsänd energi längre upptäcksavstånd, samtidigt är räckvidden en produkt av bland annat antennens storlek enligt radarekvationen.

Nyckelegenskaper och begränsningar

Funktioner: Upptäckt, identifiering och klassificering av luftfarkoster.

IFF – Identification, Friend or Foe. Automatisk målföljning.

Avståndslägen: 30, 60 och 100 km. 20 km höjdtäckning.

Utbildningstid: Normal befattningsutbildning.

Dieseldrivnet elverk som strömtillför sändarantennen.⁸⁹

Militärt användningsområde

De aktiva radarsystemen används inom luftvärnsförbanden för inhämtande av luftlägesbild till de egna eldenheterna. Luftlägesbilden kan vid behov delas inom flygvapengemensamma operationer och tillföra den totala luftlägesbilden.

Tillförda möjligheter och påverkan på grundförmågor

Skydd: De aktiva radarna är sårbara mot fientligt angrepp, både från signalsökande robotar och flygfarkoster samt markförband.

Uthållighet: God uthållighet gentemot flygstridskrafter, kan lösa uppgift över flera dygn. Kräver kontinuerligt underhåll och tankning.

Und/info: Luftlägesinhämtning tillför gemensam vapenöverskridande luftlägesbild.

Ledning: Kan inom ramen för flygvapengemensamma operationer dela luftlägesbild.

⁸⁹ Ibid.

Spelkort 2 (nuvarande gruppering + passiva radarer)

Det andra spelkortet är utformat likt spelkort 1, där UndE-23- och PS-91-radarer inhämtar luftlägesbild. Utöver de vanliga radarstationerna innefattar även detta spelkort passiva radarer som parasiterar på icke-kooperativa signaler som komplement till luftlägesbildsinhämtningen.

Beskrivning

Det passiva radarsystemet inom luftvärnsförbandet fungerar som ett komplement till aktiva radarers luftlägesbild. De passiva radarerna har ingen egen sändardel, utan inhämtar luftlägesbild genom att parasitera på icke-kooperativa sändarantenner, ursprungligen tänkta för kommersiella ändamål.

Nyckelegenskaper och begränsningar

* Egenskaper och begränsningar från aktiv radar enligt ovan.

Det passiva radarsystemet emitterar ingen signal och röjer således inte sin position.

De passiva radarstationernas geometriska förhållande till sändare gör att de upptäcker flygföretag med stealth-förmåga lättare.

De passiva radarsystemen är beroende av sändning från tredje part för att kunna upptäcka mål. Kräver fri sikt mellan mål, sändare och mottagare.

Systemet är begränsat till att upptäcka mål på relativt låga höjder.

Militärt användningsområde

Passiva luftvärnssensorer kan potentiellt nyttjas som komplement till luftvärnets aktiva sensorer.

Tillförda möjligheter och påverkan på grundförmågor

* Möjligheter och påverkan kring aktiv radar enligt spelkort 1, samt för passiv radar:

Skydd: De passiva radarsystemen är svårupptäckta eftersom de inte sänder, ökad överlevnad för förbandets materiel och soldater.

Uthållighet: De passiva radarsystemen är inte i behov av lika stor mängd kraftförsörjning/drivmedel. Detta medför förbandet möjlighet att inhämta lägesbild över mycket långa tidsperioder utan underhåll.

Und/info: Möjlighet till bättre upptäckt av mål med liten radarmålarea.

Ledning: Kan inom ramen för flygvapengemensamma operationer dela luftlägesbild.

5 Analys

Analysen har gjorts enligt MUAFT-metoden. Inledningsvis gjordes två SWOT-analyser av de två tekniska spelkort som presenterades ovan. Därefter analyserades spelkortens bidrag utifrån de grundläggande förmågorna och påverkan på kriterierna ur DOTPMFLI. Slutligen gjordes en sammanvägd bedömning av de passiva radarsystemens militära nytta utifrån SWOT-analyserna, de grundläggande förmågorna och DOTPMFLI.

5.1 SWOT-analys för organisation med aktiv radar

Nedan presenteras nuvarande luftvärnsorganisations aktiva radarsystem utifrån SWOT-analysen.

	<u>Positiva egenskaper</u>	<u>Negativa egenskaper</u>
<u>Inre egenskaper</u>	<p>Styrkor</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tillförlitlig tillförsel av radarvågor. - Precis lokalisering av luftmål. - Välutvecklad teknik. 	<p>Svagheter</p> <ul style="list-style-type: none"> - Emittering gör radarn sårbar för motattacker och störsändning. - Stora mängder emitterad energi innebär hög bränsleförbrukning. - Förhållandevis dyr konstruktion. - Rotation av antenn syns och hörs.
<u>Yttre egenskaper</u>	<p>Möjligheter</p> <ul style="list-style-type: none"> - Operatörstyrda radarer kan optimera luftlägesbild i realtid. - Kan fungera som ledningsplats inom strid mot luftmål. 	<p>Hot</p> <ul style="list-style-type: none"> - Luftvärnsradarsystemet ger genom energiemittering bort positionen på prioriterade mål den är tänkt att försvara.

5.2 SWOT-analys för organisation tillförd passiv radar

Nedan presenteras en teoretisk organisation där nuvarande aktiva luftvärnsradarsystem kompletteras med passiva sensorer.

	<u>Positiva egenskaper</u>	<u>Negativa egenskaper</u>
<u>Inre egenskaper</u>	<p>Styrkor</p> <ul style="list-style-type: none"> - Passiv radar emitterar inga egna signaler, låg/ingen bränsleförbrukning. - Svår att upptäckas eftersom den inte sänder. - Svårt att störa ut med störmetoder. - God förmåga att upptäcka mål med liten radarmålarea. - Passiva radarn har endast mottagardel och är förhållandevis liten och lätt relativt radar med sändardel. 	<p>Svagheter</p> <ul style="list-style-type: none"> - Passiv radar beroende av extern icke-kooperativ sändare. - Lägesbildens precision beror på typ av signal som används. - Kräver fri siktbild mellan mål, sändare och radar. - Sammanställning och integration med befintliga system är resurskrävande.
<u>Yttre egenskaper</u>	<p>Möjligheter</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ökad versatilitet. - Låg kostnad kan tänkas medge fler enheter. 	<p>Hot</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ökat behov av teknisk tjänst. - Ökat utbildningsbehov. - Omgruppering kan potentiellt vara tidskrävande.

Resultatet av SWOT-analyserna presenterar positiva och negativa faktorer med respektive radartyp. Det aktiva radarsystemet främsta positiva egenskaper är att det är tillförlitligt och medger en hög lägstanivå på luftlägesbild som följd till dess välutvecklade teknik. Systemets främsta svagheter kopplat mot insamlad empiri visar samtidigt mot dess sårbarhet mot

motattack som följd av dess emittering, att systemet är relativt resurskrävande som följd till dess dieselbehov och mekaniskt roterande antenn. Det passiva radarsystemets främsta positiva egenskaper är att det förblir dolt över tid genom att inte emittera radiovågor, har god upptäcktsförmåga mot mål med liten radarmålarea och är relativt billigt att konstruera tack vara utebliven sändardel. Det passiva radarsystemets negativa egenskaper utgörs av dess brist på tillförlitlig radiovågsförsörjelse, krav på fri sikt mellan mål, antenn och mottagare samt är begränsat till relativt låga höjder.

5.3 Bedömning av passiva radarers påverkan utifrån de grundläggande militära förmågorna

Verkan

Luftvärnets förmåga att verka inom ramen för sin uppgift genom avfyrandet av robotar är direkt kopplat till hur luftlägesbilden ser ut. Eftersom fientliga flygföretag färdas med höga hastigheter krävs inte bara precis måldata utan också att måldatan är aktuell. I de lägen där de aktiva radarerna tvingas sluta sända som följd av hot om bekämpning från signalsökande robotar slutar även deras förmåga att kunna verka med egna robotar. Genom att fortsatt kunna hålla relativt god luftlägesuppfattning genom de icke-sändande passiva radarsystemen kan luftvärnet fortsatt verka även när hotet om signalsökande robotar är nära förestående. Detta realiserar genom att utifrån den kontinuerliga övervakningen de passiva radarsystemen utgör kunna slå på de aktiva radarerna när det fientliga flygföretaget är väl inom verkansavstånd.

Rörlighet

De passiva radarsystemens påverkan på förbandets rörlighet beror till del på hur systemen placeras och används taktiskt. Radarsystemet syftar till att inte dra till sig uppmärksamhet, så i den mån det går bör systemet således snarare placeras taktiskt nog att det kan stå kvar över längre tidsperioder. Som resultat av dess lägre styckkostnad torde systemet kunna placeras vid flertalet platser och således förhindra behovet att förflyttas. Ytterligare argument för att inte förflytta systemen lika frekvent är dess behov att arbeta upp ett signalbibliotek kopplat till ordinarie emitterade signaler i omgivningen. Eftersom uppgiften styr hur systemen skall användas krävs det stundom att även de passiva radarerna förflyttas. Med tanke på att de passiva radarsystemen har relativt liten storlek och vikt som följd av dess sändarlösa

konstruktion borde systemet å ena sidan kunna omgrupperas relativt okomplicerat. Å andra sidan kan mängden grupperade passiva radarer vara tidskrävande när de tvingas flyttas inom uppgift.

Skydd

Beroende på uppgiftens ambitionsnivå kan det vara mer eller mindre viktigt för luftvärnsförbandet att nedkämpa inkommande fiendliga flygföretag. I de lägen där luftvärnets enheter innehar hög ambitionsnivå krävs vid tillfällen stort risktagande kring aktiva radarer då dessa tvingas sända. Genom förvarning och inledande invisning från passiva radarer kan de aktiva radarerna utifrån den av de passiva systemen givna luftlägesbilden avvakta med att sända till dess att det fiendliga flygföretaget är nära, varpå den aktiva radarn under spannet av några sekunder sändning kan invisera eldenheter mot målet.

Ledning

Ett införande av ett passivt radarsystem skulle tillfoga förbandet utökad behov av ledning. Synkronisering mellan aktiva- och passiva radarer skulle behöva samordnas för att uppnå maximal effekt av dem båda. Beslut tagna kring de passiva enheterna skulle kräva ytterligare resurser och personal för att effektivt kunna nyttja systemen.

Uthållighet

Elverken som strömsätter de aktiva radarerna utgör stort behov av återfyllnad i form av diesel. Passiva radarer är inte i samma behov av drivmedel och kan således tänkas kunna inneha mycket god uthållighet i förhållande till det aktiva systemet. Vid första anblick kan det tolkas som att luftvärnsförbandet uthållighet ökar eftersom system tillförts som i regel innehar god uthållighet. Samtidigt är det viktigt att komma ihåg att dess införande inte automatiskt sänker kravet på uthålligheten totalt sett, utan ökar antalet system att hålla efter. I detta fall, där passiva radarer förväntas "ta över" aktiva radarers uppgift djup intill dess att flygföretaget i fråga är nära nog kan argumenteras. Den aktiva radarn, som mekaniskt roterar sin antenn kontinuerligt är oundvikligen i större behov av reparationer än system utan roterande delar. I den mån de passiva radarerna kan tillåta de aktiva radarsystemen att sluta rotera sin antenn kan potentiellt uthålligheten öka på systemet, detta förutsatt att radarn slutar rotera. Bränslemässigt kan förbandet tänkas dra mindre mängd diesel som följd av att radarsystemen inte behöver sända lika mycket som de normalt gör.

Underrättelse

Passiva radarer som komplement till aktiva har i teorin en stor påverkan på hur underrättelser i form av luftlägesbild skulle kunna förmedlas och presenteras för förbandet. Förvarning från passiva radarer kan i viss utsträckning dölja luftvärnets verksamhet inom ett visst operationsområde. När förbandet enbart inhämtar luftlägesbild genom de passiva radarerna är de i grund och botten dolda för signalsökande robotar och andra företag med radarsökande förmågor.

5.4 Bedömning av passiva radarers fotavtryck utifrån DOTPMFLI

Nedan bedöms passiva radarers påverkan utifrån faktorerna DOTPMFLI.

DOTPMFLI är en akronym för faktorerna: doctrine, organization, training, personnel, materiel, facilities, leadership och interoperability (översatt till svenska: doktrin, organisation, utbildning, personal, materiel, anläggningar, ledarskap och interoperabilitet)

Påverkande faktor	Fotavtryck
Doktrin	Doktrin kring passiva radarers användning behöver implementeras. Tidigare doktrin som berörs av luftvärnets agerande kopplat mot luftlägesunderrättelse och strid mot luftmål behöver även revideras.
Organisation	Organisatorisk omstrukturering krävs för att införa ett nytt system.
Utbildning	Kräver utbildning av systempersonal samt systemtekniker.
Personal	Systemet kräver personal för hantering, ledning och underhåll. För att tillfredsställa behovet av personal kan personer behöva förflyttas inom förbandet.
Materiel	Radarsystemens driftkostnad kan tänkas vara relativt låg. Uteblivelsen av aktiv sändardel gör tekniken förhållandevis billig.
Anläggningar	Nya anläggningar för systemreparation och utbildning av system kan behöva anskaffas.
Ledarskap	Systemet bedöms inte påverka ledarskap i någon större utsträckning.
Interoperabilitet	Samordning mellan befintliga och nya system kräver utvecklade samverkanskanaler systemen emellan. Synkronisering kring den gemensamma luftlägesbilden är teknik- och resurskrävande.

Analys av passiva radarer utifrån faktorer ur DOTPMFLI påvisar behov av utökade resurser i form av materiel, personal och anläggningar. Förbandets behöver genomföra en organisatorisk omstrukturering och troligtvis förflytta personal inom förbandet. Doktrin som berör luftvärnets strid mot luftmål behöver troligtvis revideras, samt tillägga hantering och taktisering av de nyinförda systemen. För att systemet ska kunna vara interoperabelt med andra system inom förbandet och utom förbandet krävs vidare utveckling kring synkronisering och samordning. Ytterligare resurser krävs för att göra systemet operabelt inom ramen för flygvapengemensamma operationer.

5.5 Passiva radarers militära nytta

Värdering av passiva radarers påverkan utifrån MUAFT-metodens respektive steg ligger till grund för bedömandet av dess militära nytta. Nedan följer en sammanvägd bedömning av passiva radarers militära nytta utifrån SWOT-analyserna, de grundläggande förmågorna och faktorer ur DOTPMFLI. Bedömningen presenteras utifrån militära nyttans tre dimensioner: *Militär effektivitet, militär lämplighet och kostnadseffektivitet.*

Militär effektivitet

En sammanvägd bedömning av det passiva radarsystemets effektivitet inom ramen för den organisation som beskrivits, använt av kvalificerad personal, visar på att systemet har några tydliga fördelaktiga egenskaper, samt även ett par negativa. Det passiva radarsystemets främsta fördelar kopplat mot dess effektivitet är att systemet praktiskt taget är dolt för fienden eftersom det inte sänder någon energi eller har en sändarantenn som roterar mekaniskt. Systemet kan således öka uthållighet och överlevnad på förbandet. Detta är på gott och ont, då det passiva systemet inte kan förlita sig på vågemittering av egen radar, utan måste förlita sig på tredje parts sändarantenn, något som inte är en självklarhet i krigstid. I händelse av att systemet placerats i en miljö utan tredje parts sändarantenn skulle systemet således inte kunna verka. Vid användning som ett komplement till de redan befintliga aktiva radarsystemen har de passiva systemen som följd av dess grupperingsgeometri även en fördel mot mål med liten radarmålarea. Detta är särskilt viktigt då teknikutvecklingen gör det allt vanligare med flygföretag med stealth-teknik. Vidare kan systemet tänkas bidra med utökad överlevnad i stort i de lägen de tillåter de aktiva radarsystemen att sluta sända från egen

sändare. Analys utifrån de grundläggande förmågorna pekar mot några fördelar med en organisation tillförd passiva radarsystem. Det passiva radarsystemet har potential att uppnå god militär effektivitet kopplat mot sin förmåga att upptäcka mål med stealth-teknik. Ytterligare en positiv påverkan systemet har är dess goda överlevnadsförmåga relativt det aktiva radarsystemet. I samordning mellan aktiva- och passiva radarer kan de potentiellt täcka upp för varandras svagheter, och således öka förbandets överlevnad i stort.

Militär lämplighet

Det passiva radarsystemets integration med övriga radarsystem kopplat mot den gemensamma luftlägesbilden är vital för att systemet skall kunna ha militär nytta. En förutsättning för att detta ska förverkligas är att utökade resurser allokeras till utveckling kring detta samordnings- och synkroniseringsarbete. Kopplat mot osäkerheten kring huruvida kommersiella sändarmaster är i bruk under krigstid påverkar också systemets militära lämplighet. Möjligheten att använda flera typer av sändarantennor ökar samtidigt sannolikheten för att systemet kan verka inom ramen för denna kontext. Förutsatt att systemet kan integreras med luftvärnets övriga radarsystem har det passiva systemet potential att bidra med viktiga funktioner, som hela förbandet kan åtnjuta. Utifrån fotavtrycket passiva radarer medför kopplat mot DOTMPFLI visar analysen på ett utökat behov resurser, främst inom arbetet bakom att göra systemen interoperabla med redan befintliga system. Vidare krävs sannolikt utökade resurser för att tillföra och utbilda driftsättande personal samt systemtekniker. Systemets militära lämplighet behöver dock inte nedgå som följd av att stora mängder resurser krävs inledningsvis. Om systemet implementeras effektivt och blir interoperabelt med de aktiva radarsystemen kan det i längden tänkas kunna avlasta de aktiva radarsystemens behov av underhåll och teknisk tjänst i viss mån.

Kostnadseffektivitet

Precis som vid införande av de flesta nya tekniska system kommer den totala kostnaden öka, förutsatt att inget tidigare system tas ur drift i samband med det nyimplementerade systemet. I fallet med det passiva radarsystemet ökar troligen totalkostnaden, då resurser för att göra systemet operativt krävs, såsom ny materiel, anläggningar och utbildning. Kopplat mot det passiva systemets kostnad specifikt i förhållande till de aktiva systemen är sannolikt

styckpriset betydligt lägre hos de passiva. I och med uteslutande sändardel kan billigare teknik användas, likaså sänka strömtillförselbehoven. Samtidigt behövs fortsatt utveckling för att göra det interoperabelt med resterande förbandet, vilket också kräver resurser.

Sammanvägd bedömning

Det passiva radarsystemet som källa till luftlägesinhämtning bedöms ha militär nytta. Inom organisationen som systemet förväntas vara verksamt i, där aktiva radarer fortsatt står för en mer pålitlig tillförsel av luftlägesbild, har det passiva radarsystemet några värdefulla egenskaper. Systemet karaktäriseras av sitt dolda uppträdande i terrängen, vilket har potential att öka överlevnad, inte bara för enheten själv, utan vid taktiskt användande även för hela förbandet. Systemet kommer kräva resurser i form av både ekonomiska medel och personal som också behöver systemutbildning. Förutsatt att systemet i längden blir interoperabelt med luftvärnets övriga enheter bedöms systemet ha militär nytta inom ramen för luftvärnsbataljonen.

6 Avslut

Detta avslutande kapitel består av en sammanfattande diskussion, där genomfört arbete diskuteras. Därefter presenteras arbetets slutsatser, varpå frågeställningarna besvaras. Slutligen presenteras förslag på vidare forskning.

6.1 Diskussion

Detta arbete har berört passiva bistatiska radarer som tekniskt system, ett teknikområde som är under ständig utveckling. Idén bakom att utnyttja radiovågen som informationskälla för militära ändamål är inte ny. Däremot har motmedel med syfte att undvika upptäckt gett upphov till en konstant teknikutveckling. Eftersom radiovågen följer fysiska lagar kommer dess användning alltid kantas av överväganden och uppoffringar. Ett system som till synes verkar svagt eller korträckviddigt behöver inte nödvändigtvis dömas ut på grund av dess räckvidd, detta eftersom systemet kan besitta andra fördelar såsom välutvecklad signalbehandlingsteknik eller god förmåga att upptäcka stealth-företag, likt den passiva radarn. Det elektromagnetiska spektrumet består av en mängd olika frekvenser, att ha

motmedel nog för att kunna dölja sig för alla är i dagsläget orimligt, eller åtminstone mycket resurskrävande.

Som beskrivits tidigare är den svenska Försvarsmakten i dagsläget relativt småskalig. Att tillvarata sina befintliga system och personal och kontinuerligt utveckla dem är av vikt för att upprätthålla en god försvarsförmåga. Passiva radarer som komplement till befintliga aktiva radarer har undersökts som ett led i att se närmre på teknik med främsta syfte att undvika upptäckt och således öka överlevnadsförmågan på förbandet och dess enheter.

För att undersöka passiva radarers förmågepåverkan på luftvärnet har MUAFT-metoden använts. Metoden bygger på teorin om militär nytta och är strukturerad på ett sätt som gör händelseförloppet vid bedömning utifrån respektive dimension tydlig. Den ursprungliga tanken bakom metoden är att den nyttjas vid bedömning av tekniska system av en grupp experter. Gruppen genomför muntliga seminarier mellan de olika stegen för att kunna bedöma systemet utefter respektive dimension. En fördel med metoden är att den kan nyttjas av just en mindre grupp, där resursbehovet är relativt lågt. Metoden hjälper till att analysera systemet utifrån de berörda faktorerna på ett tydligt sätt, där presentationen är lätt att tolka. Som nämnt tidigare bygger metoden just på expertisen bakom de individer som använder den.

I detta arbete har metoden nyttjats av undertecknad ensam. Argument för varför det som ensam individ kan vara problematiskt att nyttja en metod skapad för expertgrupper kan diskuteras, dock behöver det inte med självklarhet innebära att informationen och resultaten som läggs fram är felaktiga. Vid all form av forskning och utredningsarbete är det av stor vikt att göra antaganden och bedömningar utifrån den informationen som finns tillhanda.

Undertecknad, som gjort grundutbildning och verksamhetsförlagd utbildning inom luftvärnet, har gjort bedömningen att metoden i fråga kan nyttjas på ovanstående sätt, förutsatt att antaganden och bedömningen görs inom ramen för insamlad empiri. Med det sagt kan de framlagda resultaten vara bristfälliga i den bemärkelse att de missar att presentera väsentliga påverkansfaktorer, snarare än att presentera felaktiga sådana.

För den egna slutsatsen har detta inneburit att visa eftertänksamhet och försiktighet kring huruvida avhandlat system faktiskt har militär nytta eller inte. För att göra en slutgiltig bedömning kring huruvida ett system har militär nytta eller inte behövs å ena sidan mer resurser, främst i form av forskare och experter, och ett större informationsunderlag än det som varit öppet tillgängligt. Å andra sidan kan en undersökning likt denna ge indikationer på

om systemet i fråga kan tänkas ha potential inom ramen för det område och organisation som presenterats.

Analysvärdena kring de passiva radarsystemen har inte bedömts utefter en linjär skala eftersom effektiviteten av det passiva radarsystemet är en funktion av både tredje parts sändarantennerna och de aktiva radarsystemen de är tänkt komplettera. Snarare har resultaten presenterats som kvalitativa värden utifrån den militära nyttans dimensioner.

6.2 Slutsatser och svar på frågeställningar

Detta arbete har gjorts i syfte att undersöka passiva radarers militära nytta och påverkan på luftvärnets förmågor inom ramen för det svenska luftförsvaret. Bedömandeprocessen har utgått från MUAFT-metoden, vars insamlade empiriska resultat analyserats i syfte att kunna besvara följande frågeställningar:

- *Hur skulle en implementering av passiva radarsystem påverka luftvärnets grundläggande förmågor?*
- *Vilken militär nytta har passiva radarer inom ramen för luftvärnsförbandet*

Tillvägagångssättet, och ramverket för det empiriska material som samlades in följde metoden *Military Utility for Future Technologies (MUAFT)*, som genom fyra steg bedömer ett militärt system eller teknologis militära nytta. Resultaten presenterades utifrån militära nyttans tre dimensioner *Militär effektivitet, militär lämplighet* och *kostnadseffektivitet*.

Nedan besvaras respektive frågeställning utifrån de resultat som presenterats i analysen.

- *Hur skulle en implementering av passiva radarsystem påverka luftvärnets grundläggande förmågor?*

En implementering av passiva radarsystem skulle påverka flera av luftvärnsförbandets grundläggande förmågor. Störst påverkan har systemen kopplat mot uthållighet och överlevnad som följd av att systemet inte sänder egen energi och således inte ger bort sin position för fientlig bekämpning. Systemet har även viktiga fördelar mot upptäckt av mål med liten radarmålyta, vilket visats viktigt då teknikutvecklingen går mot en framtid där flygföretag blir alltmer svårupptäckta. De passiva radarsystemen kräver emellertid utökat behov av ledning och underhåll, trots att de i sitt grundförfarande bedöms kräva få resurser, relativt aktiva radarer. Å ena sidan kräver systemet fria siktlinjer mellan mål, sändare och mottagare, samt är begränsat till relativt låga flyghöjder. Å andra sidan ökar förbandets

förmågor positivt som följd av ökad versatilitet bland radarsystemen. Resultatet av detta blir att kraven på fiendens förmågor ökar, då denne tvingas lägga resurser på att utveckla system för att kunna möta fler typer av hot.

Vilken militär nytta har bistatiska radarer inom ramen för luftvärnsförbandet?

Slutsatsen som gjorts utifrån analysresultatet är att det passiva radarsystemet i fråga inte är fullgott som enda radar för luftvärnsförbandet. Dock, inom ramen för den miljö den förväntas vara verksamt inom har systemet god militär nytta när den verkar i synergi med aktiva radarsystem. Passiva radarsystem har troligtvis relativt lågt styckpris, vilket kan vara till en fördel utifrån Försvarmaktens begränsade budget. Samtidigt innebär en implementering av ett nytt tekniskt system högre totalkostnader, oaktat det faktiska priset per enhet.

6.4 Förslag på fortsatta studier

I arbetet har passiva radarers påverkan på bland annat luftvärnets grundläggande förmågor undersökts. Denna rapport föreslår att en Försvarmaktsstudie genomförs som avhandlar vilken indirekt stridseffekt en implementering av radarer med bistatiska förmågor ger. Resultatet av en sådan studie bedöms vara av intresse för Lv 6 tillsammans med LvSS kopplat mot deras taktikanpassning. Studien föreslås genomföras i dialog med FOI och bör omfatta simulering med simuleringsverktyg såsom t. ex. OPAL.

7 Referenser

LITTERATUR

Artman, K., Westman, A., *Lärobok i Militärteknik, vol. 2: Sensorteknik*, Första upplagan, Vällingby: Försvarshögskolan, 2007.

Axberg, S., Andersson, K., Bang, M., Bruzelius, N., Bull, P., Eliasson, P., Ericson, M., Hagenbo, M., Hult, G., Jensen, E., Liwång, H., Löfgren, L., Norsell, M., Sivertun, Å., [Vretblad](#), B., *Lärobok i Militärteknik, vol. 9: Teori och metod*, Stockholm: Försvarshögskolan (FHS), 2013.

Blomkvist, P., Hallin, A., *Metod för teknologer, Examensarbete enligt 4-fasmodellen*, upplaga 1:5, Lund: Studentlitteratur AB, 2015.

Eaves, J. L., Reedy, E. K., *Principles of modern radar*, 1.st edition, Chapman & Hall, New York, 1987.

Försvarsmakten, *Arméreglemente – Taktik*, Försvarsmakten, 2013.

Försvarsmakten, *Militärstrategisk doktrin – MSD 2016*, Försvarsmakten, 2016.

Griffiths H. Klein Heidelberg, The First Modern Bi-static Radar System. IEEE Trans. On AES vol.46, NO.4, October 2010.

Griffiths, H. D., Baker, C. J., *An introduction to passive radar*, Artech House, 2017.

Melvin, W. L., Schee, J. A., *Principles of Modern Radar : Advanced Techniques*, Volume 2, Raleigh: SciTech Pub. 2013.

Olsson, J., *Handbok Luftvärn Grunder*, Försvarsmakten, 2020.

Sanqvist, A., Gerdle, P., *Lärobok i telekrigföring för luftvärnet Radar och radartaktik*, Försvarsmakten, 2004.

Selin, P., *Underrättelseorientering - Hotet från luften*, vol. 2, Lv6 Und, 2019.

Skolnik, M. I., *Radar Handbook*, 3.rd edition, McGraw-Hill, 2008.

Thiel, D. V., *Research Methods For Engineers*, Cambridge University Press, 2014.

ARTIKLAR

Andersson, K., Bang, M., Marcus, C., Persson, B., Sturesson, P., Jensen, E., Hult, G., *Military utility: A proposed concept to support decision-making*. Technology in society, 2015, <http://dx.doi.org/10.1016/j.techsoc.2015.07.001>

Andersson, K., Lundmark, M., Silfverskiöld, S., *The Military Utility Assessment Method for Future Technologies*, Stockholm, 2019.

Johnsen, T., Olsen, K. E., *Bi- and Multistatic Radar*, Norwegian Defence Research Establishment (FFI), 2006.

Kindvall, G., Lindberg, A., *Militärteknik 2045 - Ett underlag till Försvarsmaktens perspektivstudie*, Totalförsvarets Forskningsinstitut (FOI), FOI-R--4985--SE, November 2020.

Klembowski, W., Kawlec, A., Wizner, W., *Passive Radars as Sources of Information for Air Defence Systems*, Saab Technologies Poland, 2013.

Ragnarsson, R., Andersson, Å., Fagerström, J., Frölinde, P-O., Sjögren, T., Tryblom, A., *Bistatiska metoder för luftmålsradar – Slutrapport*, Totalförsvarets Forskningsinstitut (FOI), FOI-R--5082—SE, 2020

Ragnarsson, R., Grahn, P., Nelander, A., *Teknik för luftmålsdetektion - Översikt av framväxande radarmetoder i luftbevakningskedja*, Totalförsvarets Forskningsinstitut (FOI), FOI-R--4179—SE, 2015.

Silfverskiöld, S., Andersson, K., Lundmark, M., *Does the method for Military Utility Assessment of Future Technologies provide utility?*, *Technology in Society*, 67, September 2021, <http://dx.doi.org/101736>

Silfverskiöld, *Ett militärtekniskt perspektiv på förmågeutveckling*, KKrVAHT "Gula tidskriften", Nr 1, 2017, 65-85.

Ulander, L., Frölinde, P-O., Grahn, P., Gustavsson, A., *Bistatisk och passiv radar, slutrapport*, FOI-R--4018—SE, Totalförsvarets Forskningsinstitut (FOI), 2014.

WEBBSIDOR

Försvarsmakten (u.å.). *Luftvärnssystem 103*. <https://www.forsvarsmakten.se/sv/information-och-fakta/materiel-och-teknik/mark/luftvarnssystem-103/> [15/3-2022]

Försvarsmakten (2020). *Robotsystem 98 – En fullträff för luftvärnet*. <https://www.forsvarsmakten.se/sv/aktuellt/2020/06/robotsystem-98-en-fulltraff-for-luftvarnet/> [15/3-2022]

Försvarsmakten (u.å.). *Spaningsradar 91*. <https://www.forsvarsmakten.se/sv/information-och-fakta/materiel-och-teknik/sensorer/spaningsradar-91/> [15/3-2022]

Försvarsmakten (u.å.). *Underrättelseenhet 23* <https://www.forsvarsmakten.se/sv/information-och-fakta/materiel-och-teknik/sensorer/underrattelseenhet-23/> [15/3-2022]

Karlstads universitet (2019). <https://www.kau.se/bibliotek/sok/sokhjalp-och-guider/guider-manualer/kallkritik> [15/3-2022]

FIGURER

Figur 1. Ingående delar i konceptet bakom militär nytta utifrån ett Goertz-diagram, Andersson, K., Bang, M., Marcus, C., Persson, B., Sturesson, P., Jensen, E., Hult, G., Military utility: A proposed concept to support decision-making. Technology in society, 2015, <http://dx.doi.org/10.1016/j.techsoc.2015.07.001>

Figur 2. Radarekvationen, Artman, K., Westman, A., Lärobok i Militärteknik, vol. 2: Sensorteknik, Första upplagan, vol. 2007 (Vällingby: Försvarshögskolan)

Figur 3. Radarhorisontens gränssättande för den maximala räckvidden, Artman, K., Westman, A., Lärobok i Militärteknik, vol. 2: Sensorteknik, Första upplagan, vol. 2007 (Vällingby: Försvarshögskolan)

Figur 4. Pulsradarns principiella uppbyggnad, Sanqvist, A., Gerdle, P., Lärobok i telekrigföring för luftvärnet Radar och radartaktik, 2004, Försvarsmakten)

Figur 5. Konfiguration av ett passivt radarsystem, Liu, J., Li, H., Himed, B., On the performance of the cross-correlation detector for passive radar applications, Department of Electrical and Computer Engineering, Stevens Institute of Technology, Hoboken, NJ 07030, USA