



Självständigt arbete i militärteknik

Författare Örln Torbjörn Lundströmer	Förband 4. Sjöstridsflottiljen	Kurs HSU 09-10 T
Handledare Övlt Michael Reberg, Dr Stefan Silfverskiöld		Institution och avdelning MVI/MTA
<p>LPI-radar. Nys eller nytta?</p> <p>Studie av den militära nyttan med LPI-radar.</p> <p>Sedan radar började användas under första hälften av 1900-talet har duellen mellan radar och signalspaning pågått. Genom att utnyttja radar har alltid en medveten risk tagits, risken att bli upptäckt av motståndarens signalspaning. Duellen gavs möjlighet att ta en paus då radarsystem med låg uteffekt introducerades på marknaden under slutet av 1980-talet, nu fanns plötsligt en möjlighet att använda radar samtidigt som de samtida signalspaningssystemen inte kunde upptäcka dessa radarsystem. I föreliggande magisteruppsats i krigsvetenskap med militärteknisk inriktning undersöks räckviddsförhållanden mellan dessa radarsystem och signalspaningssystem. Genom scenarier i den marina arenan försöker jag värdera de taktiska vinster en användare av radar med låg uteffekt kan göra. Analysen visar på att det fram till dess att signalspaningssystem med förmåga att upptäcka radar som utnyttjar låg uteffekt finns tillgängligt är det möjligt att nå taktiska fördelar med dessa system.</p> <p>Nyckelord: LPI, FMCW, radar, smygradar, brusradar, smygteknik, ESM, signalspaning, taktik</p>		

LPI-radar. Gain or pain?

A Study of Military Benefits When Using LPI-radar.

Since the advent of radar during the early 20th century the duel between radar and electronic support measurement systems has been practised. Using radar has always been associated with a risk of being detected by an opponent's electronic support measurement systems. The duel came to a halt when radar systems using low output power were introduced on the market during the late 1980s, now it was possible to use radar without being detected by contemporary electronic support measurement systems. The present master of science (one year) thesis in war science with specialization in military technology looks into the range relationships between radar and electronic support measurement systems. Through scenarios in the naval domain, I seek to assess the tactical benefits a user of low probability of intercept radar may have. The analysis indicates that until electronic support measurement systems with the ability to detect radar systems using low output power are available it is still possible to gain tactical advantages with such systems.

Keywords: LPI, FMCW, radar, noise radar, stealth technology, ESM, tactics

LPI-radar. Nys eller nytta?

Studie av den militära nyttan med LPI-radar.

Förord

Efter att under 2009 ha deltagit i kursen *Technologies for Information Operations Workshop* vid Naval Postgraduate School, Monterey, USA, stod ämnesvalet inför uppsatsen klart. Low Probability of Intercept (LPI) -radar var ett outforskat område vad gäller taktiska vinster och den militära nyttan. Flera är de författare som betraktat konstruktion och utformning av LPI-radarsystem tillsammans med de som ur ett omvänt perspektiv, genom signalspaning, sökt nya möjligheter att upptäcka dessa radarsystem. På intet sätt utgjorde LPI-radartechniken en nyhet för mig under kursen. Efter flera år i taktiska befattningar ombord på ytstridsfartyg, såväl med som utan LPI-radar, har frågeställningen vuxit fram.

Tack till alla som bidragit med kunskap i ämnet och synpunkter på denna magisteruppsats.

Tack till professor Rich Pawlowicz vid University of British Columbia för MATLAB-verktyget *M_Map* utan vilket skisserna i studien gått om intet.

Avslutningsvis vill jag rikta ett tack till handledarna teknologie doktor Stefan Silfverskiöld och överstelöjtnant Michael Reberg båda vid Försvarshögskolan för stöd och råd under arbetets gång.

Stockholm den 6 december 2010

Torbjörn Lundströmer

Förkortningar

Storhet	Beskrivning	Enhet
A	fysisk antennarea	m^2
A_e	effektiv antennarea	m^2
A_{ei}	effektiv antennarea för SIS	m^2
d_c	arbetsfaktor	
G	antennvinst	dB
G_i	antennvinst SIS-mottagare	dB
G_r	antennvinst radar	dB
P_{avg}	medeleffekt	W
P_d	effekttäthet	W/m^2
P_{di}	effekttäthet vid SIS-mottagaren	W/m^2
P_{in}	tillförd effekt	W
P_r	reflekterad effekt	W
P_{rad}	utstrålad effekt	W
P_t	utsänd effekt	W
R_{imax}	maximal sis-räckvidd	m
R_{max}	maximalt upptäcktsavstånd	m
S_{imin}	sis-mottagarens lägsta detekterbara signal	W
S_{min}	radarns lägsta detekterbara signal	W
T_r	pulsintervall	s
η	antennens verkningsgrad	
θ_a	lobvinkel sida	rad
θ_e	lobvinkel höjd	rad
λ	våglängd	m
ρ_a	effektivitetskvot	
σ	radarmålarea	m^2
τ_R	pulslängd	s

Innehållsförteckning

Förord	v
Förkortningar.....	vii
Innehållsförteckning	ix
Figurförteckning	x
Tabellförteckning.....	x
1 Inledning.....	1
1.1 Problemformulering	2
1.2 Syfte	2
1.3 Frågeställning	3
1.4 Avgränsningar.....	3
1.5 Antaganden.....	4
1.6 Metod	4
1.7 Centrala begrepp.....	5
1.8 Angränsande och tidigare arbeten	6
1.9 Material	6
2 LPI-radar.....	8
2.1 Kännetecken	8
2.1.1 Sändare.....	9
2.1.2 Antenn.....	10
2.2 Räckviddsbestämning.....	11
2.3 RCS.....	13
2.4 Vågutbredning	15
2.5 SIS-räckvidd mot LPI-radar.....	17
3 Jämförelse	20
3.1 Pilot.....	20
3.2 AMB	21
3.3 R_{max}	22
3.4 R_{imax}	23
3.5 Sammanfattning.....	25
4 Scenarier	26
4.1 Scenario 1, torpedanfall från ubåt.....	26
4.1.1 Beskrivning av scenario 1	26
4.1.2 Värdering	27
4.1.3 Sammanfattning.....	29
4.2 Scenario 2, radarmålsökande sjömålsrobot.....	30
4.2.1 Beskrivning av scenario 2	30
4.2.2 Värdering	31
4.2.3 Sammanfattning.....	33
5 Marin taktik.....	34
6 Analys.....	37
6.1 Scenario 1.....	37
6.2 Scenario 2.....	38
6.3 LPI, marina operationstyper och taktiska uppgifter.....	39
6.4 Övrigt.....	40
6.5 Svar på frågeställningen	41
7 Slutsatser.....	42
7.1 Fortsatt arbete	43
8 Litteraturförteckning.....	44
Bilaga 1.....	I
Bilaga 2.....	III

Figurförteckning

Figur 1.1 Metodbeskrivning.....	5
Figur 2.1 Definition av lobbredden vilken utgörs av den punkt där effekttätheten nedgått med 3 dB i förhållande till den maximala effekttätheten.....	10
Figur 2.2 Medelvärde av radarmålarean mellan 45° och 135° i förhållande till långskeppsriktningen som resultat av ekvation 2.14 för frekvenserna 9,3; 3,2 och 1,3 GHz....	15
Figur 2.3 Den vertikala modifierade refraktivitetsgradienten, M, som funktion av höjden för fyra olika ledskiktsprofiler [7].....	16
Figur 3.1 R_{max} för Pilot och AMB som funktion av målets radarmålarea.....	22
Figur 3.2 R_{max} för Pilot i dess fyra effektlägen.....	23
Figur 3.3 R_{imax} mot Pilot och AMB som funktion av S_{imin} för någon sis-mottagare.....	24
Figur 3.4 R_{imax} mot Pilot i dess fyra effektlägen som funktion av S_{imin} för någon sis-mottagare.....	24
Figur 4.1 Geometri över ubåt 1 anfall mot mål 2. Blå punkterad linje visar R_{max} vid 0.1 W effekt. Röd streckad linje visar mål 2 R_{imax} mot ubåt 1.....	28
Figur 4.2 Geometri över målets R_{max} (ur tabell 3.1) mot ubåt. Notera förändringen i skala från figur 4.1.....	29
Figur 4.3 Målets R_{imax} mot robot 1 ur tabell 4.7.....	32
Figur 4.4 Målets R_{max} mot robot 1 ur tabell 4.5.....	33

Tabellförteckning

Tabell 2.1 Exempel på radarmålarea inom våglängdsområdet 0,03-0,10 m [5].....	14
Tabell 2.2 Klassificering av SIS-mottagare och dess känslighet.....	19
Tabell 3.1 Några tekniska parametrar för Pilot. [3].....	20
Tabell 3.2 S_{min} för Pilot.....	21
Tabell 3.3 Några tekniska parametrar för AMB. [13].....	21
Tabell 3.4 S_{min} för AMB.....	21
Tabell 4.1 Plattformsbeskrivning scenario 1.....	27
Tabell 4.2 Maximalt upptäcktsavstånd R_{max} för ubåt mot målen ingående i scenariot.....	27
Tabell 4.3 SIS-mottagarens, på målet, maximala upptäcktsavstånd R_{imax} mot scenariots ubåt.....	28
Tabell 4.4 R_{max} för något mål, med olika radarsystem, mot ubåt.....	29
Tabell 4.5 Plattformsbeskrivningar för scenario 2.....	31
Tabell 4.6 Maximal räckvidd R_{max} för robot med tre olika effektlägen mot mål med olika RCS i scenario 2.....	31
Tabell 4.7 Målets SIS-mottagares maximala upptäcktsavstånd R_{imax} mot robot med tre olika effektlägen i scenario 2.....	31
Tabell 4.8 Avstånd från robot till mål vid start av radarsändning för bekräftelse av målläge samt för slutfasstyrning.....	32
Tabell 4.9 Utfall av scenario 2.....	32
Tabell 4.10 R_{max} för något mål, med olika radarsystem, mot robot i scenario 2.....	32

1 Inledning

Föreställ dig att kliva in i ett mörkt rum med en ficklampa i handen. I vår gängse verklighetsuppfattning kommer andra personer som vistas i rummet att se ljuset från ficklampan, såväl det direkta ljuset från lampan och reflektorn som det som reflekterats från föremål i rummet. Du som bär ficklampan kommer att se de föremål du belyser likaväl som andra kommer att se ljuset från din ficklampa. Tänk dig då vilken fördel du skulle åtnjuta om du i samma rum klev in utrustad med en ficklampa med alla de egenskaper vi förknippar med densamma förutom att den inte syns.

Utvecklingen av radar påbörjades i slutet av 1800-talet då Hertz gjorde grundläggande observationer av radiovågors reflektion mot metalliserade plana ytor. Hertz observationer rönste snart uppmärksamhet i vetenskapsvärlden, förutom just tillämpningen av upptäckten. Under de kommande decennierna kom vetenskapsmän som Hulsmeyer och Marconi att utifrån Hertz arbete utveckla det vi idag känner till som radar. Under inledningen av andra världskriget hade utvecklingen kommit så långt att system fanns installerat på såväl fartyg som flygplan. Strax efter det att radarn gjort sitt inträde i operativa sammanhang under andra världskriget tog utvecklingen av motmedel. Syftet var att kunna upptäcka att man är belyst av radar eller medel för att störa motståndarens radar, fart. Duellen mellan radar som medel och telekrigföring som motmedel hade börjat. Sedan dess har bruket av radar inneburit en medveten risktagning, risken att bli upptäckt. Den information som utvinns ur radarsystem är samtidigt ovärderlig, i militära sammanhang utnyttjas den i samtliga arenor för spaning, navigering, eldledning och detektion av föremål genom väggar för att nämna några tillämpningar. Att klara sig helt utan radar är idag en otänkbarhet och taktiken har påverkats och utvecklats i harmoni med de förmågor och begränsningar som bruket av radar medför.

1.1 Problemformulering

Att utnyttja sin radar har sedan länge varit förknippat med att samtidigt ta en medveten risk om att bli upptäckt. All elektromagnetisk strålning är möjlig att detektera med en för ändamålet anpassad mottagarutrustning. Genom att sända med din radar kommer du med största sannolikhet bli upptäckt. Utnyttjandet av signalspaningsmottagare har varit ett hjälpmedel till förband och enheter i att bli medveten om att en motståndare utnyttjar sin radar. Samtidigt har signalspaningsmottagarna utgjort ett hjälpmedel till att lägesbestämma och, i vissa fall även, individbestämma sin motståndare. Det har varit tvunget att göra en avvägning mellan att skapa en lägesuppfattning på aktiv väg eller passiv väg. Sedan 1980-talet finns ett tredje alternativ, low probability of intercept radar (LPI). Denna bjuder möjligheten, likt det för motståndaren osynliga ljuset från ficklampan, att utnyttja radarns alla fördelar samtidigt som en motståndare får svårt att upptäcka denna genom signalspaning. Genom att minska den från radarn utsända effekten minskar avståndet på vilket denna blir upptäckt av en mottagarutrustning. Samtidigt kommer sannolikheten att upptäcka det du är intresserad av att minska. Att radarsystem som rubbar balansen mellan radarn som medel och signalspaningsmottagaren som motmedel finns tillgängliga innebär ett paradigmskifte i denna duell. Möjliggör tekniken en anpassning eller utveckling av taktiken för den som utnyttjar LPI-radar?

1.2 Syfte

Studien syftar till att undersöka i vilken mån taktiska vinster kan göras genom att utrusta plattformar med LPI-radar. Som utgångspunkt används plattformar i den marina arenan för empirin. De radarsystem som används som stöd för empirin är två system som idag (2010) är i bruk i den svenska Försvarsmakten. Det ena är en radar med FMCW-teknik och den andra är en konventionell pulsradar med låg uteffekt.

1.3 Frågeställning

Vilka taktiska vinster kan göras genom att utnyttja LPI-radar och hur förhåller sig de undersökta LPI-radarsystemen till de i litteraturen förkommande definitionerna?

1.4 Avgränsningar

En radars eller signalspaningsmottagares räckvidd beror på ett flertal faktorer. Såväl interna faktorer som mottagarens uppbyggnad och dess känslighet som externa vinster och förluster beroende på atmosfärförhållanden kommer att påverka räckvidden. Dessa kan, för en utomstående vara svåra att bestämma då man sällan besitter all fakta. De beräkningar som görs är friryndsberäkningar. Den påverkan, i vinster och förluster, som atmosfären har på radarsignaler tillsammans med vinster och förluster i mottagaren är sammanslagna i en faktor. Denna betecknas S_{min} och betecknar den lägsta signalnivån systemet kan behandla.

Resonemanget kring marin taktik bygger på *DMarinO: Doktrin för marina operationer* och *TRM: Taktikreglemente för marinstridskrafterna* vilka kompletteras med teorier kring taktik och teknik och definitioner av taktikbegreppet från Milan Vego och Geoffrey Till. Det finns ytterligare taktiska reglementen och teorier att tillgå, dessa har utelämnats då DMarinO och TRM innehåller den mest grundläggande kunskapen om marina taktiska förmågor. Vidare kommer teoribildningen kring marin taktik inte avhandla amfibiestridskrafter då den modell som används för empirin endast behandlar fartyg och vapensystem fritt till havs. Slutsatserna i studien kan dock användas för resonemang kring amfibieförbandens förmågor likaväl som för mark- och luftstridskrafter.

I litteraturen kring LPI-radar förekommer även begreppet LPID-radar (jfr kapitel 2), jag kommer inte att förhålla mig vidare till begreppet då det inte bär emot frågeställningen. Definitionen kring LPID-radar tas med så att läsaren kan förhålla sig till begreppet.

Studien av och resonemanget kring LPI-radarsystem kommer att ta sin utgångspunkt i två system, nämligen Pilot och AMB, vilka båda är system som utnyttjas på plattformar i de svenska sjöstridskrafterna. Det finns radarsystem inom markstridskrafterna vilka faller inom definitionen för LPI-radar, dessa utelämnas helt. Den intresserade läsaren kan utnyttja resonemanget i studien för egna jämförelser baserat på nödvändig fakta.

De scenarier som utnyttjas behandlar endast duellen mellan enskilda plattformar. Det är inte orimligt att anta att samverkan mellan flera plattformar i sammansatta förband kommer att ge synergieffekter, det är dock inget som behandlas i föreliggande studie.

1.5 Antaganden

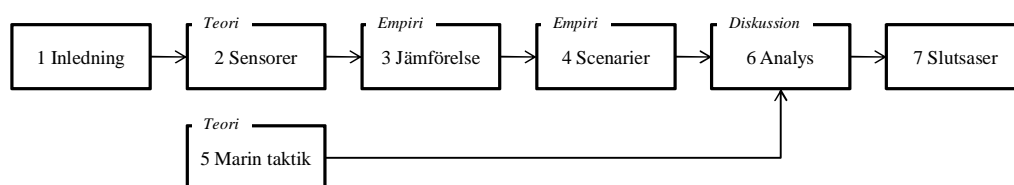
Då så krävs kommer antaganden att göras fortlöpande i arbetet.

1.6 Metod

Metoden bygger på litteraturstudier kring radar- och signalspaningssystem samt marin taktik. Genom en militärteknisk analys av dessa system och modeller av en taktisk kontext värderas nyttan av systemen mot frågeställningen. Den militärtekniska analysen och modellerna hade kunnat kompletteras med empiriska försök på befintliga system och plattformar. På samma sätt skulle intervjuer med marina chefer kunnat komplettera kapitlet med marin taktik. Jag bedömer att studien då inte hade kunnat genomföras utan att bli sekretessbelagt samtidigt som målgruppen hade minskat till att endast omfatta de redan övertygade eller skeptiker inom sjöstridskrafterna. Med föreliggande metod kommer en större målgrupp att kunna förhålla sig till empiri, analys och efterföljande diskussion.

Kapitel 1 ger läsaren en bakgrund till duellen mellan radar och signalspaning tillsammans med de frågeställningar studien avser att besvara. Kapitel 2 utgör

den teoribas kring LPI-radar och signalspaningssystem. Författare vilka är erkända namn i forskningen kring radar och signalspaningssystem har utnyttjats för denna kunskapsuppbyggnad. I kapitel 3 analyseras två kända LPI-radarsystem och den härledda teorin ur kapitel 2 används för beräkningar kring dessa båda system. I kapitel 4 utnyttjas två scenarier syftande till att värdera LPI-radarsystem i en samtida taktisk kontext. Teorin kring marin taktik avhandlas i kapitel 5 där den svenska marina doktrinen och ett marint taktiskt reglemente utnyttjas tillsammans med samtida marina militärteoretikers (jfr avsnitt 1.4) syn på taktik och teknik. Diskussionen kring resultatet ur kapitel 4 och den militära nyttan förs i kapitel 6 i slutet av vilket frågeställningen besvaras. Kapitel 7 utnyttjas för att dra slutsatser och lämna förslag till fortsatta studier i ämnet.



Figur 1.1 Metodbeskrivning.

Som källhänvisningsmetod utnyttjas *IEEE Citation Reference, 4th edition*. [1]

1.7 Centrala begrepp

Den svenska nationella resursen för signalunderrättelsetjänst är Försvarets Radioanstalt, FRA. Signalunderrättelsetjänsten bedrivs genom kommunikationsspaning, KOS (eng. signal intelligence, SIGINT), och teknisk signalspaning, TES (eng. electronic intelligence, ELINT) från fasta och rörliga plattformar. [2] Dess verksamhet skall inte förväxlas med de passiva sensorer som finns på flera av Försvarets plattformar som utnyttjas för egenskydd i ett varnar- och motmedelssystem eller som stöd för att upprätta den taktiska eller operativa lägesbilden. Begreppet signalspaningsmottagare, SIS, kommer att utnyttjas för att beskriva den sensor på ett fartyg, flygplan eller ubåt som utnyttjas till att passivt upptäcka, identifiera och positionera en radar. Denna är

en av sensorerna på nämnda plattformar och utnyttjas till lägesbildssammanställningen.

1.8 Angränsande och tidigare arbeten

Den tillgängliga litteraturen kring LPI-radar fokuserar på konstruktionen av LPI-radarsystem och de utmaningar dagens SIS- och ELINT-system står inför i och med dess förväntat ökade spridning. Jag har inte hittat något arbete vars frågeställning snuddar vid den i föreliggande studie. Någon författare vid Naval Postgraduate School, Monterey, USA har tagit sig an att studera de utmaningar en flygande plattform ställs inför vad avser upptäckt och telekriginsats mot LPI-radarsystem.

Vid FOI slutrapporterades 2008 ett projekt *SUPREM*, *svårupptäckt precisionsmålsökare* vars ena syfte var att utforma en målsökare som inte kan detekteras med dagens SIS-system. Analysen genomfördes mot plattformar i mark- och luftarenan där konstruktionskraven var centrala, inte utnyttjandet.

1.9 Material

Tillverkare kan antas vara återhållsamma med vilken information de anger i öppna källor, det kan antas att prestanda som redovisas inte är helt överensstämmande med verkligheten. Dock är detta inget som jag bedömer hämma empirin, efterföljande diskussion och slutsatser. Det jag avser att avhandla är de storleksförhållanden mellan olika systems prestanda med avseende på radar- och signalspaningsräckvidd. Läsare med mer insikt om systems exakta prestanda kan utnyttja denna kunskap och föreliggande studie till mer precisa resonemang och beräkningar. Det är förhållandet mellan radar- och signalspaningsräckvidd som är intressanta. Inte de exakta värdena.

Teoribildning kring radar och signalspaningssystem är i huvudsak hämtat ur böcker vars författare är erkända namn inom respektive område. Några artiklar

ur facktidskrifter förkommer i referenslistan då annan relevant litteratur inte stått att finna.

Taktikreglemente för Marinen har endast varit tillgänglig i förhandsutgåva. Slutlig utgåva, vilken skall skickas på remiss inom Försvarmakten, planerar man att ge ut under december 2010. Jag väljer dock att hänvisa till denna publikation även om den endast nu är tillgänglig i en provisorisk utgåva vilken kan ändras. Dock bidrar den till den nutida taktiska kontexten för utnyttjandet av de svenska sjöstridskrafterna för diskussionen.

2 LPI-radar

Akronymen LPI uttydes *low probability of intercept* vilket indikerar att den som utnyttjar en LPI-radar vill undgå upptäckt genom en motståndares passiva sensorer. Litteraturen bjuder på flera olika definitioner av LPI-radar. Pace definierar såväl LPI-radar som *low probability of identification* radar (LPID-radar). [3]

1. LPI-radar är en radar som genom låg effekt, stor bandbredd och variation i frekvens försvårar upptäckt från en signalspaningsmottagare.
2. LPID-radar är i grunden en LPI-radar men om den kan upptäckas försvåras identifiering i en mottagare genom val av bärvågsmodulation och övriga parametrar.

Vid sidan av Paces definitioner väljer Adamy [4] att beskriva LPI-radar utifrån geometrin mellan radar, mål och mottagare.

1. LPI-radarn kan upptäcka ett mål samtidigt som den själv undgår upptäckt av en signalspaningsmottagare på samma avstånd som målet men vid sidan av dess huvudlob.
2. LPI-radarn kan upptäcka ett mål samtidigt som den själv undgår upptäckt av en signalspaningsmottagare placerad på målet.

2.1 Kännetecken

Som ovan visats är det förmågan att undgå upptäckt som är det centrala i LPI-radarns uppbyggnad och utnyttjande. Genom att vidta åtgärder i sändaren och antennen kommer såväl effekt som oavsiktlig spridning av densamma att kunna kontrolleras.

2.1.1 Sändare

Vid konstruktion av en konventionell pulsradar tvingas man göra avväganden mellan effekt och pulslängd. Lång räckvidd kräver tillräcklig energi i pulsen. För en god förmåga till särskiljning av två mål i avstånd krävs en kort pulslängd. Den korta pulslängden kräver en hög pulseffekt om medeleffekten skall kunna hållas så hög som möjligt. Den höga pulseffekten är det som avgör upptäcktssannolikheten för en signalspaningsmottagare. Arbetsfaktorn d_c för en pulsradar beskriver förhållandet mellan medeleffekt P_{avg} och toppeffekt P_t som

$$d_c = \frac{P_{avg}}{P_t} \quad (2.1)$$

Arbetsfaktorn kan också skrivas som förhållandet mellan pulslängd τ_R och pulsintervall T_R

$$d_c = \frac{\tau_R}{T_R} \quad (2.2)$$

En vanlig storlek på arbetsfaktorn hos en pulsradar för navigationsändamål är $d_c=0,001$ [5].

För en modulerad continuous wave (CW) radar kommer arbetsfaktorn att vara $d_c=1$ vilket ger möjlighet att utnyttja en avsevärt lägre effekt för att uppnå samma upptäcktssannolikhet som för en pulsradar. De flesta idag förekommande LPI-radarsystemen utnyttjar CW-signaler. Genom att modulera CW-signalen periodiskt kommer såväl stor bandbredd som särskiljningsförmåga i avstånd att kunna fås. De pulskompressionstekniker som används i LPI-radartillämpningar är desamma som utnyttjas i en konventionell pulsradar.

- Linjär- eller ickelinjär frekvensmodulation, FM
- Fasmodulation, PSK
- Frekvenshopp, FSK
- Kombinerad fasmodulation och frekvenshopp, PSK/FSK

- Brusmodulation

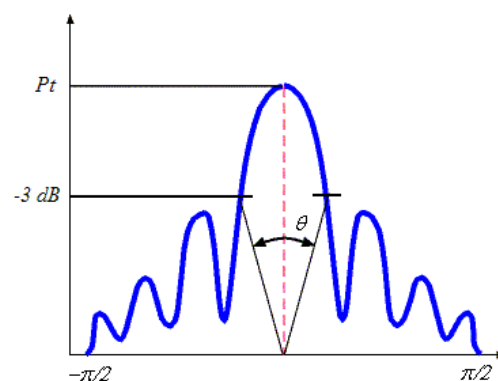
Genom ovanstående modulationstyper kommer den utsända effekten att spridas över ett brett spektrum i frekvens vilket kommer att försvåra detektion av LPI-radarn i en signalspaningsmottagare [3].

2.1.2 Antenn

Ett radarsystems förmåga att koncentrera den utsända energin i huvudloben skiljer sig inte mellan en pulsradar och en LPI-radar. Grunden för en radars funktion är att kunna ta emot och detektera så mycket energi som möjligt efter det att den sänts ut och reflekterats mot ett mål. Ur ett LPI-radarperspektiv är det av yttersta vikt att lobdiagrammet uppvisar ett lågt back- och sidolobsförhållande framförallt vid följeradartillämpningar där den utsända energin önskas mot målet och inte skall kunna detekteras av en signalspaningsmottagare vid sidan av målet (jfr. Adamys andra definition). Vid räckviddsberäkningar utnyttjas begreppet antennförstärkning G vilket kan bestämmas genom Kraus approximation [3] [5]

$$G = \eta \frac{4\pi}{\theta_a \theta_e} \quad (2.3)$$

där θ_a är lobbredden i sida i radianer, θ_e dess motsvarighet i höjd.



Figur 2.1 Definition av lobbredden vilken utgörs av den punkt där effekttätheten nedgått med 3 dB i förhållande till den maximala effekttätheten.

η är antennens verkningsgrad givet [3]

$$\eta = \frac{P_{rad}}{P_{in}} \quad (2.4)$$

Såväl [3] som [5] nämner att antennförstärkningen kan approximeras genom antennens fysiska area, A , som

$$G \approx \frac{4\pi\eta A}{\lambda^2} \quad (2.5)$$

2.2 Räckviddsbestämning

Att teoretiskt bestämma en radars prestanda med avseende på att upptäcka ett mål på ett givet avstånd är komplext. I den enklaste formen av radarekvationen tas en radars nyckelparametrar vilka påverkar upptäckten av ett mål upp. Den är på intet sätt komplett utan kan användas till att jämföra olika radarsystem med varandra.

Utsänds pulseffekten P_t från en isotrop antenn, en teoretisk runtstrålande antenn som utnyttjas där effekttätheten är lika i alla riktningar, kan effekttätheten P_d bestämmas på ytan av en imaginär sfär med radien R genom

$$P_d = \frac{P_t}{4\pi R^2} \quad (2.6)$$

där P_d mäts i W/m^2 . En radar utnyttjar dock en antenn med hög riktverkan genom att koncentrera P_t i en given riktning. Antennförstärkningen G är måttet på den ökade effekttätheten i någon riktning från antennen jämfört med den isotropa antennen genom kvoten mellan den maximala effekttätheten från en antenn med någon riktverkan i förhållande till en isotrop antenn med samma pulseffekt. Således kan P_d skrivas

$$P_d = \frac{P_t G}{4\pi R^2} \quad (2.7)$$

då en antenn med någon riktverkan utnyttjas. Endast en liten del av den utsända energin från antennen reflekteras från målet och når tillbaka till mottagaren. Endast den del av energin som reflekteras tillbaka i riktning mot radarn kan utnyttjas. Målets geometri bestämmer storleken på radarmålarean σ vilken är den storhet som bestämmer hur stor del av effekten P_r som reflekterats av målet. Denna effekt sprids sfäriskt varför effekten som återvänder till radarantennen, P_r , reduceras med faktorn $4\pi R^2$

$$P_r = \frac{P_t G}{4\pi R^2} \cdot \frac{\sigma}{4\pi R^2} \quad (2.8)$$

Radarmålarean (jfr 2.3) mäts i m^2 vilket inte står i proportion till dess faktiska storlek utan är ett mått på hur effektiv reflektionen från målet kan anses vara. Endast en del av den energi som återvänder från målet kan tas emot i radarantennen, vilket bestäms av den effektiva antennarean A_e . Den effektiva antennarean förhåller sig till den fysiska arean A som

$$A_e = \eta A \quad (2.9)$$

där η är antennens verkningsgrad, då kan P_r skrivas

$$P_r = \frac{P_t G}{4\pi R^2} \cdot \frac{\sigma}{4\pi R^2} \cdot A_e = \frac{P_t G A_e \sigma}{(4\pi)^2 R^4} \quad (2.10)$$

En radars maximala upptäcktsavstånd R_{max} är det avstånd bortom vilket ett visst mål inte kan upptäckas. Detta inträffar då P_r är lika med den minsta detekterbara signalen S_{min} . Ersätter vi P_r med S_{min} i ekvation 2.10

$$S_{min} = \frac{P_t G A_e \sigma}{(4\pi)^2 R^4} \quad (2.11)$$

och löser ut R_{max}

$$R_{max}^4 = \frac{P_t G A_e \sigma}{(4\pi)^2 S_{min}} \quad (2.12)$$

fås den grundläggande radarekvationen. Utnyttjas samma antenn för sändning och mottagning, vilket är det vanligaste fallet i radartillämpningar, ges sambandet mellan antennförstärkning G och den effektiva antennarean A_e av ekvation 2.5. Substitueras denna i ekvation 2.12 för G fås

$$R_{max}^4 = \frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 S_{min}} \quad (2.13)$$

vilken även benämns ekvationen för tvåvägsutbredning.

2.3 RCS

Radarmålarean (eng. Radar Cross Section, RCS) är den storhet som beskriver hur mycket av den utsända energin som reflekteras från målet tillbaka till mottagaren, dess storlek kan bestämmas genom att mäta verkliga mål, skalm modeller eller beräknas. Storleken beror på målets dimensioner i förhållande till radarns våglängd. Då våglängden är lång i förhållande till målets storlek är reflektionen i Rayleigh-området, inom vilket radarmålarean är proportionell mot frekvensen upphöjt till fyra och bestäms i större utsträckning av målets volym än av dess form. För radarfrekvenser kan reflektionen från regn beskrivas som Rayleigh-spridning. Då våglängden i förhållande till målet är kort sägs reflektionen befinna sig i det optiska området. Storleken på radarmålarean bestäms då mer av målets aspektvinkel och geometrin som projiceras mot mottagaren än målets fysiska storlek. Reflektioner från exempelvis fartyg och flygplan befinner sig i det optiska området. Mellan Rayleigh- och det optiska området befinner sig resonansområdet, där våglängden och målets dimensioner överensstämmer. För många föremål är radarmålarean högre i resonansområdet jämfört med de övriga två. [5]

Radarmålarean på militära system omges ofta av sträng sekretess, framförallt då medvetna beslut tagits i designprocessen för att minska radarmålarean. Således får nedanstående tabell ses som närmevärden på olika typer av måls radarmålarean. Som ovan beskrivits kommer radarmålarean i det optiska

området att förändras med aspektvinkeln och kan sällan beskrivas med ett värde.

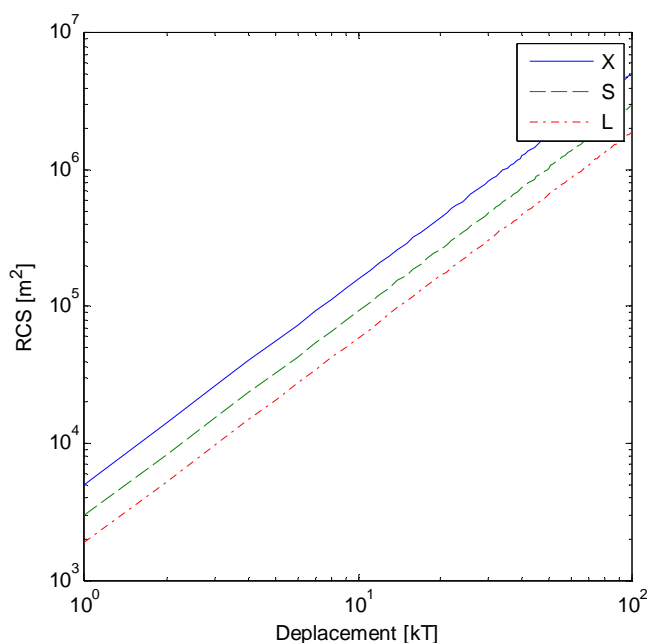
Måltyp	RCS m ²
Sjömålsrobot	0.1
Mindre jaktflygplan	1
Mindre öppen båt, > 6m	2
Tvåsitsigt jaktflygplan	2
Helikopter	3
Större båt, > 15 m	6
Taktiskt transportflygplan	40
Strategiskt transportflygplan	100
Fartyg i aspektvinkel över horisontalplanet	Deplacementet i m ²
Fartyg betraktade i horisontalplanet	Jämför figur 2.2

Tabell 2.1 Exempel på radarmålarea inom våglängdsområdet 0,03-0,10 m [5].

Skolnik anger för fartyg som betraktas i vinklar nära horisontalplanet ett empiriskt samband baserat på mätningar av radarmålarean för örlogsfartyg med deplacement från 2 000 till 17 000 ton till

$$\sigma = 52f^{1/2}D^{3/2} \quad (2.14)$$

där f är frekvensen i megahertz och D fartygets deplacement i kiloton. Resultatet beskriver medelvärdet av radarmålarean mellan 45° och 135° i förhållande till långskeppsriktningen [5]. Mätningarna är genomförda under tidigt 1970-tal och skall enligt min uppfattning ställas i relation till hur örlogsfartyg var designade vid den tiden. Min uppfattning är att med nutida, medvetna, RCS-reducerande åtgärder i designprocessen kommer ekvation 2.14 inte att fylla sitt syfte likt den en gång gjorde.



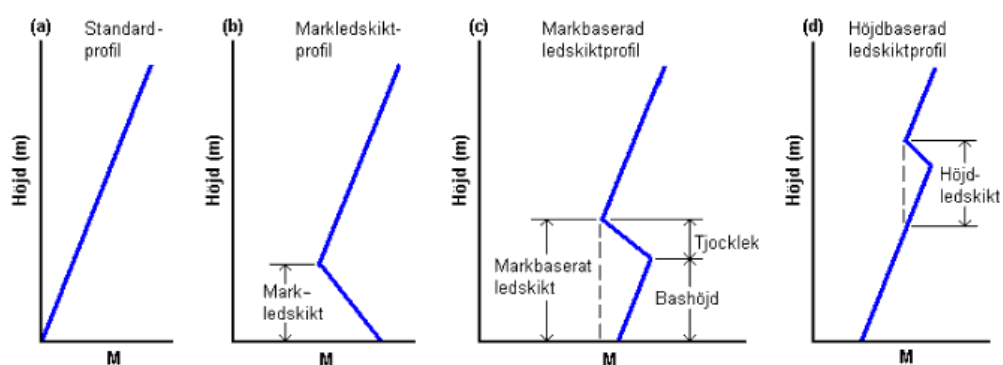
Figur 2.2 Medelvärde av radarmålearean mellan 45° och 135° i förhållande till längskeppsriktningen som resultat av ekvation 2.14 för frekvenserna 9,3; 3,2 och 1,3 GHz.

2.4 Vågutbredning

Radarrågor utbreder sig i atmosfären på liknande sätt som ljus, dämpningens variation är väderberoende och en radars räckvidd mot ett visst mål kommer att variera mellan olika tidpunkter på dygnet eller mellan olika årstider. Hög luftfuktighet dämpar radarrågorna mer än torr luft, längre våglängd påverkas mindre än kortare våglängder. Brytningen av radarrågorna i atmosfären medför att radarhorisonten ligger bortom den geometriska horisonten. Som ett närmevärde för normala förhållanden kan sägas att radarhorisonten ligger omkring 15 % bortom den geometriska. [6]

Utbredningen av radarrågor i atmosfären beror på den vertikala brytningsindexprofilen vilken i sin tur beror på de vertikala profilerna för lufttemperatur, luftfuktighet och lufttryck. Storleken på refraktivitetsgradienten kommer att påverka utbredningen olika. I huvudsak delas utbredningsförhållanden in i fyra kategorier: undernormal, normal, övernormal och fångning (ledskikt). Undernormal innebär att strålningen böjer av mindre ner mot jordytan än vid normala förhållanden. Övernormal innebär att strålningen böjer av kraftigare ner mot jordytan och följer denna längre än vid

normala utbredningsförhållanden. Vid fångning sker utbredningen mellan två lager eller ett lager och jordytan. Profilerna b och c ur figur 2.3 visar på utbredningsförhållanden som ofta uppstår då torr och varm luft blåser ut över ett kallt hav. Beroende på om en radarantenn befinner sig över eller under ledskiktets övre gräns kommer att vara avgörande för möjligheten att upptäcka ett mål över eller under detsamma. Beroende på de långsamma temperaturvariationerna till havs kan ledskikt finnas kvar under flera veckor innan de upplöses. [7]



Figur 2.3 Den vertikala modifierade refraktivitetsgradienten, M, som funktion av höjden för fyra olika ledskiktprofilerna [7].

Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI, har utvecklat ett verktyg till Försvarsmakten för utvärdering av aktuella räckviddsförhållanden. Sedan 1989 används programmet lokal brytningsindexmodell, LBM, ombord på ett flertal av Försvarsmaktens fartyg. Programmet beräknar och ger en uppskattning av aktuella vågutbredningsförhållanden baserat på mätningar av lufttemperatur, luftfuktighet, vattentemperatur och vindhastighet. Värdena samlas in automatiskt och ger en grafisk presentation av bland annat strålbanor och ledskiktshöjd. [7] Ett mer omfattande verktyg för prediktion och uppföljning är Advanced Refractive Effects Prediction System, AREPS. Utöver de beräkningar som görs av LBM hanterar AREPS även upptäcktssannolikheter av olika måltyper, SIS- och kommunikationsräckvidder. [8]

2.5 SIS-räckvidd mot LPI-radar

Från en radar sänds effekten P_d ut

$$P_d = \frac{P_t G_r}{4\pi R^2} \quad (2.15)$$

mot en SIS-mottagare med någon antenn med egenskaperna A_{ei} och G_i

$$A_{ei} = \frac{G_i \lambda^2}{4\pi} \quad (2.16)$$

Vid SIS-mottagaren är då effekttätheten P_{di}

$$P_{di} = \frac{P_t G_r}{4\pi R^2} \cdot A_{ei} = \frac{P_t G_r G_i \lambda^2}{(4\pi)^2 R^2} \quad (2.17)$$

R_{imax} blir det avstånd då P_d är lika med mottagarens minsta detekterbara signal, S_{imin} . Ersätter vi P_{di} med S_{imin}

$$S_{imin} = \frac{P_t G_r G_i \lambda^2}{(4\pi)^2 R^2} \quad (2.18)$$

Och löser ut avståndet R_{imax} då detta inträffar fås ekvationen för envägsutbredning [3], [10]

$$R_{imax}^2 = \frac{P_t G_r G_i \lambda^2}{(4\pi)^2 S_{imin}} \quad (2.19)$$

Jämfört med 2.13 är målets egenskaper utelämnade. G_i har tillförts som SIS-mottagarantennens riktverkansegenskaper i riktning mot den sändande radarn. Då G_r betecknar den sändande antennens riktverkan i huvudloben avser ekvation 2.19 att bestämma R_{imax} mot huvudlob. S_{imin} betecknar SIS-mottagarens minsta detekterbara signal, även här har transmissionsvinster förluster utelämnats och är likt 2.13 en del i faktorn S_{imin} . [10]

En radar är ofta koherent, dvs. att mottagaren känner till vilken signal med avseende på frekvens och eventuell pulskompression som sänts ut. Mottagaren i radarn känner då till hur den signal som skall tas emot bör se ut, den kan förkasta signaler som inte kan antas komma från den egna sändaren utan vara optimerad för att ta emot just den signal som sänts ut. En SIS-mottagare kommer, om den inte exakt vet vilken signal som skall tas emot, att tvingas utnyttja en stor bandbredd för att inte missa detektion av någon signal. På samma sätt som en radar kommer en SIS-mottagare att tvingas integrera fler pulser för att en emitter skall registreras som mottagen. Systemet, ofta bestående av flera mottagare, kan vara designat för att utnyttjas inom ett stort frekvensområde, kanske upp till 20 GHz och den enskilda mottagaren i systemet kan ta emot signaler över bandbredder upp till 4 GHz. [3], [10]

Baserat på ovanstående skall ekvation 2.19 ses som ett verktyg att utnyttjas för att resonera kring de storheter som påverkar R_{imax} mot en viss radar. Däremot kan den inte utnyttjas som ett verktyg för beräkning av exakta R_{imax} .

Traditionellt sett delas mottagare in i tre kategorier: radarvarnare, SIS-mottagare och ELINT-mottagare. Radarvarnare (eng. RWR) är utformade för att bearbeta information tidskritiskt över stora frekvensområden. De är ofta integrerade i ett automatiserat varnar- och motmedelssystem, utan stora påverkansmöjligheter från operatören. SIS-mottagare (eng. ESM) bemannas ofta av en operatör och informationen behandlas något mindre tidskritiskt. Vanligen utnyttjas dessa för att bearbeta information för att bygga den taktiska lägesbilden. ELINT-mottagare används för att analysera prestanda och uppbyggnad av de system vilka den spanar emot. Vanligtvis används informationen för att bygga databaser kring främmande radarsystem och som underlag för operativa och strategiska bedömningar. Informationen bearbetas betydligt mindre tidskritiskt än i de båda tidigare nämnda systemen. [3]

Prestanda för SIS-mottagare är ofta omgärdat med stark sekretess. Följande enkla tabell kan dock tjäna som riktvärde för olika klasser av system [11].

System med högre känslighet finns men utnyttjas då främst för ELINT och SIGINT och inte för taktiska ändamål.

Beskrivning	Känslighet [dBmi]
Helikopterbaserat autonomt system ofta integrerat i ett komplett EW-system med möjlighet till aktiva åtgärder och motmedelsåtgärder.	-40
Operatörsstöttat eller halvautonomt system på ubåtar och flygplan.	-60
Operatörsstöttat system på större ytfartyg.	-80

Tabell 2.2 Klassificering av SIS-mottagare och dess känslighet.

En LPI-radar har jämfört med bakgrundsbruset en liten effekt som skall detekteras av en sis-mottagare. För att bestämma R_{imax} (jfr. ekvation 2.19) utnyttjas radarns P_t . I en LPI-radar, framförallt den som utnyttjar FMCW-teknik där P_t är samma som P_{avg} , kommer R_{imax} att bli avsevärt lägre än för den konventionella radarn. Ännu har inte tillverkarna av sis-system hunnit ikapp i duellen mellan LPI-radar som medel och SIS som motmedel, utan dagens SIS-system är optimerade att spana efter konventionella pulsradarsystem. Wiley skriver (2006) att radartillverkare gör ett strategiskt misstag om de antar att sistillverkare inte kommer att ta hänsyn till utvecklingen av LPI-radar. [10] Efter en översiktlig analys av ITT, Thales, Rafael och Saabs produktblad över tillgängliga SIS-system som erbjuds hittades ett system där prestanda mot CW-radar fanns angiven. I produktbladet till ITT ES-5080 anges att systemet har en känslighet ner till -120 dBmi mot CW-radar. Till skillnad från många av dagens tillgängliga SIS-system utnyttjar ES-5080 digital mottagarteknik [12].

3 Jämförelse

Två befintliga system och dess prestanda kommer att jämföras med avseende på R_{max} och R_{imax} . Genom kännedom om dess förmåga att detektera ett visst mål på ett givet avstånd kan ekvation 2.13 utnyttjas till att söka S_{min} . Därefter kan R_{max} beräknas för olika radarmålarea, σ , på olika avstånd tillsammans med R_{imax} för en SIS med olika S_{imin} .

3.1 Pilot

Under 1988 utvecklades vid Philips Research Laboratory en tyst radar vilken sedermera blev känd som Pilot. Idag tillverkas Pilot av Saab och är snarlik med Thales LPI-radar Scout. Pilot utnyttjar FMCW-teknik på X-bandet och kan köpas som fristående produkt eller integreras i ett befintligt radarsystem genom att tillföra sändare och mottagare. Effekten är variabel i fyra steg och är kopplade till fyra olika instrumenterade avstånd. Dessa kommer att påverka bredden på frekvenssvepet och modulationshastigheten.

Uteffekt	1; 0,1; 0,01; 0,001 W (CW)
Arbetsfaktor, d_c	1
Frekvens	9,375 GHz
Antennvinst	30 dB

Tabell 3.1 Några tekniska parametrar för Pilot. [3]

Pace skriver att Pilotradarn kan upptäcka ett 100 m² stort mål på 28 km [3]. Enligt 2.13 bestäms S_{min} genom

$$S_{min} = \frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 R^4} \quad (2.16)$$

med värden ovan insatt

$$S_{min} = \frac{1 \cdot 1000^2 \cdot 0.032^2 \cdot 100}{(4\pi)^3 \cdot 28000^4} = 8.4 \cdot 10^{-17} W \quad (2.17)$$

eller -130 dBm.

S_{min}	$8,4 \cdot 10^{-17} \text{ W}$	-130 dBm
-----------	--------------------------------	----------

Tabell 3.2 S_{min} för Pilot.

3.2 AMB

Ett konventionellt pulsradarsystem som kan utnyttjas i en av tillverkaren benämnd LPI-mod är Saabs Sea Giraffe AMB. Systemet används idag av flera mariner och kan förutom att sända i normalmod sända med låg uteffekt. AMB är en helkoherent radar på C-bandet som i det utförande som används i svenska Marinen utnyttjar en fasstyrd antenn.

Toppeffekt, P_t	22 kW eller 3 W
Medeleffekt, P_{avg}	500 W eller 0.07 W
Arbetsfaktor, d_c	0,024
Frekvens	5,4-5,85 GHz
Antennvinst, sändning	33 dB
Antennvinst, mottagning	27 dB

Tabell 3.3 Några tekniska parametrar för AMB. [13]

På samma sätt kan S_{min} för AMB beräknas då det är känt att denna i normalmod med 500 W medeleffekt kan upptäcka ett mål med 1 m^2 radarmålearea på 46 km avstånd [14], enligt ekvation 2.14 bestäms S_{min} till

$$S_{min} = \frac{500 \cdot 1000^2 \cdot 0.053^2 \cdot 1}{(4\pi)^3 \cdot 46000^4} = 1.6 \cdot 10^{-16} \text{ W} \quad (2.18)$$

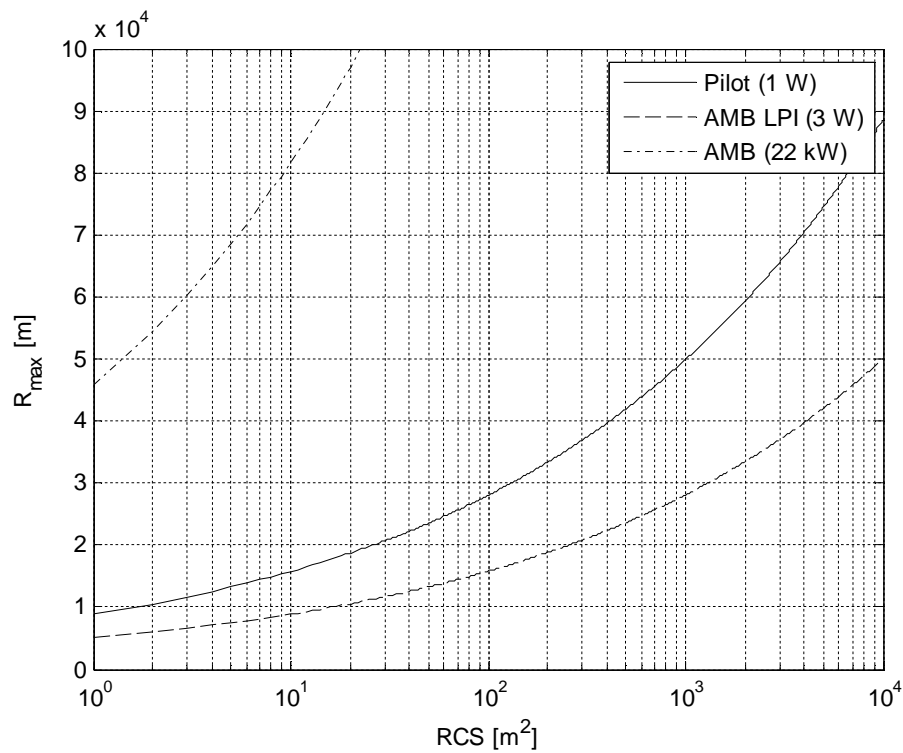
eller -128 dBm. Då samma mottagare används oavsett om systemet utnyttjar P_t 22 kW eller 3W är det möjligt att använda dessa värden i syfte att bestämma S_{min} oavsett vilken P_t som utnyttjas.

S_{min}	$1,6 \cdot 10^{-16} \text{ W}$	-128 dBm
-----------	--------------------------------	----------

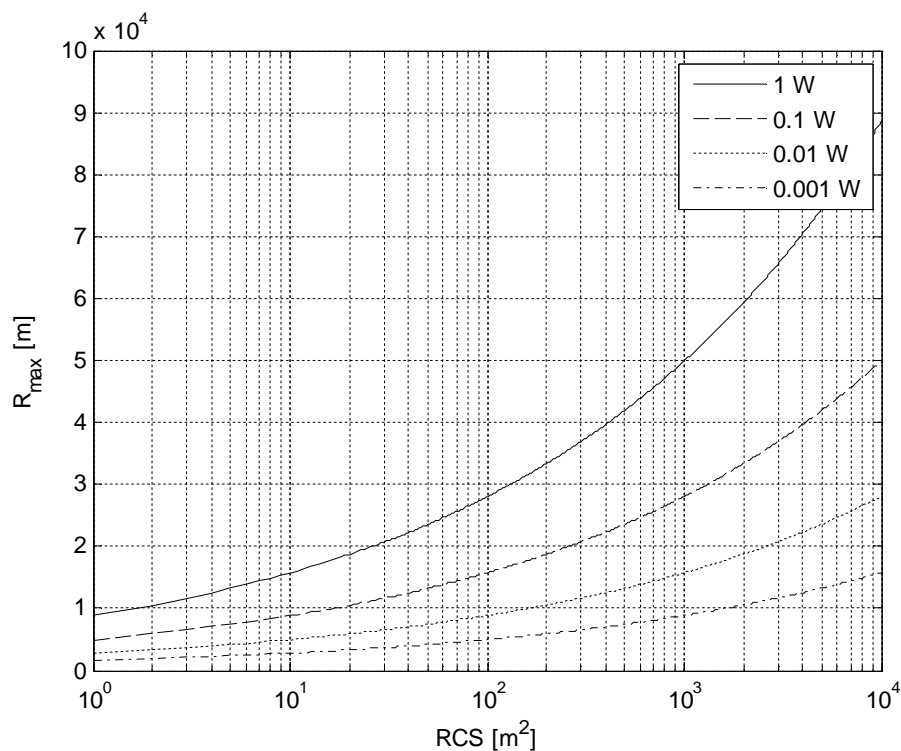
Tabell 3.4 S_{min} för AMB

3.3 R_{max}

Med de nu kända värdena för Pilot respektive AMB S_{min} kan ekvation 2.13 användas för att beräkna dessa bådas R_{max} mot ett mål med en viss radarmålarea, resultatet visas i figur 3.1 och figur 3.2.



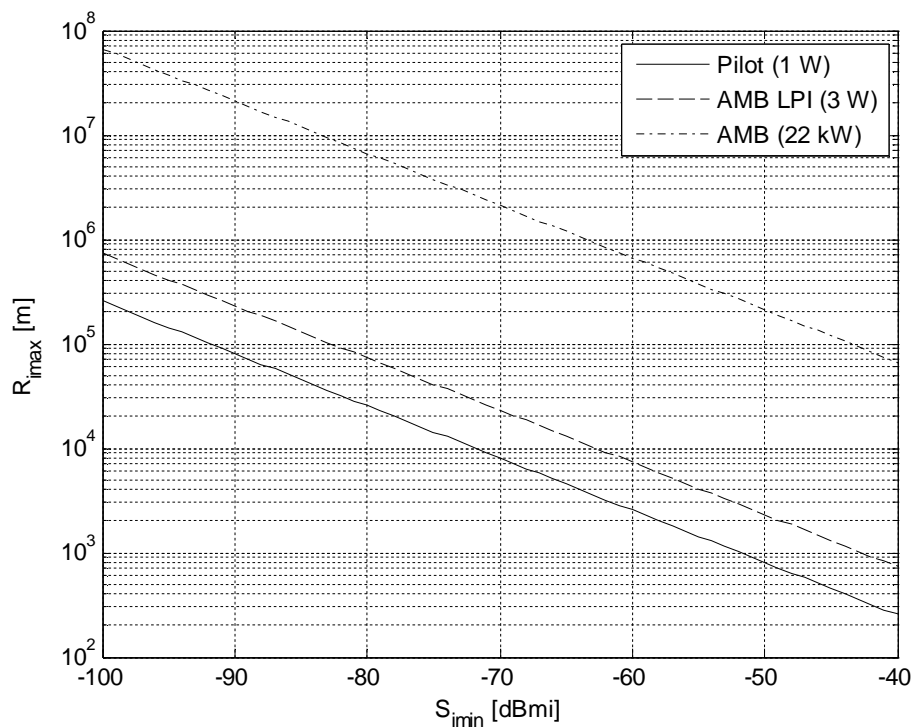
Figur 3.1 R_{max} för Pilot och AMB som funktion av målets radarmålarea.



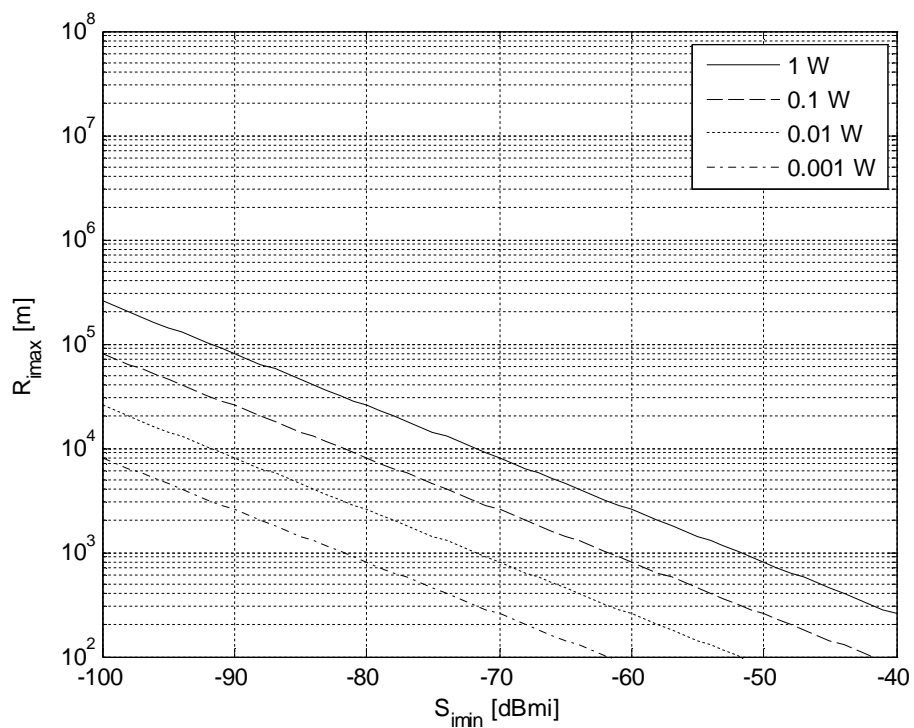
Figur 3.2 R_{max} för Pilot i dess fyra effektlägen.

3.4 R_{imax}

För samma resonemang för en sis-mottagares förmåga att detektera dessa båda radarsystem utnyttjas kunskapen om radarns P_t (jfr tabell 3.1 och tabell 3.3) och sis-mottagarens S_{imin} (jfr 0). Låter vi S_{imin} gå från -40 till -100 dBmi och bestämmer R_{imax} som funktion av denna enligt ekvation 2.15 erhålls resultatet i figur 3.3 och figur 3.4.



Figur 3.3 R_{max} mot Pilot och AMB som funktion av S_{min} för någon sis-mottagare.



Figur 3.4 R_{max} mot Pilot i dess fyra effektlägen som funktion av S_{min} för någon sis-mottagare.

3.5 Sammanfattning

Pilot har ett kortare R_{imax} jämfört med AMB i såväl LPI- som normalmod. AMB LPI har ett kortare R_{max} jämfört med Pilot som nyttjar 1 W effekt, AMB LPI har ett jämförbart R_{max} med Pilot som utnyttjar 0,1 W effekt. AMB LPI och Pilot har ett avsevärt kortare R_{max} än AMB i normalmod. Resultatet som presenteras i figur 3.1 till figur 3.4 används för analysen i kapitel 4.

4 Scenarier

För att analysera den militära nyttan med LPI-radar kommer jag att med utgångspunkt från historiska händelser formulera två scenarier i vilka utnyttjandet av radar är central och ger den som använder denna fördelar i lägesuppfattningen. I scenariot görs plattformarna generiska för att analysen inte skall få någon nationell prägel, förmågan och nyttan med LPI-radar är det som avses vara centralt i resonemanget. Plattformarnas radarmålarea är baserad på resonemanget i avsnitt 2.3, då inga uppgifter kring hur stor radarmålarea en ubåts radarmast kan tänkas uppvisa har denna antagits till värdet som visas i tabell 3.1 enligt resonemang ovan. De radarsystem som används i de båda scenarierna är baserade på de som undersökts i kapitel 3, de kommer att benämnas LPI FMCW och LPI Puls.

4.1 Scenario 1, torpedanfall från ubåt

Den 2 maj 1982, under Falklandskriget mellan Storbritannien och Argentina, anfölls och sänktes den argentinska kryssaren Belgrano av den brittiska ubåten HMS Conqueror. Anfallet genomfördes med en äldre typ av torped, Mk8, utan målsökare, utan möjlighet till styrning och utan zonrör. En nyare typ av torped, Tigerfish, med längre räckvidd, trådstyrning och aktiv målsökare fanns tillgänglig men bedömdes, av anledning som inte närmare angivits, ha samma verkan eller tillförlitlighet som den äldre tillgängliga torpeden. Anfallet genomfördes med tre Mk8-torpeder på periskopdjup från 1 300 meters avstånd. [15]

4.1.1 Beskrivning av scenario 1

En ubåt skall anfalla ett ytmål med torped. Dagens torpeder har förmågor som inte kan jämföras med de som utnyttjades 1982, utan har förbättrade prestanda. Räckvidder om 50 km, trådstyrning och målsökare med såväl aktiv som passiv sonar och förmåga att bekämpa ytfartyg och ubåt är vanliga förmågor. [16] Räckvidden ger möjligheten att anfalla ett mål bortom den optiska horisonten.

Scenariot utvärderas mot två typer av ubåtar, en med LPI-radar och en med konventionell pulsradar med låg toppeffekt (jfr avsnitt 3) mot tre olika mål med skillnad i radarmålarea. Förmågan att kunna fastställa målets läge med hjälp av radar och samtidigt undgå upptäckt av motståndarens SIS-mottagare är vad som avses värderas i scenariot. Anledningarna till att vilja fastställa målets position med hjälp av radar kan vara många: begränsad optisk sikt, målet bortom optisk räckvidd och korrelation mellan sonarbäring och radareko kan illustrera några anledningar.

	Ubåt 1	Ubåt 2	Mål 1	Mål 2	Mål 3
Radar	LPI FMCW	LPI Puls	N/A	N/A	N/A
SIS	N/A	N/A	-80 dBmi	-80 dBmi	-80 dBmi
RCS	1 m ²	1 m ²	10 000 m ²	1 000 m ²	100 m ²
Höjd	1 m	1 m	20 m	20 m	20 m
RR/SIS					
Ann.	R_{max} och R_{imax} beräknas för radarns fyra effektlägen.				

Tabell 4.1 Plattformsbeskrivning scenario 1.

4.1.2 Värdering

Ubåten bär torped med en maximal räckvidd om 50 km och anfaller målet från 19 km baserat på avståndet till den geometriska horisonten, radar utnyttjas för att fastställa målets läge. Beräknas R_{max} och R_{imax} för ubåt 1 och 2 mot förkommande mål i scenariot fås:

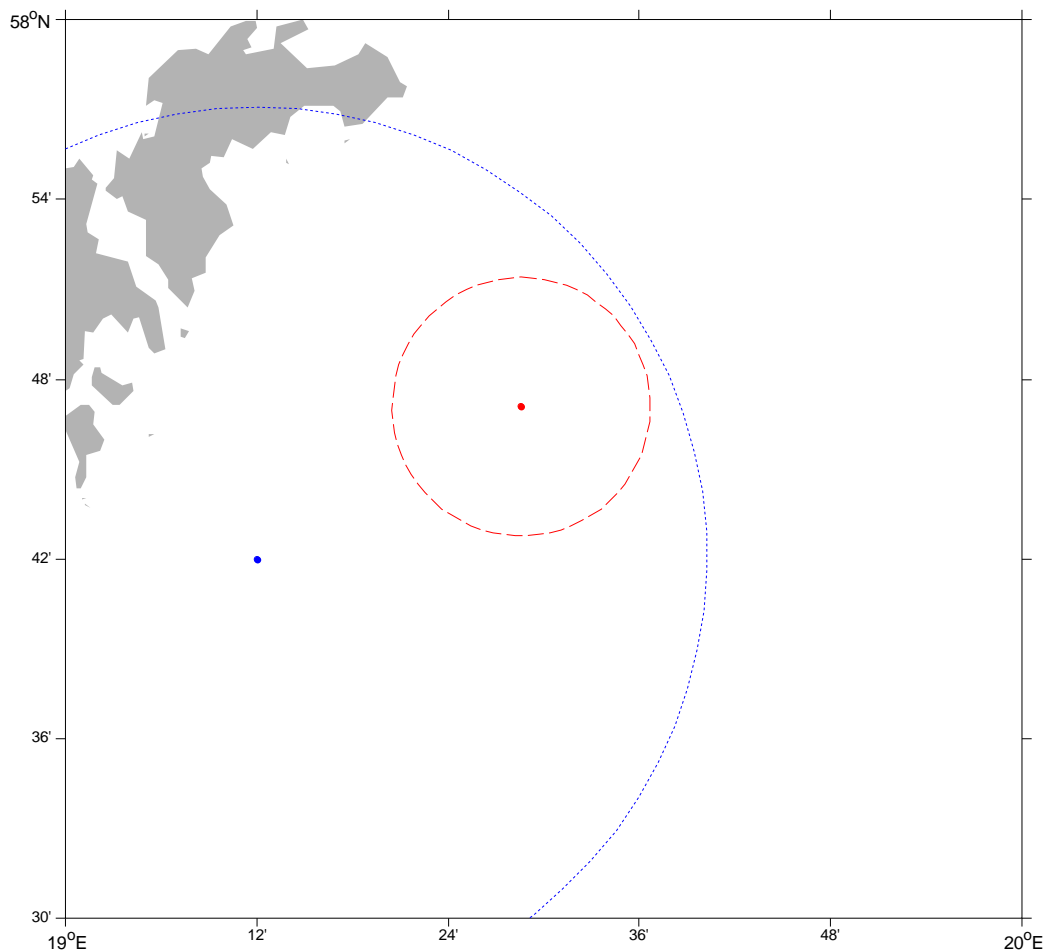
	Mål 1	Mål 2	Mål 3
R_{max} Ubåt 1; 1 W	89 km	50 km	28 km
R_{max} Ubåt 1; 0,1 W	50 km	28 km	16 km
R_{max} Ubåt 1; 0,01 W	28 km	16 km	9 km
R_{max} Ubåt 1; 0,001 W	16 km	9 km	5 km
R_{max} Ubåt 2	50 km	28 km	16 km

Tabell 4.2 Maximalt upptäcktsavstånd R_{max} för ubåt mot målen ingående i scenariot.

	Ubåt 1	Ubåt 2
R_{imax} Mål	25 km (1 W)	73 km
	8 km (0,1 W)	
	3 km (0,01W)	
	0.8 km (0,001 W)	

Tabell 4.3 SIS-mottagarens, på målet, maximala upptäcktsavstånd R_{imax} mot scenariots ubåt.

För att undgå upptäckt behöver ubåt 1 utnyttja Pilotradar med 0.1W uteffekt och kommer då att kunna detektera mål 1 och mål 2, mål 3 kommer inte att kunna upptäckas. För att upptäcka mål 3 behövs 1W uteffekt användas men då kommer ubåt 1 inte att undgå upptäckt från målet. Ubåt 2 kan inte genomföra scenariot utan att undgå upptäckt från målets sis-mottagare. Det gynnsamma utfallet mellan ubåt 1 och mål 1 samt mål 2 visas i figuren nedan.

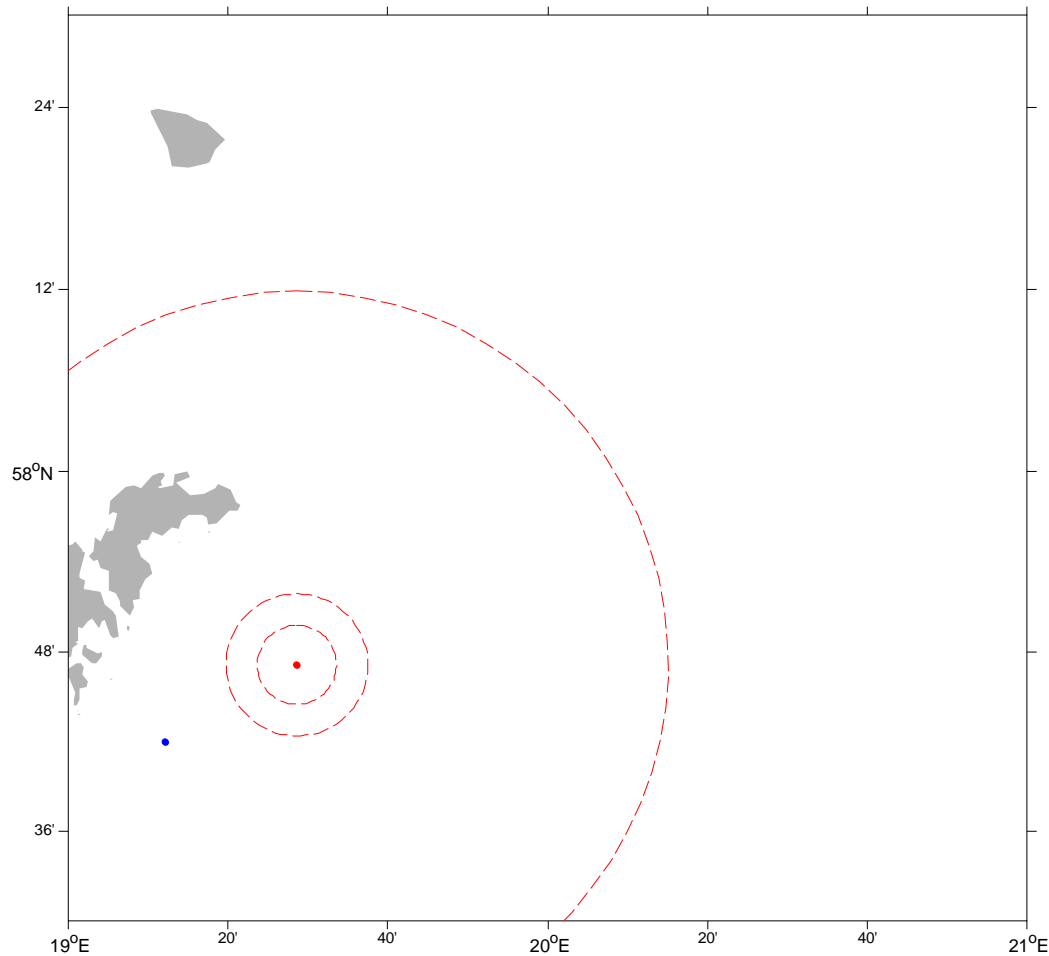


Figur 4.1 Geometri över ubåt 1 anfall mot mål 2. Blå punkterad linje visar R_{max} vid 0.1 W effekt. Röd streckad linje visar mål 2 R_{imax} mot ubåt 1.

Vilka möjligheter har då målet att upptäcka ubåten med radar i scenariot?
 Prövar vi tre olika radarsystem och söker målets R_{max} mot ubåten finner vi:

	R_{max} Mål LPI FMCW(1W)	R_{max} Mål LPI Puls	R_{max} Mål Puls
Ubåt	8,8 km	4,9 km	46 km

Tabell 4.4 R_{max} för något mål, med olika radarsystem, mot ubåt.



Figur 4.2 Geometri över målets R_{max} (ur tabell 3.1) mot ubåt. Notera förändringen i skala från figur 4.1.

4.1.3 Sammanfattning

Genom att utnyttja en LPI-radar med FMCW-teknik och variabel uteffekt kan ubåten genomföra anfallet beskrivet ovan med hjälp av radar samtidigt som den undgår upptäckt från målets sis-mottagare. Det krävs att sändningen påbörjas med låg effekt för att sedan öka. Det är dock möjligt att från målet, beroende på radarsystem, upptäcka ubåtens radarmast.

4.2 Scenario 2, radarmålsökande sjömålsrobot

Under konflikten mellan Israel och Libanon träffades ett israeliskt ytstridsfartyg, INS Hanit, av en sjömålsrobot som avfyrats av Hizbollah från libanesiskt territorium. Sjömålsroboten var iransk av typen Noor vilken är radarmålsökande och anfaller målet i slutfasen på en höjd om 5 meter. Det israeliska fartyget var vid tillfället utrustat med flera av varandra oberoende luftvärnssystem, trots detta lyckades roboten att träffa fartyget utan att någon åtgärd vidtagits från det israeliska fartyget. Utsagor från den israeliska marinen slår fast att det var okunskapen om att Hizbollah hade tillgång till detta vapensystem som gjorde att fartyget träffades trots tillgången till luftförsvarssystem. Dessa var nämligen inte driftsatta vid anfallet. [17], [18]

4.2.1 Beskrivning av scenario 2

En sjömålsrobot är utrustad med en radarmålsökare av LPI-radartyp med FMCW-teknik och variabel uteffekt. Med hänsyn till de förväntat korta avstånden då roboten utnyttjar sin radarmålsökare kommer inte någon annan radartyp att värderas i detta scenario baserat på beräkningarna i kapitel 3. Sjömålsroboten avfyras från någon plattform mot ett givet målläge. Både för att bekräfta målläget som för att styra roboten mot målet i slutfasen används denna radar. Kan roboten anfalla ett mål utan att upptäckas av målets sis-mottagare och hur lång blir tiden mellan upptäckt och träff? Förmågan att roboten kan anfalla ett fartyg utan att upptäckas av dess sis-mottagare skall värderas i scenariot. Fartygets förmåga att upptäcka en anfallande radarmålsökande sjömålsrobot baseras såväl på utnyttjandet av egen radar som SIS. Utöver detta kommer tiden från det att roboten upptäcks till dess att den träffar målet vara avgörande för fartygets förmåga att försvara sig mot anfallet. Två typer av robotar kommer att värderas, en med underljudsfart och en med överljudsfart. [19]

	Robot 1	Robot 2	Mål 1	Mål 2	Mål 3
Fart	330 m/s	850 m/s	N/A	N/A	N/A
RCS	0.1 m ²	0.1 m ²	10 000 m ²	1 000 m ²	100 m ²
Sis	N/A	N/A	-80 dBmi	-80 dBmi	-80 dBmi
Radar	LPI FMCW	LPI FMCW	N/A	N/A	N/A
Höjd radar/SIS	5 m	5 m	20 m	20 m	20 m

Tabell 4.5 Plattformsbeskrivningar för scenario 2.

4.2.2 Värdering

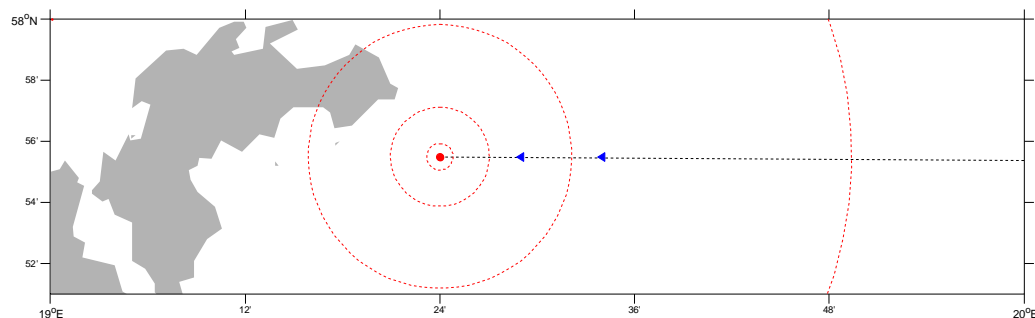
Sjömålsroboten avfyras mot ett mål, anflygningen sker under målets radarhorisont på så pass låg höjd att bekämpning från målets luftvärnsrobotsystem försvåras. Bekräftelse av målläget görs 30 s innan träff genom att målsökaren startas, krävs det på grund av avståndet till målet sker en upptagning i höjd för att komma över radarhorisonten, således kommer roboten att vara synlig över radarhorisonten från målet sett vid sändningstillfällena. Sändning sker under 3 s därefter stängs målsökaren av och slutfasen inleds med anflygning på lägsta höjd, 15 s innan bedömd träff startas åter målsökaren och följer målet intill träff. [20]

	Mål 1	Mål 2	Mål 3
R_{max} Robot, 1 W	89 km	50 km	28 km
R_{max} Robot; 0,1 W	50 km	28 km	16 km
R_{max} Robot; 0,01 W	28 km	16 km	9 km
R_{max} Robot; 0,001 W	16 km	9 km	5 km

Tabell 4.6 Maximal räckvidd R_{max} för robot med tre olika effektlägen mot mål med olika RCS i scenario 2.

	Robot; 1 W	Robot; 0,1 W	Robot; 0,01 W	Robot; 0,001 W
R_{imax} Mål	25 km	8 km	3 km	0,8 km

Tabell 4.7 Målets SIS-mottagares maximala upptäcktsavstånd R_{imax} mot robot med tre olika effektlägen i scenario 2.



Figur 4.3 Målets R_{max} mot robot 1 ur tabell 4.7.

	D-30 s	D-15 s
Robot 1	9 900 m	4 950 m
Robot 2	25 500 m	12 750 m

Tabell 4.8 Avstånd från robot till mål vid start av radarsändning för bekräftelse av målläge samt för slutfasstyrning.

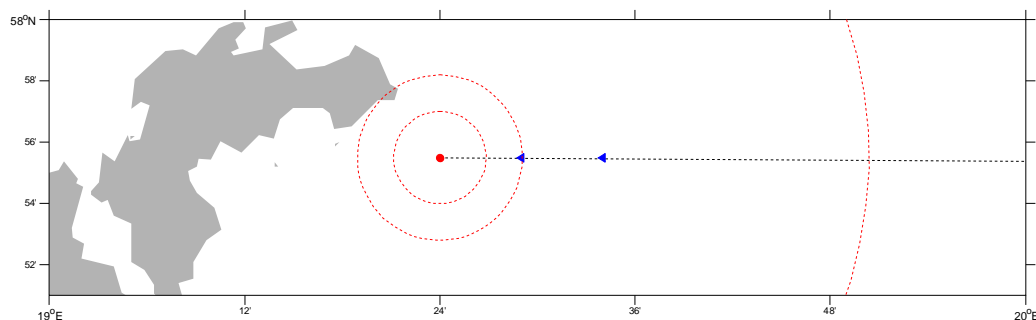
	Mål 1	Mål 2	Mål 3
Robot 1	Med 0,001 W effekt kan målet upptäckas och följas. 800 m eller 2,4 s innan träff upptäcks robotens emission.	Med 0,01 W effekt kan målet upptäckas och följas. 3 000 m eller 9,1 s innan träff upptäcks robotens emission.	Med 0,1 W effekt kan målet upptäckas och följas. 8 000 m eller 24,2 s innan träff upptäcks robotens emission.
Robot 2	Med 0,01 W effekt kan målet upptäckas och följas. 3 000 m eller 3,5 s innan träff upptäcks robotens emission.	Med 0,1 W effekt kan målet upptäckas och följas. 8 000 m eller 9,4 s innan träff upptäcks robotens emission.	Med 1 W effekt kan målet upptäckas och följas. 25 000 m eller 29,4 s innan träff upptäcks robotens emission.

Tabell 4.9 Utfall av scenario 2.

På vilket avstånd kommer målet, med något radarsystem, att upptäcka roboten? Avståndet till den geometriska horisonten mellan mål och robot, med höjder enligt tabell 4.5, är 23,9 km, skall roboten detektera målet vid de två tillfällena, 30 s respektive 15 s innan träff, kommer den att behöva befinna sig ovanför den geometriska horisonten om detektions skall kunna säkerställas. Således kommer roboten vid dessa tillfällen att befinna sig över den geometriska horisonten.

	R_{max} Mål LPI FMCW (1W)	R_{max} Mål LPI Puls	R_{max} Mål Puls
Robot	5 km	2,8 km	26 km

Tabell 4.10 R_{max} för något mål, med olika radarsystem, mot robot i scenario 2.



Figur 4.4 Målets R_{max} mot robot 1 ur tabell 4.5.

4.2.3 Sammanfattning

Utrustas en sjömålsrobot med en målsökare med FMCW-teknik och variabel uteffekt kommer detektionsavståndet bli litet. Uppträder målet dessutom radartyst kommer den tillgängliga tiden med avseende på val av åtgärd mot roboten att bli liten. Det är troligt att bekämpningssannolikheten kommer att öka om tiden mellan upptäckt och beslut minskar då färre av målets motmedelssystem hinner aktiveras. Målets RCS är avgörande för vilken effekt som krävs för upptäckt, framförallt då sjömålsroboten utnyttjar hög fart som i sin tur kommer att kräva tidig målsökarstart.

5 Marin taktik

Den maritima arenan består av havet, på och under havsytan, luftrummet ovan densamma och de områden på land som gränsar till havet. Förhållandena inom den maritima arenan är växlande beroende på var på jorden man befinner sig. Djupförhållandena på kontinentalsockeln och i randhav är grunda, medeldjupet i Östersjön är 70 meter även om djupgravar ner till 450 meter förekommer, på oceanerna är medeldjupet 3 500 meter. Vädrets inflytande på de operativa förutsättningarna inom den maritima arenan är stora. Vinden kan växla från ingenting upp till vindhastigheter om 75 m/s resulterande i våghöjder upp till 30 m ute på oceanerna. Havets ekonomiska dimension är omfattande. I globaliseringens tidsålder fraktas stora mängder gods långa sträckor över havet, inget annat transportsätt uppvisar ett bättre förhållande mellan vikt och kostnad per tonkilometer än just sjötransporter. Skyddet av sjötransporter, fiskerinäring och annan offshore-verksamhet är en viktig del i den maritima arenan. Förutsättningarna kommer att kräva särskilda kunskaper och mångsidiga förband och utöver förmåga till: *verkan*, *rörlighet* och *skydd* behöver marina stridskrafter även ha förmåga till *ledning*, *underrättelseinhämtning* och *uthållighet*. Dessa så kallade grundläggande förmågor tjänar som stöd för en tankemässig modell kring vilka behov som krävs för de stridskrafter som utformas för eller utnyttjas i den maritima arenan såväl de egna som en motståndares. De grundläggande förmågorna är inte åtskilda eller rangordnade, de är beroende av varandra i varierande grad, påverkas någon av förmågorna kommer även de andra att påverkas. [21]

Hur begreppet taktik definieras har växlat beroende på författare och har förändrats genom historien. Att teknikens roll och utveckling varit central i utformningen av marin taktik diskuteras av flera militärteoretiker. Vego menar att det sjöoperativa tänket har hämmats just av att marina företrädare varit fixerade vid tron på att nya tekniska innovationer varit universalmedlet för modern sjökrigföring och att det i alltför stor utsträckning har fokuserats på hur nya tekniska system formar taktiken. Samtidigt har sjöofficerare fäst för stor vikt vid beprövad erfarenhet och teknik istället för teori byggd på historiska

fakta.[22] Vidare definierar Vego taktik som den konst och vetenskap för planering, förberedelser och utnyttjande av plattformar och sensorer för att nå ett taktiskt mål inom ramen för en större marin- eller gemensam operation. [23] Vego tar i stor utsträckning en utgångspunkt i det operativa utnyttjandet av sjöstridskrafter. Han menar där att en stridande parts främsta tillgång är förmågan till balansen mellan, inflytandet av, påverkan på och utnyttjandet av *tid*, *rum* och *styrka*. På såväl taktisk, operativ som strategisk nivå tvingas en chef ta hänsyn till dessa även om skalan och omfattningen av faktorerna skiljer sig mellan de olika nivåerna. Rummet har i den marina arenan vuxit till att omfatta domänen på, under och över havsytan tillsammans med den virtuella domän som dagens informationsteknologi medger. Räckvidden för sensorer och vapensystem vidgar rummet och minskar på så sätt handlingsfriheten för de styrkor som finns i rummet. Storleken och omfattningen av rummet och styrkorna är relativt konstanta då rum som förlorats kan återtas, styrkor som förlorats kan ersättas eller återuppbyggas men tid som förlorats kan aldrig återskapats. [24]

Generaler för befäl över soldater när amiraler för befäl över fartyg är ett talesätt vilket understryker att sjöstridskrafter är ett tekniktungt vapenslag. I ett resonemang kring teknik och taktik ställer sig Till frågan "[...] styr tekniken sjöstridskrafternas roll, eller är det tvärtom?" Till menar att det inte går att bortse från teknikens inverkan på utformning och utnyttjande av sjöstridskrafter. Graden av tekniknivå inom en nations sjöstridskrafter står i direkt proportion till vilka förmågor och vilka uppgifter dessa kan lösa. Nationers sjöstridskrafter behöver en teknologisk försörjningsstrategi. Det behöver inte betyda att det är de senaste teknologiska innovationerna som skall utgöra tekniken på plattformarna utan att det måste råda en balans mellan förmågor och teknologiska behov. [25]

I Taktikreglemente för Marinen, TRM, återfinns 12 marina operationstyper och 18 taktiska föreskrivna taktiska uppgifter (se bilaga 1). Dessa skall ses som exempel på vilka uppgifter, vad, som kan lösas av marina förband och beskriver inte hur de skall utföras. Sverige skall nödvändigtvis inte ha

förmågan att lösa samtliga operationstyper och taktiska uppgifter. Andra uppgifter kan tillkomma framförallt om en operation genomförs tillsammans med mark- och luftstridskrafter. De taktiska uppgifterna löses med, som TRM beskriver, strids- och stödfunktioner (se bilaga 1), här nämns bland annat ytstrid och luftförsvar. En gemensam faktor i dessa strids- och stödfunktioner är förmågan att upprätta och vidmakthålla en lägesbild med såväl egna som, tillsammans med övriga, i operationen, ingående enheters sensorer. [26]

För att samordna utnyttjandet av sensorer inom såväl det elektromagnetiska, akustiska och optiska spektrumet regleras användandet av dessa genom högre chef i emission control, EMCON, planen. Den syftar till att egna enheters sensorer inte skall kunna upptäckas av en motståndare samtidigt som den är ett verktyg i utnyttjande av de olika spektrumen för att sensorer inte skall interferera med varandra. Utformningen är knuten till den operativa planen och är ett levande dokument och kan förändras baserat på inträffade händelser. Ett exempel på en EMCON-plan matris visas i bilaga 2. [27]

6 Analys

De sex grundläggande förmågorna utnyttjas för att visa på de egenskaper som plattformar i den marina, eller någon annan arena för den delen, behöver för att kunna lösa en given uppgift mot ett givet mål. De påverkar varandra och är beroende av varandra, scenarierna i kapitel 4 visar på något av detta samspel. I den marina arenan är stridsavstånden ofta stora vilket gör att en plattform, om den skall kunna verka optimalt med dagens vapensystem med dess prestanda, är beroende av att bygga sin lägesbild på stora avstånd, bortom den optiska horisonten. Radar har sedan den introducerades varit central i arbetet med att upprätta och vidmakthålla en lägesbild, dels för den egna plattformen, dels tillsammans med andra plattformar. Med flera plattformar spridda över en större yta är det ingen svårighet eller orimlighet i att ha kontroll över situationen mot mål på ytan och mot mål över ytan i ett större havsavsnitt. Genom en växelverkan av förmågorna *underrättelser* och *ledning* gör en radar det möjligt att vidga det rum man kan nå *verkan* i. Då en motståndare med förmågan att upptäcka den radar som används för att bygga lägesbilden kliver in detta rum kommer avvägningar mellan förmågan att vidmakthålla lägesbilden och förmågan att verka dolt att behöva göras. Skall jag se eller skall jag synas? Alternativet är att upprätta lägesbilden på passiv väg genom egen signalspaning. Fördelen med detta har hittills varit att en motståndare upptäcks på avstånd som överstiger det på vilket denne upptäcker en själv. Nackdelarna är att ett exakt läge behöver fastställas genom samverkan mellan två eller flera plattformar och att upptäckten av motståndaren uteslutande bygger på dennes utnyttjande av egen radar.

6.1 Scenario 1

Tidigare utgjorde torpedanfall från ubåt för anfallaren inget problem, den förhållandevis korta räckvidden för torpedsystemet gjorde att det var möjligt att bekräfta en inmätt sonarbäring med en periskopobservation, om siktförhållandena så medgav. Idag, då räckvidden för en torped vida överstiger den räckvidd som ges av periskopet borde radar vara det naturliga valet. Att

ubåten är en plattform som utnyttjar överraskning och dolt uppträdande råder inget tvivel om. Att då utnyttja ett konventionellt pulsradersystem vars sändning kan uppfattas av en SIS på avstånd överstigande den egna radarräckvidden blir då ett konventionsbrott mot den dolda profilen. Ju närmre målet man befinner sig desto högre kommer den av SIS-mottagaren mottagna effekttätheten att bli och således kommer upptäcktssannolikheten att öka då avståndet mellan mål och radar minskar. Scenariot visar att LPI-radar på ubåt har en naturlig plats, förhållandet mellan R_{max} och R_{imax} är nu omvänt. En LPI-radar upptäcker målet på längre avstånd än målet kan detektera dess sändning. Även om målet har en låg RCS och högre effekt på LPI-radarn behöver utnyttjas (jfr 4.1.1, ubåt 1 mot mål 3) är det inte orimligt att anta att upptäcktssannolikheten jämfört mot en konventionell pulsradar kommer att vara lägre. Att utnyttja periskopet innebär även det en risk, risken att upptäckas av motståndarens radar. Det skall då beaktas att en fördubbling av avståndet mellan radar och mål medger en ökning av RCS med 84 % (jfr ekvation 2.13) samtidigt som samma effekttäthet erhålls efter reflektion mot målet. Således kan risken för upptäckt vara konstant om radarmasten används på ett längre avstånd än periskopet förutsatt att RCS inte växer oproportionerligt i förhållande till avståndet.

LPI-radar på ubåt kommer att vidga det rum som ubåten verkar i och minska det rum som motståndaren verkar mot, ett samspel mellan förmågorna *underrättelse, verkan* och *skydd*.

6.2 Scenario 2

Det dilemma den som avfyra en radarmålsökande sjömålsrobot står inför är avvägningen mellan graden av överraskning och verkan. Överraskningen kommer till del att grundas på när jag tvingas starta radarsändningen. I det ögonblick som denna startas kommer målet med största sannolikhet att upptäcka radarsändningen, identifiera roboten och kunna välja rätt motåtgärd. Om radarsändningen startar för sent finns risken att målet hunnit flytta sig så pass mycket under anflygningstiden att det överhuvudtaget inte kommer att

upptäckas. Det kommer inför en sjömålsrobotinsats tvingas råda balans mellan målets fartegenskaper, noggrannheten av den information som målets position bestämts av och graden av överraskning. Scenariot visar att genom att utnyttja en LPI-radarmålsökare i en sjömålsrobot kommer momentet överraskning att kunna bibehållas samtidigt som målets position kan uppdateras i god tid innan slutfasen inleds. Att som fartyg skydda sig mot en sjömålsrobot handlar mycket om tid. Ett fartygs luftförsvarssystem är uppbyggt av flera lager system, aktiva och passiva, vilka kommer att aktiveras i olika skeden under anfallet. Kan sjömålsroboten anfalla utan att dess radarsändning upptäcks finns möjligheten att målet inte hinner utnyttja ett eller flera av dessa lager i luftförsvarssystemet.

Möjligheten att uppnå *verkan* med sjömålsroboten ges av det *skydd* mot upptäckt som LPI-radarn ger, det minskar den tillgängliga tiden för motståndaren att upptäcka, identifiera och välja typ av åtgärd mot sjömålsroboten, ty tiden som förlorats kan inte återskapas.

6.3 LPI, marina operationstyper och taktiska uppgifter

TRM sätter ramverket för de taktiska uppgifter som kan tilldelas marina stridskrafter inom ramen för en marin operation, TRM svarar inte på hur en taktisk uppgift skall utföras utan vad marina stridskrafter kan utföra. TRM understryker vikten av att upprätta och vidmakthålla en lägesbild framförallt mot mål på och över havsytan. De tre taktiska uppgifterna *patrullera och övervaka havsområde*, *genomför marin underrättelseinhämtning* och *genomför taktisk spaning (dold)* visar på balansgången mellan aktiva och passiva medel en marin chef behöver ta hänsyn till. Samtliga tre syftar till att samla information, *underrättelser*, om någon eller mot ett havsområde. Den senare uppgiften är tydligt uttalad att den skall genomföras dold, som jag ser det kan den lösas med ubåt eller fartyg utan utnyttjande av radar utan endast med passiva sensorer. Med LPI-radar tvingas man inte välja huruvida uppträdandet skall vara radartyst eller inte, det är möjligt att upprätta och vidmakthålla en lägesbild utan att motståndaren kan följa de egna fartygens rörelser. Det är trots

allt så att sensorernas prestanda definierar storleken, på gott och ont, av det rum som sjöstridskrafterna verkar i.

6.4 Övrigt

Det första scenariot kan användas för att resonera kring nyttan med LPI-radar på vilken smyganpassad plattform som helst. Beaktar vi att ubåtens radarmast har en låg RCS kommer det att göra det svårare för målet att upptäcka den egna radarmasten. Om ubåten istället haft en konventionell pulsradar hade målet kunna upptäcka radarsändningen men kanske inte upptäcka något radareko i samma bäring. På motsvarande sätt kan resonemanget föras omvänt. Om radarmålarean på den egna plattformen varit stor och den varit utrustad med LPI-radar hade det varit möjligt för en motståndare att upptäcka radarekot men inte någon radarsändning från detta. Något som hittills varit förknippat med ett mål som väljer att dölja sina avsikter.

Med god kännedom om de aktuella vågutbredningsförhållandena kan ytterligare vinster tillsammans med LPI-radar göras. Betraktar vi det första scenariot kan det bli än mer gynnsamt till ubåtens fördel om ett ytnära ledskikt förkommer. Då kommer energin från ubåtens radar spridas endast inom ledskiktet med lägre eller ingen spridning i höjd samtidigt som spridningen går längre. Befinner sig målets SIS-mottagare ovanför ledskiktet kommer denna ha ytterligare större svårigheter att upptäcka radarsändningen från ubåten. Vågutbredningen är en del av den miljö som den taktiske chefen behöver förhålla sig till. De båda scenarierna visar på situationer där ett ledskit nära havsytan kommer att kunna vara till fördel för den vars sensor finns under skiktet och till nackdel för den vars sensor är över skiktet. Sensorn, radar eller SIS, som finns över skiktet kommer att ha svårigheter att upptäcka ett mål som befinner sig under . Med god kännedom och prediktion av de aktuella förhållandena kommer dessa prognoser att vara ett ovärderligt hjälpmedel.

6.5 Svar på frågeställningen

Något entydigt svar på frågan vilka taktiska vinster som kan göras genom att utnyttja LPI-radar kan inte ges. Däremot har studien visat att faktorerna rum och tid kan påverkas till en LPI-radaranvändares fördel. En LPI-radar kommer att vidga rummet för den som använder denna, jämfört med en konventionell pulsradar, då förhållandet mellan upptäcktsavstånden för radar och SIS förändras. Rummet som skapas av LPI-radarn växer samtidigt som det rum en motståndares SIS-mottagare skapar minskar. Med användande av LPI-radar fås större handlingsfrihet än om en konventionell pulsradar används.

De definitioner som Pace och Adamy ger är i grunden olika. Pace första definition är byggd på tekniken för LPI-radar och Pilot omfattas väl av denna definition. Dess låga effekt tillsammans med valet av modulationsform är de tekniker som gör det svårt för dagens analoga SIS-mottagare att upptäcka denna. AMB i LPI-mod omfattas däremot inte av Pace definition då denna är en konventionell pulsradar om än med låg toppeffekt. Adamys definitioner beskriver geometrin mellan radar och SIS. De scenarier som utnyttjats i studien omfattas endast av Adamys andra definition där målet, med en SIS-mottagare, befinner sig i radarns huvudlob. Adamys första definition är mer tillämpbar vid resonemang kring nosradar på flygplan och även i viss mån följeradarsystem på fartyg. Dock är det så att med en följeradar på ett fartyg är det inte möjligt att upprätta en lägesbild utan denna kommer att behöva invisning från ett volymtäckande radarsystem. Svaret på frågan om de båda undersökta systemen omfattas av Adamys andra definition blir: det beror på. Scenarierna visar på att för att upptäcka ett mål med hög RCS kan en lägre uteffekt användas om radarsystemet tillåter detta. Då kommer upptäcktsavståndet för målets SIS att minska. Skall däremot ett mål med låg RCS upptäckas kommer högre effekt att behöva användas eller avståndet till målet minskas och då kommer förhållandet mellan radar- och SIS-upptäckt att förändras till LPI-radaranvändarens nackdel. Av de båda system som undersökts i studien ligger Pilot närmast till hands att omfattas av såväl Pace som Adamys definitioner framförallt så uppvisar den ett bättre förhållande mellan upptäcktsavstånd och detektionsavstånd från motståndarens SIS jämfört med AMB LPI.

7 Slutsatser

Är då LPI-radar nys eller nytta? Analysen visar att nyttan är god med LPI-radar. I båda scenarierna har en användare av LPI-radar fördelar jämfört med en användare av en konventionell pulsradar. Räckviddsförhållandena i rummet kan vändas till din fördel, det rum som underrättelser skapas inom växer samtidigt som motståndarens rum inom vilket han genom SIS kan skapa underrättelser inom minskar. Genom det minskade rummet för motståndaren kan även tiden för denne att verka mot egna förband och förmågor minskas. Det är intressant att se hur sensorers prestanda står i direkt proportion till påverkandet av de taktiska faktorerna, tid och rum, och växelverkan mellan de grundläggande förmågorna, underrättelser, verkan och skydd i den marina arenan.

Att använda LPI-radar som en naturlig komponent på en plattform som genom uppträdande eller design är smyganpassad borde vara självklart. Jag hoppas att denna studie utgör ett underlag som kan föra detta faktum fram i ljuset och att valet av sensorer på plattformar i Försvarmakten övervägs mot bakgrund av de faktorer som värderats i studien. Även om den mentala barriären för en fartygschef ombord på en ubåt när det gäller viljan att utnyttja radar är svår att bryta upplever jag det värt att gå vidare med studier avseende integrationen av LPI-radar ombord på ubåt. Samma förhållande upplever jag gäller för en så pass signaturanpassad plattform som Visby där en LPI-radar borde ha en självklar plats. De taktiska fördelar LPI-radar ger kan inte ignoreras.

Är en sjömålsrobot med en LPI-radarmålsökare rimligt? Scenariot där detta utnyttjats visar att förvarningstiden kommer att minska avsevärt. I studien har inte en konventionell pulsradar utnyttjats för jämförelse med LPI-radar. Med de förhållandevis korta avstånd mellan robot och mål kommer med all sannolikhet en konventionell radar att detekteras vid de sändningstillfällen som modellerats. Jag har inte hittat någon uppgift kring huruvida tillverkare av sjömålsrobotar har eller avser förse någon robot med LPI-radar. På samma sätt som för smyganpassade plattformar fyller LPI-radar en funktion i

sjömålsroboten. Den tillgängliga tiden för motståndaren att fatta rätt beslut på minskar avsevärt, en taktisk fördel så god som någon.

Bara för att något kallas för LPI-radar behöver den inte vara det. Då Pilot och AMB jämförts är det endast Pilot som lever upp till den definition där ett mål med SIS kan upptäckas i LPI-radarns huvudlob och samtidigt inte detektera att det är belyst. Givetvis beror det på, vilket visats i studien, de i jämförelsen ingående sensorernas prestanda.

Vad kommer framtidens digitala mottagarteknik för SIS-mottagare att föra med sig in i duellen mellan LPI-radar och SIS? Är det så att den tid då LPI-radar har ett försprång mot en SIS snart är till ända? Kanske kan det vara så. LPI-radar har under snart trettio år kunnat ge användaren ett försprång gentemot de SIS-mottagare som funnits och det ser ut som om detta försprång kommer att minska. Oavsett hur duellen mellan LPI-radar och signalspaning kommer att utvecklas i framtiden kvarstår ett centralt och orubbligt faktum: för en signalspaningsmottagare färdas radarvågen endast halva vägen.

7.1 Fortsatt arbete

I avsnitt 2.5 visades att SIS med digital mottagare kan väntas få förbättrad prestanda vad avser detektion av LPI-radar med CW-teknik. Vilka möjligheter kommer den ökande tillgången till digitala SIS-mottagare att föra med sig vad gäller upptäckt av LPI-radar? Hur kommer kvoten mellan upptäcktsavstånden att förändras?

I studien har endast taktik i den marinan arenan analyserats. Utöver den FOI rapport som nämns i 1.8 har jag inte hittat något aktuellt arbete kring taktiska vinster i mark- och luftarenan. Hur kan LPI-radar förändra det taktiska uppträdandet i mark- och luftarenan?

8 Litteraturförteckning

- [1] D. Graffox. (2009). *IEEE Citation Reference* (4th edition) [pdf]. Tillgänglig: www.ieee.org/documents/ieeecitationref.pdf [2010-09-05].
- [2] FRA - Sveriges signalspaningsorganisation. (2010). *Signalunderrättelsetjänst* [www]. Tillgänglig: http://www.fra.se/omfra_signalspaning.shtml [2010-12-02].
- [3] P. E. Pace. *Detecting and Classifying Low Probability of Intercept Radar*, second edition. Boston: Artech House, 2009.
- [4] D. Adamy. "Radar, Part 9 – LPI Radars", *Journal of Electronic Defense*, vol. 24, no. 1, p. 66-67, januari 2001.
- [5] M. I. Skolnik. *Introduction to Radar Systems*, third edition. Boston: McGraw-Hill, 2001.
- [6] *Navigation 3, Navigation med teletekniska hjälpmedel*, [Ny utg.], Stockholm: Försvarmakten, Marinentrum, 1999.
- [7] O. Gustafsson *et al.* "Slutrapport för projektet Verifiering av vågutbredningsmodeller", FOI, Linköping. (FOI-R—2149-SE), dec 2006.
- [8] Space and Naval Warfare Systems Center Pacific, 55480. (2010). *Atmospheric Propagation Branch* [www]. Tillgänglig: <http://areps.spawar.navy.mil/> [2010-11-17].
- [9] D. D. Vaccaro. *Electronic warfare receiving systems*, Boston: Artech House, 1993.
- [10] R. G. Wiley. *ELINT: the interception and analysis of radar signals*, Boston: Artech House, 2006.
- [11] M. Streetly (ed.). *Jane's Radar and Electronic Warfare Systems 2008/2009*, Coulsdon, Surrey: Jane's Information Group, 2008.

- [12] ITT. (2008). *ES-5080 Wideband Digital Receiver Based ELINT / ESMS Systems* [pdf]. Tillgänglig: <http://rss.es.itt.com/docs/ES-5080.pdf> [2010-11-24].
- [13] *Functional Description Sea GIRAFFE AMB UAZ 101 180/2*. Ericsson Microwave Systems AB, Göteborg, 2003.
- [14] S. Dahlberg. (2006). *Systemexempel: Spaningsradar SG AMB Sensor B1, Chp T 2006* [ppt]. Stockholm: Försvarshögskolan [2006-12-15].
- [15] L. Freedman. *The official history of the Falklands campaign. Vol. 2, War and diplomacy*, London: Frank Cass, 2005, s. 291-293.
- [16] C. Funnell (ed.). *Jane's underwater warfare systems. 2008-2009*, Couldson, Surrey: Jane's Information Group, Ltd, 2008.
- [17] A. Ben-David, R. Scott. "Hizbullah hits Israeli corvette", *Jane's Defence Weekly*, 7/26/2006, Vol. 43 Issue 30, p18-18, 1/2p.
- [18] A. Ben-David, R. Scott. "Israel laments intelligence failings", *Jane's Navy International*, Sep2006, Vol. 111 Issue 7, p5-5, 1/2p.
- [19] E. R. Hooton (ed.). *Jane's Naval Weapon Systems (Issue 34)*, Couldson, Surrey: Jane's Information Group Ltd, 2001.
- [20] *Sjöartilleriets grunder*, Stockholm: Försvarsmakten, 1997.
- [21] *Doktrin för marina operationer*, Stockholm: Försvarsmakten, 2005.
- [22] M. N. Vego. "On Naval Theory", *Tidskrift i sjöväsendet*, 3/2010, s 245ff.
- [23] M. N. Vego. *Operational warfare at sea: theory and practice*. London: Routledge, 2009.
- [24] M. N. Vego. *Joint operational warfare: theory and practice*. 1. ed. Stockholm: Försvarshögskolan, 2008.
- [25] G. Till. *Seapower: a guide for the twenty-first century*. 2. ed. London: Routledge, 2009.

- [26] *TRM, Taktikreglemente för marinstridskrafterna*. Utkast 2010-11-16.
Karlskrona: Försvarsmakten, Sjöstridsskolan, 2010.
- [27] *Försvarsmaktens Handbok Informationsoperationer*, Stockholm:
Försvarsmakten 2008.

Bilaga 1

Sammanställning över marina operationer, marina taktiska uppgifter samt strids- och stödfunktioner. [26]

Marina operationer

1. Sjöövervakningsoperation
2. Sjöfartsskyddsoperation
3. Kustförvarsoperation
4. MIO/Embargo-operation
5. MIO/Blockad-operation
6. Maritime Support to Joint Air Defence Operation
7. Marint stöd till specialoperation
8. Amfibieoperation
9. Maritime Air Strike Operation
10. Underrättelseinhämtningsoperation
11. Polisiär operation (stöd till polismyndighet och ingripande på internationellt vatten)
12. EOD-operation (röjning av oexploderad ammunition)

Marina taktiska uppgifter

1. Etablera/upprätthålla/bestrida sjökontroll
2. Patrullera och övervaka havsområde
3. Genomför prejning och visitation av fartyg
4. Genomför taktisk spaning (dold)
5. Genomför marin underrättelseinhämtning
6. Eskortera sjötransport
7. Skydda fasta anläggningar/infrastruktur till havs
8. Genomför sjötrafikkontroll (NCAGS) och konvojering
9. Skydda förband mot lufthot
10. Ta och säkra kuststräcka/område
11. Ge eldunderstöd i kustområde
12. Genomför taktisk sjötransport inom specialoperation

13. Minröj
14. Skydda förband under genomförande av minröjningsuppgift
15. Sjöminera
16. Logistikförsörj i hamn
17. Logistikförsörj till sjöss
18. Genomför marin räddning/bärgning

Stridsfunktioner

Ytstrid

Ubåtsjakt

Luftförsvar

Ubåtsstrid

Minkrig/strid

Amfibiestrid

Stödfunktioner

Logistik

Skydd och CBRN

Samband- och telekrig

Underrättelsetjänst

Bilaga 2

Exempel på EMCON-plan matris. [27]

	COMMS					SEARCH RADAR		WPN RADAR		SONAR		JAMMERS			
	MF	HF	SHF SATCOM	UHF	VHF	S BAND	X BAND	X/J BAND MISSILE	X/J BAND GUNNERY	LONG RANGE	SHORT RANGE	VHF/UHF	HF	HAND EMPL VHF	SATCOM
CVH	U	S	S	L	U	S	U	P	S	S		X	S	X	S
DD/FF	U	K	K	L	O	K	U	P	T	S		X	S	X	S
LANDING SHIP	S	S	S	L	O	X	U	X	X	X	X	X	X	X	X
MERSHIP	U	S	S	S	O	X	U	X	X	X	X	X	X	X	X
SUPPORT HELO	X	S	S	T	T	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
ASW HELO	X	S	S	L	X	X	U	P	X	O	U	X	X	X	X
LAND RECCE	N	S	S	S	T	X	X	X	X	X	X	N	X	N	X
ADV LANDING	N	S	S	T	T	X	X	X	X	X	X	N	X	N	X
MAIN LANDING	X	T	T	U	M	X	X	X	X	X	X	N	T	X	X
MPA	X	K	K	U	X	X	U	X	X	U	U	X	X	X	X

S - SILENCE
 U - UNRESTRICTED
 K - BY PICKETS ONLY
 T - AS ORDERED IN THE TACTICAL PLAN
 P - UNDER POSITIVE CONTROL OF THE OTC
 L - WHEN LAUNCHING AND RECOVERING HELICOPTERS ONLY
 M - SILENT UNTIL DETECTED BY THE ENEMY
 N - SILENT UNTIL ENGAGEMENT BY THE ENEMY
 O - DURING OCEAN PASSAGE PHASE ONLY
 Q - ONLY WHEN AUTHORISED BY MPA
 R - (SPARE)/V-(SPARE)
 X - BLANK