



Tekniköversikt autonoma och obemannade system

Del 3: Sjöstriden

JOUNI RANTAKOKKO, KRISTOFER BENGTTSSON,
CARL SVENSSON, RON LENNARTSSON, MARTIN SKARSTIND

Jouni Rantakokko, Kristofer Bengtsson,
Carl Svensson, Ron Lennartsson, Martin Skarstind

Tekniköversikt autonoma och obemannade system

Del 3: Sjöstriden

Titel	Tekniköversikt autonoma och obemannade system – Del 3: Sjöstriden
Title	An overview of unmanned and autonomous systems – Part 3: Naval operations
Rapportnr/Report no	FOI-R--5088--SE
Månad/Month	December
Utgivningsår/Year	2020
Antal sidor/Pages	147
ISSN	1650-1942
Kund/Customer	Försvarsmakten
Forskningsområde	Övrigt
FoT-område	Samverkansprogrammet
Projektnr/Project no	E72876
Godkänd av/Approved by	Christian Jönsson
Ansvarig avdelning	Ledningssystem

Detta verk är skyddat enligt lagen (1960:729) om upphovsrätt till litterära och konstnärliga verk, vilket bl.a. innebär att citering är tillåten i enlighet med vad som anges i 22 § i nämnd lag. För att använda verket på ett sätt som inte medges direkt av svensk lag krävs särskild överenskommelse.

This work is protected by the Swedish Act on Copyright in Literary and Artistic Works (1960:729). Citation is permitted in accordance with article 22 in said act. Any form of use that goes beyond what is permitted by Swedish copyright law, requires the written permission of FOI.

Sammanfattning

Utvecklingen av obemannade system som kan stödja olika sjöstridsuppgifter är intensiv och omfattande experimentering genomförs internationellt. Operativt används idag främst flygande farkoster och även undervattensfarkoster medan obemannade ytfarkoster har införts i en mer begränsad utsträckning. I rapporten beskrivs vilka förmågor som obemannade system kan fylla idag och önskade framtida förmågor diskuteras. Utvalda exempel på obemannade flygande, ytgående och undervattensfarkoster presenteras i syfte att ge läsaren en *representativ* bild av existerande system och den internationella utvecklingen beskrivs. Exempel på viktiga forsknings- och utvecklingsutmaningar för yt- och undervattensfarkoster, som kvarstår att lösa för att obemannade system ska ge önskad operativ effekt för nya förmågebehov, beskrivs även. Det gäller främst inom områdena styrning och ledning, robusta kommunikations- och positioneringssystem, energisystem, plattformsutveckling, ökad autonomi och samverkan mellan bemannade och obemannade system.

Obemannade farkoster bedöms under en lång tid framöver endast kunna utföra en delmängd av de uppdrag som bemannade fartyg normalt utför. De bedöms dock ha potentialen att möjliggöra exempelvis: (i) operationer i miljöer, väderförhållanden och scenarion där bemannade system har svårt att verka, (ii) snabb styrketillväxt, (iii) ökad säkerhet, (iv) ökat risktagande i avreglings-scenarion och (v) att personal och fartyg lösgörs från rutinuppgifter. Stor osäkerhet råder fortfarande rörande hur obemannade system ska användas för att nå en god operativ effekt, och vilka nya förmågor som de kan utföra kostnadseffektivt, i en svensk kontext. Fördjupade studier och experimentering bör genomföras, dels för att utvärdera teknikens mognadsgrad inom för marinen intressanta användningsområden och dels för att utveckla operativt effektiva användningskoncept.

Nyckelord: obemannad, autonom, UAV, RPAS, USV, AUV, UUV, ROV, spaning, övervakning, målinmätning, ytstrid, ubåtsjakt, minjakt, minsvepning, telekrig, målfarkost, vilseledning, logistik

Summary

The development of unmanned vehicles that can support maritime operations is intense and operational experimentation is being conducted internationally in an increasing tempo. Unmanned aerial and underwater vehicles are being utilized operationally by a multitude of naval forces worldwide, while the use of unmanned surface vehicles is less spread. Current operational use cases are described, and future needs are outlined.

Examples of unmanned systems, in the air, ground, and sea domains, are described in order to provide the reader with a *representative* picture of existing unmanned vehicles. The international development in the area of unmanned vehicles for maritime operations is described. Examples of research and development needs, which are deemed critical in order to achieve an increase in operational efficiency, are outlined. The focus is on the following areas: command and control, robust communication and navigation systems, energy systems, platform development, increased levels of autonomy and manned-unmanned teaming.

Unmanned vehicles are in the near future expected to only be able to efficiently solve a limited part of the missions that a multi-mission manned vessel typically performs. Unmanned vehicles are deemed to have the potential to enable for instance: (i) operations in environments, weather conditions and scenarios where manned systems may not be able to operate, (ii) faster production and fielding of additional systems, (iii) increased safety, (iv) higher risk operations in anti-access/area-denial scenarios, and (v) free qualified manned vessels from time- and resource consuming routine missions. It is still uncertain how unmanned vehicles should be used to achieve a high operative effect and what missions they will be able to perform in a cost-effective manner in a Swedish maritime context. Continued studies and extensive experimentation is required in order to evaluate the maturity levels of different technologies and develop suitable concept of operations in prioritized use cases.

Keywords: unmanned, autonomous, UAV, RPAS, USV, AUV, UUV, ROV, surveillance, reconnaissance, target acquisition, mine-sweeping, mine-hunting, anti-surface warfare, anti-submarine warfare, electronic warfare, target platform, deception, logistics

Innehåll

1	Inledning	11
1.1	Bakgrund	12
1.1.1	Marinens dominerande operationstyper	12
1.1.2	De framtida amfibieförbanden	13
1.1.3	Syfte med rapporten	13
1.1.4	Avgränsningar	14
1.2	Östersjön och Västerhavet	14
1.2.1	Den unika Östersjön	15
1.2.2	Västerhavet	17
1.2.3	Diskussion	17
1.3	Disposition	18
1.4	Förkortningar och definitioner	19
2	Förmågebehov och operativ användning	23
2.1	Användningsexempel – sjöstrid	23
2.1.1	Möjligheter och generella användningsområden	24
2.1.2	Nulägesbild	25
2.1.3	Exempel på utmaningar	25
2.1.4	RPAS	25
2.1.5	USV	27
2.1.6	UUV	30
2.2	Exempel på önskade förmågor	33
2.2.1	Övergripande utvecklingsbehov	34
2.2.2	UAV	35
2.2.3	USV	35
2.2.4	AUV	39
2.3	Diskussion	41
3	RPAS för sjöstriden – exempel	43
3.1	Stridstekniska RPAS	43
3.1.1	Black Hornet PRS	43
3.1.2	Anafi	44

3.1.3	InstantEye Mk-3	45
3.1.4	Blackwing	45
3.1.5	RQ-11B Raven	46
3.2	Taktiska RPAS	46
3.2.1	ScanEagle 2	47
3.2.2	V-BAT	47
3.2.3	Aerosonde HQ	48
3.2.4	Skeldar V-200B	49
3.2.5	Fire Scout	49
3.3	Patrullrobotar	50
3.3.1	Switchblade	50
3.3.2	Hero	51
4	USV:er för sjöstriden – exempel	53
4.1	Liten USV	53
4.1.1	Mantas T12	54
4.1.2	Piraya	54
4.2	Medelstor USV	55
4.2.1	Pacific 24 & Pacific 950	56
4.2.2	ARCIMS	56
4.2.3	Inspector 125	57
4.2.4	Protector	58
4.2.5	Seagull	58
4.2.6	Common USV	59
4.2.7	JARI USV	60
4.2.8	SAM 3	61
4.3	Stor USV med extrem uthållighet	61
4.3.1	Sea Hunter	62
4.3.2	Large USV	62
5	Undervattensplattformar – exempel	65
5.1	ROV - Fjärrstyrda farkoster	65
5.1.1	Double Eagle MkIII	65

5.1.2	Sabertooth	66
5.1.3	FUSION	67
5.2	Bärbara AUV-system.....	67
5.2.1	G3 Glider.....	68
5.2.2	BLUEFIN-9.....	68
5.2.3	REMUS 300	69
5.3	Lätta AUV-system.....	69
5.3.1	Galtel (MT-2012).....	69
5.3.2	REMUS 600	70
5.3.3	A18-M.....	70
5.4	Tunga AUV-system	71
5.4.1	Hugin 1000.....	71
5.4.2	AUV62-AT	72
5.4.3	BLUEFIN 21	72
5.5	Stora AUV-system	73
5.5.1	Plattform Klavesin 2R-PM.....	73
5.5.2	Boeing Echo Voyager XLUUV	73
5.5.3	Royal Navy stor AUV	74
6	Utvecklingen internationellt.....	75
6.1	Obemannad MCM	75
6.1.1	USA.....	77
6.1.2	Norge	78
6.1.3	Belgien och Nederländerna	78
6.1.4	Storbritannien och Frankrike	79
6.2	USA.....	80
6.2.1	Kommande omstrukturering av US Navy	80
6.2.2	DoD budgetförslag för 2021	82
6.2.3	Unmanned Systems Integrated Roadmap	82
6.2.4	Autonomi inom marina autonoma system	84
6.2.5	US Navy utvecklingsplan för USV och UUV.....	85
6.2.6	Svärmar	87

6.3	Storbritannien.....	89
6.3.1	Experimentering inom Royal Navy och Royal Marines ..	89
6.3.2	Forskning och utveckling	91
6.4	Israel	94
6.5	Ryssland	94
6.5.1	UAV	96
6.5.2	MCM.....	99
6.5.3	USV	100
6.5.4	UUV	102
6.6	Kina	103
6.6.1	Utvecklingen av PLAN	103
6.6.2	USV	105
6.6.3	UUV	107
7	Kritiska deltekniker - nuläge och kvarvarande utmaningar	109
7.1	Generiska teknikdelområden för obemannade system.....	109
7.2	USV.....	109
7.2.1	Plattformsutvecklingen.....	110
7.2.2	Navigation	111
7.2.3	Kommunikation	115
7.2.4	Sensorer och effektorer	116
7.2.5	Styrning och ledning	117
7.2.6	Autonomt uppdragsutförande	118
7.2.7	Automatiserad statusövervakning och hälsomonitorering.....	119
7.3	UUV.....	119
7.3.1	Styrning och ledning	121
7.3.2	Plattformsutveckling.....	123
7.3.3	Sensorer och signalbehandling	124
7.3.4	Undervattensnavigation	125
7.3.5	Kommunikation	128
7.3.6	Energi- och framdrivningssystem	133

8	Slutsatser.....	139
8.1	Övergripande slutsatser	139
8.2	UAV.....	140
8.3	USV.....	141
8.4	AUV.....	141
	Referenser.....	143

1 Inledning

Obemannade system används i en ökande utsträckning av sjöstridskrafter runtom i världen. I nuläget används framförallt fjärrstyrda obemannade flygande farkoster (*Remotely Piloted Aircraft Systems, RPAS*) för spaning, övervakning och målinmätning. I jämförelse så är det endast ett fåtal länder som använder obemannade ytfarkoster (*Unmanned Surface Vehicles, USV*) operativt, exempelvis för minsvepning, patrullering och övervakning. Ett flertal länder experimenterar med USV:er i syfte att iterativt förbättra tekniken och för att utvärdera hur de ska användas för att nå önskad operativ effekt.

Trådlös kommunikationen för styrning av, samt förmedlingen av rå eller bearbetad sensorinformation från, obemannade undervattensplattformar (*Unmanned Underwater Vehicles, UUV*) utgör en stor utmaning. Detta har inneburit att obemannade undervattensfarkoster i större utsträckning än i andra domäner tvingats utveckla en högre grad av automation. UUV:er delas ofta upp i två klasser: ROV (*Remotely Operated Vehicles*) och AUV (*Autonomous Underwater Vehicle*). Fjärrstyrda ROV:ar, där energiförsörjning och kommunikation med operatör sker via kabel, har använts militärt under ett antal år för främst klassificering och destruering av minor. Graden av automatisering i existerande AUV:er är dock begränsad, de utför typiskt förplanerade uppdrag och har en begränsad förmåga att anpassa sig till förändrade förutsättningar. AUV:er används i stor utsträckning för kartering av havsbotten och mätningar av miljöparametrar.

Obemannade flygande och ytgående farkoster används även i en ökande utsträckning av icke-statliga aktörer i en rad olika internationella konflikter. I Libyen bedöms samförståndsregeringen (GNA) och den Libyska nationella armén (LNA) ha genomfört över 1000 attacker med UAV:er under lite drygt ett års tid.¹ GNA använder sig av turkiska Baryaktar UAV:er medan Förenade arabemiraten har försett LNA med kinesiska UAV:er av typen Wing Loong. I Jemen har Houthirebeller genomfört attacker mot exempelvis militära fartyg med egenkonstruerade fjärrstyrda obemannade ytfarkoster som lastats med explosivämnen.² Dessa farkoster beskrivs närmare i [2].

Det pågår samtidigt en omfattande utveckling av obemannade marina system i den civila sfären. Ett exempel är Yara Birkeland som är ett elektriskt kontainerfartyg som ska frakta gods mellan tre städer i södra Norge.³ Inom något år kommer fartyget framföras fjärrstyrt och på sikt även autonomt, men tills

¹ www.dn.se/nyheter/varlden/sa-blev-libyen-ett-slagfalt-for-varldens-storsta-dronarkrig/

² www.ict.org.il/Article/2456/The_threat_of_Houthi_unmanned_explosives-laden_boats#gsc.tab=0

³ www.kongsberg.com/maritime/support/themes/autonomous-ship-project-key-facts-about-yara-birkeland/

regelverken ändras kommer en liten besättning att övervaka systemet ombord.⁴ Ryssland utvecklar teknik för autonoma fartyg och nyligen ändrades de nationella regelverken vilket öppnar för storskaliga försök med autonoma fartyg.⁵ De första fartygen utrustas med teknik för autonom navigering redan under 2021 och planen är därefter att utrusta 100 fartyg med denna teknik inom en treårsperiod. Det är dock fortfarande oklart när fartygen kan komma att framföras fullt autonomt. Autonomi förväntas även på kort sikt möjliggöra reducerad bemanning på civila fartyg, vilket ses som en av de viktigaste drivkrafterna för utvecklingen. Obemannade undervattensfarkoster används även i en stor omfattning civilt för forskningsändamål och inom oljeindustrin.

1.1 Bakgrund

Sverige som nation är kraftigt beroende av en fungerande sjöfart för försörjningen av livsmedel, drivmedel och andra förnödenheter. I storleksordningen 90% av all import och export fraktas sjövägen och industrin är kritiskt beroende av ett kontinuerligt inflöde av råvaror och komponenter samt export av produkter [3]. Det civila samhällets beroende av sjöfarten utgör en sårbarhet som kan utnyttjas som påtryckningsmedel även vid lägre konfliktnivåer vilka kan pågå under längre tid. Det är därmed av stor vikt att sjöfarten och hamnar kan skyddas med god uthållighet i dylika scenarion. Detta är även av kritisk betydelse i händelse av allvarliga kriser eller krig, även om uppgiften i sådana scenarion utgör en betydande utmaning.

1.1.1 Marinens dominerande operationstyper

Marinstridskrafterna ska kunna verka över hela konfliktskalan, i fred, kris och krig. Detta illustreras väl av marinens tre dominerande operationstyper: sjöövervakning, sjöfartsskydd och kustförsvarsoperationer.⁶ Övervakningen av den maritima operationsmiljön sker kontinuerligt, med hjälp av främst landbaserade radarsystem kompletterat med fartygs- och luftburna sensorer [4]. Sjöövervakning innefattar även incidenthantering. Sjöfartsskydd innefattar skydd av civil sjöfart, för att säkra import och export, samt skydd av viktiga hamnar. Den syftar även till att upprätthålla säkerhet och rörelsefrihet till sjöss [4]. Sjöfartsskydd kan även innefatta skydd av annan nations militära fartygstransporter eller möjliggöra ett värdlandsstöd [3]. Kustförsvarsoperationen utgör den högsta konfliktnivån där marinen deltar i den gemensamma striden vid försvaret av Sverige för att möta ett väpnat angrepp mot landet.

⁴ www.wired.com/story/mayflower-autonomous-ships/

⁵ www.maritime-executive.com/article/russia-moving-forward-with-autonomous-navigation-on-commercial-vessels

⁶ www.forsvarsmakten.se/sv/aktuellt/2019/10/den-marina-striden-i-centrum/

Marinstridskrafterna ska då kunna påverka kvalificerade och skyddade mål, i luften liksom på och under ytan. Marinstridskrafternas övergripande roll bedöms i huvudsak vara defensiv och stabiliserande [5].

Kustförsvarsoperationer mot en kvalificerad motståndare utgör det dimensionerande scenariot i marinstridskrafternas förmågeutveckling. Motståndaren förväntas ha en väl utvecklad offensiv telekrigförmåga, i form av fordons-, farkost- och flygburna system för störning av radar- och kommunikationssystem samt av satellitbaserade navigeringssystem. Motståndaren förväntas även ha en god förmåga till spaning, övervakning och målinmätning (*Reconnaissance, Surveillance, Target Acquisition, RSTA*), inte minst genom en successivt ökande användning av obemannade flygande system. Det är vitalt att dessa förhållanden beaktas i den fortsatta utvecklingen, kravställningen och operativa införandet av framtidens obemannade system. Utvecklingen av robusta navigations- och kommunikationssystem som kan operera även i kraftigt telestörda miljöer, samt autonomt uppträdande, utgör betydande utmaningar som behöver omhändertas för att obemannade system skall utgöra ett operativt effektivt alternativ i en framtida konflikt mot en kvalificerad motståndare [1,6]. Det är dock avsevärt svårare för en motståndare att övervaka och kontrollera situationen under ytan vilket också bör beaktas i den fortsatta utvecklingen.

1.1.2 De framtida amfibieförbanden

Amfibiesystemet är under förändring och grundtanken i konceptet ”Amfibiebataljon 2030” är att öka sjörörligheten, och bekämpningsförmågan mot kvalificerade sjömål, för amfibieförbanden [7]. Markstridskomponenterna i förbandet nyttjas för att möjliggöra verkan för de komponenter som syftar till att bedriva sjömålsstrid. Således utgör förslaget ett utkast till att göra amfibiesystemet till en än mer betydelsefull kugge i det marintaktiska maskineriet, genom att öka sjörörligheten och dynamiken i förbandet.

1.1.3 Syfte med rapporten

En bred tekniköversikt har genomförts inom ramen för FoT-projektet *Gemensamma teknikbehov inom autonoma och obemannade system*. Målet med tekniköversikten är att belysa möjligheter men även begränsningar med dagens obemannade system, ge en övergripande bild av den internationella utvecklingen, samt beskriva viktiga delteknikers mognadsgrad och identifiera kvarstående forsknings- och utvecklingsbehov.

Tekniköversikten avrapporteras i fyra rapporter:

- Del 1: Historik
- Del 2: Markstrid
- Del 3: Sjöstrid
- Del 4: Luftstrid

I den första rapporten gavs en övergripande beskrivning av den historiska utvecklingen av obemannade system i militära tillämpningar [1]. Den andra rapporten i serien behandlade obemannade system i markstridstillämpningar, där exempel på önskade förmågor och operativa obemannade system (både flygande och markgående) gavs. Den internationella utvecklingen av obemannade markgående (*Unmanned Ground Vehicle, UGV*) och flygande farkoster beskrevs och kvarstående forsknings- och utvecklingsutmaningar pekades ut [6]. I denna rapport ges på ett liknande sätt exempel på önskade förmågor och representativa farkoster för sjöstridstillämpningar, för sjöstrids- och ubåtsflottiljerna samt för amfibieförbanden. Den internationella utvecklingen inom området, kritiska deltekniker och kvarvarande utvecklingsbehov beskrivs även.

1.1.4 Avgränsningar

I [9] ges exempel på mer än 120 marina plattformar och närmare 600 obemannade flygande plattformar. RAND analyserade under 2019 även bidrag från akademien och identifierade närmare 180 UUV:er och 90 USV:er som utvecklats i totalt 24 olika länder [10]. Antalet obemannade system är för stort för att kunna ge en komplett marknadsanalys i denna rapport. Ambitionen är istället att ge en *representativ* bild av utvecklingen inom obemannade farkoster.

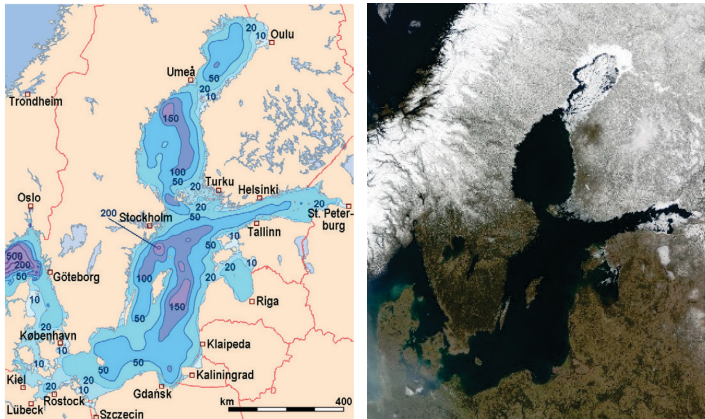
Amfibiesystemet berörs såväl av denna rapport som av rapporten rörande markstrid [6]. Föreliggande rapport berör främst sjögående förmågor, de delar som rör amfibiesystemets strid och verksamhet i land har beröringspunkter i markstridsrapporten.

Styrda vapen berörs endast i form av patrullrobotar (*loitering munitions*) ([11]), där dessa kan ses som en stridsteknisk RPA som kan genomföra spaning men som även har en integrerad stridsdel för direkt bekämpning.

1.2 Östersjön och Västerhavet

Östersjön består av havsområdena Bottniska viken (som utgörs av Bottenhavet och Bottenviken), Finska viken och Egentliga Östersjön. Egentliga Östersjön börjar i södra delarna av Ålands hav och sträcker sig ned till Öresund. Västerhavet är en svensk vardaglig samlingsbenämning på områdena Kattegatt och Skagerrak, men där även Nordsjön och Öresund ibland inkluderas.

De unika miljöförhållandena som råder i framförallt Östersjöns grunda och bräckta vatten påverkar marinens verksamhet och för att nå bästa prestanda behöver exempelvis sensorer och signalbehandling anpassas utifrån dessa förhållanden. Miljöförhållandena förväntas även påverka utvecklingen av marinens framtida obemannade system. Även skärgårdsmiljön ställer specifika krav som behöver omhändertas.



Figur 1.1: Vänster: Illustration av Östersjöområdet, med djupangivelser (illustration: Ulamm⁷, CC BY-SA 3.0). Höger: Satellitfoto över Östersjön och Västerhavet (april 2004) där Norra Bottenviken till stora delar fortfarande är istäckt (Foto: NASA, public domain).

1.2.1 Den unika Östersjön

Östersjön är ett grunt hav där medeldjupet är 56 m. Landsortsdjupet utgör den djupaste punkten med sina 459 m. Östersjön kan beskrivas som bestående av ett flertal djupare havsbassänger med grunda trösklar däremellan (figur 1.1).⁸

1.2.1.1 Variationer i djup, salthalt, temperatur och densitet

Tillförsel av sötvatten sker till Östersjön från älvar och floder. Salthalten varierar från tre till sex promille i Bottniska viken till mellan sex och nio promille i Egentliga Östersjön. Salthalten i Västerhavet varierar som jämförelse mellan 15 och 30 promille.⁹ Östersjöns vattenstånd är högre än det i Kattegatt och Västerhavet och det bräckta ytvattnet strömmar ut ur Östersjön medan saltvatten (som har en högre densitet) strömmar in längs botten. Salt- och färskvattnet har olika densitet vilket medför att vattenströmmarna inte blandas samman. Det får som konsekvens att ett vattenområde bildas där salthalten ändras kraftigt med djupet, vilket benämns salthaltssprångskikt eller haloklin. Bottniska viken är relativt grund och har en låg salthalt vilket leder till jämförelsevis svaga skiktningar.

Under sommarhalvåret förstärks skiktningen ytterligare på grund av uppvärmningen av ytvattnet kombinerat med ett kraftigare tillflöde av sötvatten vilket

⁷ Via Wikimedia Commons (commons.wikimedia.org/wiki/File:Ostseetiefen.png).

⁸ www.ostersjon.fi

⁹ www.smhi.se/kunskapsbanken/oceanografi/vattenstand-och-klimat/vattnets-densitet-paverkar-havsvattenstandet-1.3425

sammantaget kan generera multipla språngskikt. Även kraftiga temperaturskillnader genererar språngskikt (som benämns termokliner) men dessa är mindre stabila än salthaltssprångskikten.¹⁰ Kraftiga höststormar kan blanda upp de övre vattenmassorna vilket kan leda till att språngskiktet trycks ned till ett djup av mer än 30 m. För djupvattnet i de djupare havsbassängerna ändras förhållandena sällan då det inkommande saltvattnet som passerar Kattegatt även har en högre temperatur (lägre densitet) och de grunda trösklarna medför att det inkommande vattnet lägger sig ovanför djupvattnet. Endast under sällsynt förekommande väderförhållanden sker en kraftig saltvatteninträngning som även blandar upp djupvattnet i de djupa havsbassängerna. Förhållandena i Östersjön varierar även kraftigt för olika kustområden, beroende på årstid och till viss del tid på dygnet.

1.2.1.2 Bottenförhållanden och vattenstånd

Östersjöns botten är kraftigt varierande, från sandbotten och mjuk lerbotten som absorberar akustiska signaler till hård granit som istället reflekterar akustiska signaler. Bottentopografien varierar även snabbt. Siktdjupet är kraftigt begränsat, framförallt nära kusterna.

Vattenståndet i Östersjön kan variera med upp till ett par meter, beroende på väderförhållanden (som kraftig vind, lufttrycksförändringar och vattnets densitet) men även orsakat av periodiska svängningar (s.k. vattenpendling).¹¹

1.2.1.3 Is och algblooming

De norra delarna av Östersjön är täckta av is under vinterhalvåret vilket påverkar framkomligheten för mindre farkoster (figur 1.1). Vissa vintrar kan även kustnära skärgårdsområden i Egentliga Östersjön täckas av is. I vissa områden kan även den periodvis kraftiga algbloomingen försvåra möjligheterna till dolda förflyttningar med ytfarkoster.

1.2.1.4 Det akustiska bruset

Den civila handels- och fritidsbåtstrafiken i Östersjön är intensiv. Mer än 2000 fartyg beräknas finnas sig i Östersjön vid varje given tidpunkt [3]. Detta medför att det akustiska bakgrundsbruset är betydande vilket utgör en utmaning vid spaning efter undervattensfarkoster. Fartygstrafiken och därmed även brusnivåerna varierar dock kraftigt mellan olika områden.¹²

¹⁰ www.havet.nu/svealandskusten/?d=3343

¹¹ www.smhi.se/kunskapsbanken/oceanografi/vattenstand-i-havet/

¹² www.allafartyg.se/

1.2.2 Västerhavet

Medeldjupen i Kattegatt och Skagerrak är cirka 23 respektive 174 meter. Den djupaste punkten i västra Skagerrak är drygt 700 meter. Förhållandena är i stora delar annorlunda i Västerhavet i jämförelse med Östersjön. Både salthalt och temperatur är annorlunda, där salthalten i Västerhavet varierar mellan cirka 15 och 30 promille. Salthalten ökar gradvis från Öresund ut i Skagerrak och Nordsjön. I Skagerrak finns normalt ett salthaltssprångskikt på ett djup av 10 till 20 meter och temperaturen under denna är normalt omkring sex grader och salthalten runt 35 promille. Temperaturen på ytvattnet är mellan 6 och 20 grader beroende på årstid och temperaturen är oftast högre inomskärs.^{13,14}

Den högre salthalten i Västerhavet påverkar såväl flytkraften hos nedsänkta farkoster och objekt (i formen av ökade behov av ballast) som de hydroakustiska förhållandena i jämförelse med Östersjön. Det större medeldjupet i norra delen av Västerhavet (Skagerrak och Nordsjön) skapar även andra taktiska förutsättningar fritt till sjöss jämfört med stora delar av Östersjön sett till möjligheter och begränsningar med djupet ur såväl ett tekniskt som ett stridstekniskt perspektiv. Tekniska system som är optimerade för Östersjöförhållanden kommer, då de hydroakustiska förhållandena skiljer sig markant, inte att fungera optimalt vid operationer i Västerhavet.

1.2.3 Diskussion

Östersjöns unika egenskaper påverkar hur marinen kan genomföra sina operationer. Skärgårdsmiljöerna erbjuder ett antal smala farleder och passager vilket ger möjlighet att skärma av områden, men de har även en varierande bottenpografi som ger undervattensfarkoster möjlighet att anpassa sitt taktiska uppträdande. Informationen om Östersjöns geografi över ytan är känd och kan utnyttjas även av en motståndare. Kunskapen om undervattensmiljön kan däremot utgöra en avgörande taktisk fördel för den svenska marinen [8].

Det faktum att Östersjön i många delar utgör ett grunt hav har en stor påverkan på de hydroakustiska egenskaperna då det resulterar i en kraftig botten- och ytinteraktion för ljudvågor. Kombinationen av temperatur, salthalt och tryck (djup) avgör ljudhastighetsprofilen, dvs hur ljudhastigheten varierar med vattendjupet. Temperaturskillnaderna utgör den enskilt viktigaste faktorn som orsakar de stora variationerna i ljudhastighetsprofilerna i Östersjön. Det är framförallt ljudhastighetsprofilen som, tillsammans med bottenegenskaperna, avgör de akustiska signalernas utbredning och räckvidd. Temperatursprångskikten påverkar de hydroakustiska egenskaperna då de orsakar absorption och

¹³ www.smhi.se/kunskapsbanken/oceanografi/

¹⁴ www.sverigesvattenmiljo.se/undersoka-vattenmiljo/

reflektioner av de akustiska signalerna. Inverkan från salthaltssprångskikt är i jämförelse betydligt lägre.

Flervägsutbredningen är kraftig i Östersjön och en försvårande faktor är att olika gångvägar ofta har olika dopplerkaraktistik orsakat av rörelsen i havsytan och även av sändaren eller mottagarens förflyttning. Flervägsutbredningen medför även att impulssvaren (efterklangstiden) blir långa. En positiv aspekt är dock att absorptionen vid höga frekvenser är lägre i Östersjön, i jämförelse med Västerhavet eller Atlanten, vilket innebär att räckvidderna för akustiska signaler för dessa frekvenser är längre.

Bottenförhållandena påverkar dessutom de hydroakustiska egenskaperna på ett komplicerat sätt. Sandbotten och mjuk lerbotten tenderar att absorbera de akustiska signalerna medan hård granit snarare reflekterar dessa. Resultatet blir varierande räckvidder för såväl passiva som aktiva sonarer beroende på bottenförhållandena. Den varierande bottenpografin och förekomsten av stenar och andra föremål försvårar även möjligheterna att genomföra min- och ubåtsjakt i delar av Östersjön.

De kraftigt begränsade siktdjupen i Östersjön försvårar möjligheterna till spaning och kommunikation med laser eller optiska sensorer. Bakgrundsbruset varierar beroende på frekvens men det kan leda till reducerade sensor- och kommunikationsräckvidder.

Skärgårdsmiljöer påverkar bland annat kommunikationsräckvidderna för ytfarkoster där Västerhavet med sina typiskt mer kuperade öar förväntas ha en kraftigare påverkan.

1.3 Disposition

I kapitel 2 beskrivs olika förmågor som obemannade system kan uppfylla idag samt utvalda förmågebehov som kommande obemannade system har potentialen att kunna uppfylla.

I kapitel 3, 4 och 5 ges exempel på obemannade flygande, ytgående och undervattensfarkoster som är i operativ drift eller som är tekniskt mogna för ett införande. Exempel på mer långsiktiga koncept som är under utveckling ges även, inom områden där tekniskt mogna system saknas, i syfte att illustrera pågående utvecklingsspår och de möjligheter som dessa nya koncept kan ge. Det finns ett stort antal obemannade system men dessa exempel på obemannade farkoster är utvalda i syfte att ge en representativ bild av existerande obemannade system på de olika arenorna.

Därefter, i kapitel 6, beskrivs den internationella utvecklingen av obemannade ytgående och undervattensplattformar (motsvarande utvecklingstrender för obemannade flygande plattformar beskrevs tidigare i [6]). Forskningen och utvecklingen i främst USA, Storbritannien, Israel, Ryssland och Kina har valts ut

som representativa exempel. Dessa beskrivningar av den pågående utvecklingen används som underlag för de bedömningar av teknikens mognadsgrad och tidslinjalen för utvecklingen och ett möjligt införande av nya systemförmågor som ges.

I kapitel 7 beskrivs de bedömt viktigaste kvarvarande utmaningarna inom teknikdelområden som autonomi, styrning och ledning, utvecklingen av plattformar, sensorer och signalbehandling, energiförsörjning, kommunikation och navigering.

I kapitel 8 beskrivs slutligen de viktigaste slutsatserna som framkommit i rapporten.

1.4 Förkortningar och definitioner

Som beskrivs i [12] saknas entydiga och förankrade definitioner av begreppen autonom och autonomi. Ingen väldefinierad gräns finns definierad mellan autonoma och automatiska system, var gränsen dras bedöms ofta utifrån hur intelligent systemet bedöms vara. Autonom är ett ord som ofta används för att beskriva komplex automation medan automatisk är ett begrepp som används för mer välkända automatiska funktioner och vad som uppfattas som enkla system. Ett autonomt system inbegriper ofta vad som beskrivs som artificiell intelligens (AI), men inte heller AI-begreppet har en vedertagen definition som spänner över olika forskningsfält.

I [13] diskuteras dessa definitioner och där rekommenderas att istället för autonoma system använda uttrycket *system med autonoma funktioner*. För ett tekniskt system med en automatisk, eller autonom, funktion innebär det att den funktionen agerar utan påverkan av en operatör. En obemannad farkost beskrivs ofta som autonom då den har flera automatiserade funktioner implementerade, däribland en självkörande förmåga och intelligens som möjliggör att den utan direkt styrning av en operatör kan utföra sitt tilldelade uppdrag [6]. Graden av autonomi hos en obemannad farkost kan, om detta beskrivningssätt används, anges utifrån en sammanvägning av hur många funktioner som är autonoma (eller automatiserade) och hur avancerade dessa funktioner är.

I tabell 1.1 följer en lista med i rapporten vanligt förekommande förkortningar och en ordlista.

Tabell 1.1: Förkortnings- och ordlista.

Förkortning	Betydelse	Förklaring
A2/AD	Anti-Acces/Area-Denial	Avreglingszon
AES	Advanced Encryption Standard	Standardiserad krypteringsalgoritm baserad på symmetriskt blockkrypto
AI	Artificial Intelligence	Artificiell intelligens

ANTX	Advanced Naval Technology Experiment	US Navy övning
ASuW	Anti-Surface Warfare	Ytstrid
ASW	Anti-Submarine Warfare	Ubåtsjakt
AUV	Autonomous Underwater Vehicle	Autonom undervattensfarkost
BDA	Battle Damage Assessment	Verkansbedömning
COLREG	International Regulations for Preventing Collisions at Sea	De internationella sjövägsregler som reglerar fartygs skyldigheter vad gäller undvikande av kollisioner
US DoD	US Department of Defense	Försvarsdepartementet i USA
DSTL	UK Defense Science and Technology Laboratory	
EDA	European Defence Agency	Europeiska försvarsbyrån
EMDV	Expendable Mine Disposal Vehicle	Engångsfarkost för destruering av sjöminor
EO/IR	Electro-Optical/Infra-Red	Bildalstrande sensorer som opererar i de optiska och infraröda våglängdsbanden
FTUAS	Future Tactical Unmanned Aerial System	US Army utvecklingsprojekt som syftar till att ersätta Shadow 200 med ett enkelt transporterbart, tystare system med VTOL förmåga
Galileo	N/A	Europeiska unionens satellitnavigasjonssystem
GCS	Ground Control Station	Kontrollstation för ledning av RPAS
GLONASS	Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema	Rysslands satellitnavigasjonssystem
GNSS	Global Navigation Satellite System	Samlingsnamn på de fyra globala satellitnavigasjonssystemen
GPS	Global Positioning System	Det ursprungliga amerikanska satellitnavigasjonssystemet
HALE	High Altitude Long Endurance	UAV som flyger på höjder upp till 20 000 m (t.ex. RQ-4 Global Hawk och MQ-4 Triton).
ISR	Information, Surveillance, Reconnaissance	Informationsinhämtning, spaning och övervakning
JAUS	Joint Architecture for Unmanned Systems	Interoperabilitetsstandard för (främst mindre) obemannade system som ursprungligen utvecklades av US DoD
LCS	Littoral Combat Ship	US Navy
LARS	Launch And Recovery System	System för att sjösätta och ta upp UUV på USV eller bemannat fartyg
LiDAR	Light Detection And Ranging	Laserradar
LOCUST	Low-Cost UAV Swarming Technology	Forskningsprojekt finansierat av Office of Naval Research (ONR)
LRIP	Low-Rate Initial Production	Initial upphandling av begränsad volym i syfte att ge militären möjlighet att säkerställa att systemet uppfyller användarnas behov

MALE	Medium Altitude Long Endurance	UAV som flyger på höjder upp till ca 9000 m, med uthållighet mellan 24-48 timmar (t.ex. MQ-9 Reaper).
Minjakt		Innefattar detektion, identifiering, lokalisering, identifiering och neutralisering av sjöminor
Minröjning		Innefattar minsvepning och minjakt
MLO	Mine Like Object	Detektioner som misstänks utgöras av sjöminor
MCM	Mine Counter Measures	Minsvepning och minjakt till sjöss
NSWC	Naval Surface Warfare Centre	
OSD SCO	Office of the Secretary of Defense Strategic Capabilities Office	
OTH	Over-The-Horizon	Bortom horisonten
RCWS	Remote Controlled Weapon Station/System	Fjärrstyrd vapenstation
REA	Rapid Environmental Assessment	
RIB	Rigid Inflatable Boat	
ROV	Remotely Operated Vehicle	Fjärrstyrd undervattensfarkost
RPA ¹⁵	Remotely Piloted Aircraft	Fjärrstyrd obemannad flygande farkost
RPAS	Remotely Piloted Aircraft System	System bestående av en eller flera RPA:er, kontrollstation och radiolänk
RSTA	Reconnaissance, Surveillance, Target Acquisition	Spaning, övervakning och målinmätning
SAR	Synthetic Aperture Radar	Syntetisk aperturradar
SAS	Synthetic Aperture Sonar	Syntetisk apertursonar
SRR	Short Range Reconnaissance	Utvecklingsprogram inom US Army avseende en liten relativt billig RPAS avsedd för plutonsnivå
TA	Target Acquisition	Målinmätning
TTP	Techniques, Tactics, Procedures	Teknik, taktik och metoder
UAV	Unmanned Aerial Vehicle	Obemannad flygande farkost
USV	Unmanned Surface Vehicle	Obemannad ytfarkost
UUV	Unmanned Underwater Vehicle	Obemannad undervattensfarkost
VTOL	Vertical Take Off and Landing	UAV som startar och landar vertikalt

¹⁵ Försvarsmakten använder benämningen RPA för dagens fjärrstyrda obemannade flygande plattformar. Utvecklingen går dock mot högregradigt automatiserade ("autonoma") plattformar och då bedöms beteckningen RPA inte längre vara fullt ut representativ. Gränsen för när ett system bedöms vara "autonomt" är dock inte definierad. Med bakgrund av denna tvetydighet i beteckningar väljer vi att benämna de framtida systemen för UAV:er medan existerande obemannade flygande plattformar benämns RPA (se även [b]).

2 Förmågebehov och operativ användning

Syftet med detta kapitel är att ge en beskrivning av identifierade militära förmågebehov, baserat främst på erfarenheter och slutsatser från tidigare arbeten och den genomförda litteraturstudien. De är avsedda att fungera som underlag och stöd i det fortsatta arbetet rörande prioriteringar av önskade framtida förmågor. De användningsexempel som beskrivs i rapporten utgör inte en komplett sammanställning.

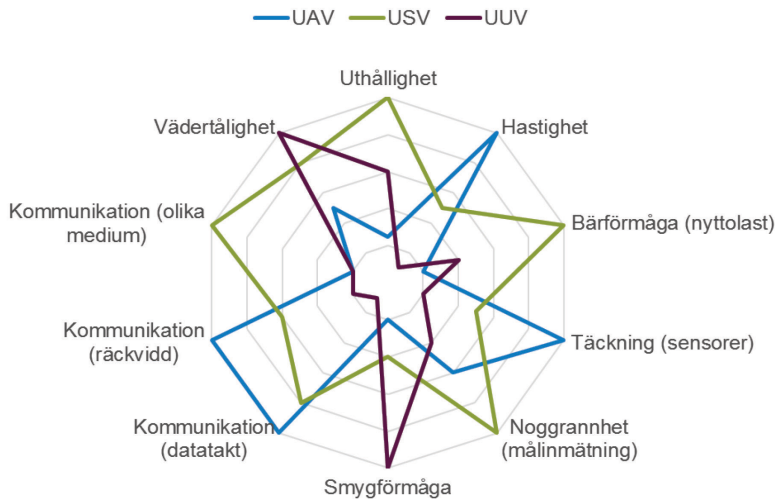
I figur 2.1 illustreras generella egenskaper hos olika typer av obemannade farkoster (UAV, USV och UUV). En översiktlig relativ jämförelse har genomförts.¹⁶ Illustrationen baseras delvis på information från [14,15]. En USV har typiskt en avsevärt längre uthållighet och kan bära mer nyttolast jämfört med en UAV eller UUV. Noggrannheten vid målinmätning bedöms även vara högre då de bland annat kan bära tyngre sensorer än en UAV medan en UUV opererar i en svårare miljö utan tillgång till exempelvis satellitbaserade navigationssystem. Den förmåga där en UUV har betydande fördelar i jämförelse med andra farkosttyper är smygegenskaperna. De är även mindre känsliga mot dåligt väder, där framförallt mindre UAV:er har stora problem.

En UAV har sina främsta styrkor när det gäller hastighet och att de upphöjda sensorerna ger god yttäckning, samt när det gäller räckvidd och datatakt i radiokommunikationen. En USV har dock fördelar när det gäller kommunikation med både flygande och ytgående farkoster (radio) och undervattensfarkoster (akustiskt), även om en UAV exempelvis kan kommunicera med UUV:er nära ytan (laser). Utifrån denna genomgång av egenskaper hos olika typer av obemannade system är det tydligt att de har delvis kompletterande styrkor och att de har olika goda förutsättningar att lösa specifika uppgifter. En heterogen sammansättning av obemannade system är även intressant för många framtida uppgifter.

2.1 Användningsexempel – sjöstrid

I detta delkapitel beskrivs hur obemannade flygande, ytgående och undervattensfarkoster används operativt i olika sjöstridstillämpningar. De obemannade farkosterna används normalt i ett fåtal roller och de samverkar i ytterst begränsad omfattning mellan de olika domänerna.

¹⁶ Eftersom olika storlekar av farkoster har delvis olika prestanda inom de jämförda områdena är illustrationen avsedd att endast ge en indikativ jämförelse baserat på en översiktlig sammanvägning av farkosttypernas egenskaper. Jämförelsen bör göras mellan farkoster av motsvarande storleksklass.



Figur 2.1: Övergripande jämförelse mellan viktiga egenskaper hos olika typer av obemannade farkoster. Illustration av relativa fördelar och nackdelar med UAV, USV och UUV.

2.1.1 Möjligheter och generella användningsområden

Fjorton länder deltar i ett Natosamarbete inom marina obemannade system (*Maritime Unmanned Systems, MAS*). Där har följande generella möjligheter med obemannade system inom marina operationer beskrivits: (i) reducera kostnaden (för farkost och personal), (ii) förbättrade smygegenskaper, (iii) utföra operationer under svårare väderförhållanden, (iv) längre uthållighet och (v) ökad säkerhet genom att flytta personal bort från farliga områden (*stand-off*). Tre användningsområden pekas även ut som intressanta: marin lägesbild, minröjning (*Mine-Counter Measures, MCM*) och ubåtsjakt.¹⁷

Utöver ovanstående fördelar anges i [16] även möjligheten att: (i) nå en ökad operativ effekt (exempelvis snabbare lösande av en uppgift), (ii) genomföra operationer i grunda eller svårtillgängliga havsområden, samt (iii) att lösgöra personal från rutinuppgifter till kognitivt mer krävande uppgifter. Det ger även möjlighet att frigöra de bemannade fartygen för att exempelvis möjliggöra kraftsamling i valda områden. Det bedöms även vara möjligt att med obemannade system snabbare skala upp en förmåga då farkosterna, i jämförelse med bemannade fartyg, har kortare produktionstider och är enklare att uppgadera under sin livscykel.

¹⁷ www.nato.int/nato_static_fl2014/assets/pdf/pdf_2019_09/20190909_190909-NMUS.pdf

2.1.2 Nulägesbild

Marinstridskrafterna i Sverige, Norge och Finland använder i begränsad omfattning obemannade system, främst olika undervattensfarkoster i form av AUV:er och ROV:ar [17]. I Sverige har USV:er använts för minsvepning. Små UAV:er förs nu in i den norska marinen, i form av nano-UAV för exempelvis bordningsstyrkor [17]. De nordiska länderna har en konkurrenskraftig industribas med hög kompetens framförallt inom obemannade undervattensfarkoster och ytgående minsvepningsfarkoster. En begränsad utveckling och experimentering med obemannade ytfarkoster pågår, exempelvis i Norge där koncept för obemannad minsvepning och minjakt är under utveckling. I deras koncept kommer en kombination av obemannade yt- och undervattensfarkoster att användas. Gemensamma forsknings- och utvecklingsprojekt har det senaste årtiondet genomförts i Europa, som behandlat obemannad minjakt och minsvepning (*Mine Counter Measures, MCM*). Projekten har genomförts inom ramen för den Europeiska förvarsbyrån (*European Defense Agency, EDA*).

2.1.3 Exempel på utmaningar

En utmaning rörande militär användning av obemannade och autonoma farkoster är att det ställer krav på det stabsarbete som ligger till grund för planering, ordergivning och uppföljning. För att OODA (*Observe, Orient, Decide, Act*)-loopen ska vara obruten måste hänsyn tas till alla ingående delar redan under planeringen inför nyttjandet av obemannade och autonoma farkoster. Planeringsbehovet beror på att dagens obemannade farkoster inte är fullt ut autonoma och de har inte heller förmågan att planera uppdragen på egen hand. I framtiden då obemannade farkoster uppnår en högre grad av autonomi behöver planen finnas för att ge farkosten handlingsregler, särskilt vid kommunikationsbortfall eller vid förändringar i den taktiska bilden.

2.1.4 RPAS

Ett stort antal fjärrstyrda obemannade flygande farkoster (RPAS) används operativt av marinstridskrafter världen över. De kan delas in i olika klasser beroende på exempelvis storlek, vikt, uthållighet eller räckvidd¹⁸, men det saknas idag en enhetlig internationell klassificering [6]. Exempelvis har försvarsdepartementet (*Department of Defense, DoD*) och armén i USA egna indelningar. I det nyligen framtagna förslaget till Systemutvecklingsplan (SUP) RPAS föreslås en ny nationell indelning, där RPAS delas in i fem olika nivåer

¹⁸ Notera att räckvidden i praktiken ofta begränsas av kommunikationssystemets räckvidd snarare än farkostens egentliga räckvidd. Större RPAS använder därför satellitkommunikation med global täckning.

beroende på vilken ledningsnivå de är avsedda att stödja, från låg stridsteknisk till operativ nivå.¹⁹

US Navy använder både rotorbaserade (*rotary-wing*) obemannade farkoster, exempelvis MQ-8B Fire Scout, och farkoster av traditionell flygplanstyp (*fixed-wing*) som MQ-27 ScanEagle 2, stationerade på sina fartyg. Den senare typen av plattform har normalt en längre uthållighet. UAV:er som stationeras på fartyg är begränsade i storlek och utgörs ofta av mindre taktiska UAV:er. Rotorbaserade UAV:er startar och landar vertikalt (*Vertical Take-Off and Landing, VTOL*) medan fartygsbaserade taktiska UAV:er av flygplanstypen, så kallade *fixed-wing*, ofta skjuts upp med katapult och fångas vid landning upp i ett nät eller med vajer.

Ett fåtal länder använder även landbaserade operativa UAV:er som stöd till marinstridskrafterna. Det är typiskt UAV:er med mycket lång uthållighet och räckvidd, exempelvis den Israeliska Hermes 900 (*Medium Altitude Long Endurance, MALE*). US Navy inför även strategiska UAV:er av typen MQ-4C Triton (*High Altitude Long Endurance, HALE*) som är en modifierad version av RQ-4 Global Hawk [6]. Små stridstekniska UAV:er införs även för spaning och övervakning för enheter som ansvarar för skydd av exempelvis baser och logistikförsörjningsplatser, samt för bordningsstyrkor, i syfte att förbättra deras lägesbild.

Fartygsbaserade UAV:er används primärt för att lösa följande uppgifter:

- Underrättelseinhämtning, spaning och övervakning (*Intelligence, Surveillance, Reconnaissance, ISR*)
- Målinmätning (*Target Acquisition, TA*)
- Verkansbedömning (*Battle Damage Assessment, BDA*)
- Kommunikationsrelä
- Signalspaning

De används även i begränsad utsträckning vid min- och ubåtsjakt.

2.1.4.1 ISTAR och verkansbedömning

Den vanligaste användningen av UAV:er hos olika nationers marinstridskrafter är underrättelseinhämtning, spaning, övervakning, samt målinmätning (ISTAR) och tillhörande verkansbedömning. Större UAV:er med god uthållighet ger möjlighet till långräckviddig målinmätning och bekämpning. Moderna sjömålsrobotar har en avsevärt längre räckvidd än fartygsbaserade sensorer vilket medför att förmågan till målinmätning på långa avstånd med upphöjda sensorer kan komma att utgöra en avgörande faktor vid ytstridsoperationer mot kvalificerade motståndare [18]. Konsekvensen av detta är även att UAV:er kan komma att utgöra prioriterade mål och teknik, taktik och metoder för UAV:er

¹⁹ SUP RPAS är ännu (juni 2020) ej fastlagd.

behöver därför utvecklas så att denna hotbild omhändertas vid införandet av dessa.

För operationer i telestörda miljöer kan på kort sikt förankrade UAV:er, med kabelbunden kommunikation och energiförsörjning, utgöra ett alternativ för spaning, övervakning och målinmätning på korta avstånd. Det finns dock nackdelar med dessa och under frisiktsförhållanden är det möjligt att skapa störsäkra kommunikationssystem med hög dataakt på avstånd av några kilometer. Det kan realiseras genom exempelvis laserkommunikation eller radiokommunikation på höga frekvenser (exempelvis 55 eller 60 GHz).

2.1.4.2 Relänod

En sekundär förmåga som införts hos flertalet större UAV:er, framförallt inom US Navy, är möjligheten att agera som relänod för kommunikation som stöd för mark- eller sjöförband. Det är en förmåga som bedöms kunna tillföra ett stort värde och som i möjligaste mån bör införas på taktiska UAV:er och på större stridstekniska UAV:er (om möjligheten att integrera dedikerad nyttolast finns). Det är också värdefullt om kommunikationssystemen på stridstekniska UAV:er utformas så att de kan kommunicera direkt sinsemellan och reläa trafik, exempelvis målkoordinater, på motsvarande sätt som exempelvis AeroVironment's DDL (*Digital Data Link*) möjliggör.

2.1.4.3 Signalspaning

Spaning mot fientliga radar- eller kommunikationssystem kan med upphöjda UAV-burna signalspaningsmottagare genomföras på långa avstånd till sjöss. Det utgör ytterligare ett verktyg för att uppnå den önskade sjölägesbilden. En mobil passiv sensor kan ha en avgörande betydelse exempelvis i högnivåkonflikter där stationära radarsystem kan utgöra prioriterade mål tidigt i en konflikt.

2.1.4.4 Min- och ubåtsjakt

Det är tekniskt möjligt att utrusta större rotorbaserade UAV:er, såsom MQ-8 Fire Scout, med exempelvis sonobojar, ytmålsradar och laserradar (*Light Detection And Ranging, LiDAR*) och använda dessa som en resurs vid ubåtsjakt eller för att upptäcka flytande eller bottenlagda sjöminor på grunda vatten. Det är dock oklart i vilken omfattning som de används operativt i denna roll.

2.1.5 USV

Utvecklingen av militära USV:er har accelererat det senaste årtiondet. Idag finns både direkt fjärrstyrda (teleopererade) USV:er, där en operatör styr plattformen baserat på realtidsvideo från dess sensorer (ofta 360-graders kameror), samt USV:er som styrs medelst brytpunktsnavigering. I det senare fallet kan

plattformarna även ha en inbyggd förmåga att automatiskt upptäcka och väja för andra farkoster och hinder.

USV:er har flera potentiella fördelar i jämförelse med bemannade fartyg (av motsvarande storlek), där de viktigaste är att framförallt små och medelstora USV:er kan nå: (i) längre uthållighet, (ii) lägre driftskostnader, (iii) minskad risk för sjömän genom att förflytta dem bort från farliga områden (exempelvis minerade områden) och (iv) möjlighet att operera och framföras i högre hastigheter under sämre väderförhållanden. En trolig utveckling är att USV:er effektivt kommer kunna lösa specifika uppgifter men att bemannade fartyg under lång tid kommer vara avsevärt mer flexibla och effektiva när det gäller lösandet av ett betydligt större antal uppgifter. Detta möjliggör att USV:er används för utvalda deluppgifter så att bemannade fartyg frigörs för att lösa de mer kvalificerade uppgifterna. De bör därför ses som komplement till bemannade fartyg och förstärka de förmågor som dessa har. Framtida autonoma USV:er kan dock möjliggöra en snabbare styrketillväxt av specifika förmågor, exempelvis minsvepning och minjakt, när tekniken väl är mogen för att lösa de specifika uppgifterna med önskad operativ effekt.

De vanligaste militära användningsområdena för obemannade ytfarkoster är:

- Patrullering och övervakning
- Minsvepning
- Målfarkost
- Havsövervakning

2.1.5.1 Patrullering och övervakning

Endast ett fåtal länder använder idag beväpnade USV:er operativt. Israel och Singapore har i mer än 15 år använt olika versioner av Rafael Advanced Defense System's Protector för exempelvis skydd av kritisk infrastruktur som hamnar, eller för patrullering och gränsövervakning.²⁰ Protector utrustas normalt med en stabiliserad fjärrstyrd vapenstation (*Remote Control Weapon Station, RCWS*) i form av en Mini Typhoon, som kan konfigureras med en kulspruta (12.7 eller 7.62 mm), eller en 40 mm granatspruta. Singapore har även använt Protector i Adenviken i internationella operationer syftande till att skydda den civila sjöfarten mot pirater.

2.1.5.2 Minsvepning

Minsvepning är kanske den militära uppgift där det är enklast att motivera fördelarna med att använda en obemannad ytfarkost. Genom att personalen kan genomföra uppdraget på säkert avstånd ökar deras säkerhet, samtidigt som

²⁰ www.rafael.co.il/worlds/naval/usvs/

kraven på en USV i form av uthållighet och bogseringsförmåga är hanterbara med existerande plattformar. Obemannade ytfarkoster har under flera decennier använts för mekanisk minsvepning. De kan även genomföra influensbaserad minsvepning där de bogserar utrustning som försöker efterlikna de akustiska, magnetiska och elektriska signaturerna från olika typer av fartyg. Ett exempel på obemannad minsvepningsfarkost är Saab's SAM 3.²¹

2.1.5.3 Målfarkost

Ett vanligt användningsområde för fjärrstyrda (teleopererade) USV:er är som målplattform. Exempelvis används mindre USV:er för att träna besättningen på kvalificerade marina plattformar att bekämpa hot från snabbgående mindre motorbåtar, även när de attackerar i form av svärmar av USV:er. För att uppnå önskad träningseffekt är det kritiskt att målfarkosterna kan manövrera på liknande sätt, och i motsvarande hastigheter, som de hot som personalen tränar på att möta. Användningen av obemannade system ger även möjlighet till hög realism vid övning då även bekämpning kan genomföras utan risk för personalen.

2.1.5.4 Övervakning av hav

Monitorering av hav genomförs idag med obemannade plattformar, bland annat med ytgående s.k. vågglidare (*wave gliders*²²), som under lång tid genomför meteorologiska och oceanografiska undersökningar. De kan även användas för att mäta upp de hydroakustiska egenskaperna inför eller under en operation. USV:er för havsmonitorering och klimatforskning har främst utvecklats för civila forskningsändamål men de har i viss utsträckning även använts militärt för liknande ändamål. Denna typ av USV:er karaktäriseras av att de har en mycket lång uthållighet, de är extremt energieffektiva och kan operera i upp till ett år i sträck genom att ladda batterierna med hjälp av sol- och vågenergi. Vågglidare använder sig normalt av skillnaderna i rörelse på havsytan och det lugnare vattnet en bit under ytan.²³ De kan dock endast röra sig i låga hastigheter (enstaka knop). De kan genomföra mätningar även under ytan med sensorer som är förankrade i farkosten.

Det finns även flytkraftsdrivna (*buoyancy-driven*) obemannade undervattensfarkoster som huvudsakligen framförs under ytan.²⁴ De återkommer regelbundet till ytan och kan då positionera sig med GNSS-mottagare samt sända sensordata

²¹ saab.com/naval/submarines-and-surface-ships/surface-ships/sam-3-minesweeping-usv/

²² www.liquid-robotics.com/markets/defense-security/

²³ Vågglidare består normalt av två delar, en surfbrädeliknande del som flyter på ytan och en vinge som är förankrad fyra till åtta meter ned i vattenvolymen. Denna design ger god stabilitet och vågglidare kan operera även i *SeaState* 6+.

²⁴ www.teledynemarine.com/glider-options/

och ta emot uppdaterade styrkommandon via satellitkommunikation. Även dessa UUV:er kan operera under mycket långa tider och har liknande begränsningar när det gäller hastighet.

2.1.6 UUV

US DoD lanserade för 20 år sedan den första utgåvan av *UUV Master Plan* (UUVMP). I dokumentet beskrevs vilka förmågor som efterfrågades hos obemannade undervattensfarkoster. Dokumentet har sedan dess utkommit i en handfull uppdaterade versioner.²⁵ Utvecklingen inom obemannade undervattensfarkoster har sedan dess i stort följt de övergripande dragen i denna plan.

Automatisering inom militära system delar flera av de drivkrafter som driver automatisering inom den civila industrin. Där är frågor som arbetsmiljö, farliga eller repetitiva arbetsmoment och jämnare kvalitet viktiga drivkrafter tillsammans med produktivitet och leveranssäkerhet. I den militära domänen diskuteras istället att obemannade farkoster ska utföra uppdrag som beskrivs som *dull*, *dirty* eller *dangerous* (3D). De användningsområden som hittills fått störst spridning inom den militära domänen, kartering och minjakt, faller in inom området rutinuppgifter men där minjakt även utgör ett potentiellt farligt uppdrag. Det är två uppgifter som idag är tidskrävande och kräver stora personella resurser.

Ett flertal av de intressantaste förmågorna som UUV:er potentiellt skulle kunna uppfylla kan dock ännu inte realiseras då nuvarande tekniska begränsningar inom områden som autonomi, energisystem, kommunikation och navigering begränsar plattformarnas användbarhet väsentligt.



Figur 2.2: Vänster: Minröjningsfartyget HMS Ven under övningen Swenex 19 (foto: Jimmie Adamsson, Försvarmakten). Höger: ROV som förbereds för uppdrag från minröjningsfartyget HMS Kullen (foto: Marcus Ahlén, Försvarmakten).

²⁵ www.hsd1.org/?view&did=708654

Obemannade undervattensfarkoster används operativt för att genomföra följande typer av uppdrag:

- Kartering av havsbotten
- Mätningar av hydroakustiska förhållanden
- Målfarkost
- Klassificering och neutralisering av sjöminor

2.1.6.1 Kartering av havsbotten

Om en detaljerad djupkarta (bottentopografisk bild) finns tillgänglig ökar möjligheterna att detektera minor och andra objekt samtidigt som antalet falska detektioner kan reduceras. Då kan algoritmer för förändrings- eller avvikelse-detektion användas vilket medför att minjakt kan genomföras avsevärt snabbare. Maringeologisk data som anger botten typ, sediment och dess hårdhet ger kompletterande information om hur svårt det bedöms vara att detektera bottenlagda objekt. Genom att dra militära farleder, även tillfälliga kringgångsfarleder, över områden som övervägande har bottenförhållanden som förenklar minjakt (dvs mjuka och släta istället för hårda och kuperade bottenar) reduceras även tiden som åtgår för minjakt [8]. Detaljerade djupkartor möjliggör även noggrann undervattensnavigering i områden där tillräckliga djupvariationer finns som kan jämföras med den lokala djupkarta farkosten skapar i realtid med sina egna sensorer (*Terrain-Based Navigation, TBN*).

Karteringen av djup och maringeologiska parametrar ger även underlag till s.k. taktiska kartor som kan effektivisera exempelvis minkrig och ubåtsjakt. Avsikten är att för exempelvis operatörer presentera anpassade geografiska underlag som på ett intuitivt sätt kan illustrera terrängens påverkan på möjligheterna att bedriva ubåts- eller minjakt [8].

Kartering av havsbotten genomförs med bland annat AUV:er idag. De följer under ett karteringsuppdrag en förprogrammerad bana och samlar in sensordata som överförs till en operatörsstation och analyseras när AUV:n avslutat sitt uppdrag. AUV:erna har förmåga att upptäcka och väja för hinder men har begränsat behov av att genomföra omplaneringar av uppdraget under dess genomförande. Behovet av autonomi är begränsat i denna tillämpning. Farkosten behöver heller inte ha inbyggd förmåga till analys av informationen från de egna sensorerna.

En farkost som används för kartering av havsbotten behöver högupplösta sensorer för att samla information. De vanligast använda sensortyperna är idag sidoskannande sonarer och multistråleekolod. Högupplöst interferometrisk syntetisk apertursonar (som Kongsberg HiSAS) används även i ökande omfattning. Vid kartering av bottenförhållanden genereras stora mängder sensordata.

De kvarvarande utmaningarna när det gäller AUV:er som används för bottenkartering handlar dels om farkostens räckvidd och hastighet, vilket främst begränsas av energitillgången, dels den positionsnoggrannhet som farkosten har. Vid fredstida bottenkartering kan ett lokalt akustiskt positioneringssystem sjösättas från ytfartyg som stöttar AUV:ns interna navigeringssensorer. Vid dold bottenkartering utgör dock navigationssystemet fortsatt en avgörande begränsning.

Enligt Försvarmaktens *Maritime Warfare Data Centre* (MWDC) hade i januari 2019 ca två tredjedelar av svenskt territorialvatten och ekonomisk zon utanför ytterskärgården karterats med multistråleekolod. I skärgården bedömdes 10-15% vara karterad på motsvarande sätt, varav endast 4% av områden med ett djup under 10 meter [8]. Det finns ett behov av att skala upp förmågan att kartera områden framförallt inomskärs vilket skulle kunna åstadkommas med AUV:er eller USV:er som utrustas med avancerade släpsonarer som automatiskt anpassar sitt djupgående.

2.1.6.2 Mätningar av hydroakustiska förhållanden

Mätningar av hydroakustiska förhållanden ger värdefull information för strid på undervattensarenan. Sådana mätningar sker idag men skulle kunna genomföras oftare och mer kontinuerligt över tid, något som exempelvis USA har gjort under flera år med så kallade *buoyancy gliders* (se även 5.2.1).²⁶ Dessa farkoster utnyttjar den framåtgående rörelseenergin då farkosten sjunker och sedan på ett visst djup med hjälp av inbyggda, automatiska reglerfunktioner stiger till ytan där insamlad data kan sändas för bearbetning innan farkosten sjunker igen. Uthålligheten för dessa *buoyancy gliders* är normalt flera månader.²⁷

2.1.6.3 Målfarkost

Obemannade undervattensfarkoster kan nyttjas för målgång vid ubåtsjaksövningar av växlande svårighetsgrad [19]. För att träna grunderna i detektion och målföljning vid ubåtsjakt kan en enklare autonom undervattensfarkost användas som förflyttar sig längs en förutbestämd bana (brytpunktsnavigering). Då en spanande (aktiv) sonar pingar på farkosten kan den svara med ett svarseko som liknar ekot från en ubåt. Det ger en möjlighet att träna såväl sonaroperatör som andra befattningar i stridsledningscentralen (SLC). På detta sätt underlättas även övningsutvärderingen eftersom farkostens position och förväntade beteende är känt för övningsledning. Saab's *AUV62-AT* utgör ett exempel på målfarkost.²⁸

²⁶ www.nrl.navy.mil/news/releases/smart-sea-gliders-improve-ocean-observation-and-ocean-prediction

²⁷ www.noc.ac.uk/facilities/marine-autonomous-robotic-systems/gliders

²⁸ www.saab.com/products/auv62-at

Även mer avancerade övningar är möjliga med moderna målfarkoster som uppvisar ett mer verklighetstroget beteende. Ett sådant beteende ställer krav på att farkosten även har en viss uppfattning om sin omgivning och kan reagera på vad de jagande plattformarna gör.

2.1.6.4 Klassificering och neutralisering av sjöminor

Fjärrstyrda ROV:ar används idag i stor utsträckning för att ge en operatör möjlighet att klassificera och neutralisera misstänkta sjöminor. En ROV strömförsörjs och kommunicerar med operatören via kabel och operatören kan därmed se plattformens sensordata och styra den i realtid för att få den att med hjälp av sonardata hitta tillbaka till tidigare upptäckta misstänkta minliknande objekt (*Mine Like Object, MLO*). Vid klassificering används ofta visuella kameror och en belysningskälla. Efter att minan har klassificerats används en sprängladdning för att neutralisera denna. Ett exempel är Atlas Elektronik's SeaFox C.²⁹ Denna typ av ROV benämns EMDV (*Expendable Mine Disposal Vehicle*). Saab's Double Eagle MkII/III är en ROV som används för minneutralisering men den kan även användas som en variabel djupsonar.³⁰ Saab har även utvecklat en ROV för neutralisering av upp till tre minor under samma uppdrag, benämnd MuMNS (*Multi-Shot Mine Neutralization System*).

En ökad grad av automatisering är önskvärd för att ge operatörerna ett ökat stöd i syfte att reducera operatörens kognitiva belastning och även öka noggrannheten.

2.2 Exempel på önskade förmågor

I detta delkapitel ges en sammanställning av övergripande förmågebehov där obemannade och autonoma farkoster förväntas kunna ge operativa fördelar i militära operationer. De operativa fördelarna består bland annat i att farkosterna förstärker redan befintliga förmågor samt att de kan avlasta bemannade enheter vid exempelvis rutinuppdrag eller uppgifter med högre risktagning. De obemannade och autonoma farkosterna kan även komma att utgöra en styrkemultiplikator (*force multiplier*) och därmed skapa lokal styrketillväxt, exempelvis som sensorbärare vid avregling av ett område eller som vapenbärande plattformar under direkt kontroll av styrkechef eller av denne utsedd. Ett flertal av de förmågor som önskas hos framtidens obemannade system kan uppnås effektivast genom att använda samverkande system från olika domäner. De obemannade systemen skulle även kunna användas för att komplettera fasta, utläggbara samt fartygsbundna undervattenssensorer vid exempelvis basövervakning eller ubåtsjakt.

²⁹ www.atlas-elektronik.com/solutions/mine-warfare-systems/seafoxr.html

³⁰ www.saab.com/products/double-eagle

RAND analyserar i [10,14] olika koncept för hur USV:er och AUV:er kan användas av US Navy, medan QinetiQ på uppdrag av FMV har genomfört en liknande genomlysning när det gäller möjliga användningskoncept med AUV:er för den svenska marinen [16]. Fokus i den senare rapporten var mot MCM, ubåtsjakt, skydd av kritisk infrastruktur och dold ISR men även minläggning diskuteras.

2.2.1 Övergripande utvecklingsbehov

De viktigaste identifierade behoven syftar till att obemannade system ska kunna utföra sina uppdrag även i kris- och krigsscenario mot en högteknologisk motståndare med avancerad telekrigsförmåga. Det förutsätter för ytgående och flygande farkoster i första hand att förbättrade navigations- och kommunikationssystem med avancerad störskyddsförmåga utvecklas. Ett viktigt exempel är patrullrobotar där operatören inför insatsbeslut är beroende av tillgång till data från patrullrobotens elektrooptiska sensorer.

Autonomt uppträdande i form av eget beslutsfattande som möjliggör uppdragsplanering, och anpassning av hur uppdraget genomförs i realtid, behöver även föras in. En ökad grad av uppdragsautonomi förutsätter att de obemannade plattformarnas förståelse av kontext, baserat på information från plattformens egna sensorer, kan förbättras. Det är även kritiskt att en autonom farkost automatiskt kan upptäcka eventuella fel (mekaniska, elektriska och mjukvarubaserade) och bedöma dess eventuella konsekvenser för säkerhet och utförandet av uppdraget, samt anpassa utförandet utifrån dessa nya förutsättningar. En högre grad av autonomi är nödvändig då det även möjliggör att de obemannade plattformarna kan fortsätta utföra sitt uppdrag under kortare eller längre perioder av kommunikationsbortfall.

Obemannade undervattensplattformar är inte lika utsatta för fientliga telekrigsinsatser. Kommunikationsmöjligheterna är däremot begränsade då elektromagnetiska vågor dämpas mycket kraftigt i vatten, samtidigt som de snabbt varierande hydroakustiska egenskaperna i Östersjön utgör en försvårande faktor för akustisk undervattenskommunikation. Akustiska undervattenskommunikationssystem med högre tillgänglighet, räckvidd och dataakt är viktiga att utveckla men akustiska kommunikationssystem förväntas inte heller i framtiden fullt ut kunna lösa kommunikationsbehoven (framförallt när det gäller dataakt). Den allvarligaste begränsningen med obemannade undervattensplattformar utgörs dock av energiförsörjningen, som idag huvudsakligen utgörs av batterier. Effektivare energisystem, som medger avsevärt ökade uthålligheter och hastigheter, behöver utvecklas för att AUV:er ska kunna spela en framträdande roll för de framtida marinstridskrafterna.

2.2.2 UAV

Utöver ovanstående tekniska utvecklingsbehov så har följande förmågor identifierats som potentiellt intressanta när det gäller UAV:er:

- liten stridsteknisk UAV med förmåga att operera i telestörda miljöer, för spaning och övervakning på grupp- och plutonsnivå,
- liten taktisk UAV med lång uthållighet för stationering ombord på marinens fartyg.

UAV:er med lång uthållighet, som har möjlighet att bära kvalificerade radarsensorer, kan även användas för territorialövervakning, som stöd i skapandet av sjölägesbilden.

2.2.2.1 Spaning och övervakning i närområdet

Både amfibieförband och basskyddsförband har behov av en liten bärbar UAV på grupp- eller plutonsnivå som kan användas för spaning och övervakning av närområdet. Systemet bör vara enkelt att använda. Kostnaden bör vara låg för att medge ett brett införande inom alla försvarsgrenarna. Dock är det viktigt att UAV:n har en grundläggande förmåga att operera i telestörda miljöer, vilket på kort sikt förväntas öka kostnaden då COTS-lösningar inte kan användas rakt av.

2.2.2.2 Taktisk UAV

Utrymmet på marinens fartyg är kraftigt begränsat vilket reducerar möjligheterna att stationera UAV:er med lång uthållighet och räckvidd på dessa. Mindre taktiska UAV:er, som kan starta och landa vertikalt (VTOL) och har en lång uthållighet, skulle ge marinens fartyg förmåga till långräckviddig spaning, övervakning, målnmätning och verkansbedömning.

Ett alternativ är att undersöka möjligheterna att använda landbaserade taktiska RPAS för att uppfylla marinens behov i kustnära och Östersjöoperationer. Dessa kan då antingen ledas helt från en markbaserad kontrollstation (*Ground Control Station, GSC*), vilket ställer höga krav på sambandet mellan GSC och de marina enheterna. Alternativt sköter den markbaserade kontrollstationen start och landning av RPA och flyger den till angivet operationsområde där en fartygsbaserad kontrollstation tar över ledningen. Ett mellansteg är att fartygsbaserade operatörer endast kan ta över styrningen av plattformens sensorer när den flyger i operationsområdet. I alla dessa situationer bör dock ett grundläggande krav vara att plattformen ska kunna leverera sensordata direkt till (utvalda) egna enheter i operationsområdet.

2.2.3 USV

Följande förmågor har identifierats som potentiellt intressanta när det gäller framtida USV:er:

- Minröjning
- Ubåtsjakt (*Anti-Submarine Warfare, ASW*)
- Ytstrid (*Anti-Surface Warfare, ASuW*)
- Spaning, övervakning och målinmätning
- Moderplattform (UAV och UUV)
- Kommunikationsnod
- Logistik
- Telekrig
- Vilseledning

2.2.3.1 Spaning, övervakning och målinmätning

Det finns ett stort behov av ökad förmåga till spaning och övervakning samt målinmätning. Genom att använda de obemannade farkosternas aktiva sensorer såsom radarsystem istället för de som finns på de kvalificerade bemannade fartygen reduceras risken att dessa lokaliseras och bekämpas. Fartygen kan då även välja mer skyddade positioner, vilket bidrar till ett minskat risktagande med de kvalificerade bemannade fartygen. Obemannade ytfarkoster kan potentiellt även användas som en rörlig del i sensorkedjan för att skapa den samlade lägesbilden, som exempelvis skapas i MOC (*Maritime Operations Centre*). Det är även av vikt att skapa ett informationsöverblick avseende sjö-, luft- och markmål vid basområden och utgångsgrupperingar, med tillhörande förmåga till målinmätning. Uthållig spaning, övervakning och målinmätning bedöms kunna utgöra ett viktigt användningsområde även för obemannade ytfarkoster.

2.2.3.2 Minröjning

Det bedöms finnas ett behov av att ha möjlighet att skala upp minröjningsförmågan generellt, dels för att möjliggöra snabbare röjning av ett område och dels för att kunna genomföra minröjning i fler geografiska områden samtidigt. Ett sätt att nå detta är genom att införa obemannade farkoster för att genomföra minsvepning, vilket har potentialen att sänka kostnaden och ge möjlighet till en snabb uppskalning av förmågan. Samtidigt behöver även den obemannade minjaktsförmågan vidareutvecklas genom att utveckla förbättrade algoritmer för automatisk detektion och lokalisering av sjöminor. Den tekniska utmaningen utgörs främst av behovet att utveckla sensorer och algoritmer för tillförlitlig automatisk detektion och lokalisering av bottenlagda sjöminor i miljöer med svåra bottenförhållanden. Tidigare insamlade bottenkartor kan användas för att öka upptäcktssannolikheten då de möjliggör detektion av avvikelser mellan den karta som byggs upp i realtid och tidigare genererade bottenkartor.

2.2.3.3 Ubåtsjakt

På motsvarande sätt är en generell förstärkning av ubåtsjaktsförmågan önskvärd, främst när det gäller förmågan till detektion, klassificering och följning av

ubåtar. Här innefattas även förmågan att detektera och följa mindre UUV:er. Ett alternativ som undersöks internationellt är att använda USV:er som sensorbärare och de kan då ses som ett komplement till helikopterburen ubåtsjakt, framförallt inomskärs. USV:er bedöms dock på kort och medellång sikt endast utgöra ett komplement till bemannade fartyg. Försök pågår även internationellt med att utrusta medelstora USV:er med förmåga till bekämpning, exempelvis med lätta torpeder.³¹

2.2.3.4 Ytstrid

Internationellt går utvecklingen mot att införa exempelvis Spike- och Hellfireroboter på medelstora USV:er, samt patrullrobotar som även kan bekämpa ytmål bortom horisonten. Medeltung sjömålsrobot kan även vara möjlig att integrera på sikt. Kombinerat med målinmätning från bemannade fartyg eller UAV:er kan på så sätt eldkraften distribueras geografiskt på mindre obemannade ytfartyg vilket reducerar risken för upptäckt och ökar redundansen i den offensiva förmågan. Det kan potentiellt öka eldkraften för bland annat Amfibieförband samtidigt som de vid behov skulle kunna stödja större fartyg även längre ut i Östersjön, exempelvis för skydd mot svärmar av obemannade ytfarkoster.

US Navy strävar även efter att använda stora USV:er som magasinsfartyg som kan bära stora mängder sjömåls- och kryssningsrobotar som komplement till de bemannade fartygens offensiva förmåga.

2.2.3.5 Moderplattform

Flera av de förmågebehov som identifierats kan lösas enklare genom att använda en kombination av olika typer av obemannade farkoster i olika roller. Det gäller exempelvis minröjning, ubåtsjakt och ytstrid. USV:er har typiskt mycket lång uthållighet jämfört med UAV:er och UUV:er och en USV som agerar som moderplattform kan därmed användas för energiförsörjning av dessa. Då hastigheten typiskt är avsevärt högre för en USV än en UUV kan de användas för att snabbt flytta en UUV till önskat operationsområde. Ett liknande resonemang kan föras för mindre UAV:er som har en begränsad flygtid. Även mindre USV:er bedöms, ur ett tekniskt perspektiv, kunna utrustas med patrullrobotar och förflytta dem närmare operationsområdet innan de avfyras.

En utmaning är att utveckla system för att lägga i och ta upp UUV:er (*Launch And Recovery System*, LARS). Framförallt återtagandet av en UUV kan vara

³¹ www.dsjournal.com/2018/12/06/elbit-systems-teams-with-leonardo-to-develop-additional-torpedo-capability-for-seagull-usv/

problematisk vid grov sjö. Stark vind och sjögång kan även försvåra landningsfasen för en UAV på en USV.

2.2.3.6 Kommunikationsnod

USV:er har en unik möjlighet att agera som relänod mellan olika typer av obemannade farkoster, samt till bemannade farkoster, som opererar i olika domäner (luft, på och under ytan) eftersom de kan utrustas med både akustiska och radiobaserade kommunikationssystem. Styrkommandon kan med akustisk undervattenskommunikation förmedlas vidare till UUV:er från bemannade farkoster, medan bearbetad sensorinformation kan förmedlas från UUV till operatör. Rå sensordata från en ROV (som opereras från en USV) kan vid exempelvis minjakt och neutralisering förmedlas till operatör genom radiokommunikation från USV:n. En UAV kan även användas för att öka räckvidden för radiokommunikationen mellan USV och operatör ombord på ett bemannat fartyg.

2.2.3.7 Logistik

Framförallt Amfibieförbanden bedöms ha ett behov av att transportera förnödenheter med små och medelstora obemannade ytfarkoster. Logistikförmågan är till stora delar utvecklad då dagens USV:er bedöms ha förmågan att autonomt förflytta sig genom exempelvis brytpunktsnavigering samtidigt som de kan upptäcka och väja för hinder. Existerande medelstora obemannade farkoster är modulära och de kan konverteras till logistikplattformar som kan frakta flera ton nyttolast. Obemannade logistikfarkoster kan även användas för att utföra evakuering av skadade (*Casualty Evacuation, CASEVAC*) [12].

En ökad autonominivå är dock önskvärd, exempelvis möjligheten att optimera ruttval dynamiskt utifrån ny information om exempelvis hotbild eller att automatiskt kunna välja landstigningsplats.

2.2.3.8 Telekrig

Det bedöms finnas behov av en utökad förmåga att kunna distribuera signalspaningsystem och störsystem geografiskt till sjöss samt öka förekomsten av dessa. USV:er kan bära tung nyttolast och har en lång uthållighet vilket gör att de kan genomföra både underrättelseverksamhet i form av uthållig signalspaning och även störning med hög effekt med riktantenner. Exempel finns även där USV:er med telekrigsförmåga utvecklas för att skydda större bemannade fartyg mot sjömålsrobotar.³² De behöver då ha förmågan att tidigt upptäcka robotar

³² www.rafael.co.il/wp-content/uploads/2019/03/PROTECTOR-SSM-2.pdf

samt ha möjlighet att påverka dessa. Detta innebär sannolikt att de behöver placeras geografiskt längs sjömålsrobotens flygväg.

2.2.3.9 Vilseledning

Motståndarens förmåga till långräckviddig precisionsbekämpning utgör ett allvarligt hot mot marinens fartyg. Det finns därför behov av att påverka motståndarens förmåga till långräckviddig målinmätning. Det kan genomföras genom att kinetiskt bekämpa motståndarens obemannade farkoster som används för spaning, övervakning och målinmätning, men ett alternativ är även att försöka vilseleda dessa system. Det kan exempelvis ske genom telekrigsinsatser eller med obemannade skenmål.

Vilseledning diskuteras som ett av användningsområdena i US Navy utveckling av stora USV:er [20]. Operationell vilseledning med obemannade farkoster utgör även ett potentiellt viktigt område som diskuteras i [10].

2.2.4 AUV

Följande förmågor har identifierats som potentiellt intressanta när det gäller framtida AUV:er:

- Framskjuten ISR
- Minkrig
- Ubåtsjakt
- Vilseledning
- Skydd av hamnar och baser

2.2.4.1 Framskjuten ISR

En farkost som används för spaning, övervakning och målinmätning måste ha sensorer för att samla information. Beroende på vilken typ av information som efterfrågas kommer krav att ställas på olika sensortyper och dessutom på vilken typ av analys som görs i farkosten.

Till det kommer kravet att farkosten behöver kunna dra egna slutsatser, eller åtminstone kommunicera sensordata över långa avstånd, för att den ska ha effekt i scenarion med korta tidsförlopp. För underrättelseinhämtning kan plattformen dolt förflytta sig i tilldelat spaningsområde för att sedan leverera information för bearbetning men då som en del i informationskedjan som beskriver vad som har hänt, inte vad som händer. Utmaningarna för att lösa dessa uppgifter består framför allt i förmågan till kommunikation samt räckvidd och uthållighet på plattformarna idag, ett problem som förväntas bestå i närtid.

En utmaning med verksamhet i undervattensdomänen i allmänhet är kommunikation och ledning. Dels finns det direkta svårigheter att överföra stora mängder information i vatten och dels är röjningsrisken stor vid sådana

emissioner. En lösning på detta skulle kunna vara att placera ut obemannade system som kommunikationsnoder vid framskjuten spaning. Högre risktagning kan i viss utsträckning accepteras om farkosten upptäcker synnerligen viktig information, vilket också innebär att kommunikationen exempelvis skulle kunna ske över vattenytan med väl valda sambandsmedel [10]. Detta förutsätter dock en hög grad av självständigt agerande av sagda obemannade system, genom hela kedjan.

2.2.4.2 Minjakt

Inom ramen för minkrigsföringen skulle AUV:er kunna utgöra en förmågehöjare som även kan medge en snabbare uppskalning av minjaktsförmågan. Den unika möjligheten med AUV:er är möjligheten att dolt förflytta farkosten in i exempelvis en förträngning för att där leta efter minor. Flera farkoster kan även nyttjas samtidigt för att snabbare genomsöka större områden. En större AUV skulle, på liknande sätt som Saab ROV MuMNS, kunna bära med sig ett antal minförstöringsladdningar för att destruera identifierade minlika objekt. För att detta ska vara möjligt ställs stora krav på farkosternas navigationssystem. De måste först samla in bottendata för att skapa en karta med hög tillförlitlighet, en annan farkost ska sedan kunna navigera till den position på kartan där en avvikelse detekterats. Då rätt geografisk position uppnåtts ska en minförstöringsladdning placeras rätt i förhållande till det minlika objektet. Det är troligt att den slutliga identifieringen av en sjömina och den efterföljande neutraliseringen i hög utsträckning kommer att genomföras av en operatör under en lång tid framöver.

Ytterligare fördelar med undervattensfarkoster i detta sammanhang är att de kan nyttjas för bottenkartering och sedan ges i uppgift att upprepa dessa karteringsbanor i syfte att effektivare lösa uppgiften skydd mot återminering.

2.2.4.3 Minläggning

Något som diskuteras och som det även görs försök med internationellt är att nyttja AUV:er som intelligenta min- och sensorplattformar framförallt inom ramen för offensiv minering. Detta förutsätter att en ny klass av större AUV:er utvecklas som har en lång uthållighet och räckvidd samt förmåga att bära multipla minor till det område som ska mineras [10].

2.2.4.4 Ubåtsjakt

En autonom farkost kan vara ett stöd vid ubåtsjakt, om än då i ett vidare begrepp. Givet att farkosten har en uppsättning sensorer lämpade för uppgiften kan den bidra till detektion av en främmande miniubåt eller främmande AUV. Upptäcktsavstånden bedöms dock bli korta för mindre AUV:er [16].

2.2.4.5 Vilseledning

En AUV som används för avancerade ubåtsjaksövningar kan potentiellt även användas för vilseledning. Om AUV:n utifrån informationen från sina sensorer har förmågan att själv skapa sig en uppfattning om vad som händer i sitt närområde så kan den även ha förmågan att vilseleda en motståndare.

En relativt sett liten autonom farkost kommer inte att ha vare sig fartresurser, uthållighet eller möjligheten att efterlikna en ubåt på korta avstånd. Men givet att farkosten kan hålla sig på ett något längre avstånd från spanande sensorer kan den vara svårare att skilja från exempelvis en riktig ubåt.

2.2.4.6 Skydd av hamnar och baser

Såväl ytgående som undervattensfarkoster skulle kunna utgöra en styrkemultiplikator i basförsvarshänseende, exempelvis för upptäckt av miniubåtar, AUV och dykare. Det kan exempelvis implementeras genom självgående enheter som genomför bottenkartering i syfte att upptäcka objekt genom avvikelstdetektion. Likaså skulle AUV:er och ROV:ar kunna genomföra exempelvis skrovsök på fartyg som ligger förtöjda alternativt som ska löpa in eller ut ur en hamn eller ett område.

2.3 Diskussion

Användning av obemannade farkoster ger såväl möjligheter som potentiella friktioner. Att införa nya system ställer krav på såväl fysiskt utrymme för integration ombord som utbildning och tillgänglighet hos personalen. Obemannad teknik kan erbjuda avlastning av egen personal och frigöra bemannade farkoster till andra, kognitivt mer utmanande uppgifter. Exempel på potentiellt positiva effekter bestå därför i att obemannade system kan avlasta bemannade enheter kopplat till tidskrävande och monotona uppgifter såsom kartering och övervakning. Utöver detta kan obemannade system även, under vissa förutsättningar, agera som styrkemultiplikatorer inom olika områden, exempelvis spaning och vilseledning. Om de obemannade systemen är tillräckligt uthålliga och av rätt storlek kan de även fungera som verkansplattformar (vapeninsats efter beslut fattade av befälhavare) vilket dels accentuerar möjligheten att agera som styrkemultiplikatorer men kan också ge ett större *stand off*-avstånd för bemannade enheter. För att kunna förverkliga dessa möjligheter bedöms det dock finnas ett flertal utmaningar som behöver adresseras.

Inledningsvis behöver ett obemannat system som ska agera styrkemultiplikator i många användningsområden ha motsvarande uthållighet och hastighet som den bemannade plattform som ersätts för lösandet av denna uppgift. Detta ställer stora krav på navigations- och energisystem hos det obemannade systemet. Därutöver behöver uppgifterna anpassas eftersom den befintliga autonominivån endast bedöms möjliggöra lösande av uppgift som är begränsad till tid, rum och

omfattning men inte medger att farkosten kan anpassa sitt uppträdande till ändrade taktiska förutsättningar.

De obemannade systemen behöver i normalfallet lösa de tilldelade uppgifterna med motsvarande kvalitet som bemannade fartyg. En försvårande omständighet är de begränsade möjligheterna till kommunikation, beroende på rent fysiska faktorer (framförallt i undervattensmiljöer) men även kopplat till den störda miljö och de krav på telekrigsanpassning som den moderna striden förväntas innebära. Detta gör att obemannade system även i perioder behöver kunna agera autonomt vilket förutsätter att systemen i viss mån bör kunna värdera och fatta beslut kopplade till det egna uppträdandet baserat på analyser av information från dess egna sensorer [10].

Utifrån det förda resonemanget om att ökad autonomitet är eftersträvansvärt för att nå bättre effekt med obemannade system kan ett antal utmaningar identifieras även för detta. I föreliggande fall kommer vissa systemsäkerhetsaspekter in om ett obemannat system ska agera autonomt. I synnerhet i fredstid behöver de obemannade systemen kunna uppträda tillsammans med andra fartyg och farkoster (civila och militära) vilket behöver göras inom ramen för gällande lagar, förordningar och regelverk. Ett autonomt beteende innebär att farkosterna själva förflyttar sig och förhåller sig till sin omvärld. Det är därmed inte alltid möjligt, sett till begränsningar i kommunikation eller behov av dolt uppträdande, att för andra enheter veta var de obemannade undervattenssarkosterna är förutom att den uppehåller sig i sitt tilldelade område.

Etiska, moraliska och juridiska aspekter rörande bekämpning med fjärrstyrda vapenstationer eller robotar placerade på obemannade farkoster behöver även analyseras noggrant. En viktig frågeställning handlar om hur en befälhavare ska kunna vidmakthålla en meningsfull kontroll (*Meaningful Human Control, MHC*) över vapensystemet vid en bekämpning. Det gäller framförallt i kommunikationsbegränsade scenarion mot en motståndare med omfattande telekrigsresurser [21]. Analyserna försvåras även av bristen på internationellt accepterade definitioner av begrepp som MHC och autonoma vapensystem.

Sammantaget pekar dagens nyttjande och den pågående teknikutvecklingen av obemannade system mot ett potentiellt omfattande paradigmskifte i sjöstriden. Det finns många möjligheter som potentiellt kan ge en hög grad av positiv uteffekt men även flera utmaningar på vägen till att förverkliga dessa möjligheter. Det är också av denna anledning som denna rapport tas fram, för att belysa området och dess möjligheter men också att peka ut de utmaningar som föreligger för att kunna utnyttja de tekniska framsteg som görs till gagn för den egna operativa effekten. Frågor som behöver adresseras löpande mellan forskningsutförare, industri och försvarsmakter är hur taktikutveckling, utbildning och träning i användandet av obemannade system ska genomföras. I ett tidigt skede behöver även en prioritering av önskade förmågor genomföras.

3 RPAS för sjöstriden – exempel

Ett stort antal olika typer av RPAS används internationellt av olika nationers marinstridskrafter, från små soldatburna RPAS med begränsad uthållighet till långräckviddiga RPAS. Ett exempel på den senare varianten är MQ-4C Triton som är en marinanpassad version av den beprövade RQ-4 Global Hawk. Flera av farkosterna som beskrivs nedan är relevanta både för mark- och sjöstridstillämpningar och de beskrevs även i [6]. I denna rapport ges representativa exempel på stridstekniska och taktiska RPAS, samt ett par exempel på patrullrobotar (*loitering munitions*).

3.1 Stridstekniska RPAS

För den svenska marinen är stridstekniska RPAS bedömt främst av intresse för Amfibieförbanden, eller baserade ombord på USV:er, för att genomföra spaning, övervakning och målinmätning. Det gäller framförallt för mindre stridstekniska RPAS. Ett annat intressant tillämpningsområde är som kommunikationsrelä, vid användningen av heterogena plattformar (kombinationer av USV:er och UUV:er) för exempelvis obemannad minjakt och minsvepning.

3.1.1 Black Hornet PRS



Black Hornet PRS:

- Vikt: < 33 gram
- Längd: 16,8 cm
- Rotordiameter: 12 cm
- Hastighet: 6 m/s
- Uthållighet: 25 min
- Räckvidd: 2 km
- Framdrivning: elektrisk

Figur 3.1: Black Hornet 2 som opereras av en UK Royal Marine under övningen AWE17. Olika versioner av Black Hornet testas eller är operativa i drygt 15 länder, bland annat Storbritannien, USA, Australien, Frankrike och Norge (foto: Open Government License, OGL v1.0).³³

FLIR's Black Hornet PRS (*Personal Reconnaissance System*) är en nano RPA som är avsedd för spaning och övervakning [6,9]. Den är avsedd att möjliggöra en förbättrad lokal lägesbild på gruppnivå. Ett system med två plattformar (med en dag- och nattversion), kontrollenhet och väska väger 1,3 kg. Anskaffning av denna version pågår inom US Army där avsikten är att varje soldatgrupp ska

³³ www.tu.no/artikler/den-norske-militaerdronen-er-blitt-standardutrustning/275917

utrustas med ett system (totalt 9000 system). Black Hornet PRS kan flyga i vindbyar upp till 10 m/s. Den har en låg akustisk, visuell och termisk signatur. Black Hornet PRS kan sända realtidsvideo eller stillbilder (med högre upplösning) till operatören. Tack vare dess låga vikt är regelverket för flygning förenklat i många länder. En fordonsversion har även utvecklats, Black Hornet VRS, där fyra Black Hornet placeras i en utskjutningsmodul på ett fordon.

3.1.2 Anafi



Anafi:

- Vikt: 320 gram
- Längd: 24cm
- Bredd: 32 cm
- Höjd: 6 cm
- Hastighet: 15 m/s
- Uthållighet: 25 min
- Framdrivning: elektrisk

Figur 3.2: Parrot Anafi med visuell kamera och infällda rotorarmar och termisk kamera med rotorarmar utfällda (foto: FOI).

Anafi är en kommersiellt utvecklad RPAS som modifieras och utvärderas av US Army inom ramen för projektet *Short Range Reconnaissance* (SRR).³⁴ Anafi utvecklas av det franska företaget Parrot. SRR är avsedd att fylla främst plutonens spaningsbehov med en lätt rotorbaserad RPAS [6]. Anafi har en 180-graders mekanisk tiltgimbal, digital bildstabilisering och digital (förlustfri) zoom på upp till 2,8 ggr. Anafi Thermal har både en högupplöst visuell kamera och en termisk kamera (FLIR Lepton). Anafi kan flyga i hastigheter upp till 15 m/s horisontellt och 4 m/s vertikalt. Den kan flyga i vindbyar upp till 14 m/s. Den är utrustad med GNSS³⁵-mottagare (GPS och GLONASS), magnetometer, barometer, vertikal kamera, ultraljudssensor och två IMU:er. Konsumentversionen av Anafi Thermal kostar drygt 20 000 kr. Kostnaden för en ny modifierad version, som anges vara mer vädertålig, ha något förbättrade sensorer, kunna styras från en generell kontrollstation och som har utrustats med militär digital radiolänk, anges till ca 16 000 USD.³⁶

³⁴ www.parrot.com/us/drones/anafi-thermal

³⁵ Global Navigation Satellite System, innefattar GPS (USA), Galileo (EU), Glonass (Ryssland) och BDS/Beidou/COMPASS (Kina).

³⁶ www.theverge.com/2020/8/20/21376917/drone-us-government-approved-dod-diu-uas-blue-china



Figur 3.3: En äldre version av Physical Sciences InstantEye (Mk-2) flygs av amerikanska marinkåren under träning (foto: Lance Cpl. Michaela R. Gregory, USMC, public domain).

3.1.3 InstantEye Mk-3

Physical Science InstantEye Mk-3 GEN5 D1/D2 utgör den minsta farkosten av de tre digitala RPA som ingår i InstantEye Mk-3 serien (tabell 3.1).³⁷ Den är utvecklad i syfte att förbättra lägesuppfattningen på främst gruppnivå och är utrustad med EO/IR-sensorer. Den har en låg akustisk, visuell och termisk signatur [9].

Enligt datablad anges InstantEye ha en allvädersförmåga och kan hålla sig hovrande i vindar på 9 till 16 m/s (beroende på modell). Den kan sättas ihop och börja flyga på omkring en minut. InstantEye Mk-3 har digitala radiosystem som använder sig av en 256-bitars kryptering enligt standarden AES (*Advanced Encryption Standard*).

Tabell 3.1: Data för de tre olika versionerna av InstantEye Mark-3.

	InstantEye Mk-3		
	GEN5-D1/D2	GEN4-D1/D2 ISR	GEN4-D1/D2 HL
Vikt [kg]	0,32	1,65	1,75
L×B×H [cm]	19 × 33 × 4,4	30 × 30 × 7	48 × 48 × 7
Hastighet [km/h]	32	56	56
Vindokänslighet [m/s]	9	16	16
Nyttolast [kg]	-	0,45	1,36
Uthållighet [min]	27	45+	15 - 50
Räckvidd [km]	9	14	0,3 - 10

3.1.4 Blackwing

AeroVironment utvecklar en UAV som är anpassad för marina tillämpningar, benämnd Blackwing. Den är baserad på patrullroboten Switchblade 300 men stridsdelen har ersatts med en något förbättrad ISR-modul [9].³⁸ Blackwing kan

³⁷ instanteyerobotics.com/wp-content/uploads/2019/11/InstantEye-Mk-3-GEN5-D1-D2-V9.pdf

³⁸ www.avinc.com/tms/blackwing

Blackwing:

- Vikt: 1,8 kg
- Längd: 0,49 m
- Vingspann: 0,69 m
- Uthållighet: ca 60 min
- Framdrivning: elektrisk

skjutas upp från mindre bemannade eller obemannade mark- och sjöfarkoster. En intressant vidareutveckling som demonstrerats för US Navy är att den även kan skjutas upp från en UUV eller ubåt, genom att den släpps från farkosten i ett rör som flyter upp till ytan varifrån Blackwing sedan avfyras.³⁹

Blackwing använder samma digitala radiolänk (*Digital Data Link, DDL*) som deras andra stridstekniska RPAS (bland annat Switchblade, Puma och Raven) vilket innebär att de kan kommunicera sinsemellan och agera reläknoder för att öka kommunikationsavstånden och även utbyta målinformation. En SAASM (*Selective Availability Anti-Spoofing Module*) GPS-mottagare som använder den militära (krypterade) P(Y)-tjänsten kan integreras på Blackwing.

3.1.5 RQ-11B Raven

**RQ-11B Raven:**

- Vikt: 1,9 kg
- Längd: 0,9 m
- Vingbredd: 1,4 m
- Hastighet: 32-81 km/h
- Uthållighet: 90 min
- Räckvidd: 10 km
- Framdrivning: elektrisk

Figur 3.4: UAV Korpen under övning (foto: Kalle Bendroth, Försvarsmakten).

AeroVironments RQ-11B Raven är världens mest använda RPAS och den används framförallt för spaning, övervakning och målinmätning [6].⁴⁰ Den kan styras manuellt av en operatör eller genom brytpunktsnavigering. Navigations-systemet är beroende av GPS-mottagare men har stöttande sensorer som kan hantera korta bortfall av GPS. RQ-11B Raven kan utrustas med SAASM GPS-mottagare som använder den krypterade militära GPS-signalen.

3.2 Taktiska RPAS

Ett intressant utvecklingsspår som drivs av US Army rör mindre taktiska VTOL UAV:er med förmåga att starta och landa vertikalt och som även har ett reducerat

³⁹ www.hydroid.com/news/hydroid-and-industry-partners-successfully-demonstrate-latest-uuv-capabilities-antx-2017

⁴⁰ www.avinc.com/uas/view/raven

personalbehov för handhavande och kan transporteras medelst helikopter. Projektet benämns *Future Tactical UAS* (FTUAS) och ambitionen är att ersätta Textron's Shadow 200 på brigadnivå inom US Army [6]. Huvuduppgiften för FTUAS är spaning, övervakning och målinmätning och det utgör en del i utvecklingen av *Future Vertical Lift* (FVL). Ett alternativt skulle kunna vara att undersöka möjligheterna att basera dylika RPAS på Marinens patrullbåtar eller korvetter. De är exempelvis mindre, och har längre uthållighet, jämfört med rotorbaserade taktiska RPAS som UMS Skeldar och MQ-8B Fire Scout.

Som beskrivs närmare i [6] pågår även i USA en utveckling av konverteringsmoduler (s.k. *appliqué kits*) bestående av sensorer, processorer och mjukvara som möjliggör att moderna helikoptrar kan konverteras till obemannade fjärrstyrda eller autonoma plattformar. US Navy inför en obemannad helikopter benämnd MQ-8C Fire Scout på sina *Littoral Combat Ships* (LCS).

3.2.1 ScanEagle 2



ScanEagle 2:

- Vikt (MTOW): 26,5 kg
- Nyttolast: 5 kg
- Längd: 1,7 m
- Vingspann: 3,1 m
- Hastighet: 140 km/h
- Uthållighet: 18 timmar

Figur 3.5: ScanEagle katapult och fångstanordning (USS Saipan, 2006). ScanEagle 2 används operativt bland annat av Australien, USA och Kanada (foto: Mass Communication Specialist Seaman Patrick W. Mullen III, US Navy, public domain).

InSitu ScanEagle 2 är en lätt taktisk RPAS som främst används för spaning, övervakning och målinmätning, men den kan även användas för att reläa kommunikation eller signalspaning.^{41,42} ScanEagle 2 har en uthållighet på upp till 18 timmar. Den skjuts upp med en katapult från ett fartyg och vid landning krockar den fast i en fångstarm. Den kan utrustas med elektrooptiska sensorer och/eller mellanvågs-IR eller med syntetisk aperturradar (SAR).

3.2.2 V-BAT

Martin UAV's V-BAT är en intressant kombination av en liten taktisk UAV som kan starta och landa vertikalt men som ändå har en lång uthållighet. Den kan transporteras enkelt och den har vid demonstrationer med marinkåren i USA

⁴¹ www.insitu.com/information-delivery/hardware/payloadsandcapabilities#3

⁴² www.insitu.com/images/uploads/pdfs/ScanEagle2_ProductCard_DU042318.pdf

**V-BAT:**

- Vikt: 38 kg
- Bärlast: 3,6 kg
- Längd: 2,4 m
- Vingbredd: 2,7 m
- Hastighet: 167 km/h
- Uthållighet: 8 timmar

Figur 3.6: V-BAT (foto: US Army, public domain).

landat på ett lastbilsflak (2,5×2,5 m) under körning.⁴³ Den har i första hand demonstrerats för uppdrag som spaning, övervakning och målinmätning samt signalspaning. V-BAT är potentiellt intressant för både mark- och sjöstrids-tillämpningar. Den utrustas normalt med EO/IR-sensorer men den kan även utrustas med enklare signalspaningsmottagare och syntetisk aperturradar.

3.2.3 Aerosonde HQ

**Aerosonde HQ:**

- Vikt: 48 kg
- Bärlast: 6,9 kg
- Längd: 3,7 m
- Vingspann: 6,2 m
- Hastighet: 120 km/h
- Uthållighet: 8-10 timmar
- Räckvidd: 140 km

Figur 3.7: Aerosonde HQ (foto: US Army, public domain).

Textron's Aerosonde HQ (Hybrid Quadrotor) är främst avsedd för spaning, övervakning och målinmätning.⁴⁴ Den är en vidareutveckling av den beprövade Aerosonde som använts framförallt i marina tillämpningar. Genom att byta ut bommen på Aerosonde mot en nyutvecklad variant som har inbyggda elmotorer och propellrar ges den förmågan att starta och landa vertikalt. Uthålligheten på Aerosonde HQ försämrats i jämförelse med Aerosonde men HQ-versionen anges ändå få en uthållighet på åtta till tio timmar. Aerosonde HQ kan utrustas med EO/IR-sensorer, syntetisk aperturradar och radio för signalspaning och reläfunktion.

⁴³ martinuav.com/v-bat-achieves-autonomous-landing-on-moving-truck/

⁴⁴ www.textronsystems.com/sites/default/files/_documents/AerosondeHQ_Nov20_0.pdf

3.2.4 Skeldar V-200B



Skeldar V-200B:

- Vikt: 235 kg
- Nyttolast: 45 kg
- Längd: 4 m
- Rotordiameter: 4,6 m
- Hastighet: 140 km/h
- Uthållighet: 5 timmar
- Räckvidd: 90 km

Figur 3.8: Skeldar V-200. En uppgraderad version, Skeldar V-200B, har beställts av tyska och kanadensiska marinen (foto: A55mberget⁴⁵, CC BY-SA 4.0).

UMS Skeldar V-200B är en RPAS som är utvecklad främst för spaning, övervakning och målinmätning i marina tillämpningar.⁴⁶ Den kan starta och landa vertikalt (VTOL) på små plattformar. Skeldar V-200B kan även användas för telekristillämpningar och kartering. Den kan utrustas med EO/IR-sensorer (t.ex. L3 WESCAM MX-10D) och en syntetisk aperturradar med en aktiv elektroniskt styrbar antenn (picoSAR AESA).⁴⁷ Den kan med hjälp av radar och exempelvis grön laser upptäcka mål nära ytan och objekt på botten på begränsade djup. Även signalspaningsmottagare och störutrustning kan integreras.

3.2.5 Fire Scout

Northrop Grumman MQ-8B Fire Scout är en fyrbladig rotor-RPAS som används av US Navy på deras LCS [6]. Den kan starta och landa vertikalt på ett fartyg vid vindar upp till 13 m/s. MQ-8B Fire Scout är utvecklad med möjlighet att bära modulära nyttolaster, men vid stationering på US Navy LCS används främst gimbalstabiliserade EO/IR-sensorer (Brite Star II⁴⁸) med laserutpekare och marinradar. Den kan även bära andra sensorer som syntetisk aperturradar, radioutrustning för signalspaning och kommunikationsrelä, ett multispektralt sensorsystem och sensorsystem för detektion av exempelvis IED:er [6].^{49,50} Den kan dessutom utrustas med tre modifierade 70 mm laserstyrda Hydramissiler.

⁴⁵ Via Wikimedia Commons (sv.wikipedia.org/wiki/Skeldar).

⁴⁶ UMS Skeldar är ett samägt bolag mellan Saab och UMS Aero Group. (umsskeldar.aero/our-products/rpas-systems/v-200-skeldar/)

⁴⁷ umsskeldar.aero/qinetiq-wins-51m-contract-with-the-canadian-armed-forces-unmanned-aircraft-system-service-program/

⁴⁸ www.navy.mil/Resources/Fact-Files/Display-FactFiles/Article/2160446/mq-8b-fire-scout/

⁴⁹ www.army-technology.com/projects/mq-8b-fire-scout/

⁵⁰ en.wikipedia.org/wiki/Target_Acquisition_Minefield_Detection_System

**Fire Scout MQ-8B:**

- Vikt: 1430 kg
- Bärlast: 130 - 320 kg
- Längd: 9,2 m
- Rotordiameter: 8,4 m
- Hastighet: 230 km/h
- Uthållighet: 7,75 timmar
- Räckvidd: 200 km

Figur 3.9: MQ-8B Fire Scout (foto: Kelly Schindler, US Navy, public domain).

US Navy inför nu även MQ-8C Fire Scout som baseras på en kommersiell flygkropp (Bell 407).⁵¹ Den har motsvarande spanings-, övervaknings- och målinmättningsförmåga som MQ-8B Fire Scout men förbättrad uthållighet och räckvidd samt förmåga att bära tre gånger mer nyttolast (främst i form av plattformintegrerade sensorer). Den kan användas för ett flertal olika uppdrag men den primära användningen vid införandet på LCS har det senaste året förändrats till att utföra målinmätning bortom horisonten.⁵² Ett införande av 38 MQ-8C Fire Scout påbörjas under 2021. Den kan starta från land eller från fartyg och den har förmågan att autonomt landa även i oförberedda områden där den med hjälp av LiDAR autonomt skannar av och väljer ut en lämplig landningsplats. MQ-8C Fire Scout kan även bära sju tuber avsedda för exempelvis Hydramissiler och ett av de ursprungliga användningsområdena som diskuterades var att skydda fartyget mot attacker från svärmar av USV:er.

3.3 Patrullrobotar

I detta avsnitt ges exempel på två olika modeller av mindre taktiska patrullrobotar. De skjuts upp från tub och efter utskjutning vecklas vingarna ut automatiskt. Denna typ av patrullrobotar kan avfyras från mindre ytfarkoster, exempelvis från obemannade plattformar och från stridsbåt, där kassetter med multipla patrullrobotar kan integreras (se även [6]). De kan användas för bekämpning med sin inbyggda stridsdel men de ger även operatören tillgång till en realtidsvideoström och kan då även användas för spaning och övervakning.

3.3.1 Switchblade

AeroVironment Switchblade 300 ger soldater möjlighet att utföra precisionsbekämpning bortom *line-of-sight*. En ensam soldat avfyrar en

⁵¹ en.wikipedia.org/wiki/Northrop_Grumman_MQ-8C_Fire_Scout#cite_note-8

⁵² news.usni.org/2019/07/09/navy-declares-unmanned-mq-8c-fire-scout-helicopter-mission-capable

**Switchblade 300:**

- **Vikt:** 2,5 kg
- **Hastighet:** 160 km/h
- **Uthållighet:** 15 min
- **Räckvidd:** 10 km
- **Framdrivning:** elektrisk

Figur 3.10: Switchblade patrullrobot som avfyras av en soldat. Används bland annat av armén, marinkåren och specialförband i USA (foto/illustration: US Army, public domain).

Switchblade 300 från en tub, varefter den vecklar ut sina vingar och flyger till angivet område där den cirklar runt.⁵³ Soldaten väljer mål baserat på realtidsvideo som skickas från patrullroboten. Operatören kan därefter välja att bekämpa stationära eller rörliga mål då Switchblade 300 har en inbyggd målföljningsförmåga. En ensam Switchblade 300 väger endast 2,5 kg medan en kassett som innehåller sex patrullrobotar väger 73 kg. Standardverkansdelen är utvecklad av Orbital ATK (numera Northrop Grumman) och den motsvarar en 40 mm granat. Den är utrustad med AeroVironment's egen digitala datalänk (DDL), som är krypterad med en 256-bitars kryptering (AES-256), samt en militär (SAASM) GPS-mottagare. Switchblade kan inte återanvändas.

AeroVironment har nyligen även utvecklat en större version, Switchblade 600, som är avsedd även för bekämpning av bepansrade fordon. Den kan flyga i drygt 40 minuter och nå mål på avstånd längre än 40 km (målet är drygt 90 km).⁵⁴ Själva roboten är 1,3 m lång och väger drygt 22,7 kg. Tillsammans med avfyrnings- och eldledningsenheten är vikten dock över 54 kg. Switchblade 600 har en maxhastighet på ca 185 km/h. Den är utrustad med dubbla gimbalstabiliserade EO/IR-sensorer. Stridsdelen är utvecklad från FGM-148 Javelin ATGM (*Anti-Tank Guided Missile*) men kan i framtiden eventuellt kunna ersättas med exempelvis en stridsdel med radarsökande förmåga.⁵⁵

3.3.2 Hero

Uvisiontillverkar en serie med nio olika patrullrobotar, från små taktiska patrullrobotar som väger under två kilogram upp till strategiska patrullrobotar där den största väger 125 kg och har en stridsdel på 30 kg. De är elektriskt drivna och skjuts upp från en tub eller kassett med multipla patrullrobotar.

⁵³ www.avinc.com/images/uploads/product_docs/Switchblade_Datasheet_v1.pdf

⁵⁴ www.avinc.com/tms/switchblade-600

⁵⁵ www.janes.com/defence-news/news-detail/aerovironment-unveils-switchblade-600-loitering-missile-system



Figur 3.11: Uvision Hero-30. Patrullrobot med utvikbara vingar som skjuts ut från en tub (foto: Reise⁵⁶, CC BY-SA 4.0).

Heroseriens fyra mindre taktiska patrullrobotar beskrivs i tabell 3.2.⁵⁷ Räckvidden begränsas främst av kommunikationsräckvidden och de större versionerna har räckvidder på 150 till 250 km. De större versionerna är även bensindrivna och har en flygtid på tre till sju timmar. Dessa patrullrobotar kan även återanvändas om bekämpning inte utförs under ett uppdrag.

Tabell 3.2: Egenskaper för Uvision Hero och AeroVironment Switchblade taktiska patrullrobotar.

	Uvision Hero				AV Switchblade	
	20	30	70	120	300	600
Vikt [kg]	1,8	3	7	12,5	2,5	22,7
Stridsdel [kg]	0,2	0,5	1,2	3,5	N/A	N/A
Räckvidd [km]	10	5-40	40	40	10	40-90
Uthållighet [min]	20	30	45	60	15	40

⁵⁶ Via Wikimedia Commons ([commons.wikimedia.org/wiki/File:Uvision_Hero-30_\(1\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Uvision_Hero-30_(1).jpg)).

⁵⁷ uvisionuav.com/products/#

4 USV:er för sjöstriden – exempel

Det operativa användandet av obemannade ytfartyg är i nuläget begränsat. Det är främst mindre s.k *sea gliders* som används för oceanografiska mätningar, samt medelstora USV:er för minsvepning eller som utrustats med fjärrstyrda sensorer och vapenplattformar för patrullering.

Fram tills för ca tio år sedan dominerade små USV:er marknaden, där majoriteten utgjordes av RIB-skrov [14,15]. Det har dock varit svårt att hitta tillämpningar för dessa mindre USV:er som väsentligt kan öka marinstridskrafternas operativa effekt. Utvecklingen av medelstora USV:er har accelererat de senaste tio åren. Det gäller även utvecklingen med integration av fjärrstyrda stabiliserade vapenplattformar och beväpning i form av exempelvis Spike ER eller Longbow Hellfiremissiler.⁵⁸ I [9] ges exempel på ett femtiotal små och medelstora USV:er.

Ett antal länder genomför idag omfattande operationell experimentering (*Operational Experimentation, OPEX*) med USV:er, i syfte att utveckla lämpliga TTP:er och som ett led i en iterativ utvecklingsprocess. De USV:er som beskrivs nedan är avsedda att ge en representativ bild av utvecklingen av operativa plattformar eller USV:er där omfattande operationell experimentering pågår.

I Sverige utgör det nuvarande regelverket en begränsning för utvecklingen och införandet av obemannade ytfarkoster då det anger att en befälhavare alltid ska finnas ombord. Det innebär att regelverket behöver ändras eller anpassas för att underlätta för prov och försök, samt experimentering, och möjliggöra ett framtida militärt införande av USV:er [22]. För obemannade undervattensfarkoster finns som jämförelse inget tillämpbart regelverk.

I denna rapport har vi valt följande indelning av USV:er: liten USV (upp till 7 m), medelstor USV (7 till 13 m) och stor USV (över 13 m).

4.1 Liten USV

Två små USV:er har valts ut med delvis olika egenskaper. Royal Navy (UK) genomför experimentering med Mantas T12 medan SAAB Kockums Piraya är en demonstrations- och utvecklingsplattform med lägre TRL-nivå (*Technical Readiness Level*). De huvudsakliga användningsområdena för de mindre USV:erna inom detta segment utgörs av spaning, övervakning och eventuellt målinmätning.

En begränsning med den här typen av små USV:er är att de har svårt att bära stabiliserade vapenstationer. Ett alternativ skulle kunna vara att utrusta dem med

⁵⁸ navaltoday.com/2019/08/27/missile-fielding-expeditionary-warfare-usv-debuts-at-us-navy-antx-event/

mindre patrullrobotar vilket skulle ge dem en (fjärrstyrd) bekämpningsförmåga mot exempelvis mindre farkoster.

4.1.1 Mantas T12

Ett begränsat antal av Maritime Tactical Systems (MARTAC) Mantas T12 införs nu av Royal Navy (UK) främst avsedd för spanings- och övervakningsuppdrag.⁵⁹ En handfull olika versioner av Mantas finns tillgängliga designade för delvis olika roller, såsom spaning och övervakning, hamnövervakning, telekrig och MCM.⁶⁰ Mantas T12 är en eldriven USV med katamaranskrov som har förmågan att operera med farkosten nedsänkt under vattenytan där endast sensorer och antenner är ovanför ytan (s.k. *semi-submersible*). Denna förmåga ger Mantas T12 smygegenskaper i form av liten radarmålärea, samt låg visuell, termisk och (till viss del) akustisk signatur. Den har en maximal hastighet på 40 knop vid ytläge (25 knop vid maximal nyttolast) och 8 till 10 knop vid nedsänkt läge. Den unika kombinationen av hög maxhastighet i ytläge och smygegenskaper i nedsänkt läge ger dessa USV:er intressanta möjligheter. Operatören kan erhålla en 360°-vy från plattformens sensorer och har möjlighet att leda multipla USV:er samtidigt.

Mantas T12:

- **Displacement: 118 kg**
- **Längd: 3,6 m**
- **Bredd: 0,9 m**
- **Djupgående: 0,2 m**
- **Nyttolast: 64 kg**
- **Hastighet: 8 - 40 knop**
- **Räckvidd: 60 nm**
- **Sea State: 4+**

Mantas T12 kan beroende på uppdrag utrustas med en SeaFlir 230 som är en multispektral EO/IR-sensor för marint bruk med en färg-/låg ljuskamera med 30 ggr zoom och en MWIR sensor med 18 ggr zoom.⁶¹ SeaFlir 230 är gyrostabiliserad och väger drygt 18 kg. Dess integrerade laseravståndsmätare kan följa mål på avstånd upp till 10 km. Mantas T12 kan även utrustas med sidoskannande sonar (Reson T20-P) och framåttittande sonar (BlueView M900). Mantas T12 kan även

integrera en Black Hornet PRS vilket ger den en upphöjd spaningsförmåga. Den kan användas på öppet hav eller i floder. Enligt uppgift kan den även släppas från en UAV och vid behov vända sig rätt för egen maskin.

4.1.2 Piraya

Saab Kockums Piraya är en demonstrations- och utvecklingsplattform. Den ska exempelvis kunna användas för ISR, ensam eller i grupp, och kunna stationeras

⁵⁹ www.martacsystems.com/mantas-vessels/

⁶⁰ www.bluezonegroup.com.au/_literature_165728/Using_MANTAS_T12-MCM_for_Mine_Countermeasures

⁶¹ www.naval-technology.com/projects/mantas-t-series-unmanned-surface-vessels-usv/

**Piraya:**

- **Displacement:** 0,4 ton
- **Längd:** 4,6 m
- **Bredd:** 1,3 m
- **Nyttolast:** 100 kg
- **Hastighet:** 30+ knop
- **Uthållighet:** 18 timmar
- **Räckvidd:** 60+ nm

Figur 4.1: Piraya har byggts i fyra exemplar för experimentering rörande bland annat svärbeteende [9, 23] (foto: FOI).

på större marina fartyg. Den kan potentiellt även användas som kommunikationsnod, exempelvis för att reläa kommunikation mellan UUV:er (akustiska modem) och UAV:er. De kan bära ca 100 kg nyttolast vilket ger möjlighet att genomföra exempelvis signalspaning och störning. En begränsande faktor är dock antennernas och sensorernas låga placering vilket begränsar systemens räckvidd. På motsvarande sätt som Mantas T12 skulle även Piraya kunna utrustas med en mindre UAV (exempelvis Blackwing) som ger möjlighet till ökade räckvidder vid spaning, övervakning och målinmätning. Den är utrustad med EO/IR-sensorer och LiDAR.

4.2 Medelstor USV

Medelstora USV:er mellan 7 och 13 m utgör det snabbast växande marknadssegmentet för militära USV:er. Israel och Singapore började använda Rafael's Protector operativt för drygt 15 år sedan och nu genomför ett stort antal marinstridskrafter experimentering med denna klass av USV:er i olika roller.

I västvärlden studeras i första hand koncept med öppen arkitektur och modulär, uppdragsanpassad nyttolast där MCM-förmågan primärt har prioriterats. I Europa finns flera system under utveckling, bland annat Atlas Elektronik (UK) ARCIMS och ECA Group Inspector, där den senare finns i ett flertal olika modeller (storlekar). Utveckling av uppdragsanpassade nyttolaster anpassade för exempelvis ubåtsjakt och ytstridsoperationer pågår till viss del parallellt.

Israel är en föregångare inom detta storlekssegment av USV:er och de har under de senaste årens utveckling fokuserat mer på ytstridsoperationer och *force protection* genom att integrera tyngre beväpning och även telekrigssensorer. Även i Israel är fokus mot modulära nyttolaster.

Ett delvis avvikande exempel är den kinesiska USV:n JARI som istället kontinuerligt bär på sensorer och beväpning för bekämpning av undervattens-, yt- och luftmål.

4.2.1 Pacific 24 & Pacific 950



Pacific (24 / 950):

- Längd: 7,8 / 9,5 m
- Bredd: 2,6 / 3 m
- Hastighet: 38 / 47 knop
- Räckvidd: 150 / 180 nm

Figur 4.2: Obemannad Pacific 950 som förevisas vid DSEI 2017. Operationell experimentering pågår med obemannade Pacific 24 (foto: Alamy Stock Photo).

BAE Systems Pacific 24 Mk IV är en bemannad RIB (*Rigid Inflatable Boat*) som konverteras till en USV inom Royal Navy (UK) NavyX.⁶² Den baseras på samma autonomialgoritmer som under fem år har utvecklats av DSTL (*Defence Science and Technology Lab*) och L3Harris ASV där en Pacific 950 användes som testplattform.⁶³ Pacific 24 har förmågan att navigera autonomt och upptäcka och väja för andra farkoster och hinder, samt följa det internationella regelverket för att förhindra kollisioner med andra fartyg som benämns COLREG (*International Regulations for Preventing Collisions at Sea*).

Både Pacific 950 [9] och den mindre Pacific 24 har utrustats med en stabiliserad fjärrstyrd vapenstation från MSI Defence Systems (SeaHawk MWS A1).⁶⁴ Denna kan utrustas med en 7.62mm eller 12.7mm kulspruta, alternativt en 40 mm granatspruta, och integrerade eldledningssensorer (EO/IR och laseravståndsmätare) som i mörker anges kunna upptäcka standardmål på över 4000 m. Totalt väger SeaHawk MWS A1 ungefär 300 kg.

4.2.2 ARCIMS

Atlas Elektronik UK ARCIMS (*Atlas Remote Combined Influence Minesweeping System*) är en optionellt bemannad multirollplattform som är utvecklad för att kunna hantera modulära, utbytbara uppdragsmoduler.⁶⁵ ARCIMS utvärderas av Royal Navy inom *Project Wilton* i första hand för obemannade MCM operationer (minsvepning och minjakt) och kartering. ARCIMS kan agera bärarplattform för AUV:er för exempelvis minjakt och ROV:ar för neutralisering. Nyttolastmoduler för ubåtsjakt kan inkludera aktiva och passiva

⁶² www.baesystems.com/en/product/unmanned-pacific-24

⁶³ www.shephardmedia.com/news/uv-online/bae-systems-developing-pacific-950-rib/

⁶⁴ www.msi-dsl.com/products/seahawk-mws/

⁶⁵ www.atlas-elektronik.com/solutions/mine-warfare-systems/arcims.html

**ARCIMS:**

- **Deplacement:** 6,5 ton
- **Längd:** 11,2 m
- **Bredd:** 3,4 m
- **Djupgående:** 0,6 m
- **Nyttolast:** 4 ton
- **Hastighet:** 40 knop
- **Framdrivning:** Dubbla vattenjet

Figur 4.3: Atlas Remote Combined Influence Minesweeping System (ARCIMS) används inom Royal Navy Project Wilton [9] (foto: LPhot Will Haigh, OGL 1.0).

sonarer, sonarbojar och doppsnarer. Den kan även genomföra spaning, övervakning och målinmätning.

4.2.3 Inspector 125

ECA Group har utvecklat Inspector 125 bland annat för operationer i hög sjö. Inspector 125 baseras på ett kommersiellt utvecklat osänkbart skrov (MAURIC V2 NG) som utrustas med ett tidigare utvecklat autonomikit.^{66,67} Den kan framföras bemannad, teleopererad eller autonomt. Inspector 125 är avsedd att klara kraftiga chocker orsakade av minexplosioner. Den är främst utvecklad för minsvepning och minjakt, men även modulära nyttolaster för ubåtsjakt och spaning, övervakning och målinmätning är aktuella.

Inspector 125:

- **Deplacement:** 13,5 ton
- **Längd:** 12,3 m
- **Bredd:** 4,2 m
- **Djupgående:** 0,7 m
- **Hastighet:** 25 knop (full last)
- **Nyttolast:** 3 ton
- **Uthållighet:** 40 timmar
- **Framdrivning:** dubbla vattenjet (alt. propeller)

Inspector 125 kan operera i *SeaState* 5 och sjösätta (och ta upp) en släpsonar (t.ex. T-18 M) och UUV:er (t.ex. A18-M, SeaScan eller K-STER C) vid *SeaState* 4. Den kan bära två SeaScan, för identifiering, och upp till sex K-STER C, för neutralisering av minor. Den är utrustad med en framåtriktad sonar för upptäckt av minor och andra undervattensobjekt vilket gör att den kan väja för dessa. Inspector USV:er finns i flera modeller och storlekar.

⁶⁶ www.ecagroup.com/en/solutions/unmanned-surface-vehicle-inspector-125

⁶⁷ www.mauric.ecagroup.com/news/inspector-125

4.2.4 Protector



Protector (Mod III / IV):

- Displacement: 7 / 10 ton
- Längd: 9 / 11 m
- Hastighet: 30+ / 40 knop
- Uthållighet: 8 – 48 timmar
- SeaState: 3 – 5

Figur 4.4: Tidig version av Protector USV utrustad med en mini-Typhoon RWS. Protector är en Israelisk USV som har använts operativt av bland annat Israel, Singapore och Mexiko (foto: Smuconlaw⁶⁸, CC BY-SA 3.0).

Rafael Advanced Defence Systems Protector var en av de första operativa USV:erna. Den har använts av Israeliska marinen i drygt 15 år för exempelvis patrullering i Medelhavet. Den är typiskt utrustad med EO/IR-sensorer (Toplite), 360-graders kamera och marinradar. Protector är typiskt utrustad med en stabiliserad mini-Typhoon RWS för exempelvis 7.62 mm, 12.7 mm tung kulspruta eller 40 mm granatspruta.⁶⁹ Mini-Typhoon väger beroende på val mellan 140 och 170 kg. Den kan även utrustas med en vattenkanon.

Protector är designad för att hantera modulära uppdragsspecifika nyttolaster och olika versioner specificeras för exempelvis ISR, ytstrid, telekrig, och *force protection*.⁷⁰ Protector SSM (*surface-surface missile*) är utrustad med (upp till) fyra ytmålsrobotar av typen Spike ER som har olika moder vilket gör det möjligt att byta mål, attackera mål bortom synhåll eller avbryta vapeninsats efter avfyrning.⁷¹ Spike ER har en fiberoptisk datalänk och en räckvidd på 8 km.

Protector EW har en elektroniskt styrd gruppantenn för riktningsestimering av radarsignaler och lobformning vid störning. Den är avsedd för signalspaning, störning och vilseledning, men även för att skydda fartyg mot sjömålsrobotar.

4.2.5 Seagull

Elbits Seagull är en multiroll USV som kan ta modulära nyttolaster med tänkta tillämpningar inom MCM [9], ubåtsjakt, RSTA, telekrig, hydrografi och marin säkerhet.^{72,73} Seagull har integrerats med exempelvis en fjärrstyrd vapenstation

⁶⁸ Via Wikipedia (en.wikipedia.org/wiki/Protector_USV).

⁶⁹ www.rafael.co.il/wp-content/uploads/2019/03/Mini-Typhoon-2.pdf

⁷⁰ www.rafael.co.il/worlds/naval/usvs/

⁷¹ *Fire-and-forget, fire-observe and update och fire & steer.*

⁷² www.naval-technology.com/projects/seagull-unmanned-surface-vessel-usv/

⁷³ elbitsystems.com/media/Seagull-USV.pdf

(12.7 mm tung kulspruta) och en lätt torped (Leonardo A244/ Mod.3).⁷⁴ Den har även utrustats med ett flertal olika sonarsystem såsom framåttittande och sidskannande sonar, släpad syntetisk apertursonar (*Kraken Active Towed FISH*, *KATFISH*⁷⁵), variabeldjups släpsonar för ubåtsjakt (*Towed Reelable Active-Passive Sonar*, *TRAPS*⁷⁶) och långräckviddig doppsönar.

Seagull:

- Längd: 12 m
- Hastighet: 32 knop
- Bredd: 3,2 m
- Djupgående: 0,8 m
- Bärlast: 2,5 ton
- Uthållighet: 4 dagar
- Sea State: 4 – 7

Seagull kan framföras autonomt och kan upptäcka och väja för hinder. Den har ett skrov av aluminium och kompositmaterial och drivs av två dieselmotorer. Seagull kan bära en ROV eller mindre fjärrstyrda engångsfarkoster för neutralisering av sjöminor. En Skylark-C UAV har även integrerats på Seagull, med katapultutskjutning och landning i vattnet. Seagull kan enligt uppgift operera i relativt grov sjö (*SeaState* 4) men överleva vid *SeaState* 7.

4.2.6 Common USV



Figur 4.5: Vänster: Utvecklingsversion av Common USV⁷⁷ vid övning utanför Naval Station Norfolk. Höger: RCWS på Common USV. Common USV införs nu i US Navy för användning inom MCM på US Navy LCS (foto: Mass Communication Specialist 3rd Class Rebekah M. Rinckey, U.S. Navy, public domain).

Textron System's Common USV används inom US Navy utvecklingsprogram UISS (*Unmanned Influence Sweep System*) och dess primära användningsområde är som obemannad minsvepningsresurs ombord på US Navy LCS [24]. Common USV införs nu av US Navy i ett mindre antal (*Low-Rate Initial Production, LRIP*). Den är utvecklad specifikt med modularitet i åtanke, den baseras på

⁷⁴ elbitsystems.com/pr-new/elbit-systems-teams-with-leonardo-to-develop-additional-torpedo-capability-for-seagull-usv/

⁷⁵ www.globenewswire.com/news-release/2018/12/18/1668538/0/en/Kraken-Completes-Successful-Sea-Tests-of-KATFISH-with-Elbit-Systems.html

⁷⁶ elbitsystems.com/landing/wp-content/uploads/2019/05/GEOSPECTRUM-TECHNOLOGIES-INC.-BROCHURE-TRAPS.pdf

⁷⁷ www.usni.org/magazines/proceedings/2020/june/common-unmanned-surface-vehicle

Common USV:

- **Displacement: 7,7 ton**
- **Längd: 11,9 m**
- **Nyttolast: 2,2 ton**
- **Hastighet: 35 knop**
- **Räckvidd: 75 nm**
- **Uthållighet: 20 timmar**
- **Sea State: 5**

öppen standardiserad arkitektur och upphandlingen av själva USV:n är separerad från utvecklingen och upphandlingen av modulära nyttolaster avsedda för andra operationer.⁷⁸ Försök pågår med Raytheon's AN/AQS-20 och Northrop Grumman's AN/AQS-24 sonarer. Common USV följer STANAG 4586 och JAUS (*Joint Architecture for Unmanned Systems*).

Common USV har vid marinövningar (exempelvis *Advanced Naval Technology Experiment, ANTX*) påvisat förmågan att navigera autonomt och upptäcka och väja för andra farkoster och hinder, samt följa det internationella regelverket för att förhindra kollisioner med andra fartyg (COLREG) [24].

En fjärrstyrd vapenstation med 12.7 mm tung kulspruta (FN Herstal Sea deFNder RWS) och två (vertikalavfyra) Hellfireroboter har integrerats på Common USV i samarbete med NSWC (*Naval Surface Warfare Center*). Vid dessa försök användes även en UAV för målinmätning varefter operatören kunde genomföra bekämpning medelst USV:ns vapensystem.⁷⁹ I [24] diskuteras även möjligheterna att bestycka den med mindre patrullrobotar och 30 mm automatkanon. Logistik, telekrig, kommunikationsrelä, ubåtsjakt, patrullering och eskortuppdrag är möjliga framtida användningsområden som föreslås av Textron System.

4.2.7 JARI USV

JARI USV^{80,81,82,83} är en vattenjetdriven multirollsplattform med katamaranskrov som utvecklas av det statligt ägda CSIC (*China Shipbuilding Industry Corporation*⁸⁴). En modell av JARI förevisades officiellt 2018 och de första sjöförsöken genomfördes vid årsskiftet. JARI är utrustad med en aktiv

⁷⁸ news.usni.org/2020/01/22/textrons-common-usv-ready-for-production-experimenting-with-lethal-surface-warfare-payloads

⁷⁹ news.usni.org/2020/01/22/textrons-common-usv-ready-for-production-experimenting-with-lethal-surface-warfare-payloads

⁸⁰ www.navyrecognition.com/index.php/news/defence-news/2019/december/7850-china-has-launched-sea-trials-of-new-jari-usv-armed-unmanned-surface-vessel.html

⁸¹ www.maritime-executive.com/article/china-s-unmanned-mini-destroyer-out-on-sea-trials

⁸² www.thedefensepost.com/2019/08/23/china-jari-combat-drone-boat-launched

⁸³ nationalinterest.org/blog/buzz/next-chinese-naval-threat-robot-warships-44942

⁸⁴ CSIC har nyligen övergått till CSSC (*China State Shipbuilding Corporation*).

elektroniskt styrbar radarantenn (*Active Electronically Scanned Array, AESA*), aktiv sonar (variabelt djup), doppsonar och EO/IR-sensorer.

JARI:

- **Displacement: 20 ton**
- **Längd: 15 m**
- **Bredd: 4,8 m**
- **Djupgående: 1,8 m**
- **Hastighet: 42 knop**
- **Räckvidd: 500 nm**

Det unika med JARI är att CSIC anger att JARI kommer att utrustas med avancerad beväpning för bekämpning av luft-, yt- och undervattensmål. Beväpning inkluderar 30 mm automatkanon, laserstyrda robotar, 324 mm torpeder samt fyra vertikalavfyra läta luftvärnsrobotar (SAM). JARI ska kunna genomföra ubåtsjaks-, luftförsvars- och ytstridsoperationer och potentiellt kunna genomföra operationer i A2/AD-scenarion

(*Anti-Access/Area Denial*). Det är dock oklart hur effektivt en farkost av denna typ kan utföra de olika typerna av uppdrag. I nuläget är det troligt att den behöver fjärrstyras men även algoritmer för autonom styrning i form av automatiserad brytpunktsnavigering och undvikande av kollisioner kan antas vara implementerade inom en snar framtid. Möjligheten att utveckla svärmar av JARI kan även på sikt medföra att den kan komma att utgöra ett hot mot större fartyg.

4.2.8 SAM 3

SAM 3:

- **Displacement: 14 ton**
- **Längd: 14,4 m**
- **Bredd: 6,7 m**
- **Djupgående: 1,2 m**
- **Transport: 10 knop**
- **Svepning: 8 knop**
- **Framdrivning: Två dieselmotorer**

Saab's SAM 3 (*Self-propelled Acoustic-Magnetic*) är en influensminsvepare som genererar realistiska magnetiska och akustiska signaturer för militära och kommersiella fartyg i syftet att få sjöminor att explodera [9].⁸⁵ SAM 3 är utvecklad för att ha en låg signatur. Den är avsedd för minsvepning av minor som ligger på djup från 3 till 60 m. Den kan förflyttas i en 40-fots container. SAM 3 kan fjärrstyras eller framföras autonomt i ett fördefinierat operationsområde och den drivs av två dieselmotorer. SAM

3 är byggd som en katamaran men med upplåsbare pontoner av RIB-typ vilket ger den möjlighet att klara minexplosioner även nära plattformen. Olika versioner av SAM 3 har införskaffats av åtminstone fyra nationer.

4.3 Stor USV med extrem uthållighet

I detta avsnitt ges exempel på utvecklingen av stora USV:er som är avsedda att operera månader i sträck. De utgörs idag av experimentsystem, med lägre TRL-nivå än ovanstående exempel, men beskrivs ändå här då de pekar ut i vilken

⁸⁵ www.saab.com/products/minesweeping-usv-sam-3

riktning de stora nationernas marinstridskrafter (främst USA och Kina) planerar att gå.

4.3.1 Sea Hunter



Sea Hunter:

- Displacement: 140 ton
- Längd: 40,2 m
- Bredd: 15,2 m
- Uthållighet: 1 – 3 månader
- Räckvidd: 10 000 nm
- SeaState 5 – 7

Figur 4.6: Sea Hunter anländer till Pearl Harbor. Sea Hunter är en prototyp som ursprungligen utvecklades av DARPA (foto: Mass Communication Specialist 1st Class Corwin M. Colbert, US Navy).

DARPA utvecklade trimaranen Sea Hunter inom ACTUV-projektet (*Anti-submarine warfare Continuous Trail Unmanned Vessel*) och den överfördes nyligen till ONR (*Office of Naval Research*) för fortsatta försök och utveckling.⁸⁶ Sea Hunter har genomfört resan från San Diego till Pearl Harbor och tillbaka autonomt och kan undvika kollisioner till sjöss i enlighet med COLREG.⁸⁷ En andra prototyp har nyligen beställts och båda dessa kommer att användas i US Navy fortsatta utveckling av Medium USV och CONOPS (*Concept of Operations*) för den typen av USV:er. Sea Hunter drivs av dubbla dieselmotorer och har en maximal hastighet på ungefär 27 knop. Kina har nyligen konstruerat en USV som i stora delar verkar vara en kopia av Sea Hunter.⁸⁸

4.3.2 Large USV

US Navy äskade inför 2020 en budget på 2,7 miljarder dollar för att utveckla Large USV (LUSV) över en period av fem år. Avsikten är att använda kunskap från industri, tidigare utvecklade prototyper och från Pentagons Ghost Fleet Overlord program som drivits av OSD SCO (*Office of the Secretary of Defense Strategic Capability Office*) för att snabbt och med låg risk utveckla LUSV. I ett första skede kommer de två USV:erna från Ghost Fleet Overlord programmet att användas, se figur 4.7, men ytterligare prototyper är planerade att införskaffas.

⁸⁶ en.wikipedia.org/wiki/Sea_Hunter

⁸⁷ www.thedrive.com/the-war-zone/26319/usns-sea-hunter-drone-ship-has-sailed-autonomously-to-hawaii-and-back-amid-talk-of-new-roles

⁸⁸ news.usni.org/2020/09/25/chinese-navy-crafts-unmanned-sea-hunter-knock-off



Figur 4.7: Två prototypfarkoster som utvecklats av OSD SCO inom Ghost Fleet Overload. Dessa prototyper kommer användas av US Navy vid experimentering i samband med utvecklingen av Large USV (foto: US Navy, public domain).

De första prototypfarkosterna kommer troligen att baseras på kommersiella fartyg (*Fast Supply Vessels, FSV*), som konverterats till obemannade system. Samtidigt läggs ett mer långsiktigt design- och utvecklingsuppdrag ut på industri med inriktningen att integrera GFE (*Government-Furnished Equipment*) i form av vapen- och ledningssystem med av industrin utvecklade fartyg och autonomifunktionalitet.

5 Undervattensplattformar – exempel

De obemannade system som presenteras kan indelas i tre kategorier: operativa system, utvecklings- och utvärderingsprojekt samt målbilder att sträva mot. De på marknaden förekommande systemen är idag huvudsakligen inriktade mot kartering, sökning och neutralisering av sjöminor, samt målplattformar.

Det finns en utvecklingstrend riktad mot modulära lätta och tunga AUV:er, där farkosterna utvecklas så att nya nyttolaster snabbare ska kunna integreras och till del även möjliggöra val och byte av nyttolast inför specifika uppdrag. Exempel på denna utveckling utgörs av ECA Group AUV A18 och Saab AUV62. Även Hugin och REMUS ger stora möjligheter att anpassa de sensorer som används.

Inledningsvis redovisas utvalda fjärrstyrda farkoster (*Remotely Operated Vehicle, ROV*) och därefter redovisas AUV:er (*Autonomous Underwater Vehicle*). AUV:erna delas in i fyra olika klasser vilka i tillämpliga delar överensstämmer med den indelning som används av FMV ([19]): bärbara, lätta, tunga och stora AUV-system. Bärbara AUV-system har enligt denna klassificering en diameter på 8-23 cm och en maxvikt på 50 kg. Lätta system har en diameter på 24-53 cm och en vikt på ett antal hundra kilo och de tunga har en diameter på 54-91 cm och väger över ett ton. Stora AUV-system har en diameter över 92 cm och väger flera ton [19]. Två av exemplen i den senare kategorin är i prototypstadiet men de ger en uppfattning om möjliga inriktningar för nyttjande av sådana system i ett internationellt perspektiv.

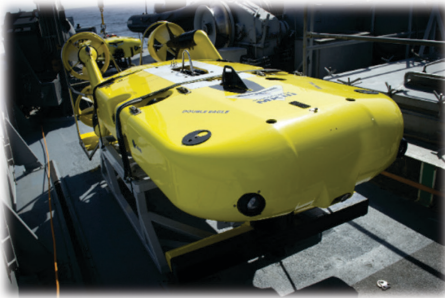
5.1 ROV - Fjärrstyrda farkoster

Nedan behandlas tre olika fjärrstyrda farkoster, benämnda ROV, med olika egenskaper. Saab Double Eagle och Sabertooth har mycket goda manövrerings-egenskaper vilket exempelvis möjliggör att de kan utföra neutralisering av minor på ett säkert sätt.

5.1.1 Double Eagle MkIII

Saab Double Eagle MkIII är en klassisk ROV som styrs och manövreras manuellt i sex frihetsgrader av en operatör. Ombord finns även ett tröghets-navigeringssystem (TNS) som ger estimat av farkostens position och orientering. Kommunikationen sker över fiber som integreras i den kabel som är förankrad i moderfartyget. Kabeln kraftförsörjer även farkosten och det är även den som begränsar farkostens räckvidd.

Double Eagle kan utrustas med sensorer och effektorer för minjakt eller

**Double Eagle MkIII:**

- Vikt: 500 kg
- L×B×H: 3×1,2×1,3 m
- Hastighet: 7 knop
- Max dykdjup: 500 m
- Räckvidd: 1000 meter
- Framdrivning: elektrisk
- Energi: kabel eller batteri

Figur 5.1: Saab Double Eagle används av åtminstone åtta olika länder, bland annat Sverige, Danmark, Finland och Australien (foto: Marcus Ahlén, Försvarsmakten).⁸⁹

neutralisering av minor.⁹⁰ När den är utrustad för minjakt kan den förses med en högupplöst syntetisk apertursonar vilket ger goda förutsättningar att detektera, identifiera och lokalisera minlika objekt. Den anges kunna avsöka upp till 2,5 kvadratkilometer i timmen. Den utrustas även vid neutraliseringsuppdrag med en sonar som möjliggör återlokalisering av det minlika objektet, varefter klassificering kan utföras av operatören baserat på visuell kamera som även kan stöttas med sonardata. Sonaren kan även användas till undersökningar av undervattenskonstruktioner och för att kunna verifiera och registrera minröjningsinsatser.

En version av Double Eagle finns numera även som en semi-autonom ROV (SAROV) där den har förmågan att koppla loss sig från sin kabel och utföra vissa uppdrag som en AUV. Den kan då genomföra detektion, identifiering och klassificering som en AUV och återgå till att styras som en ROV vid själva oskadliggörandet av minan.⁹¹

5.1.2 Sabertooth

Saab Sabertooth är en hybridlösning som kan användas antingen som en traditionell ROV eller som en AUV. Den har tre driftmoder: autonom, operatörsövervakad och operatörstyrd. Skillnaden mellan styrmoderna är graden av operatörsinteraktion. ROV:en kan styras med sex frihetsgrader. Sabertooth är främst avsedd för undervattensundersökningar och installationer samt inspektioner. Den anges även ha möjlighet att docka vid en undervattensstation och vänta där i upp till sex månader utan behov av underhåll.⁹²

⁸⁹ militaryleak.com/2018/10/01/saab-double-eagle-remotely-operated-vehicle-rov/
www.bluezonegroup.com.au/announcements/double-eagle-for-assured-mcm-capability

⁹⁰ www.navalteam.dk/media/keghu5em/saab_unterwater_web.pdf

⁹¹ www.saab.com/products/double-eagle/

⁹² www.saabseaeye.com/solutions/underwater-vehicles/sabertooth-single-hull

Farkosten är utrustad med ljuskällor, kamera, djupsensor, möjlighet till aktiv sonar, TNS, DVL (*Doppler velocity log*), en ljudhastighetsmätare och en kommunikationsenhet. Ytterligare sensorer kan integreras beroende på användningsområde. Kommunikationen med operatör sker via optisk fiber.

Sabertooth (Single / Double Hull):

- Vikt: 650 / 1300 kg
- Längd: 360 / 400 cm
- Bredd: 66 / 135 cm
- Höjd: 45 / 67 cm
- Max hastighet: 5 / 4 knop
- Max dykdjup: 1200 / 3000 m
- Uthållighet: > 8 timmar
- Framdrivning: elektrisk

Autopiloten avlastar operatören genom stöttning och stabilisering av kurs, djup, attityd och roll. Autopiloten kan även stötta med att hålla farkosten i anvisad position, undvikande av hinder och följning av sonarmål. För arbete i manuell mod finns ett automatiskt vinschsystem för hantering av navelsträngen. Farkosten är konstruerad för djup ner till 1200 m. Den bredare versionen av Sabertooth, Double Hull, finns även i en version konstruerad för djup ner till 3000 m.

5.1.3 FUSION

Fusion:

- Vikt: 27,5 kg
- Längd: 68,6 cm
- Bredd: 47,7 cm
- Höjd: 27,5 cm
- Max hastighet:
- Max dykdjup: 300 m
- Räckvidd: 500-2000 m
- Uthållighet: 3-4 h
- Framdrivning: elektrisk

FUSION är en ROV konstruerad och byggd av Strategic Robotic Systems i USA. FUSION är US Navys nästa generations ROV för minröjning. Leverans påbörjades under tredje kvartalet 2019. Även amerikanska kustbevakningen inför samma ROV. FUSION kan användas för exempelvis minsökning och minröjning i grunda vatten, skrovskadesök samt för andra arbeten såsom bottenbottensök.⁹³ Farkosten är ansluten till exempelvis ett fartyg med en kommunikationskabel men den kraftförsörjs med ett eget litium-

jon batteri.⁹⁴ Den kan utrustas med sidspanande sonar och den kan även bära annan nyttolast.

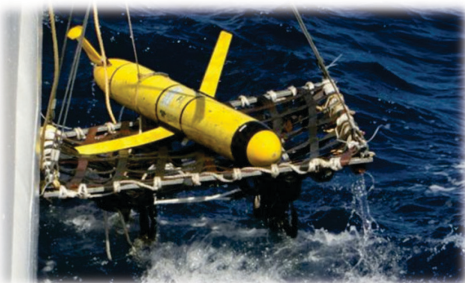
5.2 Bärbara AUV-system

I detta avsnitt behandlas tre typer av bärbara AUV-system: en flytkraftsdriven (*buoyancy-driven*) farkost med lång uthållighet och två AUV:er med konventionell propellerframdrivning.

⁹³ www.motn.org/srs-fusion-us-navys-next-generation-rov/

⁹⁴ www.srsfusion.com

5.2.1 G3 Glider



G3 Glider:

- Vikt: 55 - 70 kg
- Längd: 1.5 m
- Diameter: 22 cm
- Hastighet: 1-2 knop
- Uthållighet: 15 dygn - 18 månader
- Räckvidd: 350 - 13 000 km

Figur 5.2: Teledyne G2 Glider används operativt av US Navy under benämningen littoral battlespace sensing-glider (LBS-G) (foto: US Navy, public domain).

Slocum Teledyne's G3 Glider är en moderniserad version av G2 Glider som används operativt av US Navy.⁹⁵ Den har lång uthållighet och räckvidd och används för att mäta exempelvis oceanografiska parametrar flera månader i sträck. Den förflyttar sig med upp till två knops hastighet och djupgåendet kan väljas modulärt. Erfarenhetsmässigt bör den, baserat på dess framdrivningsmekanism, opereras i områden där vattendjupet är åtminstone 100 till 200 meter. Den har en torrlagd inkapslad volym för modulära nyttolaster där olika typer av sensorer kan integreras. Den rör sig längs en förprogrammerad bana och sänder data och kan ta emot nya instruktioner då den når ytan igen. Navigeringssystemet använder GPS (vid ytan), samt tryckmätare och dödräkning. Kommunikationen sker med satellitkommunikation (Iridium) men även akustisk kommunikation och radiomodem för korthållskommunikations vid frisiktsförhållanden finns. En G2 Glider var den första autonoma glidare som korsade en ocean. Den kan hanteras av en eller två personer.

5.2.2 BLUEFIN-9

BLUEFIN-9 från General Dynamics Mission Systems är avsedd att kunna utföra olika typer av uppdrag, exempelvis inomskärskartering, minjakt samt informationsinhämtning, övervakning och spaning. BLUEFIN-9 är bestyckad med sidspanande sonar (Sonardyne Solstice 3000 Multi-Aperture Sonar, MAS), kamera med uttagbar lagringsmodul, samt sensorer för turbulens, fluorimetri, tryck, temperatur och ljudhastighet. Navigering sker med GPS och DVL. Kommunikation sker medelst akustisk

Bluefin-9:

- Vikt: 70 kg
- Längd: 242 cm
- Bredd: 24 cm
- Höjd: 26 cm
- Max hastighet: 6 knop
- Max dykdjup: 200 m
- Räckvidd: 24 nm
- Uthållighet: 8 timmar (vid 3 knop)

⁹⁵ www.teledynemarine.com/slocum-glider

kommunikation, ethernet, WiFi eller Iridium. BLUEFIN-9 har möjlighet att lösa uppgift självständigt genom att gå i förprogrammerade banor.⁹⁶

5.2.3 REMUS 300

REMUS 300:

- Vikt: 36-59 kg
- Längd: 185-251 cm
- Diameter: 19 cm
- Max hastighet: 5 knop
- Max dykdjup: 305 m
- Räckvidd: 39 nm
- Uthållighet: ca 12 timmar

Remus 300 från företaget Hydroid (del av Kongsbergfamiljen), är modulär med olika last- och utrustningsalternativ.⁹⁷ Remus kan användas för bland annat ISR, minsökning (detektion, klassificering, optisk identifiering av minliknande objekt) samt basskyddsföretag. REMUS kan självständigt förflytta sig och till exempel övervaka ett område vilket begränsas av utlagda transpondrar som läggs ut för att avgränsa området innan eller i anslutning till

sjösättning.⁹⁸ REMUS 300 anskaffades för materielförsök och utvärdering av US Navy i februari 2020.⁹⁹ Den är utrustad med sidspanande sonar som standardutrustning och kan utrustas med uppdragsanpassade sensorer. Längd och vikt avgörs av val av nyttolast (sensorkonfiguration).

5.3 Lätta AUV-system

Här redovisas tre lätta AUV-system, främst avsedda för minjakt, spaning och bottenkartering.

5.3.1 Galtel (MT-2012)

Galtel tillverkas av IPMT i Vladivostok för den ryska flottan. Galtel-systemet består av två AUV:er samt en ROV, där AUV:erna används för bottenkartering och minsökning. Den ena AUV:n navigerar med hjälp av akustiska tekniker (*Ultra-Short Baseline, USBL*) där en hydrofonarray på ett fartyg estimerar riktning och avstånd till en akustisk transponder på AUV:n. Den andra AUV:n navigerar utifrån sina egna navigationssensorer. Vid lokalisering av en mina används

Galtel MT-2012:

- Vikt: 450 kg
- Längd: 460 cm
- Diameter: 42 cm
- Max hastighet: 5 knop
- Max dykdjup: 300 m
- Uthållighet: 12 timmar

⁹⁶ gdmmissionsystems.com/products/underwater-vehicles/bluefin-9-autonomous-underwater-vehicle

⁹⁷ www.hydroid.com/NewGenREMUS

⁹⁸ www.naval-technology.com/projects/remus-100-automatic-underwater-vehicle/

⁹⁹ www.prnewswire.com/news-releases/hydroid-inc-delivers-remus-300-uuv-to-us-navy-301001239.html

ROV:en för att förstöra denna. Systemet användes i Syrien som skydd för den ryska marinbasen i Tartus [19].

5.3.2 REMUS 600



REMUS 600:

- Vikt: 220-385 kg
- Längd: 270-550 m
- Diameter: 32 cm
- Max hastighet: 4 knop
- Max dykdjup: 600 - 1500 m
- Uthållighet: upp till 24 timmar

Figur 5.3: En MK18 Mod 2 Kingfish¹⁰⁰ (REMUS 600) tas upp i en Mark VI patrullbåt (foto: Mass Communication Specialist 2nd Class Cole C. Pielop, US Navy, public domain).

REMUS 600 från Hydroid (del av Kongsberg) är en lätt, modulär AUV med olika last- och utrustningsalternativ. REMUS 600 togs fram med finansiering från ONR för att svara upp mot US Navy behov av AUV:er med ökad uthållighet, större dykdjup samt bättre förmåga att ta last vid bland annat ISR och minsökning (detektion, klassificering och optisk identifiering av minlika objekt).¹⁰¹ REMUS 600 utrustas med exempelvis framåttittande sonar för bottenföljning samt ytterligare sensorer exempelvis kameror, sonarer och sensorer för undvikande av hinder.

5.3.3 A18-M

A18-M:

- Vikt: 370 kg
- Längd: 380 cm
- Diameter: 46,5 cm
- Max hastighet: 4 knop
- Max dykdjup: 300 m
- Uthållighet: Upp till 24 timmar

A18 från ECA Group är en grupp av AUV:er med olika utrustning och utformning beroende på huvudsaklig tänkt användning. A18-M är den variant som är riktad mot militära användare [9]. Tänkt användningsområden är exempelvis minjakt, bottenkartering och spaning. A18-M uppges vara magnetiskt och akustiskt signaturanpassad i enlighet med krav

ställda i STANAG 1364. Plattformen uppges vara enkel att integrera med andra system och hantera från moderfartyg. Bland annat nämner ECA sin egen USV

¹⁰⁰ www.navalnews.com/naval-news/2019/08/kongsberg-hydroid-secures-us-navy-order-for-mk-18-kingfish-uuv-support/

¹⁰¹ www.hydroid.com/remus-600-marine-research-applications

Inspector 125 som ett bra alternativ för teaming med A18-M.¹⁰²

5.4 Tunga AUV-system

I detta avsnitt behandlas tre stycken tunga AUV-system med olika syften, bland annat bottenkartering, minjakt, insamling av hydrografiska data samt målgång.

5.4.1 Hugin 1000



Hugin 1000:

- Vikt: 1000-1550 kg
- Längd: 520-640 cm
- Diameter: 75 cm
- Max hastighet: 6 kn
- Max dykdjup: 1000-4500 m
- Räckvidd: ca 400 nm
- Uthållighet: upp till 100 timmar vid 4 knop
- Framdrivning: elektrisk

Figur 5.4: En Kongsberg Hugin 1000, som är utrustad med en HiSAS 1030, ombord på ett av finska marinens fartyg i Katanpääklassen, 2014 (foto: MKFI¹⁰³, public domain).

Kongsbergs Hugin är modulär med olika last- och utrustningsalternativ. Hugin kan användas för ISR, minsökning (detektion, klassificering och optisk identifiering av minliknande objekt) samt *rapid environmental assessment* (REA). För att kunna göra detta har Hugin en högupplöst interferometrisk syntetisk apertursonar (HiSAS) eller sidskannande sonar. Den framåttittande sonaren för hinderundvikande och bottenföljning möjliggör för Hugin att agera självständigt för att navigera sig fram till avsedd position och där dokumentera eventuella objekt med en högupplöst optisk kamera. Kommunikation sker medelst Iridium, UHF-radio, WiFi eller akustisk kommunikation. Hugin kan gå från operatörsövervakad till att vara ”autonom” där det autonoma genomförandet innebär att plattformen får ett definierat uppdrag som den löser genom brytpunktsnavigering på egen hand.¹⁰⁴

¹⁰² www.ecagroup.com/en/solutions/a18-m-auv-autonomous-underwater-vehicle

¹⁰³ Via Wikimedia Commons
(commons.wikimedia.org/wiki/File:Katanpää_Hugin_1000_Merivoimien_vuosipäivä_2014_01.JPG).

¹⁰⁴ www.kongsberg.com/maritime/products/marine-robotics/autonomous-underwater-vehicles/AUV-hugin/

5.4.2 AUV62-AT

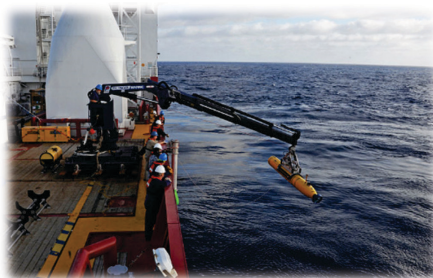
AUV62-AT:

- Vikt: 750-800 kg
- Längd: 450-500 cm
- Diameter: 53cm
- Max hastighet: 12 knop
- Max dykjdjup: 300 m
- Räckvidd: ca 54 nm
- Uthållighet: 3 h (10 knop), 9 h (6 knop), 18 h (3 knop)
- Framdrivning: elektrisk

Saab AUV62 bygger, plattformsmässigt, på torped 62.¹⁰⁵ AUV62-AT (*Acoustic Target*) är en AUV för målgångstjänst vid ubåtsjakt-övningar och är programmerbar för att kunna efterlikna olika typer av undervattensmål.¹⁰⁶ AUV62-AT nyttjas av exempelvis svenska marinen, Royal Australian Navy och Royal Navy.¹⁰⁷ AUV62 finns även som AUV62-MR (*Mine Reconnaissance*) som kan sjösättas från såväl ytfartyg som ubåtar och då nyttjas för exempelvis minjakt och bottenkartering.¹⁰⁸

5.4.3 BLUEFIN 21

Bluefin-21 från General Dynamics Mission Systems är en modulär plattform som kan utrustas med multipla sensorer för exempelvis minsökning eller oceanografiska undersökningar.¹⁰⁹ Plattformen sjösätts med kran och kan sedan söka i en förprogrammerad bana. Enheten kan även stöttas med akustiska positioneringsmetoder (USBL). Systemet nyttjas av bland annat US Navy (exempelvis vid sökandet efter det försvunna flygplanet MH370 2014¹¹⁰).



Bluefin-21:

- Vikt: 750 kg
- Längd: 493 cm
- Diameter: 53 cm
- Max hastighet: 3 m/s vid 6 knop
- Max dykjdjup: 4500 m
- Räckvidd: ca 75 nm
- Uthållighet: 25 timmar vid 3 knop
- Framdrivning: elektrisk

Figur 5.5: En US Navy Bluefin-21 sjösätts från Ocean Shields (Australiska flottan) under sökning efter Malaysia Airlines Flight MH370 (foto: Mass Communication Specialist 1st Class Peter D. Blair, US Navy, public domain).

¹⁰⁵ www.forsvarsmakten.se/sv/information-och-fakta/materiel-och-teknik/vapen/torped-62/

¹⁰⁶ www.saab.com/products/auv62-at

¹⁰⁷ industryeurope.com/uk-royal-navy-orders-saab-anti-submarine-system/

¹⁰⁸ www.saabseaeye.com/solutions/defence-vehicles

¹⁰⁹ gdmissonsyste.ms.com/products/underwater-vehicles/bluefin-21-autonomous-underwater-vehicle

¹¹⁰ edition.cnn.com/2014/04/14/world/asia/malaysia-plane-bluefin-explainer/index.html

Bluefin-21 är utrustad med exempelvis sidspanande sonar, penetrerande ekolod (*sub-bottom profiler*) och ekolod.

5.5 Stora AUV-system

I detta avslutande avsnitt redovisas ett ryskt, ett amerikanskt och ett brittiskt system. Det ryska systemet ska enligt uppgift finnas operativt i någon utsträckning, medan de amerikanska och brittiska systemen är i varierande grad av driftsättning och utveckling. Alla tre systemen visar på utvecklingstrenderna inom området stora AUV-system i respektive land.

5.5.1 Plattform Klavesin 2R-PM

Klavesin 2R-PM är en vidareutveckling av Klavesin 1R vid vars tester det bestämdes att en ny version skulle tas fram riktad mot verksamhet inom den ryska flottan. Klavesin 2R-PM konstrueras och byggs av Rubin. Första plattformen färdigställdes 2016 och skulle tillföras den ryska marinen under 2017. Tillverkning av ytterligare två plattformar ska även ha påbörjats. Enligt

Klavesin 2E-PM:

- Vikt: 3700 kg
- Längd: 650 cm
- Diameter: 100 cm
- Max hastighet: ca 3 knop
- Max dykdjup: 6000 m
- Räckvidd: ca 27 nm
- Framdrivning: elektrisk

uppgift ska Klavesin 2R-PM kunna nyttjas från olika specialubåtar (bland annat *Belgorod*) tillhörande GUGI (*Glavnoje Upravlenije Glubokovodnykh Issledovaniy*¹¹¹) [19].

Plattformen bedöms vara tänkt att användas för arbeten på djupa vatten, exempelvis bottenkartering och informationsinhämtning vilket ligger väl i linje med GUGI:s uppgifter. (Enligt vissa uppgifter ska inte Klavesin 2R-PM kunna dyka djupare än 2000 meter även

om tillverkaren hävdar att max dykdjup uppgår till 6000 meter.¹¹²)

Den kan utrustas med sensorer såsom sidspanande sonar, elektromagnetisk sökare och sedimentekolod.

5.5.2 Boeing Echo Voyager XLUUV

US Navy skrev i maj 2019 på ett kontrakt med Boeing för framställandet av fem stycken Orca XLUUV (*Extra Large Unmanned Undersea Vehicle*). Orca XLUUV baseras på Boeings AUV Echo Voyager och är tänkt att kunna användas för exempelvis minsökning, ubåtsjakt, sjöstrid, telekrig och även som plattform för fjärrstridsvapen.

¹¹¹ Huvudstyrelsen för djuphavsforskning inom det ryska försvarsministeriet.

¹¹² thebarentsobserver.com/ru/node/958

Echo Voyager:

- **Vikt:** 45,4 ton (torr, med lastmodul ca 53 ton)
- **Längd:** 15,5 m (25,9 m med lastmodul)
- **Diameter:** 2,6 m
- **Max hastighet:** 8 kn
- **Max dykdjup:** 3000 m
- **Räckvidd:** 6500 nm
- **Uthållighet:** Månader

Farkosten ska ha lång uthållighet (upp till 6500 sjömil) och en modulär bestyckning för att möjliggöra olika typer av uppdrag.¹¹³ Den navigerar under ytan med hjälp av ett tröghetsnavigeringssystem som stöts av olika dopplerloggar och djupsensorer. Farkosterna kommer att testas och utvärderas av den amerikanska flottan innan de blir operativa. En första XLUUV är planerad att levereras under 2020 och slutleverans är planerad till december 2022.¹¹⁴ Echo Voyager har en diesel-elektrisk framdrivning där den kan förflytta sig upp till

150 nautiska mil mellan laddningarna.

5.5.3 Royal Navy stor AUV

Royal Navy stor AUV:

- **Vikt:** 9 ton
- **Längd:** 9 m
- **Diameter:** 2 m
- **Max hastighet:** 12 knop
- **Max operationsdjup:** 305 m
- **Uthållighet:** 48 h
- **Framdrivning:** Elektrisk, möjligen AIP

Royal Navy har skrivit kontrakt med det brittiska företaget MSubs Ltd för produktion av en stor AUV. Den är avsedd att utgöra en första prototyp som ska nyttjas för utvärdering samt ge erfarenheter och underlag för möjliga framtida konstruktioner. Den beställda plattformen är baserad på MSubS modell S201. Denna farkost är med sina nio meter väsentligt mindre än den plattform som Royal Navy inledningsvis diskuterat, vilken skulle vara uppemot 30 meter lång och kunna vara

till sjöss under 3 månader.¹¹⁵ Denna ambition kvarstår enligt uppgift men S201 når inte upp till denna ambition.¹¹⁶ Farkosten ska nyttjas för att kunna bedöma sjövärdigheten och implementering av autonomi inledningsvis. Mer avancerade tester planeras i ett andra steg där plattformens olika förmågor ska bedömas utifrån operativa kontexter.

¹¹³ news.usni.org/2019/02/13/41119

¹¹⁴ www.naval-technology.com/features/boeing-orca-xluuv-unmanned-submarine/

¹¹⁵ msubs.com/unmanned-submersibles/xluuv/

¹¹⁶ www.savetheroyalnavy.org/manta-the-royal-navy-gets-its-first-extra-large-autonomous-submarine/

6 Utvecklingen internationellt

Den internationella utvecklingen av framförallt USV:er har intensifierats det senaste årtiondet. Utvecklingen pekar mot en användning av heterogena sammansättningar av obemannade farkoster, med kombinationer av framförallt yt- och undervattensfarkoster, som samverkar för att ge en önskad förmåga. Det tydligaste exemplet gäller MCM där flera nationer arbetar med att utveckla system för obemannad minröjning. Minsvepningsförmågan är till stora delar färdigutvecklad men även autonom minjakt (detektion, identifiering och lokalisering) och neutralisering med obemannade farkoster är under utveckling.

Ett stort antal nationer genomför en omfattande utveckling av, eller experimentering med, obemannade yt- och undervattensfarkoster. Detta kapitel börjar med att ge en bild av den internationella utvecklingen rörande obemannad MCM, både när det gäller de likheter och skillnader som de olika utvecklingsprojekten har. Därefter ges beskrivningar av utvecklingen av USV och AUV inom utvalda länder. När det gäller den internationella utvecklingen av UAV:er hänvisas läsaren istället till den analys som presenterades i [6].

6.1 Obemannad MCM

Den pågående utvecklingen av obemannad högggradigt automatiserad MCM-förmåga syftar i grunden till att ge marinen möjlighet att genomföra minsvepning och minjakt med låg risk genom att bemannade fartyg inte ska behöva befinna sig i områden som misstänks vara minerade. Det ger även möjlighet att genomföra minröjning av ett område på kortare tid. Det finns även förhoppningar om att denna utveckling ska kunna möjliggöra en snabbare förstärkning (uppskalning) av MCM-förmågan på ett kostnadseffektivt sätt. Ett flertal länder bedriver utvecklingsprojekt där en sammanhållen obemannad MCM-förmåga ska finnas tillgänglig inom fem till sju år.

Mekanisk och influensminsvepning kan redan genomföras med obemannade system, exempelvis med Saab's kontainerbaserade SAM 3. Modernare farkoster är också under utveckling i exempelvis USA där Textron Systems Common USV är på väg att stationeras på US Navy LCS. Den kvarvarande utmaningen ligger i att även utveckla en integrerad förmåga till minjakt, där utvecklingen internationellt går mot att kombinera olika typer av obemannade farkoster.

De undervattensfarkoster som utför minröjning förväntas utgöras av en kombination av en AUV och en ROV. Den kabel som energiförsörjer ROV:en utgör en begränsning då den låser fartyget till det område som ROV:en arbetar i. Så länge ROV:en arbetar kan inte fartyget manövrera och förflytta sig fritt. I riktigt grunda vatten är det heller inte självklart att det fartyg som bär ROV:en kan komma tillräckligt nära det som behöver undersökas. Samtidigt är möjligheten att kraftförsörja farkosten från en större farkost ett bra sätt att

komma runt begränsningen med energiförsörjning av en undervattensfarkost. Den viktigaste anledningen till att fortsätta använda ROV:ar bedöms dock vara svårigheterna att från en AUV överföra sensorinformation i realtid till en operatör som ska klassificera en mina och därefter neutralisera minan. Så länge ambitionen är att dessa deluppgifter ska genomföras av en tränad operatör finns ett fortsatt behov av att använda ROV:ar. Hybridsystem kan dock utgöra ett alternativ på sikt för denna typ av uppgifter (se exempelvis [25]). Vid minjakt finns även begränsningar orsakade av den begränsade beräkningskapaciteten i en AUV. Om analysen av sensordata behöver utföras utanför farkosten på ett sådant sätt att farkosten först samlar in sina data, bärgas och att data först därefter kan skickas till analys kommer tiden från datainsamling till färdig analys att öka markant.

Generellt diskuteras ofta relationen mellan minsvepning och minjakt med formuleringar som *”jaga när du kan, svep när du måste”*. Minjakt ger under goda förhållanden ett tillförlitligt svar på frågan om det finns minor kvar i ett område medan det efter minsvepning fortfarande finns en kvarvarande osäkerhet om huruvida alla minor har exploderat. Utmaningen vid minjakt i svenska farvatten är dock att vissa områden av Östersjön och Västerhavet har en kraftigt varierande bottenpografi och andra objekt på botten som gör det avsevärt svårare att upptäcka bottenlagda minor med akustisk sonar. FFI anger exempelvis att minjakt är svår att genomföra på uppemot 50% av bottenytan i norska farvatten [26]. I områden med svåra bottenförhållanden är det kritiskt att bottenpologin har karaktäriserats tidigare för att möjliggöra användning av avvikelседetektion för att nå en hög upptäcktssannolikhet och minimera antalet minlika objekt som behöver identifieras manuellt med en ROV.

Gemensamt för de pågående utvecklingsprojekten är att ett bemannat moderfartyg utvecklas som kan förflytta de obemannade systemen nära operationsområdet och varifrån även ledningen av minröjningsoperationen genomförs. Dessa fartyg behöver inte ha de låga signaturer som bemannade minröjningsfartyg kräver, vilket är en kostnadsdrivande faktor, och detta gör det möjligt att reducera kostnaden för det bemannade moderfartyget. I de koncept som är under utveckling används flera USV:er med modulär, utbytbar nyttolast. De är ofta utrustade med släpsonarer, med ett variabelt djupgående, och i vissa fall även med skrovmonterad sonar. USV:erna agerar även som moderplattform för AUV:er som genomför minjakt och ROV:ar som neutraliserar minorna. Flera koncept innehåller även en UAV som vid behov kan användas som kommunikationsrelä eller till att upptäcka flytande minor (exempelvis efter en mekanisk minsvepning).

De obemannade farkoster som används i dessa utvecklingsprojekt är beprövade farkoster eller mogna prototypsystem. Utmaningen i att realisera obemannad MCM-förmåga ligger framförallt i att integrera de olika farkosterna och sensorerna med ett nyutvecklat moderfartyg, samt utveckla intelligensen i både

den sensornära signalbehandlingen (för att öka förmågan till automatisk detektion, identifiering och lokalisering av minor) och utveckla en förbättrad ”uppdraagsautonomi”.

6.1.1 USA

US Navy har under ett antal år bedrivit forskning och utveckling rörande obemannade system för minsvepning och minjakt. Textron Systems Common USV införs nu i begränsad volym på US Navy LCS för autonom minsvepning. Common USV är designad för att kunna bära modulära, uppdraagsanpassade nyttolaster. Nyttolast anpassad för minjakt (detektion, klassificering och lokalisering) är under utveckling¹¹⁷ och försöksverksamhet pågår med Raytheon's AN/AQS-20C och Northrop Grummans AN/AQS-24B sonarer.¹¹⁸

Nästa steg i utvecklingen är därefter att integrera nyttolast för neutralisering av minor, vilket möjligen kommer att ske i form av Raytheons Barracuda AUV [27].¹¹⁹ Den utgör en kompletterande del i uppfyllandet av US Navy vision om att genomföra hela minjaktsskedjan vid en passage (*Single Sortied Detect-To-Engage, SSDTE*). Barracuda utvecklas för att i grunda vatten automatiskt återlokalisera minlika objekt och efter operatörens godkännande (vilket baseras på sonardata och video) autonomt genomföra neutraliseringen av sjöminan.¹²⁰ Barracuda ska kunna sjösättas från en Common USV eller en MH-60 helikopter, som båda är stationerade på US Navy LCS.

I [27] angavs att en LCS MCM uppdraagsmodul innehåller två Common USV, två Knifefish UUV och en MQ-8B VTOL UAV utrustad med COBRA (*Coastal Battlefield Reconnaissance and Analysis*).¹²¹ COBRA-systemet använder bland annat multispektrala sensorer och LiDAR för att lokalisera minor i grunda vatten och landstigningsområden. Ett annat flygburet MCM system som använder laser för att upptäcka minor relativt nära ytan är ALMDS (*Airborne Laser Mine Detection System*). Även detta system utgör en del av LCS MCM-förmåga men ALMDS integreras istället på den bemannade helikoptern MH-60.

¹¹⁷ www.navy.mil/Resources/Fact-Files/Display-FactFiles/Article/2167996/mine-countermeasures-unmanned-surface-vehicle-mcm-usv/

¹¹⁸ news.usni.org/2020/01/22/textrons-common-usv-ready-for-production-experimenting-with-lethal-surface-warfare-payloads

¹¹⁹ www.raytheonmissilesanddefense.com/news/feature/clean-sweep

¹²⁰ www.raytheon.com/sites/default/files/2018-12/4476462_Snapshot%20Seapower-December18-Final-reprint-permission.pdf

¹²¹ www.dote.osd.mil/Portals/97/pub/reports/FY2019/navy/2019smcm_uuv.pdf?ver=2020-01-30-115519-923

6.1.2 Norge

Den norska marinen har tagit ett principbeslut om att ersätta nuvarande minsvepningsfartyg (av Altaklass) med obemannade farkoster till 2028.¹²² Norge har genom FFI och Kongsberg en hög industri- och forskningskompetens som kan leda denna utveckling och ett nära samarbete med norska marinen för exempelvis utveckling av CONOPS och krav.

I [26,28] beskrivs det tidiga koncept som utvecklas, med ett bemannat enklare fartyg som agerar som moderfartyg för modulära USV:er som kan utrustas med nyttolast för minsvepning eller minjakt. USV:erna är vid minjakt avsedda att bära två AUV:er (av typen Hugin) som med avancerad syntetisk apertursonar (SAS) och multistråleekolod (*Multi-Beam Echo Sounder, MBES*) noggrant mäter upp havsbotten. Hugin genomför även ATR (*Automated Target Recognition*) utifrån sonardata. Operatören leder insatsen från moderfartyget och USV:n har även i uppgift att reläa information mellan AUV och moderfartyget. Efter en genomförd initial kartering, där deluppgifter som detektion, klassificering och lokalisering av minliknande objekt och bottenkartering ingår, återvänder AUV:n och laddar ned sensordata. Utifrån denna information planeras nästa fas av uppdraget automatiskt, vilken innefattar klassificering av misstänkta objekt med hjälp av en stillbildskamera. Klassificering och neutralisering av konfirmerade minor genomförs med en *One-Shot Mine Disposal Weapon (OSMDW)*, exempelvis Kongsbergs Minesniper, som släpps från USV och styrs direkt av en operatör.

I detta koncept utrustas inte USV:er med skrovintegrerad eller släpsonar, utan endast AUV:erna utrustas med högupplöst syntetisk apertursonar. En fördel med detta koncept är att en AUV kan genomföra minjakt (dock ej neutralisering) även utan en USV vilket ger möjlighet att genomföra denna med mindre risk för upptäckt och bekämpning från ytan eller luften. Bristen på kommunikationsmöjligheter medför att kraven på autonomi och navigationssystemen är mycket höga. En potentiell nackdel är dock att minjaktsuppdraget delas upp i två seriella moment vilket påverkar hastigheten för genomförandet av uppdraget negativt. En UAV kan även tillföras i syfte att möjliggöra ökade avstånd mellan moderfartyget och de obemannade systemen. USV:n ska även kunna genomföra olika typer av minsvepningsuppdrag. På grunda vatten genomförs minjakt och neutralisering fortsatt manuellt av dykare, eventuellt med stöd av mindre AUV:er (typ Remus 100).

6.1.3 Belgien och Nederländerna

Belgien och Nederländerna upphandlar gemensamt förmågan till obemannad minsvepning och minjakt från det nystartade konsortiet Belgian Naval &

¹²² www.udt-global.com/_media/libraries/draft-abstracts--slides/36-Rune-Fardal.pdf

Robotics.^{123,124} Naval Group utvecklar det bemannade moderfartyget och ECA Group levererar de obemannade systemen. Samarbete planeras även med belgiska företag inom ramen för EU-projekt. Totalt ska tolv system levereras under perioden 2024 till 2030.

Det nya moderfartyget kan bära två RIB och två Inspector 125 USV:er. Inspector 125 kan bära modulära nyttolaster och de kan genomföra minsvepning, dra en släpsonar (T-18M), bära en AUV (A-18M) eller ROV för neutralisering av minor (t.ex. SeaScan eller K-Steer C). Moderfartyget kan även bära en RPAS (UMS Skeldar) som används som kommunikationsrelä eller för att detektera flytande minor.

6.1.4 Storbritannien och Frankrike

Frankrike och Storbritannien har gått samman för att utveckla, tillverka, certifiera och demonstrera *state-of-the-art* teknologier för obemannad MCM. Kontraktet har administrerats via upphandlingsbyrån OCCAR (*Organisation for Joint Armament Co-operation*) och budgeten är på 17 miljoner pund. Konsortiet leds av Thales med BAE Systems, L3Harris (tidigare ASV), Wood & Douglas och ECA Group som partners. Även SAAB deltar med sin nya MuMNS ROV för neutralisering av multipla sjöminor [9]. Avsikten är att detta demonstrations-system, där ett system ska levereras under 2020 till vardera land för fortsatt operationell experimentering och utveckling av CONOPS, ska utgöra underlag för designen av både Storbritanniens och Frankrikes framtida obemannade MCM-förmåga.

Demonstratorsystemet består av (i) en USV (från L3Harris, sannolikt en vidareutvecklad version av C-Sweep) som utrustas med en nyutvecklad släpsonar (Thales T-SAM) för detektion, klassificering och lokalisering av minor, (ii) tre AUV:er (vidareutveckling av ECA Group's A-27M som utvecklades inom det franska utvecklingsprojektet Espadon) med sensorer från Thales, och (iii) en ROV (Saab MuMNS) som används för att identifiera och neutralisera minor. AUV:erna kan vid behov operera fristående från USV:erna, exempelvis vid dold minjakt. A-27M kan enligt [29] utföra dold minjakt på avstånd upp till 30 nautiska mil från moderplattformen.

Enligt Thales utgör deras nyutvecklade SAMDIS syntetiska apertursonar en kritisk komponent för den totala MCM-förmågan och den har integrerats på A-27M AUV:erna [29]. SAMDIS anges ha en hög upplösning och den möjliggör insamling av sonardata från tre olika riktningar efter en passage, vilket resulterar

¹²³ www.navalnews.com/naval-news/2019/05/this-is-what-the-future-belgian-dutch-mcm-mothership-will-look-like/

¹²⁴ www.navalnews.com/naval-news/2019/12/naval-group-on-track-with-mcm-program-sets-foot-in-belgium

i en högre detektions- och klassificeringssannolikhet samt en lägre sannolikhet för falska detektioner. T-SAM är en släpbar version av SAMDIS. Genom att använda en släpsonar som bogseras efter en USV, istället för en AUV, kan sensordata skickas i realtid till operatören. Det är dock oklart hur prestanda för SAMDIS är i jämförelse med exempelvis Kongsberg HiSAS 1030.

L3Harris har arbetat tillsammans med DSTL för att utveckla autonomi för USV:er, där exempelvis algoritmer för automatisk brytpunktsnavigering och väjning för fartyg och hinder i enlighet med COLREG:s tagits fram. USV:n är även utrustad med en framåttittande sonar avsedd att detektera bottenförankrade minor och andra undervattenshinder.

6.2 USA

Autonomi och obemannade system utgör ett av de nio prioriterade fokusområdena i den forskningsstrategi som ONR tagit fram. RAND beskriver även i [10] de tre användningsområden där de bedömer att US Navy tror sig få störst effekt av framtida autonoma marina system: MCM, ISR i A2AD-miljöer och operationell vilseledning. RAND bedömer även att offensiv minläggning med större AUV:er kan utgöra ett intressant framtida användningsområde. Vidare anges att huvudsyftet för US Navy med att införa obemannade system inte primärt är en ökad säkerhet, utan snarare att möjliggöra genomförandet av operationer där bemannade fartyg inte kan operera [10].

US Navy har de senaste åren satsat stora resurser på obemannade system men det har framförallt varit riktat mot flygande farkoster. Obemannade undervattensfarkoster har även utvecklats, medan utvecklingen av obemannade ytfarkoster endast fått en begränsad finansiering. Den kommande femårsperioden kommer dock en betydande satsning på stora obemannade yt- och undervattensfarkoster att genomföras där totalt 4.5 miljarder USD läggs på tre typer av farkoster: Large USV, Medium USV och XLUUV. Fokus i utvecklingen av XLUUV bedöms vara på utveckling och integration av nyttolast som svarar mot specifika behov. Inom PMS 495 utvecklas sjöminor som potentiellt kan levereras med en XLUUV, benämnd CDM (*Clandestine Delivered Mine*).¹²⁵

6.2.1 Kommande omstrukturering av US Navy

US Navy genomför en översyn av den framtida önskade sammansättningen av flottan (*Integrated Naval Force Structure Assessment, INFSA*) och denna tros ytterligare befästa inriktningen mot *Distributed Maritime Operations* (DMO). Översynen motiveras med det upplevt ökande behovet av att kunna möta hot från

¹²⁵ www.navsea.navy.mil/Portals/103/Documents/Exhibits/SNA2020/SNA2020-MineWarfarePrograms-CaptDanielleGeorge.pdf?ver=2020-01-17-113441-990



Figur 6.1: MQ-25 Stingray, St Louis, januari 2018 (foto: US Navy courtesy of Boeing, public domain).

teknologiskt framstående (*near-peer adversaries*) motståndare, i första hand Kina men även Ryssland [20]. Det är framförallt dessa länders kraftigt förbättrade marina A2/AD-förmåga och långräckviddiga sjömålsbekämpningsförmåga som motiverar denna översyn [18,10]. Under våren 2020 har OSD initierat en kompletterande studie (*Future Navy Force Study*) som förväntas leda till behov av förändringar i den preliminära INFSA som US Navy tagit fram [30].

I [10] identifieras generella teman som framkommit i de olika studier som genomförts, bland annat anges behov av: (i) att kunna operera i miljöer med begränsade kommunikationsmöjligheter, (ii) att sprida ut verkansförmågan men med förmåga att samverka och styrkesamla för bekämpning lokalt och (iii) insamling av underrättelseinformation i avreglingsmiljöer. Antaganden som görs i studierna är exempelvis att utvecklingen av långräckviddig precisionsbekämpningsförmåga i kombination med hotet från ubåtar och sjöminor kommer förhindra bemannade fartyg att operera i avreglingszoner. I dessa zoner kommer endast obemannade system att kunna operera.

Den kommande omstruktureringen av US Navy förväntas leda till en större, mer distribuerad och agil flotta med proportionerligt färre stora örlogsfartyg (jagare och kryssare) till förmån för fler mindre örlogsfartyg (fregatter och LCS) vilka kompletteras med ett stort antal obemannade system [20]. US Navy avser att öka tempot i utveckling och anskaffning av obemannade system under den kommande femårsperioden.

Även utvecklingen av en hangarfartygsbaserad UAV för tankning av stridsflygplan, MQ-25 Stingray (figur 6.1), motiveras av scenariot med konflikt mot en teknologiskt framstående motståndare med långräckviddig sjömålsbekämpningsförmåga [18]. MQ-25 Stingray kommer sannolikt även vidareutvecklas för att utföra andra typer av uppdrag, såsom ISR.

6.2.2 DoD budgetförslag för 2021

Försvarsdepartementet äskar för 2021 en budget på totalt 705,4 miljarder USD, varav den föreslagna budgeten för RDT&E är på 106.6 miljarder USD [31]. Två prioriterade områden i budgeten är att modernisera förmågan att leverera kärnvapen (*nuclear delivery*) och moderniserade lednings- och kommunikations-system.

Fyra försvarsgrensöverskridande avancerade förmågemöjliggörare (*advanced capability enablers*) pekas ut som högst prioriterade [31]: hypersoniska vapen (3.2 miljarder USD), mikroelektronik och 5G (1.5 miljarder USD), autonomi (1.7 miljarder USD) och artificiell intelligens, AI (0.8 miljarder USD). Inom AI-området ingår fortsatta satsningar på två s.k. *AI pathfinders*, nämligen *Joint Artificial Intelligence Center*¹²⁶ (JAIC) och projekt Maven.¹²⁷ De övergripande målen för autonomisatsningen är att öka manöverförmågan (*speed of manoeuvre*) och verkan i avreglingszoner, samt utveckla samverkan mellan människan och tekniska system (*human/machine teaming*).

6.2.3 Unmanned Systems Integrated Roadmap

Obemannade system får en fortsatt ökande andel av militärbudgeten. I US DoD *Unmanned Systems Integrated Roadmap 2017 – 2042* beskrivs den övergripande strategin för att jämka samman de olika försvarsgrenarnas mål och ansträngningar med försvarsdepartementets övergripande vision [32]. Fyra temaområden beskrivs som kritiska som behöver adresseras för att fortsätta accelerera utvecklingen av obemannade system: interoperabilitet, autonomi, säkra nätverk och samverkan mellan människa och system.

6.2.3.1 Interoperabilitet

Interoperabilitet bedöms utgöra en kritisk aspekt vid integration och operativ användning av obemannade system. Utvecklingen och införandet av säkra, öppna och försvarsmaktsgemensamma arkitekturer utgör ett prioriterat område och genomsyrar utvecklingen av obemannade farkoster i USA. De ska erbjuda möjligheten till en sömlös interoperabilitet mellan alla bemannade och obemannade system. Fokus på kort sikt är även mot modularitet och utbytbarhet av mjukvara och hårdvara. Certifierade modulära delsystem utgör en möjlighet att effektivisera certifiering av säkerhetskritiska delsystem för obemannade farkoster. Användningen av gemensamma meddelanden eller meddelandeformat som flyttar informationen mellan delsystem, tillsammans med interoperabilitets-profiler (IOP) som standardiserar mjukvaru- och hårdvarugränssnitten, utgör basen för att uppnå interoperabilitet och modularitet. Generella användargräns-

¹²⁶ www.ai.mil/

¹²⁷ artificialintelligence-news.com/2019/12/12/palantir-project-maven-defense-contract-google-out/

snitt som kan användas för styrning och ledning av multipla farkoster utgör även en del av denna strategi. Gemensamma metoder för effektiv certifiering, test och utvärdering (T&E) samt verifiering & validering (V&V) utgör även en viktig komponent i utvecklingen av framtidens obemannade förmågor.

6.2.3.2 Autonomi och robotik

Utvecklingen inom autonomi och robotik bedöms ha potentialen att revolutionera framtidens krigföring. Autonomi bedöms vidare kunna öka effektiviteten avsevärt för bemannade och obemannade system. Maskininlärningsalgoritmer (ML) bedöms ha stor potential. Automatiserade säkerhetsfunktioner utgör en viktig komponent som behöver utvecklas på kort sikt. Ett stort antal utmaningar kvarstår dock att lösa, inte minst när det gäller att utveckla mer avancerad AI (såsom uppdragsautonomi) samt T&E och V&V av AI-baserade system.

Förtroende (tillit) utgör en viktig faktor för autonoma system. För att operatörer ska nå tillräcklig tillit till autonoma system krävs troligen att de kan uppvisa ett transparent beteende och har förmågan att förklara beslut och åtgärder som vidtas, samt kommunicera planer på ett förståeligt sätt. Bristen på tillit anges vara en kritisk faktor som behöver adresseras för att möjliggöra ett brett införande av autonoma system.

Situationsanpassade etiska ställningstaganden bedöms ännu inte kunna utföras av existerande AI-algoritmer. Det är därmed av yttersta vikt att säkerställa att mänsklig kontroll och ansvarstagande över autonoma system möjliggörs genom robusta kommunikations- och ledningssystem. En kraftig ökning av höggradigt autonoma farkoster som kan föras med vapen förutses på medellång sikt (10-15 år). AI-algoritmer kommer sannolikt utvecklas som genomför delar av bekämpningskedjan, exempelvis detektion, identifiering, lokalisering, prioritering och följning av mål. Utvecklingen medger att människan kan *fokusera på identifierade mål* och på att *fatta själva beslutet om bekämpning*. Begränsningar i användningen av autonoma vapensystem förutsätts komma som ett resultat av de diskussioner som pågår internationellt (inom exempelvis *Lethal Autonomous Weapon Systems, LAWS*).

6.2.3.3 Säkra nätverk

Obemannade system är beroende av trådlösa kommunikationsnät och sårbarheterna i dessa måste adresseras för att förhindra kommunikationsbortfall eller manipulation. Inriktningen för säkra nätverk inkluderar tre delområden: (i) cyberoperationer, (ii) informationens tillförlitlighet och tillgänglighet (assurans) samt (iii) ett effektivt, flexibelt och adaptivt utnyttjande av det elektromagnetiska spektrumet och skydd mot elektronisk krigföring. Inom cyberoperationer är den långsiktiga inriktningen att utveckla ett autonomt cyberförsvar med förmågan att snabbt återhämta viktiga delar av funktionaliteten under pågående attack.

6.2.3.4 Samverkan och *teaming*

Teaming mellan soldater och obemannade system förväntas möjliggöra nya revolutionerande samverkansformer där maskiner utgör medlemmar av gruppen snarare än underordnade enheter. Interoperabilitet utgör den grundläggande möjliggöraren för dessa avancerade samverkansformer. De utpekade fokusområdena för att nå en effektiv välfungerande samverkan mellan människor och obemannade system utgörs av användargränssnitt och innovativa koncept för människa-maskin *teaming*.

6.2.4 Autonomi inom marina autonoma system

En rapport från RAND belyser såväl utveckling som möjligheter och utmaningar med autonoma system kopplat till US Navy [10]. Rapporten pekar på tre områden där autonoma system anses ha en hög sannolikhet att kunna verka framgångsrikt: minkrigsområdet, ISR i av fienden kontrollerade områden samt vilseledning. Slutsatserna i rapporten ringar in de utmaningar som återfinns i införandet av autonoma system för US Navy. En av de stora utmaningarna är hur de autonoma systemen på ett bra sätt ska kunna infogas i organisationen och ges uppgifter på en nivå som ger de autonoma systemen goda möjligheter att kunna verka. Utmaningen här ligger framför allt i strävan efter att ersätta bemannade system med obemannade och autonoma system för att lösa samma uppgifter.

En rekommendation i rapporten är att stor möda läggs på att analysera CONOPS för autonoma system då det bedöms finnas skillnader mellan bemannade och obemannade systems förutsättningar att framgångsrikt kunna lösa en uppgift [10]. En rekommendation som framhålls är att i närtid satsa på flera enklare system hellre än ett fåtal avancerade dito, detta med anledning av att exempelvis förmågan att koordinera verksamhet mellan autonoma system inte är fullt utvecklad idag och inte heller bedöms bli det inom en överskådlig framtid. En grundläggande orsak till detta bedöms vara att dagens system kan anpassa sig inom ramen för egen uppgift men att forskningen kring sådana systems förmåga att förstå taktiska lägesbilder och därmed kunna samarbeta med andra autonoma system utifrån lägesbilden inte har varit ett prioriterat område [10]. Det tydligaste exemplet för denna inriktning är minjakt där olika samverkande AUV:er föreslås genomföra olika delar av minjakten, vilket kan snabba upp förloppet.

Utvecklingen av undervattensnätverk liknande de som studeras i exempelvis EDA-projektet *Smart Adaptive Long- and Short-range Acoustic network* (SALSA) utgör ett steg i denna riktning [33]. Det är i andra delar svårare att förstå fördelarna med denna inriktning för svenska förhållanden. Konceptet föutsätter kommunikation mellan farkosterna vilket utgör en utmaning, både för USV:er som måste hantera telestörda miljöer och för AUV:er med dess kommunikationsbegränsningar. Det är även svårt att med enklare AUV:er nå den uthållighet och hastighet som behövs för att möjliggöra nya förmågor, utan dessa

förmågor kan snarare förutsätta en utveckling av större och mer komplexa farkoster.

Ytterligare en rekommendation kopplad till ledning av autonoma farkoster som ges i rapporten är behovet av en mänsklig kontrollmekanism för att kunna följa upp en autonom enhets agerande och vid behov ”korrigera” densamma om den missförstår sin omgivning och/eller sitt uppdrag.

Den allmänna internationella utvecklingen av obemannade system för militärt bruk bedöms främst kretsa kring markgående och flygande farkoster och system. På den marina sidan är bedömningen att utvecklingen har varit mer begränsad tidigare men nu har börjat ta fart, framför allt inom minkrigsområdet. En begränsning för ett sådant användande är utvecklingen av autonoma förmågor. Många av de enheter som återfinns idag är autonoma i en begränsad utsträckning, exempelvis kan ett system lösa en begränsad uppgift i ett tilldelat område och relativt väl orientera sig och anpassa egen förflyttning utifrån terränghinder och liknande. Däremot kan inte systemen på ett bra sätt anpassa sig till ändrade förutsättningar i den taktiska lägesbilden vilket också ger bristande förmåga till samarbete mellan obemannade system med en idag relativt hög grad av automation eller autonom förmåga. Etik och policy gör sig även påmint här, framför allt kopplat till vapeninsatser.

6.2.5 US Navy utvecklingsplan för USV och UUV

Utvecklingen av obemannade farkoster leds inom US Navy av PMS 406 *Unmanned Maritime Systems* (UMS), som ligger under *Project Executive Office Unmanned and Small Combatants* (PEO USC).

6.2.5.1 USV

Common USV med minsvepningsmodul förs in på LCS i begränsad omfattning medan utveckling av nyttolast för minjakt och neutralisering är under utveckling. Ambitionen är att en minjaksmodul ska vara utvecklad 2023 och neutraliseringsförmåga till 2025 [34]. Utveckling och experimentering pågår även där Common USV i samarbete med NSWC utrustas med sensorer och beväpning i form av en .50 kalibers tung kulspruta och två vertikalavfytrade Hellfireroboter för ytstrid [24,35]. Dock finns inga planer på att införa ytstridsförmåga för Common USV integrerad i den utvecklingsplan som presenterats av PMS 406 [34].

De stora resurserna som US Navy allokerar för utveckling av USV:er inriktas främst mot utvecklingen av stora farkoster. US Navy planerar att de närmaste fem åren upphandla två LUSV (*Large USV*) per år samt ett fåtal MUSV (*Medium USV*) som komplement till Sea Hunter. LUSV och MUSV är avsedda att driva utvecklingen av nyckelteknologier, bland annat när det gäller uppdragsautonomi och passiva GPS-oberoende navigeringssystem. De prototypfarkoster för MUSV och LUSV som är planerade att införskaffas förs in framförallt i syfte att

utveckla förståelsen för hur dessa bör användas för att nå en ökad operativ effekt [34]. US Navy sjösatte i maj 2019 en ny dedikerad enhet, *Surface Development Squadron* (SURFDEVRON). Syftet med SURFDEVRON är att genomföra realistisk experimentering med ny teknik som obemannade system för att utveckla TTP och CONOPS för hur de ska integreras med bemannade fartyg. SURFDEVRON kommer det närmaste året bestå av en Sea Hunter och två jagare i Zumwaltklassen (DDG). Inom något år kommer därefter en andra Sea Hunter tillföras samtidigt som även de två prototyper för LUSV som utvecklats inom programmet *Ghost Fleet Overlord* kommer att överföras från OSD SCO till SURFDEVRON. Därefter tillförs enligt liggande plan fyra nya prototyper av LUSV och en MUSV under 2023 [36].

US Navy driver på för att kunna utveckla LUSV till en sensor- och vapenbärarplattform. Det användningsområde som framförallt diskuterats är som magasinartyg som autonomt kan navigera till operationsområdet och agera tillsammans med bemannade fartyg, avfyra sina robotar och återvända för att fylla på nya missiler. Det ger potentiellt en ökad och mer distribuerad bekämpningsförmåga, samtidigt som det ger de bemannade fartygen möjlighet att operera under längre period i operationsområdet. Det finns dock ett motstånd hos kongressen och senaten mot planerna på att utveckla obemannade bärare för tunga vertikalavfyra robotar. Det finns i grunden en oro hos politikerna för att utrusta obemannade farkoster med en sådan formidabel bekämpningsförmåga och osäkerheter rörande människans framtida roll vid en vapeninsats. Som en konsekvens av dessa farhågor godkändes utvecklingen av själva LUSV-farkosterna men inte vapensystemen i budgetprocessen för FY2020 [20]. De öppnar dock för att budget för denna utveckling kan godkännas vid kommande budgetförhandlingar.

Både MUSV och LUSV är avsedda att starta och avsluta sina uppdrag vid kaj. Ambitionen är att både MUSV och LUSV ska använda samma C4I-system (*Command, Control, Communications, Computers and Intelligence*). En av de stora utmaningarna i utvecklingen av dessa stora USV:er som är avsedda att operera till havs månader i sträck är, enligt US Navy, de krav på tillförlitlighet som ställs på alla fartygens delsystem [37].

Parallellt pågår även utveckling av gemensamma grundläggande teknologier. Sedan 2019 fokuserar PMS 406 på att utveckla en gemensam arkitektur för autonomi (*Unmanned Maritime Autonomy Architecture, UMAA*), gemensamt ledningssystem, litium-jonbatterier för UUV:er samt ytstridsmodul för USV:er [37]. Förhoppningen är att en öppen modulär autonomiarkitektur ska möjliggöra uppgraderingar av autonomimjukvara. Detta är även en förutsättning för att kommande uppgraderingar av mekaniska och elektroniska system, och nyttolaster, ska kunna genomföras.

6.2.5.2 UUV

Den amerikanska utvecklingen av UUV:er går framåt i alla de fyra storlekar som USA använder idag och ser sig vilja använda framgent. Det som kan skönjas i den tänkta utvecklingen enligt PMS406 är ett fortsatt nyttjande och utveckling av *gliders* för *battle space awareness* samt ökad modularitet inom såväl lätta, tunga som stora AUV:er [34].

Bedömningen från PMS406 är att exempelvis en XLUUV-farkost kommer att vara tillgänglig i en nära framtid för experimentering och utveckling av CONOPS. En mer avancerad XLUUV med en höggradigt integrerad nyttolast ses däremot mer som en ambition som utvecklingen bör sträva mot på sikt. För andra stora och tunga AUV:er nyttjas befintliga system för experimentering. UUVRON¹²⁸ förväntas snart (2023) införa Snakehead (*Large Displacement UUV*) för utveckling av CONOPS, medan Razorback planeras föras in samma år för att ge en förbättrad förmåga till *battle space awareness*.¹²⁹ Snakehead är en AUV som kan sjösättas från kaj och den är designad med öppen arkitektur för att ta modulära uppdragsanpassade nyttolaster.¹³⁰ Utvecklingen av Razorback samordnas nu med utvecklingen av AUV:n Mk 18 Mod 2 (som går under PMS 408) till en gemensam farkost som ska kunna sjösättas och återtas från både ytfartyg och ubåtar.¹³¹ Knifefish har nått US Navy Milestone C och införande i liten volym (LRIP) pågår. En strävan inom området tunga AUV:er är att på sikt uppnå uppdragsanalys i nära realtid genom förbättrad kommunikation, sensorbestyckning samt analysförmåga och mer inneboende intelligens i farkosterna.

För lätta och burna system beskrevs 2019 att utvecklingen går mot att även kunna möjliggöra inhämtning av stridsfältsinformation med en plattform benämnd SandShark i en nära framtid [10]. Vid demonstration som genomfördes under ANT-X 2016 användes en Bluefin-21 som moderplattform för multipla Bluefin SandShark AUV:er där de bland annat användes som kommunikations reläknoder.¹³² SandShark saluförs dock (av okänd anledning) sedan en kort tid inte längre av general Dynamics Mission Systems.

6.2.6 Svärmar

Framtidens svärmar av obemannade autonoma farkoster diskuteras ingående i [38]. Svärmar har potentialen att exempelvis möjliggöra: (i) synkroniserade

¹²⁸ Unmanned Undersea Vehicle Squadron 1 (UUVRON 1) etablerades som en egen enhet 2017.

¹²⁹ Att ambitionen håller verkar styrkas av: www.news.usni.org/2020/09/09/usv-uuv-squadrons-testing-out-concepts-ahead-of-delivery-of-their-vehicles

¹³⁰ www.globalsecurity.org/military/systems/ship/lduuv.htm

¹³¹ www.news.usni.org/2019/10/31/navy-marines-moving-ahead-with-unmanned-vessel-programs

¹³² www.unmannedsystemstechnology.com/2016/09/general-dynamics-launches-bluefin-sandshark-micro-auvs-during-u-s-navy-exercise/

angrepp eller försvar, (ii) effektivare allokering av resurser över ett område, (iii) självlärande nätverk som anpassar sig till motståndarens aktiviteter och (iv) distribuerade enheter som samverkar för ISR, vilseledning och bekämpning [38]. Utvecklingen inom svärmar av UAV:er beskrivs bland annat i [6] och ONR genomför exempelvis projektet LOCUST (*Low-Cost UAV Swarm Technology*).¹³³

En uppgift som ofta diskuteras är att med en egen svärm av USV:er skapa ett försvar mot fientliga svärmattacker med små snabba USV:er. Detta scenario har tidigare bedömts utgöra ett allvarligt hot mot amerikanska fartyg och införandet av dylika svärmar utgör en av rekommendationerna i [38].¹³⁴

Storskaliga svärmar med tusentals individer diskuteras som ett reellt hot mot US Navy i en nära framtid.¹³⁵ *Naval Postgraduate School* (NPS) genomför ett forskningsprojekt där taktik och metoder utvecklas för hur svärmar av små UAV:er kan användas defensivt för att bekämpa en anfallande svärm. Projektet benämns *Air Superiority via Decentralized Swarming Tactics and Autonomous Pursuit*.¹³⁶

Office of Naval Research (ONR) har sedan 2014 lett genomförandet av ett flertal demonstrationer av svärmar av USV:er.¹³⁷ Vid demonstrationerna har upp till 13 USV:er genomfört olika typer av uppdrag som patrullering, eskort av fartyg och skydd av hamn (figur 6.2). I demonstrationerna leds svärmen med hjälp av CARACaS (*Control Architecture for Robotic Agent Command Sensing*), som även inkluderar konverteringskit med vilka bemannade båtar kan göras om till USV:er.

Tekniken utvecklas kontinuerligt i viktiga områden som exempelvis perception, navigering, autonom styrning och upptäckt och väjning för hinder och andra fartyg och ruttplanering i dynamiska scenarion.¹³⁸ Operatören styr inte längre enskilda farkoster utan övervakar och leder istället svärmens beteende. Svärmtekniken ställer, utöver kravet på autonomt uppträdande hos ingående USV:er, även krav på utveckling av nya innovativa ledningstekniker och samverkansformer mellan bemannade och obemannade system [38].

¹³³ www.raytheonmissilesanddefense.com/news/feature/mind-swarm

¹³⁴ www.opendemocracy.net/en/why-iran-has-a-speedboat-swarm-thats-punching-above-its-weight/

¹³⁵ www.forbes.com/sites/davidhambling/2020/08/26/how-us-navy-plans-to-foil-massive-super-swarm-drone-attacks/

¹³⁶ nps.edu/documents/113838019/115562439/Yakimenko.pdf/14ea8f5b-4180-449d-a911-d0ec63acf85b?t=1544468994000

¹³⁷ www.spectrum.ieee.org/autoton/robotics/military-robots/us-navy-robot-boat-swarm

¹³⁸ defensesystems.com/articles/2017/01/10/swarmboats.aspx



Figur 6.2: Office of Naval Research (ONR) genomför demonstration med svärm av olika USV:er. Vänster: Exempel på en RIB-baserad USV (en av flera varianter) som användes vid demonstrationen (foto: John F. Williams, US Navy, CC BY 2.0). Höger: Flera USV:er manövrerar runt ett fartyg där uppdraget är att skydda detta mot hot från andra ytfartyg (foto: Mass Communication Specialist 2nd Class John P. Kotara, US Navy, CC BY 2.0).

6.3 Storbritannien

Royal Navy är mycket aktiva i utveckling och experimentering med obemannade system. Även Dstl (*Defence Science and Technology Laboratory*) och QinetiQ är aktiva aktörer inom forskning och utveckling av obemannade marina system.

6.3.1 Experimentering inom Royal Navy och Royal Marines

Royal Navy genomförde i samverkan med Dstl och QinetiQ övningen *Unmanned Warrior 2016* där ett stort antal obemannade marina system förevisades och utvärderades.¹³⁹ Efter detta har den experimentella verksamheten gått snabbt framåt och ett flertal olika typer av obemannade system prövas i dagsläget vid brittiska sjöförband. De bedömda inriktningarna för nyttjande av obemannade system vid Royal Navy är minsvepning och minjakt, ocenaografi, ubåtsjakt, basskydd, patrullering, spaning, målinmätning, underrättelseinhämtning och stöd till Royal Marines. Liksom US Navy planerar de att utveckla och utvärdera koncept för XLUUV. Nyttjandet genomförs i experimentsyfte men utgör ofta en del av skarpa insatser.

Nyttjande av RPAS prövas operativt under hösten 2020 genom att det relativt nyuppsatta förbandet inriktat för flygning med RPA, 700X *Naval Air Squadron*, baseras på HMS Albion under en insats i Medelhavet.^{140,141} Syftet är att utveckla metodik för hur bland annat Puma och andra RPAS kan nyttjas inom ramen för

¹³⁹ www.royalnavy.mod.uk/news-and-latest-activity/news/2016/october/03/161003-taking-the-high-road

¹⁴⁰ AeroVironment Puma.

¹⁴¹ www.royalnavy.mod.uk/news-and-latest-activity/news/2020/july/22/200722-700x-merlin-storm

Royal Navy verksamhet till sjöss.¹⁴² Under 2020 har även Royal Marines gjort försök med bland annat RPAS i samverkan med QinetiQ.¹⁴³

Även rörande undervattensfarkoster pågår kontinuerligt utveckling. Royal Navy genomför satsningar riktade mot undervattensforskning syftande till att fortsätta bygga kunskap om hur AUV:er kan nyttjas inom ramen för olika operativa kontexter.¹⁴⁴

6.3.1.1 Projekt Wilton

Utöver flygande system genomförs många experiment vid den relativt nyuppsatta specialistgruppen för marina autonoma system, projekt Wilton (baserad på HM Naval Base Clyde). Projekt Wilton tillhör MCM1 (*First Mine Countermeasures Squadron*). Målet är att utveckla förmågan till obemannad minjakt och bottenkartering, där dessa system är avsedda att förstärka de bemannade fartygens minjaktsförmåga. Under 2020 har projekt Wilton fortsatt bedrivit försöksverksamhet med USV:er i syfte att uppnå IOC (*Initial Operating Capability*). Under 2022 är avsikten att kunna verka operativt med de båtar som ingår i projekt Wilton.¹⁴⁵

6.3.1.2 NavyX

Royal Navy har även erhållit medel från *Defence Transformation Fund* till att sjösätta NavyX som beskrivs som en *autonomy and lethality accelerator*. Inom NavyX möts militär personal, forskare, ingenjörer och industri med målet att gemensamt utveckla nya förmågor i en avsevärt snabbare takt än vad som är möjligt vid en traditionell upphandling.

6.3.1.3 Diskussion

Sammantaget kan sägas att Storbritannien har gått vidare utifrån de erfarenheter som har dragits i samband med de olika industriprojekt och övningar som har genomförts rörande obemannade och autonoma system. Viktiga slutsatser är att realistisk experimentering med prototypsystem behöver genomföras för att kunna anpassa uppgifter och farkoster i syfte att skapa kvalificerade resurser som ger önskad operativ effekt. Experimentverksamheten bedrivs inte bara inom ramen för landets forsknings- och utvecklingsaktörer utan sker i stor utsträckning inom

¹⁴² www.royalnavy.mod.uk/news-and-latest-activity/news/2020/october/09/20201009-drone-trials-on-albion

¹⁴³ www.royalnavy.mod.uk/news-and-latest-activity/news/2020/october/20/20201020-rm-tech-trials

¹⁴⁴ www.royalnavy.mod.uk/news-and-latest-activity/news/2020/august/13/200813-survey-work

¹⁴⁵ www.royalnavy.mod.uk/news-and-latest-activity/news/2020/august/21/20200821-future-mine-hunting-system-comes-to-clyde

ramen för utpekade förbands ordinarie verksamheter. Detta leder inte bara till utvärderingsmöjligheter utan bidrar även till att officerare, befäl och manskap får möjlighet att bekanta sig med obemannade system som pekas ut som en naturlig del av deras framtida stridskoncept.

Exempel på sådana verksamheter är de vinterförsök som gjordes av Royal Navy (både sjöförband och Royal Marines) i Nordnorge i samband med Natoövningen *Cold Response* där RPAS, USV och UUV nyttjades inom ramen för en tänkt operativ kontext.¹⁴⁶ L3Harris opererade en MAST-13 på uppdrag av NavyX där USV:n integrerades med HMS Albion. Royal Navy deltar även i den årliga Natoövningen *Recognized Environmental Picture Maritime Unmanned Systems* (REPMUS) i Portugal där Natoländer genomför experimentering med obemannade flygande, ytgående och undervattensfarkoster. Syftet med REPMUS är att utvärdera tekniska lösningar och utveckla koncept och krav för obemannade system.¹⁴⁷ Experimentering genomfördes även med akustiska undervattenskommunikationssystem under övningen.

6.3.2 Forskning och utveckling

Dstl och QinetiQ är de viktigaste aktörerna i Storbritannien inom forskning och utveckling riktad mot marina autonoma system. QinetiQ har under många år utvecklat obemannade system och är en internationellt erkänd aktör inom RAS (*Robotic and Autonomous Systems*).¹⁴⁸ De utvecklar autonomimjukvara, farkoster och generella användargränssnitt för obemannade system framförallt inom markdomänen men även i luft- och sjödomänerna. De stödjer samtidigt aktivt armén och marinen i genomförandet av större övningar. QinetiQ har under ett uppdrag från Dstl, benämnt *Long Term Partnering Agreement* (LTPA), även arrangerat de två stora övningar som genomförts i Storbritannien där obemannade system utvärderats och demonstrerats. De två övningarna var Royal Navy's *Autonomous Warrior 2016* och Army *Warfighting Experiment AWE18*. QinetiQ har för marina ändamål utvecklat en banddriven robot (C-TALON) som kan operera även under ytan exempelvis i hamnområden för spaning och minjakt. De har även utvecklat en mikro-UUV, benämnd SEAScout, som har en öppen arkitektur och konfigurerbar nyttolast.¹⁴⁹

Dstl arbetar när det gäller utvecklingen av ytgående plattformar framförallt tillsammans med företagen ASV/L3Harris (MAST, Pacific 950 & 24), BAE

¹⁴⁶ www.royalnavy.mod.uk/news-and-latest-activity/news/2020/march/06/200306-unmanned-tests-arctic
www.thebarentsobserver.com/en/security/2020/03/british-navy-tested-unmanned-boat-and-other-autonomy-equipment-northern-norway

¹⁴⁷ www.nato.int/nato_static_fl2014/assets/pdf/pdf_2019_09/20190909_190909-NMUS.pdf

¹⁴⁸ www.qinetiq.com/en-gb/capabilities/robotics-and-autonomy

¹⁴⁹ www.qinetiq.com/en/what-we-do/services-and-products/seascout-unmanned-underwater-vehicle

Systems (Pacific 950 & 24) och Atlas Elektronik UK (ARCIMS). Storbritannien har även ett aktivt samarbete mellan Royal Navy, Dstl, QinetiQ, universitet och industri. Detta stöds bland annat genom medel från forskningsprogrammet Progeny (*Maritime research framework*) där årligen ca 25 miljoner pund allokeras för forskning och utveckling inom området.

6.3.2.1 Maritime Autonomous Platform Exploitation (MAPLE)

Dstl leder tillsammans med QinetiQ utvecklingen av ett generellt ledningssystem (*Command and control, C2*) som ska kunna användas för ledning av olika typer av marina obemannade farkoster.¹⁵⁰ C2-systemet benämns MAPLE (*Maritime Autonomous Platform Exploitation*) och är utvecklad med en öppen arkitektur där avsikten är att göra det möjligt för Royal Navy att snabbt införa nya farkoster och nyttolaster. MAPLE ska möjliggöra en integration av olika typer av obemannade farkoster i stridsledningssystemet (*Combat Management System, CMS*) ombord på operativa fartyg (som fregatt Typ 23).

En viktig aspekt är att C2-systemet behöver vidareutvecklas och anpassas för att stödja nya CONOPS då C2-systemets utformning är nära kopplat till hur effektivt olika CONOPS kan genomföras. Detta medför ett behov av att vid experimentering med olika användningsområden även relativt enkelt kunna modifiera C2-systemet för att stödja och effektivisera utförandet.

Under 2019 användes ledningssystemet MAPLE i REPMUS där en nedskalad version av stridsledningssystemet på en Royal Navy fregatt Typ 23 användes i en landbaserad MOC (*Marine Operations Centre*). MAPLE användes för att leda ett flertal olika obemannade system från olika länder, såsom två USV:er (MAST-9 och Pacific-950) och ett flertal RPAS (AeroVironment Puma, Ogassa och kommersiella system) [39].

6.3.2.2 Maritime Autonomy Surface Testbed (MAST)

Dstl har under flera år utvecklat MAST (*Maritime Autonomy Surface Testbed*) där tekniker för autonoma USV:er utvecklas. MAST används även som en testplattform av Royal Navy för att genom operationell experimentering i syfte att utveckla och utvärdera nya användningskoncept för USV:er.

Den första MAST USV:n baserades på en Bladerunner (figur 6.3) som konverterades till en USV av ASV Ltd (som numera utgör en del av L3Harris). Dstl och ASV utvecklade tidigt funktionalitet för automatisk styrning med inbyggd förmåga att upptäcka och väja för hinder och andra fartyg i enlighet med COLREG. I samband med *Autonomous Warrior 2016* utvecklades MAST-9 som

¹⁵⁰ www.qinetiq.com/en/news/qinetiq-leads-next-phase-of-unmanned-systems-exploitation



Figur 6.3: MAST Bladerunner USV, utvecklad av ASV, vid försök i Tidal Thames 2016 (foto: POA Owen Cooban, MOD, OGL v1.0).

därefter använts vid ett stort antal sjöförsök och insamling av data i syfte att förbättra olika autonoma funktioner. MAST-9 kan ledas teleopererad, via brytpunktsnavigering (med automatisk väjning för hinder även vid höga hastigheter) eller autonomt. Ett flertal uppdrag kan genomföras med minimal operatörsstyrning vilket bland annat demonstrerades vid den australiensiska övningen *Autonomous Warrior 2018*.¹⁵¹ Där demonstrerades även de obemannade systemens förmåga att operera under väderförhållanden där bemannade farkoster (av motsvarande storlek) istället återvände till hamn.

Under 2019 presenterades även en mer robust 13 meter lång USV, benämnd MAST-13. Den använder samma autonomikit, styrsystem (ASView) och C2-system (MAPLE) som utvecklades för MAST-9. Vid den internationella försvars- och säkerhetskonferensen DSEI 2019 (*Defence and Security Equipment International*) demonstrerades MAST-13 tillsammans med en obemannad Pacific 24. USV:erna var vid detta tillfälle fullt integrerade på HMS Argyll (fregatt Typ 23), även med fartygets stridsledningssystem, med C2-systemet MAPLE. Enligt uppgift används i dagsläget två operatörer för att leda en USV, en som styr eller övervakar farkostens förflyttning och en som styr sensorer och den fjärrstyrda vapenstationen. I Storbritannien poängteras ofta att fjärrstyrda vapenstationer kommer vara strikt under mänsklig kontroll (operatör *in-the-loop*).

6.3.2.3 Progeny Maritime Research Framework

Dstl använder Progeny även för att stödja forskning och utvärderingar av nyttan med obemannade system för att stödja genomförandet av ubåtsjaksoperationer. I oktober 2019 genomfördes sjöförsök med USV:er där deras förmåga att utföra autonom ubåtsjakt utvärderades. Olika farkoster utvärderades, bland annat

¹⁵¹ www.asvglobal.com/13-asv-and-dstl-complete-1380-km-of-autonomous-reconnaissance-missions-at-autonomous-warrior/

Seagull.¹⁵² Ett annat forskningsinriktat spår riktat mot ubåtsjakt inom Progeny är ett samarbete mellan iXBlue och SEA. SEA har utvecklat en tunn hydrofonarray (*thin line array*) som nu integreras ombord på iXBlue USV DRiX.¹⁵³

6.4 Israel

Israel har under flera årtionden utvecklat små och medelstora USV:er. De bedöms leda utvecklingen av medelstora USV:er när det gäller utvecklingen av uppdragsanpassade modulära nyttolaster framförallt för ytstrid. Israel har flera konkurrerande industrier som utvecklar USV:er i detta segment:

- Rafael Advaced Defense Systems Protector
- Elbit Systems Seagull
- IAI Katana

Alla tre USV:erna har möjlighet att framföras autonomt med förmåga att upptäcka och väja för hinder och andra fartyg i enlighet med COLREG. Protector USV har använts operativt i över 15 år. Uppdragslaster har utvecklats för patrullering, skydd mot pirater, ytstrid och *force protection* (telekrig).¹⁵⁴

Protector kan utrustas med en stabiliserad vapenstation och Spike ER robotar. Seagull har utrustats med en rad sensorsystem för MCM och ubåtsjakt, bland annat en doppsonar, och möjlighet till bekämpning av undervattensmål med en lätt torped. MCM-förmågan har demonstrerats vid en Natoövning vid *SeaState 5* och 6. Seagull kan även utföra telekrig, *force protection* och hydrografiska uppdrag. Katana drivs av två dieselmotorer och har en topphastighet på 60 knop och en räckvidd på upp till 350 nautiska mil (figur 6.4). Den kan även opereras bemannad. Katana används inte operativt i Israel. Sensorer och autonomi-mjukvara som utvecklats för Katana kan överföras till andra farkoster.

6.5 Ryssland

Ryssland har arbetat intensivt i snart ett årtionde med att modernisera sin militär. Utvecklingen och ett snabbt införande av obemannade och autonoma militära system har utgjort en viktig komponent i denna modernisering [40]. Ryssland investerar i nya teknologier, delvis för att bygga upp en inhemsk tillverkning inom teknikområden där de senaste årens sanktioner förhindrat import. Samtidigt bedriver de en intensiv prov- och försöksverksamhet med obemannade system

¹⁵² elbitsystems.com/pr-new/elbit-systems-uk-demonstrated-usv-capabilities-in-anti-submarine-warfare-trials-of-the-uk-mod/

¹⁵³ www.navalnews.com/event-news/mast-asia-2019/2019/06/mast-asia-ixblue-unveils-seadrix-usv-for-persistent-asw-missions/

¹⁵⁴ www.rafael.co.il/worlds/naval/usvs/



Figur 6.4: IAI Katana USV (foto: γπ"κ ¹⁵⁵, CC BY-SA 4.0).

kombinerat med omfattande utvärderingar av prototypsystem i pågående operationer i Syrien [41].

Tre övergripande trender beskrevs i [41] för den ryska utvecklingen inom området obemannade farkoster för det kommande årtiondet: (i) en ökad användning av obemannade system för att lösa stridsuppgifter som komplement till existerande ISR-förmågor, (ii) en övergång från fjärrstyrda system till farkoster med en ökande grad av AI-driven autonomi (delvis för att öka effekten i snabbt föränderliga stridsmiljöer) och (iii) ökande export av inhemskt utvecklade obemannade farkoster.

Ambitionen från ryska försvarsdepartementet är även att utveckla AI-system som ska styra svärmar av autonoma system i alla domäner.¹⁵⁶ När det gäller bekämpning med obemannade och autonoma farkoster verkar den officiella inställningen i Ryssland fortsatt vara att en operatör ska fatta beslut om eventuell användning av vapenverkan (*human-in-the-loop*) [40].¹⁵⁷

Utvecklingen och införandet av obemannade farkoster är ett prioriterat område för den ryska marinen. Diskussioner pågår huruvida alla fartyg ska utrustas med obemannade flygande, ytgående eller undervattenssystem [40]. Ur ett ryskt perspektiv ses en liknande trend som i USA, det vill säga att större fartyg utrangeras och ersätts av mindre fartyg men i ett större antal. Denna lättare flotta används nu bland annat för att kunna verka som en mer aktiv aktör på regional nivå. Ett exempel är den ökade ryska närvaron i Medelhavet, som kan ses som ett

¹⁵⁵ Via Wikimedia Commons (commons.wikimedia.org/wiki/File:AL13_02_28_8921.jpg).

¹⁵⁶ AI-tekniker utvecklas bland annat av den ryska militära forskningsorganisationen *Advanced Research Foundation* och vid *ERA technopark* [SB2].

¹⁵⁷ "In particular, their most important deliverables include *recognition by the States that the existing provisions of international humanitarian law are applicable to LAWS and human control over them should be continued*" (www.admin.govexec.com/media/russia.pdf).

resultat av att Natoländernas flottor har minskat i storlek men också för att fokus för dem har skiftat till Persiska viken. Det tomrum som därmed har skapats i Medelhavet fylls nu successivt ut av ryska marina enheter [42]. Detta är en relevant synpunkt sett till den allmänna trenden att flottorna blir mindre samtidigt som vikten att ”visa flagg” fortsätter att vara lika högaktuell idag som förr. Här kan eventuellt obemannade system komma att spela en viktig roll, exempelvis för svenskt vidkommande i Östersjön.

6.5.1 UAV

Ryska UAV:er för marint bruk beskrivs endast i begränsad omfattning i [6] och en översikt av utvecklingen ges därför här. Ryssland använder operativt primärt mindre fjärrstyrda RPAS [6]. Ryssland har mer än 2100 RPAS varav knappt hälften utgörs av *Orlan-10* [41,6]. En inhemsk utveckling av större UAV:er pågår med exempel som S-70 Okhotnik-B (*Unmanned Combat Aerial Vehicle, UCAV*), Orion (*Medium-Altitude Long-Range, MALE*) och Altius. Altius kan beskrivas som en rysk motsvarighet till de amerikanska Global Hawk och Triton. Ryssland ligger dock efter teknikmässigt i utvecklingen av framförallt stora långgräckviddiga UAV:er i jämförelse med USA och Kina men de arbetar intensivt med att bygga upp erforderlig kunskap. Ambitionen synes vara att utrusta alla större UAV:er med möjlighet till direkt bekämpning. Orion har genomfört spanings- och övervakningsuppdrag i Syrien [41] och obekräftade källor anger även att den där har genomfört bekämpningsuppdrag.¹⁵⁸

6.5.1.1 Operativa UAV-system

Den ryska marinen använder UAV:er operativt, främst i form av *Orlan-10* men även *Forpost* används. *Orlan-10* används ofta i en grupp av två eller tre UAV:er.¹⁵⁹ En UAV genomför spaning, övervakning och målinmätning med sina EO/IR-sensorer medan en andra bär på telekrigsutrustning och flyger bakom den första på högre höjd. Den tredje UAV:n flyger på en höjd av fyra till fem kilometer och används som kommunikationsrelä för att skicka sensordata i realtid till fartyget. *Orion-10* har exempelvis opererats ombord på korvetter av Karakurtklass (projekt 22800). De skjuts då iväg med katapult och landar i havet och blir upplockade med kran.

Ryska marinen har nyligen vid en övning i svarta havet övat att låta *Forpost* detektera sjömål och skicka målinformationen till marint bomb- och stridsflyg (Su-24M och Su-30SM) som genomför bekämpning [43]. Eventuellt kan även

¹⁵⁸ tass.com/defense/1086508

¹⁵⁹ www.navyrecognition.com/index.php/news/defence-news/2018/august-2018-navy-naval-defense-news/6387-russian-navy-karakurt-class-corvettes-fitted-with-orlan-10-uavs.html

Orlan-10 genomföra motsvarande överföring av målkoordinater.¹⁶⁰ Tidigare rapporteras även en ubåt ha genomfört bekämpning av sjömål med Kalibrrobotar baserat på målinformation från en Forpost UAV. Vid övningar som genomfördes nära Kaliningrad i maj av den ryska baltiska flottan användes även en Forpost för att ange målkoordinater och inrikta artillerielden från en rysk korvett. Forpost väger ca 450 kg och har en uthållighet på närmare 17 timmar.¹⁶¹

Denna utveckling går i linje med vad som beskrivs som the ”*reconnaissance fire and strike systems*” [44,40]. Verkanssdelen i *reconnaissance fire system* utgörs främst av arméns bataljons- och brigadartilleri, där underrättelseinformation och målinmätning från UAV:er som Orlan-10 samverkar för att skapa möjligheter till bekämpning i nära realtid. *Reconnaissance strike system* skapas istället genom en kombination av långräckviddig precisionsbekämpning och målinmätning på djupet med UAV:er som i realtid överförs till ledningssystemet [40]. Bekämpningen utförs exempelvis med långräckviddiga kryssningsrobotar eller från strids- eller bombflyg. Genom att integrera kommunikationssystemen för UAV och bekämpningsenheten, samt automatisera målinmätningen, kan en snabb bekämpningskedja åstadkommas. Det är dock oklart utifrån öppna källor hur integrerade och automatiserade ovanstående system ännu är. Erfarenheterna från Syrien sägs även ha lett till slutsatsen att beväpnade UAV:er är önskvärda [40]. Huvudsyftet med en sådan utveckling tenderar ofta att vara en önskan att snabba upp kedjan *sensor-to-shooter*, vilket eventuellt skulle kunna indikera en bristande automation och integration i ledningssystem.

6.5.1.2 Utvecklingsspår

Den senaste versionen, Forpost-R, är utvecklad endast med inhemska delar, bland annat den 32 kg tunga gyrostabiliserade GOES-4 (med EO/IR-sensorer och laseravståndsmätare/designator) från NPP A&ME och radar.¹⁶² Planen är att införa Forpost-R redan under 2020. En moderniserad version av Orlan är även under utprovning. Den anges ha bättre EO/IR-sensorer och kunna ge noggrannare målinmätning, och även ge möjlighet att belysa mål med laser. Orlan-30 anges vara 30 kg tung och ha en uthållighet på över fem timmar.¹⁶³ Den ryska marinen kan komma att utrustas med en version av Altius UAV. Altius har en vingbredd på 28,5 m och väger upp till sju ton. Den anges få en uthållighet på

¹⁶⁰ eng.mil.ru/en/news_page/country/more.htm?id=12322454@egNews

¹⁶¹ www.navyrecognition.com/index.php/news/defence-news/2018/august-2018-navy-naval-defense-news/6439-russian-navy-to-use-uav-for-cruise-and-anti-ship-missile-targeting.html

¹⁶² mil.today/2019/Science42/

¹⁶³ armyrecognition.com/weapons_defence_industry_military_technology_uk/russian_army_to_get_orlan-30_drone_in_2020.html



Figur 6.5: Ryska UAV:er. Orlan-10 (ö.v., foto: Mike1979¹⁶⁴, CC BY-SA 3.0), Forpost (ö.h., foto: Vitaly V. Kuzmin¹⁶⁵, CC BY-SA 4.0), Orion (n.v., foto: Nickel nitride¹⁶⁶, public domain) och Altius (n.h., foto: mil.ru, CC BY 4.0).

två dygn och är avsedd att operera på 12 000 meters höjd. Altius anges kunna ta nyttolaster på närmare två ton och kan komma att förses med exempelvis styrda vapen och Kh-35 sjömålsrobotar.¹⁶⁷ Dess huvudsakliga användningsområde bedöms dock vara spaning och övervakning samt målinmätning för extern bekämpning. Exempel på ryska UAV:er ges i figur 6.5.

Rysk industri utvecklar även helikopterliknande UAV:er för möjlig framtida basering på fartyg.^{168,169} Horizon Air S-100 är en rysk version av Schiebel's Camcopter S-100 medan Radar MMS BPV-500 är en större variant som mer liknar MQ-8B Fire Scout.¹⁷⁰

¹⁶⁴ Via Wikimedia Commons (commons.wikimedia.org/wiki/File:UAV_Orlan-10.JPG).

¹⁶⁵ Via Wikimedia Commons (commons.wikimedia.org/wiki/File:Forpost_UAV_InnovationDay2013part2-02.jpg).

¹⁶⁶ Via Wikimedia Commons (commons.wikimedia.org/wiki/File:Army-2020-209.JPG).

¹⁶⁷ airrecognition.com/index.php/archive-world-worldwide-news-air-force-aviation-aerospace-air-military-defence-industry/global-defense-security-news/2019-news-aerospace-industry-air-force/september/5395-russian-navy-to-get-altius-uav.html

¹⁶⁸ www.uasvision.com/2019/07/15/russian-naval-aviation-armed-with-drones/

¹⁶⁹ www.indrastra.com/2018/07/Katran-UAV-Russia-004-07-2018-0025.html

¹⁷⁰ armadainternational.com/2019/03/russias-rapid-uav-expansion/



Figur 6.6: Det ryska minröjningsfartyget Ivan Antonov vid övning i Medelhavet (foto: mil.ru, CC BY-SA 4.0).

BPV-500 väger 500 kg, har en uthållighet på 5,5 till 8 timmar och kan bära nyttolast på 150-180 kg.¹⁷¹ Den utvärderas för placering på ryska marinen projekt 22160 korvetter.¹⁷² Den är utrustad med EO/IR-sensorer och syntetisk aperturradar (SAR).

6.5.2 MCM

Ryssland planerar att förstärka sin minröjningsförmåga avsevärt under de närmaste 15 åren.¹⁷³ Den ryska marinen avser inskaffa 10 moderna minröjningsfartyg av Alexandritklassen (projekt 12700) till år 2027 och ytterligare 20 fram till 2035 (figur 6.6). De har moderna skrovmonterade sonarer och obemannade USV:er, ROV:ar och AUV:er integreras på fartygen.

Två Inspector Mk-2 USV [9] har tidigare baserats ombord på minröjningsfartyg av Alexandritklassen, tillsammans med SeaScan ROV för identifiering av sjöminor.¹⁷⁴ Syftet bedöms ha varit experimentering och utveckling av TTP.¹⁷⁵

¹⁷¹ defence-blog.com/news/russian-defence-company-unveils-new-version-of-bpv-500-unmanned-helicopter.html

¹⁷² www.uasvision.com/2018/05/16/russian-corvettes-to-be-fitted-with-bpv-500-vtol-uavs/

¹⁷³ www.navyrecognition.com/index.php/news/defence-news/2018/january-2018-navy-naval-defense-news/5884-russian-navy-to-boost-its-mcm-capabilities.html

¹⁷⁴ Totalt har tre franska Inspector Mk-2 USV levererats till den ryska marinen.

¹⁷⁵ www.ecagroup.com/en/business/eca-delivers-its-second-inspection-system-russian-shipyard-snsz-and-finalizes-integration

Avsikten bedöms vara att minröjningsfartygen i förlängningen uteslutande kommer att utrustas med inhemskt utvecklade obemannade system.¹⁷⁶

Minröjningsfartyget Ivan Antonov (Alexandritklass) har utrustats med Diamand-systemet och materielförsök pågår. Diamand-systemet består av en Inspector Mk2 USV samt AUV/ROV. Även en ISPUM (*Integrated System for Search and Destruction of Mines*) ROV har nyligen integrerats på Ivan Antonov.¹⁷⁷ Den är anpassad för modulära nyttolaster och är normalt utrustad med multifrekvens-sonar för 3D-kartering.¹⁷⁸ Den anges operera på djup ned till 300 meter och på avstånd av 500 meter från moderfartyget, i hastigheter strax över 10 knop. Även utvecklingen av Galtelsystemet (som består av två AUV:er och en ROV) visar på intresse i den riktningen, särskilt sett till att det enligt uppgift har nyttjats i Syrien, troligen för bottenkartering och minjakt [40].

Även inhemskt utvecklade USV:er integreras på dessa fartyg.¹⁷⁹ Dessa utgörs än så länge troligen av prototyper som är avsedda för experimentering. USV:erna baseras på existerande RIB-båtar (BL-680).

En fregatt av klassen Admiral Gorshkov (projekt 22350) har även använts som plattform för experimentering med obemannade MCM-farkoster. En Inspector Mk-2 och UUV:er har integrerats på fregatten. Orlan-10 UAV integreras även på fregatten för experimentering.

6.5.3 USV

Enligt [40] pekar inriktningen av den ryska marinens forskning- och utvecklingsinsatser på att spaning, övervakning och målinmätning, samt skapandet av en lägesbild, utgör de viktigaste användningsområdena för obemannade farkoster. Ryssland eftersträvar att införa en uppsättning av obemannade yt- och undervattensfarkoster för att öka den långsträcktspanings- och övervakningsförmågan. Även förmåga till ubåtsjakt, MCM och ytstrid eftersträvas [40]. Utvecklingen av USV:er har inom den ryska marinen dock inte nått lika långt som utvecklingen, och den operativa användningen, av UAV:er och AUV:er. Informationen som kan hittas i öppna källor är begränsad.

¹⁷⁶ Exportversionen angavs kunna upphandlas med en Inspector Mk-2 USV, två K-Steer I UUV, tio K-Steer C ROV för neutralisering av sjöminor och ytterligare två UUV:er från ECA Group. Det är dock oklart om dessa obemannade system fortfarande ingår.

¹⁷⁷ www.navyrecognition.com/index.php/news/defence-news/2020/may-2020/8442-russian-navy-tested-new-unmanned-underwater-vehicles-uuv-diamant-and-alexandrite-ispum.html

¹⁷⁸ www.janes.com/defence-news/news-detail/gnpp-region-unveils-ispum-e-unmanned-mcm-system

¹⁷⁹ www.navyrecognition.com/index.php/news/defence-news/2017/april-2017-navy-naval-forces-defense-industry-technology-maritime-security-global-news/5139-project-12700-mcm-vessels-to-be-equipped-with-russian-made-unmanned-surface-vehicles.html

6.5.3.1 Stora USV:er

En stor USV, Pioneer-M, är under utveckling. Den är troligen avsedd i första hand som en civil forskningsplattform och planen är att den ska testas i Svarta havet och Azovska sjön under 2021. Tidig och något osäker information angav att fartyget skulle bli knappt 26 meter lång och 9 meter bred, med ett deplacement på 82 ton och en hastighet på 10 knop.¹⁸⁰ Senare uppgifter anger att den istället kommer att utvecklas utifrån det existerande skrovet från en Griffin katamaran.¹⁸¹ Det är dock fortfarande oklart om och i så fall hur den ryska marinen kan komma att använda den här typen av större USV:er.

Ett innovativt designkoncept för en stor USV med lång uthållighet presenterades 2017 av ett forskningscenter (*Minoborony*) som lyder under ryska försvarsdepartementet. Farkosten är benämnd Ten (skuggan) och föreslås få ett utseende som liknar en trimaran med en förhållandevis tunn, välvd överbyggnad. Ten är utformad för att erhålla goda smygegenskaper (med liten radarmålbarea) och den ska kunna förflytta sig både över och under ytan. Den anges få ett deplacement på ca 140 ton och ha en uthållighet på 90 dagar och en räckvidd på 13 000 nautiska mil.¹⁸² Det uttalade användningsområdet är övervakning av avlägsna marina områden samt havsmätningar. Det är dock oklart om denna farkost verkligen har realiserats.

6.5.3.2 Små USV:er

Ett flertal mindre USV:er har utvecklats av rysk industri eller olika forskningsorganisationer, bland annat CyberBoat-330 och MAKO Penguin. CyberBoat-330 är ett samarbetsprojekt med Iran för att utveckla en USV avsedd för exempelvis patrullering grunda vatten såsom i Kaspiska havet.¹⁸³ CyberBoat-330 har ett djupgående på tre decimeter. I versionen med tvåtaktsmotor anges den maximala hastigheten uppgå till 60 knop. Penguin är en liten kombinerad USV och AUV som anges användas av bland annat ryska säkerhetstjänsten FSB (*Federalnaja sluzhba bezopasnosti Rossijskoj Federatsii*) för skydd av kritisk infrastruktur (såsom bron till Krimhalvön).¹⁸⁴

¹⁸⁰ tass.com/defense/1084988

¹⁸¹ mil.today/2020/Industry8/

¹⁸² www.navyrecognition.com/index.php/news/defence-news/2017/september-2017-navy-naval-forces-defense-industry-technology-maritime-security-global-news/5539-russian-mod-developing-the-ten-blue-water-usv-uuv.html

¹⁸³ todaynewspost.com/news/science-news/cyberboat-330-is-a-russia-iran-collaboration-for-shallow-seas/

¹⁸⁴ worlddefencenews.blogspot.com/2016/12/mako-penguin-uuv-usv-system-in-trials.html

6.5.4 UUV

En översikt av utvecklingen i Ryssland inom området obemannade undervattensfarkoster ges i [19]. Det pågår en utveckling av stora AUV:er avsedda för långräckviddig informationsinhämtning, spaning och övervakning. De ska även kunna användas för stridsuppgifter [40]. Exempel på sådana system är exempelvis Klavesin 2R-PM vilken även uppges vara baserad ombord på GUGI:s specialubåt Belgorod. Enligt uppgift visar bilder att Klavesin 2R-PM transporteras i en däckrecess som tidigare användes för att stuva en radioboj.¹⁸⁵

En annan stor rysk undervattensfarkost är den 17 meter långa målfarkost-prototypen Surrogat från företaget Rubin.¹⁸⁶ Den uppges kunna ha en hög uthållighet (mer än 12 timmar), hålla hög fart (24 knop) och kunna dyka till 600 meter. Troligen går Surrogat även att använda för ISR eller för vilseledning [11].

Rubin har med stöd från Rysslands *Advanced Research Foundation* utvecklat Vityaz-D som är en 5,7 meter lång AUV med en diameter på 1,3 meter och väger 5,7 ton. Den blev i år den första AUV som dykt ned till botten på Marianer-graven. Enligt uppgift planerar ryska marinen att ersätta nuvarande djupgående UUV:er med Vityaz-D.¹⁸⁷

En rysk utvecklingssatsning som har gjort stora avtryck i media är POSEIDON som är en stor AUV med förmågan att bära och leverera kärnvapen. AUV:n ska kunna bäras av specialubåtar typ Khabarovsk (projekt 09851) och sedan avlossas och självständigt ta sig till sitt mål. Vid ankomst detoneras kärnvapenladdningen vilket ska framkalla en större tsunami vilken då, förutom det radioaktiva utsläppet, även åsamkar stora skador på motståndarens kustlinje. Troligen riktas dessa insatser då främst mot motståndarens större hamnar och marinbaser eller hangarfartygsgrupper.¹⁸⁸ Enligt uppgift ska materielförsök med POSEIDON ombord på ubåten Belgorod (vilken även är bärare av Klavesin 2R-PM) genomföras under senare delen av 2020.¹⁸⁹ POSEIDON visar att även Ryssland utvecklar stora AUV:er i likhet med många andra länder med högsjökust.

Uppgifter om pågående utveckling pekar ut vissa huvudinriktningar för ryskt vidkommande, såsom den tydliga trenden rörande stora AUV:er för exempelvis långräckviddig informationsinhämtning men att även obemannad MCM utvecklas.

¹⁸⁵ www.hisutton.com/Harpsichord_AUV.html

¹⁸⁶ www.navyrecognition.com/index.php/news/defence-news/2016/december-2016-navy-naval-forces-defense-industry-technology-maritime-security-global-news/4672-russia-s-rubin-central-design-bureau-developing-surrogate-training-target-uuv-for-navy.html

¹⁸⁷ www.naval-technology.com/projects/vityaz-d/
ckb-rubin.ru/en/projects/robotics/vityaz_d/

¹⁸⁸ www.bairdmaritime.com/work-boat-world/maritime-security-world/unmanned-systems/column-unmanned-naval-systems-poised-for-operational-service-naval-gazing/

¹⁸⁹ esut.de/2020/08/meldungen/22465/russische-marine-supertorpedo-poseidon-und-u-boot-chabarowsk/

Detta går också i linje med flera andra länders strävan, kanske framför allt för att minröjningsförmågan är låg sett till antalet tillgängliga bemannade enheter och att MCM är en bitvis långsam process för att få hög säkerhet i röjningsarbetet. Exempel på utvecklingen av obemannad MCM-förmåga är de materielförsök med Diamandsystemet på minröjningsfartyg av Alexandritklass.

Till detta tillkommer även AUV:er ämnade för ubåtsjakt (i en vidare bemärkelse även inkluderande counter-UUV), exempelvis Cephalopod.¹⁹⁰ Enligt uppgift ska denna AUV kunna bestyckas med lätt ubåtsjakttorped och sett till i rysk media presenterad grafik uppfattas farkosten vara runt 10 meter lång och ha en sonardom i nosen. Konkreta data för farkosten är oklara men sett till storlek och nyttolast kommer uthålligheten troligen vara begränsad men bedöms fortfarande möjliggöra uppträdande kustnära och i anslutning till hamnar och i kanaliserande terräng. Sammantaget går den ryska UUV-utvecklingen i fyra här berörda linjer:

- stora AUV:er för framskjuten, uthållig spaning, underrättelseinhämtning samt målgång/vilseledning (Klavesin 2R-PM & Surrogat),
- stora AUV:er för operationer på stora djup (Vityaz-D & Klavesin 1R & 2R-PM),
- lätta och tunga AUV:er i samverkan med andra typer av farkoster för att bedriva obemannad MCM (Diamand & Galtel),
- tunga och stora AUV:er som vapenbärare (Cephalopod) eller utgöra huvudsakligt vapen (POSEIDON).

6.6 Kina

Den kinesiska marinen PLAN (*Peoples Liberation Army Navy*) har, liksom flygvapnet och armén, genomgått en omfattande modernisering de senaste 25 åren. Moderniseringen har genomförts dels genom att äldre fartyg ersätts med större, moderna och mer potenta fartyg och dels genom att antalet fartyg ökar [45]. I slutet av 2020 bedöms kinesiska marinen ha tillgång till ca 360 ytfartyg medan US Navy har knappt 300 ytfartyg [18].

6.6.1 Utvecklingen av PLAN

PLAN har gradvis omformats från en kustnära till en oceangående flotta där även avreglingsförmågan (A2/AD) utgör en central komponent [45]. Den kinesiska kustbevakningen har även ökat avsevärt i styrka [18] och den kan antas ha övertagit delar av de uppgifter som tidigare föll på PLAN. Avreglingsförmågan inom PLAN baseras främst på långräckviddig bekämpningsförmåga, baserat på fartygsbaserade sjömålsrobotar kompletterat med landbaserade mobila ballistiska robotar (*Anti-Ship Ballistic Missile, ASBM*) som kan träffa fartyg till havs,

¹⁹⁰ www.hisutton.com/Cephalopod.html

kombinerat med ubåtsvapnet. Kinesiska ASBM anges ha en räckvidd på över 1500 km [18]. Även de moderna ytfartygen som jagare av klassen Typ 055 kan ge ett stort bidrag till den långräckviddiga bekämpningsförmågan då de utrustas med 112 celler för vertikalavfyrate robotar [45]. Den kinesiska avreglingsförmågan bedöms utgöra ett allvarligt hot mot US Navy förmåga att operera i Stilla havsområdet.

I [18] beskrivs några potentiella svagheter hos den kinesiska marinen, bland annat gäller det bristande förmåga att genomföra försvarsmaktsgemensamma operationer samt otillräcklig ubåtsjaksförmåga (se även [45]) och långräckviddig målnmätning. Utvecklingen av UAV:er kan utgöra en väg för att förbättra den sistnämnda förmågan.

Kina uppvisar även en stark ambition att exportera obemannade system, även beväpnade sådana. Exporten bedöms till del användas som ett medel för att nå politiskt inflytande [46,6]. Detta exemplifieras även av det omfattande antalet företag med USV:er som förevisas på försvarsmässor såsom AMDEX 2019.¹⁹¹

Information om kinesiska förehavanden i öppna källor är begränsad. Den bild som växer fram vid den genomförda litteratursökningen ger dock vid handen att Kina, liksom flertalet andra större industri- och handelsländer, bedöms se potentialen i obemannade och autonoma system och lägger stor kraft på att ta fram relevanta prototyper för att bygga kunskap och metod kring nyttjandet av sådana system. Ett stort antal aktörer genomför forskning och utveckling inom området, spritt över universitet, forskningsinstitut och industri [47]. Redan 2015 identifierades över 15 forskningsgrupper som startats upp och den statliga finansieringen inom området eskalerade snabbt [46]. Obemannade system bedömdes vara ett viktigt teknikområde i Kina och utvecklingen av framförallt UAV:er har varit intensiv, medan utvecklingen av UUV:er och USV:er gradvis har ökat [46]. Även om forskningen av UUV:er var avsevärt mer aktiv i jämförelse med USV:er fram till 2015 så har forskningsinsatserna riktade mot USV:er ökat de senaste åren. Världens största testområde, *Wanshan Unmanned Vessel Marine Test Site*, invigdes nyligen för prov och försök med autonoma ytfarkoster samt utveckling av standarder och certifiering [48].¹⁹² Fullt utbyggd kommer den omfatta ett område på över 770 kvadratkilometer. Även tekniker för svärmar av USV:er utvärderas där.

Kina satsar betydande forsknings- och utvecklingsresurser inom AI. Ambitionen är att bli världsledande inom området och de ser AI som en nyckelteknik i många framtida kommersiella, säkerhetsmässiga och militära system. Kinas militär ser

¹⁹¹ Se sid. 10-14 i Shephard medias redovisning från AMDEX ASIA 2019 (mags.shephardmedia.com/Show%20Daily/IMDEX_Asia_Day_Two/IMDEX%20Asia%202019%20Daily%20Two.pdf)

¹⁹² www.oceanalpha.com/news_list/the-worlds-largest-asias-first-unmanned-marine-test-site-officially-opened/

konceptet *intelligentized warfare* som nästa steg i Kinas informationsrevolution, där de två första stegen utgörs av *digitalization* och *networkization*. AI utgör en viktig komponent i detta koncept [49].

6.6.2 USV

Ett förhållandevis stort antal industrier i Kina utvecklar USV:er och ett flertal universitet bedriver forskning på autonoma ytfarkoster. Kina satsar betydande forsknings- och utvecklingsresurser inom utvecklingen av autonoma funktioner för obemannade farkoster och de har ett stort kunnande inom området. Autonom navigering med möjlighet att detektera och väja för hinder och andra fartyg bedöms vara utvecklad.

6.6.2.1 Stora tungt bestyckade USV:er

D3000 är ett designförslag på en nästan 30 meter lång USV med trimaranskrov. Den är avsedd att ha en uthållighet på tre månader och en högsta hastighet på 40 knop. Den ska kunna ta 10 ton nyttolast och är modulärt utformad för att ge möjlighet att byta sensorer, beväpning osv. Den anges vara designad för ubåtsjaks- och ytstridsoperationer även vid mycket dåliga väderförhållanden (*SeaState 7*) [50]. De skalmodeller som förevisats inkluderade möjlighet till beväpning i form av automatkanon, sjömålsrobot och tuber för torpeder, UUV:er eller minor.¹⁹³ Designen är även avsedd att ge USV:n goda smygegenskaper, vilket även ett flertal andra kinesiska USV:er har som mål.

Ett annat exempel på en stor kinesisk USV har observerats på Yangtze-floden och arbetet med denna USV har pågått åtminstone sedan sommaren 2019. Det är en USV som i stora delar verkar vara en kopia av den amerikanska trimaranen *Sea Hunter*.¹⁹⁴ Den kinesiska benämningen på farkosten är fortfarande okänd och likaså det tänkta syftet.

Ytterligare ett exempel på en intressant USV:er som är under utveckling i Kina är JARI. JARI har ett katamaranskrov och med tanke på dess begränsade storlek (ca 15 meter) och displacement (20 ton) kan den utrustas med förhållandevis tung beväpning i form av exempelvis 30 mm automatkanon, laserstyrda ytmålsrobotar, lätta luftvärnsrobotar och lätta ubåtsjakttorpeder. Även svärmar av samverkande JARI USV:er diskuteras.¹⁹⁵

¹⁹³ www.popsci.com/robotic-warship-arms-china-d3000/

¹⁹⁴ www.navalnews.com/naval-news/2020/09/new-intelligence-chinese-copy-of-us-navys-sea-hunter-usv/

¹⁹⁵ www.maritime-executive.com/article/china-s-unmanned-mini-destroyer-out-on-sea-trials

6.6.2.2 Små och medelstora USV:er

En kinesisk organisation som utvecklar och marknadsför små och medelstora USV:er är Yunzhou Intelligence Technology (även benämnt OceanAlpha).¹⁹⁶ L30 är en 7,5 meter lång USV med en hastighet på 46 knop och uthållighet på upp till 300 nautiska mil. Den är främst avsedd för patrullering och antiterrorist-uppdrag. L80 är drygt 12 meter lång och 3,8 meter bred och har en maximal hastighet på 38 knop. L80 är utrustad med framdrivning i form av dubbla vattenjet och den har ett djupgående på 45 cm och är i första hand avsedd för kustnära operationer eller i sjöar och floder. Både L30 och L80 är utrustade med stabiliserade vapenstationer exempelvis för 12,7 mm tung kulspruta. OceanAlpha utvecklar även ett stort antal USV:er för civila ändamål (marin forskning) men de deltar även i utvecklingen av svärmfunktionalitet.

Marine Lizard är en fjärrstyrd, amfibisk USV med trimaranskrov som är 12 meter lång och 4,1 meter bred.¹⁹⁷ Den har ett displacement på 14,7 ton och är utrustad med två vattenjet och kan nå en hastighet på 50 knop. Det unika med Marine Lizard är att den kan sänka ned fyra bandenheter vilket ger den viss möjlighet att förflytta sig även på land i hastigheter upp till 20 km/h. Den anges kunna utrustas med dubbla kulsprutor och vertikalavfyra lätta sjömåls- och luftvärnsrobotar.

USV:n Tianxing-1 presenterades 2017. Den är 12,2 meter lång, med ett displacement på 7,5 ton och en maximal hastighet på över 50 knop.¹⁹⁸ Den är utvecklad som en multirollsplattform med ett modulärt angreppssätt och *plug-and-play* design [47]. Liknande snabba USV:er kan utgöra ett alternativ för framtida beväpnade svärmar av USV:er. Andra exempel på inhemskt utvecklade USV:er (prototyper eller produkter) som provats i Kina är SeaFly [50,9], Nezha-1, Huster-68, ME40 och M75A.¹⁹⁹

6.6.2.3 Svärmar

Kina ligger långt fram i utvecklingen av svärmar av USV:er. De har genomfört flera större demonstrationer, exempelvis i maj 2018 där 56 USV:er genomförde

¹⁹⁶ www.navalnews.com/event-news/imdex-asia-2019/2019/05/imdex-2019-introducing-yunzhou-unmanned-solutions/

¹⁹⁷ eurasianimes.com/china-claims-to-build-worlds-first-armed-amphibious-drone-boat-to-lead-land-attack/

¹⁹⁸ www.defenseworld.net/news/21536/China_Unveils_New_Unmanned_Surface_Vehicle_Tianxing_1#.X9ytlthKg2w

¹⁹⁹ mags.shephardmedia.com/Show%20Daily/IMDEX_Asia_Day_Two/IMDEX%20Asia%202019%20Day%20Two.pdf

koordinerade manövrer.²⁰⁰ De enskilda USV:erna är utrustade med autonomi och kan upptäcka och väja för hinder och andra farkoster. De genomförde manövrer där de skapade olika former och mönster, utan att krocka med varandra. I slutet av demonstrationen formar de ett hangarfartyg där en större USV passerar i mitten och symboliserar ett flygplan som startar. Det företag som genomförde demonstrationen var troligen OceanAlpha (Yunzhou Technology) med sin 1,6 meter långa ME40 USV. Hur dessa svärmar ska användas operativt är dock oklart, mer än att attackuppdrag oftast diskuteras. Det är även osäkert hur mycket forskning som fortsatt krävs när det gäller autonomi, användargränssnitt och utveckling av innovativa koncept för hur svärmarna ska samverka med bemannade system för att de ska kunna lösa utpekade uppgifter effektivt.

6.6.2.4 Diskussion

Det är svårt att få en överblick över hur PLAN planerar att använda USV:er i den framtida striden. Som de flesta stora sjöfartsnationerna genomför de experimentering, antagligen med syfte att utveckla operativt effektiva koncept och TTP:er. Obemannade system verkar dock även vara ett alternativ för den kinesiska kustbevakningen och den marina milisen [18].

Följande trender kan dock urskönjas i utvecklingen av USV:er i Kina: (i) utveckling av ett stort antal prototypfarkoster för experimentering, (ii) multirollfartyg med möjlighet till bekämpning av yt-, undervattens- och luftmål, (iii) utveckling av svärmar av USV:er och (iv) en tydlig ambition att exportera obemannade system. Två klasser av farkoster dominerar, snabba USV:er avsedda för exempelvis patrullering eller som en del av attackerande svärmar och större, tungt beväpnade USV:er.

Det är svårt att från den genomförda litteraturstudien ge en djupare bedömning av mognadsgraden för USV:er i Kina. I [47] beskrivs dock att utvecklingen inom autonom navigering och genomförandet av enkla uppdrag autonomt är på nästan samma nivå som i västvärlden. Genomförda försök har dock genomförts i lugna vatten och en brist i utvecklingen i Kina är att det saknas utvärdering och verifiering av teknikerna under svårare väderförhållanden och i komplexa scenarion och miljöer. Dessa slutsatser bedöms vara rimliga då de i stort överensstämmer med beskrivningar av försök och demonstrationer som återfunnits i öppna källor. Vidare anges i [47] att autonom feldetektering och felhantering behöver vidareutvecklas, samt cybersäkerhetsaspekter.

6.6.3 UUV

Kina bedöms ha en relativt omfattande utveckling av obemannade undervattensfarkoster [50]. I [46, 50] beskrivs ett antal prototyper av UUV:er

²⁰⁰ www.thedefensepost.com/2018/06/02/china-56-boat-drone-swarm-hong-kong/

som utvecklats, från *sea gliders* till tunga AUV-system. Även bioinspirerade AUV:er har utvecklats.

Den första oktober 2019 visade den kinesiska marinen upp en ny UUV benämnd HSU-001 vid en parad för den kinesiska statens 70-årsjubileum. Denna 15 meter långa UUV bedöms främst vara riktad mot ISR och då Kinas förmåga att kommunicera med undervattensfarkoster är så pass utvecklad som den är utgör HSU-001 en förmågeökning rörande såväl ISR som ubåtsjakt.²⁰¹ Den förses eventuellt även med förmåga att bära mindre AUV:er.²⁰² Det är dock oklart hur välfungerande HSU-001 är och lite är känt om dess tänkta syfte och förmågor [51].

Kina ska även ha nyttjat upp till 12 stycken UUV typ Haiyi i Indiska oceanen under perioden december 2019 till februari 2020. Enligt uppgift har Haiyi troligen nyttjats för att samla in hydrografiska data. Haiyi är till det yttre lik de Slocum G3 Glider som US Navy använder.²⁰³

Huvudsakliga inriktningar för utvecklingen av UUV:er i Kina bedöms vara att skapa förutsättningar för uthållig framskjuten spaning med AUV:er samt att nyttja USV:er som styrkemultiplikatorer med möjlighet att fungera som verkansplattformar. I nuläget uppfattas ett potentiellt nyttjande vara kustnära men sett till den stegvisa storleksökningen på de plattformar som är kända kan det tänkas att det finns högre ambitioner än så.

²⁰¹ thediplomat.com/2019/11/china-enters-the-uuv-fray/

²⁰² www.bairdmaritime.com/work-boat-world/maritime-security-world/unmanned-systems/column-unmanned-naval-systems-poised-for-operational-service-naval-gazing/

²⁰³ iimsr.eu/2020/06/12/the-use-of-unmanned-underwater-vehicles-by-the-chinese-navy/
www.forbes.com/sites/hisutton/2020/03/22/china-deployed-underwater-drones-in-indian-ocean/?sh=3f9e4b7a6693

7 Kritiska deltekniker - nuläge och kvarvarande utmaningar

Obemannade yt- och undervattensfarkoster har gemensamma delområden som behöver lösas för att plattformarna ska kunna utgöra alternativ till bemannade farkoster. Det gäller främst navigering, kommunikation, sensorer anpassade för mindre obemannade plattformar, högre autonominivåer och styrning och ledning av plattformarna. De tekniska möjligheterna att realisera framförallt tillförlitliga navigations- och kommunikationssystem skiljer sig dock radikalt. För UUV:er utgör även energiförsörjningen en begränsande faktor då främst uthålligheten, och till viss del hastigheten, är kraftigt begränsad. Omvälvande tekniska genombrott inom detta område kan möjliggöra att nya förmågor kan realiseras.

Utvecklingen inom obemannade flygande plattformar beskrivs inte i denna rapport utan läsaren hänvisas till tidigare rapport [6].

7.1 Generiska teknikdelområden för obemannade system

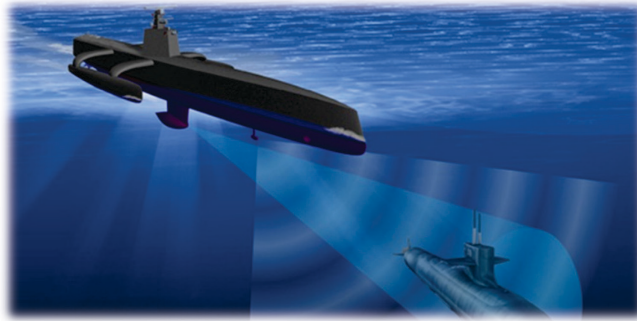
Prestanda för en obemannad farkost avgörs huvudsakligen av hur nedanstående delområden har realiserats:

- Plattform
- Energiförsörjning
- Sensorer och effektorer (främst beväpning)
- Kommunikation
- Navigation
- Styrning och ledning
- Automatisering

Utvecklingen inom de för USV och UUV gränssättande teknikområdena diskuteras närmare nedan.

7.2 USV

Bristen på robusta kommunikations- och navigationssystem som kan fungera även i kraftigt telestörda miljöer utgör en allvarlig begränsning vid införandet av obemannade system vid framförallt en kustförsvarsoperation mot en kvalificerad motståndare. En ökad grad av autonomi kan till del kompensera för bristerna i kommunikationssystemen, men det förutsätter att plattformen noggrant och tillförlitligt kan estimerar sin position, hastighet och orientering.



Figur 7.1: Illustration av en Sea Hunter som följer en ubåt (källa: DARPA, public domain).

7.2.1 Plattformsutvecklingen

Fram till för tio år sedan dominerades marknaden av mindre USV:er, ofta under 7 m, baserade på RIB- eller katamaran-/trimaranskrov [15]. Dessa plattformar utgjordes främst av utvecklingsplattformar där behovet av låg kostnad dominerade. För att uppnå en god operativ effekt behöver dock en USV kunna bära tyngre, mer kvalificerade sensorer och vapenstationer, samt ha en lång uthållighet, vilket medför ett behov av större plattformar. Marknaden för militära USV:er domineras idag av USV:er i storlekssegmentet 7 till 13 m.

Farkosterna baseras i många fall på beprövade skrov, som används för bemannade farkoster, och de har en relativt hög mognadsgrad. USV:er använder ofta breda multiskrovvarianter som ger hög bärförmåga kombinerat med en förhållandevis god stabilitet vid kraftig sjögång. Många USV:er anges exempelvis kunna operera vid *SeaState* fyra eller fem och överleva vid ännu sämre väderförhållanden.

Plattformsutvecklingen bedöms inte utgöra en allvarlig begränsande faktor för införandet av små och medelstora USV:er. Existerande USV:er har en lång uthållighet och bärförmåga och de kan framföras i höga hastigheter.

7.2.1.1 Utvecklingstrender

En utvecklingstrend är att de stora militärmakterna utvecklar stora USV:er med flera månaders uthållighet. Ett exempel är Sea Hunter som har utvecklats av DARPA i första hand för att automatiskt detektera och följa diesel-elektriska ubåtar (figur 7.1).²⁰⁴ Kina har nyligen utvecklat en liknande USV.²⁰⁵ Målet med Kinas utveckling är dock oklar i nuläget.

²⁰⁴ www.darpa.mil/program/anti-submarine-warfare-continuous-trail-unmanned-vessel

²⁰⁵ news.usni.org/2020/09/25/chinese-navy-crafts-unmanned-sea-hunter-knock-off

Eftersom obemannade farkoster kan göras mindre än bemannade fartyg finns en möjlighet att erhålla förbättrade smygegenskaper (termiskt, visuellt och radarmålyta). Ett utvecklingsspår är även att vissa tillverkare experimenterar med att designa USV:erna för att ytterligare förbättra deras smygegenskaper. En intressant trend är att designa plattformen så att den kan operera som en ytgående plattform, som kan hålla en hög hastighet och har en lång uthållighet, men vid behov kan sänka sig och transportera sig strax under vattenytan (*semi-submersible*) vilket ger förbättrade smygegenskaper.

7.2.1.2 Launch and Recovery System (LARS)

En potentiell effekthöjare för en USV utgörs av möjligheten att använda den som moderplattform för andra obemannade system, exempelvis mindre UAV:er som genomför RSTA eller UUV:er för minjakt. US Navy har under flera årtionden använt sig av mindre obemannade helikopterliknande UAV:er (Fire Scout) baserade på större marina fartyg. Utmaningen ligger dock i att automatiskt landa en UAV på en mindre USV som har en begränsad landningsyta och även påverkas mer av sjögång samt att genomföra landningen i telestörda miljöer (oberoende av GNSS-mottagare).

På motsvarande sätt begränsas möjligheterna att återta en UUV på en USV av väderförhållandena. I en skärgårdsmiljö finns dock möjlighet att anpassa platsen, och de obemannade farkosternas hastighet och riktning, så att sjögången reduceras vid detta moment.

En betydande svårighet är dock att integrera en USV ombord på marinens befintliga fartyg. Av utrymmesskäl är det sannolikt inte aktuellt att integrera medelstora USV:er, men mindre plattformar som SAAB Kockums Piraya eller MANTIS T12 kan eventuellt vara möjligt. Kostnaden kan dock bli hög vid integration på befintliga fartyg. Den internationella utvecklingen för exempelvis framtida MCM-förmåga är att utveckla nya typer av enklare farkoster vars uppgift till stor del är att agera som moderfartyg (LARS, ledning och styrning, m.m.) för obemannade farkoster.

Ett alternativ som är värt att beakta för svenska marinen framförallt på kort sikt är även koncept där USV:erna istället utgångsbaseras vid land och transporterar sig till operationsområdet på egen hand.

7.2.2 Navigation

För att en obemannad plattform ska kunna navigera från punkt A till B krävs att den tillförlitligt och noggrant kan estimeras sin position och orientering i omvärlden, har god kunskap om var den kan förflytta sig säkert och kan upptäcka och väja för andra farkoster (*collision avoidance*) och hinder över och under ytan (*obstacle avoidance*). Den svenska skärgården utgör, jämfört med förflyttningar

på öppet hav, en betydande utmaning för autonoma system då kraven på den noggrannhet som krävs för säker navigering är högre.

För att nå den noggrannhet och tillförlitlighet som behövs i telestörda miljöer krävs att olika typer av sensorer med kompletterande felkaraktistik kombineras i ett multisensornavigationsystem. I [52] identifierades forsknings- och utvecklingstrender riktat mot utvecklingen av obemannade farkoster:

- detektion och undertryckning av GNSS stör- och vilseledningssignaler,
- multisensorfusionsalgoritmer baserade på modularitet, öppen arkitektur, standardiserade protokoll och *plug-and-play* funktionalitet,
- integritetsmonitorering och osäkerhetsestimering,
- samtidig kartering och lokalisering (*Simultaneous localization and mapping, SLAM*) och
- samverkande navigeringstekniker.

Forskningsinsatser bedöms krävas inom alla dessa områden för att kunna fylla behoven för olika typer av obemannade farkoster.

7.2.2.1 GNSS-mottagare

GNSS-mottagare används idag på praktiskt taget alla bemannade och obemannade plattformar. Både de öppna och krypterade GNSS-tjänsterna kan dock störas ut med relativt enkla medel och framförallt de okrypterade GNSS-signalerna är sårbara för avsiktliga vilseledningsattacker. Erfarenhetsmässigt är det tydligt att störning och vilseledning av GNSS förväntas förekomma i stor omfattning vid en framtida konflikt mot en kvalificerad motståndare [53]. Det är även troligt att störning och vilseledning kommer att genomföras redan under krissituationer.

Det mest effektiva sättet att idag skydda en GNSS-mottagare är med gruppantennor (*Controlled Radiation Pattern Antenna, CRPA*) som ger möjlighet att ändra antennsystemets känslighet i olika riktningar och på så sätt undertrycka en eller ett fåtal stör- eller vilseledningssignaler. Adaptiva gruppantennor ger ett kraftigt förbättrat skydd men även dessa system kan störas ut och ett multisensorsystem krävs för att ge en godtagbar tillförlitlighet och noggrannhet. En utvecklingstrend är även att kombinera de krypterade militära signalerna med öppna civila signaler. Genom att använda ytterligare satellitkonstellationer (exempelvis Galileo), och signaler på olika frekvenser (och med större bandbredd) kan både robustheten och noggrannheten förbättras. Det är av kritisk betydelse att GNSS-mottagarna även utrustas med detektionsalgoritmer som kan upptäcka när de är negativt påverkade av störning eller vilseledning, så att sensorfusionsalgoritmen kan ta hänsyn till att informationen från GNSS-mottagarna är otillförlitlig [53]. Genom att anpassa det taktiska uppträdandet kan även skärgårdsterrängen användas för att dämpa störningens effekter, förutsatt att plattformen kan estimerariktningen (grovt) till störare.

7.2.2.2 Multisensorsystem inkluderande aktiva sensorer

Medelstora USV:er är normalt utrustade med en uppsättning sensorer som, utöver GNSS-mottagare, kan användas för att estimeras position och orientering. Det gäller framförallt tröghetssensorer (accelerometrar och gyron), magnetometer (elektronisk kompass), marin radar och EO/IR-kameror. Den elektroniska kompassen stöttar orienteringsestimatet vid tröghetsnavigering, medan radar och kameror kan ge estimat av avstånd och/eller riktning till landmärken vars positioner kan estimeras utifrån sjökort. Visuella kameror kan även dagtid ge horisontlinjer som kan matchas mot kartor för att ge ett estimat av plattformens position. Vissa plattformar är dessutom utrustade med LiDAR som har kortare räckvidd men mycket hög upplösning vid estimering av landmärken.

En USV kan även utrustas med en akustisk sensor i form av en Dopplerbaserad hastighetsmätare (DVL). En DVL är en akustisk sensor som sänder ut flera akustiska strålar, i delvis olika riktningar, och baserat på Doppleranalys av de reflekterade signalerna estimerar sensorns hastighet relativt havsbotten. Om djupet är för stort mäter en DVL istället hastigheten relativt vattnet men vattenströmmar påverkar då noggrannheten negativt.

Om noggranna bottenkartor eller landmärkesdatabaser finns tillgängliga kan en USV utrustas med exempelvis multistråleekolod och navigera genom att kontinuerligt jämföra sensordata mot bottenkartan. Detta kan i kombination med ett tröghetsnavigeringssystem under gynnsamma förhållanden ge en god noggrannhet. I dagsläget är dock endast en liten andel av skärgården karterad. Tekniken begränsar även farkostens hastighet avsevärt men den kan appliceras vid exempelvis minjakt och bottenkartering.

Noggrannheten kan även förbättras för autonoma USV:er genom att applicera ruttvalsalgoritmer som även tar hänsyn till positionsosäkerheten, se exempelvis [54]. En viktig aspekt för autonoma plattformar är att de med hög tillförlitlighet kan estimeras navigationssystemets osäkerhet.

Det är inom något år sannolikt tekniskt möjligt att på medelstora och stora USV:er designa ett navigationssystem baserat på aktiva sensorer som ger tillförlitliga och noggranna positionsestimat även i GNSS-störda miljöer framförallt då de opererar i skärgårdsmiljöer eller kustnära. Operationer på öppet hav utgör dock en större utmaning.

7.2.2.3 Multisensorsystem med endast passiva sensorer

Estimering av plattformens position och orientering med endast passiva sensorer i GNSS-störda miljöer utgör en betydande utmaning och kräver fortsatta forsknings- och utvecklingsinsatser. Tröghetssensorer i form av accelerometrar och gyron utgör grunden i ett robust navigationssystem baserat på passiva sensorer men felet i positions- och orienteringsestimaten vid tröghetsnavigering ökar med tiden. Hur snabbt felet ökar beror på kvalitén på främst gyrosensorerna,

vilket avgör hur ofta stöttande mätningar från andra sensorer behövs för att hålla felen på en acceptabel nivå.

Magnetometrar kan stötta framförallt enklare tröghetsnavigeringssystemers orienteringsestimat och reducera hur snabbt felen ökar. En robust GNSS-modul kan förväntas ge åtminstone sporadiska estimat och de rekommenderas fortsatt utgöra en integrerad del av PNT-systemet. Dagtid kan visuella sensorer, i kustnära miljöer, genom kartstöttade (sjökort) positioneringstekniker användas för att stötta tröghetsnavigeringssystemet och även korrigera för fel. Tekniken för att natttid med IR-sensorer implementera motsvarande algoritmer är inte mogen. En stor utmaning är därmed att i mörker erhålla en noggrann positionering i en telestörd miljö med endast passiva sensorer. För att lösa detta krävs långsiktiga forskningsinsatser (ca tio år).

Ett möjligt alternativ som kan snabba upp utvecklingen är att använda förinstallerad infrastruktur i form av radiosändare (radiofyrar) eller målade markeringar på kobbar i skärgården som anpassas även för mörkerförhållanden.

Stjärnnavigering kan idag genomföras med små, enkla visuella kameror som natttid under goda siktförhållanden ger en mycket hög orienteringsnoggrannhet som kan stötta plattformens tröghetsnavigeringssystem. Utveckling av SWIR-sensorer avsedda för att även dagtid, och eventuellt genom lättare molntäcken, möjliggöra detektion av stjärnor pågår [55]. Detta förutsätter noggrann våglängdsfiltrering och mycket smala synfält för att filtrera bort solljusets direkta och indirekta påverkan. Dessa sensorer är dock större och avsevärt dyrare i jämförelse med visuella sensorer. Tillgängligheten över tid är även okänd i relevanta miljöer, där himlen exempelvis under vintermånaderna kan vara täckt av moln flera veckor i sträck.

7.2.2.4 Automatisk brytpunktsnavigering med Collision/Obstacle Avoidance

USV:er kan idag automatiskt ta sig från punkt A till punkt B, genom att utifrån sin position, digitala sjökort och kunskap om miljöfaktorer (såsom vattenstånd) beräkna en ur sjösäkerhetssynpunkt säker rutt och följa denna. Moderna USV:er kan med hjälp av radar, LiDAR och EO/IR-sensorerna upptäcka andra fartyg och väja för dessa och följa de internationella reglerna för sjöfart (COLREG).²⁰⁶ Förmågan att upptäcka okända hinder med hjälp av radar, LiDAR och EO/IR-kameror har till stora delar demonstrerats och integrerats i moderna USV:er. USV:er har även utrustats med framåttittande sonar i MCM-tillämpningar, vilken även kan upptäcka andra undervattenshinder. Det är dock oklart hur tillförlitlig

²⁰⁶ Även det civila AIS-systemet ger information om positionerna för större fartyg men AIS bedöms ha litet värde i skärgården där fritidstrafiken ofta är dominerande. En motståndares farkoster kan inte heller förväntas vara utrustade med påslagna AIS-transpondrar.

detektionsförmågan är och om det finns typer av hinder som ännu inte kan upptäckas vid sjögång och i högre hastigheter. Det gäller exempelvis bojar, kanotister, simmare eller flytande stockar som kan förekomma i kustnära miljöer. För mindre USV:er som saknar möjlighet att integrera en radar utgör *collision avoidance* en större utmaning, vilket kan medföra att de endast kan förflytta sig med begränsade hastigheter.

Radar, LiDAR och akustiska sonarer kan dock upptäckas på relativt stora avstånd. Multistråleekolod sänder typiskt ut ljudet i ett stort antal smala lobor där spridningen av ljudpulserna är relativt begränsad. De opererar även på höga frekvenser där dämpningen av ljudet är hög. Dessa faktorer minskar risken för upptäckt men eliminerar inte risken och beroende på situation så är upptäcktsavståndet betydande. I scenarion där aktiva sensorer inte kan användas på grund av risken för upptäckt utgör framförallt *obstacle avoidance* en stor utmaning. Tillförlitlig detektion av hinder kan med passiva EO/IR-sensorer sannolikt endast utföras på relativt korta avstånd vilket kommer att begränsa USV:ns hastighet markant (alternativt ökas risktagandet i krigssituationer).

7.2.3 Kommunikation

Kommunikationssystemens begränsningar i telestörda miljöer utgör en kritisk teknisk utmaning vid införandet av USV:er. USV:er är idag i stor utsträckning fjärrstyrda där operatören övervakar plattformen baserat på data från främst EO/IR-sensorer. Även vid en eventuell vapeninsats krävs att operatören kan ha en god lägesuppfattning för att fatta ett beslut om insats. Datataktbehoven är asymmetriska vid ledning och styrning av plattformen, där mindre data behöver skickas från operatören till en USV än tvärtom. En USV förväntas dock samtidigt befinna sig närmare en motståndares störsystem vilket gör att störnivåer som den utsätts för förväntas vara högre.

Olika frekvensområden kan användas för kommunikation till USV respektive operatör, där lägre frekvensband har en längre räckvidd men svårigheter att stödja höga datatakt. Ett flertal faktorer påverkar räckvidden och de datatakt som kan uppnås med radiokommunikation i Östersjön, bland annat terränghinder i form av skärgårdsöar, antennernas höjd över ytan samt den frekvens som används. Även vid avsaknad av terränghinder begränsas räckvidden av jordens sfäriska form och för små farkoster som har låga antennhöjder påverkar även vågor kommunikationsmöjligheterna. Vattnets elektriska ledningsförmåga (konduktivitet), som varierar i Östersjön beroende på salthalt och temperatur, påverkar även vågutbredningsdämpningen för lägre frekvenser där ytvågskomponenten har en större påverkan.

I [56] ges exempel på räckvidder och datatakt som bedöms vara realistiska att uppnå för USV:er i Östersjön på olika frekvenser (50, 500 och 1500 MHz) och för antennhöjder mellan 1.5 och 10 m. I analysen antas att datatakt på 10 Mbit/s endast kan realiseras på det högsta frekvensbandet på grund av att den

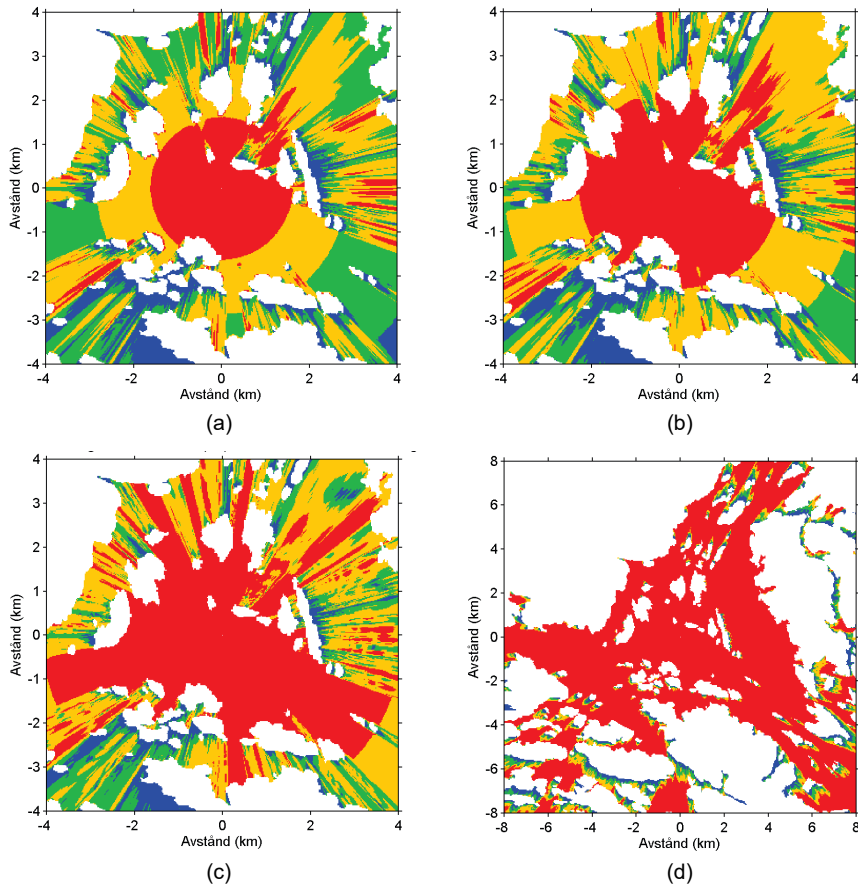
tillgängliga bandbredden vid lägre frekvenser är kraftigt begränsad. Vid 50 MHz kan räckvidden mer än halveras i södra delarna av Östersjön jämfört med ute på Atlanten och ju högre upp i Östersjön desto kortare räckvidder erhålls [56]. Vid 1500 MHz kan räckvidden approximativt fördubblas genom att höja upp mottagarantennen från 1.5 m till 10 m. Räckvidden påverkas kraftigt av terrängen på 1500 MHz och hög dataakt erhålls endast vid frisiktsförhållanden. Dataakter på 10 Mbit/s kan ofta stödjas på avstånd över åtta kilometer då den ena farkosten flyger på 300 meters höjd, vilket illustreras i figur 7.2.

7.2.4 Sensorer och effektorer

Utvecklingen av sensorer för olika uppdrag, som spaning, övervakning och målinmätning, min- och ubåtsjakt och navigering, är intensiv. USA och EU bedöms ha ett visst försprång relativt Ryssland när det gäller sensorprestanda på grund av de senaste årens exportrestriktioner vilket tvingat Ryssland att inom vissa områden accelerera den inhemska utvecklingen för att kunna ersätta tidigare importerade system (det gäller exempelvis EO/IR-sensorer). Prestanda avgörs dock inte endast av sensorernas prestanda utan signalbehandlingsalgoritmerna spelar en allt mer avgörande roll för exempelvis upptäcktssannolikheter och -avstånd.

Utvecklingen inom signalbehandlingsområdet går i snabb takt, framförallt när det gäller automatiserade algoritmer för detektion, klassificering, lokalisering och följning av mål. Artificiell intelligens (AI) och djupinlärningsmetoder införs operativt för att exempelvis detektera och klassificera mål med EO/IR-sensorer. Kvarstående utmaningar när det gäller användningen av exempelvis djupinlärningsmetoder är att tillförlitligheten behöver förbättras, i form av upptäcks- och klassificeringssannolikheter samt reducerade felklassificeringssannolikheter. Att använda syntetiskt genererade referensdata är en möjlig väg framåt. Det gäller framförallt då IR-sensorer används eftersom tillgången till realistiska referensdataset är begränsad. En utmaning är att ett representativt sett av plattformar som befinner sig i relevanta miljöer och uppträder realistiskt behöver inkluderas i referensdatasetet.

Allt fler USV:er bestyckas med fjärrstyrda stabiliserade vapenstationer med exempelvis 7.62 mm eller 12.7 mm kulspruta. Liknande bestyckning har använts på USV:er avsedda för framförallt hamnsäkerhet och patrulluppdrag (även internationellt, exempelvis i Adenviken), dvs uppdrag som utförs i de lägre delarna av konfliktskalan. En tydlig utvecklingstrend syftar till att utrusta medelstora USV:er med tyngre beväpning, såsom Spike ER och Hellfire. Försök pågår även med att utrusta USV:er med lätt torped, lätt och medeltung sjömålsrobot respektive kryssningsmissil för markmål. Den senare utvecklingen berör främst stora USV:er som potentiellt skulle kunna agera som vapenplattform (magasin) och bära hundratals vertikalavfyrate missiler.



Figur 7.2: Beräknat täckningsområde för olika datataxter vid 1500 MHz i ett område utanför Vaxholm. Röd 10 Mbit/s, gul 1 Mbit/s, grön 0.1 Mbit/s, blå < 0.1 Mbit/s. Vit färg markerar land. Sändaren (HT) är placerad i mitten av området på 1,5 meters höjd. Mottagarens höjd varierar mellan (a) 1,5, (b) 3, (c) 10 och (d) 300 meter.

Kina experimenterar med en 13 meter lång USV (JARI) som bestyckas med 30 mm kanon, laserstyrda robotar mot ytmål, robotar mot luftmål och även lätt torped.

7.2.5 Styrning och ledning

Den autonoma förmågan hos USV:er har ökat markant de senaste åren och till stor del kan USV:er självständigt förflytta sig och förhålla sig till sin omgivning givet exempelvis sjövägsregler och skiftande väderförhållanden. Likt andra obemannade system saknar dock USV:er förmåga att anpassa sitt beteende utifrån ändrade taktiska förutsättningar vilket medför att ett stort mått av mänsklig kontroll fortfarande behöver finnas med i bilden under en längre tid framöver.

För att kunna släppa mer på kontrollen behöver den autonoma förmågan hos USV:er förbättras ytterligare vilket i sin tur påverkar vilka uppdrag som kan ges till sådana plattformar samt vilka insatsregler som ska gälla för dessa. Kommunikationsmöjligheterna utgör i detta hänseende ytterligare en utmanande begränsning för effektiv styrning och ledning. Utöver de ständigt närvarande fysiska begränsningarna som finns rörande marin kommunikation i fredstid så ska USV:er i en militär kontext uppträda i en förmodat telestörd miljö. Detta gör i sin tur att kommunikation idag är en grundförutsättning för att kunna styra och leda plattformarna (även om de kan förflytta sig självständigt till och i sitt område) för att på så vis få ut exempelvis sensordata från dem och därmed uppnå önskad operativ effekt.

Fördelen med USV:er är den högre uthålligheten jämfört med flygande system och undervattensplattformar. Möjligheten att kommunicera med farkoster över vattenytan och i luften är väsentligt bättre än med farkoster som uppträder under ytan. Om USV:er ska nyttjas som vapenbärare (exempelvis inom ramen för ytstrid, ubåtsjakt eller för att skydda hamnar) behöver kommunikationen vara tillräckligt robust för att en operatör ska kunna förstå situationen, identifiera mål och ge order om vapeninsats. Detta gäller även vid spaning om inte informationen uppfattas vara av icke tidskritisk natur.

Oaktat graden av autonomi hos USV:er kommer införandet av sådana plattformar att innebära ett behov av översyn av möjliga uppgifter som kan tilldelas systemen. Detta förväntas skapa ett större behov av planering inför en insats, särskilt om farkosterna är autonoma och därför behöver ha klart definierade uppgifter som de ska lösa. Utifrån detta resonemang finns det ett behov av att utveckla anpassade metoder för nyttjandet av USV:er, i likhet med andra materielsystem som införs, i syfte att hitta tillvägagångssätt som skapar en operativ effekt vid insats med systemen. Flertalet länder bedriver omfattande försöks- och experimentverksamhet i syfte att bygga just sådana metoder, särskilt inom ramen för obemannad MCM.

7.2.6 Autonomt uppdragsutförande

Tekniken för automatiserad brytpunktsnavigering med förmåga att automatiskt undvika kollisioner med andra fartyg och olika hinder är relativt välutvecklad. Det bör vara möjligt att även utföra detta i skärgårdsmiljöer även om dedikerade ruttplaneringsalgoritmer kan behöva utvecklas. Existerande systems förmåga att undvika kollisioner och hinder utan användning av aktiva sensorer behöver dock utvärderas och sannolikt vidareutvecklas.

Dagens USV:er anges vid exempelvis patrullering ha möjlighet att upptäcka fartyg och följa efter dessa och leverera sensordata till en operatör. Pacific 950 har vid övningar genomfört ett flertal uppdrag av motsvarande komplexitetsgrad och den har delvis en förmåga att genomföra uppdrag som består av olika delmoment och den stödjer dynamisk uppgiftstilldelning. USV:er bedöms

däremot inte ha förmågan att självständigt utföra mer komplicerade uppdrag, som minjakt, ubåtsjakt eller ytstrid. De förväntas dock relativt snart (inom fem år) kunna utföra *deluppgifter* inom ramen för sådana uppdrag men ledningen av vilka resurser som ska sättas in var och med vilken uppgift, och anpassning till motståndarens uppträdande, är för komplicerad för att ännu kunna lösas autonomt. En gradvis utveckling förväntas ske inom detta område, exempelvis inom autonom obemannad minsvepning och minjakt, men det bedöms ta lång tid och förutsätter att betydande forskningsresurser allokeras för att nå full uppdragsautonomi vid exempelvis ubåtsjakt eller ytstridsoperationer. Även om algoritmer för automatisk detektion, klassificering och följning av mål är under utveckling så kommer själva beslutet om vapeninsats även i framtiden beslutas av en människa. Det ställer dock krav på tillförlitliga kommunikationssystem med tillräcklig datatakt för att medge att operatören kan erhålla nödvändig omvärldsuppfattning.

7.2.7 Automatiserad statusövervakning och hälsomonitorering

En viktig möjliggörare för autonoma USV:er är automatiserad status- och hälsomonitorering. Vid utförandet av ett uppdrag autonomt, utan direkt ledning av en operatör, behöver autonomialgoritmerna information om exempelvis kvarvarande drivmedel och ammunition. Systemet behöver även kunna upptäcka eventuella skador och bedöma hur om och i så fall hur de påverkar farkostens sjövärdighet, samt dess uthållighet och hastighet osv. Detta förutsätter att farkosten utrustas med sensorer och algoritmer för att detektera och utvärdera effekterna av eventuella skador eller problem med elektronik eller nyttolast. Farkosten ska även automatiskt kunna bedöma om den kan slutföra sitt uppdrag eller istället bör avbryta. Informationen kan även användas för att schemalägga underhåll utifrån plattformens faktiska underhållsbehov.

För framförallt större USV:er som är avsedda att operera autonomt under flera månader, som exempelvis Sea Hunter, så utgör detektion och autonom felhantering en kritisk förmåga som behöver utvecklas vidare. Den långa uthålligheten som dessa plattformar förväntas erbjuda utgör en delvis ny betydande utmaning vid designen och utvecklingen av alla fartygets ingående komponenter [37].

7.3 UUV

För UUV:er finns det ett antal kritiska deltekniker som behöver förbättras för att till fullo dra nytta av dessa systems fulla potential. Ett exempel på en delteknik som behöver utvecklas vidare är autonomt uppträdande. Detta i sin tur ställer ökade krav på förmågan till noggrann navigering. Även kommunikationssystemet utgör en begränsande teknik även om kommunikationsbehovet

reduceras med en ökad grad av autonomi. Även höggradigt autonoma AUV:er behöver i många scenarion skicka status- och uppdragsspecifik information och även ta emot information om exempelvis förändrade uppdragsparametrar. Uthålligheten för AUV:er är ytterligare en faktor som behöver utvecklas sett till önskan att nå en högre grad av operativ effekt.

Fjärrstyrda ROV:ar används sedan lång tid operativt vid exempelvis undervattensarbeten och minröjning och det finns mycket erfarenhet av användningen av dessa system. Det är att betrakta som en mogen teknologi idag med en fungerande marknad. Automationsgraden kan fortsatt ökas i syfte att stötta operatören och reducera dennes kognitiva belastning. Nackdelen med en ROV är att den begränsar handlingsfriheten för det fartyg från vilket den opereras. En ROV rör sig förhållandevis långsamt och interaktionen med ROV:en ger ytterligare en begränsning för fartygets möjligheter till rörlighet. Det vore av detta skäl önskvärt att slippa den fasta förbindelsen mellan ROV och fartyg vilket pekar på en önskad utvecklingsriktning mot mer uthålliga AUV:er.

En autonom farkost löser problemet med att vara bunden till ett fartyg för att tillhandahålla energi till farkosten genom att AUV:n har eget framdriftsmaskineri och egen ombordlagrad energi. Detta skapar dock utmaningar i form av uthållighet för farkosten, därav behovet av att utveckla energi och framdrivning för ökad operativ effekt (se 7.3.5). En AUV är idag långsam jämfört med den plattform som sätter in den. Det gör AUV:n mindre lämpad för att hantera snabbt uppkomna situationer. För att AUV:n ska kunna komma till det område där den ska genomföra sin uppgift behöver den antingen sättas in i mycket god tid alternativt förbruka huvuddelen av sin energi på att transportera sig. Ett alternativ är även att förflytta en AUV till operationsområdet med en USV eller UAV.²⁰⁷ Detta skapar utvecklingsbehov rörande metoder för ledning och styrning och behov av framtida utveckling kopplat till uthållighet, navigation och autonomi.

Användningen av lätta och tunga AUV:er förväntas öka det närmaste decenniet framförallt när det gäller bottenkartering och minjakt. AUV:er har potentialen att i dessa uppgifter i en än högre grad avlasta och frigöra bemannade enheter, vilket exempelvis möjliggör kraftsamling med de mer kvalificerade bemannade fartygen. För att nå den fulla potentialen med AUV:er behöver dock flera kritiska deltekniker vidareutvecklas. Stora autonoma UUV:er kan komma att utgöra en disruptiv teknik då de möjliggör nya förmågor såsom offensiv minläggning och dold framskjuten spaning.

²⁰⁷ Under övningen *Cold Response* användes en UAV i detta syfte [QIN]. Även Ätvidabergsföretaget AAC Innovation arbetar utifrån ett liknande koncept där de utvecklar en stor quadcopter, *ThunderWasp II*, som ska förflytta UUV:er till operationsområdet.

7.3.1 Styrning och ledning

En regelrätt utmaning med styrning och ledning av AUV:er är intimt kopplat till förmågan till kommunikation vilket i sig utgör en svårighet i undervattensdomänen. Detta talar för att en AUV för att få operativ effekt i nya mer krävande uppdrag (exempelvis framskjuten spaning) behöver ha en hög grad av autonomi. Detta i sin tur förutsätter god förmåga till noggrann navigation över längre uppdrag samt en genomtänkt energiförsörjning sett till den generellt låga förflyttningshastigheten hos AUV:er och den genomgående önskan om att få en uthållig resurs i ett, förmodat, tidsmässigt utdraget förlopp.

Det finns idag möjlighet att lokalisera en AUV och även avgränsa dess område med USBL eller utlagda akustiska transpondrar (*Short BaseLine, SBL*, eller *Long BaseLine, LBL*). Ett sådant nyttjande är däremot röjande och kanske därför inte önskvärt i alla avseenden. Förmågan till självständig navigering och lösande av uppgifter längs med vägen (exempelvis minsökning och bottenkartering längs brytpunktsbana) är något som är görbart redan idag. Det finns dock ett behov av att öka positionsnoggrannheten vid exempelvis bottenkartering [16]. Inom ramen för framskjuten spaning är däremot förmågan att ändra uppdraget när uppgiften väl har getts tämligen låg sett till kommunikationsbegränsningarna.

Kommunikationen ökar även risken att röja både egen bemannad enhet liksom den obemannade farkosten. Detta leder till att styrning och ledning av AUV:er med fördel görs genom ett planeringsförfarande på förhand och att enheten sedan får lösa tilldelad uppgift. Om enheten upptäcker något som den är beordrad att rapportera kan den då exempelvis gå till ytan för att meddela sig över radio eller satellit. Risken är här stor att enheten då röjs men detta får också vara en riskbedömning som görs från fall till fall inför ett företag.

Kontinuerlig ledning och styrning av AUV:er är följaktligen något som bereder vissa svårigheter. Förmågan till självständigt agerande finns till del utvecklad men intill dess att tilltron till systemen är etablerad och att sannolikheten att de kan fatta fel beslut i ett givet scenario nedgår till nära noll bör systemen främst nyttjas för exempelvis spanings- eller minjaktuppgifter i ett begränsat område. Uppgifterna bör även vara sådana så att enheten kan lösa uppgift självständigt vilket också medför att behovet av kommunikation nedgår. En följd effekt av detta kan innebära, beroende på uppdragets karaktär, att informationen är gammal när farkosten har löst sagda uppgift. Uppgifterna bör därför, vid autonomt uppträdande, vara av den arten att insamlad information inte är tidskritisk och lämpar sig väl för efterbearbetning. Detta i sin tur föder ytterligare frågor kopplat till bemanning av systemen på det stora hela, sett till att personal kommer att behöva bearbeta och analysera den insamlade informationen i efterhand. Ett alternativ här är att viss processering av information kan ske ombord på farkosten, vilket potentiellt skulle möjliggöra att mindre mängder information behöver skickas (exempelvis läge på observationer). Ombordprocessering av informationen kan även möjliggöra en snabbare

bearbetningsprocess efter avslutat uppdrag vilket förväntas öka den sammantagna effekten för systemet.

För att möjliggöra ett ökat nyttjande av AUV:er bedöms följande punkter vara viktiga att ta särskild hänsyn till:

- skapa tillit (*trust*) till AUV:er,
- ledning och styrning av AUV med begränsad autonom förmåga,
- ledning av AUV vid längre uppdrag med begränsade kommunikationsmöjligheter, och
- generella användargränssnitt.

7.3.1.1 Tillit

Tilliten kommer bland annat av erfarenhet av nyttjande av dylika system samt att systemen i sig presterar väl och även är så pass lättförståeliga att ansvarig chef förstår dess agerande och även har förståelse för dess förmågor och begränsningar. Vägen till tillit går bland annat genom operationell experimentering samt genom att utveckla och pröva koncept. Det kan genomföras dels genom spel och simuleringar, dels inom ramen för materielförsök och experiment. Tillit och evolutionär utveckling av koncept och metoder är även något som lyfts fram som viktiga framgångsfaktorer i [16].

7.3.1.2 Ledning av AUV med begränsad autonomi

Vid exempelvis framskjuten spaning blir förmågan till autonomt uppträdande av stor vikt och förmågan att kunna sända tidskritisk information dolt blir också nödvändig för att öka användbarheten hos systemen. Fram till dess att den tekniska utvecklingen möjliggör detta kommer ledning och styrning av AUV:er behöva bedrivas inom ramen för det relativt begränsade antal uppgifter som systemen utför idag. Dagens teknik innebär begränsningar inom kommunikation och uthållighet vilket påverkar såväl storleken på område som de typer av uppgifter som systemen tillåts och kan lösa självständigt.

7.3.1.3 Ledning av AUV vid exempelvis framskjuten spaning

Ledning och styrning av AUV:er för exempelvis icke tidskritisk informationsinhämtning under längre tidsperioder kräver omsorgsfull planering innan farkosten löper ut, utvecklad förmåga hos de obemannade systemen rörande navigering och autonomt uppträdande samt fortsatt utveckling syftande till att nå en ökad uthållighet. Kommunikationsbehoven nedgår här, särskilt om farkosten inte är tänkt att sända information hem. Däremot återfinns behovet av att exempelvis kunna omdirigera farkosten.

7.3.1.4 Generella användargränssnitt

För de uppgifter som AUV:er löser idag, som är tydligt avgränsade och begränsade i tid, rum och omfattning, bör fokus ligga på utvecklingen av operatörsgränssnitt i syfte att öka förmågan till samtidig ledning av flera AUV:er av en och samma operatör. Detta kan öka effekten av systemen genom att antalet ökar och därmed även hastigheten som exempelvis ett område kan sökas av och/eller bottenkarteras.

7.3.2 Plattformsutveckling

Den vanligaste designen för obemannade undervattensfarkoster är torpedformen. Den har ett antal goda egenskaper samtidigt som det även möjliggör utskjutning av AUV:er från torpedtuber. En del ROV:ar, som Saab Sabertooth och Double Eagle, har en annan skrovdesign, vilket ger dem förbättrade manövreringsegenskaper. Det är en egenskap som är viktig i vissa operationer, exempelvis vid klassificering och neutralisering av sjöminor. Det pågår forskning, bland annat inom SMaRC (*Swedish Maritime Robotic Centre*), där även mindre torpedformade AUV:er ska förses med teknik som ger en väsentligt förbättrad manövrerbarhet.²⁰⁸

Ett annat utvecklingsspår som anammats av flera större sjöfartsnationer är utvecklingen av XLUUV. Dessa stora AUV:er kan utrustas med nya typer av energisystem vilket möjliggör en lång uthållighet, räckvidd och en högre hastighet. De får även möjlighet att bära mer nyttolast. Boeings Echo Voyager är ett prototypsystem som har en angiven räckvidd på 6500 nautiska mil och kan ta åtta ton (torrvikt) nyttolast.²⁰⁹ Den är dock mycket lång, mellan 15 och 26 meter, beroende på storleken på nyttolastmodulen. Det har dock fördelen att även hydrofonarrayer med ett stort antal element kan appliceras vilket kan öka sensorräckvidden avsevärt i jämförelse med vad som normalt är möjligt på en AUV. Ovanstående egenskaper öppnar upp för att en XLUUV ska kunna genomföra nya typer av uppdrag, exempelvis ubåtsjakt, framskjuten spaning och minläggning.

QinetiQ uppskattar storleken på en farkost med relevant uthållighet för ovanstående uppdrag till att vara åtminstone 10 meter lång och med ett displacement på 10 ton [16]. Farkoststorleken beror delvis på den bedömda storleken på energisystemet som krävs. Denna typ av farkost bedöms dock vara relativt kostsamma att utveckla. För att möjliggöra dessa nya förmågor behöver även utveckling ske inom områden som undervattensnavigering, autonomt

²⁰⁸ smarc.se/projects/sp04-hydrobatronics-simulator/
<http://kth.diva-portal.org/smash/get/diva2:1472046/FULLTEXT05.pdf>

²⁰⁹ www.boeing.com/resources/boeingdotcom/defense/autonomous-systems/echo-voyager/echo_voyager_product_sheet.pdf

uppgiftsutförande (med möjlighet att förstå och anpassa sig till situationen) och energisystem. En forskningsutmaning som behöver adresseras är även tillförlitlig klassificering av fartyg baserat på passiva sensorer (sonardata).

US Navy utvecklar även en LDUUV (*Large Displacement UUV*) som är storleksmässigt mindre än XLUUV men är avsedd att delvis kunna genomföra motsvarande uppdrag. Även för en LDUUV som Snakehead (som är den farkost som US Navy utvecklar) bedöms en avsevärt längre uthållighet (en månad) och hastighet kunna realiseras.²¹⁰ Uppdrag som långräckviddig ISR diskuteras för denna farkost. Den ska även kunna användas från ubåtar av Virginia- och Ohioklasserna. I [10] diskuteras de betydande utmaningarna som associeras med att utveckla nödvändig autonomi för att kunna genomföra dold ISR i av fienden kontrollerade områden. Framför allt bedömer författarna att det förväntas bli extremt svårt att genomföra sådana uppdrag i framtiden.

7.3.3 Sensorer och signalbehandling

En modern tung AUV som HUGIN är utrustad med ett stort antal sensorer. Den kan exempelvis vara utrustad med sidoskannande sonar, multistråleekolod (EM2040), en högupplöst interferometrisk syntetisk apertursonar (HiSAS1030) och visuell stillbildskamera.²¹¹ Nyttolasten består (åtminstone till viss del) av sensorer för att karaktärisera havsmiljön, såsom vattnets turbiditet, temperatur, konduktivitet och djup. För navigering har den även en HG9900 IMU (*Inertial Measurement Unit*) med ringlasergyrosensorer²¹², DVL, djupsensor och akustiska positioneringsnoder.

En AUV förlitar sig i stor utsträckning på akustiska sonarer för att förstå sin omgivning. En framåttittande sonar används för terrängföljning och detektion och väjning för hinder. Sonardata från multistråleekolod eller sidoskannande sensorer ger även underlag för funktioner som automatisk följning av undervattensrörledningar.

Laserradar (LiDAR) börjar föras in på olika AUV:er för att på korta avstånd ge en noggrann kartering av havsbotten, vilket även kan ge möjlighet till mer smyganpassad navigering. Laser och till viss del även LED-sensorer möjliggör korträckviddig undervattenskommunikation med hög dataakt.

Det senaste två decenniernas framsteg inom minjakt och noggrann bottenkartering har till del möjliggjorts genom utvecklingen av avancerade algoritmer för exempelvis syntetisk apertursonar (SAS). HiSAS1030 är en högupplöst SAS

²¹⁰ www.globalsecurity.org/military/systems/ship/lduuv.htm

²¹¹ www.kongsberg.com/maritime/products/marine-robotics/autonomous-underwater-vehicles//AUV-hugin/#technicalInformation

²¹² aerospace.honeywell.com/en/learn/products/sensors/hg9900-inertial-measurement-unit

som ger en mycket hög upplösning vid kartering av havsbotten. HiSAS anges kunna ge en avståndsoberoende upplösning på 3×3 cm på avstånd av 200 meter ut från farkostens sidor då den förflyttar sig i två meter per sekund, vilket medför att den bedöms kunna täcka ett område motsvarande två kvadratkilometer varje timme.²¹³ Högupplöst SAS och andra akustiska sensorer som bistatisk sonar kan potentiellt även användas för att upptäcka undervattensmål [57].

På lång sikt kan forskningen inom kvantbaserade sensorer revolutionera navigeringsområdet och medföra att tröghetsnavigeringssystem baserade på kvantbaserade gyron och accelerometrar kommer utgöra en disruptiv teknik. I ett kortare tidsperspektiv förväntas denna utveckling leda till att noggranna sensorer för mätningar av gravitations- och magnetfält realiseras. Stora resurser satsas inom detta forskningsområde i exempelvis USA. EU finansierade nyligen ett projekt inom området kvantbaserade sensorer för navigering och kommunikation inom ramen för PADR (*Preparatory Action on Defence Research*).²¹⁴ Inom laserområdet utvecklas fotonräknande detektorer för exempelvis LiDAR till självkörande bilar. 3D-skannande LiDAR med fotonräknande detektorer kan även komma att införas på AUV:er. Fiberlaserhydrofoner utvecklas i exempelvis EDA-projektet *Evaluation of Thin Line Array Technology*. De har egenskaper, bland annat liten volym och låg vikt, som gör dem attraktiva för användning i släpade sonararrayer till AUV:er (*Towed Array Sonar, TAS*).

7.3.4 Undervattensnavigation

Positionsestimeringen utgör en särskild utmaning för obemannade undervattensfarkoster då radiosignaler, förutom på låga frekvenser, dämpas kraftigt i vatten. GNSS-signaler kan till exempel endast tas emot mycket nära ytan. Större AUV:er är normalt utrustade med relativt sofistikerade tröghetsnavigeringssystem (TNS) som stöttas av hastighetsmätningar från en akustisk DVL. På tunga AUV:er används ofta noggranna gyrosensorer i form av treaxliga ringlasergyron (*Ring Laser Gyro, RLG*) eller fiberoptiska gyron (*Fiber Optical Gyro, FOG*) som har förmåga att direkt estimerar riktningen mot norr (den magnetiska nordpolen). Tröghetssensorer med så hög noggrannhet att detta möjliggörs benämns även norrsökande gyron eller gyrokompass.

Moderna DVL anges beroende på vilken frekvens som används (600 eller 300 kHz) kunna estimerar hastigheten på avstånd från 75 upp till över 400 m från botten.²¹⁵ När bottenmätningar inte finns tillgängliga kan en DVL istället mäta hastigheten utifrån mätningar av vattenvolymen men då påverkar vattenströmmar

²¹³ www.kongsberg.com/globalassets/maritime/km-products/product-documents/high-resolution-inferferometric-synthetic-aperture-sonar-hisas

²¹⁴ eda.europa.eu/docs/default-source/documents/padr-calls-factsheet-v2.pdf

²¹⁵ www.teledynemarine.com/dvls

noggrannheten. Under normala förhållanden anges i [52] att ett avancerat integrerat TNS/DVL-system kan hålla positionsfelet mellan 0,01 % och 0,08 % av förflyttad sträcka beroende på hur AUV:n rör sig. Störst fel erhålls normalt när den färdas rakt framåt [52].

Ytterligare stöttniing i form av mätningar av magnet- och gravitationsfält kan integreras för att öka noggrannheten. Även tryckmätande sensorer kan användas. Utmaningarna med att noggrant estimerar en AUV:s djup utifrån tryckmätningar beskrivs närmare i till exempel [58].

Om flera farkoster samverkar och har möjlighet att utbyta information om respektive plattforms uppfattning om sin egen position och tillhörande osäkerhet och mäta avstånd (och eventuellt riktning) till varandra kan takten för feltillväxten reduceras. På korta avstånd kan potentiellt laserkommunikation användas för att (relativt) dolt estimerar riktning och avstånd samtidigt som informationen överförs. Alternativt används farkosternas sonarer för att estimerar inbördes position medan informationen överförs med akustiska modem. Kravet på datatakt är lågt för denna form av samverkande navigering.

7.3.4.1 Akustiskt alternativ till GPS under ytan

DARPA undersöker de tekniska möjligheterna för att realisera ett undervattensalternativ till GPS benämnt POSYDON (*Positioning system for deep ocean navigation*).²¹⁶ Sändarna består av en konstellation av akustiska sändare med lång räckvidd som sänder från kända positioner. En AUV estimerar då avståndet till åtminstone tre akustiska noder och kan då beräkna sin position genom triangulering. Det ger möjlighet till positionsestimering i en AUV utan att behöva sända aktivt. Genom att använda låga frekvenser nås en lång räckvidd. En utmaning är dock att utbredningshastigheten beror på bland annat vattnets densitet, salthalt och temperatur som kan variera kraftigt, vilket riskerar att påverka positionsnoggrannheten.

POSYDON är avsett att användas i stora havsvolymer (t.ex. Atlanten). Utmaningarna med att realisera ett liknande system i Östersjön, framförallt inomskärs, är avsevärt högre då signalerna även kommer att utsättas för kraftig flervägsutbredning och det är svårt att säkerställa att exempelvis öar inte blockerar signalerna.

7.3.4.2 Navigeringstekniker vid minjakt och bottenkartering

Det finns ett behov av att öka positionsnoggrannheten för framtidens AUV:er. UUV:er används idag framgångsrikt i olika uppdrag, där positionsnoggrannheten

²¹⁶ www.wired.com/2016/05/darpa-wants-underwater-gps-system-seafaring-robots/
www.baesystems.com/en/product/maritime-sensing

bedöms vara tillräcklig (alternativt anpassas genomförandet av uppdraget till rådande begränsningar). Men utvecklingen går mot att AUV:er ska ges en längre uthållighet och det är framförallt vid längre uppdrag som en ökad positionsnoggrannhet krävs eftersom felet för många av de tekniker som används ökar med förflyttad sträcka. Positionsoggrannheten vid bottenkartering behöver exempelvis förbättras för att uppfylla de civila standarder som finns [16].

Vid bottenkartering och minjaksoperationer i avgränsade områden som genomförs i fredstid och i kris kan det vara möjligt att både använda aktiva sensorer på en AUV och utnyttja akustiska transpondrar. Transpondrarna kan vara placerade på bojar, förankrade i havsbotten eller monterade på bemannade eller obemannade ytfartyg. En AUV erhåller därefter sin position på ett av följande tre olika sätt:

- LBL: AUV:n mäter avstånd till tre eller fler transpondrar, vars positioner är kända, som är placerade på avstånd upp till några kilometer från varandra och beräknar sin position genom multilateration.
- SBL: systemet mäter de relativa ankomsttiderna vid tre eller fler hydrofoner, som normalt placeras eller förankras i olika ändar av en ytfarkost.
- USBL: systemet mäter AUV:ns position genom att med en skrovmonterad kompakt hydrofonarray mäta avstånd och riktning till AUV:ns transponder.

I både USBL och SBL sänder AUV:n akustiska signaler och positionen beräknas externt och sänds därefter till AUV:n. Positionsinformation från det akustiska transpondersystemet används sedan för att korrigera för positionsfelen i farkostens interna navigationssystem.

I vissa områden finns även detaljerade bottenkartor tillgängliga (*Digital Terrain Models, DTM*) som kan användas för att förbättra estimeringen av AUV:ns position och orientering genom terrängnavigering (benämns ofta *terrain-based navigation* eller *terrain-aided navigation*). Då kan exempelvis en högupplöst syntetisk apertursonar användas för att estimerar en bottenkarta som jämförs med en tidigare uppmätt karta [52]. Denna typ av tekniker kan ge en hög positionsnoggrannhet och eliminera den feltillväxt över tiden som uppstår exempelvis vid tröghetsnavigering. De förutsätter dock att botten uppvisar en tillräcklig variation. En översikt av utvecklingen inom batymetribaserad terrängnavigering ges i [59].

Om detaljerad information om bottenpografin saknas kan även SLAM-tekniker (*Simultaneous Localization And Mapping*) appliceras där en bottenkarta byggs upp samtidigt som positionen estimeras. Då en AUV återkommer till samma område kan den använda den tidigare genererade kartan (med associerade positioner) till att förbättra sitt positionsestimat. Ett annat alternativ är att använda bottenkartor som en annan AUV har genererat under samma uppdrag,

men då tillkommer utmaningen att föra över dessa potentiellt stora datamängder mellan farkosterna. Sammantaget är bedömningen att tekniken medger positionering av AUV:er i operationer då aktiva sensorer kan användas.

Vid en dold minjakt som genomförs under en kustförsvarsoperation kan möjligheterna att använda akustiska transpondrar vara mer begränsade. Men sannolikt måste en AUV använda sina sonarer för att detektera och lokalisera minlika objekt, vilket innebär att de fortsatt bör kunna använda sig av terrängnavigering kombinerat med tröghetsnavigering som stöttas av DVL. Noggrannheten under framförallt långa operationer förbättras avsevärt om bottenkartor finns tillgängliga.

7.3.4.3 Navigeringstekniker vid framskjuten spaning

Vid framskjuten spaning är det dolda uppträdandet av kritisk betydelse vilket begränsar vilka sensorer och navigeringstekniker som kan användas under själva spaningsfasen av uppdraget samt under delar av förflyttningen till operationsområdet. Uppdraget kan pågå under en längre tidsperiod. Ett rimligt antagande är att farkosten aktiva akustiska sensorer inte bör användas mer än i begränsad omfattning. Aktiva sonarer kan komma att användas intermittent när farkosten är i ett område med exempelvis kända landmärken och då navigationssystemets noggrannhet är, eller riskerar att bli, otillräcklig. Basen för navigationssystemet utgörs då av ett TNS som stöttas av sensorer för mätningar av magnetfält och gravitationsfält. Det är då viktigt att de lokala variationerna kan hanteras på ett effektivt sätt. Kända variationer i dessa fält kan även användas som landmärken för att korrigera för feldriften.

Visuella kameror kan potentiellt användas för att på korta avstånd från havsbotten estimerar hastigheten (genom optiskt flöde) men det är osäkert hur de begränsade siktförhållandena i Östersjön påverkar denna möjlighet. Möjligen kan LiDAR användas för att kartera botten på korta avstånd med lägre risk för upptäckt än sonarer, vilket medför att SLAM-tekniker kan användas. I [60] diskuteras flygburen kartering av sjöbotten med grön laser där djupet där kartering kan göras bedöms vara mellan en till tre gånger siktdjupet.

Den här typen av uppdrag utgör en stor utmaning för navigationssystemet. Sannolikt krävs betydande riktade forskningsinsatser för att lösa de kvarstående utmaningarna.

7.3.5 Kommunikation

Visionen nationellt är att möjliggöra strid i samverkan mellan undervattenssystem, såsom ubåtar, AUV:er och utlagda sensorsystem, och ytenheter [61]. Detta kan endast realiseras med kommunikationssystem som har en hög tillgänglighet och tillräcklig datatakt.

Tabell 7.1: Sammanställning av egenskaper hos alternativa tekniker för undervattens-kommunikation. Räckvidder och dataakt för olika kommunikationslösningar är grova uppskattningar av vad som bedöms kunna realiseras under de närmaste åren.

Teknik	Datatakt	Uppskattad räckvidd	Kommentarer
Fiber	obegränsad	100–5000 m	Störsäker. Begränsar rörligheten.
Laser	1–10 Gbit/s	10–100 m	Påverkas av vattnets egenskaper. Goda smygegenskaper och svår att störa.
LED	10 Mbit/s	5–10 m	Minskade krav på peknoggrannhet.
Radio	10–100 Mbit/s	0,1 m	Kraftig dämpning av radiosignaler vid kommunikation genom vatten vilket ger korta räckvidder.
	1 Mbit/s	1 m	
Akustisk	100 kbit/s	0,5–1 km (inom- och utomskärs)	Liten tillgänglig bandbredd resulterar i låga dataakt. Långa fördröjningar pga ljudvågornas låga hastighet (som är ungefär 1500 m/s).
	10 kbit/s	10 km (utomskärs)	
	1 kbit/s	50 km (utomskärs)	
	100 bit/s	50–200 km (utomskärs)	

En ROV som är förankrad med en bemannad eller obemannad farkost kan kommunicera med denna med i praktiken obegränsad dataakt. Detta möjliggör att en operatör kan styra ROV:en och dess effektorer (t.ex. griparmar eller utplacering av laddningar för röjning av sjöminor) på distans utifrån realtidsinformation från dess olika sensorer. Möjligheterna att realisera ett kommunikationssystem med hög dataakt för en AUV är däremot kraftigt begränsade. Det har medfört att AUV:er istället utför uppdragen med en högre grad av autonomi i form av brytpunktsnavigering (förplanerade uppdrag) med möjlighet att automatiskt upptäcka och väja för hinder. Det ställer även högre krav på en AUV när det gäller intern bearbetning av sensordata (ofta benämnt *edge processing*) och lagring av data på plattformen.

Den dominerande kommunikationstekniken för AUV:er är idag akustisk kommunikation. I specifika scenarion kan andra tekniker vara användbara, exempelvis fri optisk laserkommunikation på korta avstånd genom vatten (från tiotals till storleksordningen hundra meter beroende på vattnets grumlighet) eller radiokommunikation då de befinner sig i ytläge eller nära ytan. En sammanfattning av de viktigaste egenskaperna för de olika kommunikationsalternativen för UUV:er ges i tabell 7.1.

7.3.5.1 Kommunikationsbehov

Kommunikationsbehoven för UUV:er kan delas upp i delområden (exempel):

- realtidsöverföring av rå sensordata från ROV för att ge en operatör en tillräckligt god lägesbild som medger direkt fjärrstyrning av farkosten och dess effektorer
- överföring av rå sensordata eller förprocesserad information från AUV till operatör för vidare analys och bearbetning

- utbyte av bearbetad sensorinformation mellan samverkande AUV:er (exempelvis vid bottenkartering för navigering eller minröjning) eller från ad hoc nätverk av undervattenssensorer
- överföring av styrkommandon till ROV
- självsynkronisering av uppdragsutförande mellan samverkande UUV:er
- överföring av målinformation från UUV till operatör
- ledning av AUV (t.ex.. ändringar i tilldelat uppdrag)

Ovanstående lista är grovt indelad efter uppskattat behov av datatakt. De uppskattade datatakterna som anges nedan är endast avsedda att ge läsaren en *indikation* om hur höga datatakt olika tjänster kan komma att behöva.

I ett flertal scenarion (exempelvis vid minjakt) kommer en AUV att kommunicera med operatören via en USV där länken mellan USV och operatör utgörs av radiokommunikation. Kommunikationsbehovet för UUV:er är starkt asymmetriskt. För styrning av en enkel ROV och dess sensorer och effektorer kan en informationsdatatakt på ca 5 kbit/s vara tillräcklig, medan avancerade ROV:ar med multipla sensorer och griparmar med sju frihetsgrader kan behöva datatakt upp till 100 kbit/s [25]. För att överföra en högupplöst videoström (1920×1080 pixlar med 30 bilder per sekund) till operatören anges att en datatakt på över 16 Mbit/s behövs, men en ROV anges kunna fjärrstyras även utifrån en högupplöst svart/vit videoström som komprimerad kräver under 3 Mbit/s [25].

Vid brytpunktsnavigering som genomförs nära realtid anges vidare att en lågupplöst videoström kan vara tillräcklig, med en maximal datatakt på 42 kbit/s. Det är sällan en AUV leds på det sättet men det kan eventuellt vara aktuellt om en hybrid ROV/AUV ska styras trådlöst på korta avstånd [25]. Statusinformation från en UUV kan vid behov överföras med datatakt på under 100 bit/s om sådan information ska överföras regelbundet.

Data från en modern högupplöst syntetisk apertursonar som Kongsbergs HiSAS 1030 kan genereras i en takt av 16 Mbit/s (60 Gbit/h).²¹⁷ Sådana datamängder kan endast överföras på mycket korta avstånd vilket medför att informationen antingen behöver bearbetas direkt på farkosten, så att endast detektioner och (eventuellt) ett begränsat detektionsunderlag direkt sänds till operatören, eller analyseras först efter genomfört uppdrag.

Viss information såsom vid fjärrstyrning av farkosten, överföring av målinformation och viss spaningsinformation har stringenta krav på låg fördröjning medan det för annan information kan räcka att den överförs efter det att uppdraget har slutförts (exempelvis bottenkartering i fredstid).

²¹⁷ www.kongsberg.com/globalassets/maritime/km-products/product-documents/high-resolution-interferometric-synthetic-aperture-sonar---hisas-1030

7.3.5.2 Radiokommunikation

Radiosignaler på kortvågsbandet och uppåt (över 3 MHz) dämpas kraftigt i saltvatten och dämpningen ökar snabbt med ökande frekvens. Datataktar på enstaka Mbit/s har dock demonstrerats på korta avstånd (enstaka meter) vid 433 MHz [62]. State-of-the-art radiomodem kan nå datataktar på 10-100 Mbit/s på avstånd upp till 10 cm och upp till en Mbit/s över en meter i havsvatten [25]. På lägre frekvenser når signalen djupare ned i vattenvolymen men endast låga datataktar kan realiseras och de kräver fysiskt stora landbaserade sändarsystem.

7.3.5.3 Fri optisk kommunikation

Fri optisk kommunikation begränsas vid undervattenstillämpningar av en kraftig dämpning av ljuspulserna. Sikten är starkt korrelerad med de räckvidder som kan nås vid optisk undervattenskommunikation. Siktsträckan i Östersjön varierar kraftigt, från två till arton meter, där medelvärdet är omkring åtta meter [63]. Siktsträckan är normalt längre under vintermånaderna [64].

På korta avstånd har mycket höga datataktar demonstrerats med fri optisk undervattenskommunikation men det förutsätter att smala ljusstrålar används. Datataktar på flera Gbit/s har demonstrerats över några tiotals meter. Räckvidden påverkas av vattnets turbulens, grumlighet, mängden solljus som når detektorn och den våglängd som används [65,66,25]. Räckvidden kan vara flera gånger längre än den visuella siktsträckan. LED-baserade (*Light Emitting Diode*) modem ger normalt en bredare stråle och därmed lägre datataktar (upp till 10 Mbit/s [25]) och räckvidd men reducerar de praktiska utmaningarna med att rikta en mycket smal laserstråle mellan mobila farkoster.

7.3.5.4 Akustisk kommunikation

Akustiska signaler kan färdas långa sträckor i vatten vilket gör hydroakustiska modem lämpliga för undervattenskommunikation. Ett typiskt värde för dämpningen av akustiska signaler i Östersjön vid 10 kHz anges vara 0,2 dB/km [61]. De unika hydroakustiska egenskaperna i Östersjön påverkar möjligheterna till akustisk undervattenskommunikation mellan AUV:er och mellan en AUV och bemannade eller obemannade ytfartyg. Dämpningen ökar med frekvensen på den akustiska signalen vilket begränsar den tillgängliga bandbredden, vilket i sin tur medför att de datataktar som kan realiseras är begränsade. En fördel är dock att dämpningen av den akustiska signalen i Östersjöns bräckta vatten är betydligt lägre, framförallt vid höga frekvenser, än i exempelvis Atlanten.

Följande utgör de primära utmaningarna vid akustisk undervattenskommunikation [67,25]: (i) liten effektiv bandbredd, (ii) långa fördröjningar, (iii) brus och (iv) den komplexa akustiska vågutbredningen. De hydroakustiska egenskaperna i Östersjön är komplexa och de orsakar en kraftig och varierande flervägsutbredning med ett i perioder mycket långt impulssvar (efterklangstiden), kraftig

frekvensselektiv fädning och rörelseinducerad Dopplerspridning. Dessa egenskaper är normalt gränssättande, snarare än det akustiska bruset. Kanalen varierar i både tid och rum, framförallt i grunda vatten, men variationerna är normalt mindre vertikalt jämfört med horisontellt. De akustiska brusnivåerna påverkar även kommunikationsmöjligheterna då ett stort antal fartyg normalt rör sig i Östersjön, samtidigt som naturliga effekter även orsakar ett akustiskt bakgrundsbrus.

En utmaning med akustisk undervattenskommunikation på längre avstånd är de långa fördröjningar som uppstår då ljudets hastighet genom vattnet är ca 1500 m/s. Detta har även en stor påverkan på utvecklingen av anpassade nätverks-algoritmer [67]. EDA-projektet SALSA utvecklar kommunikationslösningar för nätverk av undervattenssensorer där AUV:er används som mobila reläknoder för kommunikation [33].

Kommunikationsräckvidderna är vid akustisk undervattenskommunikation långa i jämförelse med alternativen. I [25] ges en sammanställning av kommersiella modem och deras prestanda. Räckviddskraven är dimensionerande för vilket frekvensområde som används och en avvägning behöver normalt göras mellan dataakt och räckvidd. På avstånd kortare än 500 m används ofta bärvågs-frekvenser över 40 kHz där existerande kommersiella modem kan ge dataakter mellan 2 (horisontellt) och 30 kbit/s (vertikalt), medan modem som använder bärvågsfrekvenser under 12 kHz designas för räckvidder över 4 km men har dataakter på enstaka kbit/s (horisontellt). Dessa siffror är dock generella för kommunikation i hav och inte specifikt i Östersjön där förhållandena i många aspekter är annorlunda. Språngskikten i Östersjön kan i vissa situationer fungera som vägledare så att räckvidderna ökas kraftigt, men det förutsätter att både sändare och mottagare befinner sig i samma skikt.

Inom den militära domänen har fokus tidigare i huvudsak varit mot långräck-viddig kommunikation med ett fåtal kbit/s som kan stödja talkommunikation och överföring av mindre datamängder som tillåter överföring av måldata och textmeddelanden. Även smygpassad akustisk undervattenskommunikation har studerats [67]. Akustisk kommunikation på avstånd över 100 km har demonstrerats [61]. Dataakterna var dock begränsade, endast några hundratal bitar/s. FOI har även genomfört försök där 100 kbit/s nåddes på avstånd av 700 meter när en bärvågsfrekvens på 170 kHz användes [61]. En realistisk bedömning baserat på nuvarande kunskapsläge är att robust överföring av några kbit/s förväntas kunna genomföras på avstånd över 10 km på operativa farkoster. FOI har anpassat utvalda delar av de utvecklade metoderna för integration ombord på marinens plattformar. Fokus i forskningen har på senare tid delvis ändrats för att matcha behoven från mindre batteridrivna farkoster och undervattenssensorer, vilket medfört ett behov av robusta men energisnåla algoritmer med låg komplexitet [67].

Forskningen inom akustisk undervattenskommunikation fokuserar bland annat på utvecklingen av kommunikationsmodem anpassade för svåra kanalförhållanden. Noderna implementeras då med olika förmågor med avseende på frekvensband, datatakt, modulationsteknik, energiförbrukning etc. Adaptiva modem, där modemerna automatiskt anpassar valet av algoritmer utifrån sändaren och mottagarens möjligheter och rådande förutsättningar, utgör en kritisk teknik.

FOI:s forskning har fokuserat på en teknik i det fysiska lagret som benämns *Single Carrier Turbo Equalization*. En av fördelarna är att tekniken ger möjlighet att utnyttja flervägsutbredningen utan behov av en returkanal [61]. Nackdelen är den höga komplexiteten och resulterande energiförbrukningen i mottagaren. En alternativ teknik som studeras internationellt är en bandspridningsteknik benämnd *Frequency Repetition Spread Spectrum* som utvecklats av FFI och TNO. Denna metod används bland annat i EDA-projektet SALSA där Saab och FOI deltar [33]. FOI har även utvecklat en robust modifierad MFSK-modulation (*Multiple Frequency Shift Keying*) avsedd för svåra kanalförhållanden [67].

En annan forskningsinriktning rör utvecklingen av protokoll för ad hoc nät. *Cross-layer design*, där det fysiska lagret och access-, ruttvals- och transport-protokollen designas på ett integrerat sätt, bedöms vara en viktig faktor för att öka prestanda och energieffektivitet [67-69]. Även kommunikationsnätverk specialiserade för olika typer av uppgifter, exempelvis målspaning, är under utveckling.

Interoperabilitet är även en viktig aspekt i militära applikationer. Kommersiella modem använder typiskt proprietära protokoll och öppna, standardiserade protokoll har saknats. Nato CMRE (*Centre for Maritime Research & Experimentation*) har därför utvecklat en vågform för akustisk undervattenskommunikation, benämnd JANUS, som blev Natostandard år 2017.²¹⁸ Den är öppen och tillgänglig för civila organisationer och förhoppningen är att det ska leda till en ökad interoperabilitet mellan utrustning från olika leverantörer och därmed även mellan nationer [70]. Den är dock primärt utvecklad för att vara enkel att implementera vilket till viss del sker på bekostnad av prestanda. Ett användningsområde är som första kontakt för att etablera ett samband mellan utrustning från olika leverantörer, där de kan komma överens om att använda alternativa vågformer som båda modemerna har implementerade.

7.3.6 Energi- och framdrivningssystem

Användningsområdena för autonoma undervattensfarkoster begränsas idag av plattformarnas energi- och framdrivningssystem. Ett flertal intressanta förmågor är ännu inte möjliga att realisera utifrån existerande plattformars begränsningar i uthållighet, räckvidd och hastighet. Det finns en inbyggd avvägning mellan

²¹⁸ www.nato.int/cps/en/natohq/news_143247.htm

hastighet och räckvidd, där energiförbrukningen ökar snabbt med hastigheten, vilket en autonom undervattensplattform behöver ta hänsyn till i sin uppdragsplanering.

Vid utvecklingen av framtida AUV:er finns möjligheten att optimera dess energi- och framdrivningssystem, och på så sätt dess hastighet och räckvidd, genom att anpassa dem för olika typer av uppdrag. Ett framdrivningssystem är normalt optimerat för en viss hastighet där energiförbrukningen som funktion av förflyttad sträcka är som lägst. Det kan exempelvis vara uppdrag där farkosten är avsedd att operera i miljöer där motståndaren bedöms ha begränsade möjligheter att identifiera farkosten med sonar eller avancerade mätstationer. UUV:er som är avsedda att operera i hastigheter omkring 10-15 knop behöver inte vara viktneutrala och drivlinan kan i detta scenario tillåtas utsöndra ett visst buller. Detta medför att farkosten kan ha en högre densitet än det omgivande vattnet och den kan då ta med mer energi och en starkare motor, vilket ökar plattformens uthållighet och räckvidd. Friktionsmotståndet i vattnet är dock högre för dessa plattformar vilket delvis reducerar den möjliga räckviddsökningen.

Andra typer av uppdrag förutsätter istället goda smygegenskaper. Långsamtgående undervattensfarkoster som opererar i 2-6 knop behöver vara i princip viktneutrala för att de ska kunna operera dolt med goda smygegenskaper. En långsamtgående farkost har en betydligt lägre energiförbrukning och därmed en längre uthållighet, men den begränsas av att den bör vara viktsneutral vilket begränsar dess energitillgång. Dessa två olika typer av uppdrag medför väldigt olika krav på energisystemet ombord. Även plattformens storlek är avgörande vid valet av energilagrings- och framdrivningsmetod samt egenskaperna för energilagringen och omsättningen av energin. Storleken på de autonoma farkosterna varierar från ett fåtal kubikdecimetrar till tiotals kubikmetrar (XLUUV).

Den torpedformade Bluefin-21 bedöms ha en energiförbrukning i storleksordningen 0.6 kWh [16]. I standardkonfigurationen är Bluefin-21 utrustad med nio 1.5 kWh litumpolymerbatterier vilket vid 3 knops förflyttning anges ha en uthållighet på 25 timmar med normal nyttolast.²¹⁹ Detta ger en räckvidd på 75 nautiska mil (ca 140 km). Räckvidden påverkas dock starkt av hastigheten.

För att exemplifiera hur räckvidden påverkas av hastigheten antas en generisk UUV med en diameter på 320 mm som är ca 2,5 m lång, vari ett batteri med 475 battericeller av typen 21700 kan installeras. Energiförbrukningen avgörs vid högre hastigheter huvudsakligen av vad som krävs för framdrivningen av farkosten men även sensorer och tillhörande elektronik och signalbehandling påverkar energiförbrukningen. Ju långsammare farkosten färdas desto större

²¹⁹ gdmmissionsystems.com/products/underwater-vehicles/bluefin-21-autonomous-underwater-vehicle

inverkan har energiåtgången i exempelvis sensorer och navigeringssystemet på farkostens räckvidd. Det är dock svårt att noggrant uppskatta energiåtgången för navigering och sensorer då alla sensorer inte behöver vara aktiverade under transport.

I tabell 7.2 ges en approximativ jämförelse av hur räckvidden försämras med en ökande hastighet. De relativa räckviddsskillnaderna är av primärt intresse i denna jämförelse då alla förlusttermer inte är inräknade. Räckvidden bedöms utifrån den pågående teknikutvecklingen kunna förbättras med upp till en faktor tre inom 10 till 15 år. En kritisk aspekt när det gäller energisystemet för AUV:er är även säkerhetsaspekterna där undervattensoperationer ställer särskilda krav. Detta gäller både batteriteknik och bränsleceller.

7.3.6.1 Energilagring

Utvecklingen av tekniker för lagring av energi är intensiv och den drivs främst av civila aktörer, exempelvis bilindustrin. Det finns inbyggda avvägningar rörande olika tekniker, främst när det gäller vikt kontra volym. Bränsleceller har en hög energitäthet (per viktenhet) men kräver en relativt stor volym. För större UUV:er, där batterivolymen överstiger 50 dm³ (50 liter), kan bränsleceller ge möjlighet att öka räckvidden med två till fem gånger jämfört med traditionella litium-jonbatterier.²²⁰

7.3.6.1.1 Batteriteknik

Engångsbatterier (primära battericeller) av typen litiumtitylklorid har den högsta energitätheten (upp till 650 Wh/kg respektive 1280 Wh/dm³), samtidigt som de har en överlägsen hållbarhet och tillförlitlighet. De används exempelvis i torpeder (Frankrikes torped MU90) och räckvidden fördubblas jämfört med litium-jonbatterier, men laddningsbara batterier är önskvärda i UUV:er.

För laddningsbara batterier (sekundära battericeller) så varierar energitätheten beroende på konfiguration. Högst energitäthet har idag litium-jonbatterier med s.k. *pouchceller* som ligger på drygt 300-400 Wh/kg. Energitätheten för runda battericeller av typen 21700 ligger som jämförelse i storleksordningen 250Wh/kg. Utvecklingen inom sekundära battericeller bedöms kunna leda till en fördubbling av energitätheten till år 2030. Informationen baseras bland annat på [71,72].

Tabell 7.2: Approximation av hur räckvidden kan påverkas av farkostens hastighet.

Hastighet [knop]	5	10	15	20
Räckvidd [km]	100	70	50	33

²²⁰ www.teledynees.com/our-products/energy-storage/a-study-on-uuv-fuel-cells

Metall-luftbatterier [73,74] består av en anod i metall samt en katod bestående av en protisk elektrolyt samt luft. De har en teoretiskt hög potential när gäller energilagringstäthet. När batteriet laddas ur så sker en reduktion vid luftkaten samtidigt som metallen vid anoden oxideras. Litium-luftbatterier har en teoretisk energitäthet på 5928 Wh/kg, samt en hög cellpotential på 2.96V. Även Aluminium-luftbatterier har en hög teoretisk energidensitet (4300 Wh/kg). När det gäller framtidens energisystem för autonoma undervattensfarkoster så kan metall-luftbatterier utgöra en kritisk komponent som möjliggör att systemen kan få en bredare militär användning då farkosterna kan operera längre tid och färdas längre sträckor.

7.3.6.1.2 Bränsleceller

Vid val av ett bränslecellsystem bör beaktas att gaserna från bränslecellerna inte skall generera kvävgas som då ger spår på vattenytan, till skillnad från koldioxid som om den inlöses perfekt inte lämnar något spår efter sig. Ammoniakbaserade bränsleceller är därmed olämpliga för undervattensändamål. För mindre farkoster är det svårt att räkna hem ett bränslecellsystem utan farkosten behöver ha en viss storlek för att bränsleceller ska utgöra ett attraktivt alternativt. Det finns flera typer av bränslecellssystem baserade på vätgas, där vätgasen antingen förvaras i en trycktank, inkorporerat i en metallhydrid eller som ett bränsle (vanligast är då metanol). Vätgas är bulkigt och behöver förvaras i en trycktank under högt tryck. En trycktank på 25 liter och 200 bar med vätgas innehåller ca 50MJ energi och till det behövs en syrgastank. Storleken på ett bränslecellsystem avgörs av det maximala energiuttaget, dvs farkostens högsta hastighet. I ubåtar så integrerar både Tyskland och Frankrike ett AIP-system (*Air-Independent Propulsion*) baserat på bränsleceller och reformeringsanläggning. Storleken på anläggning bedöms vara ca 400-500 kubikmeter vilket utgör närmare 25% av ubåten's volym. I dagsläget skulle ett AIP system baserat på bränsleceller, reformeringsanläggning och tankar utgöra ca 25-50% av en UAV:s volym om den är några tiotalskubikmeter. För stora undervattensfarkoster (tiotals kubik) kan det inom 10 till 20 år bli ekonomiskt möjligt att införa sådana system. Storleken och effektiviteten för en reformeringsanläggning utvecklas kontinuerligt samtidigt som kostnaden reduceras.

7.3.6.1.3 Hybridsystem

För att hålla ner storleken på energisystemet men ändå uppnå delar av fördelarna med bränsleceller kan de kombineras med batterier. I sådana hybridsystem kopplas batterisystemet in när energiuttaget (hastigheten) överstiger det som bränslecellsystemet kan leverera. Över en viss storlek på undervattensfarkost så kommer ett hybridsystem baserat på bränsleceller ge högst energitäthet. Brytgränsen när det gäller plattformens storlek för när hybridsystem kan bli aktuella är dock fortfarande oklar.

7.3.6.2 Bottenplacerade dockningsstationer

Den autonoma farkostens volym och vikt förväntas även i ett tioårsperspektiv begränsa möjligheterna att utföra vissa uppdrag då uthållighet och hastighet för framförallt mindre AUV:er bedöms utgöra begränsningar. I vissa scenarion, som vid övervakning av kritisk infrastruktur som hamnar och basskydd, kan uthålligheten istället förbättras genom att bygga upp nätverk av fasta eller temporära dockningsstationer under ytan [75,76]. Dockningsstationerna är avsedda att fungera som laddningsstationer och kommunikationsnoder. Dockningsstationen strömförsörjs från land och kommunikationen går via fiber, vilket medför att en AUV kan överföra sin information med närmast obegränsad dataakt och med låg fördröjning. Strömförsörjningen kan även på korta avstånd ske kontaktlöst varvid laserkommunikation kan användas för att med hög dataakt överföra sensordata till kommunikationsnoden. Inom SMaRC utgör användningen av dockningsstationer en komponent i de övervakningsscenarion som utvecklas för civil säkerhet. I SMaRC studeras exempelvis tekniker för dockning av AUV samt hybridtekniker för energiförsörjning.²²¹

Det bedöms i närtid vara möjligt att skapa ett nätverk av fasta framskjutna laddningsstationer inomskärs. Det finns flera exempel på sådana system²²², exempelvis REMUS dockningssystem, FAU dock [77], Eurodocker²²³, MBARI²²⁴ etc. Systemen är anpassade för oceanografi och de har brister som gör dem olämpliga för försvarets ändamål. Följande preliminära kravbild bör adresseras i den fortsatta utvecklingen av dockningsstationer:

- möjlighet att ladda farkosten med kontakt eller induktion,
- ta emot data krypterad som länkas till mätstation, även trådlöst,
- möjlighet att ta emot olika typer och storlekar av farkoster, från olika riktningar,
- långa underhållsintervall.

Då botten runt dockningsstationerna kan karteras i förväg så kan SLAM-baserade navigeringstekniker användas i samband med dockning, vilket möjliggör en hög noggrannhet i estimatet av plattformens position och orientering. Ett annat alternativ kan vara att i dockningsstationen integrera elektroniska fångstarmar som aktiveras då farkosten signalerar på ett förutbestämt sätt.

Den finns även mobila dockningsstationer som tillfälligt under ett uppdrag kan placeras som en fast bas på botten där den autonoma farkosten kan docka (laddning och dataöverföring). En AUV kan även agera som en mobil

²²¹ kth.diva-portal.org/smash/get/diva2:1472046/FULLTEXT05.pdf

²²² www.techxplore.com/news/2020-10-underwater-robots-autonomously-dock-mid-mission.html

²²³ www.cordis.europa.eu/project/id/MAS3970084/de

²²⁴ www.mbari.org/autonomous-underwater-vehicle-docking/

laddningsstation och kommunikationsnod som söker upp fasta eller tillfälligt utplacerade sensorer och laddar dessa samt överför krypterad data när den passerar förbi.

8 Slutsatser

Utvecklingen av obemannade system som kan stödja olika sjöstridsuppgifter är intensiv. Omfattande experimentering genomförs internationellt av ett stort antal marinstridskrafter. Obemannade system bedöms under en lång tid framöver emellertid endast kunna utföra en delmängd av de uppdrag som bemannade fartyg normalt utför. Obemannade farkoster bedöms dock skapa möjligheten att frigöra de till antalet begränsade bemannade farkosterna så att de kan utföra de mer avancerade uppgifterna. Det är troligt att obemannade farkoster för vissa uppdrag har potentialen att leverera en högre operativ effekt till en lägre kostnad jämfört med bemannade farkoster. Fördjupade analyser behöver dock genomföras i syfte att utvärdera vilka operativa uppgifter som obemannade system kan utföra på ett kostnadseffektivt sätt.

8.1 Övergripande slutsatser

Obemannade farkoster bedöms ha potentialen att möjliggöra exempelvis:

- operationer i miljöer, väderförhållanden och scenarion där bemannade system av olika orsaker har svårt att verka,
- en snabbare styrketillväxt,
- ökad säkerhet (ökat *stand-off* avstånd för bemannade enheter),
- ökat risktagande i exempelvis operationer i avreglingsscenarion, och
- att personal och fartyg lösgörs från rutinuppgifter och istället kan utföra mer avancerade uppgifter.

Den viktigaste förmåga som behöver tillföras för obemannade farkoster som opererar ovan ytan är möjligheten att agera i konflikter mot en kvalificerad motståndare med avancerade telekrigssystem. Det förutsätter störsäkra kommunikations- och navigationssystem, i kombination med en ökad grad av autonomi och eget beslutsfattande gällande hur ett uppdrag utförs i kommunikationsbegränsade scenarion. Utifrån den hotbild som förväntas vid en eventuell konflikt mot en kvalificerad motståndare utgör även förmågan att neutralisera, eller i utvalda områden kraftigt reducera, motståndarens obemannade spanings- och målinmätningssystem en kritisk faktor.

En heterogen sammansättning av samverkande plattformar bedöms även vara en nyckelfaktor för att nå den fulla potentialen med obemannade farkoster. Det gäller exempelvis minröjning där olika koncept utvecklas för minsvepning och minjakt med kombinationer av obemannade yt-, undervattens och flygande farkoster (USV, UUV och UAV). En USV utgör i detta scenario en central enhet då den kan agera som moderplattform för både UAV och UUV, samt länka kommunikation mellan AUV:er och bemannade fartyg.



Figur 8.1: Estimerad tidslinjal för när tekniken bedöms vara tillräckligt mogen för att kunna realisera olika förmågor. Ju längre tidshorisont, desto större är risken att en realisering skjuts framåt i tiden. Nedanför tidslinjalen ges exempel på när olika typer av vapensystem bedöms kunna vara integrerade på USV:er. Bedömningen baseras på den förväntade internationella teknikutvecklingen.

I figur 8.1 ges en översiktlig bedömning av när tekniken förväntas medge att olika förmågor kan realiseras. Bedömningen baseras på den förväntade teknikutvecklingen internationellt som beskrivs i kapitel 6 och 7. Notera att även andra aspekter än de tekniska förväntas påverka tidslinjalen för när nya dylika förmågor kan införas operativt av den svenska marinen. Stor osäkerhet råder fortfarande rörande hur obemannade system ska användas (operativa koncept och taktik och metod) för att nå en god operativ effekt, och vilka av dessa uppdrag som de kan utföra kostnadseffektivt, i en svensk kontext. Fördjupade studier och experimentering bör genomföras, dels för att utvärdera teknikens mognadsgrad inom för marinen intressanta användningsområden och dels för att utveckla operativt effektiva användningskoncept. Ett aktivt deltagande från marinen är viktigt i detta arbete. Även förändringar i regelverk och behov av förändringar i exempelvis organisation, utbildning och personal har en avgörande betydelse för när nya förmågor kan finnas realiserade.

Internationella samarbeten kan ge möjlighet att snabbare och till en lägre kostnad utveckla nyckelteknologier eller prototypfarkoster för experimentering, och för att utveckla användningskoncept och utvärdera hur obemannade system kan användas för att ge en önskad operativ effekt.

8.2 UAV

UAV:er används internationellt på flera olika ledningsnivåer i en alltjämt växande omfattning. De har en stor potential inom framförallt spanning, övervakning och långgräckviddig målinmätning (inklusive för amfibieförband),

samt som kommunikationsrelä och telekrigsnoder. De används även för direkt bekämpning. De kan även komma att utvecklas till delsystem som används vid ubåtsjakt.

Teknikutvecklingen ser ut att skapa möjligheter för stationering av mindre taktiska hybrid-UAV:er, med förmåga att starta och landa vertikalt, på marinens fartyg. Integrationsaspekterna kan visa sig bli avgörande för ett eventuellt framtida införande av taktiska UAV:er. För operationer i Östersjön kan även landbaserade UAV:er utgöra ett alternativ, där ledning av farkosten och analys av sensorinformationen kan utövas direkt från marina plattformar.

Ett möjligt användningsområde är även territorialövervakning där en UAV har potential att ge förmåga till uthållig övervakning och möjliggöra tidig upptäckt av små mål och mål på låg höjd [78].

8.3 USV

Endast ett fåtal nationer använder idag obemannade ytfarkoster operativt. Utveckling och operationell experimentering genomförs internationellt med ökande intensitet. Utvecklingen inom medelstora USV:er är intensiv och de utrustas med stabiliserade vapenstationer och integrerad bekämpningsförmåga mot framförallt ytmål men till viss del även mot undervattens- och luftmål. Inriktningen är mot generella plattformar med möjlighet att bära modulära, uppdragsanpassade nyttolaster.

Ett annat utvecklingsspår, som främst bedöms vara av intresse för de större sjöfartsnationerna, är även riktat mot utvecklingen av stora USV:er som är avsedda främst som sensorbärare men även ska kunna användas för till exempel vilseledning. De kan även komma att utvecklas mot magasinsfartyg som utrustas med ett stort antal (hundratals) fjärravfyrate kryssningsmissiler mot sjö- och landmål.

Det bedöms finnas en stor orealiserad potential med USV:er. Deras uthållighet, räckvidd, hastighet, förmåga att operera under svårare väderförhållanden och möjlighet att bära tung nyttolast möjliggör på sikt ett flertal nya användningsområden inom MCM, spaning, övervakning och målinmätning, logistik, ubåtsjakt, ytstrid, *force protection* och underrättelseinhämtning. Ett operativt införande av USV:er förutsätter förändringar i de nationella och internationella regelverken.

8.4 AUV

Obemannade undervattensfarkoster har använts operativt i en relativt stor omfattning, främst för fredstida hydrografiska mätningar, bottenkartering och minröjning. Energisystemen bedöms begränsa hastighet, räckvidd och

lastförmåga på existerande farkostklasser (lätt till tung AUV) även inom en tioårsperiod. Kritiska deltekniker vidareutvecklas dock kontinuerligt vilket bedöms leda till en kontinuerligt ökad användning av framförallt lätta och tunga AUV:er i liknande uppdrag som idag inom marinstridskrafterna internationellt.

I jämförelse med andra obemannade farkoster utgör möjligheten att operera dolt den största fördelen med AUV:er. Det gäller exempelvis i form av dold minjakt, undervattenskartering samt informationsinsamling och spaning (dock med begränsningar i närtid pga bristande autonomi och uthållighet). Möjligheterna att med AUV:er uppfylla nya förmågor bedöms dock i dagsläget vara mer osäker i ett kort och medellångt perspektiv då det förutsätter en omfattande utveckling inom flera kritiska deltekniker (exempelvis energisystem, navigering, kommunikation och autonomi).

Utvecklingen inom stora AUV:er (XLUUV och LDUUV) har dock potentialen att på längre sikt möjliggöra nya förmågor som dold minläggning, framskjuten spaning och målinmätning samt ubåtsjakt. En sådan utveckling förutsätter dock att betydande utvecklingsresurser allokeras främst när det gäller farkostutveckling och autonomt uppdragsutförande. Autonomi för att genomföra dessa uppdrag bedöms ta lång tid att utveckla och de bedöms inte bli operativt effektiva förrän om åtminstone 10 till 20 år.

Referenser

- [1] J. Rantakokko, *Tekniköversikt autonoma och obemannade system – Del 1: Historik*, FOI-R--4680--SE, december 2018.
- [2] *Anatomy of a "Drone Boat" - A water-borne improvised explosive device (WBIED) constructed in Yemen*, Conflict Armament Research (CRA), December 2017.
- [3] *En marin för Sverige*, Kungliga Örlogsmannasällskapet (KÖMS), 2018.
- [4] Försvarsmakten, *Taktikreglemente för marinstridskrafterna (TRM 1)*, M7739-353024, december 2010.
- [5] G. Kindvall och Å. Wiss, *Militärteknik i ett tjugoförårigt perspektiv – Underlag till Försvarsmaktens perspektivstudie 2017*, Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI-R--446--SE, november 2017.
- [6] J. Rantakokko, F. Näsström, J. Nygårds, K. Bengtsson och R. Woltjer, *Tekniköversikt autonoma och obemannade system – Del 2: Markstriden*, FOI-R--4901--SE, november 2019.
- [7] F. Hesselmann, *Framtidens amfibiebataljon*, Tidskrift i Sjöväsendet (TiS), Kungliga Örlogsmannasällskapet (KÖMS), Nr. 5, 2019.
- [8] G. Möller, *Bottenkartering och taktiska kartor – en förutsättning för effektiv strid till sjöss*, Tidskrift i Sjöväsendet (TiS), nr. 2, 2019.
- [9] *Military Unmanned Systems Handbook – Issue 28*, Shephard, maj 2020.
- [10] B. Martin, D.C. Tarraf, D.C. Whitmore, J. DeWeese, C. Kennedy, J. Schmid och P. DeLuca, *Advancing autonomous systems: An analysis of current and future technology for unmanned maritime vehicles*, RAND Corporation, 2019.
- [11] Försvarets Materielverk, *Teknisk Und orienterar*, Årgång 20, Nr 5. 2019-10-28.
- [12] Y. Robinson (red.) och M. Garcia Lozano (red.), *AI och framtidens försvarsmedicin*, Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI-R--5045--SE, november 2020.
- [13] A. Williams (red.) och P. Scharre (red.), *Autonomous systems - issues for defence policymakers*, Technical Report, NATO Allied Command Transformation, 2015.
- [14] S. Savitz, et al., *U.S. Navy employment options for unmanned surface vehicles (USVs)*, RAND Corporation, 2013.
- [15] Z. Liu, Y. Zhang, X. Yu och C. Yuan, "Unmanned surface vehicles: An overview of developments and challenges," *Proceedings of Annual Reviews in Control*, maj 2016.
- [16] Scoping Review for Swedish Naval Underwater Autonomy, QinetiQ, QINETIQ/20/01682, maj 2020.
- [17] Study report on unmanning of systems, *NORDEFCO Cooperation Area Capability (COPA CAPA)*, februari 2017.
- [18] R. O'Rourke, *China naval modernization: Implications for U.S. Navy capabilities – background and issues for Congress*, Congressional Research Service (CRS), RL33153, maj 2020.
- [19] Försvarets Materielverk, *Ryska AUV-system*, Teknisk Und orienterar, februari 2018.
- [20] R. O'Rourke, *Navy large unmanned surface and undersea vehicles: Background and issues for Congress*, Congressional Research Service (CRS), R45757, december 2019.
- [21] A. Musco Eklund, *Meaningful Human Control of Autonomous Weapon Systems: Definitions and Key Elements in the Light of International Humanitarian Law and*

- International Human Rights Law*, Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI-R--4928--SE, februari 2020.
- [22] M. Lokrantz och L. Jönsson, *Smarta fartyg – en självkörande sjöfartsmarknad utan hinder?*, Transportstyrelsen Dnr TSS 2019-3964, oktober 2019.
 - [23] J.-O. Lindh, "Safety aspects of unmanned maritime system operations", *IEEE/ICES Workshop on Safety and Security for Autonomous Systems*, januari 2017.
 - [24] W. Prender, "The case for unmanned surface vehicles in future maritime operations", *Unmanned maritime systems topic week*, maj 2019.
 - [25] F. Campagnaro, A. Signori och M. Zorzi, "Wireless remote control for underwater vehicles," *Journal of Marine Science and Engineering*, september 2020.
 - [26] Ø. Midtgaard och M. Nakjem, "Unmanned systems for stand-off underwater mine hunting", *Proc. of Undersea Defence Technology (UDT)*, juni 2016.
 - [27] D. Klein, *Unmanned Systems & Robotics in the FY2019 Defense Budget*, AUVSI, augusti 2018.
 - [28] *Militær Teknikk*, Norwegian Defence and Security Industries Association (FSI), 2-3 2018.
 - [29] R. Scott, *Stand-off and deliver: French/UK MMCM programme charts an unmanned course into the minefield*, Jane's Navy International, 2016.
 - [30] M. Eckstein, *Pentagon Leaders Have Taken Lead in Crafting Future Fleet from Navy*, USNI News, juni 2020. (news.usni.org/2020/06/24/pentagon-leaders-have-taken-lead-in-crafting-future-fleet-from-navy)
 - [31] US DoD Budget Request 2021.
(www.defense.gov/Newsroom/Releases/Release/Article/2079489/dod-releases-fiscal-year-2021-budget-proposal/)
 - [32] U.S. Department of Defense, *Unmanned Systems Integrated Roadmap FY2017-2042*, augusti 2018.
 - [33] H. Dol, "EDA-SALSA: Towards smart adaptive underwater acoustic networking," *Proc. of OCEANS 2019*, Marseille, France, juni 2019.
 - [34] P. Small, Unmanned Maritime Systems Update, *Surface Navy Association (SNA) 2020 National Symposium*, januari 2020.
(www.navsea.navy.mil/Portals/103/Documents/Exhibits/SNA2020/SNA2020-UnmannedMaritimeSystems-CaptPeteSmall.pdf?ver=2020-01-17-113450-350)
 - [35] M. Eckstein, *Textron's Common USV Ready for Production, Experimenting with Lethal Surface Warfare Payloads*, USNI News, januari 2020.
(news.usni.org/2020/01/22/textrons-common-usv-ready-for-production-experimenting-with-lethal-surface-warfare-payloads)
 - [36] M. Eckstein, *One Year In, SURFDEVIRON Ready to Speed Up At-Sea Testing, Prototype Deliveries*, USNI News, juni 2020. (news.usni.org/2020/06/15/one-year-in-surfdevron-ready-to-speed-up-at-sea-testing-prototype-deliveries)
 - [37] M. Eckstein, *Navy, Industry Pursuing Autonomy Software, Reliable HM&E Systems for Unmanned Ships*, USNI News, januari 2020. (news.usni.org/2020/01/31/navy-industry-pursuing-autonomy-software-reliable-hme-systems-for-unmanned-ships)
 - [38] P. Scharre, *Robotics on the Battlefield Part II: The Coming Swarm*, Center for A New American Security (CNAS), oktober 2014.
 - [39] J. Rands, *MAPLE C2 system expands exploitation possibilities*, HIS Jane's, oktober 2019.

- [40] S. Bendett, S. Blank, J. Cheravitch, M. B. Petersen och A. Turunen, *Improvisation and Adaptability in the Russian Military*, Center for Strategic and International Studies (CSIS), april 2020. (www.jstor.com/stable/resrep24241.9)
- [41] S. Bendett, *Major Trends in Russian Military Unmanned Systems Development for the Next Decade*, Mad Scientist Laboratory Blog, januari 2020. (madsciblog.tradoc.army.mil/204-major-trends-in-russian-military-unmanned-systems-development-for-the-next-decade/)
- [42] B. Brenner, *Nygammal aktör återtar marin närvaro i östra Medelhavet: Reflektioner kring spänningsläget och dess regionala implikationer*, Tidskrift i Sjöväsendet (TiS), nr 3, s.218-222, 2020.
- [43] X. Vasseur, *Russia's Forpost UAV Designates Naval Targets During Black Sea Fleet Maneuvers*, NavalNews, augusti 2020. (www.navalnews.com/naval-news/2020/08/russias-forpost-uav-designates-naval-targets-during-black-sea-fleet-maneuvers/)
- [44] L.W. Grau och C.K. Bartles, *The Russian Reconnaissance Fire Complex Comes of Age*, Changing character of war center, Pembroke College, University of Oxford, maj 2018.
- [45] P. Olsson, *Kinas militära modernisering: Utvecklingen av PLA:s militära materiel*, Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI MEMO 6776, juni 2019.
- [46] M.S. Chase, K.A. Gunness, L.J. Morris, S.K. Berkowitz och B.S. Purser III, *Emerging trends in China's development of unmanned systems*, RAND Corporation, 2015.
- [47] X. Wang, X. Song och L. Du, "Review and application of unmanned surface vehicles in China," *Proc. of 5th International Conference on Transportation Information and Safety*, Liverpool, juli 2019.
- [48] J. Lin och P.W. Singer, *China is building the world's largest facility for robot ship research*, Popular Science, februari 2018. (www.popsoci.com/china-world-largest-facility-robot-ship-research/)
- [49] E.B Kania, *China's rise in Artificial Intelligence and future military capabilities*, Battlefield singularity: Artificial Intelligence, military revolution and China's future military power, Center for a New American Security, 2017.
- [50] *Sea sentinels: Chinese unmanned systems gain traction*, Jane's International Defence Review, 2018.
- [51] Teknisk Und Årsrapport 2019, FMV, 2020.
- [52] J. Rantakokko, J. Nygård, A. Pettersen, O.K. Hagen och T. Saarelainen, *Study report on unmanning of systems – Robust Navigation*, NORDEFCO, april 2019.
- [53] J. Rantakokko, J. Nygård, J. Rydell, E. Axell och N. Stenberg, *Tekniker för navigering i urbana och störda GNSS-miljöer – Slutrapport*, FOI-R--4907--SE, december 2019.
- [54] D. Sandmark, *Navigation strategies for improved positioning of autonomous vehicles*, M.Sc. Thesis, Linköpings Universitet, augusti 2019.
- [55] K. Gudmundsson, *Ground Based Attitude Determination Using a SWIR Star Tracker*, M.Sc. Thesis, Linköping University, juni 2019.
- [56] G. Eriksson, P. Holm, A. Hansson, J. Nilsson och J. Rantakokko, *Robust och störtålig kommunikation för obemannade farkoster – utmaningar och möjligheter*, FOI-R--4895--SE, december 2019.

- [57] B. Nilsson, P.-A. Karlsson, I. Karasalo, M. Lundberg Nordenvaad och E. Parastates, *Active sonar methods – Bistatic sonar, syntethic aperture sonar and space-time adaptive processing*, Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI-R--2407--SE, november 2007.
- [58] O.K. Hagen, From pressure to depth – estimation of underwater vertical position, *Havbunnskartlegging og Inspektion*, februari 2008.
(www.navlab.net/Publications/From_Pressure_to_Depth_-_Estimation_of_underwater_vertical_position.pdf)
- [59] J. Melo och A. Matos, "Survey on terrain based navigation for autonomous underwater vehicles," *Journal of Oceanic Engineering*, vol. 139, 2017.
- [60] H. Olsson et al, *Flygburen laser och digitala bilder för kartering och övervakning av akvatisk och terrester miljö*, Naturvårdsverket, rapport 6633, december 2014.
- [61] A. Komulainen, B. Nilsson, J. Nilsson, E. Sangfelt och T. Öberg, *Undervattenskommunikation 2011-2014, Slutrapport*, Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI-R--4024--SE, 2014.
- [62] I.F. Akyildiz, D. Pompili och T. Melodia, "State-of-the-Art in Protocol Research for Underwater Acoustic Sensor Networks," *Proc. of the 1st ACM international workshop on Underwater networks*, 2006.
- [63] E. Abrahamsson, *En övergripande studie av undervattensdockning med obemannade farkoster i ubåt A26*, Kungliga Tekniska Högskolan, M.Sc. Thesis, augusti 2019.
- [64] M. Tulldahl, L. Sjökvist, P. Jonsson och M. Henriksson, *Laserbaserad 3D-avbildning under vatten – En studie om små fotonräknande lidarsystem för grunda vatten*, Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI-R--4483--SE, 2017.
- [65] C. Shen et al, "20-meter underwater wireless optical communication link with 1.5 Gbps data rate," *Optics Express*, 24, 2016.
- [66] A.S. Fletcher, S.A. Hamilton och J.D. Moores, "Undersea laser communication with narrow beams," *IEEE Communications Magazine*, November 2015.
- [67] M. Lundberg Nordenvaad, B. Nilsson, J. Nilsson och P. Zetterberg, *Slutrapport: Undervattenskommunikation, 2015-2017*, Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI-R--4024--SE, 2018.
- [68] I.F. Akyildiz, D. Pompili och T. Melodia, "Underwater acoustic sensor networks: research challenges," *Ad Hoc Networks*, vol. 3, maj 2005.
- [69] D. Pompili och I.F. Akyildiz, "Overview of Networking Protocols for Underwater Wireless Communications," *IEEE Communications Magazine*, vol. 47, oktober 2009.
- [70] J. Potter, J. Alves, D. Green, G. Zappa, I. Nissen och K. McCoy, "The JANUS underwater communications standard," *Proc. of UComms*, September 2014.
- [71] S. De-Leon, *Beyond Li-Ion High Energy& Power Cells Market Review 2019*, Shmuel De-Leon Energy, oktober 2019.
(www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/beyond_li-ion_battery_high_energy_and_power_cells_market_for_conferences.pdf)
- [72] *Tadiran Lithium Batteries*, Tadiran Batteries GmbH, Germany.
(tadiranbatteries.de/eng/)
- [73] R. Mori, "Recent developments for Aluminium - Air batteries," *Electrochemical energy reviews*, 3:344-369, maj 2020.
- [74] K.H. Øistein Hasvold, "The Alkaline aluminium/ Hydrogen peroxide power source in Hugin II unmanned underwater vehicle," *Journal of power sources*, 80:254-260, 1999.

- [75] C. Reddy Teeneti, T.T. Truscott, D.N. Beal, Z. Pantic, "Review of Wireless Charging Systems for Autonomous Underwater Vehicles," *IEEE JOURNAL OF OCEANIC ENGINEERING*, pp.1-20, december 2019.
- [76] M.A. Ewachiw, *Design of an Autonomous Underwater Vehicle (AUV) Charging System for Underway, Underwater Recharging*, Naval Postgraduate School, juni 2014.
- [77] J. Bellingham, *Autonomous underwater vehicle docking*, pp. 387-406, Springer handbook of Ocean Engineering, januari 2016.
- [78] T. Mårtensson *et al*, RPAS för territorialövervakning 2030 – Utmaningar och möjligheter, Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI-R--3787--SE, 2014.

FOI är en huvudsakligen uppdragsfinansierad myndighet under Försvarsdepartementet. Kärnverksamheten är forskning, metod- och teknikutveckling till nytta för försvar och säkerhet. Organisationen har cirka 1000 anställda varav ungefär 800 är forskare. Detta gör organisationen till Sveriges största forskningsinstitut. FOI ger kunderna tillgång till ledande expertis inom ett stort antal tillämpningsområden såsom säkerhetspolitiska studier och analyser inom försvar och säkerhet, bedömning av olika typer av hot, system för ledning och hantering av kriser, skydd mot och hantering av farliga ämnen, IT-säkerhet och nya sensorers möjligheter.



FOI
Totalförsvarets forskningsinstitut
164 90 Stockholm

Tel: 08-55 50 30 00
Fax: 08-55 50 31 00

www.foi.se