



Tekniköversikt autonoma och obemannade system

Del 4: Luftstriden

JOUNI RANTAKOKKO, FREDRIK NÄSSTRÖM, ROGIER
WOLTJER, TOMAS MÅRTENSSON, MARTIN HAGSTRÖM,
ANDERS FOYER

Jouni Rantakokko, Fredrik Näsström, Rogier
Woltjer, Tomas Mårtensson, Martin Hagström,
Anders Foyer

Tekniköversikt autonoma och obemannade system

Del 4: Luftstriden

<i>Titel</i>	<i>Tekniköversikt autonoma och obemannade system – Del 4: Luftstriden</i>
<i>Title</i>	<i>An overview of unmanned and autonomous systems – Part 4: Air operations</i>
<i>Rapportnr/Report no</i>	<i>FOI-R--5167--SE</i>
<i>Månad/Month</i>	<i>Januari</i>
<i>Utgivningsår/Year</i>	<i>2022</i>
<i>Antal sidor/Pages</i>	<i>210</i>
<i>ISSN</i>	<i>1650-1942</i>
<i>Kund/Customer</i>	<i>Försvarsmakten</i>
<i>Forskningsområde</i>	<i>Övrigt</i>
<i>FoT-område</i>	<i>Inget FoT-område</i>
<i>Projektnr/Project no</i>	<i>E716536</i>
<i>Godkänd av/Approved by</i>	<i>Christian Jönsson</i>
<i>Ansvarig avdelning</i>	<i>Ledningssystem</i>

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

Ambitionen är att denna rapport ska ge ett kunskapsunderlag för Förvarsmaktens förmågeutveckling kopplad till obemannade luftfarkoster, samt vid utvecklingen av motmedel mot fientliga system, med det långsiktiga målet att öka flygstridskrafternas tröskeeffektskapande förmåga.

Utvalda exempel på obemannade luftfarkoster presenteras i syfte att ge läsaren en representativ bild av teknikutvecklingen och de förmågor som kan erhållas med existerande system. Den internationella utvecklingen inom området beskrivs även för att ge en bild av typiska utvecklingsspår och de nya förmågor som ska kunna realiseras. Två tydliga trender är att allt fler länder i snabb takt anskaffar beväpnade obemannade luftfarkoster samt utvecklingen av enklare, billigare farkoster som möjliggör ett högre risktagande och även är avsedda att införas i större volymer. Exempel på viktiga forsknings- och utvecklingsutmaningar som kvarstår att lösa för att obemannade system ska ge önskad operativ effekt för nya förmågebehov beskrivs även. Det gäller främst inom plattformsutveckling, sensorer och beväpning, robusta kommunikations- och positioneringssystem, automatisering och autonomi och frågeställningar som rör lufrumsintegration och samverkan mellan bemannade och obemannade system.

Nyckelord: obemannad, autonom, UAV, RPAS, spaning, övervakning, målinmätning, underrättelseinhämtning, bekämpning, *loyal wingman*, patrullrobot, relänod, telekrig, vilseledning, logistik, obemannad sjuktransport

Summary

This report aims to provide a broad knowledge base for the Swedish Armed Forces capability development of unmanned aerial vehicle (UAV) technologies, as well as counter UAV technologies, which have the potential to increase the deterrence capability threshold.

Selected examples of unmanned aerial vehicles are presented in order to yield a representative picture of the technology development and of the capabilities that can be achieved with existing unmanned vehicles. The international development within the domain is also provided and relevant development tracks, and the associated new capabilities that they can realize, are described. Two typical development trends are the rapid proliferation of armed unmanned aerial vehicles and simpler, low-cost systems that enables taking higher risks during operations and can be procured in larger numbers.

Furthermore, examples of critical research and development challenges that needs to be addressed in order to enable the new desired capabilities with sufficient operational efficiency are described. These challenges address various areas such as platform development, payload (sensors and weapons), robust navigation and communication systems, automation and autonomy, air space integration issues and human-machine interaction and teaming aspects.

Keywords: unmanned, autonomous, UAV, RPAS, surveillance, reconnaissance, target acquisition, intelligence, attack, loyal wingman, loitering munition, relay node, electronic warfare, deception, logistics, casualty evacuation

Innehållsförteckning

1	Inledning	11
1.1	Syfte, disposition och avgränsningar.....	11
1.1.1	Syfte med rapporten	11
1.1.2	Rapportens disposition	12
1.1.3	Avgränsningar.....	12
1.2	Den dimensionerande motståndaren	12
1.3	Flygstridskrafterna	14
1.3.1	Krigsförband.....	15
1.3.2	Taktik för luftoperationer	16
1.3.3	Flygstridskrafternas planerade utveckling	17
1.4	Förkortningar och definitioner.....	18
2	Förmågebehov och operativ användning	23
2.1	Beväpnade RPAS.....	24
2.1.1	Utveckling och export av enklare beväpnade RPAS..	24
2.1.2	USA.....	26
2.1.3	Israel	27
2.1.4	Icke-statliga aktörers utveckling	28
2.2	Användningsexempel - luftstrid	29
2.2.1	Spaning, övervakning och målinmätning.....	29
2.2.2	Underrättelseinhämtning.....	30
2.2.3	Bekämpning	30
2.2.4	Sambandsnod	33
2.2.5	Telekrig	34
2.3	Exempel på möjliga nya förmågor.....	34
2.3.1	Loyal wingman	35
2.3.2	Autonom jakt och attack	35
2.3.3	Luftburen transport	36
2.3.4	Lufttankning	37
2.3.5	Svärmar	37
3	RPAS för flygstridskrafterna – exempel.....	39

3.1	Inhämtning	39
3.1.1	Ryssland	40
3.1.2	USA	42
3.1.3	Israel	47
3.2	Inhämtning och attack	48
3.2.1	Ryssland	48
3.2.2	USA	50
3.2.3	Israel	51
3.2.4	Turkiet	53
3.2.5	Kina	56
3.2.6	Diskussion	58
3.3	Skenmål	59
3.3.1	ADM-160B MALD	60
3.4	Patrullrobotar	60
3.4.1	IAI Harop	61
3.5	Koppling till luftoperationstyperna	61
3.5.1	Luftförsvar	62
3.5.2	Inhämtning	63
3.5.3	Attack	64
3.5.4	Transport	64
4	Utvecklingen internationellt	67
4.1	Övergripande utvecklingstrender	67
4.1.1	Obemannade följeslagare	67
4.1.2	Integrerad bekämpningsförmåga	70
4.1.3	VTOL UAV	70
4.1.4	Svärmar	73
4.2	Ryssland	75
4.2.1	Den ryska inriktningen	75
4.2.2	Nuläge	81
4.2.3	Utvecklingsprojekt	83
4.2.4	Beväpning	88

4.2.5	Styrning och ledning	89
4.2.6	Exempel: telekrig för Counter-UAV	89
4.3	EU	91
4.3.1	Future Combat Air System (EU).....	92
4.3.2	European MALE RPAS.....	95
4.4	Storbritannien	96
4.4.1	Combat Air Strategy 2018	97
4.4.2	RPAS	98
4.4.3	Svärmar	103
4.4.4	High-Altitude Platform System.....	104
4.5	USA.....	105
4.5.1	Joint All-Domain Command and Control	105
4.5.2	US Air Force	107
4.5.3	US Army.....	117
4.5.4	US Navy.....	125
4.5.5	DARPA.....	129
4.5.6	Svärmar	131
4.6	Australien.....	134
4.6.1	Ny taktisk UAV	134
4.6.2	MQ-9B SkyGuardian.....	134
4.6.3	MQ-4C Triton	135
4.6.4	Airpower Teaming System (ATS).....	135
4.7	Kina	136
4.7.1	Nuläge.....	137
4.7.2	Utvecklingsprojekt.....	141
4.7.3	AI.....	145
4.7.4	Export.....	146
4.8	Israel	147
4.8.1	IDF	147
4.8.2	Export.....	148
4.9	Turkiet.....	148

4.9.1	Bakgrund	149
4.9.2	Militär användning	150
4.9.3	Turkiska RPAS	150
4.9.4	Export	152
5	Kritiska deltekniker	155
5.1	Plattformsutvecklingen	155
5.1.1	Stridsteknisk UAV	155
5.1.2	Taktisk UAV	156
5.1.3	MALE/HALE UAV	156
5.1.4	Loyal wingman och UCAV	156
5.1.5	Moderna digitala tillverkningsmetoder	157
5.2	Sensorer och beväpning	157
5.2.1	Radarsystem	158
5.2.2	EO/IR-sensorer	160
5.2.3	Beväpning	161
5.3	Människa-teknik-organisation (MTO)	163
5.3.1	Styrning av RPAS	164
5.3.2	Framtida teknikutveckling kopplat till MTO-aspekter	165
5.3.3	Human-Autonomy Teaming	167
5.4	Operationer i telestörda miljöer	171
5.4.1	Robust kommunikation	172
5.4.2	Robust PNT	178
5.5	Autonoma farkoster	181
5.5.1	Nuläge	182
5.5.2	Robust farkostautonomi	183
5.5.3	Uppdragsautonomi	184
5.5.4	AI	186
5.6	Integration i civilt luftrum	189
5.6.1	Single European Sky	190
5.6.2	Tekniska krav på MALE RPAS för att möjliggöra flygning i osegregerat luftrum	193

6	Sammanfattning	197
6.1	Övergripande slutsatser	198
6.2	Bedömd tidslinjal för realiseringen av nya förmågor	199
	Referenser	203

1 Inledning

Den framtida konfliktmiljön förväntas bestå av ett brett spektrum av hot, som sträcker sig från hybridhot och icke-linjär krigföring till ett fullskaligt väpnat angrepp från en kvalificerad motståndare. Försvarsmakten utformas och dimensioneras mot att ha en grundläggande förmåga att möta ett väpnat angrepp från en kvalificerad motståndare samt möjlighet att kunna hantera gråzonsproblematik, enskilt eller i samverkan med tredje part [1,2]. Förmågan att möta ett väpnat angrepp från en kvalificerad motståndare förväntas även ge de förmågor som behövs vid deltagande i internationella fredsfrämjande insatser. En grundläggande uppgift för Försvarsmakten är att skapa en trovärdig krigsavhållande tröskeleffekt, där flygstridskrafterna bedöms ha en kritisk betydelse.

1.1 Syfte, disposition och avgränsningar

En bred tekniköversikt har genomförts inom området obemannade och autonoma farkoster. Tekniköversikten avrapporteras i en serie av fyra rapporter [3-5]:

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

Denna rapport utgör den fjärde rapporten i serien och adresserar obemannade, fjärrstyrda och autonoma, flygande farkoster för flygstridstillämpningar. Rapporten fokuserar på hur obemannade system kan stödja den flygtaktiska chefens behov men avsikten är även att ge ett kunskapsstöd till utvecklingen inom området motmedel mot obemannade luftfarkoster (*Counter Unmanned Aerial Systems*, C-UAS).

1.1.1 Syfte med rapporten

Syftet med rapporten är att den ska kunna användas som ett underlag för kommande förmågeutveckling kopplat till obemannade flygande farkoster som ska kunna bidra till att öka Försvarsmaktens tröskeleffekt. Det kan realiseras genom att förbättra egna kritiska förmågor som underrättelseinhämtning, spaning, övervakning och målinmätning samt ge en förbättrad förmåga att reducera motståndarens möjligheter att nyttja fjärrstyrda och autonoma obemannade luftfarkoster (*Unmanned Aerial Vehicles*, UAV). Automatiserade, integrerade ledningssystem som kopplar samman obemannade framskjutna spaningsresurser med långräckviddiga bekämpningssystem utgör ett allvarligt hot mot svenska förband i framtida väpnade konflikter.

1.1.2 Rapportens disposition

Rapporten diskuterar i kapitel 2 nuvarande och möjliga framtida förmågor med RPAS (*Remotely Piloted Aerial System*), medan tekniska möjligheter och begränsningar med existerande RPAS beskrivs i kapitel 3. Den internationella utvecklingen inom obemannade flygande farkoster beskrivs i kapitel 4. Viktiga delteknikers mognadsgrad beskrivs även och kvarvarande forsknings- och utvecklingsbehov identifieras i kapitel 5. Slutligen, i kapitel 6, ges en sammanfattning av rapportens viktigaste slutsatser.

1.1.3 Avgränsningar

Rapporten adresserar utvecklingen inom obemannade flygande farkoster för de framtida flygstridskrafterna. Utvecklingen går dock snabbt och den information som delges i rapporten baseras på information om de olika utvecklingsprogrammen som var tillgänglig under våren 2021. Erfarenhetsmässigt kan inriktningen på utvecklingsprogrammen även förändras med kort varsel.

Avsikten är att ge läsaren en förståelse för nuläget och kvarvarande forsknings- och utvecklingsbehov genom att beskriva utvalda *representativa* fjärrstyrda obemannade luftarkoster (RPAS) i kapitel 3. Antalet operativa system är dock för stort för att ge en heltäckande bild. Notera att vissa av systemen även har beskrivits i tidigare rapporter i serien.

Den generella utvecklingen inom styrda vapen omfattas inte av denna rapport, däremot ges exempel på utvecklingen av patrullrobotar.

1.2 Den dimensionerande motståndaren

De ryska väpnade styrkorna har genomgått en omfattande modernisering sedan 2008 och de väpnade styrkornas förmågor har utvecklats i en snabb takt det senaste årtiondet. Det har bland annat åstadkommits genom omorganisationer, en ökad andel kontraktsanställda soldater, en kraftigt ökad övningsverksamhet och en modernisering av materiel. Ett nytt tioårigt beväpningsprogram påbörjades 2018 där förbättrade precisionsstyrda vapen utgör en prioritet för mark-, luft- och sjöstridskrafterna. Även obemannade flygande farkoster med förmåga till markmålsbekämpning, moderniserad soldatutrustning och avancerade telekrigs- och sambandssystem prioriteras [6]. Den strategiska avskräckningsförmågan fortsätter att vara prioriterad, där en icke-nukleär fjärrbekämpningsförmåga baserat på hypersoniska kryssningsrobotar även ska utvecklas [6].¹ De ska kunna bäras av olika typer av plattformar, bland annat av Su-57.²

¹ tass.com/defense/1254191

² www.thedrive.com/the-war-zone/39312/russia-claims-its-su-57-felon-fighter-has-been-testing-a-new-hypersonic-missile



Figur 1.1: Vänster: Tidig version av Su-57, Suchoj T-50 PAK-FA (foto: Maxim Maksimov, augusti 2011, CC BY-SA 3.0, via wikipedia³). Höger: Su-57 under uppdrag i Syrien 2018 (foto: CC-BY 4.0, via mil.ru⁴).

De senaste två åren har de ryska militärutgifterna som funktion av BNP sjunkit från ca fem till knappt fyra procent och det senaste decenniets snabba utvecklingstakt bedöms inte kunna vidmakthållas den kommande tioårsperioden. Den kommande tioårsperioden förväntas istället domineras av en konsolidering av tidigare uppnådda förbättringar, främst kopplat till förmågan att genomföra krig regionalt [6].

Enligt [7] är den ryska doktrinen vid en konflikt mot Nato i Europa inriktad mot relativt korta högintensiva operationer som genomförs av tungt bepansrade markstyrkor med god tillgång till artilleri. Dessa operationer förväntas genomföras under ett paraply av ett kvalificerat integrerat luftförsvarssystem (*Integrated Air Defense System*, IADS) stöttat av storskaliga telekrigs-, cyber- och påverkansoperationer. Rysslands luftvärnsförmåga bedöms fortsätta att förbättras under det kommande decenniet. Det bedöms dock vara mer troligt att existerande luftförsvarssystem vidareutvecklas, exempelvis rörande precision, systemintegration och att de ges en förbättrad förmåga till samtidig följning och bekämpning av multipla mål, än att ett helt nytt system utvecklas [6].

En eventuell framtida konflikt mot en kvalificerad motståndare såsom Ryssland förväntas påverkas av framförallt följande faktorer i en tioårsperiod:

- god tillgång till högpresterande luftvärnssystem och möjlighet att skapa svårpenetrerade avreglingszoner (*Anti-Access/Area-Denial*, A2/AD)
- femte generationens stridsflygplan (Su-57, se figur 1.1) med multirollsförmåga, smygegenskaper, hög hastighet (s.k. *super cruise*) med lång räckvidd (över 150 mil), långräckviddiga radar med elektriskt

³ sv.wikipedia.org/wiki/Suchoj_Su-57

⁴ eng.mil.ru/en/news_page/country/more.htm?id=12204628@egNews

styrbar gruppantenn (*Active Electronically Scanned Array*, AESA) och som kan samverka med obemannade stridsflygplan (S-70 Ochotnik)^{5,6}

- långräckviddig precisionsbekämpningsförmåga mot mark- och sjömål med ökad precision, räckvidd och hastighet
- god tillgång till avancerade telekrigssystem i form av signalspaning och störning mot radar-, kommunikations- och satellitnavigeringssystem
- hypersoniska kryssningsmissiler (med hastigheter mellan 5 till 10 ggr ljudhastigheten)
- ett stort antal obemannade farkoster används för framförallt spaning, övervakning, målnmätning, telekrig och bekämpning
- snabb bekämpningskedja, med hjälp av integrerade ledningssystem eller med beväpnade obemannade flygande farkoster eller patrullrobotar (*loitering munitions*)
- omfattande cyberattackerförmåga.

Vid en konflikt mot en kvalificerad motståndare med långräckviddig precisionsbekämpningsförmåga bedöms det vara av kritisk vikt att ha förmågan att förhindra denne från att genomföra framskjuten målnmätning.

1.3 Flygstridskrafterna

Andra världskriget var det första tillfället där flygstridskrafterna visade vilken central betydelse de skulle komma att ha i den moderna krigsföringen. Deras betydelse har sedan dess ökat kontinuerligt och flygstridskrafterna spelade en avgörande roll i exempelvis Gulfkriget 1991 och har fortsatt att göra så i efterföljande konflikter.

Vid en konflikt mot en högteknologisk motståndare som har en avsevärt större volym av stridsflyg och luftvärn bedöms det inte vara möjligt att kontinuerligt garantera ett luftherravälde över hela operationsområdet. Det bedöms då vara av kritisk betydelse att ha förmågan att skapa ett fördelaktigt luftläge⁷ över operationsområdet samt att ha resurser för att då tillfälle ges skapa lokal luftöverlägsenhet under en begränsad tid för att möjliggöra gemensamma operationer [8]. Detta tankesätt utgör även en del av konceptet för hur USA resonerar runt en framtida konflikt mot Kina eller Ryssland (s.k. *near-peer*

⁵ Det första serietillverkade flygplanet levererades vid årsskiftet och ytterligare 75 exemplar är beställda för leverans senast 2028.

(eng.mil.ru/en/management/info/news/more.htm?id=12261162@egNews&g=newsPhoto)

⁶ eng.mil.ru/en/management/info/news/more.htm?id=12261162@egNews&g=newsPhoto

⁷ Den lägsta nivån av luftrumskontroll där motståndarens flyg- och luftvärnsförband inte menligt kan påverka egna luftoperationer och där motståndarens handlingsfrihet i luften förvägras [5].

adversary) och konceptet *Multi-Domain Operations* [9].^{8,9} Storbritannien har ett delvis liknande koncept benämnt *Multi-Domain Integration* [10].

Sverige har de senaste 50 åren i stort sett varit självförsörjande när det gäller utvecklingen av stridsflygplan [11]. När det gäller obemannade flygande farkoster avsedda att möta flygstridskrafternas behov så är däremot den nationella utvecklingen mer begränsad. Flygvapnet opererar i nuläget inte obemannade luftfarkoster utan Försvarmaktens RPAS opereras huvudsakligen inom armén [12].

1.3.1 Krigsförband

Försvarmaktens flygstridskrafter är sammansatta av olika typer av krigsförband, bestående av stridsflyg, transportflyg, signalspaningsflyg, radarflyg, helikopter och basförband [8].

Stridsflyget har som uppgift att hävda den territoriella integriteten och i händelse av krig bekämpa fientliga flygföretag, samt bekämpa mål på marken eller havsytan. De genomför även spaning och underrättelseinhämtning.

Transportflygförbanden genomför med sina sex Herculesplan nationellt uppgifterna luftburen förflyttning av materiel och personal på regional och lokal nivå [8]. I fredstid genomförs också lufttankning från TP-84 Hercules (C-130). Strategisk förflyttning kan genomföras med de tre C-17 som ingår i den europeiska flygflottiljen *Heavy Air Lift* som Sverige driver tillsammans med elva andra nationer. Helikopterflottiljen utgör framförallt ett stöd till marinen, armén, övriga flygvapnet och till det civila samhället [8].¹⁰ Helikoptrarna är flexibla farkoster med kvalificerade sensorer som kan utföra olika uppgifter, bland annat transporter (trupp, materiel och skadade), ubåtsjakt, spaning, övervakning och målinmätning och *search-and-rescue*. Helikopterförbanden ska möjliggöra skapandet av lätttrörliga snabbinsatsförband [2].¹¹ Både transportflyg- och helikopterförband ska även stödja specialförbandens behov och genomföra sjukvårdstransporter [8].

Radarflygförbandet består av två S100D (ASC890) radarspanings- och ledningsflygplan som främst används till att förbättra de flyg- och sjöoperativa lägesbilderna genom att komplettera de markbundna och fartygsburna sensorerna. De kan även agera som en luftburen stridsledningscentral och de har möjlighet att dela lägesbilden med andra förband genom Länk 16. De två

⁸ www.armytimes.com/news/your-army/2019/08/11/this-3-star-army-general-explains-what-multi-domain-operations-mean-for-you/

⁹ www.japcc.org/on-multi-domain-operations/

¹⁰ Exempelvis släckning av skogsbränder, eftersök och transport av polis eller covid-19-patienter.

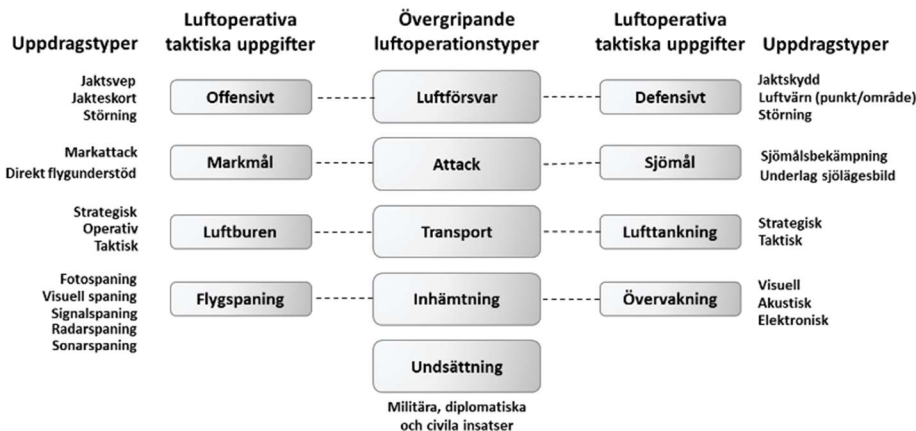
¹¹ Försvarmakten deltar nu i Task Force Takuba i Mali med en helikopterburen snabbinsatsstyrka. (www.forsvarsmakten.se/sv/var-verksamhet/forsvarsmakten-utomlands/pagaende-international-insatser/mali-task-force-takuba/)

signalspaningsflygplanen (S102B) bedriver underrättelseinhämtning genom teknisk signalspaning.¹²

1.3.2 Taktik för luftoperationer

Luftoperationer utmärker sig gentemot mark- och sjöstrid genom att de fysiska förutsättningarna möjliggör höga hastigheter, långa räckvidder och långa spaningsräckvidder med hjälp av upphöjda sensorer. Detta ger möjlighet att skapa en god överblick och lägesbild över stridsfältet och möjlighet att påverka en motståndare över hela det operativa djupet. Förmågan att kraftsamla resurser i tids- och rumsdimensionerna för att lösa en vald uppgift är central [8].

De huvudsakliga luftoperationstyperna och tillhörande taktiska uppgifter, samt de dominerande uppdragstyperna, beskrivs i figur 1.2 [8]. De fem dominerande luftoperationstyperna utgörs av: (i) offensivt och defensivt luftförsvar, (ii) attack mot mark- och sjömål, (iii) luftburen transport och lufttankning, (iv) inhämtning för underrättelsesyfte sker genom flygspaning och övervakning samt (v) undsättning som kan genomföras genom en kombination av diplomatiska, civila och militära åtgärder. Luftoperativ verksamhet genomförs även genom understöd till annan chef eller genom stöd till det civila samhället. Flygtaktiska chefen leder genom en s.k. dynamisk ledningsprincip där ledningen vid behov snabbt ska kunna ändras från detaljstyrning, med ett effektivt utnyttjande av begränsade resurser, till uppdragstaktik vid exempelvis kommunikationsbortfall [8].



Figur 1.2: Illustration av Flygvapnets huvudsakliga luftoperationstyper, luftoperativa taktiska uppgifter och tillhörande uppdragstyper [8].

¹² www.forsvarsmakten.se/sv/information-och-fakta/materiel-och-teknik/luft/

1.3.3 Flygstridskrafternas planerade utveckling

I detta avsnitt ges en kort beskrivning av de huvudsakliga utvecklingsspåren inom flygstridskrafterna.

1.3.3.1 Stridsflyg

JAS 39-systemet kommer utgöra ryggraden i svenskt stridsflyg en bit in på 2040-talet. JAS 39 E, som idag är under utprovning, införs succesivt i operativ tjänst under 2020-talet. I det senaste försvarsbeslutet ges också uppgiften till Försvarsmakten att vidmakthålla och operera befintliga JAS 39 C/D in på 2030-talet. För att vara operativt relevant i den bortre tidsperioden av flygsystemets tänkta livslängd kommer JAS 39 E succesivt att uppdateras med nya förmågor, exempelvis nya sensor- och vapensystem.

Utvecklingsinsatser som inriktas mot nästa stridsflygssystem (efter JAS 39) ingår också i försvarsbeslutet från 2020. Förutsättningarna för framtida utveckling inom stridsflygområdet ska prövas i en internationell kontext. Ett trilateralt internationellt samarbete med Storbritannien och Italien (*Future Combat Air Systems Cooperation, FCAS-C*) har påbörjats.^{13,14} Avsikten är att tekniker som utvecklas i detta spår även på kort sikt ska stödja utvecklingen av JAS 39-systemet. En av de möjliga utvecklingsinsatserna i detta program är utvecklingen av obemannade flygande farkoster som är avsedda för samverkan med stridsflyg. Det kan handla om både kvalificerade system av typen *loyal wingman* och enklare samverkande obemannade lågkostnadsfarkoster.¹⁵ De senare kan exempelvis bestå av vidareutvecklingar av LADM (*Lightweight Air-Launched Decoy Missile*)¹⁶ med utökade förmågor, t.ex. utvecklade sensorer eller svärmegenskaper.

1.3.3.2 Helikopter

Ett utvecklingsspår är en tilltänkt uppgradering av den sjöoperativa förmågan genom att integrera en ny taktisk datalänk och en lätt torped i Helikopter 14 [13]. Utöver detta utgör skapandet av helikopterburna snabbinsatsförband en tänkt inriktning [1].

¹³ Försvarsmaktens slutredovisning av stridsflygsamarbete med Storbritannien, FM2019-25102:57, 2020-11-02.

¹⁴ Objektsredovisning för långsiktig stridsflygförmåga genom samarbete med andra länder, *Future Combat Air System Cooperation* (FCASC) i konceptfas, FM2020-18169:4, 2020-11-10.

¹⁵ Flera olika begrepp och förkortningar används för obemannade plattformar som avses samverka direkt med stridsflyg. Några vanliga uttryck är: *Loyal wingman*, *Adjunct system*, *Attritable (Low Cost Attritable System)* och *Remote Carrier*.

¹⁶ www.saab.com/newsroom/press-releases/2020/saab-reveals-new-decoy-missile-for-gripen

1.3.3.3 Radar- och spaningsflyg

Dagens fasta sensorkedja och stridslednings- och luftbevakningsflygplanet S100D närmar sig sin tekniska livslängd. I Försvarmaktens budgetunderlag för 2022 anges att förmågan till underrättelseinhämtning och spaning avses förstärkas i perioden 2024-2030 genom anskaffning av luftburen sensor som ersättare till det flygande spaningsradarsystemet ASC 890.¹⁷ Luftburna sensorer ger förmågan att upptäcka mål på avsevärt längre avstånd än med markbaserade sensorer, samtidigt som de ger en möjlighet att snabbt förstärka spaningsförmågan i prioriterade områden. De utgör därför ett viktigt komplement till fasta och rörliga markbaserade sensorer, framförallt för upptäckt av lågflygande mål och sjömål. Tidigare FOI-studier har utvärderat möjligheten att använda obemannade flygande farkoster, alternativt optionellt bemannade flygplan, som ett alternativ för uthållig territorialövervakning men utan stridsledningsförmågan [14]. Även signalspaningsflygplanen förväntas komma att omsättas efter 2025.

1.3.3.4 Försvarmaktens strategiska inriktning

Obemannade flygande farkoster förväntas få en stor påverkan på hur striden förs och förmågan att upptäcka och neutralisera motståndarens UAV:er bedöms vara kritisk. Hotet från fientliga UAV:er anges påverka hela Försvarmakten, när det gäller metod, taktik, organisation och personal, samt i alla konfliktnivåer [15].

Försvarmaktens strategiska inriktning (FMSI) anger att anskaffning under perioden ska påbörjas av ersättare till UAV 03 till underrättelse- och säkerhetsförbanden. I FMSI anges även att verksamhet rörande materielutveckling inom bland annat obemannade farkoster (mark, sjö och luft), inklusive motmedel, ska byggas upp. När det gäller forskning och utveckling anges vidare att identifiering, uppstart och tillväxt av nya områden som avsevärt kan öka den operativa förmågan, såsom autonomi och artificiell intelligens (AI), ska prioriteras. [15]

1.4 Förkortningar och definitioner

Internationellt förankrade definitioner av de centrala begreppen automatisk, autonomi och autonoma system saknas. Autonom används i tekniska sammanhang ofta för att beskriva komplex automation medan automatisk är ett begrepp som används för vad som uppfattas som enklare automation. I tidigare rapporter i denna serie beskriver ett autonomt system ett system som har flera inbyggda autonoma funktioner [4,5]. 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

¹⁷ Försvarmaktens budgetunderlag 2022, 2021-02-26 (FM2020-18169:12)

automatiserade funktioner implementerade, däribland en självkörande förmåga och intelligens som möjliggör att den utan direkt styrning av en operatör kan utföra sitt tilldelade uppdrag. Graden av autonomi hos en obemannad farkost kan med detta beskrivningssätt anges utifrån en sammanvägning av hur många funktioner som är autonoma (eller automatiserade) och hur avancerade dessa funktioner är [4,5]. Dagens fjärrstyrda, teleopererade obemannade luftfarkoster benämns i denna rapport RPAS medan UAV används för att beskriva framtida obemannade luftfarkoster med inbyggda autonoma funktioner.

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. Beskrivs i [2] som etablering av egen kontroll i området, bestrida motståndarens kontroll eller skapa betydande osäkerhet. Detta genomförs med fjärrstridsmedel mot mark-, sjö- och luftmål liksom med telekrig eller cyberattacker. Vilselledning och andra metoder utnyttjas för att skapa osäkerhet. I denna rapporters kontext utgör framförallt operationer i områden med kraftigt förhöjt lufthot i form av moderna luftvärnssystem den stora utmaningen för både bemannade och obemannade flygande farkoster.
ABMS	Advanced Battle Management System	Ledningssystem inom US Air Force, används för integration till JADC2
AI	Artificial Intelligence	Artificiell intelligens. Det finns ingen allmänt vedertagen definition av AI men Nationalencyklopedin beskriver AI som "dels intelligens som tillskrivs ett datorsystem, dels ett forskningsområde inriktat mot konstruktion av datorsystem som uppvisar intelligent beteende". ¹⁸
ATM	Air Traffic Management	Flygtrafikledning
ATOL	Automatic Take-Off and Landing	Automatisk start, landning och taxi
BDA	Battle Damage Assessment	Verkansbedömning
BVLOS	Beyond-Visual-Line-of-Sight	Bortanför visuell sikthorisont
C2	Command and Control	Ledningssystem
EASA	European Union Aviation Safety Agency	Europeiska byrån för luftfartssäkerhet
EDA	European Defence Agency	Europeiska försvarsbyrån
EO/IR	Electro-Optical/Infra-Red	Sensorer som opererar i de optiska och infraröda våglängdsbanden

¹⁸ www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/artificiell-intelligens

Galileo	N/A	Europeiska unionens satellitnavigationssystem
GCS	Ground Control Station	Kontrollstation för styrning/ledning av RPAS
GLONASS	Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema	Rysslands satellitnavigationssystem
GMTI	Ground Moving Target Indication	System för detektion av rörliga markmål
GNSS	Global Navigation Satellite System	Samlingsnamn på de fyra globala satellitnavigationssystemen
GPS	Global Positioning System	Det ursprungliga amerikanska satellitnavigationssystemet
HALE	High Altitude Long Endurance	UAV som normalt flyger på höjder runt 20 000 m (t.ex. RQ-4 Global Hawk och MQ-4 Triton)
IFR	Instrument Flight Rules	Det regelverk som styr flygningar som utförs med hjälp av instrument som finns ombord, utan visuell uppsikt över omgivningen
ISR	Intelligence, Surveillance, Reconnaissance	Underrättelser, spaning och övervakning. Inhämtning genomförs medelst spaning eller övervakning i underrättelsesyfte [8]. Inhämtning kan genomföras för strategiska/operativa syften eller med ett snabbare tidsförlopp för att direkt understödja striden.
ISTAR	Intelligence, Surveillance, Target Acquisition, Reconnaissance	Underrättelser, målnmätning, spaning och övervakning.
JADC2	Joint All-Domain Command and Control	Koncept för att koppla ihop sensorer och verkanssystem från alla de amerikanska försvarsgrenarna, samt generera en gemensam lägesbild
LOS	Line-of-Sight	Frisiktsförhållanden vid radiokommunikation
MALE	Medium Altitude Long Endurance	UAV som flyger på höjder upp till ca 9000 m, med uthållighet typiskt mellan 24-48 timmar (t.ex. MQ-9 Reaper)
RAS	Robotic and Autonomous Systems	Samlingsbegrepp som belyser de fysiska (robotiken) och kognitiva (autonoma) förmågorna hos ett system. Systemen kan, så som begreppet generellt används internationellt, utgöras av obemannade farkoster men även av mjukvarusystem.
RPA ¹⁹	Remotely Piloted Aircraft	Fjärrstyrd obemannad flygande farkost
RPAS	Remotely Piloted Aircraft System	System bestående av en eller flera RPA:er, kontrollstation och radiolänk

¹⁹ Försvarsmakten använder benämningen RPA för dagens fjärrstyrda obemannade flygande plattformar. Utvecklingen går dock mot högradigt 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 (som i mer eller mindre utsträckning är teleopererade) benämns RPA (se även [14,15]).

RSTA	Reconnaissance, Surveillance, Target Acquisition	Spaning, övervakning, målinmätning
RTK	Robototekhnicheskije Kompleksy	Robottekniska komplexet, de ryska väpnade styrkornas inriktning för obemannade och autonoma farkoster
SAR	Synthetic Aperture Radar	Syntetisk aperturradar
SES	Single European Sky	Det gemensamma europeiska luftrummet som syftar till att minska fragmenteringen av luftrummet för att möta ökade krav på flygkapacitet och säkerhet
SLAM	Simultaneous-Localization-And-Mapping	Samtidig positionering och kartering
UAS	Unmanned Aerial System	Obemannat luftfarkostsystem, inkluderande luftfarkost (se UAV), datalänk och markkontrollstation (se GCS)
UAV	Unmanned Aerial Vehicle	Obemannad luftfarkost
VFR	Visual Flight Rules	Flygning under visuella meteorologiska förhållanden
VTOL	Vertical Take Off and Landing	Flygfarkost som startar och landar vertikalt

2 Förmågebehov och operativ användning

Internationellt används RPAS i betydande omfattning i ett stort antal konfliktområden. Det vanligaste användningsområdet är spaning, övervakning och underrättelseinhämtning som stöd till alla ledningsnivåerna, från låg stridsteknisk till operativ nivå. De används dessutom i en snabbt ökande omfattning för målinmätning vid långräckviddig precisionsbekämpning, eller för direkt bekämpning, och tillhörande verkansbedömning. Ett annat viktigt användningsområde är signalspaning, störning och vilseledning, samt som relänode som stöd till främst markförbandens kommunikation.

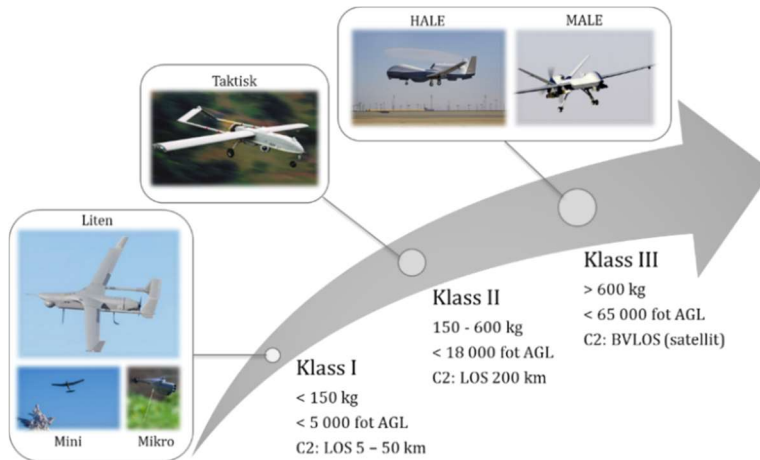
RPAS kan delas in i klasser på ett flertal olika sätt utifrån faktorer som exempelvis vikt, flyghöjd, och hastighet. Ingen av dessa klassificeringar ger en entydigt korrekt beskrivning utan teknikutvecklingen har medfört att exempelvis även mindre RPAS numera kan ha en lång uthållighet. I förslaget till systemutvecklingsplan (SUP RPAS²⁰) föreslås istället en indelning utifrån vilken ledningsnivå de stödjer, se tabell 2.1. I figur 2.1 beskrivs även Natos indelning av RPAS i tre olika klasser (I-III). Den senare används i vissa av de analyser som refereras till i denna rapport. De nya RPAS som utvärderas som ersättare för exempelvis RQ-7 Shadow av US Army (se kapitel 3) har prestanda motsvarande klass II men med en vikt och formfaktor som matchar beskrivningen för klass I i Natos klassificering (STANAG 4670), vilket indikerar att indelningen bör uppdateras regelbundet för att följa teknikutvecklingen. På motsvarande sätt är de avsedda att stödja taktisk ledningsnivå men har prestanda motsvarande de som anges för högre taktisk nivå i tabell 2.1.

I detta kapitel beskrivs initialt den snabba spridningen av beväpnade RPAS samt hur RPAS används operativt idag. Därefter beskrivs även ett flertal intressanta möjliga förmågor som har potentialen att öka den operativa effekten vid framtida luftstridsoperationer.

Tabell 2.1: Förslag till klassificering av RPAS enligt utkast till SUP RPAS samt indikerad räckvidd och uthållighet baserat på existerande operativa system.

Klassificering	Beskrivning	Räckvidd	Uthållighet
LSRPAS	Låg stridsteknisk ledningsnivå	1 – 5 km	0,5 – 2 timmar
SRPAS	Stridsteknisk ledningsnivå	15 – 30 km	2 – 4 timmar
TRPAS	Taktisk ledningsnivå	70 – 150 km	6 – 12 timmar
HTRPAS	Högre taktisk ledningsnivå	120 – 150 km	12 – 24 timmar
ORPAS	Operativ/strategisk ledningsnivå	Rikstäckande / global	> 24 timmar

²⁰ Systemutvecklingsplan RPAS 2019 (SUP RPAS 19), Försvarmakten, version 2020-03-26 (ej fastställd).



Figur 2.1: Natos indelning av UAV:er i tre klasser (I-III). (AGL – Above Ground Level och MALE/HALE – Medium-/High-Altitude Long Endurance, BVLOS – Beyond Visual Line-of-Sight). Mikro: Black Hornet 2 (foto: Corporal Daniel Wiepen, MoD, OGL v1.0, via wikipedia, bilden är beskuren). Mini: UAV 05 Korpen (foto: Jesper Sundström/Försvarsmakten). Liten: RQ-21 Blackjack (foto: Lance Cpl. Rhita Daniel, US Marine Corps, public domain, via wikipedia). Taktisk: RQ-7B Shadow (foto: US Marine Corps, via wikipedia). MALE: MQ-9 Reaper (foto: Staff Sgt. Brian Ferguson, US Air Force, public domain, via wikipedia). HALE: MQ-4C Triton (foto: Alex Evers, US Navy, public domain, via wikipedia).

2.1 Beväpnade RPAS

Det pågår en snabb och okontrollerad spridning av beväpnade RPAS.

Åtminstone 22 länder bedöms i januari 2021 ha tillgång till beväpnade RPAS medan ytterligare drygt tio länder har infört eller förväntas införa denna förmåga i närtid (bland annat Italien, Indien, Australien och Tunisien). För sex år sedan hade endast tre länder genomfört bekämpning direkt från kvalificerade RPAS (USA, Storbritannien och Israel) men omkring femton länder bedöms nu ha genomfört attackuppdrag med dessa, se figur 2.2. Majoriteten av de nytilkomna länderna har använt enklare typer av RPAS.

2.1.1 Utveckling och export av enklare beväpnade RPAS

Den snabba spridningen av beväpnade RPAS har orsakats av en kombination av att allt fler länder har förmågan att utveckla egna beväpnade RPAS samt en kraftigt ökad export från i första hand Turkiet och Kina [16,17]. Ett exempel på inhemsk utveckling av en förhållandevis liten nation är Georgien som i februari 2021 meddelade att de utvecklat en RPA med möjlighet att bära fyra robotar.²¹

²¹ www.forbes.com/sites/davidhambling/2021/02/02/new-armed-drone-is-a-milestone-in-proliferation/?sh=4bed43247f14

Militära UAV-system 2020

>30 000	operativa UAV:er
102	länder har operativa UAV:er
90	länder har operativa UAV:er av Klass I
45	länder har operativa UAV:er av Klass II
35	länder har operativa UAV:er av Klass III
22	länder har beväpnade UAV:er
5	länder har exporterat beväpnade UAV:er
5	europiska länder har importerat beväpnade UAV:er
3	länder hade genomfört attackuppdrag med UAV före 2015
15	länder har genomfört attackuppdrag med UAV:er
6	länder har genomfört attackuppdrag inom det egna landet
21	länder har opererat UAV:er i Afghanistan
29	MQ-9 Reaper har kraschat de senaste fem åren (varav en dryg tredjedel i samband med start och landning)

Figur 2.2: Statistik rörande spridningen och användningen av operativa UAV:er, sammanställd utifrån information från The Center for the study of the drone at Bard College [17], den amerikanska tankesmedjan New America och Drone Wars UK.^{22,23}

Kina och Turkiet utvecklar enklare, och avsevärt billigare, RPAS än exempelvis USA och Israel, vilket även ökar möjligheten för mindre nationer att anskaffa beväpnade RPAS. Länder som Kina och Turkiet har i stor utsträckning även exporterat eller spridit teknologin till icke-demokratiska stater och Iran kan även ha spridit den till icke-statliga aktörer (Huthirebeller i Jemen).²⁴ Exporten motiveras av ekonomiska skäl men även utifrån ambitionen att öka det politiska inflytandet i olika länder och regioner. Ryssland anges nyligen ha utvecklat förmågan att utföra attackuppdrag med den nyutvecklade Orion och med denna ha genomfört åtminstone 17 attackuppdrag i Syrien.²⁵ Ryssland bedöms ännu inte ha exporterat beväpnade RPAS men har ambitionen att påbörja sådan export.²⁶

Beväpnade RPAS har de senaste åren använts i en snabbt ökande omfattning i mellanstatliga konflikter samtidigt som länder som Algeriet, Nigeria, Pakistan, Irak, Egypten och Turkiet anges ha använt RPAS för bekämpning i inomstatliga konflikter [17].²⁷

²² www.newamerica.org/international-security/reports/world-drones/who-has-what-countries-that-have-conducted-drone-strikes

²³ dronewars.net/who-has-armed-drones/

²⁴ reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/N1800513.pdf

²⁵ www.thedrive.com/the-war-zone/39381/russia-provides-a-glimpse-of-its-orion-drone-executing-combat-trials-in-syria

²⁶ www.thedrive.com/the-war-zone/38446/russias-predator-style-drone-with-big-export-potential-has-launched-its-first-missiles

²⁷ dronewars.net/who-has-armed-drones/

2.1.2 USA

USA leder utvecklingen av kvalificerade RPAS med bekämpningsförmåga men de har historiskt sett varit ytterst restriktiva med att exportera dessa system. Storbritannien erhöll sina första beväpnade MQ-9 Reaper i oktober 2007 medan Frankrike blev det andra land som fick möjlighet att anskaffa dessa i december 2019. Flera allierade länder har under åtminstone tio års tid ansökt om tillstånd att få importera dessa men politikerna i USA har nekat export. USA har även ställt krav på hur de länder som importerat exempelvis MQ-9 Reaper får använda detta för bekämpning, där den policy som antogs 2015 [18] anger att systemen:

- 1) måste opereras i enlighet med internationell rätt, inkluderande *international humanitarian law* (IHL) och *human rights law*
- 2) endast får användas då det finns en laglig grund för användning av våld under internationell rätt
- 3) inte får användas för att genomföra olaglig övervakning eller användandet av olagligt våld gentemot den inhemska befolkningen
- 4) endast får användas av tekniskt och doktrinärt tränade operatörer för att reducera risken för oavsiktlig skada.

“Complete unmanned aerial vehicle systems (including cruise missiles, target drones and reconnaissance drones) capable of delivering at least a 500 kg ‘payload’ to a ‘range’ of at least 300 km.” (MTCR Category I, Item 1 Complete delivery systems, §1.A.2)

Det ursprungliga syftet med MTCR (*Missile Technology Control Regime*) som initierades 1987 anges ha varit att förhindra spridningen av ballistiska missiler och obemannade farkoster som kunde bära kärnvapen [19]. MTCR har utgjort ett viktigt verktyg för hur politikerna i USA

har försökt begränsa spridningen av beväpnade RPAS [20].²⁸ MTCR anger att export av UAV-system som faller under kategori I ska mötas med en ”*strong presumption of denial*”. MQ-9 Reaper och MQ-9B SkyGuardian (och SeaGuardian), samt de större RQ-4 Global Hawk och MQ-4C Triton har bedömts innefattas i kategori I. Den tidigare exporten till Storbritannien omfattades dock inte av MTCR-begränsningarna.

Noterbart är även att Kina inte är medlem i MTCR men har meddelat att de avser att följa de riktlinjer som lades fram i den ursprungliga deklARATIONEN 1987, dock inte de senare uppdateringarna. Även Turkiet är en medlem. De beväpnade RPAS som hittills exporterats av Turkiet (TB2 och Anka-S) och Kina (Wing Long I/II och CH-4) bedöms inte ingå i kategori I av MTCR som omfattas av de striktaste begränsningarna då de inte kan bära 500 kg nyttolast.

²⁸ www.armscontrol.org/act/2014-04/drone-proliferation-tests-arms-control

Spridningen av beväpnade RPAS bedöms sammantaget fortsätta att öka i snabb takt de närmaste åren och utvecklingen har lett till en situation där USA:s allierade inte har fått tillgång till amerikanska beväpnade RPAS men där samtidigt ett stort antal andra länder kunnat skapa denna förmåga. Detta har skapat en frustration hos de allierade samtidigt som amerikansk industri gått miste om avsevärda exportmöjligheter. Möjligheterna att samordna användningen av beväpnade RPAS vid internationella insatser har även påverkats negativt.²⁹

Den förra amerikansk administrationen beslutade efter flera års diskussioner i juli 2020 att omtolka formuleringarna i MTCR så att UAV:er som flyger med en hastighet under 800 km/h inte längre ska klassificeras som kategori I.³⁰ USA bedöms som en konsekvens av denna omtolkning istället kunna behandla export av beväpnade UAV:er på motsvarande sätt som andra vapensystem. Detta förväntas leda till en kraftigt ökad export. Följande export av beväpnade MQ-9B SkyGuardian och SeaGuardian är beslutade eller under förhandling: Storbritannien (Protector RG Mk1), Australien, Indien och Förenade Arabemiraten (dit de även exporterar 50 stycken F-35 Lightning II).^{31,32} Det är dock oklart hur den nya administrationen förhåller sig till försäljningen av F-35 och MQ-9B till Förenade Arabemiraten. Även Taiwan, Belgien och Nederländerna är i processen att anskaffa olika versioner av MQ-9, där de troligen inte kommer vara beväpnade från början men har möjlighet att beväpnas (*"weapons-ready"*).

2.1.3 Israel

Även Israel öppnar nu upp för export av beväpnade RPA:er, såsom Heron TP, där bland annat Tyskland erbjudits att anskaffa sådana. De öppnar även upp för att utrusta tidigare exporterade obehäpnade RPAS med vapen (till exempelvis Indien).^{33,34} Israel är inte en medlem av MTCR men har frivilligt ålagt sig att följa dess restriktioner rörande export av robotar.³⁵

²⁹ www.forbes.com/sites/davidhambling/2020/06/16/us-to-reinterpret-arms-control-agreement-to-sell-more-drones/?sh=370643560cdf

³⁰ www.reuters.com/article/us-usa-arms-trump-idUSKCN24P2IC

³¹ www.thedrive.com/the-war-zone/37481/the-trump-administration-plans-to-sell-the-united-arab-emirates-armed-reaper-drones

³² eurasianimes.com/after-initial-refusal-india-to-buy-30-armed-mq-9b-sea-guardian-drones-from-the-us-reports/

³³ guardingindia.com/diplomacy/exclusive-india-to-arm-heron-uavs-with-deadly-missiles-and-bombs/

³⁴ www.defenseworld.net/news/28575/Germany_May_Receive_Israeli_Heron_TP_UAVs_without_Weapons#.YGWQ568zaUk

³⁵ www.nti.org/learn/treaties-and-regimes/missile-technology-control-regime-mtcr/



Figur 2.3: Kommersiell DJI Phantom UAV som används i Syrien (foto: CC BY 4.0, via wikipedia³⁶, bilden har redigerats).

2.1.4 Icke-statliga aktörers utveckling

RPAS används även i en ökande omfattning av icke-statliga aktörer (figur 2.3). Det gäller framförallt mindre farkoster som används för spaning, övervakning och ledning av indirekt eld men närmare 20 icke-statliga aktörer anges ha använt sig av beväpnade RPAS.³⁷ Även mindre RPA:er utrustas med enklare stridsdelar.^{38,39} I Syrien har flera icke-statliga aktörer utvecklat RPA:er som exempelvis släpper granater eller utrustas med pansarbrytande granater som exploderar vid nedslag. De ryska baserna i Khmeimim och Tartu bedöms ha attackerats med RPA:er utrustade med verkansdelar vid ett 60-tal tillfällen under 2019 [21].

En oroväckande utveckling är att även icke-statliga aktörer har fått tillgång till mer kvalificerade obemannade farkoster med möjlighet till bekämpning.⁴⁰ Det gäller exempelvis i inbördeskrigets Libyen där turkiska och kinesiska beväpnade RPA:er används av de olika stridande parterna och Huthirebellerna i Jemen som delvis bygger sina egna beväpnade RPA:er baserat på iranska förlagor [22].

Den snabba spridningen av beväpnade RPAS bedöms fortsätta de närmaste åren både till statliga och icke-statliga aktörer.⁴¹ Det är i nuläget svårt att se hur denna negativa utveckling skulle kunna bromsas eller stoppas. Försvarsmakten behöver förbereda sig för att möta mer eller mindre sofistikerade beväpnade RPAS i alla typer av framtida insatser, även vid fredsbefrämjande internationella insatser.

³⁶ en.wikipedia.org/wiki/Drone_strike

³⁷ thebulletin.org/2020/12/we-need-a-new-international-accord-to-control-drone-proliferation/

³⁸ www.defenseone.com/technology/2017/01/drones-isis/134542/

³⁹ www.smallwarsjournal.com/jrnl/art/turkeys-drone-war-syria-red-team-view#_ednref23

⁴⁰ www.youtube.com/watch?v=_GbXictC9eU

⁴¹ thebulletin.org/2020/12/we-need-a-new-international-accord-to-control-drone-proliferation/

2.2 Användningsexempel - luftstrid

RPAS används idag i en stor omfattning internationellt. De huvudsakliga operativa användningsområdena är:

- spaning, övervakning och målinmätning (*Reconnaissance, Surveillance, Target Acquisition, RSTA*)
- underrättelseinhämtning (*Intelligence*)
- målutpekning och direkt bekämpning
- verkansbedömning (*Battle Damage Assessment, BDA*)
- skenmål
- upphöjd relänod för ökad konnektivitet och räckvidd för militära radiosystem
- signalspaning och störning mot radar-, kommunikations- och satellitnavigeringssystem.

2.2.1 Spaning, övervakning och målinmätning

RPAS används operativt för spaning och övervakning på alla ledningsnivåer. Stridstekniska RPAS används i en ökande omfattning inom framförallt arméstridskrafterna för att ge en förbättrad lägesbild på grupp- och plutonsnivå. De kan även utgöra ett bra hjälpmedel för exempelvis flygbasjägargrupper och hemvärnsförband som tilldelas uppgiften att skydda flygbaser, eller som en del av närskyddet för luftvärns- och artillerisystem. De ger soldaterna en möjlighet att se bakom byggnader och bortom nästa kulle och de kan till viss del även automatiskt detektera och varna för möjliga hot. Exempel på system som kan användas i dessa uppgifter inkluderar FLIR's Black Hornet PRS, Skydio X2D samt AeroVironment's Raven (Korpen) [4,5]. Ungefär 30 länder anges använda Black Hornet samtidigt som US Army anskaffar upp till 9,000 system för användning på gruppnivå [23].

RPAS används i betydande omfattning för uthållig spaning i syfte att upptäcka, klassificera och lokalisera hot och mål och skapa en lägesbild. Flygstridskrafterna internationellt opererar normalt RPAS med lång uthållighet som flyger på hög höjd, så kallade MALE och HALE RPAS (Medium-/High-Altitude Long-Endurance), för dessa uppdrag. Ett användningsexempel är uthållig territorialövervakning för att generera en luft- och sjölägesbild. Dessa RPAS används även för målinmätning och har ofta laserutpekare⁴² integrerade i EO/IR-sensorpaketet. Två exempel på RPAS som används operativt i dessa uppgifter är Heron TP och

⁴² En pulsad laser (som normalt uppfyller Nato STANAG 3733) används för att peka ut ett mål för ett styrt vapen. Vapnet styr mot den reflekterade laserstrålningen (som matchar en given pulskod). Teknikutvecklingen medger numera att små UAV:er eller handhållna enheter kan peka ut mål på två till tio kilometers avstånd med en laserutpekare som väger mellan ett halvt och ett kilogram (www.youtube.com/watch?v=n9_Vg6W-QeE).

Natos flotta med RQ-4D Phoenix Global Hawk som opereras från Sicilien.

Taktiska RPAS används även i en ökande omfattning till att mäta in sjö- och markmål och reläa målinformation till verkansplattformar. De används även till att belysa mål med laserutpekare och därefter genomföra verkansbedömning. Taktiska RPAS opereras normalt av armé- eller marinförband och de skickar målinformation (alternativt använder laserutpekare för att belysa mål) till exempelvis stridsflyg för långräckviddig precisionsbekämpning. Exempel på marina taktiska RPAS av helikoptertyp är Skeldar V200 och MQ-8C Fire Scout. Exempel på ryska RPAS (av flygplanstyp) som används i denna roll är Orlan-10 och Forpost-R. I Syrien bedöms Ryssland exempelvis ha genomfört fler flyguppsdrag med RPAS än med bemannade flygplan. I början av juli 2018 bedömdes ryska RPAS ha flugit över 23 000 uppsdrag i Syrien, främst för spaning och övervakning men även för målinmätning för långräckviddig precisionsbekämpning.⁴³

2.2.2 Underrättelseinhämtning

Underrättelseinhämtning för strategiska och operativa behov genomförs huvudsakligen med bildalstrande sensorer (EO/IR-sensorer), syntetisk aperturradar (*Synthetic Aperture Radar*, SAR) i kombination med algoritmer för detektion av rörliga markmål (*Ground Moving Target Indicator*, GMTI) och genom radio- och radarsignalspaning. I denna uppgift används ofta HALE RPAS såsom RQ-4 Global Hawk, eller smyganpassade RPAS som RQ-170 Sentinel om insatsen genomförs i områden med höga hotnivåer.

2.2.3 Bekämpning

Beväpnade RPA:er medger en snabb, effektiv bekämpning även mot rörliga mål genom en integrerad *hunter-killer*-förmåga. Direkt bekämpning kan även ske genom användning av UAV:er med integrerad verkansdel (patrullrobotar). Fram till 2015 anger organisationen New America att endast tre länder hade genomfört bekämpning direkt med RPA: USA, Storbritannien och Israel. I januari 2021 ska ytterligare minst tolv länder ha tillkommit till denna lista: Frankrike, Ryssland,

⁴³ eng.mil.ru/en/news_page/country/more.htm?id=12184627@egNews

Förenade Arabemiraten, Turkiet, Irak, Azerbajdzjan, Iran, Nigeria, Pakistan, Egypten, Algeriet och Saudiarabien [17].^{44,45,46,47,48,49}

Noterbart är att Ryssland endast har haft tillgång till beväpnade RPAS i ett par år samt att Kina ännu inte bedöms ha genomfört attacker med RPAS.

2.2.3.1 Mark- och sjömålsbekämpning

USA använder RPAS i stor omfattning för direkt bekämpning som en integrerad del av den reguljära krigföringen i exempelvis Afghanistan och Syrien. I Libyen bedöms över tusen attacker ha genomförts med beväpnade RPAS där båda sidorna i konflikten använder RPAS för bekämpningsuppdrag. Turkiet använde i början av mars 2020 med stor framgång en kombination av RPAS och signalspaning för att leda in artilleri för bekämpning av reguljära syriska förband i Idlibprovinsen. Turkiska RPA:er (Bayraktar TB2 och TAI Anka-S) användes även för direkt bekämpning. Under hösten 2020 användes även RPAS i striderna mellan Armenien och Azerbajdzjan där de bedöms ha utgjort en viktig faktor för de framgångar som Azerbajdzjan hade. I tabell 2.2 ges övergripande beskrivningar av utvalda exempel på beväpnade RPAS som använts de senaste åren i olika konfliktområden.

Beväpnade RPAS används även i stor omfattning för att genomföra s.k. *targeted killings*, där utvalda personer framförallt misstänkta terrorister dödas. I många fall har även oskyldiga personer dödats i dessa attacker.

2.2.3.2 Suppression of Enemy Air Defence, SEAD

Två huvudsakliga metoder används för att motverka fiendtliga luftvärnssystem. Den första metoden syftar till att vilseleda och förvirra luftförsvaret genom att använda en kombination av obemannade skenmål och elektronisk krigföring som följs av signalsökande patrullrobotar eller stridsflygplan som med signalsökande eller traditionella markmålsrobotar bekämpar luftvärnsradar och robotbatterier. I den andra metoden används olika metoder såsom signalspaning och under-rättelseinhämtning (exempelvis med UAV) till att på förhand lokalisera fiendtliga

⁴⁴ www.theguardian.com/world/2019/dec/23/french-forces-kill-40-jihadists-during-operation-in-mali

⁴⁵ www.newamerica.org/international-security/reports/world-drones/who-has-what-countries-that-have-conducted-drone-strikes/

⁴⁶ www.thedrive.com/the-war-zone/39381/russia-provides-a-glimpse-of-its-orion-drone-executing-combat-trials-in-syria

⁴⁷ dronewars.net/who-has-armed-drones/

⁴⁸ english.aawsat.com/home/article/1749661/homemade-army-drones-successfully-strike-terror-targets-algeria

⁴⁹ www.bloomberg.com/news/articles/2021-03-17/china-s-combat-drones-push-could-spark-a-global-arms-race

luftvärnsförband och därefter genomföra traditionell markmålsbekämpning med artilleri eller markmålsrobotar.

Israel använde exempelvis båda metoderna för att bekämpa syriskt luftvärn i Bekaadalen 1982 med goda resultat [3]. Även under Kuwaitkriget 1990 användes en kombination av skenmål och signalsökande robotar för att slå ut luftvärnsradarsystemen varefter attackflyg kunde slå ut luftvärnsbatterierna. I båda dessa fall förenklades bekämpningen avsevärt genom allvarliga metodbrister (före konflikten bröt ut) när det gäller sändardisciplin och användandet av stationära positioner för ett i grunden mobilt system [24]. Under 2020 användes liknande taktik med användandet av obemannade skenmål kombinerat med radarmålsökande patrullrobotar eller attackflyg för att slå ut luftvärnssystem både i Syrien (Idlibområdet) och i Nagorno-Karabach.

För att reducera risken för bekämpning behöver ett luftvärnsförband taktikanpassa i syfte att reducera användning av aktiva sensorer och efter perioder med aktiv sändning med radar genomföra snabba omgrupperingar. Användning av fysiska skenmål och elektronisk vilseledning kan även tvinga motståndaren att sprida ut sina bekämpningsresurser och öka överlevnadsmöjligheterna för luftvärnsförband.

2.2.3.3 "War on terror" eller Overseas Contingency Operations

USA använder i stor omfattning RPAS för direkt bekämpning. Det har sedan attentaten den 11:e september 2001 utgjort en viktig del i det som benämnts "war on terror".⁵⁰ Framförallt den amerikanska underrättelsetjänsten CIA (*Central Intelligence Agency*) genomför även riktade attacker mot utvalda mål som anges vara terrorister och bedöms utgöra ett hot mot USA. Ett exempel är attacken vid Baghdads internationella flygplats den 3:e januari 2020 där generalmajor Qasem Soleimani, ledaren för det islamiska revolutionsgardets specialstyrka Quds, och den irakiske milisledaren Abu Mahdi al-Muhandi dödades. Attacker med RPAS utanför traditionella krigszoner bedöms ha ökat markant under president Obama och president Trump, men en striktare policy har nyligen införts i samband med president Bidens tillträde.^{51,52,53} Närmare tusen riktade attacker mot olika terroristgrupperingar bedöms ha genomförts i Jemen, Somalia, Pakistan och Libyen [17].

⁵⁰ Benämningen är omtvistad men den har använts av flera amerikanska presidenter, 2009 bytte dock amerikanska försvarsdepartementet benämning till det mindre kontroversiella *Overseas Contingency Operations*, OCO (en.wikipedia.org/wiki/War_on_terror).

⁵¹ www.nbcnews.com/politics/national-security/trump-authorized-soleimani-s-killing-7-months-ago-conditions-n1113271

⁵² eu.usatoday.com/story/news/politics/2020/01/04/trump-gives-congress-formal-notice-qasem-soleimani-killing/2812636001/

⁵³ www.nytimes.com/2021/03/03/us/politics/biden-drones.html

Tabell 2.2: Exempel på beväpnade RPAS som även exporteras. Angivna prestanda är ungefärliga då öppna källor ibland anger motstridiga värden samtidigt som farkosterna kontinuerligt vidareutvecklas. Uthålligheten är lång för dessa farkoster medan räckvidden normalt begränsas av kommunikationssystemet (där satellitkommunikation möjliggör betydligt längre räckvidder än markbaserade radiolänkar). ATM – Anti-Tank Missile. ASM – Air-Surface-Missile.

RPA	Flyg- tid [t]	Flyg- höjd [km]	Ving- spänn [m]	Vapen- last [kg]	Hastig- het [km/h]	Beväpning (exempel)
MQ-1C Gray Eagle ⁵⁴ (USA)	25	8,8	17	200+	310	4 AGM-114 Hellfire 8 AIM-92 Stinger ⁵⁵ 4 GBU-44/B
MQ-9A Reaper ⁵⁶ (USA)	27+	15,2	20	1 090	390	4 AGM-114 Hellfire 2 GBU-12/49 2 GBU-38 JDAM
Wing Loong II ⁵⁷ "Pterodactyl" (Kina)	32	9,9	20.5	480	370	AKD-10 ATM BRMI-90 FT-7/130, FT-9/50, FT-10/25 GB-7/50, GB-4/100
CH-4B ⁵⁸ "Rainbow" (Kina)	15-40	8	18	345	235	6 AR-1/HJ-10 BA-7 FT-9/50
CH-5 (Kina)	60	9	21	1000+	300+	16 AR-1/HJ-10 BA-7 FT-7
TB2 ⁵⁹ (Turkiet)	24+	8,2	12	150	220	4 MAM-C/MAM-L L-UMTAS ATM Cirit Tubitak-Sage Bozok laser-guided rocket
Orion-E ⁶⁰ (Ryssland)	24	7,5	16	200	200	KAB-20/50 Laser- guided FAB-50 Unguided UPAB-50 Ch-50

2.2.4 Sambandsnod

En upphöjd sambandsnod som kan reläa trafik mellan luft-, mark- eller sjöbaserade farkoster kan ge en avsevärt ökad räckvidd för radiosystem. För markförband innebär det att datatakterna och tillgängligheten i mobila radionät

⁵⁴ www.ga-asi.com/remotely-piloted-aircraft/gray-eagle

⁵⁵ www.defenseworld.net/news/25220/US_Army_Contracts_General_Atomics_To_Support_Its_MQ_1C_Drones#.YFnIGa9KguU

⁵⁶ www.ga-asi.com/remotely-piloted-aircraft/mq-9a

⁵⁷ en.wikipedia.org/wiki/CAIG_Wing_Loong_II

⁵⁸ www.globalsecurity.org/military/world/china/ch-4.htm
www.militaryfactory.com/aircraft/detail.asp?aircraft_id=1843

⁵⁹ en.wikipedia.org/wiki/Bayraktar_TB2

⁶⁰ en.wikipedia.org/wiki/Kronshtadt_Orion

kan ökas. Datatakterna kan även i många situationer ökas kraftigt genom att radiosignalen i avsevärt lägre grad dämpas av exempelvis vegetation eller byggnader.

UAV:er används även för att öka räckvidden för andra UAV:er genom att reläa trafik till och från markstationen. Två eller tre ryska Orlan-10 opererar normalt tillsammans, där en av dessa flyger bakom, och på högre höjd, än den första spaningsfarkosten i syfte att agera som relänod.

2.2.5 Telekrig

Signalspaning har använts i stor omfattning de senaste åren för att identifiera och lokalisera fientliga förband för efterföljande bekämpning med artilleri eller långräckviddig precisionsbekämpning.

Det ryska signalspaningssystemet *Leer-3*, som består av tre Orlan-10 som utrustats med stör- och signalspaningsutrustning riktat bland annat mot civila mobiltelefonsystem, har använts i både Ukraina och Syrien.⁶¹ De kan störa ut bland annat basstationen och agera som en virtuell basstation [25].

Aktiva störsystem mot radio-, radar och satellitnavigeringssystem kan även placeras på en UAV. Energittillgången är begränsad på mindre UAV:er men det kompenseras av att störaren kan placeras närmare de system som ska störas. UAV-burna system för störning och vilseledning av GNSS-mottagare kan påverka ett mycket stort område och de utgör ett allvarligt hot.

Vilseledning av eldledningsradar utgör en viktig komponent vid bekämpning av fientligt luftvärn. Genom att med skenmål få motståndaren att aktivera sina radarstationer kan deras position mätas in och de blir även sårbara för bekämpning med signalsökande patrullrobotar. Förhoppningen är även att göra det svårt för motståndaren att särskilja mellan verkansplattformar och skenmål vilket ökar sannolikheten för en lyckad bekämpning. ADM-160B MALD (*Miniature Air-Launched Decoy*) är ett exempel på ett operativt skenmål. En kombination av elektronisk störning och vilseledning kan även användas som motmedel mot luftmålsrobotar.

2.3 Exempel på möjliga nya förmågor

Den viktigaste nya förmågan som behöver utvecklas bedöms inte vara kopplad till nya uppdrag utan snarare att möjliggöra genomförandet av framförallt uppdrag som spaning, övervakning, målinmätning och bekämpning i områden med ett förhöjt lufthot och i fullskaliga avreglingszoner. Detta förutsätter en ökad grad av autonomi för att möjliggöra genomförandet av uppdrag vid

⁶¹ www.uasvision.com/2017/04/04/russias-new-drone-based-electronic-warfare-system/

kommunikationsbortfall, vilket i sin tur ställer krav på en förmåga att noggrant estimerar farkostens position och orientering i telestörda miljöer. Ett robust kommunikationssystem krävs också, dock med lägre krav på datatakt jämfört med fjärrstyrda system. Farkosten behöver även förbättra överlevnaden i dessa utmanande miljöer, exempelvis med en lägre signatur eller genom att utrustas med motmedel. I vissa fall kan även jaktrobotar öka dess överlevnad.

Obemannade farkoster kan potentiellt även designas för högre hastighet och manövrerbarhet, vilket även kan öka deras möjlighet att undvika bekämpning.

Utöver ovanstående finns även några nya förmågor som är under utveckling internationellt, där framförallt följande förmågor bedöms vara intressanta:

- *loyal wingman*
- kvalificerad autonom jakt och attack
- obemannad luftburen transport
- obemannad lufttankning
- svärmar av obemannade farkoster för spaning och bekämpning av kvalificerade mål (såsom luftvärn, örlogsfartyg, m.m.).

2.3.1 Loyal wingman

Det pågår för närvarande flera intressanta utvecklingsprojekt där obemannade flygfarkoster utvecklas som är avsedda att kunna operera tillsammans med bemannade stridsflygplan: Air Teaming System (Australien), LANCA (Storbritannien), Skyborg (USA) och SCAF/FCAS (Frankrike, Tyskland och Spanien). Ambitionen i dessa program är att utveckla enklare och billigare (i jämförelse med dagens stridsflygplan) obemannade flygplan vilket ska möjliggöra en större volym av farkoster och även ett högre risktagande. Autonoma farkoster kan även reducera träningsbehoven för operatörer vilket kan reducera livscykelkostnaden.

De uppdrag som nämns är främst framskjuten spaning i avreglingszoner, bekämpning av fientligt luftvärn, mark- och sjömålsattack och skydd av bemannade flygplan (skenmål, elektroniska motmedel och ibland även i form av jakteskort). Deras relativt låga kostnad är även avsedd att möjliggöra att de kan bilda grupper eller svärmar av samverkande farkoster som gemensamt utför ett tilldelat uppdrag. För att möjliggöra operationer i avreglingszoner designas de med goda smygegenskaper.

2.3.2 Autonom jakt och attack

Både inom EU och USA har olika teknikdemonstratorer för obemannade jakt- och attackflygplan utvecklats tidigare, exempelvis X-47B, Neuron och

Taranis.^{62,63,64} I öppen litteratur finns dock begränsad information om fortsatt utveckling av obemannade ersättare till stridsflygplan i EU och USA utan fokus är numera snarare mot att utveckla enklare loyal wingman. Diskussioner pågår i Storbritannien huruvida nästa generations stridsflygplan även ska kunna framföras utan pilot ombord (optionellt bemannad).⁶⁵

Det finns exempel på kvalificerade autonoma jakt- och attackflygplan som fortsatt är under utveckling, främst i Kina och Ryssland (S-70 Ochotnik). Kina har ett flertal demonstrator- eller prototypsystem under utveckling och utvecklingen bedöms utifrån beskrivningar i öppen litteratur vara inriktad i första hand mot farkoster med förbättrade smygegenskaper primärt avsedda för spanings- och attackuppdrag.^{66,67} USA utvecklar ett optionellt bemannat flygplan (B-21 Raider) som främst är avsedd för bombuppdrag.

Dessa högt kvalificerade autonoma farkoster bedöms vara associerade med avsevärda utvecklingskostnader då de är avsedda att genomföra delar av bemannade stridsflygplans nuvarande uppdrag i en konflikt mot en kvalificerad motståndare, såsom attacker mot högvärdiga mål på djupet. De behöver därmed ha liknande, eller förbättrade, egenskaper i form av hastighet, uthållighet, manövrerbarhet, beväpning och smygegenskaper. Dessa farkoster utvecklas för att ha låg radarmålararea och termisk signatur, då goda smygegenskaper är kritiska för att möjliggöra operationer i avreglingszoner. Dessa UCAV (*Unmanned Combat Aerial Vehicle*) är avsedda att användas tillsammans med bemannade stridsflygplan eller framföras individuellt.

2.3.3 Luftburen transport

När det gäller obemannade farkoster så är det främst utvecklingen av obemannade fjärrstyrda och autonoma helikoptrar som har potentialen att öka Försvarmaktens taktiska transportkapacitet. En obemannad helikopter kan exempelvis möjliggöra ett ökat risktagande vid logistiktransporter, inklusive snabb evakuering av skadade (*Casualty Evacuation*, CASEVAC), medan det är troligt att bemannade helikoptrar fortsatt kommer att användas för trupptransporter och medicinsk evakuering (*Medical Evacuation*, MEDEVAC) under överskådlig tid [26]. Undsättning av isolerad personal utgör ett uppdrag som ofta associeras med hög risk för exempelvis helikopterpiloter. I vissa

⁶² www.baesystems.com/en/product/taranis

⁶³ www.dassault-aviation.com/en/defense/neuron/introduction/

⁶⁴ www.northropgrumman.com/what-we-do/air/x-47b-ucas/

⁶⁵ www.forbes.com/sites/sebastienrobin/2020/07/30/can-the-uk-afford-to-develop-its-tempest-optionally-manned-stealth-fighter/?sh=66f278d49b91

⁶⁶ thediplomat.com/2019/11/chinas-growing-high-end-military-drone-force/

⁶⁷ asianmilitaryreview.com/2019/06/chinas-next-generation-unmanned-assassins/

scenarion kan eventuellt bemannade helikoptrar vid framtida undsättningsuppdag ersättas med obemannade flygande farkoster. Vid anflygning kan då ett högre risktagande accepteras, där de obemannade farkosterna kan vara mindre och ha förbättrade smygegenskaper.

Dagens helikoptrar är kvalificerade och dyrbara multirollsfarkoster som är utvecklade för att utföra olika typer av uppdag. Det är därmed möjligt att obemannade dedikerade transporthelikoptrar, som utvecklas för att utföra en begränsad delmängd av de uppdag som kvalificerade helikoptrar utför idag, i framtiden kan bli billigare i inköp och drift. Det finns ett fåtal exempel på framgångsrika utvecklingsprojekt, framförallt inom amerikanska flottan och marinkåren, av obemannade helikoptrar som har nått en hög mognadsgrad bland annat K-MAX och AACUS (*Autonomous Aerial Cargo/Utility System*).^{68,69}

2.3.4 Lufttankning

Försvarsmakten använder Herculesflygplan för träning av lufttankning. Ett obemannat flygplan skulle potentiellt kunna medge en högre tillgänglighet för denna resurs samt på längre sikt eventuellt även en lägre kostnad.

US Navy utvecklar ett obemannat lufttankningsflygplan, benämnt MQ-25 Stingray, som kommer att baseras på hangarfartyg.⁷⁰ Syftet är att öka räckvidden för hangarfartygets stridsflygplan vilket bedöms vara av kritisk vikt vid framtida konflikter mot kvalificerade motståndare med långräckviddig sjömålsbekämpningsförmåga. Idag använder marinen ofta dedikerade F/A-18 Super Hornet som lufttankningsresurs. MQ-25 kommer sannolikt även vidareutvecklas och förses med ytterligare förmågor för att kunna agera som kommunikationsrelä, genomföra signalspaning eller optisk spaning och övervakning.

2.3.5 Svärmar

Ett flertal nationer genomför forskningsprojekt där de utvecklar svärmar av UAV:er som samarbetar och utför ett uppdag gemensamt. Civilt utvecklas även svärmar med mer än tusen små UAV:er, exempelvis Intel's Shooting Star, där de utrustas med ljusdioder och kan skapa olika 3D-animationer.⁷¹ UAV:erna styrs huvudsakligen från en central nod, markstationen, med ytterst begränsat eget beslutsfattande och de är beroende av satellitnavigeringsmottagare (*Global Navigation Satellite System*, GNSS) för att fungera. Även Kina har utvecklat motsvarande svärmar med över tusen små UAV:er för koordinerade

⁶⁸ www.kaman.com/aerosystems/solutions/air-vehicles-mro/unmanned-aerial-systems

⁶⁹ www.aurora.aero/wp-content/uploads/2017/03/AACUS-Brochure_X9a.pdf

⁷⁰ www.navair.navy.mil/product/MQ-25A-Stingray

⁷¹ inteldronelightshows.com/

ljusshower.⁷² Dessa svärmar med enkla och lätta UAV:er bedöms dock ha begränsade militära användningsområden.

Liknande svärmar bestående av något större och mer avancerade UAV:er (dock i färre antal) kan komma att användas för att genomföra koordinerad spaning i urbana miljöer, inomhus och i exempelvis underjordiska komplex. Det förutsätter dock ett GNSS-oberoende navigeringssystem samt karteringsförmåga. De behöver även förmåga att kommunicera sinsemellan och koordinera sina aktioner. Svärmbeteendet kan eventuellt även komma att genereras genom emergent beteende, där individerna observerar varandra och omgivningen och agerar utifrån enkla förprogrammerade regler vilket resulterar i ett till synes intelligent, ändamålsenligt beteende hos svärmen. De viktigaste fördelarna med svärmar av UAV:er för spaning utomhus i urbana miljöer, jämfört med en stor UAV, är främst den redundans och resiliens som numerären möjliggör samt möjligheten att spana exempelvis bakom byggnader, under carporttak och in i (eller inuti) byggnader.

Det andra troligaste användningsområdet för svärmar är för bekämpning. Idéen är att om ett större antal UAV:er attackerar ett mål samtidigt så kan målets försvarssystem mättas vilket innebär att en delmängd av svärmindividerna kan träffa sitt mål. För att kunna orsaka betydande skada på ett kvalificerat mål som ett större örlogsfartyg eller luftvärnssystem förutsätts dock att UAV:erna är utrustade med relativt kvalificerade stridsdelar. På kort sikt kan samverkande grupper, eller mindre svärmar, realiseras baserat på patrullrobotar som redan har kommunikationssystem och målföljningsförmåga integrerade. USA och Kina bedöms leda utvecklingen av mer kvalificerade svärmar för bekämpning där svärmens individer utgörs av olika typer av patrullrobotar. Länder som Turkiet, Indien och Kina utvecklar även svärmar av enklare beväpnade UAV:er, i form av multirotorsystem som kan bära en nyttolast på något enstaka kilo (exempelvis splittergranater).^{73,74,75,76} Den här typen av svärmar kan utgöra ett allvarligt hot mot civila mål eller oförberedda militära förband men de bedöms inte utgöra ett allvarligt hot mot kvalificerade militära plattformar eller installationer även om de i vissa scenarion kan orsaka skada på dessa. Svärmar av UAV:er utvecklas också som ett möjligt defensivt motmedel mot attacksvärmar.^{77,78}

⁷² thediplomat.com/2018/02/chinas-swarms-of-smart-drones-have-enormous-military-potential/

⁷³ www.forbes.com/sites/davidhambling/2021/01/19/indian-army-shows-off-drone-swarm-of-mass-destruction/?sh=6758daa52384

⁷⁴ www.youtube.com/watch?v=29VtlnfzkY

⁷⁵ www.thedrive.com/the-war-zone/34204/turkey-now-has-a-swarming-quadcopter-suicide-drone-that-it-could-export

⁷⁶ nationalinterest.org/blog/buzz/china-will-overwhelm-its-enemies-swarms-rocket-armed-heli-drones-59277

⁷⁷ www.doncio.navy.mil/CHIPS/ArticleDetails.aspx?ID=14205

⁷⁸ warontherocks.com/2015/03/counter-swarm-a-guide-to-defeating-robotic-swarms/

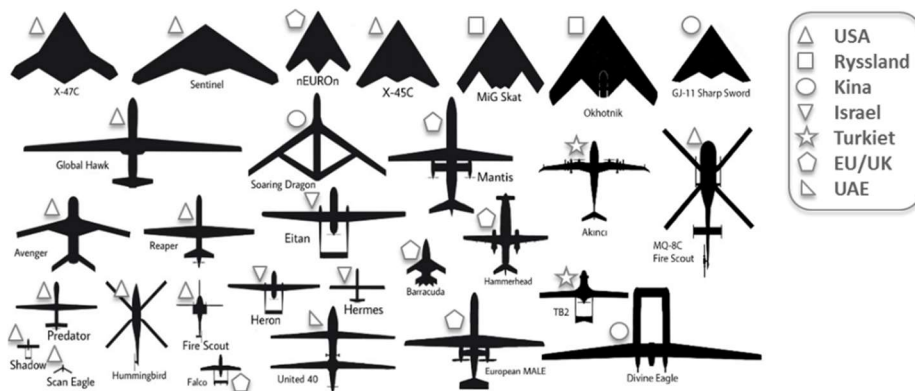
3 RPAS för flygstridskrafterna – exempel

Ett stort antal RPAS används internationellt och över 100 nationer använder RPAS operativt. Även om en majoritet av dessa används inom armé- och marin stridskrafterna så används i en ökande omfattning framförallt större MALE och HALE RPAS av olika nationers flygstridskrafter. I [27] beskrivs omkring 500 olika UAV:er som marknadsförs för militär användning och även om majoriteten är stridstekniska UAV:er beskrivs även mer än hundra taktiska och MALE/HALE UAV:er. Över 22 nationer bedöms idag ha tillgång till beväpnade RPAS och ytterligare tio nationer kan inom något år ha skapat denna förmåga.

I detta kapitel beskrivs representativa exempel på RPAS som används operativt av olika nationers flygstridskrafter. Flera av farkosterna är relevanta både för mark- och sjöstridskrafterna och vissa av dessa beskrevs även i [4,5]. I figur 3.1 ges en illustrativ jämförelse av form och ungefärlig storlek för ett antal olika utvecklingsprojekt och operativa obemannade farkoster.

3.1 Inhämtning

Det finns idag ett stort antal RPAS som används för inhämtning, allt från stridstekniska RPAS avsedda att förbättra situationsuppfattningen på gruppnivå



Figur 3.1: Illustration av form och uppskattad storlek för 29 olika UAV:er som är operativa eller under utveckling. Notera dock att illustrationerna inte är skalenliga, exempelvis RQ-170 Sentinel sannolikt är mindre än vad som indikeras här (illustration: Saggittarius A, CC BY-SA 4.0, via wikipedia⁷⁹, symboler som representerar utvecklingsland tillagda).

⁷⁹ en.wikipedia.org/wiki/File:UAV_Comparison.jpg

till högtflygande RPAS för ISTAR (*Intelligence, Surveillance, Target Acquisition, Reconnaissance*) på operativ eller strategisk ledningsnivå.

3.1.1 Ryssland

Ryssland har utvecklat ett antal inhemska RPAS som primärt används för inhämtning. Majoriteten är stridstekniska RPAS men de har även ett större antal taktiska RPAS främst i form av olika versioner av Orlan och Forpost.

3.1.1.1 Orlan-30

Orlan-30 är en vidareutveckling av den vanligaste ryska RPAS Orlan-10 som har levererats i mer än 1 000 exemplar.⁸⁰ De första exemplaren av Orlan-30 blev operativa under 2020. Orlan-30 anges bland annat ha förbättrade EO/IR-sensorer och möjlighet att med laser peka ut mål [5]. Den anges vara utrustad med satellitnavigeringsmottagare (GPS och GLONASS) och ett tröghetsnavigerings-system.⁸¹ Orlan-30 har jämfört med föregångaren än så länge en avsevärt kortare uthållighet (fem timmar) men målsättningen är att öka flygtiden till tio timmar. Dess huvudsakliga användningsområde bedöms vara för spaning, övervakning, målinmätning och laserutpekning för långräckviddigt artilleri, eller andra långräckviddiga precisionsvapen, och tillhörande verkansbedömning.⁸² Den ska exempelvis kunna belysa mål för inriktning av Krasnopol 152 mm eller Tyulpan 240 mm slutfasstyrda granater och precisionsstyrda bomber (KAB-500/1500).⁸³



Orlan-30 (Ryssland):

- Vikt (MTOW): ca 30 kg
- Nyttolast: ca 7 kg
- Vingbredd: 3 m
- Hastighet: ca 170 km/h
- Flyghöjd: 4 500 m
- Uthållighet: 4 – 5 timmar
- Räckvidd: ca 300 km

Figur 3.2: Orlan-10 UAV, och dess EO/IR-sensorer, som övervakade vapenvilan i Nagorno-Karabach, februari 2021 (foto: mil.ru⁸⁴, Creative Commons Attribution 4.0).

⁸⁰ en.ruvs.com/catalog/orlan_30/

⁸¹ armyrecognition.com/weapons_defence_industry_military_technology_uk/russian_army_to_get_orlan-30_drone_in_2020.html

⁸² www.airrecognition.com/index.php/focus-analysis-photo-report-aviation-defence-industry/aviation-defence-industry-technology/6455-analysis-russian-army-to-get-orlan-30-drones-take-2.html

⁸³ www.ainonline.com/aviation-news/defense/2020-02-27/innovative-uav-technology-helps-syrian-army-offensive-idlib

⁸⁴ eng.mil.ru/en/news_page/country/more.htm?id=12342239@egNews

Orlan-10 och Orlan-30 skjuts upp med katapult och landar med fallskärm. Orlan-10 har även använts i stor utsträckning för telekrigsuppdrag och de flygs normalt i en grupp av två eller tre där en farkost agerar som kommunikationsrelä och de andra bedriver spanings- och telekrigsuppdrag [5]. Huruvida Orlan-30 kommer att användas på ett liknande sätt är ännu oklart. Ett system med tre Orlan-10 och markstation anges kosta i storleksordningen 4 miljoner kronor.^{85,86} Kostnaden för Orlan-30 bör dock vara högre.

3.1.1.2 Forpost-R

Den ryska UAV:n Forpost var ursprungligen en licenstillverkad version av den israeliska Searcher Mk II. Forpost-R är en vidareutvecklad version som endast ska ha inhemskt tillverkade komponenter. Den är utrustad med gyrostabiliserade EO/IR-sensorer som, till skillnad från tidigare versioner som använde israeliska sensorer, även inkluderar laseravståndsmätare- och utpekare (GOES-540 eller GOES-4).⁸⁷ Forpost-R kan även utrustas med ryska signalspaningsmottagare och en miniaturiserad radar. En Forpost UAV bedöms kosta ca 6 miljoner USD. Det nya radiosystemet anges öka räckvidden för Forpost-R med ca 100 km.



Forpost-R (Ryssland):

- Vikt (MTOW): ca 500 kg
- Nyttolast: 70 – 100 kg
- Längd: 6,9 m
- Vingbredd: 10,5 m
- Hastighet: ca 200 km/h
- Flyghöjd: 6 000 m
- Uthållighet: 10 – 18 timmar
- Räckvidd: 250 – 350 km

Figur 3.3: Forpost^{88,89} UAV, augusti 2013 (foto: Vitaly V. Kuzmin, CC BY-SA 4.0, via Wikimedia commons⁹⁰).

Åtminstone 28 Forpost-R system har beställts sedan slutet av 2019, där ett system typiskt utgörs av tre farkoster.⁹¹ Den är främst avsedd att genomföra spaning, övervakning och målinmätning, både på land och till sjöss [5]. Den

⁸⁵ www.unian.info/war/2323611-ukrainian-troops-shoot-down-russian-drone-in-ato-zone.html

⁸⁶ www.strategypage.com/htm/w/htproc/articles/20190518.aspx

⁸⁷ mil.today/2019/Science42/

⁸⁸ en.topwar.ru/186356-razvedyvatelnyj-bespilotnik-forpost-r-poluchil-udarnuju-versiju.html

⁸⁹ www.deagel.com/Support%20Aircraft/Forpost%20R/a003925

⁹⁰ commons.wikimedia.org/wiki/File:Forpost_UAV_InnovationDay2013part2-02.jpg

⁹¹ eng.mil.ru/en/news_page/country/more.htm?id=12274342@egNews

ryska marinen har exempelvis genomfört övningar där Forpost används för att detektera och lokalisera mål och vidarebefordrar målinformationen till ryska bomb- och stridsflyg som genomför bekämpning.⁹² Alternativt kan målinformationen reläas till ubåtar som är utrustade med Kalibrrobotar eller Oniks sjömålsrobot [28]. I [5] diskuteras den ryska utvecklingen av *Reconnaissance – strike complex* närmare, där ett integrerat ledningssystem kan möjliggöra en snabb bekämpning på djupet utifrån målinmätning med UAV:er. Ryska källor anger även att en version av Forpost-R under 2021 utrustats med två robotar.⁹³

3.1.2 USA

USA utvecklar RPAS i alla storlekssegment.

3.1.2.1 Skydio X2D

Skydio X2D är en liten, lätt UAV med utvikbara armar. Den har sex kameror riktade i olika riktningar, vilket möjliggör flera intressanta autonoma funktioner som reducerar en operatörs kognitiva belastning såsom att detektera och väja för hinder (*collision avoidance*), automatiskt följa fordon eller personer, eller kartera en byggnad utan att kollidera med väggar.⁹⁴



Skydio X2E (USA):

- Vikt: 1,3 kg
- LxB: 66x56 cm
- Hastighet: 40 km/h
- Räckvidd: 6 km
- Uthållighet: 35 min

Figur 3.4: En Skydio2 som flyger autonomt i skog under flygförsök i det militära innovationsprojektet Detaljrekognosering över stora ytor, 2020 (foto: Katam, med tillstånd). Data anges för Skydio X2E som har stora likheter med X2D men denna har bland annat ett militärt kommunikationssystem och användargränssnitt.⁹⁵

Skydio X2D är utrustad med EO/IR-sensorer (FLIR Boson mikrobolometer med 320x256 pixlar) med elektronisk zoom (16 respektive 8 gånger). I mörker har den möjlighet att använda visuell och IR-belysare men kan även flyga med endast GPS-styrning (då utan *collision avoidance*).⁹⁶ US Army integrerar en

⁹² www.navalnews.com/naval-news/2020/08/russias-forpost-uav-designates-naval-targets-during-black-sea-fleet-maneuvers/

⁹³ en.topwar.ru/186356-razvedyvatelnyj-besplotnik-forpost-r-poluchil-udarnuju-versiju.html

⁹⁴ skydio.com/defense

⁹⁵ pages.skydio.com/rs/784-TUF-591/images/skydio-x2e-datasheet.pdf

⁹⁶ skydio.com/skydio-x2

militärspecifik kommunikationslänk och en handkontroll som är gemensam för flertalet mindre obemannade farkoster (*Common Handheld Ground Control Station, H-GCS*).

3.1.2.2 V-BAT

Martin UAV (V-BAT) tillverkar en liten taktisk UAV som kan starta och landa vertikalt, även från fordon och fartyg, men som ändå har en relativt lång uthållighet [5].⁹⁷ Den kan exempelvis genomföra spaning, övervakning och målinmätning samt signalspaning. Den utrustas normalt med EO/IR-sensorer, eller signalspaningsmottagare och syntetisk aperturradar. Två personer anges kunna få den flygfärdig på under 30 minuter och V-BAT har demonstrerats kunna transporteras i en UH-60 Black Hawk helikopter.⁹⁸

En uppgraderad version har nyligen demonstrerats vid AEWE (*Army Expeditionary Warrior Experiment*).⁹⁹ V-BAT 128¹⁰⁰ har en uppgraderad motor vilket medför att den har en längre uthållighet, möjlighet att flyga på högre höjd och kan bära mer nyttolast.¹⁰¹ Den har motsvarande fysiska storlek som den tidigare versionen och olika typer av modulära nyttolaster kan användas. Även DRDC (*Defence Research and Development Canada*) genomför försök med denna version för marina tillämpningar.¹⁰²



V-BAT 128 (USA):

- Vikt: 40 kg
- Nyttolast: 11,3 kg
- Längd: 2,7 m
- Vingbredd: 3 m
- Hastighet: 170 km/h
- Flyghöjd: 6 100 m
- Uthållighet: 11 timmar

Figur 3.5: Originalversionen av V-BAT (foto: US Army, public domain).

⁹⁷ newswire.net/newsroom/pr/00106109-v-bat-achieves-autonomous-landing-on-moving-truck.html

⁹⁸ money.yahoo.com/martin-uav-unveils-v-bat-120000317.html

⁹⁹ martinuav.com/martin-uav-to-demonstrate-their-upgraded-vbat-at-the-army-expeditionary-warrior-experiment/

¹⁰⁰ shield.ai/v-bat-128

¹⁰¹ www.unmannedsystemstechnology.com/2021/02/upgraded-v-bat-vtol-uav-demonstrated-at-army-expeditionary-warrior-experiment/

¹⁰² www.janes.com/defence-news/news-detail/update-martin-uav-v-bats-maritime-success-continues-with-canada-drddc-programme

3.1.2.3 Aerosonde HQ

Textron Systems har utvecklat Aerosonde HQ genom att byta ut bomsystemet mot ett med fyra elektriska motorer, vilket ger den VTOL-förmåga [5]. Den är främst avsedd för spaning, övervakning och målinmätning.¹⁰³ Uthålligheten för Aerosonde HQ försämras något men den bedöms ändå få en uthållighet på tio timmar. Den är utrustad med EO/IR-sensorer (TASE400LD), syntetisk aperturradar och radio för signalspaning och reläfunktion.¹⁰⁴



Aerosonde HQ (USA):

- Vikt: 48 kg
- Nyttolast: 6,8 kg
- Vingspann: 3,7 m
- Hastighet: 120 km/h
- Flyghöjd: 3 200 m
- Uthållighet: 10 timmar
- Räckvidd: 140 km

Figur 3.6: Aerosonde HQ (foto: Spc. Andrew Wash, US Army, public domain).

3.1.2.4 FVR-90

Även L3 Harris utvecklar en taktisk UAV med förmåga att starta och landa vertikalt, benämnd FVR-90 (*Fixed-wing VTOL Rotator*). Den använder samma VTOL-teknik som exempelvis Aerosonde HQ (*Hybrid Quadrotor*) [5] med fyra elektriska motorer placerade ovanpå farkostens bommar.



FVR-90 (USA):

- Vikt (MTOW): 54 kg
- Nyttolast: 4 - 10 kg
- Längd: 2,5 m
- Vingbredd: 4,7 m
- Hastighet: 120 km/h
- Flyghöjd: 5 500 m
- Uthållighet: 8 - 16 timmar

Figur 3.7: FVR-90 vid FTUAS slututvärdering (foto: courtesy US Army, public domain¹⁰⁵).

¹⁰³ www.textronsystems.com/sites/default/files/_documents/AerosondeHQ_Datasheet.pdf

¹⁰⁴ www.army-technology.com/projects/aerosonde-hq-small-unmanned-aircraft-system/

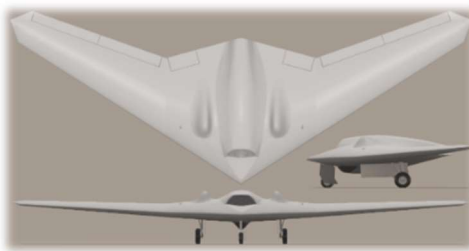
¹⁰⁵ www.army.mil/article/243766/army_conducts_unmanned_aircraft_rodeo_capping_multi_year_effort

FVR-90 kan förses med EO/IR-sensorer och laseravståndsmätare och laserutpekare i en fyraxlig mekanisk gimbal (WESCAM MX-8) som anges ha medge en operationell spaningshöjd på ca 1 500 meter. FVR-90 kan även utrustas med militär M-kodsmottagare (GPS) och satellitkommunikation (Iridium). Den kan hanteras av två personer, en operatör och tekniker. FVR-90 kan starta och landa från en yta på åtta gånger åtta meter.^{106,107}

3.1.2.5 RQ-170 Sentinel

RQ-170 Sentinel är en smyganpassad obemannad flygfarkost som är tillverkad av Lockheed Martin Skunk Works (*Advanced Development Programs*) och blev operativ i US Air Force 2007. Den bedöms primärt vara avsedd för spaning och övervakning men den förmodas även användas för specialiserade strategiska inhämtningsuppdrag i närheten av Iran och Nordkorea och stödja specialförbandsoperationer. Ett möjligt användningsområde är även målinmätning i avreglingszoner. Den används enligt uppgift även av CIA.¹⁰⁸

Endast begränsad information är tillgänglig i öppna källor rörande RQ-170 Sentinel men den anges vara en smyganpassad flygfarkost utan stjärtroder och med en vingbredd på ca 11,5 meter. Den uppskattas ha en flygtid på fem till sex timmar. RQ-170 har troligen även utrustats med en AESA-radar.^{109,110,111}



RQ-170 Sentinel (USA):

- Vikt (est.): 3,85 ton
- Längd: 4,5 m
- Vingspann (est.): 11,6 m
- Hastighet: N/A
- Uthållighet: 5-6 timmar
- Flyghöjd (est.): 15 000m

Figur 3.8: En 3D-rendering av hur RQ-170 Sentinel tros se ut (bild: Truthdowser, CC BY-SA 3.0, via Wikipedia¹¹²).

¹⁰⁶ www.l3harris.com/all-capabilities/fvr-90-airframe

¹⁰⁷ www.airforce-technology.com/projects/fvr-90-vtol-unmanned-aerial-system/

¹⁰⁸ en.wikipedia.org/wiki/Lockheed_Martin_RQ-170_Sentinel

¹⁰⁹ www.popularmechanics.com/military/aviation/news/a25559/rq-170-sentinel-sighted/

¹¹⁰ en.wikipedia.org/wiki/Northrop_Grumman_RQ-180

¹¹¹ www.thedrive.com/the-war-zone/33907/satellite-image-showing-rq-170-sentinel-near-mq-9-reaper-gives-us-best-size-estimate-yet

¹¹² sv.wikipedia.org/wiki/Lockheed_Martin_RQ-170_Sentinel#/media/Fil:RQ-170_Sentinel_impression_3-view.png

Den 4 december 2011 kraschade en RQ-170 nära staden Kashmar i nordöstra Iran. Iranska källor uppger att de genom telekrigsinsatser, i form av störning mot kommunikationssystemet och vilseledning av dess GPS-mottagare, orsakade denna krasch.¹¹³ Detta påstående har dock inte bekräftats av USA.

3.1.2.6 RQ-4 Global Hawk

RQ-4 Global Hawk är en UAV som tillverkas av Northrop Grumman. Första flygningen genomfördes 1998 och i november 2020 hade US Air Force 31 operativa RQ-4 Global Hawk.¹¹⁴ NATO har även på uppdrag av 15 NATO-länder anskaffat fem NATO RQ-4D Phoenix Block 40 Global Hawk i vad som benämns *Alliance Ground Surveillance System (AGS)*. NATO opererar dessa från Sigonellabasen i Italien och de kommer genomföra ISR-uppdrag.¹¹⁵



RQ-4D Global Hawk (USA):

- Vikt (MTOW): 14,6 ton
- Nyttolast: 1,36 ton
- Längd: 14,5 m
- Vingspann: 39,8 m
- Hastighet: 575 km/h
- Uthållighet: 32+ timmar
- Flyghöjd: 18 288 m
- Räckvidd: 16 113 km

Figur 3.9: NATO AGS RQ-4D RPA på Sigonellabasen (foto: LtCol Christian Traeger, SHAPE Public Affairs Office¹¹⁶).

RQ-4 är konstruerad för att kunna spana över stora områden från hög höjd. Den har en radar som både har en SAR-funktion och en GMTI-funktion som gör att den kan detektera rörliga mål även vid molnigt väder och vid sandstormar. RQ-4 har olika optiska sensorer som är känsliga i de visuella respektive infraröda våglängdsområdena och den kan ta detaljerade bilder på långa avstånd. Både radar- och EO/IR-bilderna behandlas ombord på flygplanet och skickas därefter till markstationen som enskilda bildrutor. I markstationen kan sedan en stor mosaikbild skapas från dessa bilder. Sensordata kan överföras med upp till 50 Mbit/s till en markstation i realtid, antingen direkt eller via en kommunikationssatellit. RQ-4 Global Hawk har under ett militärt uppdrag flugit

¹¹³ en.wikipedia.org/wiki/Iran%E2%80%93U.S._RQ-170_incident

¹¹⁴ www.janes.com/defence-news/news-detail/northrop-grumman-awarded-usd48bn-for-global-hawk-development-modernisation-retrofit-and-sustainment

¹¹⁵ www.nato.int/cps/en/natolive/topics_48892.htm

¹¹⁶ shape.nato.int/news-archive/2021/nato-alliance-ground-surveillance-force-achieves-initial-operational-capability

i 32.5 timmar i sträck och den kan med sina sensorer täcka ett spaningsområde på 100 000 km² om dagen, vilket motsvarar ett område stort en dryg femtedel av Sveriges yta.^{117,118}

3.1.3 Israel

Israel utvecklar ett stort antal UAV:er för inhämtningsuppdrag i alla storleksklasser. Ett exempel ges nedan.

3.1.3.1 Heron

IAI (Israeli Aerospace Industries) Heron (Machatz-1) är en multirolls MALE UAV som främst använts för strategiska och taktiska ISTAR-uppdrag.¹¹⁹ Heron kan exempelvis utrustas med EO/IR-sensorer, SAR, signalspaningsmottagare för kommunikation och radar och/eller marinradar. Den kan utrustas med satellitkommunikation, frisiktskommunikationslänk, ATC (*Air Traffic Control*) kommunikationsrelä samt radiosystem som möjliggör reläfunktionalitet från UAV och markenheter för BVLOS (*Beyond Visual Line-of-Sight*) uppdrag.

Heron har inbyggd förmåga till automatisk start och landning (*Automatic Take-Off and Landing*, ATOL), redundant avionik och tekniska stödfunktioner för lufrumsseparation i form av IFF (*Identification Friend-or-Foe*) och TCAS (*Traffic Collision Avoidance System*). Heron används av ett antal olika länder. Indien opererar omkring 90 Heron.



Heron (Israel):

- Vikt (MTOW): 1,27 ton
- Nyttolast (max): 470 kg
- Längd: 8,5 m
- Vingspann: 16,6 m
- Hastighet: 260 km/h
- Uthållighet (max): 45 timmar
- Flyghöjd: 10 670 m
- Räckvidd: > 1 000 km

Figur 3.10: IAI Heron under uppdrag i El Salvador, maj 2009 (foto: Jose Ruiz, U.S. Southern Command Public Affairs, public domain, via wikimedia commons¹²⁰).

¹¹⁷ www.dvidshub.net/news/177042/global-hawk-maintainers-deliver-isr-capability-warfighters#.VgRJwDeFOM8

¹¹⁸ en.wikipedia.org/wiki/Northrop_Grumman_RQ-4_Global_Hawk

¹¹⁹ www.iai.co.il/p/heron

¹²⁰ commons.wikimedia.org/wiki/File:Heron_UAV_2009.jpg

3.2 Inhämtning och attack

Det finns idag ett stort antal beväpnade RPAS som huvudsakligen används för att genomföra attack och inhämtning.

3.2.1 Ryssland

Ryssland har nyligen infört Orion (Inokhodets) medan Altius-RU snart bedöms föras in operativt. Båda dessa har förmåga att utföra inhämtnings- och attackuppdrag.

3.2.1.1 Orion

Företaget JSC Kronshtadt har utvecklat Rysslands första inhemska MALE UAV Orion [27]. Orion är utrustad med gimbalstabiliserade EO/IR-sensorer, varav två IR-sensorer, en vidvinkelkamera, laseravståndsmätare och laserutpekare. Den kan även utrustas med ett signalspaningssystem, radar och högupplöst stillbildskamera.¹²¹

Prestanda för den inhemska versionen av Orion (Inokhodets) är inte officiell men i figur 3.11 anges prestanda för exportversionen Orion-E.¹²² Orion-E har en relativt kort räckvidd på 250 km (300 km med en UAV som reläer kommunikationen) vilket sannolikt beror på att ett enklare radiosystem ingår i denna version. Räckvidden för Orion är sannolikt betydligt längre. Osäkra källor anger även att Inokhodets kan bära något mer nyttolast (250 kg) och har en högre maxhastighet.



Orion-E (Ryssland):

- Vikt (MTOW): 1 ton
- Nyttolast: 200 kg
- Längd: 8 m
- Vingspann: 16 m
- Hastighet: 200 km/h
- Uthållighet: 24 t
- Flyghöjd: 7 500 m
- Räckvidd: 250 km

Figur 3.11: Orion-E UAV (foto: Nickel nitride, public domain, via wikipedia¹²³).

¹²¹ www.uasvision.com/2018/10/02/kronshtadt-weaponises-orion-e/

¹²² kronshtadt.ru/assets/files/productfiles/Orion_eng.pdf

¹²³ commons.wikimedia.org/wiki/File:Army-2020-209.JPG

Ryska källor anger att Orion under 2018 genomförde 17 attackuppdrag mot markmål i Syrien med laserstyrda och ostyrda bomber.¹²⁴ Den kan bestyckas med fyra 50 kg styrda bomber men den har nyligen även utrustats med markmålsrobotar.¹²⁵ Kronshtadt utvecklar även en större vidareutvecklad version benämnd Inokhodets-RU (Sirius) som bedöms kunna bli operativ inom något år. Den är utrustad med två motorer vilket ger den en högre maxfart, flyghöjd och längre uthållighet.¹²⁶

3.2.1.2 Altius-RU

OKB Sokol utvecklar en sex ton tung UAV med lång uthållighet (*Medium-Altitude Long-Endurance*, HALE) benämnd Altius-RU (tidigare Altair). Den är avsedd att kunna genomföra spaningsuppdrag med optiska, radio eller radarsensorer och attackuppdrag.¹²⁷ Den kan enligt uppgift bära åtminstone ett ton nyttolast. Vissa källor anger att den testats med exempelvis Grom E2 styrd glidbomb (tröghetsnavigering stöttat av GLONASS/GPS-mottagare) som har en räckvidd på ca 50 km och två olika stridsdelar på totalt 480 kg, Grom E1 kryssningsrobot med 120 km räckvidd och Ch-35 sjömålsrobot.^{128,129,130}

Altius-RU (Ryssland):

- Vikt: > 6 ton
- Nyttolast: ca 1 ton
- Längd: ca 12 m
- Vingspann: ca 28 m
- Uthållighet: 24 - 48 t
- Flyghöjd: 12 000 m
- Räckvidd: 10 000 km

Altius-RU utrustas med två turbopropmotorer (eventuellt VK-800C) och satellitkommunikation vilket ger den en lång räckvidd. Avsikten är att Altius-RU ska förses med ett AI-stöd för att förenkla styrningen av dessa från bemannade stridsflygplan som Su-57. Den ska exempelvis kunna beräkna sin rutt automatiskt och då ta hänsyn till kända hot från fientligt luftvärn. Utvecklingen har kantats av stora problem men de senaste två årens flygningar indikerar att den kan bli operativ inom en snar framtid inom de ryska flyg- och marinstridskrafterna.¹³¹

¹²⁴ www.thedrive.com/the-war-zone/39381/russia-provides-a-glimpse-of-its-orion-drone-executing-combat-trials-in-syria

¹²⁵ www.defenseworld.net/news/27714/Russian_Firm_Unveils_Upgraded_Orion_MALE_Attack_Reconnaissance_Drone#.YEcPEWhKguU

¹²⁶ en.wikipedia.org/wiki/Kronshtadt_Orion

¹²⁷ eng.mil.ru/en/news_page/country/more.htm?id=12274342@egNews

¹²⁸ aircosmosinternational.com/article/russia-offers-itself-its-global-hawk-update-3078

¹²⁹ www.armyrecognition.com/weapons_defence_industry_military_technology_uk/russian_altius_attack_drone_to_operate_in_autonomous_regime.html

¹³⁰ airrecognition.com/index.php/archive-world-worldwide-news-air-force-aviation-aerospace-air-military-defence-industry/defense-security-exhibitions-news/air-show-2019/maks-2019-news-coverage-report/5345-maks-2019-ktv-to-present-grom-e1-and-grom-e2-airborne-munitions.html

¹³¹ en.topwar.ru/169438-altius-tjzhelyj-rossijskij-besplotnik-s-iskusstvennym-intellektom.html

3.2.2 USA

MQ-9 Reaper är den RPAS som typiskt används för spaning, övervakning, målinmätning och attack av US Air Force.

3.2.2.1 MQ-9 Reaper

MQ-9 Reaper är en obemannad flygfarkost som är tillverkad av General Atomics Aeronautical Systems. Den är en vidareutveckling av MQ-1 Predator. I maj 2007 flög USA:s flygvapen MQ-9 Reaper för första gången och i september 2016 hade USA:s flygvapen 195 exemplar.¹³²

MQ-9 Reaper har ett vingspann på 20 meter och en räckvidd på 1 850 km. MQ-9 Reaper kan bära olika vapen som pansarvärnsrobotarna AGM-114 Hellfire och den laserstyrda bomben GBU-12 Paveway II och GBU-38 JDAM (*Joint Direct Attack Munition*). MQ-9 kan även bära två externa bränsletankar, vilket gör att den kan flyga med en vapenlast på 450 kg i upp till 42 timmar.¹³³ Försök har även genomförts där MQ-9 Reaper utrustats med en jaktrobot (AIM-9X Block 2).¹³⁴ Denna robot har även förmågan att bekämpa mål bakom flygplanet.¹³⁵



MQ-9 Reaper (USA):

- Vikt: 4,76 ton
- Nyttolast: 1,7 ton
- Längd: 11 m
- Vingspann: 20,1 m
- Hastighet: 370 km/h
- Uthållighet: 14 timmar
- Flyghöjd: 15 240 m
- Räckvidd: 1 850 km

Figur 3.12: MQ-9 Reaper¹³⁶ utrustad med åtta AGM-114, Hellfire Creech Air Force Base, Nevada, september, 2020 (foto: Senior Airman Haley Stevens, US Air Force, public domain¹³⁷).

MQ-9 Reaper är utrustad med Raytheon MTS-B (*Multi-Spectral Targeting System*) som är en gimbalmonterad 6-axlig stabiliserad sensorsvit med en

¹³² www.military.com/defensetech/2017/06/30/air-forces-newest-mq-9-reaper-drone-now-hunting-isis

¹³³ en.wikipedia.org/wiki/General_Atomics_MQ-9_Reaper

¹³⁴ www.af.mil/News/Photos/igphoto/2002495357/

¹³⁵ www.foxnews.com/tech/air-force-reaper-drone-fires-air-to-air-missile

¹³⁶ www.creech.af.mil/About-Us/Fact-Sheets/Display/Article/669890/mq-9-reaper-fact-sheet/

¹³⁷ www.af.mil/News/Photos/igphoto/2002509130/mediaid/4565694/

diameter om 56 cm och vikt på 104 kg.¹³⁸ Sensorerna i detta multispektrala spanings- och målutpekningssystem utgörs av en infraröd sensor, en färg/monokrom-kamera och en bildförstärkare, samt laserpekare och laserutpekare. MQ-9 har en radar som både har en SAR-funktion och en GMTI-funktion för detektion av rörliga mål.

3.2.3 Israel

Israel är tillsammans med USA den ledande tillverkaren av MALE RPAS. Hermes 900 och Heron TP är två exempel på moderna RPAS som kan utföra inhämtning och attack.

3.2.3.1 Hermes 900

Elbit Systems är en israelisk tillverkare av både enklare UAV:er och större, kvalificerade MALE UAV:er såsom Hermes 900.¹³⁹ Den drivs av en Rotax914 med 115 hästkrafter.¹⁴⁰ Hermes 900 är främst avsedd för långräckviddiga ISTAR-uppdrag, med radioutrustning för signalspaning och kommunikationsrelä och den är även utrustad med satellitkommunikation. Den kan utrustas med olika nyttolaster, bland annat kombinationer av långräckviddiga EO/IR-sensorer och målutpekningsskygga, hyperspektrala sensorer och SAR/GMTI.



Hermes 900 (Israel):

- Vikt (TOW): 1,18 ton
- Nyttolast: 350 kg
- Längd: 8,3 m
- Vingspann: 15 m
- Hastighet: 220 km/h
- Uthållighet: 36 timmar
- Flyghöjd: 9 140 m

Figur 3.13: Hermes 900, juni 2008 (foto: Tal Inbar, via wikipedia¹⁴¹). En beprövad UAV som används av åtminstone 10 länder.

Hermes 900 har ett WAPS-system (*Wide Area Persistent Surveillance*) som både ger stor yttäckning vid spaning och möjlighet till hög upplösning. Hermes 900 har även telekrigs- och signalspaningssystem, vilka även kan estimerariktningen

¹³⁸ www.raytheon.com/capabilities/products/mts/

¹³⁹ elbitsystems.com/products/uas/hermes-900/

¹⁴⁰ en.wikipedia.org/wiki/Elbit_Hermes_900

¹⁴¹ commons.wikimedia.org/wiki/File:Hermes_900.jpg

till radiosändare. Den kan förses med intern vapenlast eller fyra israeliska Spikerobotar externt.¹⁴²

Hermes 900 StarLiner har även utvecklats för att kunna operera i civilt luftrum tillsammans med bemannade flygplan och de uppfyller NATO STANAG 4671 och avsikten är att de ska kunna integreras i det europeiska luftrummet. Den har ATOL-förmåga och är utrustad med IFF- och ATC-radio.

3.2.3.2 Heron TP

IAI Heron TP (Eitan) är en multirolls MALE UAV som främst använts för strategiska ISTAR-uppdrag.¹⁴³ Heron TP kan utrustas med samma sensorer och kommunikationssystem som Heron och har motsvarande automatisering (ATOL och redundant avionik) och luftrumsintegrationsstöd (IFF och TCAS). Heron TP har en 1 200 hästkrafters turbopropmotor (PT6). Den kan beväpnas med exempelvis amerikanska Hellfire eller israeliska Spikerobotar.^{144,145}



Heron TP (Israel):

- Vikt (MTOW): 5,7 ton
- Nyttolast: 2,7 ton
- Längd: 14 m
- Vingspann: 26 m
- Hastighet: 410 km/h
- Uthållighet: > 30 t
- Flyghöjd: 13 700 m

Figur 3.14: Israeli Air Force Eitan (Heron TP¹⁴⁶), 2017 (foto: MathKnight och Zachi Evenor, CCBY 4.0, via wikipedia¹⁴⁷).

Tyskland avser fem Heron TP, samt ytterligare två för träningsändamål. Politiska diskussioner pågår rörande om dessa ska vara beväpnade.¹⁴⁸ Även Indien

¹⁴² drones.rusi.org/drone-inventory/

¹⁴³ www.iai.co.il/p/heron-tp

¹⁴⁴ www.timesofisrael.com/germany-closing-in-on-deal-to-buy-1st-weapons-capable-israeli-designed-drone/

¹⁴⁵ drones.rusi.org/countries/israel/

¹⁴⁶ www.iai.co.il/drupal/sites/default/files/2019-05/Heron%20TP%20Brochure.pdf

¹⁴⁷ en.wikipedia.org/wiki/IAI_Eitan

¹⁴⁸ www.defenseworld.net/news/28575/Germany_May_Receive_Israeli_Heron_TP_UAVs_without_Weapons#.YEc97GhKguU

planerar att anskaffa 50 Heron TP, varav 10 som beväpnas med markmålsrobotar. De har i ett första steg leasat fyra obeväpnade UAV:er för att fylla kortsiktiga behov.^{149,150,151}

3.2.4 Turkiet

Turkiet har på kort tid blivit en stor tillverkare och exportör av beväpnade RPAS.

3.2.4.1 TB2

Bayraktar TB2 är en taktisk UAV som huvudsakligen används för ISTAR och attackuppgifter. I juni 2020 hade TB2 genomfört mer än 20 000 flygtimmar sedan det blev operativt 2014. Ett system består av sex TB2, två markstationer (*Ground Control Station*, GCS), tre markbaserade dataterminaler och två videoterminaler (*Remote Video Terminal*, RVT).¹⁵² Den kan enligt uppgift starta, landa och navigera automatiskt, förutsatt att navigeringssystemet kan beräkna plattformens position tillförlitligt.



TB2 (Turkiet):

- Vikt (MTOW): 650 kg
- Nyttolast: 150 kg
- Längd: 6,5 m
- Vingspann: 12 m
- Hastighet: 220 km/h
- Uthållighet: 27 t
- Flyghöjd: 8 200 m
- Räckvidd: 150 km

Figur 3.15: Bayraktar TB2, november 2014 (foto: Bayhaluk, CC BY-SA 4.0, via wikipedia¹⁵³). Används av Turkiet, Ukraina, Libyen (Government of National Accord, GNA), Qatar och Azerbajdzjan.

TB2 använder en EO/IR-sensor med laseravståndsmätare och laserutpekare eller en multimodsradar (AESA). Den är även utrustad med en GPS-mottagare och lufttrycksmätare samt laserhöjdmätare. TB2 hade fram till 2020 ett kanadensiskt EO/IR-sensorkomplex, Wescam CMX-15D, men efter att TB2 använts i konflikten i Nagorno-Karabach där Armenien avslöjade att nedskjutna TB2 hade denna

¹⁴⁹ www.armyrecognition.com/israel_israeli_army_military_equipment_uk/heron_tp_male_eitan_uav_unmanned_aerial_vehicle_technical_data_sheet_specification_pictures.html

¹⁵⁰ www.janes.com/defence-news/news-detail/indian-army-leases-four-heron-tp-uavs-from-israel

¹⁵¹ eurasianimes.com/india-looking-to-acquire-firsts-armed-drones-from-israel-heron-tp/

¹⁵² www.army-technology.com/projects/bayraktar-tb2-tactical-uav/

¹⁵³ en.wikipedia.org/wiki/Bayraktar_TB2#/media/File:Bayraktar_TB2_Runway.jpg

sensor, stoppades exporten och Turkiet har tvingats byta ut den mot en inhemskt utvecklad sensor.¹⁵⁴

TB2 kan utrustas med ett stort antal olika vapen såsom långräckviddig pansarvärnsrobot (L-UMTAS), styrda glidbomber (MAM-L/C), Cirit 70mm robot och *Tubitak-Sage Bozok* laserstyrda robotar.¹⁵⁵ Kostnaden för en TB2 bedöms vara i storleksordningen en till två miljoner dollar per flygplan vilket motsvarar kostnaden för en Tomahawk kryssningsrobot. Den låga kostnaden medför att ett relativt högt risktagande kan tas vid genomförandet av uppdragen.

3.2.4.2 ANKA-S

Turkish Aerospace Industries (TAI) ANKA-S UAV är primärt utvecklad för uppdrag som ISR och målinmätning, men den används även som kommunikationsrelänod och för direkt bekämpning. ANKA-S är utrustad med SAR GMTI för detektion och följning av rörliga markmål kombinerat med ISAR (*Inverse Synthetic Array Radar*) som använder målets rörelse för att generera en tvådimensionell bild av detta. ISAR kan underlätta identifiering av mål. Den har även gimbalstabiliserade EO/IR-sensorer och laseravståndsmätare och laserutpekare samt satellitkommunikation. För navigeringsändamål integreras GPS-mottagaren med ett tröghetsnavigeringssystem.



Anka-S (Turkiet):

- Vikt (MTOW): 1,7 ton
- Nyttolast: 350 kg
- Längd: 8,6 m
- Vingspann: 17,5 m
- Hastighet: 220 km/h
- Uthållighet: >30 t
- Flyghöjd: 9 140 m
- Räckvidd: 1 450 km

Figur 3.16: TAI ANKA-S¹⁵⁶, mars 2020 (foto: Mustafa Karabas, TAI, CC BY-SA 4.0, via wikipedia¹⁵⁷).

ANKA-S är utrustad med IFF och system för automatisk start och landning (ATOL) och den senaste versionen använder en inhemskt utvecklad turbopropmotor (PD170) med 150 hk.¹⁵⁸ ANKA-S har möjlighet att bära bland

¹⁵⁴ www.rcinet.ca/en/2020/10/20/armenia-displays-canadian-technology-from-downed-turkish-drone/

¹⁵⁵ en.wikipedia.org/wiki/Baykar_Bayraktar_TB2

¹⁵⁶ www.tusas.com/en/products/uav/operative-strategic-uav-systems/anka

¹⁵⁷ en.wikipedia.org/wiki/TAI_Anka#/media/File:ANKA_TUSAS.jpg

¹⁵⁸ www.airforce-technology.com/projects/anka-s-unmanned-aerial-vehicle/

annat MAM-L och Cirit. Anka-S togs i operationellt bruk 2017 och den har under 2021 även sålts till Tunisien.^{159,160}

3.2.4.3 Akıncı

Bayraktar Akıncı^{161,162} är en UAV som utvecklas i ett samarbete mellan Turkiet och Ukraina där serieproduktion påbörjas under 2021. Den drivs av två stycken turbopropmotorer med upp till 750 hästkrafter vardera (ukrainskt tillverkade AI-450C). Den utrustas med inhemskt utvecklade satellitkommunikationssystem, multiroll AESA-flygradar, SAR GMTI för detektion av markmål, *collision-avoidance* radar, elektrooptiskt WASS (*Wide Area Surveillance System*), signalspaningsutrustning (ELINT/SIGINT) och ESM-pod (*Electronic Support Measures*). Den ska kunna starta, landa och flyga fullt automatiskt.



Akıncı (Turkiet):

- Vikt (MTOW): 6 ton
- Nyttolast (ext.): 1,5 ton
- Längd: 12,2 m
- Vingspann: 20 m
- Hastighet: 360 km/h
- Uthållighet: 24 t
- Flyghöjd: 12 200 m

Figur 3.17: Övre - Bayraktar Akıncı¹⁶³, december 2019 (foto: credit armyinform.com.ua, CC BY 4.0, via wikipedia¹⁶⁴). Nedre - Bayraktar Akıncı visas upp under Teknofest 2019 (foto: CeeGee, CC BY-SA 4.0, via wikipedia¹⁶⁵).

Akıncı kan ta upp till åtta robotar eller bomber. Den är avsedd att kunna bära samma typ av vapen som stridsflygplan.¹⁶⁶ Akıncı ska kunna utrustas med en modern turkisk kryssningsrobot SOM ALCM (*Stand-Off Mühimmatı Air-Launched Cruise Missile*). Den ska kunna slå mot stationära och rörliga mål på

¹⁵⁹ www.ssb.gov.tr/WebSite/contentlist.aspx?PageID=364&LangID=2

¹⁶⁰ en.wikipedia.org/wiki/TAI_Anka

¹⁶¹ www.defenceturkey.com/en/content/akinci-attack-uav-system-3123

¹⁶² jamestown.org/program/the-akinci-strike-drone-and-ukrainian-turkish-defense-cooperation/

¹⁶³ www.baykartech.com/en/uav/bayraktar-akinci/

¹⁶⁴ en.wikipedia.org/wiki/Bayraktar_Ak%C4%B1nc%C4%B1

¹⁶⁵ [en.wikipedia.org/wiki/Bayraktar_Ak%C4%B1nc%C4%B1#/media/File:BayraktarAk%C4%B1nc%C4%B1_Teknofest2019_\(1\).jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Bayraktar_Ak%C4%B1nc%C4%B1#/media/File:BayraktarAk%C4%B1nc%C4%B1_Teknofest2019_(1).jpg)

¹⁶⁶ issuu.com/ukrainian_defense_review/docs/udr1_magazine_issuu/s/10208333#:~:text=The%20drone%20can%20climb%20up, speed%20of%20450%20km%2Fh.&text=Akıncı%20is%20special%20in%20that, are%20used%20in%20manned%20aircraft

avstånd över 180 km. Medieuppgifter anger att den även kan komma att utrustas med luftmålsrobotar, såsom Bozdoğan (Merlin) och Gökdoğan (Peregrine). Bayraktar Akıncı kan komma att genomföra uppdrag såsom ISTAR och C3 (*Command, Control, Communications*), telekrig och direkt attack.¹⁶⁷ Den bedöms vara Turkiets mest sofistikerade UAV och den har en omfattande uppsättning av sensorer.

3.2.5 Kina

Kina har en omfattande utveckling och export av RPAS avsedda för inhämtning och attack. De utvecklar framförallt mindre avancerade RPAS som dock är avsevärt billigare än motsvarande amerikanska och israeliska RPAS. Öppen information om prestanda för kinesiska UAV:er är begränsad och delvis osäker.

3.2.5.1 CH-5 Rainbow

China Aerospace Science and Technology Corporation (CASC) tillverkar en MALE UAV benämnd CH-5 (Caihong-5). CH-5 anges kunna bära upp till 16 vapen samtidigt, såsom Blue Arrow BA-7 laserstyrd markmålsrobot, TG100 precisionsstyrda bomber och AR-1/HJ-10 pansarvärnsrobot.¹⁶⁸

CH-5 (Kina):

- Vikt (MTOW): 3 till 3,3 ton
- Nyttolast: 1 till 1,2 ton
- Längd: 11 m
- Vingspann: 21 m
- Hastighet: 220 km/h
- Uthållighet: 30 - 60 t
- Flyghöjd: 7 - 9 000 m
- Räckvidd: 2 - 10 000 km

Olika öppna källor anger varierande prestanda för CH-5 vilket gör att dessa prestanda bör betraktas som osäkra [27].¹⁶⁹ Den har samma datalänk som CH-4 vilket möjliggör direkt utbyte av information mellan dessa och sannolikt även relänodsfunktionalitet. Vissa källor anger att satellitkommunikation möjliggör en räckvidd på 10 000 km medan andra istället gör bedömningen att Kina har begränsad ledningsförmåga vilket begränsar räckvidden för CH-5 till 2 000 km med

satellitkommunikation.¹⁷⁰ Den har en svagare motor än MQ-9 Reaper vilket anges begränsa dess flyghöjd men även ge en längre uthållighet.¹⁷¹ En marin version av CH-5 är även under utveckling.¹⁷²

¹⁶⁷ www.forbes.com/sites/pauliddon/2020/08/25/turkeys-new-akinci-drone-looks-impressive-but-its-no-substitute-for-modern-fighter-jets/

¹⁶⁸ thediplomat.com/2018/04/new-variant-of-chinas-ch-5-combat-drone-boasts-extended-endurance-and-range/

¹⁶⁹ chinapower.csis.org/china-drones-unmanned-technology/, en.wikipedia.org/wiki/CASC_Rainbow

¹⁷⁰ thediplomat.com/2018/04/new-variant-of-chinas-ch-5-combat-drone-boasts-extended-endurance-and-range/

¹⁷¹ en.wikipedia.org/wiki/CASC_Rainbow

¹⁷² www.globaltimes.cn/content/1194771.shtml

3.2.5.2 Wing Loong II

Chengdu Aircraft Industry Group (CAIG) tillverkar Wing Loong II (*Pterodactyl*) och den har varit operativ hos PLAAF sedan 2017.¹⁷³ Den är utrustad med satellitkommunikation, EO/IR-sensorer och målinmätningssystem. Wing Loong II kan bestyckas med upp till tolv laserstyrda bomber eller robotar. Dess huvudsakliga uppdrag utgörs av ISTAR och direkt bekämpning.

Wing Loong II har använts i stor omfattning under inbördeskriget i Libyen för attacker mot markmål och åtminstone sex av dessa har rapporterats blivit nedskjutna. UAV:erna har tillhandahållits av Förenade Arabemiraten (UAE) som eventuellt även bistår med personal.¹⁷⁴



Wing Loong II (Kina):

- Vikt (MTOW): 4,2 ton
- Nyttolast: 400 - 480 kg
- Längd: 11 m
- Vingspann: 20,5 m
- Hastighet: 370 km/h
- Uthållighet: 32 t
- Flyghöjd: 9 900 m
- Räckvidd: 1 500 km

Figur 3.18: En kinesisk Wing Loong II uppställd på flygshowen i Dubai 2017 (foto: Mztourist, CC BY-SA 4.0, via wikipedia¹⁷⁵). Den används operativt av exempelvis Kina, Saudiarabien, Pakistan, Förenade Arabemiraten, Egypten, Nigeria och Bangladesh.

3.2.5.3 GJ-11

Hongdu tillverkar en smyganpassad UAV, benämnd GJ-11 (tidigare *Sharp Sword*), där ett fåtal exemplar bedöms vara i drift i begränsad omfattning hos PLAAF (People's Liberation Army Air Force) sedan 2019. Den drivs av en turbofläktmotor och har formen av en flygande vinge. Den bedöms vara avsedd för långräckviddiga spanings- och attackuppdrag, vilket innebär att den även antas vara utrustad med satellitkommunikation. Obekräftade källor anger även att den kan komma att placeras på hangarfartyg, eventuellt även med möjlighet att genomföra obemannade tankningsuppdrag. Den bedöms kunna bära vapenlast i två interna utrymmen, där olika öppna källor anger mellan ett och två ton last.

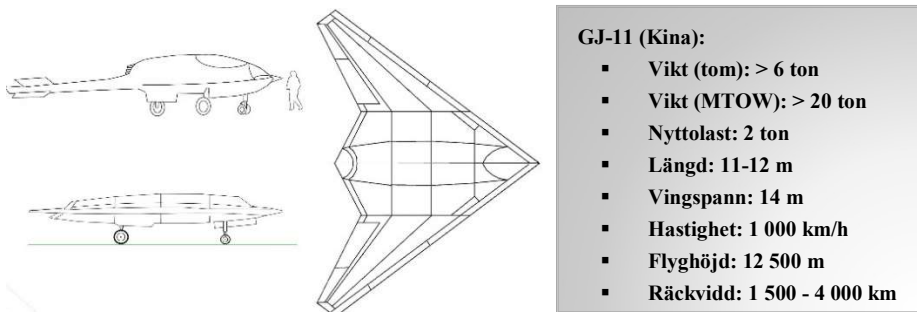
¹⁷³ www.armyrecognition.com/china_chinese_unmanned_aerial_ground_systems_uk/wing_loong_ii_2_uav_male_armed_drone_data_pictures_video_11906174.html

¹⁷⁴ www.bbc.com/news/world-africa-53917791

¹⁷⁵ upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/0d/Wing_Loong_II_side_view.jpg

Det är dock fortfarande oklart om GJ-11 är ett moget operativt system eller om det mer handlar om prototyper som fortsatt är under utveckling.^{176,177,178,179}

GJ-11 har utvecklats vidare från AVIC 601-S. Det har skett gemensamt av Shenyang Aircraft Design Institute (SYADI), som utgör en del av Aviation Industry Corporation of China (AVIC), Shenyang Aerospace University (SAU) och Hongdu Aviation Industry Group (HAIG).



Figur 3.19: Illustration (approximativ) av GJ-11 Sharp Sword (illustration: Alex Chirkin, via wikipedia). Specifikationerna för GJ-11 bedöms vara osäkra.

3.2.6 Diskussion

I figur 3.20 visas bedömningar av uthållighet, maximal flyghastighet och nyttolast (vapen) som de olika farkosterna kan bära. Den uppskattade kostnaden är osäker då den bland annat beror på vilka sensorer och vapen som ingår, hur kostnaden för markkontrollstation hanteras och eventuella tränings-, drifts- och underhållsavtal. För nya system som Anka-S och MQ-9B SkyGuardian är kostnaden bedömd utifrån upphandlingskostnaden som innefattar hela systemet.

Kinesiska RPAS och den turkiska TB2 har en jämförelsevis låg kostnad men de kan bära avsevärt mindre vapenlast och har en kortare räckvidd. Den låga kostnaden möjliggör ett större risktagande med farkosterna vilket har visat sig vara effektivt i konflikterna i Libyen, Syrien och Nagorno-Karabach.

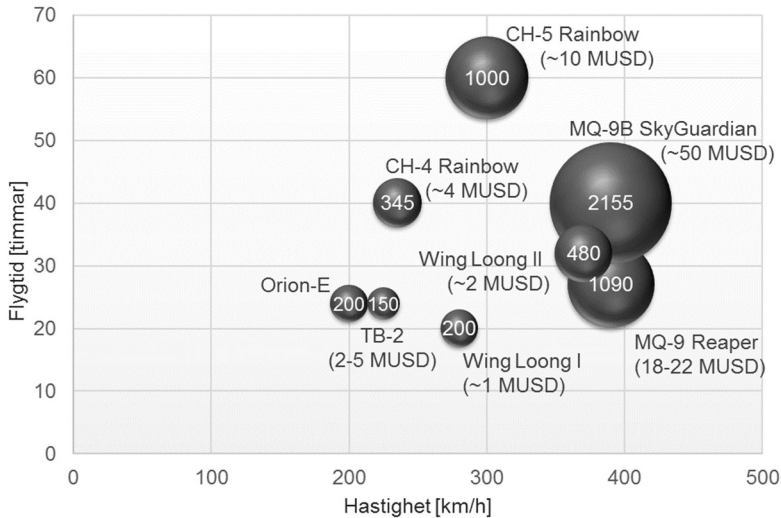
Uthålligheten för alla dessa RPA är åtminstone 20 timmar vid ISR-uppdrag medan den modernaste kinesiska CH-5 har en uthållighet på upp till 60 timmar (men till priset av en lägre hastighet än dess amerikanska motsvarigheter). Uthålligheten reduceras även beroende på lastmängden och den kan i det

¹⁷⁶ en.wikipedia.org/wiki/Hongdu_GJ-11

¹⁷⁷ www.thedrive.com/the-war-zone/30111/china-showcases-stealthier-sharp-sword-unmanned-combat-air-vehicle-configuration

¹⁷⁸ www.militaryfactory.com/aircraft/detail.asp?aircraft_id=2219

¹⁷⁹ www.globalsecurity.org/military/world/china/lijian.htm



Figur 3.20: Hastighet och flygtid för utvalda beväpnade UAV:er. Även nyttolast anges inuti cirkelarna (och indikeras även av dess storlek). Uppskattad kostnad anges även om dessa uppskattningar är osäkra. Anka-S har motsvarande hastighet och uthållighet som Bayraktar TB2 men kan bära 200 kg vapenlast. Dess kostnad är dock avsevärt högre, troligen mellan 20-25 miljoner USD.

närmaste halveras om de är fullastade med vapen. Kostnaden avgörs även till del av sensorerna och de amerikanska sensorsystemen bedöms fortfarande vara bättre men det är svårt att bedöma hur stor skillnaden är utan att genomföra experimentella utvärderingar.

3.3 Skenmål

Obemannade skenmål har när de kombineras med avancerade signalsökande robotar visat sig utgöra ett effektivt redskap vid bekämpning av luftvärnssystem. Raytheon's ADM-160B MALD är ett typiskt exempel på radarskenmål men exempelvis vid konflikten i Nagorno-Karabach användes även äldre flygplan som konverterades till obemannade farkoster.

Saab har även föreslagit ett delvis liknande telekrigssystem avsett att störa fiendliga luftvärnsradarsystem, benämnd LADM (*Lightweight Air-launched Decoy Missile*), som en del av en eventuell försäljning av JAS 39 till Finland inom deras pågående HX stridsflygplansupphandling.¹⁸⁰ Stora delar av nyttolasten i LADM utvecklas i Finland.

¹⁸⁰ www.saab.com/newsroom/stories/2020/august/saabs-gripen-offer-to-finland-includes-a-new-missile-system

3.3.1 ADM-160B MALD

ADM-160B MALD är ett flygande radarskenmål som innehåller ett signaturbibliotek och aktiva radarförstärkare som gör att den kan efterlikna radarsignaturen från ett stort antal flygplan. Den kan på så sätt vilseleda luftvärn och jaktrobotar.¹⁸¹ En målsättning med ADM-160B är att den ska få motståndarens luftvärnssystem att börja spana med sina radarsensorer så att de kan mätas in och bekämpas med t.ex. signalsökande robotar. Genom att mäta in radarsensorernas frekvenser och vågformer kan de även störas effektivt. ADM-160B kan inte återanvändas så om motståndaren försöker bekämpa ADM-160B med luftvärn så förbrukar den dyra robotar på relativt billiga skenmål.

ADM-160B kan avfyras från olika typer av flygplan, t.ex. F-16 Falcon och B-52 Stratofortress. ADM-160C MALD-J är en vidareutveckling av ADM-160B som även kan störa radarsystem. Den kan användas mot t.ex. luftvärnsrobotar eller luftvärnssystem och när hotet har kommit på relativt nära avstånd kan MALD-J störa ut det. En svärm av MALD-J som kompletterats med vanliga ADM-160B kan mätta, förvirra och störa ut luftvärnssystem längs en flygsträcka under en tid, vilket möjliggör för t.ex. attackflyg att säkrare flyga längs flygsträckan till sina mål. MALD och MALD-J kan göra det säkrare för flygplan som är inte är lågsignaturanpassade att verka mot en högteknologiskt avancerad motståndare.¹⁸²



ADM-160B MALD (USA):

- Vikt: 115 kg
- Längd: 2,8 m
- Vingspann: 1,7 m
- Hastighet: Mach 0.91
- Uthållighet: 45 min
- Flyghöjd: 12 200 m
- Räckvidd: 920 km

Figur 3.21: ADM-160B MALD (foto: Air Force Armament Museum, public domain, via Wikipedia¹⁸³).

3.4 Patrullrobotar

Patrullrobotar finns i olika storlek och de vanligast förekommande patrullrobotarna idag används i markoperationer där de ger mindre enheter möjlighet att verka bortom direkta siktlinjen (exempelvis vid skydd av baser). I

¹⁸¹ www.thedrive.com/the-war-zone/23126/recent-mald-x-advanced-air-launched-decoy-test-is-a-much-bigger-deal-than-it-sounds-like

¹⁸² foxtrotalpha.jalopnik.com/the-pentagons-flying-decoy-super-weapon-is-about-to-get-1669729445

¹⁸³ en.wikipedia.org/wiki/ADM-160_MALD

luftförsvarsoperationer har signalsökande patrullrobotar under flera årtionden använts, oftast tillsammans med obemannade skenmål, för att bekämpa luftvärnssystem. Försök genomförs nu även med att integrera patrullrobotar på RPAS. Ett exempel är AeroVironment's Switchblade 300 som utvecklas för att kunna integreras ombord på Kratos XQ-58A Valkyrie. Israel och USA dominerar utvecklingen av patrullrobotar men antalet länder som utvecklar patrullrobotar ökar stadigt. I [4,5] beskrivs olika typer av patrullrobotar närmare.

3.4.1 IAI Harop

IAI Harop är en signalsökande patrullrobot avsedd att neutralisera luftvärnsradarsystem. Den kan flyga i autonom mod och leta efter specifika radarutsändningar och automatiskt bekämpa dessa källor, alternativt ledas av en operatör som utifrån en realtidsvideoström kan genomföra spaning och ange stationära eller rörliga mål som Harop ska bekämpa. Om bekämpning inte utförs under ett uppdrag kan Harop återanvändas. Dess datalänk anges ha en räckvidd på 200 km men den kan även operera utan kommunikation på avstånd upp till 1 000 km.¹⁸⁴



Harop (Israel):

- Vikt: ca 135 kg
- Stridsdel: 16 kg
- Längd: 3 m
- Vingspann: 3 m
- Hastighet: 420 km/h
- Uthållighet: 9 t
- Räckvidd: 1 000 km
- Radarmålarea: 0,5 m²

Figur 3.22: IAI Harop¹⁸⁵ vid Paris flygshow, 2013 (foto: Julian Herzog, CC BY 4.0, via wikipedia¹⁸⁶).

3.5 Koppling till luftoperationstyperna

I detta avsnitt ges en sammanfattande beskrivning av hur RPAS används operativt i de olika luftoperationstyperna som beskrivs i [8]. Olika typer av RPAS är mer eller mindre anpassade för de olika luftoperationstyperna luftförsvar, sjö- och markmålsattack, inhämtning i underrättelsesyfte samt flygtransport och undsättning (se även figur 1.2). I luftoperationer används RPAS

¹⁸⁴ www.airforce-technology.com/projects/haroploiteringmuniti/

¹⁸⁵ www.iai.co.il/p/harop

¹⁸⁶ en.wikipedia.org/wiki/IAI_Harop#/media/File:IAI_Harop_PAS_2013_02.jpg

typiskt för inhämtning och bekämpning mot mål på marken och till sjöss. De används även för specifika deluppgifter i samband med luftförsvarsoperationer, såsom skenmål i samband med bekämpning av luftvärnssystem. I nuläget används militära RPAS i ytterst begränsad omfattning för transportuppdrag. I tabell 3.1 ges exempel på operativa RPAS och UAV:er som är under utveckling, kopplat till olika användningsområden.

Tabell 3.1: Exempel på RPAS och primära luftoperationstyper.

Status	Exempel	Typ	Luftoperationstyper (primära)
Operativa system	ADM-160B MALD, ADM-160C MALD-J	-	Luftförsvar (skenmål, störning)
	FLIR Black Hornet, Skydio X2D, Parrot Anafi	Stridsteknisk	Inhämtning
	Orion-30, Forpost-R	Taktisk	Inhämtning
	TB2	Taktisk	Inhämtning, Attack
	RQ-170 Sentinel	-	Inhämtning
	MQ-9 Reaper, Orion, Altius-RU, Hermes 900, Heron TP, Anka-S	MALE/HALE	Inhämtning, Attack
	Global Hawk	HALE	Inhämtning
System under utveckling	FVR-90, V-BAT 128, Aerosonde HQ	Taktisk	Inhämtning (hög mognadsgrad)
	AACUS, K-MAX, Cormorant	Taktisk	Transport
	MQ-25 Stingray	MALE	Transport (lufttankning)
	Remote Carrier (FCAS), LANCA, Boeing ATS, Skyborg	Loyal Wingman	Attack, inhämtning, defensivt luftförsvar (ej dess primära uppgift)

3.5.1 Luftförsvar

Luftförsvar är verksamhet syftande till sådan kontroll av lufterummet att dess utnyttjande för egna syften möjliggörs och motståndarens användning av lufterummet förvägras [8]. Verkansförbanden i luftförsvaret består av stridsflygdivisionerna samt luftvärnsbataljonerna.

3.5.1.1 Nuläge

Vid bekämpning av fientliga luftvärnsradarsystem används ofta en kombination av obemannade farkoster, i form av skenmål som är avsedda att få motståndaren att aktivera radarsystemen och signalsökande patrullrobotar (alternativt signalsökande robotar som avfyras från stridsflygplan) för bekämpning av dessa. En obemannad farkost som används som skenmål är ADM-160 MALD medan Harop är en vanligt använd signalsökande patrullrobot.

3.5.1.2 Pågående utveckling

Flera UAV:er är under utveckling som är avsedda att operera tillsammans med bemannade stridsflygplan, i vissa fall även med en begränsad jaktförmåga (framförallt defensivt luftförsvar). Dessa obemannade farkoster benämns ofta som *loyal wingman*, *remote carrier* eller *adjunct vehicle*.

3.5.2 Inhämtning

Inhämtning är verksamhet som bedrivs i syfte att inhämta information som, efter bearbetning, kan bidra till underrättelser. Inhämtning i underrättelsesyfte genomförs inom luftstridskrafterna från såväl flygande plattformar som från markbaserade plattformar och personal. Inhämtning sker mot mål på marken, till sjöss och i luften. Syftet med inhämtningen är att upptäcka, lokalisera, identifiera och följa mål, samt att förstå informationen i sitt rätta sammanhang [8].

3.5.2.1 Nuläge

Ett stort antal olika RPAS används på stridsteknisk ledningsnivå. FLIR Black Hornet är den minsta av dessa men även kommersiella system såsom Parrot's Anafi och olika versioner av RPAS från DJI används.

Inhämtning genomförs även med större RPAS som har en lång uthållighet (ett till två dygn) och en räckvidd som med satellitkommunikation kan bli närmast obegränsad. Exempel på sådana RPAS är den israeliska Heron och Natos RQ-4D Phoenix Global Hawk. Ett stort antal av dessa kan även beväpnas.

3.5.2.2 Utveckling

På låg stridsteknisk nivå tittar US Army inom programmet SRR (*Short Range Reconnaissance*) på möjligheten att kapitalisera på den civila utvecklingen för att nå ett kostnadseffektivt spaningssystem på plutonsnivå. Två UAV:er återstår i utvärderingen, Parrot ANAFI USA och Skydio X2D, och dessa skulle även kunna stödja exempelvis flygbasjägargrupper och hemvärnsförband. Flera andra länder har även anskaffat Parrot RPAS.

En intressant utveckling är mindre taktiska UAV:er med lång uthållighet som har förmåga att starta och landa vertikalt (*Vertical Take-Off and Landing*, VTOL). Fyra exempel är V-BAT 128, Aerosonde HQ, Arcturus Jump 20 och FVR-90. De utvärderas inom US Army som möjliga ersättare till RQ-7 Shadow inom programmet FTUAS (*Future Tactical UAS*). V-BAT och FVR-90 genomgår även utvärderingar tillsammans med US Navy medan Arcturus Jump 20 deltar i utvärderingar för en ny ISR UAV (*Medium-Endurance UAS*, MEUAS) av USSOCOM (*US Special Operations Command*).^{187,188,189}

Solenergidrivna höghöjdsplattformar avsedda att operera månader i sträck i stratosfären är även under utveckling, exempelvis Zephyr och Sunlider (se kapitel 4).

¹⁸⁷ www.army.mil/article/239411/future_tactical_unmanned_aircraft_system_ftuas

¹⁸⁸ www.maritime-executive.com/article/video-u-s-navy-tests-unconventional-drone-systems

¹⁸⁹ insideunmannedsystems.com/arcturus-uav-awarded-7-million-task-order-for-ussocoms-mid-endurance-unmanned-aircraft-systems/

3.5.3 Attack

Attack beskrivs i [8] som verksamhet syftande till fysisk påverkan av motståndarens förband, verksamhet eller anläggningar på marken samt på eller under havsytan. Attack omfattar sjömålsbekämpning och markmålsbekämpning. Sjömåls- och markmålsbekämpning genomförs i nuläget av stridsflygplan.

3.5.3.1 Nuläge

Ett ökande antal RPAS, som den amerikanska MQ-9 Reaper och de turkiska farkosterna TB2 och Anka-S, genomför attackuppdrag som ett av deras primära uppdrag. Kina har ett stort antal beväpnade RPAS. Ryssland har nyligen infört sin första MALE RPAS, Orion, som har förmåga att även genomföra attackuppdrag.

Det pågår samtidigt en snabb utveckling av patrullrobotar som kan ses som en hybridlösning med en robot som har både spaningsförmåga och direkt bekämpningsförmåga, men där det senare utgör dess huvudsakliga användningsområde. Benämningen patrullrobot syftar till dess förmåga att flyga över ett område och bedriva spaning och där en operatör normalt övervakar situationen över en realtidsvideoström och kan allokera mål som patrullroboten därefter bekämpar. De har normalt målföljningsförmåga integrerat vilket medger bekämpning av rörliga mål då dessa har valts ut av operatören.

3.5.3.2 Utveckling

Den ryska Su-70 Ochotnik är ett exempel som är under utveckling där förmågan att utföra attackuppdrag är central. Det finns även enstaka exempel på optionellt bemannade flygplan som är under utveckling vars primära uppdrag anges vara attackuppdrag, såsom Northrop Grummans B-21.

3.5.4 Transport

Flygtransport är förflyttning genom luften av förband, förnödenheter och personal som genomförs av flygplan eller helikopter. Flygtransport omfattar luftburen transport samt lufttankning. Nationellt är inriktningen att säkerställa förmågan till uthålliga luftoperationer, möjliggöra taktisk rörlighet för bas- och luftvärnsförband samt stödja mark- och sjöstridsförband [8]. De ska även stödja specialförband och genomföra sjukvårdstransporter.

3.5.4.1 Nuläge

MQ-8C Fire Scout är ett exempel på en operativ RPAS, av helikoptertyp, som är utvecklad med möjlighet att bära modulära nyttolaster och den kan vid behov användas för transporter av förnödenheter.

3.5.4.2 Utveckling

Utvecklingen av UAV:er avsedda för transporter pågår och USA har även tidigare använt obemannade helikoptrar för transporter i Afghanistan. I USA har ONR (Office of Naval Research) tillsammans med företaget Aurora Flight Sciences inom projektet AACUS (*Autonomous Aerial Cargo/Utility System*) utvecklat autonom mjukvara och sensorer som möjliggör att ett stort antal helikoptrar kan konverteras till obemannade farkoster, exempelvis för autonom transport av förnödenheter för att möta amerikanska marinkårens underhållsbehov.¹⁹⁰

Obemannade farkoster kommer sannolikt även att användas för evakuering av skadade (*Casualty Evacuation*, CASEVAC) i scenarion med stora skadeutfall eller i hotmiljöer där bemannad MEDEVAC-resurs inte kan utnyttjas [26]. Ett exempel på en dedikerad CASEVAC UAV som är under utveckling är den israeliska Cormorant.¹⁹¹

US Navy utvecklar även ett obemannat lufttankningsflygplan, MQ-25 Stingray, som är avsett att stationeras på hangarfartyg.

¹⁹⁰ www.onr.navy.mil/en/Media-Center/Press-Releases/2017/2017-AACUS

¹⁹¹ www.tactical-robotics.com/category/cormorant

4 Utvecklingen internationellt

Utvecklingen av obemannade flygfarkoster för flygstridskrafterna har i ett internationellt perspektiv intensifierats det senaste årtiondet. Majoriteten av de länder som opererar RPAS har traditionellt gjort det inom ramen för arméstridskrafterna. Uthålligheten och räckvidden för exempelvis taktiska RPAS har ökat väsentligt och de börjar nå motsvarande prestanda som MALE RPAS tidigare har uppvisat. Samtidigt utvecklar fler länder kvalificerade stora MALE och HALE RPAS som traditionellt opereras av flygstridskrafterna. För mindre nationer är även rollfördelningen annorlunda än i exempelvis USA som bland annat inom ramen för marinförband opererar stridsflyg som utför många av den typen av uppdrag som flygstridskrafterna i Sverige genomför i form av mark- och sjömålsattack och CAS (*Close Air Support*). Den internationella utvecklingen av UAV:er inom framförallt arméstridskrafterna beskrivs därför även i denna rapport då den bedöms vara relevant för flygvapnet.

Utvecklingen av koncept där bemannade stridsflygplan genomför uppdrag i samarbete med obemannade farkoster är en tydlig trend där fyra större utvecklingsprojekt pågår. En utvecklingstrend är även att ett stort antal länder för in förmågan till direkt attack med UAV:er och utvecklar dedikerade precisionsvapen avsedda för taktiska UAV:er. Det finns även en utvecklingstrend med obemannade helikoptrar som konverteras från bemannade system, samt att förmågan till vertikal start och landning (VTOL) förs in även på UAV:er som används på taktisk ledningsnivå.

För soldatburna UAV:er, avsedda för låg stridsteknisk ledningsnivå, är den rådande utvecklingstrenden att kommersiella system utvärderas och modifieras i syfte att försöka fylla militärens behov till ett lägre pris än exempelvis den för FLIR Black Hornet. Även grupper av samverkande UAV:er utvecklas, ofta benämnt svärmar, med förmåga till eget beslutsfattande vilket medger att en ensam operatör ska kunna leda ett större antal farkoster.

Detta kapitel börjar med att ge en bild av de övergripande internationella utvecklingstrenderna. Därefter ges beskrivningar av utvecklingen av obemannade flygfarkoster för utvalda länder.

4.1 Övergripande utvecklingstrender

De övergripande utvecklingstrenderna beskrivs i tabell 4.1.

4.1.1 Obemannade följeslagare

Endast ett fåtal stridsflygplan av det som ibland benämns som den femte generationens stridsflygplan är operativa idag, nämligen Lockheed Martins F-22 Raptor och F-35 Lightning II, den kinesiska Chengdu J-20 och den ryska Suchoj

Tabell 4.1: Övergripande utvecklingstrender för stridstekniska, taktiska, MALE, HALE och patrullrobotar.

Typ av UAV	Utvecklingstrend
Stridsteknisk	Exploatering av kommersiell teknik som modifieras för att uppfylla militära behov i form av ökad fysisk robusthet, säker kommunikation och användbara automatiska funktioner
	Användning av generella användargränssnitt
Taktisk	Snabbt ökande antal länder som utvecklar och exporterar beväpnade UAV:er
	Uthålligheten förbättras (10-20 timmar)
	Räckvidden har typiskt begränsats av behovet av frisiktsförhållanden för kommunikationssystemet men satellitkommunikationssystem börjar nu föras in
	Kraftigt förenklat handhavande och transport, möjlighet att starta och landa vertikalt samt minskat personalbehov
MALE	Antalet länder som har tillgång till MALE UAV:er ökar snabbt
	Uthålligheten för MALE UAV:er ökar (upp till två dygn)
HALE	Soldrivna spaningsplattformar som opererar i stratosfären månader i sträck
Loyal wingman	Obemannade följeslagare till bemannade stridsflygplan
Patrullrobot	UAV:er med integrerad verkansdel utvecklas i snabb takt, med en ökande grad av automation

Su-57 (som blev operativ i december 2020). Utvecklingen av nästa generation av stridsflygplan, som troligen kommer börja föras in tidigast om 15 år, har redan påbörjats men det finns fortfarande stora oklarheter rörande deras förmågor.

Nästa generations stridsflygplan förväntas bland annat få förbättrade smygegenskaper och mer avancerade verkanssystem, i form av telekrigssystem, hypersoniska robotar och eventuellt högeffektlaser. Utveckling av fotonbaserade radarsystem och kvantradar pågår även, där kvantradersystem utvecklas av bland annat Ryssland och Kina, men åsikterna om teknikens möjlighet och realiserbarhet skiljer sig kraftigt åt [29].^{192,193,194,195} De förväntas även ges en högre grad av autonomi i form av exempelvis beslutsstödsfunktioner och självskyddssystem som använder sig av AI-algoritmer (artificiell intelligens). En annan förmåga som ofta nämns är bränsleeffektiv överljudsmarschfart (*super cruise*). Dessa egenskaper och förmågor är dock inte exklusiva för den sjätte generationens stridsflygplan utan de kommer föras in även på andra stridsflygplan. Enstaka utvecklingsprojekt som det brittiska Team Tempest anger även att målet är ett optionellt bemannat stridsflygplan men diskussionen förs om detta verkligen är en kostnadseffektiv förmåga som är redo att föras in operativt redan under 2030-talet [12].

Den tydligaste utvecklingstrenden är att det bemannade stridsflygplanet ska samarbeta tätt med en uppsättning av heterogena obemannade farkoster (ofta

¹⁹² eurasiantimes.com/us-to-equip-its-f-16-fighter-jets-with-a-6th-gen-technology-shield-laser-weapons-watch/

¹⁹³ www.sciencemag.org/news/2020/09/short-weird-life-and-potential-afterlife-quantum-radar

¹⁹⁴ spie.org/news/quantum-radar?SSO=1

¹⁹⁵ www.airforce-technology.com/features/top-sixth-generation-fighter-jets/

benämnt *Remote Carriers* eller *Loyal Wingman*) av olika storlek där dessa ska utföra uppdragen i högriskmiljöer. Mindre och enklare obemannade farkoster ska kunna ta större risker då de kan avvaras (*attritable*). Helt obemannade stridsflygplan som autonomt utför sina uppdrag diskuteras dock inte som en realistisk lösning den närmaste tjugoårsperioden utan de obemannade farkosterna kommer att ledas framförallt från bemannade stridsflygplan. Ett robust kommunikations- och ledningssystem utgör då en kritisk möjliggörare för detta koncept. Flera av de nyligen påbörjade utvecklingsprojekten planerar att utveckla ett slags *Combat Cloud* som ska förmedla och sammanställa information, med hjälp av AI-baserade algoritmer, mellan de olika farkosterna.

I Europa pågår två stora program för utvecklingen av ett nytt stridsflygplan där obemannade farkoster bedöms komma att utgöra en viktig styrkemultiplikator (*force multiplier*). Det första drivs av Storbritannien som 2018 lanserade sin *Combat Air Stragy* där en viktig beståndsdel är FCAS TI (*Future Combat Air System Technology Initiative*). Programmet syftar till att stärka och bygga nationell kompetens för att möjliggöra utveckling av framtida stridsflyg-system.¹⁹⁶ Parallellt drivs ett anskaffningsprogram där internationella partners förväntas delta i utveckling och produktion av ett stridsflygsystem. Sverige och Italien är idag inkluderade i den första fasen av detta program (*Future Combat Air System Collaboration*, FCASC), se vidare avsnitt 4.4.2.3. Storbritannien avser också samarbeta med Japan om framtida stridsflygförmåga.¹⁹⁷ Det andra programmet leds av Frankrike och Tyskland och går under den franska beteckningen SCAF (*Système de Combat Aérien du Futur*) som även det benämns FCAS på engelska. Spanien har anslutit sig till detta program (se avsnitt 4.3.1).

Även USA (*Skyborg*) och Australien (*Advanced Teaming System*) utvecklar autonoma obemannade farkoster som ska användas tillsammans med bemannade stridsflyg. De har många av de ovan beskrivna egenskaperna och en viktig aspekt för de obemannade farkosterna är att själva farkosten inte ses som det primära målet med utvecklingen utan det är intelligensen och hur de ska ledas och samverka effektivt med både bemannade och obemannade farkoster som förväntas utgöra den stora utmaningen. En snabb utvecklingscykel och låg kostnad per farkost utgör prioriterade mål i utvecklingen av de obemannade farkosterna i dessa projekt. Dessa mål utgör dock en avsevärd utmaning.

¹⁹⁶ De fyra största företagen i FCAS TI är BaE, Rolls-Royce, Leonardo UK och MBDA UK, dessa går under benämningen Team Tempest. Vid lanseringen av FCAS TI år 2018 ställdes en mock-up av ett framtida stridsflygplan ut. Den var tillverkad av Team Tempest och begreppet Tempest är därför frekvent använt som synonym för det framtida flygplanet.

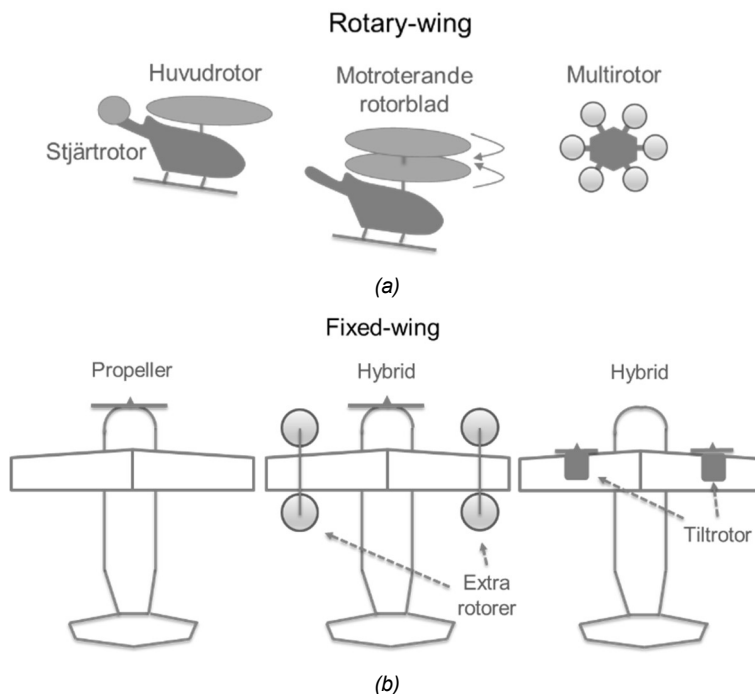
¹⁹⁷ Defence in a competitive age, UK MoD mars 2021 (assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/974661/CP4_11_-_Defence_Command_Plan.pdf)

4.1.2 Integrerad bekämpningsförmåga

Antalet länder som har infört förmågan till, och i många fall även genomfört, bekämpning med UAV:er har ökat snabbt de senaste tre-fyra åren. Kina och Turkiet har ökat sin export av beväpnade UAV:er och även mindre länder utvecklar denna förmåga.

4.1.3 VTOL UAV

Förmågan att starta och landa vertikalt (VTOL) har traditionellt varit viktig för marina tillämpningar och detta har typiskt realiserats med helikopterliknande (s.k. *rotary-wing*) UAV:er som MQ-8 Fire Scout och Skeldar V-200. Dessa kan starta och landa på fartyg under rörelse och kan stationeras på fartyg som behöver en egen förmåga till spaning, övervakning och målinmätning på längre avstånd ut från fartyget men som inte har utrymme för en fullstor bemannad helikopter. VTOL-förmågan realiseras nu även på taktiska UAV:er av flygplanstyp (s.k. *fixed-wing*) genom att utrusta dessa med extra elektriska motorer och rotorblad eller med tiltrotorteknik där motor (alternativt hela vingen) vinklas beroende på önskad flygmod. Dessa olika koncept illustreras i figur 4.1.



Figur 4.1: Illustration av olika typer av (a) "rotary-wing" och (b) "fixed-wing" UAV:er. Hybridfarkoster med tiltrotorteknik eller extra elektriska motorer/rotorer kan ge "fixed-wing" UAV:er en VTOL-förmåga.



Figur 4.2: Kaman K-MAX med två motroterande synkroniserade rotorblad (vänster – Fox 52, CC BY-SA 3.0, via wikipedia¹⁹⁸; höger – Tethys, via wikimedia commons¹⁹⁹).

4.1.3.1 Taktisk VTOL hybrid-UAV

Det pågår en intressant utveckling av relativt små, lätta taktiska VTOL UAV:er som har förmåga att starta och landa vertikalt utan behov av förberedda start- och landningsbanor. Förmågan att starta och landa på rörliga plattformar, både på större fartyg och även för mindre fordon och fartyg, är under utveckling. Ambitionen är att de ska kunna hanteras av två till tre personer, transporteras i helikopter och ändå ha en lång uthållighet (typiskt över tio timmar). US Army utvecklar och utvärderar den här typen av UAV:er inom programmet FTUAS (*Future Tactical UAS*) och som exempel så har en V-BAT demonstrerats kunna transporteras i en helikopter (UH-60 Black Hawk) och den har även landats på flaket på en pickup under körning.

4.1.3.2 Helikopter-UAV:er

Helikopter-UAV:er som använder motroterande rotorerna har en högre lyftförmåga då de inte behöver en stjärtrotor, vilket innebär att den motoreffekt som denna använder istället kan användas för att ge ökad lyftförmåga. Ett exempel på UAV som använder en liknande teknik är K-MAX (figur 4.2).²⁰⁰ En obemannad version av K-MAX som utvecklades av Lockheed-Martin och Kaman Aerospace användes av amerikanska marinkåren i Afghanistan för logistiktransporter till exempelvis framskjutna baser från 2011 till 2014. Dessa transporter genomfördes framförallt i mörker med GPS-baserad brytpunktsnavigering. Två K-MAX transporterade mer än två tusen ton förnödenheter (motsvarande 900 transporter med markfordon).²⁰¹ K-MAX kan bära (externt hängande) last på drygt 2,7 ton. Den ansågs dock inte klara operationer mot en kvalificerad motståndare i telestörda miljöer med moderna luftvärnssystem och den militära utvecklingen avbröts. Marinkåren har dock nyligen lagt en beställning på att uppgradera sina

¹⁹⁸ commons.wikimedia.org/wiki/File:K-1200_orthographical_image.svg

¹⁹⁹ en.wikipedia.org/wiki/Kaman_K-MAX

²⁰⁰ www.kaman.com/aerosystems/solutions/air-vehicles-mro/k-max

²⁰¹ www.marinecorpstimes.com/news/your-marine-corps/2014/08/02/k-max-cargo-drone-home-from-afghanistan-headed-to-storage/

två K-MAX med samma autonomimjukvara som finns i den nyutvecklade K-MAX Titan. Den är optionellt bemannad och använder autonomi från företaget Near Earth Autonomy som skapar en högupplöst 3D-modell av omgivningen. Denna modell kan användas för navigering och för att välja säkra landningszoner. De anger även att deras sensorer och algoritmer ger förmågan att upptäcka och klassificera hinder och väja för dessa.²⁰²

Inom projektet AACUS har hårdvara och mjukvara utvecklats som gör det möjligt att konvertera bemannade helikoptrar till obemannade farkoster. MQ-8C Fire Scout förs in operativt av US Navy och den har motsvarande förmågor som autonom start och landning, val av säkra landningszoner osv.

Även europeiska tillverkare som Leonardo har utvecklat optionellt bemannade helikoptrar (SW-4 Solo). De har även utvecklat en helt obemannad helikopter-UAV (AWHERO). UMS Skeldar V-200 och Schiebel Camcopter S-100 är två exempel på operativa taktiska helikopter-UAV:er (figur 4.3).

Tekniken för säker flygning (i ”enskilt” lufterum) är relativt mogen och utvecklingen syftar nu till att göra de automatiska förmågorna säkrare än vad en mänsklig pilot kan flyga, vilket även innebär att de kan användas som stöd för piloter. Däremot behöver tekniken för säker flygning i gemensamt lufterum utvecklas vidare, vilket förutsätter förmåga att upptäcka andra farkoster (framförallt de som inte har aktiva transpondrar av olika slag) och algoritmer för att undvika kollisioner med dessa. Innan dessa tekniker blivit tillräckligt tillförlitliga kommer regelverket inte tillåta ett införande av autonoma UAV:er. Uppdragsautonomin som automatiskt ska kunna realisera de taktiska förmågorna är ännu i sin linda och behöver utvecklas vidare.



Figur 4.3: UMS Skeldar V-200 och Schiebel Camcopter S-100 (foto: vänster – A55mberget, CC BY-SA 4.0, via wikipedia²⁰³, höger – Matthias Kabel, GNU Free Documentation License, via wikimedia commons²⁰⁴).

²⁰² www.nearearth.aero/technology

²⁰³ en.wikipedia.org/wiki/Saab_Skeldar#/media/File:V-200.jpg

²⁰⁴ commons.wikimedia.org/wiki/File:Schiebel_Camcopter_S-100_at_ILA_2010.jpg

4.1.4 Svärmar

En tydlig trend är att allt fler länder studerar och demonstrerar svärmteknologier för militära ändamål. Det finns ett flertal potentiellt intressanta tillämpningar för svärmar, framförallt: (i) spaning i urbana miljöer, grottsystem och underjordiska komplex, (ii) bekämpning av integrerat luftförsvar eller örlogsfartyg med kvalificerade automatiserade självförsvarssystem (t.ex. Phalanx²⁰⁵ *Close-In Weapon System*, CIWS), genom att mätta dessa med ett stort antal individer som attackerar från olika riktningar, och (iii) defensivt för att neutralisera fientliga svärmar. Även attacker mot flygbaser med syftet att slå ut flygplan på marken utgör en möjlig användning [30]. Icke-statliga aktörer har genomfört attacker med grupper av, ofta delvis egentillverkade, UAV:er som utrustats med kinetiska verkansdelar.²⁰⁶ Det har dock så här långt genomförts med vad som bedöms vara förprogrammerade UAV:er som inte samverkar eller koordinerar attacken.

Även om en svärm med små multirobot-UAV:er potentiellt kan användas för spaning eller för att bekämpa mjuka mål så förutsätter bekämpning av kvalificerade farkoster att svärmindividerna har en tillräcklig kinetisk bekämpningsförmåga för att utgöra ett reellt hot. För den senare applikationen utgör utvecklingen av svärmar som baseras på patrullrobotar ett mer allvarligt hot, samtidigt som det utgör en naturlig utveckling då patrullrobotar redan från början utrustats med kommunikationslänkar som möjliggör samverkan. Både USA och Kina har demonstrerat delmoment av ett sådant svärmbeteende men bedömningen är att det återstår en del forskning och utveckling innan de utgör ett operativt effektivt alternativ som har större sannolikhet att slå ut målet än dagens kvalificerade robotsystem. Patrullrobotar är även relativt dyra vilket innebär att en svärm med tiotals individer på kort sikt kan få samma kostnad som en tung sjömålsrobot. Heterogena svärmar, där vissa individer har kinetisk verkansdel och andra utrustas med sändare för störning, vilseledning eller kommunikationsrelä, bedöms vara den rådande utvecklingstrenden.

Tre exempel på utvecklingstrender för svärmar är:

- *Civila svärmar för nöjesindustrin:* Kina och USA har demonstrerat svärmar med enkla UAV:er bestående av tusentals individer som flyger koordinerat i ljusshower. Dessa svärmar kontrolleras centralt och individerna har en begränsad inbyggd intelligens. De är beroende av kommunikation eller GNSS-mottagare för sin styrning.^{207,208}

²⁰⁵ www.raytheonmissilesanddefense.com/capabilities/products/phalanx-close-in-weapon-system

²⁰⁶ www.thedrive.com/the-war-zone/17493/russia-says-january-5th-attack-on-its-syrian-air-base-was-by-a-swarm-of-drones

²⁰⁷ www.intel.com/content/www/us/en/technology-innovation/aerial-technology-light-show.html

²⁰⁸ www.forbes.com/sites/davidhambling/2021/04/06/why-this-record-breaking-drone-display-in-shanghai-is-a-show-of-technological-strength/?sh=407662562d53

- *Multirotor-UAV:er med bekämpningsförmåga*: den indiska armén har demonstrerat en svärm med 75 multirotor-UAV:er av olika storlek som bekämpade enkla (mjuka) mål.²⁰⁹ Även Turkiet visar intresse för att utveckla denna typ av svärmar, baserat exempelvis på patrullroboten Kargu-2. Rotorbaserade patrullrobotar kan vara enklare att återanvända än tubutskjutna varianter.²¹⁰
- *Tubutskjutna patrullrobotar*: Kina har demonstrerat svärmar av patrullrobotar som skjuts ut från en lastbil med tuber för 48 patrullrobotar (möjligen den kinesiska CH-901). De kan även släppas med fallskärm från en helikopter.²¹¹ USA har genomfört demonstrationer med drygt 100 Perdix UAV:er som släpptes från tre F/A-18 Super Hornet där formationsflygning, självläkande funktion och enkelt beslutsfattande visades.²¹² ONR har även utvecklat och demonstrerat en svärm av tubutskjutna Coyote UAV:er inom projektet LOCUST (*Low-Cost UAV Swarm Technology*).²¹³

Öppen detaljerad information rörande ovanstående demonstrationer och utvecklingssystem finns inte tillgänglig, men de bedöms fortfarande vara beroende av radiokommunikation och GNSS för navigering vilket gör att de ännu inte är anpassade för operationer i telestörda miljöer. Svärmalgoritmerna bedöms även vara relativt enkla. Nyckeln till att erhålla en effektiv svärm ligger i mjukvaran och decentraliserade svärmalgoritmer ses som en nödvändighet för att öka redundansen. En ökad intelligens hos varje individ och sensornära signalbehandling (*edge computing*) är en förutsättning för att de ska kunna operera i telestörda miljöer där kommunikationssystemen inte kan garantera kontinuerlig kommunikation med hög datatakt samt för att nå erforderlig förmåga till detektion och följning av mål.

Ett annat intressant utvecklingsspår är när flera mindre UAV:er samarbetar och tillsammans lyfter ett föremål som är tyngre än vad de enskilda farkosterna kan lyfta. Detta ställer dock stora krav på styralgoritmerna.²¹⁴

På kort sikt är bedömningen att samverkande mindre grupper av patrullrobotar som genomför en tidsmässigt koordinerad attack från olika riktningar kan realiseras baserat i huvudsak på befintliga patrullrobotar. Grupper av enkla

²⁰⁹ www.forbes.com/sites/davidhambling/2021/01/19/indian-army-shows-off-drone-swarm-of-mass-destruction/?sh=4f3ed6a92384

²¹⁰ www.forbes.com/sites/davidhambling/2020/06/17/turkish-military-to-receive-500-swarmling-kamikaze-drones/?sh=778139a4251a

²¹¹ www.forbes.com/sites/davidhambling/2020/10/14/china-releases-video-of-new-barrage-swarm-drone-launcher/?sh=1c3f51642ad7

²¹² www.defense.gov/Newsroom/Releases/Release/Article/1044811/departments-of-defense-announces-successful-micro-drone-demonstration/

²¹³ www.raytheonmissilesanddefense.com/news/feature/mind-swarm

²¹⁴ rh.gatech.edu/news/645616/control-system-helps-several-drones-team-deliver-heavy-packages

multirotorbaserade UAV:er som förses med kinetisk verkansdel kan utgöra ett allvarligt hot mot oförberedda, mjuka mål. Men för att nå god effekt mot kvalificerade mål är bedömningen att en relativt omfattande forskning och utveckling krävs för att med större grupper (svärmar) av patrullrobotar få en större effekt jämfört med ett par tunga sjömålsrobotar. Skillnaden kan dock även vara att en svärm av mindre individer kan skjutas upp från mindre plattformar, exempelvis stridsbåtar, än vad som krävs för att avfira tunga sjömålsrobotar.

4.2 Ryssland

Ryssland har på kort tid utvecklat en stor uppsättning obemannade flygande farkoster och även fört in dessa operativt. Noterbart är att deras första *moderna* taktiska UAV, Forpost, togs i operativ drift så sent som 2014 [3]. Det var en licenstillverkad version av den israeliska Searcher. Inhemskt utvecklade stridstekniska RPA:er hade dock införts tidigare.

Utvecklingen av UAV:er anges vara inriktad främst mot uppdrag som spaning, övervakning, målinmätning, telekrig och bekämpning. De sanktioner som infördes i samband med konflikten i Ukraina bedöms ha förhindrat import av RPAS och försenat den inhemska utvecklingen. Omfattande resurser har dock allokerats till det importsubstitutionsprogram där inhemskt tillverkade system, sensorer och elektronik utvecklats för att ersätta importerad materiel och sensorer.

4.2.1 Den ryska inriktningen

I [31] beskrivs de ryska väpnade styrkornas inriktning till RAS, som i Ryssland beskrivs som det robottekniska komplexet (*Robototekhnicheskije Kompleksy, RTK*).²¹⁵ De anges ha en pragmatisk approach till RTK med ett stort fokus mot att nå operativ effekt. Autonomi är inte huvudfokus utan det ses som en av flera möjliggörande tekniker. Inriktningen anges vara att obemannade farkoster och robotik kommer användas mot en tekniskt mer avancerad motståndare, samtidigt som den framtida striden kommer ha betydande element av elektronisk krigföring [25,32]. Den rådande uppfattningen i Ryssland är att de ligger efter andra länder i utvecklingen av obemannade system, framförallt sådana som är avsedda för direkta stridsuppgifter, och att de behöver intensifiera arbetet i ett försök att komma ikapp i utvecklingen [31].

Robotikområdet har ett starkt stöd från det politiska och militära ledarskapet i Ryssland. År 2015 startade försvarsdepartementet programmet *Creation of Advanced Military Robotics up to 2025 with a forecast up to 2030* [33]. Generalstaben utvecklade även en plan för införandet av militära obemannade

²¹⁵ I denna rapport benämns hädanefter RTK som ”obemannade farkoster och robotik”.

farkoster och robotik fram till 2030 där en målsättning var att 30% av utrustningen skulle vara fjärrstyrd år 2025. Även om detta är en mycket ambitiös målbild så är det tydligt att utvecklingen av obemannade system är intensiv inom alla domänerna.

Att experimentera med obemannade prototypfarkoster under operationellt relevanta förutsättningar, såsom i Syrien, utgör en grundbult i den ryska utvecklingen av obemannade farkoster. Experimenterandet har karaktäriserats av en hög grad av lärande, innovation och improvisation, med en hög riskacceptans och med ett fokus mot att nå praktiska resultat [31,34].

Ett starkt relaterat och prioriterat utvecklingsspår under det senaste årtiondet har varit den ryska generalstabens fokus på att modernisera och integrera C4ISR

*“Moscow has placed C4ISR capabilities and network-centric approaches to warfare at the very epicentre of its transformation and modernisation drive.”
(Roger McDermott, Russia's Electronic Warfare Capabilities to 2025, 2017)*

(Command, Control, Communications, Computers, Intelligence, Surveillance, Reconnaissance) förmågorna vilket de bedömer vara en kritisk aspekt i den moderna krigföringen.²¹⁶

Detta anges ha varit en viktig del av de väpnade styrkornas utveckling utifrån *Revolution in Military Affairs* (RMA) och det nätverksbaserade försvaret (*Network Centric Warfare*). Denna utveckling har tydligt synts i ambitionen att utveckla och upphandla automatiserade kommunikations- och ledningssystem på bredden [32]. Det finns dock en försiktighet gentemot att bygga in ett starkt beroende av tekniska system i de nätverksbaserade förmågorna då de förväntar sig att det ska behöva användas i konflikter mot en potentiellt starkare högteknologisk motståndare [31].

4.2.1.1 *Reconnaissance-Fire och Reconnaissance-Strike*

Utvecklingen av *Reconnaissance-Fire*- och *Reconnaissance-Strike*-system utgör en viktig faktor för integrationen av obemannade flygande farkoster i de väpnade styrkorna (se ex.v. [5,35,36]). Det gäller exempelvis automatiseringen och robotiseringen av den ryska arméns fältartilleri i syfte att öka noggrannheten och reducera tiden för bekämpning [31]. De utgörs av ett integrerat system-av-system bestående av spaningssystem, kommunikations- och ledningssystem och precisionsbekämpningssystem.²¹⁷ UAV:er används i ökande grad för spaning och målinmätning för artilleribekämpning eller långgräckviddig precisionsbekämpning i form av kryssningsrobotar eller sjö- och markmålsrobotar.

²¹⁶ jamestown.org/program/russias-armed-forces-expand-uav-strike-capability/

²¹⁷ www.marshallcenter.org/en/publications/security-insights/russian-lessons-syrian-operation-and-culture-military-innovation

“Broad employment of precision and other types of new weapons, including robotic ones, will be fundamental characteristics of future conflicts. The enemy’s economy and state command-and-control system will be the priority targets. Besides traditional spheres of armed struggle, the information sphere and space will be actively involved. Countering communications, reconnaissance and navigation systems will play a special role.”
(Chief of the General Staff, Army General Valeriy Gerasimov, 2018)

I Syrien användes exempelvis en Katran²¹⁸ UAV (figur 4.4) för att detektera, lokalisera och följa mål där målinformationen skickas till markkontrollstationen för att därifrån vidarebefordras till ledningsfordonet som koordinerar artilleribekämpningen. Eleron-3SV, Orlan-10 och Orlan-30 är UAV:er som ofta använts för spaning i *Reconnaissance-Fire* medan Forpost primärt har använts i de övningar som marinen genomfört med inriktning mot mer långgräckviddig *Reconnaissance-Strike* [35,28].

UAV:n genomför även

laserutpekning av målet som stöd till exempelvis laserstyrda Krasnopol artillerigranaterna som anges behöva belysning av målet under 30 sekunder före träff.²¹⁹ Ett automatiserat bekämpningssystem, Koalitsiya SV 2S35 135-mm artillerisystem med en angiven räckvidd på 70 km, är under utprovning där hela processen är automatiserad. I ett *Reconnaissance-Fire* system där det kombineras med en framskjuten spaningssensor och ett automatiserat ledningssystem kan detta ge en mycket snabb och kraftfull bekämpningskedja [31].

“Today the cycle (reconnaissance -- engagement) takes literally 10 seconds.”
(Deputy Chief of Staff of Ground Forces, Major General Vadim Marusin, 2018)

Ambitionen är att i hög grad automatisera ledningssystemet (*avtomatizirovannaya sistema upravleniya*, ASU) för att ge en snabb OODA-loop (*Observe, Orient, Decide, Act*) från

observation med obemannade farkoster till bekämpning. På taktisk nivå för markarenan förväntas detta komma att integreras i YeSU-TZ (*Yedinaya sistema upravleniya v takticheskoy zvene*) som är ett BMS (*Battle Management System*) som ska kontrollera elva olika delsystem, bland annat artilleri och telekrigssystem. Under övningen Tsentr som genomfördes 2019 var fokus på dessa aspekter och då användes även ledningssystemet Andromeda som möjliggör interoperabilitet mellan armé och flygvapnet och det ska vara interoperabelt med YeSU-TZ.²²⁰

²¹⁸ Katran är en helikopter-UAV som med dubbla motroterande blad och utan stjärtrator liknar den amerikanska K-MAX. Denna teknik ger en god lyftförmåga.

²¹⁹ www.ainonline.com/aviation-news/defense/2020-02-27/innovative-uav-technology-helps-syrian-army-offensive-idlib

²²⁰ www.deagel.com/Protection%20Systems/Andromeda-D/a003338



Figur 4.4: Två helikopter-UAV:er av typen Katran, Victory Day 2018 (foto: kremlin.ru, CC BY 4.0, via wikipedia²²¹). Även Akatsia-M utprovades under övningen och de tre systemen benämns i Ryssland som ISBU (informatsionnaya sistema boyevogo upravleniya).²²²

Om kommunikations- och ledningssystemen för de obemannade systemen och artillerisystemen är integrerade och automatiserade kan målinformationen överföras med låg fördröjning. Om sedan delfunktionerna lokalisering och klassificering av mål automatiseras, och en snabb process för ett mänskligt beslut om bekämpning utifrån föreslagna mål implementeras, kan bekämpningen utföras i nära realtid efter upptäckt av målet. En ökande vikt läggs vid AI som möjliggörare för ett automatiserat ledningssystem (*Command and Control*, C2) med en snabbare OODA-loop där AI kan stödja i hanteringen av stora informationsmängder och fungera som beslutsstöd i ISBU [31]. Sensorinformation från RPAS och satelliter har integrerats.

4.2.1.2 Tre generationer av obemannade farkoster och robotik

De ryska väpnade styrkorna delar in militära obemannade farkoster och robotik i tre generationer [33]: (i) första generationens, primärt fjärrstyrda, system som har mjukvara som kan operera i strukturerade miljöer, (ii) andra generationens system som är adaptiva till förändringar i omgivningen och är utrustade med sensorer och algoritmer som ger förmågan att fungera i okända, dynamiska miljöer och (iii) tredje generationens smarta system som är utrustade med AI-baserade kontrollsystem. Den tredje generationen sägs endast existera som experimentssystem i forskningslaboratorier än så länge.

²²¹ www.kremlin.ru/events/president/news/57436

²²² www.globalsecurity.org/military/world/russia/akatsia-m.htm

4.2.1.3 Centrala statliga organisationer

De huvudsakliga organisationerna ansvariga för utvecklingen av obemannade farkoster och robotiksystem bestod år 2019 av [33]:

- Commission for Development of Robotic Systems for Military Purposes som leds direkt av försvarsminister Sergei Shoigu
- Main Department for Research and Technological Support of Advanced Technologies (GUNID)
- Main Research and Testing Robotics Centre of the Russian Ministry of Defense (MRTRC)
- Advanced Research Foundation (FPI)
- Military Innovative Technopolis (ERA).

MRTRC anges vara en av de mest hemliga militära organisationerna medan FPI närmast utgör en rysk motsvarighet till det amerikanska DARPA (*Defence Advanced Research Project Agency*). Avsikten är att ERA, som invigdes 2019, ska komma att utgöra en forskningsmiljö där statligt ägda och privata forskningsorganisationer och företag ska utgöra en innovativ forskningsmiljö där kritiska tekniker för de framtida militära behoven beforskas (bland annat robotik, AI, informationssäkerhet och superdatorer) [33]. Ambitionen är att ERA ska ha en infrastruktur som rymmer hela forsknings- och utvecklingskedjan, från grundläggande explorativ forskning till prototypframtagning och testning av vapensystem. Statliga forskningsinstitut står för majoriteten av de militära forskningsinsatserna i Ryssland (ca 72% av finansieringen och 80% av de anställda forskarna) och andelen militärt finansierad forskning som utförs av civil industri är begränsad men ambitionen är att öka denna del [33].

4.2.1.4 Materielmoderniseringen

Den materielmodernisering som påbörjades efter Georgienkriget har försvårats på grund av de internationella sanktionerna som infördes 2014 efter den ryska annekteringen av Krim samtidigt som ukrainsk försvarsindustri inte längre levererar till Ryssland. Ett importsubstitutionsprogram skapades för att råda bot på den allvarliga brist på komponenter och hårdvara som restriktionerna orsakade, där ryska företag utvecklat inhemsk teknologi för att ersätta västerländsk och ukrainsk teknologi i bland annat obemannade farkoster. Programmet bedöms i stora delar ha varit framgångsrikt men sanktionerna bedöms ha orsakat förseningar i olika materielutvecklingsprogram och sannolikt även försämringar i prestanda för exempelvis sensorer till UAV:er. Ryssland har även haft svårt att utveckla moderna konkurrenskraftiga och billiga kolvmotorer.

Ett resultat av den inhemska utvecklingen är att det bedöms minska känsligheten mot framtida eventuellt skärpta sanktioner. Ryssland har även ökat sitt militära samarbete med Kina och Indien [6], där de bland annat har genomfört gemensamma marinövningar i Östersjön med kinesiska örlogsfartyg. Ett möjligt

resultat av detta samarbete kan även vara förbättrade möjligheter att få tillgång till elektroniska komponenter och andra delsystem.

Ett nytt tioårigt beväpningsprogram påbörjades 2018 där förbättrade precisionsstyrda vapen utgör en prioritet för mark-, luft- och sjöstridskrafterna. Även obemannade flygande farkoster med förmåga till markmålsbekämpning, moderniserad soldatutrustning och avancerade telekrigs- och sambandssystem prioriteras [6]. Den strategiska avskräckningsförmågan är fortsatt prioriterad, där en icke-nukleär fjärrbekämpningsförmåga baserat på kryssningsrobotar även ska utvecklas [6]. Ryska officiella källor anger att dessa kan komma att baseras på nyutvecklade hypersoniska kryssningsrobotar som ska kunna bäras av olika typer av plattformar. Försök anges pågå med det ryska Su-57 som bärare av hypersoniska markmålsrobotar.

4.2.1.5 AI

Ryssland har trots uttalanden från president Putin om att "ledaren inom AI-området också kommer att leda världen" i jämförelse med USA och Kina allokerat relativt små medel för utvecklingen av AI för militära ändamål och de bedöms få svårt att nå ikapp dessa länder. De kan dock fortfarande komma att utgöra en maktfaktor inom specifika delområden. Internationellt motsätter sig Ryssland förbud mot autonoma vapensystem (*Lethal Autonomous Weapon Systems*, LAWS) och militär användning av AI men de för dialoger med stater och andra aktörer rörande formuleringar av etiska regler och normer för användandet [31]. Meningsfull mänsklig kontroll över vapensystem på obemannade farkoster bedöms vara den fortsatta inriktningen i Ryssland men de anser att formerna för kontroll bör överlätas till de individuella länderna [3].

AI bedöms få störst genomslag på kort sikt inom den militära sfären i form av beslutsstödsfunktioner inom lednings- och informationssystemen. AI ses dock av det politiska och militära ledarskiktet som en långsiktig satsning. Ryssland har en relativt liten andel industrifinansierad AI-forskning, framförallt i jämförelse med USA, men de tog 2019 fram en nationell strategi för utvecklingen av AI fram till 2030. Strax därefter bildades även AI Russia Alliance som har målet att underlätta införandet av AI-tekniker och koordinera industrin och akademien. Den ska utgöra ett ramverk som kan accelerera och inrikta forskningen. Strategin är civilt inriktad men det finns en förståelse för att tekniken har dubbla användningsområden och militären avser även exploatera denna kunskap. Enligt vissa källor planeras AI-satsningar motsvarande upp till 35 miljarder kronor fram till 2024 vilket är relativt lite i jämförelse med Kina, som investerar tiotals miljarder dollar årligen, men någorlunda matchar de satsningar som görs i exempelvis Storbritannien och Tyskland.²²³ Utvecklingen av AI-området är en tydligt politiskt initierad process och det är sannolikt att de statligt drivna eller

²²³ carnegie.ru/commentary/82422

affilierade organisationerna kommer spela en nyckelroll. Ambitionen är att väsentligt öka forsknings- och utvecklingsinsatserna inom AI. [31]

Inom den militära sfären är vapensystem och RTK två viktiga användningsområden för AI-baserade tekniker. Denna utveckling omgärdas dock av sekretess och är svår att bedöma storleken och forskningsnivån på. Det är dock osannolikt att adoptionen av, eller den tekniska nivån för, AI-tekniker skulle vara högre i ryska UAV:er än i västvärlden.

4.2.2 Nuläge

Ryssland bedöms vara det tredje landet när det gäller antalet operativa UAV:er, där de redan 2018 hade uppskattningsvis 2100 UAV:er ute på förband [5].

Ryssland bedömdes 2019 ha omkring 1000 Orlan-10, över 200 Eleron-3 och drygt 100 Forpost. Målsättningen har även varit att fortsätta föra in ca 300 nya RPAS årligen, framförallt i form av stridstekniska RPAS men även ett antal inhemskt tillverkade Forpost-R är under införande. Andra källor anger att de i december 2020 kan ha haft närmare 4000 operativa RPAS.²²⁴ Antalet taktiska och MALE/HALE RPAS förväntas växa relativt snabbt nu när flera tyngre system är färdigutvecklade och är redo att föras in operativt. RPAS har integrerats i förband och manöver- och artilleribrigaderna anges ha organiska RPAS-kompanier [31].

En sammanställning av prestanda för utvalda ryska operativa RPAS ges i tabell 4.1. Räckvidden bestäms typiskt av kommunikationssystemets prestanda och stridstekniska RPAS har normalt mindre antenner och kortare räckvidd medan Orion är utrustad med satellitkommunikationssystem. Mindre RPAS opereras ofta i grupp där en av dem agerar som kommunikationsrelä vilket kan ge en fördubbling av räckvidden.

Tabell 4.1: Sammanställning av basprestanda för utvalda ryska operativa RPAS, i form av vingspann, nyttolast, samt maximal startvikt, uthållighet och flyghöjd.

UAV	Vingspann [m]	Vikt [kg]	Nyttolast [kg]	Uthållighet [timmar]	Hastighet [km/h]	Flyghöjd [m]
Grusha	1	2	-	-	-	-
Eleron-3	-	5,3	1	2	130	4000
Granat-4	3,2	30	3	6	140	3500
Orlan-10	3,1	14-16	5-6	16	150	5000
Orlan-30	3,8	27	7	5-8	170	4500
Forpost-R	8,5	500	70	18	200	6100
Orion	16	1000	200	24	200	8000

²²⁴ www.uasvision.com/2019/10/09/russia-to-spend-15-5m-on-eleron-3-uas/

4.2.2.1 Stridstekniska RPAS

Huvuddelen av de RPAS som är operativa är stridstekniska eller lätta taktiska RPAS avsedda för spaning, övervakning och målinmätning. De används även i betydande omfattning för telekrig (signalspaning, störning och vilseledning). Målinmätning för artillerield var ett tidigt användningsexempel men de senaste åren har även försök genomförts där RPAS (Forpost och Orlan-10) använts för att leverera måldata till kvalificerade långräckviddiga precisionsbekämpnings-system från strids- eller bombflyg, ubåt och ytfartyg.

Stridstekniska RPAS i Ryssland skjuts typiskt upp med katapult, förutom den nyligen införda Grusha. Eleron-3 är en eldriven tyst stridsteknisk RPAS som har formen av en deltavinge.²²⁵ En ny version, Eleron-7, är under införande med förbättrade spaningssensorer och framdrivning.²²⁶ Granat finns i ett flertal versioner där Granat-4 är den vanligast förekommande. Granat-4 anges även kunna genomföra radiosignalspaning, pejling av radiosändare och även agera som kommunikationsrelä för egna enheter.²²⁷

Orlan-10 används för exempelvis eldledning av artilleri, signalspaning mot fientlig artilleriradar och störning och vilseledning av civila kommunikations-system. Den används som en del av telekrigssystemet RB-341V Leer-3 där de kan lokalisera mobiltelefonmaster och därefter störa ut dessa på avstånd upp till 100 km. Orlan-10 har använts i både Syrien och östra Ukraina. Orlan-10 används ofta i en grupp på två eller tre RPA:er där den första används för rekognosering från en höjd av 1-1.5 km, den andra används för elektronisk krigföring och den tredje som en relänod som överför information till markstationen. Orlan-10 anges även kunna utrustas med en enkel satellitkommunikationslänk. En ny CBRN-detektor har även utvecklats för Orlan-10 men den förutsätter att den flyger på en höjd under 200 meter för att fungera väl. Ett system med tre Orlan-10 och markkontrollstation samt radiosystem anges kosta ungefär en halv miljon dollar medan en RQ-7 Shadow som jämförelse anges kosta ca två miljoner dollar.²²⁸

Orlan-30 använder GLONASS och GPS för sin egenpositionering och laserutpekare kan användas för att leda in granatkastare (Smelchak) och artillerield (Krasnopol).²²⁹ Orlan-30 har en avsevärt kortare flygtid än Orlan-10, drygt fem timmar, men ambitionen är att öka denna till tio timmar. Båda UAV:erna skjuts upp med katapult och landar med fallskärm.

²²⁵ tass.com/defense/1027224

²²⁶ mil.today/2019/Science15/

²²⁷ battle-updates.com/update/unmanned-systems-update-526/

²²⁸ www.strategypage.com/htmww/htproc/20190518.aspx

²²⁹ armyrecognition.com/weapons_defence_industry_military_technology_uk/russian_army_to_get_orlan-30_drone_in_2020.html

4.2.2.2 Taktiska RPAS

Forpost utför huvudsakligen spaning och målinmätning och den är utrustad med EO/IR-sensorer. År 2018 fanns ungefär 30 Forpostsystem i drift inom den ryska armén. Ett system utgörs av tre UAV:er och en markbaserad kontrollstation. Under 2019 infördes en uppgraderad version, Forpost-M, med bland annat inhemskt utvecklade datalänkar och sensorer. Forpost-M kan distribuera videoströmmen från sensorerna direkt till förband på marken. Den senaste versionen, Forpost-R, består endast av inhemskt utvecklad materiel och serieleveranser påbörjades under 2020. Forpost-R kommer även att utrustas med radar för spaning i mörker och under sämre väderförhållanden och signalspaningsmottagare.²³⁰ Åtminstone 28 Forpost-R system har beställts sedan december 2019.²³¹

4.2.2.3 MALE RPAS

Stora MALE/HALE RPAS började utvecklas redan 2011 men utvecklingen har kantats av omfattande tekniska utmaningar och det är först det senaste året som Ryssland lyckats få dessa operativa. Rysslands första beväpnade MALE UAV, Orion, tas nu i drift efter att ha genomgått utvärderingar i Syrien där bland annat attackuppdrag genomfördes. Sju system är beställda för leverans under 2021, där varje system består av tre Orion.²³² Den har ett vingspann på 16 meter och väger omkring ett ton. Orion behöver en start- och landningsbana som är 900 meter lång. Orion är utrustad med EO/IR-sensorer, Phazotron-NIIR MF-2 X-bandsradar eller signalspaningsutrustning [4].

4.2.3 Utvecklingsprojekt

Informationen om riktningen på den ryska UAV-utvecklingen i öppen litteratur är begränsad och det är utmanande att ge prediktioner av utvecklingen bortom 2025. De större UAV-system som är under utveckling för införande inom en femårsperiod bedöms redan genomgå flygprov och för dessa finns något mer öppen information tillgänglig.

Ett stort antal stridstekniska UAV-system har utvecklats den senaste femårsperioden och utvecklingen bedöms fortsätta. Ett rimligt antagande är att de kommer reducera antalet olika system på sikt men fortsatt öka numerären.

Ryssland har under åtminstone tio år bedrivit utvecklingsprojekt riktade mot framtagandet av MALE/HALE UAV:er och det första systemet, Orion, förs nu in operativt. Flera andra utvecklingsprojekt börjar nå en hög mognadsgrad och nya system förväntas föras in operativt under de närmaste åren. Ryssland utvecklar

²³⁰ eng.mil.ru/en/news_page/country/more.htm?id=12274342@egNews

²³¹ eng.mil.ru/en/news_page/country/more.htm?id=12274342@egNews

²³² dfnc.ru/en/russia-news/the-army-to-receive-inokhodets-uacvs-in-2021/

även en UCAV, S-70 Ochotnik-B, med smygegenskaper som ska agera som en *loyal wingman* till bemannade stridsflyg (t.ex. Su-57).

4.2.3.1 Korsar

En RPAS som fått mycket mediauppmärksamhet är Korsar (Corsair) som utvecklas av företaget OKB Luch sedan 2009. Den första prototypen förevisades redan 2015 och den är 4,2 meter lång, väger omkring 200 kg och har ett vingspann på 6,5 meter. Den beskrivs ofta som en modernare version av den amerikanska RQ-7 Shadow. Korsar ska vara utvecklad med öppen arkitektur vilket medger modulära nyttolaster som kan bytas inför uppdrag. Den ska kunna utrustas med EO/IR-sensorer och radarsystem samt kunna användas för logistiktransporter.²³³ Den kan bära nyttolast på upp till 200 kg och kan potentiellt bli beväpnad. En marin version är också under utveckling. Utvecklingen har kantats av en del problem när det gäller exempelvis framdrivningen men den anges genomgå operationell utvärdering (december 2020).²³⁴

4.2.3.2 Altius-RU

Altius-RU är en RPAS som utvecklas av OKB Sokol, Tranzas, Kronshtadt och EMZ. Projektet påbörjades 2011 och den första provflygningen genomfördes 2016 med Altair. Utvecklingen har kantats av skandaler och betydande tekniska problem, såsom behovet av att utveckla en inhemsk motor, men ambitionen är att i närtid föra in de första exemplaren i de väpnade styrkorna. Altius-RU ska exempelvis kunna genomföra spaning, övervakning, målinmätning, attackuppdrag och telekrigsuppdrag. Den ska utgöra en del av de väpnade styrkornas långräckviddiga bekämpningsförmåga (*Reconnaissance-Strike Complex*). Den ska även utrustas med viss AI som ska medge att den kan interagera med bemannade flygplan.²³⁵ De första operativa systemen har nyligen beställts.²³⁶

Altius-RU jämförs i Ryssland ofta med RQ-4 Global Hawk då den har ett vingspann på drygt 28 meter och en uthållighet på två dygn. Dess flyghöjd bedöms dock vara begränsad till mellan 12 och 15 000 meter vilket är lägre än för RQ-4 Global Hawk.

Altius-RU anges ha kapacitet att bära två ton last vilket medför att den potentiellt kan användas som ett obemannat bombflygplan. Under 2020 genomfördes försök där den släppte GROM E2 precisionsbomber men den anges även kunna bära

²³³ www.army-technology.com/projects/corsair-korsar-unmanned-aerial-vehicle/

²³⁴ tass.com/defense/1232275

²³⁵ eng.mil.ru/en/news_page/country/more.htm?id=12274342@egNews

²³⁶ alert5.com/2021/02/23/russias-ministry-of-defense-signs-contract-for-altius-ru-uavs/

exempelvis GROM E1 kryssningsrobotar och sjömålsrobotar såsom Ch-35. Dessa uppgifter har dock inte bekräftats.²³⁷

4.2.3.3 Sirius och Helios

Kronshtadt har förevisat tidiga utvecklingsprojekt (konceptförslag och *mock-ups*) på armémässan 2020, bland annat Helios, Sirius och radarversionen Helios RLD. Sirius anges vara en vidareutveckling av Orion som ska kunna bära mer last (450 kg) och kunna opereras på längre avstånd från operatören med hjälp av ett nyutvecklat satellitkommunikationssystem. Sirius kommer bli större (9 meter lång och med ett vingspann på 23 meter) och tyngre än Orion och kommer drivas av två turbopropmotorer. Helios liknar mer Altius-RU i storlek, den kommer att väga omkring fyra ton och få en uthållighet på upp till 30 timmar. En version av Helios presenterades även som var avsedd som ett radarspaningsflygplan, Helios-RLD. Den ska kunna bära en nyttolast på 800 kg där en sidotittande antennarray kan komma att integreras på undersidan av flygkroppen. Helios ska kunna flyga i hastigheter på 350 till 450 km/h på höjder upp till 11 000 meter.^{238,239}

4.2.3.4 S-70 Ochotnik-B

Suchoj S-70 Ochotnik-B är en smyganpassad UCAV som utvecklas av de två ryska företagen Suchoj och MiG.²⁴⁰ S-70 Ochotnik-B väger ca 20 ton och har ett vingspann på omkring 20 meter (figur 4.5).²⁴¹ Den bedöms kunna flyga i hastigheter omkring 1000 km/h och bära upp till två ton nyttolast i ett internt lastutrymme. Den har utvecklats sedan 2011 och flög första gången i augusti 2019 då det flög i ca 20 minuter på en höjd av 600 meter.²⁴² Medieuppgifter anger att Ryssland försöker snabba upp utvecklingen för att kunna få de första flygplanen operativa redan under 2024.²⁴³ En demonstration genomfördes 2019 där S-70 Ochotnik-B flög tillsammans med en prototyp av det nya stridsflygplanet Su-57.²⁴⁴

²³⁷ aircosmosinternational.com/article/russia-offers-itself-its-global-hawk-update-3078

²³⁸ en.topwar.ru/174560-perspektivnye-bpla-sirius-i-gelios.html

²³⁹ www.iiss.org/blogs/military-balance/2020/09/russia-armed-uavs

²⁴⁰ www.thedrive.com/the-war-zone/29559/russias-sukhoi-shows-off-stealthier-vision-for-its-hunter-unmanned-combat-air-vehicle

²⁴¹ en.wikipedia.org/wiki/Sukhoi_S-70_Okhotnik-B

²⁴² nationalinterest.org/blog/buzz/how-good-russias-new-sukhoi-s-70-okhotnik-b-hunter-stealth-drone-105886

²⁴³ www.thedrive.com/the-war-zone/35367/norussia-wants-its-first-okhotnik-combat-drone-in-service-by-2024

²⁴⁴ www.thedrive.com/the-war-zone/30053/watch-russias-s-70-unmanned-combat-air-vehicle-fly-with-an-su-57-for-the-first-time



Figur 4.5: Prototyp av rysk UCAV Suchoj S-70 Ochothnik-B som är under utveckling med planerad leverans 2024 (foto: Geektrooper2, CC BY-SA 4.0, via wikipedia²⁴⁵).

Den är primärt utvecklad som ett stödflygplan till bemannade stridsflygplan (Su-57).²⁴⁶ Ett användningsområde är att flyga framför bemannade stridsflygplan som Su-57 och därifrån skicka information från sina sensorer för att ge de bemannade flygplanen en bättre lägesbild och för invisning av långräckviddig mark- eller luftmålsbekämpning. Ochothnik utvecklas inom ramen för *Strike-reconnaissance unmanned complex* som leds av Suchoj.

Utvecklingen av effektiva koncept för *manned-unmanned teaming* är av avgörande betydelse för hur framgångsrikt systemet förväntas bli. S-70 Ochothnik-B kommer troligen även kunna användas för individuella ISR- och attackuppdrag. Informationen om vilken beväpning som S-70 Ochothnik-B kan komma att utrustas med är fortfarande begränsad, men den kommer sannolikt kunna bära både traditionella och laserstyrda bomber och jaktrobotar.²⁴⁷ Försök med Su-70 har även genomförts med simulerade jaktrobotar.²⁴⁸ Det kan utgöra en viktig förmåga om den opererar som en loyal wingman till Su-57. Dess design bedöms dock inte vara optimerad för att den ska vara ett renodlat jaktflygplan.

I januari 2021 kom även medieuppgifter om att fyra S-70 Ochothnik-B eventuellt kan komma att stationeras på de ryska fartygen som nu är under utveckling inom projekt 23900 Ivan Rogov.^{249,250} Dessa fartyg ska kunna förflytta tusen soldater

²⁴⁵ en.wikipedia.org/wiki/Sukhoi_S-70_Okhotnik-B

²⁴⁶ theaviationist.com/2021/02/17/russia-working-to-integrate-s-70-okhotnik-ucavs-in-su-57-felon-squadrons/

²⁴⁷ theaviationist.com/2021/01/14/the-russian-s-70-okhotnik-ucav-struck-ground-targets-with-unguided-bombs-during-weapons-testing/

²⁴⁸ www.thedrive.com/the-war-zone/37914/russias-okhotnik-unmanned-combat-air-vehicle-tests-air-to-air-missiles-report

²⁴⁹ nationalinterest.org/blog/russian-stealth-drone-should-make-nato-sweat-bullets-186769

²⁵⁰ tass.ru/armiya-i-opk/10798699



Figur 4.6: Mock-up av en Grom UAV och exempel på beväpning i form av Raduga Ch-38 markmålsrobot, Army 2020 Exposition, augusti 2020 (foto: Nickel Nitride, public domain, via wikipedia²⁵¹).

och ha 16 helikoptrar stationerade. Planen är att dessa fartyg ska tas i bruk omkring 2026.

4.2.3.5 Grom

Grom (åska) är en mindre UCAV som anges vara under utveckling av företaget Kronshtadt. Farkosten har en del fysiska likheter med XQ-58A Valkyrie och den bedöms vara avsedd som en *loyal wingman* för bemannade stridsflygplan (figur 4.6). Grom är dock med sina 13.8 meter i längd och ett vingspann på 10 meter ca 50% större och den kan därmed ges en bredare uppsättning av nyttolast och förmågor.²⁵² Vikten bedöms bli omkring sju ton och den anges kunna bära upp till två ton last. Den högsta flyghöjden anges till 12 000 meter och den anges få en räckvidd på 700-800 km och flyga i omkring 1000 km/h.²⁵³ Grom ska kunna bära markmålsrobotar, exempelvis Raduga Ch-38, och styrda bomber i form av KAB-250 och KAB-500 eller ett större antal av de mindre KAB-50S eller KAB-20L.^{254,255} Grom anges även ges möjligheten att leda en svärm med tio Molniya (blix) UAV:er som ska kunna konfigureras för spaning eller bekämpning.

Status för utvecklingen av Grom är dock oklar och både Grom och Molniya kan fortfarande befinna sig i en ren konceptfas. Osäkra uppgifter anger att den första

²⁵¹ commons.wikimedia.org/wiki/Category:Grom_combat_UAV#/media/File:Army-2020-218.JPG

²⁵² www.aerotime.aero/25876-closer-look-at-grom-the-russian-loyal-wingman

²⁵³ www.key.aero/article/drone-developments

²⁵⁴ www.ruaviation.com/news/2021/3/15/15943/?h

²⁵⁵ euro-sd.com/2021/03/articles/exclusive/21886/new-russian-uav-developments/

provflygningen bedöms komma att genomföras under 2021 med ett möjligt operativt införande efter 2025.²⁵⁶

4.2.3.6 Molniya

Ett nytt svärmkoncept har nyligen presenterats av Kronshtadt, benämnd Molniya, som ska kunna samverka med obemannade farkoster som Grom och även bäras inuti interna lastutrymmet på bemannade stridsflygplan som Su-57. En Molniya UAV anges bli ca 1,5 meter lång med ett vingspann på ca 1,2 meter. De ska drivas av en turbofläktmotor och kunna nå en topphastighet upp mot 700 km/h. De ska även kunna bära mellan fem och sju kg nyttolast i form av spanings- och målinmätningssensorer eller en kinetisk stridsdel.^{257,258}

4.2.4 Beväpning

Ryssland har legat efter bland annat Turkiet i utvecklingen av precisionsstyrda vapen för taktiska UAV:er men utvecklingen av dedikerade vapen för UAV:er är ett område som utvecklas snabbt [37].²⁵⁹ Försvarsministern Sergei Shoigu meddelade i oktober 2017 att en framtida upphandlingsprioritering skulle vara riktad mot ”*shock drones*”, vilket därefter initierade forskning och utveckling inom attack-UAV:er och anpassade vapen och även patrullrobotar [37]. Under 2021 införs Orion UAV operativt i de väpnade styrkorna med direkt bekämpningsförmåga.²⁶⁰

4.2.4.1 Precisionsbomber och robotar

Små laser- eller GNSS-styrda bomber och robotar, från 20 till 100 kg, förevisas av JSC Kronshtadt bredvid den nyligen införda Orion. De har utvecklats av två olika företag, Tactical Missiles Corporation (KTRV) och Central Research and Scientific Institute of Chemical Machine-building (TsNIIKhM). KTRV utvecklar exempelvis en 50 kg tung styrd robot, Ch-50, som kan bekämpa mindre mark- och sjömål. Den bär på en sprängstridsdel på 10 till 20 kg. TsNIIKhM har utvecklat en laser- eller GNSS-styrd bomb som väger 21 kg med en sprängstridsdel. Även denna är avsedd för bekämpning av mjuka mål.

²⁵⁶ www.deagel.com/Combat%20Aircraft/Grom/a004074

²⁵⁷ www.aerotime.aero/27469-Russia-to-develop-loyal-wingmen-for-loyal-wingmen

²⁵⁸ euro-sd.com/2021/03/articles/exclusive/21886/new-russian-uav-developments/

²⁵⁹ www.janes.com/defence-news/news-detail/army-2020-kronshtadt-unveils-small-air-launched-munitions-for-uavs

²⁶⁰ www.forbes.com/sites/davidhambling/2020/08/12/russia-to-field-attack-drones-in-2021/?sh=339d7e4015bc

4.2.4.2 Patrullrobotar

Ryssland har nyligen utvecklat inhemska patrullrobotar (KYB-UAV, Lancet-1 och Lancet-3 som tillverkas av Zala Aero).²⁶¹ De patrullrobotar som förts in operativt är dock relativt små system.

KYB-UAV är en patrullrobot som är en meter lång, med en vingbredd på 1,2 meter, som anges kunna bära en stridsdel på tre kg. Den har en flygtid på omkring 30 minuter och kan flyga i upp till 130 km/h. KYB-UAV anges dock inte använda sig av en realtidsvideoström till en operatör utan istället bekämpa en angiven position eller mål som klassificeras enligt en tidigare uppladdad bild.²⁶² Lancet-3 har en flygtid på 40 minuter och kan bära en stridsdel som väger tre kg, medan den mindre Lancet-1 har en flygtid på 30 minuter och endast kan bära en stridsdel som väger ett kilogram.²⁶³ Ett inhemskt forskningscenter utvecklar teknik för att möjliggöra att patrullrobotar avfyras från robottuberna på en Mi-28NM attackhelikopter.²⁶⁴ Detta kan innebära att de framöver även kommer kunna integreras på UAV:er.

4.2.5 Styrning och ledning

Operativa ryska RPAS är i hög grad manuellt fjärrstyrda (teleopererade) vilket även innebär att de är kritiskt beroende av kontinuerligt fungerande radiokommunikationssystem för sin ledning. Ambitionen är att föra in en högre grad av autonomi men dagens tekniknivå medger ännu inte detta. Erfarenheterna från användningen i Syrien har lett försvarsdepartementet att föreslå att AI-algoritmer ska leda svärmar av mark-, sjö- och luftburna obemannade farkoster, framförallt i operationer med högt tempo och snabbt föränderliga miljöer [28].

4.2.6 Exempel: telekrig för Counter-UAV

Förmågan att förneka motståndaren möjligheten att använda RPAS utgör en viktig faktor. Ryssland har flera system som kan användas i denna roll, bland annat Krasukha-4 (figur 4.7). Det är ett lastbilsmonterat multifunktionellt störsystem som primärt används för att skydda ryska baser (exempelvis Khmeimimbasen i Syrien) med förmåga att störa luftmålsradarsystem på exempelvis stridsflygplan men även mot RPAS, spaningsflygplan och lågtflygande LEO-satelliter (*Low Earth Orbit*) [25]. Den har en bedömd räckvidd mot obemannade farkoster på upp till 300 km [32]. Krasukha-2 anges ha

²⁶¹ nationalinterest.org/blog/reboot/russia-making-loitering-munitions-aka-suicide-drones-166962

²⁶² www.popularmechanics.com/military/aviation/a26414352/kalashnikov-kub-bla-drone/

²⁶³ zala-aero.com/en/production/bvs/zala-lancet-1/

²⁶⁴ [www.defenseworld.net/news/27995/Russia_bets_big_on_Mini_Drones_for_Attack_Helicopter_Comb at_Troops#.YEta42hKguW](http://www.defenseworld.net/news/27995/Russia_bets_big_on_Mini_Drones_for_Attack_Helicopter_Combat_Troops#.YEta42hKguW)

förmågan att störa och vilseleda GNSS-signaler men det är oklart om Krasukha-4 har motsvarande förmåga.²⁶⁵

Krasukha-4 flyttades till Armenien under hösten 2020 i syfte att motverka användningen av turkiska TB2 och israeliska Harop. Den bedöms ha förmågan att störa ut styrlänkar till UAV:er vilket i kombination med GNSS-störning effektivt kan förhindra användningen av RPAS. Obekräftade ryska mediekällor anger att upp till nio (obeväpnade) turkiska TB2 kraschade omkring den 19:e oktober 2020 på grund av ryska telekriginsatser. Det anges ha skett nära den ryska basen vid Gyumri i Armenien där Krasukha-4 anges ha stationerats i slutskedet av konflikten. Fotografier indikerar att åtminstone en TB2 kraschat i området och dessa bilder visar inte tecken på kinetisk bekämpning.^{266,267,268} Detta förnekas dock av Bayraktar som hävdar att deras system inte kan påverkas av ryska telekrigssystem.²⁶⁹



Figur 4.7: Ett ryskt Krasukha-4 telekrigssystem, augusti 2015 (foto: Vitaly V. Kuzmin, CC BY-SA 4.0, via wikipedia²⁷⁰).

²⁶⁵ georgetownsecuritystudiesreview.org/2019/06/26/the-russian-edge-in-electronic-warfare/

²⁶⁶ avia-pro.net/news/svobodnaya-prensa-rossiyskie-kompleksy-reb-krasuka-4-ulichili-v-podzharivaniitureckih-dronov

²⁶⁷ eurasianimes.com/russia-shot-down-a-total-of-nine-turkish-bayraktar-drones-near-its-armenia-military-base-russian-media-reports

²⁶⁸ ecfr.eu/article/military-lessons-from-nagorno-karabakh-reason-for-europe-to-worry/

²⁶⁹ www.defenseworld.net/news/29086#.YEteRWhKguU

²⁷⁰ [en.wikipedia.org/wiki/Krasukha_\(electronic_warfare_system\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Krasukha_(electronic_warfare_system))

4.3 EU

Nästan alla länder i EU använder stridstekniska RPAS och majoriteten använder även taktiska RPAS men endast ett fåtal opererar mer avancerade MALE RPAS [23,17]. Majoriteten av de stridstekniska RPAS som är operativa är amerikanska (främst AeroVironment RQ-11 Raven, RQ-12 Wasp, RQ-20 Puma eller Insitu RQ-21 Blackjack) eller israeliska (Orbiter, Skylark I) men flera länder använder sig även av inhemskt utvecklade RPAS. En handfull anges använda FLIR Systems Black Hornet och samma gäller rent kommersiella kinesiska RPAS från DJI. [23]

Flera europeiska länder utvecklar (obeväpnade) taktiska RPAS, bland annat utvecklar Sverige (Skeldar V-200B), Italien (AWHero) och Österrike (Camcopter S-100) taktiska helikopter-RPAS. Patroller (Sagem), Luna NG (EMT), Falco (Leonardo), Atlante (Airbus) och Pegasus II (HAI) är andra exempel på taktiska RPAS utvecklade i Europa [23].

Italien (2010), Frankrike (2014), Spanien (2019) och Nederländerna (2020) har operativa MQ-9 Reaper. Tyskland och Grekland leasar israeliska Heron TP. Belgien har beställt MQ-9B SkyGuardian medan Tyskland, Frankrike, Italien och Spanien gemensamt utvecklar en europeisk MALE RPAS.

HALE RPAS är mycket dyra och inget land i Europa har ännu operativa HALE RPAS.²⁷¹ Kostnaden är svår att uppskatta utifrån öppna källor men bedöms uppgå till mellan två och tre miljarder kronor utslaget per farkost medan MQ-4C Triton är ännu dyrare.²⁷² Tyskland försökte redan för tio år sedan anskaffa modifierade RQ-4 Global Hawk inom EuroHawk-projektet, men det misslyckades då bland annat flygcertifieringen visade sig vara avsevärt svårare än bedömt och projektet avslutades 2013 [23]. De hade senare planer på att anskaffa fyra MQ-4C Triton men i januari 2020 drog de sig ur affären.²⁷³ Femton Natoländer har dock gemensamt anskaffat fem RQ-4D Phoenix Global Hawk (Block 40) som kommer att stationeras på Sicilien och de kommer att stödja alla Natoländerna. Natobasen på Sigonella (*Nato Alliance Ground Surveillance Force*, NAGSF) bedöms bli fullt operativ 2025 med omkring 550 anställda från femton länder.

De mest aktiva användarna av RPAS inom EU är Frankrike, Tyskland, Italien och Spanien. I [23] sammanfattas utvecklingen av UAV:er i Europa, där exempelvis följande slutsatser presenteras:

²⁷¹ Endast två länder tillverkar militära HALE RPAS, USA (RQ-4 Global Hawk och MQ-4C Triton) och Israel (uppgaderad version av IAI Heron Eitan), men även kinesiska företag utvecklar sådana [CSW].

²⁷² www.reuters.com/article/us-germany-military-eurohawk-idUSKCN1Q91IH

²⁷³ www.defensenews.com/breaking-news/2020/01/28/germany-walks-away-from-25-billion-purchase-of-us-navys-triton-spy-drones/

- de europeiska länderna ligger efter USA i utvecklingen av militära UAV-system, framförallt när det gäller mer avancerade farkoster
- endast tio länder har tillgång till MALE RPAS eller är i processen att anskaffa sådana
- flera utvecklingsprojekt riktade mot avancerade fjärrstyrda RPAS och autonoma UAV:er pågår
- snabb utveckling och innovation som drivs av den kommersiella sektorn är typisk för utvecklingen av stridstekniska och taktiska RPAS
- det i perioder överbelastade europeiska lufterummet utgör en utmaning
- spridningen av militära RPAS, beväpnade eller beväpningsbara, förväntas fortsätta.

Fram till början av 2019 var Storbritannien det enda europeiska land som hade tillgång till beväpnade RPAS men åtminstone fyra länder till bedöms nu ha tillgång till sådana (Frankrike, Italien, Ukraina och Serbien) [17].^{274,275,276,277} Ytterligare några länder har tillgång till patrullrobotar. I ett flertal länder pågår politiska diskussioner om huruvida beväpnade RPAS ska anskaffas. Det är även troligt att vapen kommer att integreras på taktiska RPAS liksom har skett i snabb takt i närområdet (Turkiet, Georgien, Azerbajdzjan och Armenien).^{278,279,280}

4.3.1 Future Combat Air System (EU)

SCAF/FCAS (*Système de Combat Aérien du Futur / Future Combat Air System*) är ett program för utveckling av ett koncept för *Next Generation Weapon System* (NGWS) där även utvecklingen av en ny generation av stridsflygplan ingår (*New Generation Fighter*, NGF). Inom SCAF/FCAS utvecklas även autonoma farkoster (*Remote Carrier*, RC) som är avsedda att samarbeta med det bemannade stridsflygplanet. Den innovativa kärnan av SCAF/FCAS utgörs av NGWS vilken består av utvecklingen av NGF, RC och *Air Combat Cloud* (ACC) som kopplar samman dessa och andra plattformar på ett säkert sätt. SCAF/FCAS ska utgöra ett system-av-system med samverkande farkoster där nyutvecklade plattformar från NGWS även ska kunna samarbeta med Eurodrone och existerande plattformar.

²⁷⁴ www.france24.com/en/20191224-france-says-it-carried-out-first-armed-drone-strike-in-mali

²⁷⁵ www.dailysabah.com/business/defense/ukraine-to-buy-5-more-turkish-bayraktar-tb2-drones-in-2021

²⁷⁶ <https://www.raillynews.com/2020/07/Ukrainian-armed-forces-used-flagtar-TB2-guns-for-the-first-time-in-practice/>

²⁷⁷ www.forbes.com/sites/sebastienroblin/2020/07/09/missile-armed-chinese-drones-arrive-in-europe-for-serbian-military/?sh=2bcf9e5b79d2

²⁷⁸ eurasianet.org/georgia-rolls-out-new-armed-drone

²⁷⁹ www.washingtonpost.com/world/europe/nagorno-karabakh-drones-azerbaijan-armenia/2020/11/11/441bcbd2-193d-11eb-8bda-814ca56e138b_story.html

²⁸⁰ www.thedefensepost.com/2021/02/12/armenia-tests-kamikaze-drone/

SCAF/FCAS är ett utvecklingsprojekt som genomförs i samarbete mellan Frankrike, Tyskland och Spanien och det utgörs av sju huvudsakliga utvecklings-spår: stridsflygplan, motor, remote carriers, sensorer, smygegenskaper, simuleringar och ett *Air Combat Cloud*. Företagen som deltar är Airbus, Thales Group, Indra Sistemas och Dassault Aviation. Safran Aircraft Engines och MTU Aero Engines kommer att utveckla motorn till NGF medan MBDA stödjer Airbus i utvecklingen av RC. Planen är att SCAF/FCAS omkring 2035-2040 ska ersätta flygplanen Rafale (Frankrike), Eurofighter Typhoon (Tyskland) och F-18 Hornets (Spanien). En testflygning av en demonstrator är planerad till omkring 2026. Projektet anges kosta över hundra miljarder euro och det anges vara Europas största försvarsprojekt.^{281,282,283}

En första initial demonstratorfas påbörjades 2019 där även en *Joint Concept Study* ingår där målet är att: (i) undersöka och definiera önskade systemförmågor och arkitektur för NGWS, (ii) definiera och uppdatera en teknologiutvecklings-roadmap för att nå de funktionella och operationella målen och (iii) skapa ett ramverk för schemaläggningen av projektets olika faser.²⁸⁴ Under sommaren 2021 förväntas ett beslut tas om att genomföra demonstratorutvecklingen.²⁸⁵

Utvecklingen motiveras av möjliga motståndares kontinuerliga utveckling av integrerade luftförsvarssystem och obemannade farkoster med goda smygegenskaper och behovet av att utveckla en egen förmåga att operera i höga hotnivåer. Visionen är att NGF ska få en ökad överlevnadsförmåga i dylika operationer genom låg passiv signatur och emissionskontroll kombinerat med aktiva åtgärder (elektroniska motmedel).²⁸⁶

4.3.1.1 Remote Carriers

Obemannade *Remote Carriers*, som är avsedda att bära både sensorer och verkanssystem, kommer att operera tillsammans med NGF vid operationer i exempelvis avreglingszoner och agera som styrkemultiplikatorer (figur 4.8). Visionen är att dessa ska utgöras av en familj av farkoster, från enkla engångs-farkoster som väger 100 kg till *loyal wingmen* som väger flera ton. De ska kunna utföra luftstrid, spaning och målinmätning, störning, vilseledning och kinetisk bekämpning. Grupper av RC ska kunna samverka i lösandet av uppdrag. Vissa koncept illustrerar även hur större fraktflygplan används som bärare för RC:s.

²⁸¹ www.reuters.com/article/us-germany-france-defence-idUSKBN2AH2I8

²⁸² www.ainonline.com/aviation-news/defense/2020-12-10/spain-now-fully-onboarded-fcas-program

²⁸³ www.swp-berlin.org/10.18449/2021C02/

²⁸⁴ www.indracompany.com/en/noticia/indra-joins-fcas-concept-study-contractor

²⁸⁵ www.aviationtoday.com/2020/12/09/airbus-lead-new-generation-fighter-jet-development-spain/

²⁸⁶ www.airbus.com/newsroom/stories/Future-Combat-Air-System-Owning-the-sky-with-the-Next-Generation-Weapons-System.html



Figur 4.8: Mock-up av NGF och RC i FCAS-konceptet, Paris flygshow juni 2019 (foto: Tiraden, CC BY-SA 4.0, via wikipedia²⁸⁷).

Det är dock fortfarande oklart hur de olika RC ska designas, vilka förmågor de ska utrustas med och avvägningen mellan prestanda och kostnad. Dessa val studeras i den pågående FCAS *Joint Concept Study*. Avsikten är att de ska ledas från bemannade NGF som kan befinna sig utanför det farligaste operationsområdet. Ledningsaspekterna och människa-maskingränssnitten blir av avgörande betydelse för hur effektivt konceptet blir.²⁸⁸

4.3.1.2 Air Combat Cloud

Airbus och Thales är ansvariga för utvecklingen av ACC. Målet är att ACC ska reducera den kognitiva belastningen och förbättra lägesbilden samtidigt som det även ska resultera i en avsevärt snabbare OODA-loop. ACC ska göra det möjligt för de bemannade och obemannade plattformarna att utbyta information i realtid på ett säkert sätt och synkronisera sina aktiviteter. Konceptet är fortfarande otydligt och inte konkret beskrivet men ACC förväntas utgöras av ett kommunikationsnät med god cybersäkerhet som kan samla in data från aktiva och passiva sensorer från olika plattformar och distribuera ut informationen till plattformarna. Men den ska även stödja informationsbehandling och ha intelligenta beslutstödsalgoritmer integrerade i molnet. ACC förväntas ge plattformarna snabb, direkt användbar information från potentiellt stora mängder data vilket ska förbättra situationsuppfattningen och förståelsen samt möjliggöra snabba insatser med samverkande plattformar. Målet är att genomföra effektiv strid i samverkan men under meningsfull mänsklig kontroll.

Ett tillförlitligt kommunikationssystem och cybersäkerhet kommer att utgöra kritiska faktorer för att realisera ACC, tillsammans med *edge computing* för att reducera kommunikationsbehoven, samt AI-baserade beslutstödsalgoritmer. ACC utgörs till stora delar av C5ISR-teknologier (*Command, Control,*

²⁸⁷ [en.wikipedia.org/wiki/Future_Combat_Air_System#/media/File:FCAS_NGF_mock-up_at_Paris_Air_Show_2019_\(1\).jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Future_Combat_Air_System#/media/File:FCAS_NGF_mock-up_at_Paris_Air_Show_2019_(1).jpg)

²⁸⁸ www.airbus.com/newsroom/stories/Manned-Unmanned-Teaming-and-Remote-Carriers-transcending-individual-assets-capabilities.html

Communication, Computers, Cybersecurity, Intelligence, Surveillance & Reconnaissance).²⁸⁹ Interoperabilitet kommer även utgöra en viktig faktor.

4.3.1.3 Status

Det har sedan Storbritannien beslutade att lämna EU funnits ett starkt politiskt stöd i Frankrike och Tyskland att genomföra SCAF/FCAS men det finns en oro för att kravbilderna kan vara för disparata. Frankrike bedöms utifrån sin strategiska säkerhetspolicy vilja ha möjlighet att genomföra uppdrag som långgräckviddig bekämpning och kunna bära kärnvapen, samt möjlighet att basera NGF på hangarfartyg. Tyskland anges i första hand ha behov av en kvalificerad jaktförmåga. En integrerad bekämpningsförmåga på UAV:er är politiskt känsligt i Tyskland. Industrierna beskrivs även ha vissa problem att fördela ansvar och arbetsuppgifter sinsemellan och Tyskland bedöms även ha en mer restriktiv exportpolicy än Frankrike.²⁹⁰

4.3.2 European MALE RPAS

Ett europeiskt konsortium bestående av Airbus Defence and Space, Airbus Spain, Leonardo och Dassault Aviation utvecklar den första europeiska MALE RPAS (Eurodrone). Ett uttalat mål med utvecklingen av Eurodrone är strategisk autonomi där syftet är att minska ländernas beroende av teknik från USA och Israel. Frankrike, Tyskland, Italien och Spanien deltar i projektet och budgeten för projektet är totalt 7,1 miljarder euro. Projektet har försenats och den första flygningen är nu planerad att genomföras 2025 istället för 2023, där leveranserna av uppskattningsvis 60 RPA:er (20 system med tre RPA) ska påbörjas 2028.²⁹¹

Projektet kommer att ledas av OCCAR med stöd från europeiska försvarsbyrån (*European Defence Agency*, EDA) när det gäller certifiering och lufttrumsintegration och avsikten är att Eurodrone ska kunna flyga i osegregerat lufttrum.²⁹² Airbus anger att förhoppningen är att ett kontrakt med OCCAR ska slutföras under våren 2021. Ett relaterat projekt genomförs även inom ramen för PESCO (*Permanent Structured Cooperation*) där även Tjeckien deltar och EDF (*European Defence Fund*) bidrar med ca 100 miljoner euro.^{293,294}

²⁸⁹ armadainternational.com/2020/12/loyal-unaframed-and-unmanned/

²⁹⁰ rusi.org/commentary/fcas-franco-german-spanish-combat-air-programme-really-trouble

²⁹¹ www.defensenews.com/global/europe/2020/12/09/airbus-prepares-for-eurodrone-contract-signing-in-early-2021/

²⁹² en.wikipedia.org/wiki/European_MALE_RPAS

²⁹³ pesco.europa.eu/project/european-medium-altitude-long-endurance-remotely-piloted-aircraft-systems-male-rpas-eurodrone/

²⁹⁴ finabel.org/eurodrone-and-a-new-future-for-european-remotely-piloted-air-system/



Figur 4.9: Mock-up av den planerade utvecklingen av en europeisk MALE RPAS, 2018 (foto: DeffiSK, CC BY-SA 4.0, via wikipedia²⁹⁵).

Denna RPAS anges vara avsedd för uthålliga ISTAR-uppdrag och med förmåga att stödja markförband med precisionsstyrda vapen. Det tyska parlamentet har dock nyligen beslutat att inte anskaffa beväpnade RPAS utan de tyska Eurodronefarkosterna ska vara obeväpnade. Bundeswehr hade äskat medel för att beväpna även de fem Heron TP som nu anskaffas men även de måste nu levereras utan beväpning.²⁹⁶

Enligt plan kommer Eurodrone bli en 16 meter lång dubbelmotorig RPAS, med ett vingspann på 26 meter, en maximal startvikt på 11 ton och möjlighet att bära 2,3 ton nyttolast (figur 4.9). Den bedöms få en maximal hastighet på 500 km/h och kunna flyga på höjder upp till 13 700 meter.

4.4 Storbritannien

Storbritannien har en blomstrande militär flygindustri och de har varit mycket aktiva i internationella utvecklingsprojekt av moderna stridsflygplan såsom Tornado, Eurofighter och F-35. År 2018 angavs att flygsektorn har stått för omkring 80% av den totala exporten av militär teknik det senaste årtiondet och sektorn genererar mer än 18 000 högkvalificerade arbetstillfällen inom landet samt ytterligare 28 000 hos underleverantörer [38]. Storbritannien är exempelvis en aktiv partner i utvecklingen av F-35 som utgör historien största försvarsprogram. Brittiska företag bedöms stå för ca 15% av värdet i flygplanen.

Air Chief Marshal Sir Mike Wigston beskrev i ett tal, som beskrev hur situationen i RAF skulle kunna vara år 2040, att F-35 Lightning II och Tempest stöds av obemannade farkoster i form av Mosquito, Alvina och Protector. Dessa kan då tillsammans med ett fåtal Typhoon skvadroner utgöra grunden för flygvapnet i Storbritannien (*Royal Air Force*, RAF). Omkring 80% av de

²⁹⁵ commons.wikimedia.org/wiki/File:EuroMALE_ILA_2018_(01)_(cropped).jpg

²⁹⁶ www.dw.com/en/no-armed-drones-for-the-german-army-for-now/a-55936615

stridande delarna av RAF kan då utgöras av obemannade farkoster. Mosquito ses som en obemannad loyal wingman UAV medan Alvina utgör svärmar av mindre lågkostnadsfarkoster. *Armed Forces Chief of the Defence Staff* (CDS) General Sir Nick Carter beskrev även vid ett tal för *International Institute for Strategic Studies* (IISS) att en möjlig utveckling är att en taktisk formation i RAF istället för tio Eurofighter Typhoon skulle kunna bestå av två Typhoon som stötts av 10 Mosquito och 100 Alvina UAV:er. Detta skulle kunna ge en stor slagkraft med en annan struktur.^{297,298} Dessa beskrivningar bör snarare ses som en möjlig vision och viljeinriktning då uppfyllandet av visionen förutsätter stora utvecklingssteg inom framförallt uppdragsautonomi samt koncept för hur mindre UAV:er som Alvina ska kunna förflyttas nära operationsområdet. Men den uttalade målsättningen är att obemannade farkoster liknande Mosquito och Alvina ska föras in operativt före 2030.²⁹⁹

4.4.1 Combat Air Strategy 2018

Försvarsdepartementet i Storbritannien presenterade 2018 sin vision för utvecklingen av flygvapnet i *Combat Air Strategy 2018* [38]. Denna strategi har som ett av huvudmålen att skapa förutsättningar för en fortsatt utveckling av den militära flygindustrin med goda exportmöjligheter och säkerställa den nationella handlingsfriheten där andra nationer inte ska kunna sätta begränsningar på användningen av importerade vapensystem.

“Combat Air refers to aircraft (manned or unmanned) whose prime function is to conduct air-to-air and air-to-surface combat operations in a hostile and contested environment; with the ability to concurrently conduct surveillance, reconnaissance, electronic warfare and command and control tasks.” (MOD, Combat Air Strategy 2018)

Storbritannien nyttjar i stor utsträckning sitt flygvapen internationellt. Det medför att det finns ett stort behov av att kunna operera i avreglingszoner då de ryska och kinesiska luftförsvarssystemen förväntas fortsätta utvecklas och spridas till andra länder. Förmågan att generera och använda *Combat Air* anges vara kritisk för den nationella säkerheten och som ett stöd till den brittiska regeringens vision om ett

starkt, välmående, inflytelserikt och globalt Storbritannien [38]. Royal Navy's två hangarfartyg utgör en viktig komponent i den brittiska militära strategin. De genomför även en konceptstudie (*Project Vixen*) för att analysera möjligheterna att utveckla en obemannad farkost som stationeras ombord på hangarfartygen,

²⁹⁷ www.airforce-technology.com/features/future-raf-will-mix-crewed-fighters-uavs-and-swarming-drones-cds/

²⁹⁸ www.forces.net/news/future-raf-service-chief-makes-predictions-year-2040

²⁹⁹ battle-updates.com/update/news-in-brief-united-kingdom-and-europe-60/

liknande US Navy MQ-25 Stingray. Utöver lufttankning studeras även förmågor som möjliggör spanings-, attack- och telekrigsuppdrag.³⁰⁰

Det framtida flygvapnet förväntas de närmaste årtiondena vara baserat på uppgraderade versioner av Eurofighter Typhoon och F-35 Lightning II. Dessa kommer fortsätta att utvecklas kontinuerligt och de bästa teknikerna som utvecklas kommer även föras in i nästa generations farkoster.

Strategin har fyra hörnstenar: (i) bibehålla slagkraften hos Eurofighter Typhoon till slutet av 2030-talet, (ii) fortsätta bygga upp och vidareutveckla F-35, (iii) utveckla en ersättare till Eurofighter Typhoon till 2040 genom Team Tempest (FCAS TI) och (iv) vidmakthålla en ur ett internationellt perspektiv konkurrenskraftig militär flygsektor [12].

4.4.2 RPAS

Storbritannien är ett av de drivande länderna när det gäller utveckling, experimenterande och operativ användning av obemannade farkoster. Både marinen och armén har de senaste fem åren genomfört omfattande övningar där ett antal obemannade farkoster utvärderats i taktiskt relevanta scenarion.^{301,302}

4.4.2.1 Nuläge

Den brittiska armén har i mer än tjugo år använt stridstekniska RPAS och för närvarande använder de både Black Hornet 3 PRS och Desert Hawk Mk3 [17]. Brittiska armén opererar även drygt 40 Watchkeeper WK450 som primärt genomför ISTAR-uppdrag (figur 4.10). Det är en taktisk UAV som vidareutvecklats från den Israeliska Hermes 450. Den har en uthållighet på upp till 14 timmar och den kan bära 150 kg nyttolast, bland annat EO/IR-sensorer, laserutpekare och SAR.^{303,304} De har använts operativt i Afghanistan.

RAF opererar tio MQ-9 Reaper. RAF har använt MQ-9 Reaper i Irak, Syrien och Afghanistan.³⁰⁵ De utför huvudsakligen uppdrag som spaning, övervakning, målinmätning och direkta bekämpningsuppdrag. De togs i operativ drift 2007 och hade redan 2017 flugits i mer än 100 000 timmar. Det första attackuppdraget

³⁰⁰ www.thedrive.com/the-war-zone/39922/now-the-uk-wants-to-add-combat-drones-to-its-aircraft-carriers-but-is-it-really-feasible

³⁰¹ www.royalnavy.mod.uk/news-and-latest-activity/operations/united-kingdom/unmanned-warrior

³⁰² www.gov.uk/government/news/des-and-british-army-launch-the-army-warfighting-experiment-awe-20-experimentation-project

³⁰³ www.army-technology.com/projects/watchkeeper/

³⁰⁴ www.army.mod.uk/news-and-events/news/2020/08/watchkeeper/

³⁰⁵ www.raf.mod.uk/aircraft/reaper-mq9a/



Figur 4.10: Watchkeeper RPAS som genomgår flygförsök vid Parc Aberporth i norra Wales, april 2013 (foto: Andrew Linnett, MoD, OGL v1.0, via wikipedia³⁰⁶).

med en brittisk MQ-9 Reaper genomfördes 2008.³⁰⁷ Under perioden oktober 2014 till december 2020 genomfördes drygt 4150 uppdrag i Irak och Syrien under *Operation Shader* varav 483 attackuppdrag där AGM-114 Hellfire eller GBU-12 Paveway II användes.³⁰⁸ En stor utmaning för RAF är en akut brist på personal och de har under 2020 börjat använda piloter från RAAF (Royal Australian Air Force), men även privata konsulter som genomför start och landning av MQ-9 Reaper från de framskjutna baserna.³⁰⁹

4.4.2.2 Pågående anskaffning

I juli 2020 undertecknade Storbritannien ett kontrakt på tre modifierade MQ-9B SkyGuardian som kommer att kallas Protector RG Mk1. Protector RG Mk1 kommer enligt uppgift att bära precisionsvapen såsom Brimstone (MBDA UK) och den laserstyrda bomben Paveway IV (Raytheon UK).³¹⁰ Den utrustas med satellitkommunikation som nyttjar X-bandsfrekvensområdet.³¹¹ Protector kan flyga kontinuerligt i upp till 40 timmar vilket förväntas medföra en avsevärt förbättrad förmåga till underrättelseinhämtning, övervakning och spaning samt markattackförmåga i jämförelse med deras befintliga MQ-9.

³⁰⁶ www.defenceimagery.mod.uk/fotoweb/fwbin/download.dll/45153802.jpg

³⁰⁷ dronewars.net/uk-drone-strike-list-2/

³⁰⁸ dronewars.net/2020/03/02/foi-reveals-uk-flying-reaper-drone-missions-outside-of-operations-against-isis-in-iraq-and-syria/

³⁰⁹ <https://www.theguardian.com/world/2020/aug/19/australian-pilots-drafted-to-help-fly-uk-drones-over-syria-and-iraq>

³¹⁰ des.mod.uk/uks-first-world-leading-protector-aircraft-undertakes-maiden-flight/

³¹¹ www.ga.com/ga-asi-and-uk-mod-sign-contract-for-protector-rpas-production

MQ-9B SkyGuardian designas för att flyga i civilt luftrum och MQ-9B har därför utrustats med bland annat avisningssystem och skydd mot blixurladdningar för att kunna flyga i dåligt väder.³¹² General Atomics Aeronautical Systems (GA-ASI) utvecklar *sense-and-avoid* teknik baserat på en egenutvecklad AESA-radar (en s.k. *Due-Regard-Radar*, DRR) för MQ-9B vilket utgör en grundförutsättning för att farkosten ska kunna uppfylla Nato STANAG 4671 (*UAV Systems Airworthiness Requirements*, USAR). STANAG 4671 ses som en grundförutsättning för att även kunna nå målet om att flyga tillsammans med civil flygfart i osegregerat luftrum. Ambition är att en certifiering av teknik som uppfyller amerikanska federala luftfartsmyndigheten FAA:s MOPS-krav (*Minimum Operational Performance Standards*) för *detect-and-avoid* (TSO-C211) och *air-to-air-radar* (TSO-C212) ska uppnås under 2022.³¹³ Arbete med att uppfylla de europeiska reglerna för flygning i osegregerade luftrum pågår.

GA-ASI tillverkar i ett första skede tre Protectorfarkoster samt tre markkontrollstationer och annan tillhörande stödutrustning. Kontraktet innehåller även en option på ytterligare tretton UAV:er och fyra markkontrollstationer. Det första exemplaret ska levereras till RAF för operativt införande i mitten av 2024.³¹⁴

4.4.2.3 FCAS TI och Team Tempest

I 2015 års *Strategic Defence and Security Review* (SDSR) etablerades ett teknikinitiativ inom utvecklingen av framtidens stridsflyg, benämnt *Future Combat Air Systems Technology Initiative* (FCAS TI). En initial investering från staten på två miljarder pund allokerades över en tioårsperiod [38]. Inom ramen för FCAS TI pågår för närvarande fler än 60 teknikdemonstrationer.³¹⁵ Huvuddelen av FCAS TI är kopplat till utvecklingen av det framtida Tempestsystemet.

De största företagen inom FCAS TI utgör Team Tempest och dessa var vid programmets början BAE Systems, Rolls Royce, Leonardo UK och MBDA UK. Under 2020 anslöt även företagen Leonardo Italy, Elettronica, Avio Aero, MBDA Italy, Saab och GKN Aerospace Sweden. Nyligen har även Thales UK, Bombardier Belfast, Collins Aerospace, GE Aviation UK, GKN Aerospace, Martin Baker och QinetiQ.³¹⁶ Även personal från RAF RCO (*Rapid Capabilities Office*), Dstl (*Defence Science and Technology Laboratory*) och DE&S (*Defence Equipment & Support*) ingår i Team Tempest [38].

³¹² www.gov.uk/government/news/mod-signs-65-million-contract-for-protector-aircraft

³¹³ www.ga-asi.com/detect-and-avoid-system

³¹⁴ www.raf.mod.uk/news/articles/mod-signs-65m-contract-for-protector-aircraft/

³¹⁵ www.aerosociety.com/news/tempest-fugit/

³¹⁶ theaviationist.com/2020/12/09/new-images-of-the-tempest-sixth-generation-aircraft-revealed-during-uk-industry-engagement-event/

Team Tempest tillsammans med RAF utgör det centrala elementet i flygvapnets långsiktiga *Combat Air Strategy*. Team Tempest samarbetar med RAF RCO och försvarsdepartementet med målet att utveckla de teknologier som behövs för realiserandet av nästa generations stridsflygplan. Grundtanken i Team Tempest är att utveckla ett system-av-system med olika farkoster (exempelvis bemannade stridsflygplan, UCAV, svärmar av obemannade farkoster och patrullrobotar) som i samverkan med externa sensorer ska ge de förmågor som behövs för att kunna ersätta nuvarande stridsflygplan omkring år 2040.

Den stora utmaningen anges vara att bryta trenden där kostnaden för utveckling och anskaffning av stridsflygplan ökat kontinuerligt på grund av ökade krav på överlevnad och verkan. Detta har medfört att numerären kontinuerligt minskat till en oacceptabelt låg nivå. En modern digital utvecklings- och tillverkningsmetodik för hela kedjan av design, utveckling, test och produktion är tänkt att möjliggöra en snabb utvecklingscykel och även reducera kostnaderna. En del av denna utveckling innefattar även att utveckla kritiska tekniska system och sensorer under det närmaste årtiondet i syfte att både ge möjlighet att föra in dessa i Typhoonflygplanen och kontinuerligt öka dess förmågor och reducera risken vid teknikutvecklingen [12].

4.4.2.4 LANCA och Spirit Mosquito

Det nya stridsflygplanet Tempest förväntas kunna samarbeta med obemannade flygfarkoster liknande LANCA (*Lightweight Affordable Novel Combat Aircraft*). Dstl började utveckla konceptet LANCA redan 2015 och idag är det övergripande målet att utveckla och anskaffa en obemannad flygfarkost som ska fungera tillsammans med bemannade flygplan, men till en låg kostnad så att de kan användas även vid riskfyllda uppdrag. På sikt ska den även kunna användas ensamt eller i en svärm.³¹⁷ LANCA ingår nu som en del av FCAS TI.³¹⁸

LANCA ska vara modulärt byggd så att den kan konfigureras för användning för olika uppgifter som underrättelseinhämtning, övervakning och spaning samt elektronisk krigföring. Den ska även kunna beväpnas med robotar och utföra bekämpningsuppdrag. Målsättningen med LANCA är att den ska operera tillsammans med Eurofighter, F-35 och på sikt även Tempest. Den obemannade flygfarkosten ska använda en öppen arkitektur så att nya förbättrade tekniker och funktioner snabbt kan integreras.

Inom ramen för LANCA finns ett teknikdemonstratorprojekt som kallas Mosquito. I fas 1 av Mosquito togs en preliminär systemdesign för en obemannad flygfarkost fram, de viktigaste riskerna bedömdes och avvägningar

³¹⁷ www.thedrive.com/the-war-zone/34498/united-kingdom-will-decide-soon-who-will-build-its-first-loyal-wingman-drones

³¹⁸ ukdefencejournal.org.uk/royal-air-force-swarming-drone-project-exceeding-expectations/

gjordes mellan kostnad och förmåga för en obemannad flygfarkost. Tre team deltog i fas 1 och de leddes av Blue Bear Systems Research Ltd, Boeing Defence UK Ltd och Callen-Lenz.³¹⁹ I januari 2021 meddelades att företaget Spirit AeroSystem, som har verksamhet i Nordirland, har valts att leda Team Mosquito. Även Northrop Grumman UK ingår i detta team.³²⁰ Team Mosquito kommer att vidareutveckla LANCA-konceptet med en förbättrad design, samt tillverkning av en teknikdemonstrator för att under 2023 kunna påbörja flygtestning av en fullskalig flygfarkost som kallas Spirit Mosquito.³²¹ Kontraktet för Team Mosquito är värt 30 miljoner pund och ambitionen är att en färdig LANCA-farkost ska kosta en tiondel av ett bemannat stridsflygplan.³²²

4.4.2.5 Anskaffningsprogrammet - Future Combat Air System Collaboration (FCASC)

Parallellt med FCAS TI och Team Tempest bedrivs ett anskaffningsprogram för själva stridsflygplanet som benämns *Future Combat Air System Collaboration* (FCASC). Sverige och Italien samarbetar med Storbritannien inom ramen för programmet men Sverige har inte fattat beslut om att delta i en framtida anskaffning. Beslutspunkterna för FCASC ligger 2021 (tidigare benämnt *initial gate decision*) medan ett skarpt beslut om tillverkning (tidigare *main gate*) förväntas komma att tas 2025 eller 2026 [39]. Coronapandemin har fördröjt genomförandet av FCASC.

4.4.2.6 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 realistiska försök med prototypsystem behöver genomföras för att kunna anpassa uppgifter och farkoster i syfte att skapa kvalificerade resurser som ger önskad operativ effekt. Experimentell verksamhet bedrivs inte bara inom ramen för landets forsknings- och utvecklingsaktörer utan sker i stor utsträckning inom ramen för utvalda förbands ordinarie verksamheter. Detta leder inte bara till realistiska 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.

³¹⁹ www.gov.uk/government/news/dstl-to-develop-conceptual-unmanned-aircraft-for-raf

³²⁰ www.gov.uk/government/news/30m-injection-for-uks-first-uncrewed-fighter-aircraft

³²¹ en.wikipedia.org/wiki/Spirit_Mosquito

³²² theaviationist.com/2020/12/09/new-images-of-the-tempest-sixth-generation-aircraft-revealed-during-uk-industry-engagement-event/

4.4.3 Svärmar

Storbritannien har en relativt omfattande utveckling av svärmar av UAV:er för militära ändamål.

4.4.3.1 Many drones make light work

Programmet *Many drones make light work* påbörjades 2016 och totalt har mer än 20 aktiviteter genomförts i fas ett och två. I fas tre utvecklades ett integrerat svärmsystem som bestod av samverkande heterogena UAV:er som möjliggjorde en skalbar förmåga. De skulle genomföra uppgifter som spaning och övervakning, logistik (inklusive medicinsk), upptäcka sprängladdningar och även vilseledning. Konsortiet leddes av Blue Bear Systems Research med Airbus, Universitetet i Durham, IQHQ och Plextek DTS som deltagare.

Slutmålet med fas tre var att genomföra en serie av s.k. *Integrated Concept Evaluation* (ICE). Vid de 220 uppdrag som flögs under två veckor av demonstrationer i januari 2020 flög 20 UAV:er utrustade med sju olika nyttolaster under BVLOS-förhållanden. En till tre operatörer ledde svärmen och analyserade informationen från dessa.^{323,324,325,326} Fem olika typer av UAV:er från Blue Bear flögs: Ghost, Ghost Modular, Red Kite, Cobra och Flat Pack.³²⁷ Ett flertal tekniska utmaningar kvarstår, såsom (i) kommunikation i telestörda miljöer, (ii) små och lätta sensorer, kinetiska verkanssystem och telekrigssystem anpassade för små farkoster, samt (iii) tillräcklig processorkraft för att möjliggöra bland annat autonomi, svärmsamverkan och automatiserad måligenkänning. Forsvarsdepartementets och Dstl benämning av utvecklingen inom svärmar är *Fractionated delivery for integrated effects* (FDIE).

4.4.3.2 BriteCloud

Leonardo genomförde i oktober 2020 tillsammans med RAF RCO, Callen-Lens och Blue Bear en demonstration av hur nyttolast för vilseledning av luftvärnsradar och radarmålsökare i jaktrobotar kan integreras i UAV:er som en del av heterogena svärmar. Leonardos fällbara engångsstörsändare BriteCloud (figur 4.11) integrerades på UAV:er vilket gav en längre uthållighet och större flexibilitet i användningen, samtidigt som det möjliggjorde koordinerade operationer.³²⁸

³²³ www.janes.com/defence-news/news-detail/uk-concludes-many-drones-make-light-work-with-large-scale-demonstration

³²⁴ www.youtube.com/watch?v=6b_cJCvbERY

³²⁵ www.gov.uk/government/news/swarming-drones-concept-flies-closer-to-reality

³²⁶ www.kent.gov.uk/_data/assets/pdf_file/0011/105104/Defence-and-Security-Accelerator-case-study-Blue-Bear.pdf

³²⁷ www.thedefensepost.com/2021/02/02/20-drone-swarm-uk/

³²⁸ www.janes.com/defence-news/news-detail/leonardo-demos-swarming-drones-for-raf



Figur 4.11: BriteCloud Expendable Active Decoy, November 2013 (illustration: Selex ES, CC BY-SA 2.0, via Wikipedia).

BriteCloud baseras på DRFM-teknik (*Digital Radio Frequency Memory*) som kan detektera radarsignaler, inklusive radarmålsökare, och därefter återskapa kopior av dessa signaler i syfte att vilseleda systemen. En demonstration genomfördes även nyligen av Leonardo tillsammans med Airbus för tyska försvarsmakten där en BriteCloud 218 släpptes från en obemannad RPATS (*Remotely Piloted Air Target System*) vilket exemplifierar önskan att utveckla självskyddssystem för RPAS för att öka deras överlevnad i högnivåkonflikter.³²⁹

4.4.3.3 SPEAR-3

DE&S utvecklar tillsammans med MBDA UK och Leonardo en telekrigsversion av SPEAR-3 (*Selective Precision Effects at Range - Electronic Warfare, SPEAR-EW*) för Royal Navy. Den utrustas med DFRM-teknik från Leonardo. MBDA anger att visionen är att utveckla svärmtekniker för SPEAR. En heterogen grupp av åtta SPEAR, där ett par har telekrigsnyttolast och de andra har kinetiska verkansdelar, skulle kunna släppas från en F-35 Lightning II vilket kostnadsmässigt bedöms vara lägre än kostnaden för en Kongsberg Naval Strike Missile. Med intelligenta målsökare som siktar mot ett fartygs sensorer, antenner eller elektroniksystem så kan de komma att göra allvarlig skada.³³⁰

4.4.4 High-Altitude Platform System

Soldrivna höghöjdsplattformar (*High-Altitude Platform System, HAPS*, ibland även benämnda pseudosatelliter) för uthållig spaning är under utveckling. Visionen är att dessa ska flyga i flera månader på höjder omkring 20 km och genomföra inhämtning eller förse utvecklade områden med kommunikation.

³²⁹ euro-sd.com/2021/02/news/air/21350/successful-leonardo-britecloud-trial/

³³⁰ www.navylookout.com/putting-the-strike-in-uk-carrier-strike-the-spear-3-stand-off-weapon/

Qinetiq utvecklade ursprungligen den första Zephyr UAV:n redan 2003 men den ägs numera av Airbus Defence and Space och har vidareutvecklats för uthålliga ISTAR-uppdrag och kommunikation. Zephyr har ett vingspann på 25 meter och dess två elmotorer drivs av solenergi och batterier. Zephyr S har som längst flugit i nästan 26 dagar. Den väger knappt 75 kg och kan bära upp till 12 kg nyttolast. En större version, Zephyr T, har även utvecklats för marina uppdrag. Exempel på sensorer inkluderar EO/IR-sensorer och smalbandig mobilkommunikation (t.ex. Tetra) och bredbandig broadcast (100 Mbps).³³¹

Möjligheten att operera dessa solcellsdrivna farkoster över Sverige bedöms vara kraftigt säsongsberoende, där solinstrålningen och vindförhållandena under vinterhalvåret kraftigt begränsar möjligheterna. Spaningsavstånden är dock potentiellt stora då en UAV som flyger på 20 km höjd under gynnsamma förhållanden kan observera markmål på avstånd över 500 km [40].

4.5 USA

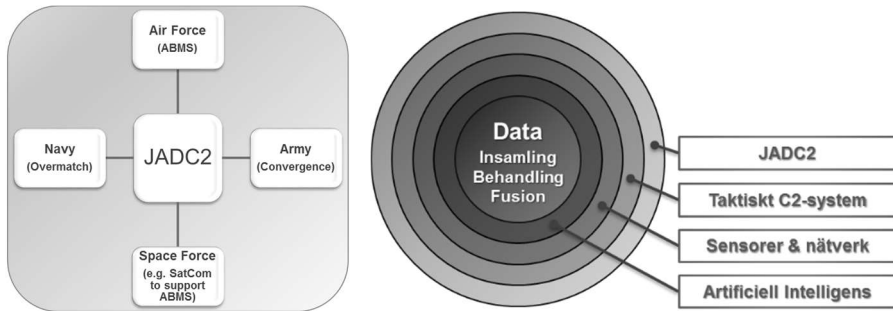
USA är den överlägset största användaren av militära UAV:er, där de utifrån budgetdokument fram till 2019 bedöms ha anskaffat mer än 13 000 stridstekniska UAV:er (där majoriteten är AeroVironments Raven, Puma och Wasp), nästan 550 taktiska UAV:er (huvudsakligen RQ-7 Shadow) och i storleksordningen 500 MALE/HALE UAV:er (där majoriteten utgörs av MQ-9 Reaper och MQ-1C Gray Eagle) [17].

4.5.1 Joint All-Domain Command and Control

Joint All-Domain Command and Control (JADC2) är det försvarsmaktsgemensamma koncept som försvarsdepartementet och den högsta militärledningen i USA propagerar för ska användas för att framför allt koppla ihop sensorer och effektorer från alla de fem olika försvarsgrenarna och generera en gemensam lägesbild. JADC2 ses som ett långsiktigt men strategiskt viktigt koncept för den framtida krigföringen, där en kombination av kortsiktiga och långsiktiga åtgärder förutses behöva implementeras. Förmågan att skapa en snabb OODA-loop för bekämpning där verkanssystem från alla försvarsgrenarna ska kunna användas ses som en kritisk förmåga.

JADC2 beskrivs utgöra en förutsättning för att kunna möta behoven i den nya nationella försvarsstrategin när det gäller multidomänoperationer (*Multi-Domain Operations*, MDO) som även förväntas genomföras i kraftigt telestödda miljöer. En molnliknande struktur ska skapa förutsättningar för att dela data från sensorer mellan försvarsgrenarna. Detta ska, tillsammans med bland annat AI-algoritmer för detektion, följning, lokalisering och klassificering av mål och framtagande av

³³¹ www.airbus.com/defence/uav/zephyr.html



Figur 4.12: Vänster – de olika försvarsgrenarnas inriktning för arbetet riktat mot JADC2 (ABMS, Overmatch och Convergence). Höger – de olika komponenterna i JADC2: data och AI, sensorer i alla domäner, kommunikationsnätverk och taktiska C2-system.³³²

förslag till åtgärder, leda till en ökad operativ effektivitet och snabbt beslutsfattande.^{333,334} I projektet JEDI (*Joint Enterprise Defense Infrastructure*) är ambitionen att utveckla denna typ av tekniker. Microsoft erhöll 2019 kontraktet för att realisera JEDI som är värt upp till 10 miljarder dollar över tio år, men upphandlingen har överklagats i omgångar av både Oracle och Amazon vilket hittills har stoppat projektet i ett par år. Det är oklart om försvarsdepartementet avser fortsätta utveckla ett moln eller om det istället kommer utgöras av multipla moln.^{335,336}

Målet är att skapa ett gemensamt nätverk som kopplar ihop sensorer från olika domäner och att de olika försvarsgrenarnas ledningssystem ska kunna använda andra försvarsgrenars vapensystem för bekämpning. Syftet är även att öka andelen sensornära signalbehandling och distribuerad databehandling för att öka effektiviteten och reducera datamängderna. Kommunikationsnätverket tillsammans med en uppsättning standarder och en modulär öppen arkitektur utgör kritiska komponenter i realiserandet av JADC2. Ett anpassningsbart och resilient nätverk som möjliggör överföring av data i realtid över försvarsgrenar, domäner och sekretessklasser, där även allierade ska kunna kopplas in, utgör en stor utmaning. Denna approach kommer troligen i framtiden även utgöra grunden för interoperabilitet med andra nationers förband.

De olika försvarsgrenarna förväntas använda sina egna ledningssystem (figur 4.12), vilket reducerar risken att deras förmågor försämras under utvecklingen och integrationen till JADC2.³³⁷ US Army har i sitt ledningssystem kopplat ihop

³³² www.airforcemag.com/giving-airmen-the-edge-the-promise-of-jadc2/

³³³ fas.org/sgp/crs/natsec/IF11493.pdf

³³⁴ www.japcc.org/electronic-warfare-the-forgotten-discipline/

³³⁵ www.washingtonpost.com/business/2021/02/10/jedi-contract-pentagon-biden/

³³⁶ azure.microsoft.com/en-us/global-infrastructure/government/national-security/

³³⁷ www.defense.gov/Explore/News/Article/Article/2427998/joint-all-domain-command-control-framework-belongs-to-warfighters/

ett antal olika existerande radiosystem. Utvecklingen av, och praktiska försök med, dessa förmågor genomförs inom projekt *Convergence*.^{338,339} Motsvarande aktivitet inom US Navy benämns *Task Force Overmatch* vilket är ett av deras tre högst prioriterade initiativ. De största utmaningarna anges vara nätverkets resiliens i telestörda miljöer, kapacitet att hantera även ett stort antal obemannade farkoster och att det är tillräckligt anpassningsbart så att nätverket kan koppla samman försvarsgrenarna.³⁴⁰ US Air Force använder ABMS (*Advanced Battle Management System*) för integration till JADC2 och ABMS är det högst prioriterade moderniseringsprojektet inom US Air Force. US Air Force leder genomförandet av en serie av JADC2 experiment där exempelvis BMS kopplades ihop så de kunde leverera en gemensam lägesbild. Experimenten identifierar även kvarvarande brister som behöver åtgärdas.³⁴¹

Målet är att med JADC2 nå initial operativ förmåga under 2028 och att det ska bli fullt operativt 2035. En försvarsmaktsgemensam presentation av lägesbilden är något som idag saknas och det är fortfarande oklart vilken information som ska presenteras och hur den ska presenteras. De olika försvarsgrenarna har disparata informationsbehov. Målsättningen är att bygga upp ett ledningssystem som är dedikerat för utveckling, integration och försöksverksamhet med JADC2. Vid kommande större övningar såsom *Bold Quest* och *Joint Warfighting Assessment* kommer fortsatta praktiska försök att genomföras de närmaste åren.

4.5.2 US Air Force

US Air Force genomför en bred palett av olika uppdrag där de fem kärnuppgifterna inkluderar: att skapa luftöverlägsenhet, attack (globalt), mobilitet (globalt), spaning, övervakning och underrättelseinhämtning samt ledningsfunktioner. Flygplansflottan inkluderar unika förmågor som långräckviddiga bombuppdrag, tunga transporter och stora lufttankningsresurser. US Air Force har även ett stort antal flygplan som genomför jakt och attack, ledning, ISR och telekrig. De opererar även helikoptrar och tiltrotorfarkoster för undsättning (*Combat Rescue*) och specialoperationer.

När det gäller utveckling och anskaffning av nästa generation av obemannade farkoster och sjätte generationens stridsflygplan är ambitionen tydlig på så sätt att dessa måste utvecklas på avsevärt kortare tid och möjliggöra kontinuerliga uppdateringar. De måste även utvecklas till en väsentligt lägre kostnad. Erfarenheterna från utvecklingen av F-35 med de förseningar och avsevärda

³³⁸ www.army.mil/article/234900/jadc2_experiment_2_provides_looking_glass_into_future_experimentation

³³⁹ www.afcea.org/content/services-choose-independent-paths-jadc2

³⁴⁰ www.afcea.org/content/navy-contribution-jadc2-key-service-program

³⁴¹ www.af.mil/News/Article-Display/Article/2336618/advanced-battle-management-system-field-test-brings-joint-force-together-across/

fördyringar som uppstod har fått stora konsekvenser när det gäller hur US Air Force vill designa, utveckla, testa och certifiera nya stridsflygplan. Det bedöms vara absolut nödvändigt att få ned kostnaden på stridsflygplanen för att ha råd att skapa en tillräcklig volym. Det gäller framförallt livscykelkostnaden och kostnaden per flygtimme för främst F-35 Block 4 serien.³⁴² Tre aspekter anges vara kritiska i denna strävan: modular öppen arkitektur, agil mjukvaruutveckling och *digital engineering*. Dessa tre delar utgör det US Air Force benämner som *Digital Century Series*. Ett lyckat exempel som nämns är det nya träningsflygplanet eT-7A Red Hawk som utvecklas av Boeing och Saab.³⁴³ De har även på mycket kort tid, ett år till första flygprov, utvecklat en demonstrator för ett nytt stridsflygplan med dessa tekniker.³⁴⁴

4.5.2.1 Next Generation Air Dominance

Next Generation Air Dominance (NGAD) är US Air Forces program för utvecklingen av sjätte generationens stridsflygplan. Mycket av utvecklingen är fortfarande hemlig men det bedöms komma att inriktas mot en familj av sammankopplade farkoster med bemannade stridsflygplan, olika typer av UAV:er och även rymd- och cyberresurser. UAV:er utvecklas inom Skyborgprogrammet men det är även sannolikt att framtida ersättare till MQ-9 Reaper kommer integreras i detta koncept. Ett av de huvudsakliga uppdragen för NGAD kommer troligen att utgöras av luftstrid där motståndare som den kinesiska J-20 och den ryska Su-57 ingår i den förväntade hotbilden.³⁴⁵

4.5.2.2 Nuläge

US Air Force opererar olika stridstekniska UAV:er, främst i form av RQ-11B Raven och RQ-20 Puma. US Air Force opererar även ett större antal UAV:er som genomför uppdrag som ISR, telekrig och direkt attack främst i form av närmare 300 MQ-9 Reaper och omkring 30 RQ-4 Global Hawk. De opererar även två typer av UAV:er där endast begränsad information finns öppet tillgänglig, nämligen spaningsflygplanen RQ-170 Sentinel och RQ-180 som båda bedöms ha goda smygegenskaper och ska kunna genomföra spaning djupt in i fientligt territorium [41,17].^{346,347} Prestanda för dessa två flygplan är inte kända.

³⁴² breakingdefense.com/2021/01/roper-hints-ngad-could-replace-f-35-why-life-cycle-costs/

³⁴³ www.airforcemag.com/article/qa-a-new-way-to-build-fighters/

³⁴⁴ www.defensenews.com/breaking-news/2020/09/15/the-us-air-force-has-built-and-flown-a-mysterious-full-scale-prototype-of-its-future-fighter-jet/

³⁴⁵ www.popularmechanics.com/military/aviation/a34030586/air-force-secret-new-fighter-jet/

³⁴⁶ www.forbes.com/sites/davidaxe/2020/11/01/the-us-air-forces-secret-spy-drone-makes-public-debut-on-instagram/?sh=282330731458

³⁴⁷ www.thedrive.com/the-war-zone/31992/exclusive-details-on-the-secretive-rq-170-stealth-drones-first-trip-to-korea

Det gäller framförallt RQ-180 där flygvapnet inte officiellt har bekräftat dess existens och där utvecklingen finansierades av hemliga budgetmedel.

4.5.2.3 Utvecklingsprojekt

Efter några år där den öppna utvecklingen inom US Air Force fokuserats på att vidareutveckla och förbättra befintliga plattformar, sensorer och verkansdelar så har fokus det senaste året skiftat mot att påbörja utvecklingen av nya intelligenta farkoster som ska kunna verka effektivt även mot kvalificerade motståndare (*near-peer adversaries*). De öppnar även upp för möjligheten att använda enklare kommersiella UAV:er i lågriskoperationer för att reducera kostnaderna.³⁴⁸

I juni 2020 släppte US Air Force en RFI (*Request for Information*) rörande en ny MALE UAV som inom tio år ska ersätta MQ-9 Reaper för uppdrag som uthållig spaning, övervakning, underrättelseinhämtning samt attackuppdrag (*ISR/Strike* eller *Hunter-Killer*).³⁴⁹ MQ-9 Reaper utgör ryggraden i US Air Force flotta av UAV:er och de har kontinuerligt moderniserats. De senaste versionerna är utrustade med mycket avancerade sensorsystem och olika typer av effektorer. Men MQ-9 är sårbar då den varken har hastigheten, smygegenskaperna eller skydd (i form av elektroniska eller andra motmedel) mot robotar som avfyras från marken eller av andra bemannade eller obemannade flygande farkoster. Även risken för att kommunikationslänkarna ska störas ut utgör en risk och en högre grad av autonomi krävs för att den ska kunna användas även i högnivåkonflikter.³⁵⁰ De har även visat sig vara sårbara mot attacker i lågnivåkonflikter där exempelvis två MQ-9 sköts ned under 2019 i Jemen. Det finns även rapporter om att MQ-9 skjutits ned över Jemen både 2017 och i mars 2021.^{351,352,353}

USAF föreslog även i sin budget för 2021 att 24 RQ-4 Global Hawk (av typen Block 20 och Block 30) skulle pensioneras. Endast tio Block 40 RQ-4 skulle då fortsätta att opereras av US Air Force. Ersättaren till dessa kan finnas bland de mer hemliga UAV:erna med smygegenskaper som flygvapnet förfogar över (RQ-170 eller RQ-180 alternativt en nyutvecklad UAV).³⁵⁴

³⁴⁸ www.forbes.com/sites/davidhambling/2020/06/10/why-the-air-force-needs-a-cheaper-reaper/?sh=7f2e98ae946f

³⁴⁹ beta.sam.gov/opp/65c412d7879841d7a8d097db4c8b4735/view?keywords=%22Next%20Generation%20UAS%20ISR%22&sort=-modifiedDate&index=&is_active=true&page=1

³⁵⁰ www.airforcemag.com/with-an-eye-on-china-reaper-drones-train-for-maritime-war/

³⁵¹ www.businessinsider.com/another-us-combat-drone-shot-out-of-sky-over-yemen-2019-8?r=US&IR=T

³⁵² www.presstv.com/Detail/2021/03/24/648002/Watch-Yemeni-forces-allies-shoot-down-US-MQ-9-Reaper-drone-in-Marib

³⁵³ fightingsweep.com/8827/watch-us-mq-9-reaper-drone-reportedly-shot-yemen/

³⁵⁴ www.forbes.com/sites/davidaxe/2020/11/01/the-us-air-forces-secret-spy-drone-makes-public-debut-on-instagram/?sh=282330731458

4.5.2.3.1 Next-Gen Multi-Role UAS Family of Systems

Inriktningen i den RFI om en ny MALE UAV som släpptes i juni 2020 var mot en UAV som baseras på öppen arkitektur som designas i enlighet med moderna tillverkningsmetoder, vilket förväntas resultera i en avsevärt lägre livscykelkostnad jämfört med MQ-9 Reaper. Ambitionen är att den lägre kostnaden per farkost ska möjliggöra ett ökat risktagande med UAV:er då dessa kan anses vara möjliga att förlora i strid utan betydande konsekvenser (s.k. *attritable*). Den bör även ha förbättrade möjligheter att operera och överleva i högnivåkonflikter och implementera autonomi, AI och maskininlärning, allt i enlighet med 2018 års försvarsstrategi. Markkontrollstation, sensorer, databehandlingsmetoder och farkost ska baseras på öppen arkitektur som även medger att olika upphandlingar kan genomföras separat för dessa.

En familj av UAV:er är en trolig lösning, där de är anpassade för olika riskmiljöer och uppdragstyper. Förhoppningen är även att mindre robusta, men avsevärt billigare, kommersiellt utvecklade system ska kunna användas i vissa operationstyper för att hålla nere kostnaden.³⁵⁵ Boeing, Kratos, General Atomics, Lockheed-Martin och Northrop Grumman har alla svarat på denna RFI, med en bred uppsättning av möjliga tekniker från avancerade smygfarkoster till enklare lågkostnadsfarkoster som opererar i svärmar. Än så länge finns inom industrin en stor osäkerhet rörande vilka krav som i slutändan kommer att ställas.³⁵⁶

US Air Force äskade samtidigt medel i budgeten för att i förtid avbryta planerade fortsatta anskaffningar av MQ-9 Reaper. Den amerikanska kongressen ändrade dock på detta och i april 2021 beställde US Air Force 19 nya UAV:er med nya förbättrade förmågor som kommer att få beteckningen MQ-9 M2DO (*Multi-Domain Operations*).³⁵⁷

I mars 2021 släpptes en ny RFI: *Next-Generation Multi-Role Unmanned Aerial System Family of Systems* (Next-Gen Multi-Role UAS FoS). I media benämns denna ofta som MQ-Next. En kontinuerlig och agil utveckling av förmågor (eller modulära uppdragspaket) utifrån nya hotbilder ses som en viktig del i Next-Gen Multi-Role UAS FoS. Fokus har i denna första fas även varit mot att inkludera två nya förmågor i framtida högnivåkonflikter:

- eskort åt bemannade flygplan (*High-Value Airborne Asset Protection*, HVAAP) såsom lufttankningsflygplan samt övervaknings- och ledningsflygplan (*Airborne Early Warning and Control*, AEW&C)

³⁵⁵ www.defensenews.com/air/2020/06/04/the-air-force-is-looking-for-a-next-gen-replacement-to-the-mq-9-reaper-drone/

³⁵⁶ www.defensenews.com/digital-show-dailies/air-force-association/2020/09/17/defense-companies-are-lining-up-to-build-a-replacement-for-the-mq-9-reaper/

³⁵⁷ www.defensenews.com/air/2020/12/22/congress-resurrected-the-mq-9-reaper-program-adding-16-drones-for-the-air-force/

- skapa en bild av luftläget (*Air Domain Awareness*) genom exempelvis *Airborne Moving Target Indication* (AMTI) med uppdragsspecifika eller enklare plattformssagnostiska EO/IR- eller signalspaningssensorer och möjlighet att dela denna lugtlägesbild i ett robust kommunikationsnät.

Autonomi, AI, öppen arkitektur, sensornära signalbehandling och moderna digitala tillverkningstekniker är fortsatt viktiga ingående delar. Sensorinformation ska även gå att integreras i JADC2 för att stödja en ISR-förmåga även om detta inte är fokus i denna RFI. Instruktionerna är att industri ska ingå i olika team och återanvända tidigare utveckling, exempelvis inom projekt som *Low-Cost Attritable Aircraft Technology* (LCAAT), Skyborg, ABMS och andra pågående utvecklingsprojekt. Ambitionen är att dessa två nya förmågor ska föras in före 2027 och följas av fler nya förmågor, samtidigt som lösningar avsedda för Next-Gen Multi-Role UAS FoS har 2030 som mål. Störtskyddade datalänkar som kan dela informationen, även i telestörda miljöer, ses som en kritisk möjliggörare för att möjliggöra en effektiv användning av UAV:er även då de förses med ökande grad av automation och intelligens.^{358,359}

HVAAP-uppdrag skulle kunna genomföras med generella UAV:er som förses med en anpassad nyttolast alternativt med en dedikerad UAV som är utvecklad för att lösa denna uppgift. Boeing ATS har detta uppdrag som en av flera möjliga förmågor. General Atomics föreslog under hösten 2020 ett koncept benämnt Defender där en UAV ska skydda exempelvis lufttankningsflygplan. Defender verkar delvis vara baserad på den tidigare utvecklade UAV som de föreslog i MQ-25 upphandlingen och den föreslås kunna utrustas med AIM-120 AMRAAM (*Advanced Medium-Range Air-to-Air Missiles*) jaktrobotar och även med robotar som ska skjuta ned inkommande jaktrobotar.³⁶⁰ RFI:n indikerar dock intresse för en bred uppsättning av tekniker som inkluderar kinetiska effektorer men även telekrig (störning och vilseledning) och laserteknik.

En trolig utveckling av Next-Gen Multi-Role UAS FoS bedöms vara en utveckling mot en heterogen familj av UAV:er där alla har lång uthållighet och räckvidd men som är avsedda för olika operationsmiljöer, med en mix av UAV:er som är *attritable*, *expendable* eller *survivable*. De två ändlägena i denna mix kan komma att utgöras av:

- enklare, billigare kommersiella UAV:er som är anpassade för operationer i lågriskmiljöer och som kan utrustas med lättare vapen med mindre stridsdelar (alternativt patrullrobotar)

³⁵⁸ beta.sam.gov/opp/9806db5c366d4167b41819078758a209/view?keywords=Aflcmc&sort=-modifiedDate&index=&is_active=true&page=1

³⁵⁹ <https://www.thedrive.com/the-war-zone/39677/mq-9-reaper-replacement-requirements-now-include-air-to-air-capability-in-contested-airspace>

³⁶⁰ www.thedrive.com/the-war-zone/32401/general-atomics-wants-to-give-aerial-tankers-their-own-missile-laden-loyal-wingmen-drones

- kvalificerade, dyrare militära UAV:er med goda smygegenskaper, hög hastighet och självskydd som är anpassade för operationer i avreglingszoner med integrerat luftförsvar.

Öppen arkitektur och modulära uppdragsanpassade nyttolaster ska möjliggöra en kontinuerlig utveckling av dedikerade nyttolaster för att möta nya hotbilder.

4.5.2.3.2 MQ-9 M2DO

Som beskrivits tidigare utvecklas MQ-9B SkyGuardian och SeaGuardian för framförallt utländska kunder. Med osäkerheterna när det gäller fortsatta inköp av MQ-9 Reaper från US Air Force så börjar även General Atomics att planera för en nedstängning av tillverkningen på sikt och det är troligt att de redan om något år kommer försöka få nya intressenter att gå över till MQ-9B SkyGuardian.

US Air Force planerar dock att fortsätta utveckla nya förmågor för sina MQ-9 Reaper då majoriteten av dessa sannolikt kommer att användas i tio till femton år till. Ambitionen är att vidareutveckla sensorsystem och integrera nya verkanssystem för att öka deras förmåga att operera mot högteknologiska motståndare. Den nya konfigurationen benämns MQ-9 M2DO (*Multi-Domain Operations*) och på sikt kommer även en uppsättning befintliga UAV:er att moderniseras till denna konfiguration och komplettera de 19 exemplar som nu beställts. MQ-9 M2DO förväntas få mer störskyddade kommunikations- och positioneringssystem, leverera högre effekt till sensorer och annan nyttolast, en ökad modularitet via öppen arkitektur som möjliggör byte av nyttolast, förbättrade EO/IR-sensorer och nya typer av vapen.^{361,362,363}

4.5.2.4 Skyborg

Skyborg är ett program som drivs av AFRL (*Air Force Research Laboratory*) som utvecklar relativt små obemannade beväpnade flygfarkoster med hög flygprestanda till relativt lågt pris som kan organiseras i team med bemannade flygplan. Skyborg är ett av US Air Force Vanguardprogram. De utgör högt prioriterade program som syftar till att accelerera teknikutvecklingen och det operativa införandet i utvalda områden. Programmen är typiskt multidisciplinära i sin natur. Skyborg har ambitionen att höja den operativa effekten genom att accelerera införandet av en större volym av flygfarkoster.

Skyborgkonceptet bygger på införandet av flera lager av obemannade flygsystem. AFRL kommer under programmet att utveckla ett antal prototyper

³⁶¹ www.af.mil/News/Article-Display/Article/2580364/reaper-mods-targeted-to-provide-capability-for-near-peer-threats/

³⁶² www.airforcemag.com/air-force-to-upgrade-mq-9s-mission-and-capabilities-for-near-peer-fight/

³⁶³ www.af.mil/News/Article-Display/Article/2580364/reaper-mods-targeted-to-provide-capability-for-near-peer-threats/

som stödjer ett flertal av flygvapnets uppdragstyper. Det sammanlagda konceptet bygger på att använda bemannat flyg i områden med låg hotnivå, återanvändningsbara (*attritable*) obemannade flygplan i lufterum med medelhög hotnivå, samt bemannat flyg med smygteknologi och förbrukningsbara (*expendable*) obemannade flygplan i lufterummet med högst hotnivå. De senare kan även utgöras av engångsfarkoster även om detta inte är den huvudsakliga inriktningen. Återanvändningsbara farkoster designas med en livslängd på ett fåtal år vartefter ambitionen är att ersätta dessa med uppgraderade versioner [42]. Start är avsedd att utföras med hjälp av raketer från en startramp och landning kan utföras med hjälp av fallskärm, vilket ska förbättra systemens rörlighet [42].

Skyborg ska kunna upptäcka och analysera hot och identifiera lämpliga åtgärder för att hantera hoten med team av bemannade och obemannade farkoster, samt agera framskjuten sensor- och vapenbärare. Flygförare i bemannade farkoster ska fortsatt fatta beslut om vapen användning [42]. De obemannade farkosterna är inte tänkta att ersätta bemannade flygplan utan ses som ett komplement som minskar riskerna för piloter. Uppdragstyperna som nämns i omtvistat (*contested*) lufterum är flygunderstöd nära egna förband (*Close Air Support*, CAS), ledningsfunktioner, attack, inhämtning, övervakning och spaning samt offensivt och defensivt luftförsvar (*Counter-Air*).³⁶⁴

Skyborg ska möjliggöras av en rad olika autonoma funktioner som automatisk start och landning, köande i luften (väntläge), ruttplanering, formationsflygning och utförande av tilldelade högnivåuppgifter (*objectives*). Arkitekturen planeras vara skalbar, med agil och modulär last, samt möjliggöra integration av heterogena flygfarkoster och tredjepartsautonomi i en öppen plattformssagnostisk arkitektur. US Air Force avser behålla rättigheterna till sensordata i syfte att underlätta för framtida ändringar i systemen utan omförhandling med leverantörer.^{365,366}

Kostnaden för obemannade flygplan enligt Skyborg uppskattas i anskaffning till ett fåtal procent och i flygkostnad till ungefär en tiondel av fjärde generationens stridsflygplan [42]. General Atomics Sparrowhawk och Kratos XQ-58A Valkyrie nämns som exempelssystem i Skyborgkonceptet och de anges komma att operera tillsammans med stridsflygplan (F-35) och bombflygplan (B-21) [42].

4.5.2.4.1 Kratos XQ-58A Valkyrie

Det amerikanska företaget Kratos Defense & Security Solutions tillverkar bland annat obemannade målflygplan som US Air Force använder vid stridsträning.³⁶⁷

³⁶⁴ afresearchlab.com/technology/vanguards/successstories/skyborg

³⁶⁵ www.forbes.com/sites/lorenthompson/2020/08/28/air-forces-skyborg-robotic-wingman-will-revolutionize-how-air-warfare-is-waged-and-how-weapons-are-bought/?sh=6882bdea6e76

³⁶⁶ youtu.be/XtUxFaYAPs

³⁶⁷ www.kratosdefense.com/systems-and-platforms/unmanned-systems/aerial/aerial-targets

Kratos och AFRL (Air Force Research Lab) utvecklar nu demonstratorflygplanet XQ-58A Valkyrie inom programmet LCASD (*Low-Cost Attritable Strike Demonstrator*). Målsättningen med XQ-58A är att demonstrera olika förmågor såsom understöd till F-15EX, F-22 eller F-35 under stridsuppgifter. Den ska med sina olika sensorer kunna ge bemannade flygplan en bättre lägesbild samt genomföra direkt bekämpning.

XQ-58A Valkyrie väger drygt 1100 kg, kan bära omkring 270 kg nyttolast och den har en längd och ett vingspann på knappt nio respektive sju meter (figur 4.13). Den har en högsta hastighet på 1050 km/h och en bedömd räckvidd på strax under 400 mil. XQ-58A är mindre än traditionella stridsflygplan och har designats för att erhålla smygegenskaper, vilket medför att den har en mindre radarmålbarea än typiska fjärde generationens stridsflygplan. XQ-58A Valkyrie kan bära exempelvis två GBU-39/B SDB (*Small Diameter Bomb*).

Inom LCAAT (*Low-Cost Attritable Aircraft Technology*), där LCASD ingår, är även målet att kraftigt korta ned utvecklingstiden för flygplan och reducera kostnaden. Målet för en Valkyrie anges vara en kostnad på två miljoner dollar, vilket är vilket bedöms vara något högre än för en Tomahawk kryssningsrobot.³⁶⁸ Kratos och AFRL genomförde den första flygningen med XQ-58A Valkyrie den 5:e mars 2019, ca 2,5 år efter projektet påbörjades.³⁶⁹ Vid tester som genomfördes i december 2020 flög Kratos XQ-58A Valkyrie (i detta sammanhang även kallad *attritableONE*) i formation med en F-22 och en F-35A (figur 4.14).³⁷⁰ Vid försöken agerade även *attritableONE* som kommunikationslänk i ett annat test med sitt "*gatewayONE translator system*" [43] som tillät en US Air Force F-22 och en US Marine Corps F-35B att kommunicera med varandra genom deras annars inkompatibla datalänkar. Detta lyckades inte under detta flygförsök utan funktionaliteten demonstrerades från marken istället [43]. Även om inte XQ-58A specifikt är designat för att bli ett flygande kommunikationsrelä med låg signatur så är det en tänkbar tillämpning i vissa uppgifter. Denna förmåga sägs också vara ett viktigt bidrag i US Air Force och Space Force *Advanced Battle Management System* (ABMS) programmets strävan till integration med JADC2.³⁷¹

Vid de flygprov som genomfördes i mars 2021 släpptes en ALTIUS-600 (*Air-Launched, Tube-Integrated, Unmanned System*) UAV från det interna lastutrymmet i en Kratos XQ-58A Valkyrie. Detta rapporteras vara den sjätte serien av provflygningar där farkosten även flög högre och snabbare än tidigare.³⁷²

³⁶⁸ www.popularmechanics.com/military/a31122720/kratos-xq58a-valkyrie-future/

³⁶⁹ defpost.com/kratos-xq-58a-valkyrie-loyal-wingman-drone-completes-its-fourth-flight/

³⁷⁰ afresearchlab.com/news/successful-attritableone-xq-58-valkyrie-return-to-flight-test-enables-formation-flight-with-fifth-generation-fighters/

³⁷¹ www.af.mil/News/Article-Display/Article/2446122/gatewayone-and-attritableone-test-moves-joint-force-one-step-closer-to-iotmil-d/

³⁷² afresearchlab.com/news/afri-successfully-completes-xq-58a-valkyrie-flight-and-payload-release-test/



Figur 4.13: XQ-58A Valkyrie demonstrator, Yuma Proving Ground, mars 2019 (foto: Senior Airman Joshua Hoskins, public domain³⁷³).



Figur 4.14: USAF F-22 Raptor och F-35A Lightning II formationsflyger med en XQ-58A Valkyrie, december 2020 (foto: Tech. Sgt. James Cason, US Air Force, public domain³⁷⁴).

ALTIUS-600 väger under 15 kg och den har en uthållighet och räckvidd på 4 timmar respektive 440 km.³⁷⁵ Medieuppgifter indikerar att en CLT (*Common Launch Tube*) användes för att släppa ALTIUS-600. Detta skulle kunna innebära att även andra vapenlaster enkelt kan integreras såsom AGM-176 Griffin, GBU-44/B Viper Strike och GBU-69/B Small Glide Munition.³⁷⁶

Kratos samarbetar även med företaget AeroVironment för integration av patrullroboten Switchblade 300 till XQ-58A. Målsättningen med detta är att XQ-58A Valkyrie som har hög hastighet och lång räckvidd ska kunna transportera patrullrobotarna till målområdet och därefter ska flera Switchblade 300 kunna slå

³⁷³ www.af.mil/News/Photos/igphoto/2002097026/mediaid/3248305/

³⁷⁴ www.af.mil/News/Photos/igphoto/2002551841/

³⁷⁵ areai.com/wp-content/uploads/Slick-600-V1.pdf

³⁷⁶ www.thedrive.com/the-war-zone/40068/xq-58a-valkyrie-uses-weapons-bay-for-first-time-to-launch-smaller-drone

ut många, stationära och rörliga, mål med hög precision.³⁷⁷

4.5.2.4.2 Nästa steg

Kratos, Boeing och General Atomics rapporteras i december 2020 ha erhållit tvååriga kontrakt på flera tiotals miljoner dollar vardera från Skyborgprogrammet för att ingå i nästa fas som är operationella försök [44]. I denna fas ska AI-utrustade obemannade farkoster agera som vapenbärare och spaningsflygplan och på så sätt assistera bemannade stridsflygplan. Prototyperna ska levereras före sommaren 2021 och därefter ska försök med multipla prototyper genomföras [44]. Skyborgprogrammet siktar på att ha nått initial operativ förmåga 2023 [44]. De tilltänkta systemen som är av olika komplexitet förväntas kosta mellan 2 och 20 miljoner dollar per styck och kan tänkas organiseras i fem till tio separata divisioner med lågkostnadsfarkoster, eller genom att para ihop två mindre obemannade plattformar med en F-35 [45].

4.5.2.5 B-21 Raider

B-21 Raider är ett bombplan som är under utveckling av Northrop Grumman för att kunna penetrera fientligt luftförsvar och nå mål var som helst i världen. Den är primärt avsedd att flyga med en besättning ombord men ambitionen är att möjliggöra obemannade uppdrag senare (optionellt bemannad). Det finns idag två prototypflygplan som genomgår flygprover.³⁷⁸

B-21 Raider finansieras av försvarsdepartementets budget under nukleär avskräckning och den förväntas bära både konventionella vapen och kärnvapen. I budgetäskandet för FY (*Fiscal Year*) 2021 låg den efterfrågade nivån för B-21 Raider på 2,8 miljarder dollar och nukleär avskräckning anges vara amerikanska försvarsdepartementets högsta prioritet.³⁷⁹

Den första officiella flygningen är planerad till december 2021 och i mitten av 2020-talet kommer USA:s flygvapen att få de första exemplaren levererade. Flygvapnet anges vilja köpa minst 100 flygplan och dessa kommer sannolikt att ersätta bombflygplanen B-52 Stratofortress, B-1 Lancer och B-2 Spirit.³⁸⁰

B-21 har formen av en flygande vinge och den förväntas få extremt goda smygegenskaper (figur 4.15). Den kommer att förses med ett stort och flexibelt internt lastutrymme för en bred uppsättning av vapen och få en mycket lång räckvidd.

³⁷⁷ www.flightglobal.com/aerovironment-kratos-team-up-to-deploy-small-uavs-from-drones/132570.article

³⁷⁸ www.northropgrumman.com/what-we-do/air/b-21-raider/

³⁷⁹ www.defense.gov/Newsroom/Releases/Release/Article/2079489/dod-releases-fiscal-year-2021-budget-proposal/

³⁸⁰ www.northropgrumman.com/what-we-do/air/b-21-faqs/



Figur 4.15: Illustration av B-21 från US Air Force (illustration: US Air Force Graphic, via Wikimedia Commons³⁸¹).

4.5.2.6 Sunlider

HAPSMobile utvecklar Sunlider (Hawk 30) som är en solcellsdriven HAPS UAV som är avsedd att flyga i stratosfären på en höjd av 20 km. HAPSMobile är en del av det japanska företaget SoftBank och AeroVironment är en minoritetsägare. HAPSMobile är ett civilt projekt riktat mot att med ett nätverk av Sungliders skapa förutsättningar för trådlös bredbandskommunikation (inklusive 5G) i outvecklade områden av världen.³⁸²

Sunlider är en vidareutveckling av Pathfinder och Helios som AeroVironment utvecklade på uppdrag av NASA. Den drivs av tio propellrar och är avsedd att kunna flyga i upp till sex månader i sträck (figur 4.16). Den nyttolast som Sunlider kan bära är begränsad, knappt 70 kg, men den skulle potentiellt kunna användas som en lågflygande pseudosatellit med möjlighet till spaning, övervakning, kommunikationsrelä och signalspaning.

4.5.3 US Army

En division inom US Army anges bestå av två till fem *Brigade Combat Teams* (BCT), en *Combat Aviation Brigade* (CAB), en artilleribrigad, en ingenjörbrigad och en logistikbrigad. En BCT utgörs normalt av 4200 till 4700 soldater beroende på om brigaden är tung (*Armored*), mellan (*Stryker*) eller lätt (*Infantry*), medan en division utgörs av 12-16000 soldater. US Air Force utför CAS och andra bekämpningsuppdrag åt US Army. En CAB förlitar sig därför kraftigt på helikoptrar för bekämpning medan arméflygplan används för spaning och transporter. År 2017 angavs US Army ha 30 aktiva BCT och ytterligare 26 inom *National Guard* [41].

³⁸¹ en.wikipedia.org/wiki/Northrop_Grumman_B-21_Raider

³⁸² www.avinc.com/about/haps



Figur 4.16: Soldriven prototyp av Helios, föregångare till Sunlider, juli 2001 (foto: NASA, via wikipedia³⁸³).

4.5.3.1 Nuläge

US Army använder ett stort antal UAV:er på olika nivåer. De anges exempelvis på divisionsnivå ha åtminstone elva kompanier med vardera tolv MQ-1C Gray Eagle, som opereras av 125 soldater, integrerade i varje CAB. De olika brigaderna (*Armored*, *Stryker* och *Infantry*) har varsin pluton med taktiska UAV:er i form av RQ-7 Shadow [41]. På bataljonsnivå används typiskt AeroVironments RQ-20 Puma medan RQ-11 Raven används på kompani- och plutonsnivå.

I figur 4.17 sammanfattas den inriktning som US Army har för införandet av UAV:er där de ska användas på alla nivåer, från grupp till division. Fyra UAV:er återstår i utvärderingen inom FTUAS (*Future Tactical UAS*), som är avsedd som en ersättare till RQ-7 Shadow, men en slutlig utvärdering genomfördes i mars 2021 och ambitionen är att genomföra en öppen upphandling i slutet av 2021. På divisionsnivå har arbetet med att realisera en ny modern UAV som ersättare till MQ-1C Gray Eagle (*Advanced UAS*) pausats på grund av andra prioriteringar och den bedöms inte komma att införas operativt under detta årtionde.

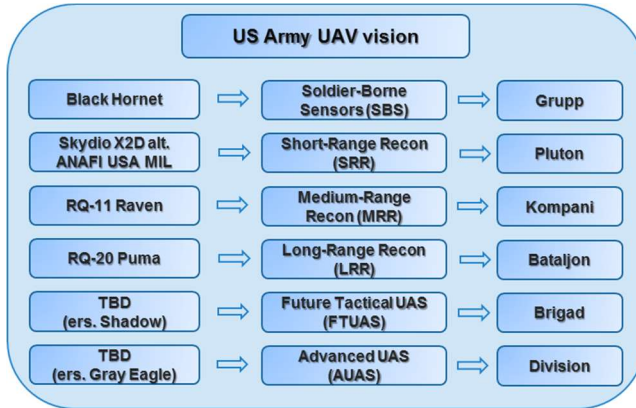
4.5.3.2 Utvecklingsprojekt

US Army genomför ett flertal utvecklingsprojekt och leder ofta utvecklingen av UAV:er upp till taktisk ledningsnivå.

4.5.3.2.1 Short-Range Reconnaissance

På plutonsnivå är ambitionen i US Army att anskaffa en UAV (*Short Range Reconnaissance*, SRR) som snabbt ska kunna genomföra spaning, övervakning och målinmätning, samt ge en förbättrad lägesbild, bortom nästa terränghinder

³⁸³ www.dfrc.nasa.gov/Gallery/Photo/Helios/Large/ED01-0209-3.jpg



Figur 4.17: US Army har beskrivit sin vision för hur UAV:er ska användas på olika ledningsnivåer, från gruppnivå upp till divisionsnivå [4].³⁸⁴

eller byggnad [4]. Denna UAV ska vara lätt (mindre än 1,4 kg) och kunna fås upp i luften snabbt (mindre än två minuter) och ha en flygtid på minst 30 minuter och en räckvidd på över tre kilometer.

US Army för in FLIR Black Hornet PRS på alla grupper och SRR ska komplettera denna med exempelvis längre uthållighet och räckvidd samt förbättrade sensorer. Black Hornet PRS väger strax över 30 gram vilket naturligt begränsar sensorernas prestanda. Ambitionen är även att kostnaden ska reduceras avsevärt jämfört med Black Hornet PRS genom att SRR utgår från kommersiella produkter som modifieras för att fylla militärens viktigaste krav.

Regelbundna prov och försök har genomförts tillsammans med militära slutanvändare i syfte att utvärdera systemen och föreslå förbättringar till nästa iteration. Upphandlingen utförs genom en OTA-upphandlingsprocess (*Other Transaction Authority*) som möjliggör att s.k. *non-developmental systems* vidareutvecklas i en agil, iterativ process med flera konkurrerande företag [4]. Hela upphandlingscykeln är avsedd att slutföras på under två år.

Ursprungligen ingick sex system i utvärderingarna men endast två farkoster återstod i slutet av 2020 inför de slutliga utvärderingarna, nämligen Skydio X2D och Parrot ANAFI USA MIL.³⁸⁵ Bland annat har en förbättrad sensor, militär datalänk och en generell kontrollstation integrerats (*Tactical Open Government Architecture Handheld Ground Control Station*, TOGA H-GCS). Exempelvis anger Parrot att ANAFI USA MIL kan detektera mänskliga mål på upp till två

³⁸⁴ breakingdefense.com/2019/06/army-buys-9000-mini-drones-for-squads-rethinks-ground-robots-for-2020/

³⁸⁵ www.defensenews.com/land/2021/02/09/skydio-poised-to-supply-first-tranche-of-short-range-recon-drones/

kilometers avstånd.³⁸⁶ Skydio X2D visar intressanta egenskaper när det gäller funktionella automatiska förmågor som kan reducera operatörens kognitiva belastning.³⁸⁷ Generellt bedöms prestanda för dessa två UAV:er vara bra, men det finns osäkerheter rörande hur väl de kan användas i mörker.

Det ursprungliga önskemålet var att de tre huvudsakliga delarna: UAV, EO/IR-sensorer och kommunikationssystem inte skulle kosta mer än 2000 dollar vardera.³⁸⁸ I dagsläget anges dock exempelvis listpriset för ANAFI USA vara 100 till 150 tusen kronor beroende på om datalänk och kontrollstation ingår. Priset kan dock förväntas minska framöver med ökande volymer.

4.5.3.2.2 Future Vertical Lift

Future Vertical Lift (FVL) är ett försvarsmaktsgemensamt amerikanskt utvecklingsprojekt som leds av US Army. Målet är att skapa en ny generation av helikoptrar med avsevärt förbättrade prestanda (främst i form av hastighet, uthållighet och räckvidd) som ska kunna operera effektivt och ha en högre överlevnadssannolikhet även i högnivåkonflikter mot kvalificerade motståndare. FVL är ett av de sex materielutvecklingsprojekt som US Army prioriterar i sin moderniseringsstrategi och de ska på sikt ersätta arméns alla helikoptrar. De fyra prioriterade utvecklingsspåren inom FVL är *Future Attack Reconnaissance Aircraft* (FARA), *Future Long-Range Assault Aircraft* (FLRAA), *Future Unmanned Aircraft Systems* (FUAS) och *Modular Open System Approach* (MOSA).³⁸⁹ Både FARA och FLRAA förväntas bli optionellt bemannade, men eventuellt inte redan i de första versionerna där ambitionen är att de ska införas operativt omkring 2030.³⁹⁰

4.5.3.2.2.1 Future Attack Reconnaissance Aircraft

FARA avses fylla det förmågegap som uppstod då spaningshelikoptern OH-64 Kiowa fasades ut.³⁹¹ Till del har denna förmåga fyllts genom att använda team av AH-64E Apache och MQ-1C Gray Eagle.³⁹² Detta koncept bedöms dock ha stora brister i framtida högnivåkonflikter i avreglingszoner och telestörda miljöer. Bell 360 Invictus och Sikorsky Raider X (som använder två motroterande rotor) har

³⁸⁶ www.parrot.com/assets/s3fs-public/2020-10/parrot_anafi_usa_defense.pdf

³⁸⁷ www.skydio.com/skydio-x2

³⁸⁸ deftech.nc.gov/blog/short-range-reconnaissance-system-platform

³⁸⁹ www.army.mil/article/236382/future_vertical_lift_pushes_forward_with_new_requirements

³⁹⁰ www.aviationtoday.com/2020/01/11/bell-confirms-v-280-autonomous-flight-prepares-army-flraa-decision-march/

³⁹¹ www.thedrive.com/the-war-zone/9784/us-army-says-it-badly-needs-a-scout-helicopter-after-junking-the-ones-it-had

³⁹² www.thedrive.com/the-war-zone/8313/gray-eagle-drones-are-not-being-deployed-to-south-korea-as-a-reactionary-measure?iid=sr-link1

valts ut för att utveckla varsin prototyp för FARA där provflygningar ska påbörjas i slutet av 2022.³⁹³ Ett av dessa ska sedan väljas ut och ambitionen är att de ska föras in i stor skala omkring 2028.

4.5.3.2.2.2 *Future Long-Range Assault Aircraft*

När det gäller FLRAA erhöill Bell med sin V-280 Valor (som implementerat tiltrotorteknik liknande den i V-22 Osprey) och Sikorsky-Boeing SB>1 Defiant (med motroterande rotoror) i mars finansiering för att genomföra varsitt demonstratorutvecklingsprojekt där syftet delvis är att genomföra utveckling syftande till riskreduktion. Hög hastighet och räckvidd är avgörande faktorer för FLRAA och Defiant anges kunna flyga i över 420 km/h medan Valor vid testflygningar har flugit i 520 km/h.³⁹⁴ Teknikerna har under ett årtionde utvecklats inom Pentagons projekt *Joint Multi-Role Tech Demonstration*.

4.5.3.2.2.3 *Modular Open System Approach (MOSA)*

En central del i utvecklingen inom FVL är MOSA som syftar till att använda standardiserad mjukvara och öppna (icke-proprietära) gränssnitt. Avsikten är att MOSA ska möjliggöra ett snabbare och billigare införande av nya förmågor allteftersom behoven uppstår. Alla större militära utvecklings- och anskaffningsprojekt i USA måste enligt lag designas och utvecklas i form av öppen och modulär arkitektur.^{395,396}

4.5.3.2.3 *Future UAS*

Future UAS (FUAS) är den delmängd av FVL som består av obemannade farkoster och den har tre huvudsakliga beståndsdelar: (i) *Future Tactical Unmanned Aircraft System* (FTUAS), (ii) *Air-Launched Effects* (ALE) och (iii) *Advanced Unmanned Aircraft System*. *Future UAS* ska ge en uppsättning av förmågor som sträcker sig från plutonsnivå upp till divisionsnivå. FTUAS syftar mer specifikt till att hitta en ersättare till RQ-7B Shadow. ALE ska ge möjlighet till operationer på djupet mot en kvalificerad motståndare genom att med samverkande grupper eller svärmar detektera, störa och vilseleda fientliga radar- och kommunikationssystem, bedriva cyberattacker och störa och vilseleda GNSS-mottagare och genomföra kinetisk bekämpning. *Advanced UAS* är avsedd att användas av US Army *Combat Aviation Brigades* (CAB).³⁹⁷

³⁹³ www.defensenews.com/show-reporter/global-force-symposium/2021/03/18/future-attack-recon-helo-program-heads-into-army-review-next-month/

³⁹⁴ breakingdefense.com/2020/02/beyond-the-black-hawk-defiant-vs-valor/

³⁹⁵ www.dsp.dla.mil/Programs/MOSA/

³⁹⁶ ac.eto.mil/wp-content/uploads/2020/06/MOSA-Ref-Frame-May2020.pdf

³⁹⁷ www.dacis.com/budget/budget_pdf/FY20/RDTE/A/0604113A_92.pdf

Visionen med FUAS anges vara att skapa förmågan att penetrera fiendens försvar och angripa dennes svagheter. UAV:erna ska operera på djupet med heterogena verkansdelar (kinetiska och stör- och vilseledningssystem) eller automatiserade målinmätningssystem som stöd för långräckviddig precisionsbekämpning. Detta ska skapa egen manöverfrihet och även slå ut motståndarens förmåga till långräckviddig bekämpning.³⁹⁸

4.5.3.2.3.1 *Future Tactical UAS*

V-BAT, Aerosonde HQ, Arcturus Jump 20 och FVR-90 är fyra UAV:er som nu utvärderas av US Army som möjliga ersättare till RQ-7B Shadow i syfte att fylla brigadchefens behov av RSTA-förmåga. Dessa nya system har ett flertal fördelar jämfört med RQ-7B Shadow:^{399,400,401,402}

- *transporterbarhet*: ett system bestående av fyra RPA, tre markkontrollstationer (GCS), kommunikationssystem och annan utrustning kan transporteras i en tung transporthelikopter
- *mobilitet*: möjlighet att operera RPAS från ett fordon under förflyttning
- *enkel hantering*: möjlighet att med en liten personalstyrka (två till tre personer) snabbt klargöra systemet (uppskattningsvis reduceras tiden till en tredjedel av vad som behövs för RQ-7B)
- *VTOL*: möjlighet att starta och landa vertikalt, utan behov av förberedd start- eller landningsbana
- *ATOL*: automatiserad start och landning vilket reducerar operatörens kognitiva belastning
- *smygenskaper*: lägre akustisk signatur
- *fysisk robusthet*: flygning under sämre väderförhållanden
- *kostnad*: reducerat underhållsbehov.

FTUAS genomförs i vad som benämns som ”*buy, try, inform*” där kommersiellt tillgängliga system bjuds in att demonstrera sina förmågor och där ett urval av dessa väljs ut för fortsatta tester. Genom iterativa, gradvis mer realistiska, utvärderingar informeras utvecklarna om användarnas önskemål och ges möjlighet att modifiera systemen inför nästa testomgång. US Army benämner dessa utvärderingar, där slutanvändarna kan ge feedback till industri och kravställningsarbetet, för *Soldier Touch Points* (STP). Utvecklings- och utvärderingsprocessen är mycket snabb. Fyra företag fick 2019 uppdraget att

³⁹⁸ www.armyaviationmagazine.com/index.php/archive/not-so-current/1761-evolving-uas-integration-past-present-and-future

³⁹⁹ www.army.mil/article/243766/army_conducts_unmanned_aircraft_rodeo_capping_multi_year_effort

⁴⁰⁰ www.defensenews.com/land/2021/03/03/us-armys-unmanned-aircraft-rodeo-firms-up-requirements-for-shadow-replacement/

⁴⁰¹ www.dvidshub.net/video/785561/future-tactical-unmanned-aircraft-system-ftuas-rodeo

⁴⁰² breakingdefense.com/2021/03/ftuas-army-blown-away-by-new-drones-in-rain/

delta i de fortsatta utvärderingarna och de slutliga utvärderingarna genomfördes i början av 2021 i form av vad som benämns som en FTUAS *rodeo*. Vid dessa försök kunde alla fyra farkosterna flyga i kraftigt regn under förhållanden där RQ-7B Shadow inte kan flyga. Vädret påverkar dock fortsatt EO/IR-sensorernas prestanda och möjligheten att bedriva effektiv spaning. Beslut om att eventuellt gå till öppen upphandling förväntas tas under 2021 och en RFI (*Request for Information*) släpptes i mars 2021.⁴⁰³

4.5.3.2.3.2 Air-Launched Effects

Air-Launched Effects utgör en viktig komponent för att möjliggöra framtida operationer i avreglingszoner vid konflikter mot *near-peer adversaries* (Kina eller Ryssland). ALE förväntas komma att användas i kombination med långräckviddiga precisionsvapen där en förhoppning är att möjliggöra att egna kvalificerade farkoster kan befinna sig utanför motståndarens vapenräckvidd och fortfarande kunna bekämpa mål inuti avreglingszoner som detekteras och lokaliseras med ALE.⁴⁰⁴

“What we have to do is improve our stand-off and our survivability with the introduction of some technology that will be available prior to the FVL platform. Those combined, we think, will keep us very, very competitive in that environment until we get the increased speed and survivability of our FVL platforms”
(Maj. Gen. David Francis)

ALE förväntas bestå av samverkande grupper eller större svärmar av heterogena farkoster med olika nyttolaster, såsom spaning, telekrig, cyber och kinetisk bekämpningsförmåga. De förväntas komma att realiseras i (åtminstone) två olika storlekar med olika prestanda (tabell 4.2) och de ska kunna avfyras eller släppas från bemannade FARA

och FLRAA men även från olika typer av obemannade farkoster. Införandet av ALE förutsätter att nya användningskoncept utvecklas och den stora utmaningen bedöms vara att utveckla uppdragsautonomi som till fullo kan utnyttja ALE enheternas styrkor på ett effektivt sätt för att angripa motståndarens sårbarheter.⁴⁰⁵

Tabell 4.2: Preliminära prestandakrav (krav respektive målbild) för liten och stor ALE.

Typ av ALE	Vikt [kg]	Uthållighet [min]	Räckvidd [km]	Marschfart [km/h]	Max. hastighet [km/h]
Stor	100 / 80	30 / 60	350 / 650	130	650 / 1100
Liten	45 / 22,5	30 / 60	100 / 150	55	220 / 380

⁴⁰³ govtribe.com/file/government-file/rfi-ftuas-24-mar-21-dot-docx

⁴⁰⁴ breakingdefense.com/2020/03/fvl-attack-of-the-drones/

⁴⁰⁵ www.thedrive.com/the-war-zone/35726/the-army-has-unveiled-its-plan-for-swarms-of-electronic-warfare-enabled-air-launched-drones

Spaningsversionerna av ALE ska kunna använda passiva sensorer, i form av EO/IR-sensorer eller RF-mottagare, för att detektera, lokalisera, följa och klassificera mål. AI-baserade algoritmer för automatisk klassificering av mål ska integreras. De ska även kunna utrustas med aktiva radarsensorer (monopulsradar) med förmåga till markkartering, generera stillbilder och video (exempelvis med SAR och video-SAR) och även följa rörliga mål. Dessa måste även utrustas med robusta, störsäkra datalänkar med goda smygegenskaper som möjliggör

“Air-Launched Effects are what is going to find and fix these threats, and then what the long-range precision munition is going to do is finish that threat.”
(Brig. Gen. Walter Rugen, Director FVL Cross-Functional Team)

överföring av information till andra ALE i området eller till bakre enheter. Detta medger en ökad lägesuppfattning och möjlighet att använda målinformation för indirekt eld alternativt hypersoniska robotar mot högvärdiga mål.

ALE med icke-kinetiska effektorer utgör en viktig del av konceptet, där störning och vilseledning av fientliga radar-, kommunikations- och (passiva) telekrigssystem är prioriterade uppgifter. ALE med inbyggd kinetisk verkansdel förutsätts även ingå i en heterogen svärm av ALE som opererar djupt in på av motståndaren kontrollerade områden.

I ett kortare utvecklingsspår har olika typer av ALE avfyrats från UAV:er och bemannade helikoptrar. Bland annat så har ALTIUS 600 har avfyrats från en MQ-1C Gray Eagle. Målet är att utveckla ett kombinerat system där ALTIUS 600 kan ge en framskjuten sensor som kan utföra en uthållig spaning, övervakning och målinmätning för långräckviddig bekämpning utan att den större UAV:n löper risk för fientlig bekämpning. Efter att ett flertal MQ-1C Gray Eagle och MQ-9 Reaper har skjutits ned de senaste åren så har både armén och flygvapnet i USA börjat tveka rörande deras lämplighet i framtida konflikter mot kvalificerade motståndare. ALTIUS 600 användes vid denna demonstration till att med sina EO/IR-sensorer undersöka potentiella mål som identifierades genom passiv signalspaning (med en L3Harris Rio Nino) från MQ-1C vilket medförde att MQ-1C kunde agera passivt och aktivera radarsystemet först i samband med bekämpning. Upp till 20 ALE ska i framtiden kunna avfyras från MQ-1C.^{406,407}

Vid en annan demonstration som genomfördes inom ramen för *Project Convergence 2020* fångades ALTIUS 600 UAV:er av en kvadrokopter i slutet av sitt uppdrag. Kvadrokoptern utrustas med en hängande kabel i vilken en ALTIUS 600 med en extra monterad krok flyger in i och fångas. ALTIUS 600 glider

⁴⁰⁶ www.overtdefense.com/2020/07/02/general-atomics-succeed-in-using-gray-eagle-as-a-drone-mothership/

⁴⁰⁷ www.l3harris.com/sites/default/files/2020-07/ims_rms_datasheet_mid_MK18%20Rio%20Nino%20COMINT.pdf

därefter långsamt ned mot marken och får på så sätt en mer skonsam landning. Vid dessa demonstrationer startade även ALTIUS 600 från tuber monterade på en UH-60 Black Hawk.⁴⁰⁸ ALTIUS-600 har även framgångsrikt startat från en Black Hawk på taktiskt relevanta höjder (ned till 30 meter).⁴⁰⁹

Även Northrop-Grumman utvecklar en ALE (Hero ALE) för existerande och framtida helikoptrar där egna tekniker integreras med patrullrobotar från UVision (Hero 120/400). Heroserien av patrullrobotar kan landa med en inbyggd fallskärm och återanvändas även om de praktiska utmaningarna med att hantera och återvinna patrullrobotar med kinetiska verkansdelar är oklara.⁴¹⁰

4.5.3.2.3.3 *Advanced UAS*

Begränsad information finns tillgänglig rörande Advanced UAS vilket troligen beror på att utvecklingen ännu befinner sig i sin linda. US Army har hittills prioriterat utvecklingen av FARA och FLRAA. Advanced UAS förväntas bli en kvalificerad MALE UAV som ersätter MQ-1C Gray Eagle i US Army CAB. Den ska kunna genomföra i första hand RSTA och telekrig (signalspaning och störning av motståndarens sensorer).⁴¹¹ Den är primärt avsedd för offensiva operationer vilket medför behov av en förbättrad överlevnadsförmåga i högnivåkonflikter. Detta innebär exempelvis krav på förbättrade lågsignaturegenskaper, olika typer av självskydd i form av störning mot inkommande robotar samt integrerade jaktrobotar. Ett önskemål kan även vara att den ska kunna operera tillsammans med FARA och FLRAA vilket kan innebära att de bör kunna flyga i liknande hastighet. Men i nuläget finns inte mycket information som tyder på att *Advanced UAS* ska hinna föras in operativt före 2030. Det är troligt att denna utveckling kommer att synkroniseras med US Air Force utveckling av en ersättare till MQ-9 Reaper.

4.5.4 **US Navy**

Department of the Navy omfattar de marina enheterna (US Navy) men även marinkåren (*United States Marine Corps*, USMC) utgör en del av US Navy. US Navy består bland annat av omkring tio *Carrier Strike Group* (CSG) som i sin tur omfattar ett hangarfartyg och dess flygplan (*Carrier Air Wing*) och stödfartyg. Ett hangarfartyg av Nimitzklassen anges (2017) ha två C-2 Greyhound (transport), fyra E-2C Hawkeye AEW&C, fem EA-18G Growler (telekrig), tjugo F/A-18C Hornet (jakt/attack), tjugotvå F/A-18E/F Super Hornet (jakt/attack) och nio helikoptrar (exempelvis av typen SH-60 Seahawk) [41]. US Navy har under

⁴⁰⁸ www.uasvision.com/2020/10/08/us-army-catches-air-launched-effect-drones-in-mid-air/

⁴⁰⁹ verticalmag.com/news/drone-launched-black-hawk/

⁴¹⁰ www.thedrive.com/the-war-zone/39696/northrop-grumman-reveals-sky-viper-chain-gun-and-new-suicide-drone-for-future-helicopters

⁴¹¹ breakingdefense.com/2018/03/artillery-drones-missiles-will-help-fv1-penetrate-air-defenses-fv1-cft/

2020 börjat införa F-35C på hangarfartyg. De är avsedda att användas tillsammans med F/A-18E/F men utifrån planerade upphandlingar så bedöms det även framöver finnas nästan dubbelt så många F/A-18 jämfört med F-35C. US Navy planerar att anskaffa 257 F-35C medan USMC planerar att anskaffa 67 av dessa för placering på hangarfartyg och ytterligare drygt 350 F-35B STOVL (*Short Take-Off/Vertical Landing*) som ersättare bland annat till sina AV-8B Harrier II. US Navy har dessutom omkring 100 ytstridsfartyg (kryssare, jagare, fregatter och *Littoral Combat Ships*, LCS) samt drygt femtio attackubåtar (*Virginia*, *Seawolf* och *Los Angeles*) och 14 ubåtar av Ohioklassen som är utrustade med kärnvapenbärande ballistiska robotar [41].

US Navy har även ca tio *Amphibious Ready Groups* (ARG) som vardera består av tre *amphibious ships* (som finns i flera olika varianter) vars primära uppgift är att transportera marinkårssoldater och deras utrustning för expeditionära uppdrag och ge understöd. Flertalet av dessa *amphibious ships* utgör i praktiken mindre hangarfartyg där både stridsflygplan (Harrier och F-35) och helikoptrar är stationerade. USMC är även i processen att utveckla en ny typ av fartyg, *Light Amphibious Warship* (LAW), där ambitionen är att anskaffa upp till 30 fartyg under perioden 2023 till 2026 [46]. Dessa kommer vara avsevärt mindre än nuvarande fartyg och billigare (omkring 100 miljoner dollar) och ska härbärgera ca 75 marinkårssoldater (*Marine Littoral Regiment*) som även kan utrustas med långräckviddig bekämpningsförmåga. Spaning, övervakning och målinmätning kan utföras med UAV:er. De bedöms vara primärt avsedda för landstigningsoperationer i Stilla havet.^{412,413}

4.5.4.1 Nuläge

US Navy och USMC har använt UAV:er operativt i över 30 år. Framförallt USMC opererar ett stort antal stridstekniska UAV:er, bland annat Black Hornet, Raven, Puma, Wasp, RQ-21 Integrator och InstantEye Mk2 Gen3. US Navy opererar MQ-8B/C Fire Scout på exempelvis LCS. Utöver dessa så har US Navy även infört tre MQ-4C Triton operativt men den långsiktiga planen har varit anskaffa upp till 68 av dessa.⁴¹⁴ USMC har tidigare experimenterat med obemannade helikoptrar för logistik, exempelvis i form av K-MAX i Afghanistan [5,17]. USMC har två operativa (*Early Operational Capability*) MQ-9 Reaper (*Extended Range*) men planerar att anskaffa ytterligare 16 exemplar för operationer i Stilla havet och Indiska oceanen som stöd till *Marine Air-Ground Task Force*.⁴¹⁵ De planerar bland annat att förse dessa med *Intrepid*

⁴¹² news.usni.org/2020/11/19/navy-officials-reveal-details-of-new-100m-light-amphibious-warship-concept

⁴¹³ nationalinterest.org/blog/buzz/oorah-why-marines-new-light-amphibious-warship-future-182330

⁴¹⁴ seapowermagazine.org/navy-orders-one-additional-mq-4c-triton-uav/

⁴¹⁵ seapowermagazine.org/marine-corps-to-procure-18-mq-9-reapers-to-close-kill-chain-general-says/#:~:text=%E2%80%94The%20Marine%20Corps%20plans%20to,in%20the%20Indo%2DPacific%20

Tiger II kommunikations- och telekrigskapslar.⁴¹⁶ Det finns dock indikationer på att US Air Force avskikt att avbryta anskaffningen av MQ-9 i förtid även kommer att påverka marinkårens upphandlingsplaner.⁴¹⁷

4.5.4.2 Utvecklingsprojekt

Den övergripande planen för utvecklingen av obemannade farkoster inom US Navy beskrivs närmare i [47]. De stora mer långsiktiga utvecklingsprojekten inom US Navy som rör UAV:er är MQ-25 Stingray och MUX. US Navy experimenterar även med nya tekniker för taktiska UAV:er ombord på fartyg och V-BAT 128 har i april fått i uppdrag att initialt leverera tre prototypsystem efter att ha vunnit marinens teknologidemonstrationstävling Mi2. Avsikten är att fortsätta utveckla dessa prototyper.⁴¹⁸ Det är troligt att en vidareutveckling av V-BAT 128 eller ett system med motsvarande förmåga snart kommer att ersätta marinkårens RQ-21 Blackjack och utföra spaning, övervakning och målinmätning.⁴¹⁹ USMC leder utvecklingen av UAV:er för automatiserat underhåll i marina miljöer. ONR driver utvecklingen av AACUS-projektet.

4.5.4.2.1 MQ-25 Stingray

MQ-25 Stingray utvecklas till att bli ett obemannat lufttankningsflygplan inom programmet *Carrier Based Aerial Refueling System* (CBARS). MQ-25 flög första gången den 19 september 2019. Målsättningen med MQ-25 Stingray är att öka räckvidden för hangarfartygsbaserade stridsflygplan. F/A-18 Super Hornet bedöms kunna öka sin räckvidd från 830 km till 1300 km vilket medför att hangarfartyget kan befinna sig längre bort från fienden. Det minskar risken för fartyget i en framtida konflikt mot en motståndare med god långgräckviddig bekämpningsförmåga.⁴²⁰

MQ-25 Stingray har en vingbredd på ca 18 meter och den ska kunna starta och landa från hangarfartyg (figur 4.18).⁴²¹ Den anges få en maxhastighet på omkring

20region.&text=The%20two%20are%20operated%20by%20a%20Marine%20UAV%20squadron%20(VMU)

⁴¹⁶ www.nationaldefensemagazine.org/articles/2019/6/7/reapers-to-give-marine-corps-new-set-of-warfighting-tools

⁴¹⁷ www.thedrive.com/the-war-zone/32379/abrupt-end-of-air-force-mq-9-reaper-buys-points-to-new-focus-on-survivable-drones

⁴¹⁸ www.janes.com/defence-news/news-detail/martin-uav-wins-us-navys-mi2-technology-demonstration-competition

⁴¹⁹ www.thedrive.com/the-war-zone/40352/the-marines-are-ditching-their-relatively-young-rq-21-blackjack-drones

⁴²⁰ www.defensenews.com/naval/2020/06/10/if-the-us-navy-isnt-careful-its-new-unmanned-tanker-drone-could-face-a-3-year-delay/

⁴²¹ www.thedrive.com/the-war-zone/17518/exclusive-new-photos-of-boeings-mq-25-tanker-drone-on-the-ramp-in-st-louis, besökt 2020-07-14



Figur 4.18: MQ-25 Stingray, januari 2018 (foto: US Navy courtesy of The Boeing Co., public domain, via Wikimedia commons⁴²²). US Navy planerar att anskaffa totalt 72 MQ-25 Stingray.⁴²³

600 km/h. MQ-25 har smygegenskaper även om den inte har en lika låg radarmålarea som ett flygplan med flygande vinge (som t.ex. RQ-170 Sentinel). Boeing ska under 2021 leverera fyra prototyper (s.k. *engineering and manufacturing examples*) och US Navy planerar att använda MQ-25 Stingray operativt från 2024.

4.5.4.2.2 USMC MUX

Marinkåren har tidigare inom MUX-programmet (tidigare benämnt *Marine Air-Ground Task Force UAS Expeditionary*) haft ambitionen att utveckla en stor fartygsbaserad multiroll VTOL (MALE/HALE) UAV med lång uthållighet (åtta timmar i operationsområdet) och räckvidd (650 km).⁴²⁴ Den var avsedd att utföra ett antal uppgifter, bland annat radarflygplan (AEW), transporter, spaning, övervakning och målinmätning, attack och beväpnad eskort till V-22 Osprey. En tiltrotorlösning har setts som en förutsättning för att ge önskad prestanda och VTOL-förmåga. Under 2019 prioriterade marinkåren de fyra viktigaste förmågorna inför det fortsatta arbetet, nämligen AEW&C, ISR, telekrig och kommunikationsrelä och utvecklade kravbilderna runt dessa. Bekämpning och logistik angavs som sekundära förmågor. Under våren 2020 meddelade dock marinkåren att de bedömer att det inte är möjligt att nå den önskade uthålligheten, med de nyttolaster som behövs för att genomföra dessa uppdrag, med ett fartygsbaserat system. Inriktningen ändrades till att istället se MUX som en familj av system där landbaserade MALE UAV:er kan komma att ge de mer krävande förmågorna som kompletteras med fartygsbaserade mindre UAV:er.⁴²⁵

⁴²² en.wikipedia.org/wiki/Boeing_MQ-25_Stingray#/media/File:Boeing_MQ-25_Stingray.JPG

⁴²³ seapowermagazine.org/navy-to-establish-first-mq-25-stingray-uav-squadron-in-2021/

⁴²⁴ news.usni.org/2019/05/07/marine-corps-wants-mux-to-fly-in-2026

⁴²⁵ news.usni.org/2020/03/10/marines-ditch-mux-ship-based-drone-to-pursue-large-land-based-uas-smaller-shipboard-vehicle



Figur 4.19: Illustration av konceptet för LongShot UAV (illustration: DARPA, public domain⁴²⁶).

4.5.5 DARPA

DARPA leder innovativa forskningsprojekt åt alla försvarsgrenarna. Forskningen utförs av industri, ofta med deltagande från militär. DARPA genomför typiskt högriskprojekt som har en stor militär potential. Den årliga budgeten för DARPA är drygt 3,5 miljarder dollar. De genomför ett stort antal projekt som relaterar till obemannade system, bland annat inom AI-området.⁴²⁷

DARPA finansierade i februari den första fasen i ett nytt projekt benämnt LongShot Drone (figur 4.19). Målet är att designa, utveckla och genomföra flygprov med en UAV som kan släppas från existerande vapenstationer på ett strids- eller bombflygplan och som sedan kan avfyra dagens och nästa generation av jaktrobotar. General Atomics, Lockheed Martin och Northrop Grumman har tilldelats varsitt kontrakt för att skapa varsin preliminär design av en sådan UAV. Multimodala framdrivningssystem anges vara en viktig del av konceptet, med en bränsleeffektiv UAV med lång räckvidd som flyger relativt långsamt som kombineras med effektiva bekämpningssystem.^{428,429} Det som skiljer ut LongShot från andra projekt såsom Skyborg är att det fokuserar specifikt på jaktförmågan inom luftstriden. En viktig aspekt kommer vara hur människan ska leda dessa UAV:er och hur beslut om bekämpning ska tas (med fokus på konceptet meningsfull mänsklig kontroll).

⁴²⁶ www.darpa.mil/program/longshot

⁴²⁷ www.darpa.mil/work-with-us/ai-next-campaign

⁴²⁸ www.defensenews.com/air/2021/02/09/these-three-companies-got-contracts-for-darpas-new-longshot-drone/

⁴²⁹ www.popsoci.com/story/technology/darpa-longshot-drones/

De primära svärmrelaterade projekten som nu genomförs av DARPA är OFFSET (*Offensive Swarm-Enabled Tactics*) och GREMLINS.⁴³⁰ Tidigare genomfördes projektet CODE (*Collaborative Operations in a Denied Environment*) där målet var att utveckla en modulär mjukvaruarkitektur för autonomi och samverkande obemannade farkoster som är robust mot begränsningar och avbrott i datalänkarna.⁴³¹

4.5.5.1 CODE

Ambitionen i projektet CODE var att utveckla metoder för hur en operatör ska kunna övervaka en grupp av obemannade farkoster som övervakar sin egen status och omgivningen och själva föreslår åtgärder för ett koordinerat genomförande av uppdraget till operatören. Farkosterna skulle ha möjlighet att anpassa sig till dynamiska situationer och nya hot. Ambitionen var även att koden skulle kunna integreras på existerande obemannade farkoster.

Ambitionsnivån för DARPA-projekt är normalt sätta högt och det är svårt att bedöma i vilken mån som målen uppnås under projektets gång. Men resultaten från CODE flyttades efter projektets slutförande över till *Naval Air Systems Command* (NAVAIR) som använder det i ett mjukvarupaket för utveckling av autonomi (*Research & Autonomy Innovation Development Environment & Repository*, RAIDER).⁴³²

4.5.5.2 OFFSET

OFFSET kan ses som ett samlingsprogram för svärmforskning som genomförs i olika faser där simuleringsbaserade och experimentella demonstrationer genomförs regelbundet. I april 2020 startades nio olika forskningsprojekt inom olika områden som berör svärmar, bland annat för fysiska testbäddar och utveckling av svärmtaktik. I september genomfördes ett fjärde experiment och demonstration.^{433,434} De delområden som OFFSET prioriterar är autonomi, perception, nätverk och logistik för svärmar samt teamingaspekter mellan svärmar och människor.⁴³⁵

⁴³⁰ www.darpa.mil/program/gremlins

⁴³¹ www.darpa.mil/program/collaborative-operations-in-denied-environment#:~:text=DARPA's%20Collaborative%20Operations%20in%20Denied,in%20denied%20or%20contested%20airspace.

⁴³² www.navysbir.com/n19_3/N193-141.htm

⁴³³ www.darpa.mil/news-events/2020-09-18

⁴³⁴ www.c4isrnet.com/unmanned/2020/04/20/darpa-to-foster-urban-drone-swarm-tech-with-nine-new-contracts/

⁴³⁵ www.darpa.mil/work-with-us/offensive-swarm-enabled-tactics

4.5.5.3 GREMLINS

Mindre, billiga UAV:er har normalt en begränsad räckvidd och uthållighet och en stor utmaning är att förflytta en svärm av dessa till och från operationsområdet så att de får en tillräckligt lång flygtid över själva operationsområdet. Projektet GREMLINS syftar därför till att utveckla teknik för att återta UAV:er in i ett moderflygplan efter ett genomfört uppdrag. De obemannade farkoster som används vid utvecklingen av tekniken har motsvarande storlek som en kryssningsrobot.

Under hösten 2020 genomfördes experiment inom den tredje fasen av GREMLINS där målet var att släppa tre obemannade farkoster och därefter inom trettio minuter återta dessa in i en C-130. De misslyckades dock med några decimeter att komma tillräckligt nära dockningsenheten, där svårigheten bedömdes vara den relativa dynamiken mellan de två farkosterna.⁴³⁶ Den autonominjukvara som utvecklades inom projektet CODE integreras nu även i GREMLINS-farkosterna inför en fjärde fas av projektet.⁴³⁷

4.5.6 Svärmar

Utöver DARPA-finansierade projekt pågår ett stort antal militära forsknings- och utvecklingsprojekt kopplade till svärmar i USA. Tre av dessa beskrivs härnäst.

4.5.6.1 LOCUST

ONR har under ett antal år finansierat forskning och utveckling av svärmtekniker inom projektet LOCUST. LOCUST har använt sig av Coyote UAV:er från Raytheon (figur 4.20). De skjuts ut från tuber varefter de kan flyga i omkring en timme med olika modulära nyttolaster (spaning, telekrig och bekämpning).⁴³⁸ Coyote används även operativt exempelvis i ett system som Raytheon utvecklat för att bekämpa fientliga UAV:er, benämnt Howler, där en fordonsburen radar först kan detektera en UAV varefter en eller flera Coyote skjuts ut. De är utrustade med målsökare och luftbriserande verkansdel.⁴³⁹ Coyote är fysiskt robusta och används även av NOAA (*National Oceanographic and Atmospheric Administration*) för att mäta miljöparametrar inuti orkaner. En svärm av drygt 20

⁴³⁶ www.darpa.mil/news-events/2020-12-10#:~:text=Attempts%20at%20airborne%20retrieval%20of,that%20started%20on%20October%2028.&text=Hours%20of%20data%20were%20collected,the%20docking%20bullet%20and%20GAV

⁴³⁷ www.afcea.org/content/gremlins-use-collaborative-autonomy-technology

⁴³⁸ www.raytheonmissilesanddefense.com/capabilities/products/coyote

⁴³⁹ raytheon.mediaroom.com/2020-03-17-Coyote-Block-2-counter-drone-weapon-approved-for-international-sales



Figur 4.20: Coyote UAV under testflygning med NOAA, 2016 (foto: NOAA, public domain, via wikipedia⁴⁴⁰).

Coyote kan troligen erhållas för en kostnad av under fem miljoner kronor, vilket motsvarar ungefär halva kostnaden för en sjömålsrobot av typen Harpoon.⁴⁴¹

I februari erhöll Raytheon ett uppdrag värt upp till 33 miljoner dollar där syftet är att utveckla en ny version av Coyote (Block 3) där de olika svärmindividerna ska kunna genomföra ISR, precisionsbekämpning och verkansbedömning. De ska kunna skjutas ut från ytfartyg, ubåtar och obemannade yt- och undervattensfarkoster. Flera andra aktiviteter pågår även som fortsättningar av LOCUST.⁴⁴²

4.5.6.2 NPS

Naval Postgraduate School (NPS) genomför ett forskningsprogram riktat primärt mot att utveckla svärmtekniker som skydd mot en attackerande svärm. De utvecklar bland annat svärmtaktiker anpassade för olika scenarion och som ska fungera oberoende av vilka egenskaper som de individuella UAV:erna besitter.⁴⁴³

Advanced Robotic Systems Engineering Laboratory (ARSENL) har även utvecklat och demonstrerat en svärm av drygt 50 UAV:er av flygplanstyp. Demonstrationen genomfördes 2015 och därefter har de genomfört olika experiment där två svärmar har tävlat mot varandra för att försöka landa nära motståndarens flagga samtidigt som de skyddar sin egen flagga. Dessa experiment har setts som ett sätt att skapa innovativa svärmtaktiker och ge exempelvis studenter i de olika försvarsgrenarna en möjlighet att med riktiga UAV:er testa sina algoritmer mot varandra.⁴⁴⁴

⁴⁴⁰ en.wikipedia.org/wiki/Raytheon_Coyote

⁴⁴¹ thesecuritydistillery.org/all-articles/the-american-swarming-programme-part-two-of-three

⁴⁴² www.popsci.com/story/technology/navy-swarming-drones-coyote/

⁴⁴³ nps.edu/-/nps-researchers-developing-the-defensive-playbook-against-large-scale-drone-swarms

⁴⁴⁴ nps.edu/-/arsenl-team-advances-team-vs-team-swarm-research

4.5.6.3 Golden Horde

Projektet Golden Horde är det andra av de tre innovativa tvärvetenskapliga Vanguardprogrammen som syftar till att accelerera utvecklingen och införandet av disruptiva tekniker. I projektet integreras datalänkar på existerande vapensystem med målet att utveckla, implementera, utvärdera och demonstrera förmågor som realiseras med samverkande intelligenta vapensystem. Det betyder att dessa vapensystem som grupp delar data, interagerar samt tar fram och utför samordnade åtgärder eller beteenden. Golden Horde förväntas bidra till att en ökad effekt uppnås till en lägre kostnad. Genom att utveckla innovativa metoder för samverkan förväntas gruppen erhålla en ökad anpassningsförmåga och flexibilitet vid val av mål (som godkänts av en operatör) och även erhålla förmågan att i realtid observera och reagera på motståndarens agerande.⁴⁴⁵

Golden Horde använder en ansats till styrning av samverkande autonomi som kallas för *playbook*, ett interaktionssätt för aktivering och kontroll av team av obemannade enheter som är inspirerat av hur lagidrotter använder sig av förutbestämda (i svärmen förprogrammerade, valbara) taktiska sekvenser (*play calling*) [48,49]. Det integrerade Golden Horde-systemet avser enligt AFRL selektera olika åtgärder eller taktiker (*plays*) som även garanteras uppfylla rådande *Rules of Engagement*. Algoritmerna är regelbaserade på så sätt att fördefinierade kriterier avgör vilken av de förprogrammerade åtgärderna (taktiker) som gruppen ska genomföra. Det ger en predikterbarhet för systemets agerande som även kan valideras.⁴⁴⁶

Programmet avser att under 2022 demonstrera och utvärdera ett integrerat system där olika intelligenta vapen (såsom *Collaborative Small Diameter Bomb I*, CSDB, som utgörs av en modifierad SDB I som utrustats med en Banshee 2 mjukvaruradio från L3Harris) samverkar för att bekämpa mål. Vid en demonstration som genomfördes i februari 2021 släpptes fyra CSDB som etablerade kommunikation sinsemellan och därefter, identifierade, tilldelade och attackerade mål enligt dess fördefinierade regler. Vid en efterföljande demonstration som genomfördes i maj 2021 demonstrerades även att de kunde interagera med JADC2 och därigenom förses med ny målinformation. Vid detta försök släppte två F-16 totalt sex stycken CSDB.⁴⁴⁷

CSDB utgör antagligen en experimentplattform snarare än att en samverkande grupp av CSDB förväntas utgöra ett framtida operativt vapensystem. Ett slutligt beslut har inte fattats rörande om även CMALD (*Collaborative Miniature Air-Launched Decoy*) kommer att implementeras fysiskt och demonstreras. Ambitionen är att istället för att modifiera existerande vapensystem försöka föra

⁴⁴⁵ afresearchlab.com/technology/vanguards/successstories/golden-horde

⁴⁴⁶ www.airforcemag.com/collaborative-bombs-fall-short-in-first-golden-horde-flight-test/

⁴⁴⁷ afresearchlab.com/news/afri-successfully-completes-golden-horde-collaborative-small-diameter-bomb-flight-demonstrations/

in funktioner som kommunikation och processorer, som medger senare införande av samverkande beteenden och autonomi, i nyutvecklade vapensystem. Virtuella modeller utvecklas även som ska medge en snabbare utveckling och försök genom användandet av realistiska digitala tvillingar av olika vapensystem. Colosseum är benämningen på en fullt integrerad LVC-baserad (*Live, Virtual, Constructive*) utvecklings- och demonstrationsförmåga som nu tas fram. Golden Horde är ett stort projekt, US Air Force äskade drygt 70 miljoner dollar för genomförandet enbart under FY2021.^{448,449,450,451}

4.6 Australien

Australien använder operativt ett flertal stridstekniska RPAS, bland annat FLIR Systems Black Hornet 3, DJI Phantom 4 och AeroVironment RQ-12 WASP.⁴⁵² Phantom 4 är en kommersiell UAV utan militär kommunikationslänk och den bedöms vara avsedd primärt för träningsändamål och metodutveckling, samt för inspektionsuppgifter.⁴⁵³ Australiska armén har ca 18 RQ-7 Shadow men en upphandling av en ersättare pågår.^{454,455}

4.6.1 Ny taktisk UAV

Två företag återstår i utvärderingen för att hitta en ersättare till RQ-7 Shadow. Insitu Pacific erbjuder en kombination av RQ-21A Blackjack och ScanEagle III, medan Textron Australia erbjuder Aerosonde Mk4.7.⁴⁵⁶ Aerosonde Mk4.7 kan även enkelt konverteras till Aerosonde HQ med VTOL-förmåga.

4.6.2 MQ-9B SkyGuardian

Australien har behov av uthållig spaningsförmåga över stora områden och de satsar ca 1,3 miljarder australiska dollar i projektet AIR 7003. De planerar att anskaffa 12 beväpnade MQ-9B SkyGuardian, avsedda för främst ISR, telekrig

⁴⁴⁸ www.airforcemag.com/collaborative-bombs-fall-short-in-first-golden-horde-flight-test/

⁴⁴⁹ www.airforcemag.com/air-force-wants-help-teaching-its-weapon-swarm-how-to-think/

⁴⁵⁰ www.defensenews.com/air/2021/02/04/air-forces-golden-horde-swarming-munitions-program-to-get-a-second-chance-this-month/

⁴⁵¹ [www.afri.af.mil/News/Article/2526535/afri-completes-golden-horde-collaborative-small-diameter-bomb-second-flight-dem/](http://www.afrl.af.mil/News/Article/2526535/afri-completes-golden-horde-collaborative-small-diameter-bomb-second-flight-dem/)

⁴⁵² news.defence.gov.au/media/media-releases/australian-army-phantoms-fly-service

⁴⁵³ www.airforce.gov.au/news-and-events/news/phantom-gets-work-air-forces-no-36-squadron

⁴⁵⁴ www.army-technology.com/news/tactical-shadow-200-uas-replacement-tendering/

⁴⁵⁵ adbr.com.au/four-companies-shortlisted-for-army-shadow-200-replacement/

⁴⁵⁶ defense-studies.blogspot.com/2020/11/rq-21a-and-aerosonde-shortlisted-for.html

och precisionsbekämpning, för ett införande omkring 2025. Det slutliga beslutet förväntas komma att tas under 2022.^{457,458}

4.6.3 MQ-4C Triton

RAAF (*Royal Australian Air Force*) har även beställt sex eller sju MQ-4C Triton där de första farkosterna ska levereras under 2023.^{459,460} Den anges kunna övervaka ca 5.2 miljoner kvadratkilometer under ett 24 timmar långt uppdrag. De är avsedda att komplettera RAAF:s nuvarande tolv P-8A Poseidon.⁴⁶¹

4.6.4 Airpower Teaming System (ATS)

Boeing Australias Airpower Teaming System (ATS) är ett kvalificerat obemannat flygplan med en längd på 11,7 m och en räckvidd på över 370 mil.⁴⁶² Det beskrivs som det första inhemskt tillverkade stridsflygplanet sedan andra världskriget. De tänkta uppdragstyperna inkluderar inhämtning, övervakning och spaning (ISR) och luftbevakning. Flygplanet är avsett att genomföra uppdrag självständigt eller agera som stöd till bemannade flygplan. Boeing Australia utvecklar flygplanet tillsammans med RAAF.

Mindre surrogatflygplan har flugits för att testa konceptet och mjukvaran. ATS rapporterades i oktober 2020 ha taxat för första gången och i mars 2021 genomförde Boeing Australia och RAAF den första flygningen med ATS. Nästa steg är att genomföra flygförsök med flera samverkande ATS-farkoster senare under 2021.^{463,464} Simulerade flygprov med hjälp av teknologi som baseras på användningen av *digital twins* användes för att kunna gå från design av ATS till flygning på endast tre år. ATS har till del designats för att erhålla en låg signatur.

Högre nivåer av automation för styrning (med AI-baserade algoritmer) förväntas komma att implementeras i ATS jämfört med exempelvis MQ-9 Reaper. Boeing ATS har en modulär utformning av flygplanets framdel (nos) som kan bytas ut mellan uppdrag. Denna design stödjer anpassningsförmåga till olika militära

⁴⁵⁷australianaviation.com.au/2020/11/defence-will-buy-skyguardian-drones-despite-concerns/

⁴⁵⁸www.defenceconnect.com.au/key-enablers/6355-mq-9b-skyguardian-remotely-piloted-aircraft-support-to-land-forces-and-much-more

⁴⁵⁹www.defenseworld.net/news/27286/Northrop_Grumman_Awarded__333Mn_to_Produce_3_MQ_4C_Triton_UAVs_for_Australia#.YF4Dm69KguU

⁴⁶⁰ australianaviation.com.au/2020/10/northrop-grumman-starts-mq-4c-triton-build/

⁴⁶¹ www.airforce.gov.au/technology/aircraft/intelligence-surveillance-and-reconnaissance/mq-4c-triton-unmanned-aircraft

⁴⁶²www.boeing.com/defense/airpower-teaming-system/

⁴⁶³ boeing.mediaroom.com/news-releases-statements?item=130759

⁴⁶⁴ boeing.mediaroom.com/news-releases-statements?item=130834

förmågebehov, samtidigt som det även ger möjlighet att sätta samman heterogena team eller svärmar där individerna har olika förmågor.

Priset för ATS rapporteras vara konkurrenskraftigt med Kratos Valkyrie, som är projicerat att kosta 2 miljoner dollar för ett så kallat återanvändningsbart (*attritable*) system. Boeing ATS bedöms dock vara mer komplext vilket kan motivera en högre prisnivå. Boeing bedömer att ATS kan användas för olika deluppgifter i luftstrid, telekrig, attack och spaning. Den ska även kunna agera som eskort till tankflyg, luftbevaknings- och stridsledningsflyg, och marina patrulleringsflygplan. Ett bemannat stridsflygplan är tänkt att kunna leda tre eller fyra ATS medan större stridsledningsflygplan kan tänkas rymma kontrollstationer för att leda ett högre antal ATS. [50]

4.7 Kina

Kina har genomfört en omfattande modernisering av PLA (*People's Liberation Army*) de senaste 25 åren. Utvecklingen av obemannade system har varit ett viktigt område i denna modernisering och betydande resurser har allokerats framförallt till utvecklingen av obemannade flygande farkoster [51].

Kina är världsledande i utvecklingen av små kommersiella UAV:er där ett antal länder även använder eller experimenterar med kommersiella UAV:er från DJI på grupp och plutonsnivå. De utvecklar även ett antal olika beväpnade MALE UAV:er och exporterar även dessa i stor omfattning. De verkar dock inte själva ha använt UAV:er i attackuppdrag ännu. Kina har dessutom en omfattande utveckling av smyganpassade UAV:er men denna utveckling är svår att bedöma då endast begränsad information (oftast information som militären vill föra ut) finns tillgänglig i öppna källor. Antalet operativa UAV:er är okänd men när det gäller stora MALE/HALE UAV:er bedöms endast USA ha fler operativa system.

Den stora uppsättningen av UAV:er som förts in operativt bedöms ge PLA ISTAR och precisionsbekämpning till en förhållandevis låg kostnad [51]. Framförallt målinmätning för långräckviddig bekämpning, på land men kanske framförallt till sjöss, ses som en viktig förmåga då det medför att de långa räckvidderna i exempelvis moderna kinesiska sjömålsrobotar kan utnyttjas på ett mer effektivt sätt [4,52]. De används även som kommunikationsrelä och telekrisresurser. Ett användningsområde som nämns är även som en parallell ISR-resurs till satellitsystem i högnivåkonflikter där satelliterna kan komma att slås ut. De används även i säkerhetstillämpningar och som stöd vid naturkatastrofer [51]. UAV:er används som stöd till de traditionella förbanden men digitaliseringen av slagfältet anges öka vikten av signalspaning och en förbättrad situationsuppfattning [53].

4.7.1 Nuläge

Kina har utvecklat ett antal olika UAV:er men endast ett urval presenteras nedan. Kinesiska MALE UAV:er har en relativt låg kostnad jämfört med MQ-9 Reaper men de bedöms inte vara lika avancerade. Bland annat anges att motorutvecklingen ligger efter i Kina. Det är även sannolikt att exempelvis sensorer och signalbehandling samt kommunikationssystem inte är lika avancerade.

Det är svårt att direkt jämföra priser då de påverkas av många olika faktorer men medieuppgifter anger ofta att priset för en Wing Loong I är en miljon USD, Wing Loong II knappt två miljoner USD [53], CH-4 ca 4 miljoner USD och CH-5 under 10 miljoner USD.⁴⁶⁵ I jämförelse anges kostnaden för en MQ-9 Reaper vara mellan 18 och 30 miljoner USD.^{466,467} Kostnaden har ökat de senaste åren på grund av olika uppgraderingar.

4.7.1.1 ASN-209

ASN-209 är en taktisk UAV som huvudsakligen används för spaning, övervakning, målinmätning och verkansbedömning. Den anges även kunna bära nyttolaster för telekrig, kommunikationsrelä och SAR med möjlighet till GMTI. Den utvecklades gemensamt med Egypten. Den kan flyga i upp till 180 km/h och har en uthållighet på 10 timmar. Den kan bära 50 kg nyttolast och den har en raketmotor som används vid uppskjutning och den landar med fallskärm.⁴⁶⁸

4.7.1.2 BZK-005

BZK-005 är en kinesisk MALE UAV, se figur 4.21, som utvecklats av University of Aeronautics and Astronautics i Peking tillsammans med Harbin Aircraft Industry Group. Den har varit i operativ drift inom både marinen och flygvapnet i mer än ett decennium där den genomför spaning, övervakning och underrättelseinhämtning. Den kan flyga på höjder upp till 8 000 meter och bedöms ha en uthållighet på 40 timmar och en räckvidd på 2400 km. Den är normalt utrustad med EO/IR-sensorer och satellitkommunikation. Indikationer finns även att denna UAV har försetts med syntetisk aperturradar samtidigt som den även har signalspaningsutrustning avsedd för att lokalisera mål.^{469,470}

⁴⁶⁵ www.businessinsider.com/chinese-drones-swarm-market-2017-11?r=US&IR=T

⁴⁶⁶ comptroller.defense.gov/Portals/45/Documents/defbudget/fy2021/fy2021_Weapons.pdf

⁴⁶⁷ www.airforcetimes.com/news/your-air-force/2018/11/09/taliban-posts-photos-of-mq-9-reaper-they-claim-to-have-shot-down-us-says-it-simply-crashed/

⁴⁶⁸ en.wikipedia.org/wiki/Aisheng_ASN-209

⁴⁶⁹ www.janes.com/defence-news/news-detail/2020/05/15/353aaaec-5043-4775-ac35-14ac0cdf94e0

⁴⁷⁰ www.bellingcat.com/news/rest-of-world/2015/06/29/satellite-imagery-reveals-chinas-new-drone-base/?utm_source=Sailthru&utm_medium=email&utm_term=%2ASituation%20Report&utm_campaign=SitRep0630



Figur 4.21: Harbin BZK-005 UAV, 2013 (foto: 櫻井千一, CC BY-SA 3.0, via wikimedia commons⁴⁷¹).

4.7.1.3 Rainbow

CASC (*China Aerospace Science and Technology Corporation*) och dess elfte akademi (*China Academy of Aerospace Aerodynamics*, CAAA) har utvecklat ca tio olika UAV:er av olika storlek som benämns *Cai Hong* (CH). De vanligaste UAV:erna, som exporteras till ett antal olika länder, är två MALE UAV:er benämnda CH-4 och CH-5 Rainbow. CH-4 finns tillgänglig både som en ren RSTA UAV och i en version som kan genomföra direkta attackuppdrag. Den har likheter med MQ-9 Reaper utseendemässigt.

CH-4 introducerades 2011 och den har en maximal startvikt på 1300 kg och kan bära upp till 345 kg nyttolast (maximalt sex robotar), se figur 4.22. Den kan utrustas med EO/IR-sensorer och SAR. CH-5 är större, med ett vingspann på 21 meter jämfört med 18 meter för CH-4, och den kan bära ca ett ton nyttolast, exempelvis med åtta AR-1 och åtta AR-2 markmålsrobotar.⁴⁷² CH-5 kan flyga upp till 9 000 meter vilket är lägre än MQ-9 Reaper men den har en avsevärt längre uthållighet på 60 timmar (30 timmar om den bär på åtta AR-1). Produktionsversionen av CH-5 genomförde sin första provflygning 2017. CH-5 är utrustad med EO/IR-sensorer, inklusive hyperspektral sensor, och SAR.⁴⁷³ CH-4 Rainbow saknar satellitkommunikation vilket däremot CH-5 har.

4.7.1.4 Wing Loong

CAIG:s (*Chengdu Aircraft Industry Group*) Wing Loong I (GJ-1) och Wing Loong II (GJ-2) är utrustade med EO/IR-sensorer och kan beväpnas med exempelvis KD-9 och KD-10 pansarvärnsrobotar (figur 4.23). Wing Loong II

⁴⁷¹ commons.wikimedia.org/wiki/File:Harbin_BZK-005_high_altitude_long_range_UAV.jpg

⁴⁷² www.janes.com/defence-news/news-detail/indonesia-receives-first-batch-of-chinese-made-ar-2-missiles-for-its-ch-4-uavs

⁴⁷³ sinodefence.wordpress.com/2017/07/17/production-variant-ch-5-uav-made-maiden-flight/



Figur 4.22: Beväpnad CH-4B som opereras av algeriska armén, 2019 (foto: Zerbout, Public Domain, via Creative Commons⁴⁷⁴).



Figur 4.23: Vänster - Wing Loong I, 2017 (foto: Vitaly V. Kuzmin, CC BY-SA 4.0, via Creative Commons⁴⁷⁵). Höger - Wing Loong II, 2017 (foto: Mztourist, CC BY-SA 4.0, via Creative Commons⁴⁷⁶).

kan bära upp till 12 robotar, exempelvis Blue Arrow 7, TG100 och AR-1 [53]. Den har även en SAR och satellitkommunikation vilket ökar dess räckvidd.

4.7.1.5 GJ-11 Sharp Sword

Hongdu GJ-11 Sharp Sword, se figur 4.24, förevisades offentligt 2019 och det är en MALE UAV med smygegenskaper (låg radarmålarea och termisk signatur).⁴⁷⁷ Den har nyligen tagits i aktiv tjänst i PLAAF där den primärt bedöms vara utvecklad för attackuppgifter som även kan genomföras på djupet inne i fiendligt territorium.

GJ-11 är en av flera UAV:er som nu utvecklas i Kina som har formen av en flygande vinge. Den anges kunna bära exempelvis två 500 kg tunga alternativt åtta 100 kg styrda bomber internt. Status för GJ-11 är oklar, huvudsyftet kan fortfarande vara att använda den som en utvecklingsplattform för att utvärdera och vidareutveckla nyckeltekniker både inom autonomi och smyganpassning för framtida attack-UAV:er.⁴⁷⁸

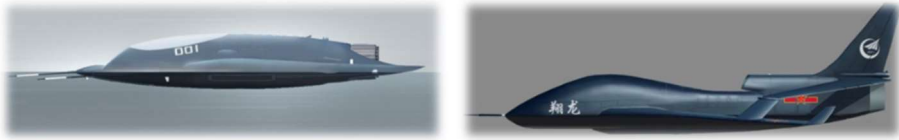
⁴⁷⁴ commons.wikimedia.org/wiki/File:CH-4_UAV.jpeg

⁴⁷⁵ search.creativecommons.org/photos/497853b1-8c39-4087-995a-404c3ee13b70

⁴⁷⁶ search.creativecommons.org/photos/481f10aa-4185-45e5-ac1a-752d04a71fe0

⁴⁷⁷ www.thedrive.com/the-war-zone/30111/china-showcases-stealthier-sharp-sword-unmanned-combat-air-vehicle-configuration

⁴⁷⁸ thediplomat.com/2019/11/chinas-growing-high-end-military-drone-force/



Figur 4.24: Illustration av troligt utseende på GJ-11 Sharp Sword (vänster) och (höger) sidovy av HALE UAV WZ-7 Soar Dragon (illustrationer: Bayweiffight, CC BY-SA 3.0, via wikipedia^{479,480}).

4.7.1.6 WZ-7 Soar Dragon

Guizhou tillverkar WZ-7 Soar Dragon som är en HALE UAV som sedan ungefär fem år är operativ inom PLAAF (figur 4.24). Den används primärt för spaning och övervakning men kan troligen även användas för målinmätning och målutpekningen av fartyg för långräckviddig precisionsbekämpning (exempelvis från ballistiska robotar som DF-21D) eller för elektronisk störning.⁴⁸¹ Den har ett vingspann på 25 meter och kan flyga på 18 000 meters höjd i upp till 10 timmar med en marchfart på 750 km/h.⁴⁸² Den är utrustad med en turbojetmotor och den kan starta och landa på 300 respektive 500 meter.⁴⁸³

4.7.1.7 CH-805

CASC har utvecklat en smygfarkost, benämnd CH-805, som anges vara avsedd för träning av operatörer i luftförsvarsförband och utveckling av jaktrobotar. Den anges ha en radarmålarea på 0,01 m² och den kan flyga i 730 km/h i upp till 40 minuter. Den är omkring fyra meter bred och väger ca 190 kg.⁴⁸⁴ Den beskrivs som en nerskalad version av det amerikanska B-2 flygplanet [54].

4.7.1.8 Patrullrobotar

Kina anskaffade sina första patrullrobotar 1994 då de importerade den israeliska Harpy som var designad för att slå ut luftvärnsradarsystem. Kina använder sedan flera år inhemskt utvecklade patrullrobotar⁴⁸⁵:

- CH-901 är en bärbar tubutskjuten patrullrobot som är 1,2 meter lång, väger nio kg, har en toppfart på 150 km/h och en uthållighet på två

⁴⁷⁹ en.wikipedia.org/wiki/Hongdu_GJ-11#/media/File:Sharp_Sword.jpg

⁴⁸⁰ en.wikipedia.org/wiki/Guizhou_Soar_Dragon#/media/File:Soar_Dragon.jpg

⁴⁸¹ www.china-arms.com/2020/12/wz7-drone-help-carrier-killer/

⁴⁸² en.wikipedia.org/wiki/Guizhou_Soar_Dragon

⁴⁸³ www.china-arms.com/2020/12/wz7-drone-help-carrier-killer/

⁴⁸⁴ defence-blog.com/news/china-to-unveil-new-ch-805-stealth-drone-at-airshow-china-2016.html

⁴⁸⁵ dronecenter.bard.edu/files/2017/02/CSD-Loitering-Munitions.pdf

timmar.⁴⁸⁶ Den har likheter med AeroVirens Switchblade 300 men den är tyngre, har en längre uthållighet och har en tyngre mer potent stridsdel. Multipla CH-901 kan även avfyras från fordonsmonterade kassetter.⁴⁸⁷

- WS-43 kan bära modulära 20 kg tunga stridsdelar, och kan utrustas med signalsökande målsökare. WS-43 anges även använda GNSS-mottagare för sin styrning. Den har en maximal hastighet på 300 km/h, en räckvidd på upp till 60 km och en flygtid på ca 30 minuter. Den skjuts upp från en MLRS (*Multiple Launch Rocket System*) där sex fordon i en bataljon ska kunna avfyras upp till 90 patrullrobotar.⁴⁸⁸
- ASN-301 är en signalsökande patrullrobot som har möjlighet att attackera radarstationer inom frekvensområdet 2-16 GHz på avstånd upp till 25 km. Den anges ha stora likheter med Harpy. ASN-301 anges vara 2,5 meter lång, väger omkring 135 kg, kan flyga i hastigheter upp till 220 km/h och den har en uthållighet på fyra timmar. Den skjuts upp från ett fordon som är utrustad med sex kassetter.⁴⁸⁹

Kinesiska företag utvecklar även mindremultitrotor-UAV:er som kan utrustas med exempelvis kulspruta och granattillsats. Ett exempel är den två meter långa helikopterliknande UAV:n Blowfish A3.⁴⁹⁰ Shenzhen Portability & Precision Technology Co. utvecklar Qingzhun som är en VTOL UAV som väger 35 kg. Den har en uthållighet på 30 minuter och kan avfyras upp till 15 granater.⁴⁹¹

4.7.2 Utvecklingsprojekt

Kina studerar ett stort antal olika typer av UAV:er och de undersöker de flesta av de koncept som även utvecklas i USA. De utvecklar exempelvis UAV:er med VTOL-förmåga som bland annat kan skapas med tiltrotorteknik och även en 35 gram lätt nano-UAV som liknar Black Hornet PRS.^{492,493,494,495}

Kina har under det senaste årtiondet genomfört flera parallella forsknings- och utvecklingsprojekt riktade mot signaturanpassade UAV:er som har formen av en

⁴⁸⁶ nationalinterest.org/blog/reboot/chinas-quest-loitering-munitions-aka-suicide-drones-168566

⁴⁸⁷ www.uasvision.com/2017/08/02/chinas-new-hexacopters-and-loitering-munitions/

⁴⁸⁸ www.militarydrones.org.cn/ws-43-loitering-munition-system-p00202p1.html

⁴⁸⁹ www.israeldefense.co.il/en/node/28716

⁴⁹⁰ www.globaltimes.cn/content/1149168.shtml

⁴⁹¹ www.globaltimes.cn/content/1054897.shtml

⁴⁹² www.smd-uav.com/En/Zpro/index/id/6.html

⁴⁹³ www.foxtechfpv.com/

⁴⁹⁴ www.militarydrones.org.cn/ch-10-tiltrotor-drone-china-price-manufacturer-procurement-portal-p00148p1.html

⁴⁹⁵ www.scmp.com/news/china/military/article/3123801/chinese-military-micro-drone-unveiled-abudhabi-weapons-show

s.k. *Blended Wing Body*, liknande nEUROn och Northrop-Grumman X-47B. Exempel på liknande system som är under utveckling i Kina är GJ-11 Sharp Sword, CH-7, Sky Hawk och FL-2. Information om prestanda för dessa UAV:er är dock begränsad och den bör även tas med försiktighet då den i vissa aspekter bedöms vara något överdriven. De exempel som ges nedan är avsedda att visa på bredden i utvecklingen men flera andra liknande utvecklingsprojekt pågår.

4.7.2.1 Fengniao

Huaqing Innovation har utvecklat något som ser ut som en kopia av FLIR Black Hornet PRS, benämnd Fengniao. Båda har en vikt på lite drygt 30 gram och en flygtid på ca 25 minuter men Fengniao anges ha ett utbytbart batteri vilket ska ge möjlighet att snabbare få upp den i luften igen. Fengniao beskrivs även ha fyra enkla lasersensorer i olika riktningar vilket ska ge möjlighet att detektera och väja för hinder såsom väggar. Den har även en datalänk som ger möjlighet att utbyta information direkt mellan UAV:erna och på så sätt kunna operera upp till 16 enheter samtidigt i en svärm. Den anges även kunna kommunicera på avstånd upp till två kilometer (frisiktsförhållanden) och kan styras från en smartphone.⁴⁹⁶

4.7.2.2 CH-10

CAAA utvecklar även en taktisk UAV som ska kunna starta och landa vertikalt och hovra med tiltrotorteknik. Den bemannade amerikanska helikoptern V-22 Osprey använder samma typ av teknik, vilket ger den möjlighet att flyga antingen som en helikopter eller som ett propellerflygplan. CH-10 anges kunna operera från jagare och fregatter och utföra spaning, övervakning, målinsamling och relä radiokommunikation.⁴⁹⁷ Status för utvecklingen är dock okänd.

4.7.2.3 CH-7

Den tio meter långa HALE UAV:n CH-7 har vissa likheter med X-47B. Den har ett vingspann på 22 meter och en maximal startvikt på 13 ton. Dess höga flyghöjd och hastighet, långa uthållighet (15 timmar) samt dess smygegenskaper gör att den är väl anpassad för att genomföra ISTAR, målutpekning och även attackuppdrag på djupet och i avreglingszoner. Den bedöms komma att utrustas med en turbofläktmotor som ger en marschfart på 740 km/h och en högsta

⁴⁹⁶ sg.news.yahoo.com/chinese-military-micro-drone-unveiled-123926517.html?guccounter=1&guce_referrer=aHR0cHM6Ly93d3cuZ29vZ2xlLmNvbS8&guce_referrer_sig=AQAAADNjhlM8t7dbmaOFqjk_bTcGD4GnzCwsNehGeitu00xYICQJdLSNW5aY8OLy57aN-uS5jFsn9Lc_-lbs3qef0nWoO9EgFMV3mH9v6wgrRjNVZuOouR5HKvBtrFGimIwsgFOjSOp6okerkZz1xdipBosgyHIPoQXTtWX_xMxjriH9

⁴⁹⁷ www.globaltimes.cn/content/1125359.shtml

hastighet på 930 km/h.^{498,499} CH-7 utrustas med interna utrymmen för vapen och anges komma att bära signalsökande robotar och mark- och sjömålsrobotar och långgräckviddiga precisionsbomber. Även CH-7 utvecklas av CAAA.⁵⁰⁰ Den presenterades första gången 2018. Status på utvecklingen är svår att bedöma men flygprov anges ha genomförts under 2020.⁵⁰¹

4.7.2.4 Dark Sword

Aviation Industry Corporation of China (AVIC) utvecklar tillsammans med *Shenyang Aerospace University* en serie av smyganpassade UAV:er inom programmet AVIC 601-S. An Jian (Dark Sword) är en UAV där målsättningen är att utveckla en hypersonisk UAV med goda manöveregenskaper men eventuellt med sämre smygegenskaper än de andra UAV:erna i serien.⁵⁰² Andra bedömare anger att den nuvarande designen kan nå en maximal hastighet av Mach 2.⁵⁰³ Nuvarande design förväntas inte ge goda manöverprestanda i hypersoniska farter. Dark Sword bedöms vara 10 meter lång och ha ett vingspann på 14 meter och förväntas kunna bära två ton nyttolast. Projektgruppen erhöll även ett nationellt pris 2017 (*National Science and Technology Advancement*) vilket anges indikera att utvecklingen kommit långt.

Endast begränsad information har släppts från officiella källor. Dess utformning, som har vissa likheter med stridsflygplan som F-22 Raptor, F-35 Lightning II och den kinesiska J-20, antyder att den kan vara avsedd för uppdragstyper som kräver extrema flygprestanda (troligen inhämtningsuppdrag och målinmätning på djupet, eller på sikt även defensivt luftförsvar).⁵⁰⁴

4.7.2.5 WZ-8

Vid sjuttioårsparaden 2019 förevisades WZ-8 som är en 12,1 meter lång UAV med ett vingspann på 5,6 meter som är designad för hög fart och höjd. Bilderna indikerar att den drivs av dubbla raketmotorer (då den saknar luftintag) och överifierade analyser ger vid handen att de skulle kunna flyga på höjder över 30 km i hastigheter omkring Mach 4.⁵⁰⁵

⁴⁹⁸ www.sae.org/news/2018/11/the-ch-7-china%E2%80%99s-latest-unmanned-combat-air-vehicle

⁴⁹⁹ www.cbsnews.com/news/china-stealth-combat-drone-ch-7-under-development-middle-east/

⁵⁰⁰ www.globaltimes.cn/content/1125928.shtml

⁵⁰¹ www.c4defence.com/en/ch-7-made-its-maiden-flight/

⁵⁰² en.wikipedia.org/wiki/AVIC_601-S

⁵⁰³ www.thedrive.com/the-war-zone/21324/image-of-chinas-stealthy-dark-sword-fighter-like-combat-drone-emerges

⁵⁰⁴ nationalinterest.org/blog/the-buzz/dark-sword-chinas-mysterious-robotic-stealth-fighter-has-26175

⁵⁰⁵ www.thedrive.com/the-war-zone/30121/chinas-high-speed-recon-drone-is-rocket-powered-and-all-about-doing-what-satellites-cant

WZ-8 har vissa likheter med den amerikanska D-21 Tagboard som infördes operativt 1969 och användes av CIA och US Air Force framförallt i inhämtningsuppdrag. Den kunde flyga i Mach 3 med dess ramjetmotor och den navigerade med stöd av ett integrerat tröghets- och stjärnnavigationssystem. D-21 startade från en B-52 och landade inte utan självdestruerades efter att den släppt sin nyttolast (kamera och film). Även WZ-8 släpps från ett större bemannat flygplan (troligen ett H-6N bombflygplan) men den landar på en landningsbana. Det är oklart om raketmotorerna är utbytbara eller kan återanvändas. WZ-8 kan eventuellt även vara utrustat med ett stjärnnavigeringssystem med tanke på dess troliga flygprofil som eventuellt i första hand utgörs av en förplanerad rutt.

Status är osäker för WZ-8. De UAV:er som förevisades kan antingen ha utgjorts av tidiga prototyper eller mer mogna förserieindivider. Den kan även vara avsedd att komplettera eller ersätta spaningssatelliter för ISR i högnivåkonflikter.

4.7.2.6 FL-2

Zhongtian Feilong Intelligent Technology utvecklar även ett delvis smyganpassat transportflygplan benämnd FL-2 (Feilong-2 eller Flying Dragon-2). Den maximala startvikten är 22 ton, den kan bära upp till sex ton nyttolast och flyga på upp till 15 000 meters höjd i en högsta hastighet av 900 km/h. Den anges få en uthållighet på 10 timmar och en räckvidd på 7 000 km.⁵⁰⁶ Den angavs 2019 vara i en konceptfas och i april 2021 hade den första prototypen utvecklats.

Den anges förutom transport även kunna genomföra långräckviddiga bombuppdrag, exempelvis mot fientliga ledningscentraler, flygbaser eller hangarfartyg. Ett möjligt alternativ är även att den i framtiden används som långräckviddigt moderskepp för svärmar av UAV:er. Den beskrivs ibland som ett billigare kinesiskt alternativ till B-21 Raider.⁵⁰⁷

Företaget utvecklar även en UAV, FL-71, som ska kunna flyga i en maximal hastighet på 2 200 km/h i upp till en timme på 15 200 meter eller med en marschfart på 850 km/h på drygt 9000 meters höjd.⁵⁰⁸

4.7.2.7 Svärmar

Kina har en omfattande utveckling av samverkande svärmar av UAV:er där ett flertal aktiviteter har genomförts. Exempel på militärt relaterad svärmutveckling i Kina inkluderar bland annat:

⁵⁰⁶ www.inceptivemind.com/chinas-fl-2-stealth-transport-drone-flying-wing-design/9918/

⁵⁰⁷ www.scmp.com/news/china/military/article/3130471/chinese-firm-claims-new-stealth-drone-may-rival-us-air-forces-b

⁵⁰⁸ asianmilitaryreview.com/2019/06/chinas-next-generation-unmanned-assassins/

- CETC (*China Electronics Technology Group Corporation*) har genomfört experiment med svärmar av UAV:er av flygplanstyp åtminstone sedan 2016. I juni 2017 genomförde de ett svärmexperiment med 120 UAV:er där svärmen som helhet genomförde deluppdrag och där grupper även bröt sig ut och utförde andra deluppdrag [30].
- I december 2017 genomförde NUDT (*National University of Defense Science and Technology*) experiment med drygt 20 små obemannade UAV:er av flygplanstyp som genomförde ett koordinerat spaningsuppdrag [30].
- 2019 presenterade *Ziyan UAV* en svärm med 10 UAV:er (Blowfish A2/A3) av helikoptertyp som kan samverka och starta och landa, flyga i formation och koordinerat utföra en attack. De kan utrustas med olika typer av vapen.⁵⁰⁹
- CAEIT (*China Academy of Electronics and Information Technology*), som är en del av CETC, genomförde under hösten 2020 en demonstration av en svärm av patrullrobotar som sköts ut från en lastbilsmonterad kassett med 48 celler. De släpptes även från helikopter med fallskärm. De patrullrobotar som användes kan ha utgjorts av kinesiska CH-901.^{510,511,512}
- Företaget Zhongtian Feilong har även demonstrerat att de kan släppa mindre UAV:er från en taktisk VTOL UAV vilket öppnar för att (på sikt) använda större UAV:er som moderskepp för att förflytta en svärm (vars individer har begränsad uthållighet) närmare operationsområdet.⁵¹³

4.7.3 AI

Kina satsar betydande forsknings- och utvecklingsresurser inom AI, både på nationell och regional nivå, och de ser AI som en nyckelteknik i många framtida kommersiella, säkerhetsmässiga och militära system. Exempelvis satsar staden Tianjin mer än 130 miljarder kronor på lokalt förankrad forskning och utveckling inom AI medan den kinesiska staten 2018 beslöt att satsa ca 17 miljarder kronor på en AI-fokuserad teknikpark i västra Peking.^{514,515} Kina har som uttalad målsättning att bli världsledande inom AI före 2030.

⁵⁰⁹ www.globaltimes.cn/content/1149168.shtml

⁵¹⁰ www.thedrive.com/the-war-zone/37062/china-conducts-test-of-massive-suicide-drone-swarm-launched-from-a-box-on-a-truck

⁵¹¹ www.scmp.com/news/china/military/article/3105670/china-tests-swarm-suicide-drones-launched-truck-and-helicopters

⁵¹² www.militaryfactory.com/aircraft/detail.asp?aircraft_id=2356

⁵¹³ www.janes.com/defence-news/news-detail/chinese-company-zhongtian-feilong-unveils-uav-mothership

⁵¹⁴ internetofbusiness.com/chinese-artificial-intelligence-fund/

⁵¹⁵ www.forbes.com/sites/cognitiveworld/2020/02/09/why-the-race-for-ai-dominance-is-more-global-than-you-think/?sh=343b15f0121f

Kinesiska forskare publicerar numera fler vetenskapliga artiklar och ansöker om fler patent än amerikanska forskare gör. Det forskningsområde där kinesiska forskare är som mest aktivt är inom tal- och bildigenkänning och majoriteten av de ca 1200 kinesiska företagen som arbetar med AI-tekniker är aktiva inom det området. Denna utveckling innebär dock inte automatiskt att Kina kommer att ta täten inom AI-området då exempelvis antalet originella och innovativa publikationer och patent anges vara jämförelsevis lågt. AI är ett öppet forskningsområde där algoritmer är tillgängliga för alla. Industrin bedöms prioritera att applicera existerande algoritmer snarare än att bedriva banbrytande forskning och utveckling.⁵¹⁶

I [55] analyseras drygt 50 tidskriftsartiklar inom AI och framtida vapensystem som skrivits de senaste fem åren av experter från militären, industri och akademien. Ett antal applikationer för AI ges, framförallt obemannade farkoster, smarta (*intelligentized*) vapen och satelliter, samt mjukvara för spaning och övervakning, automatiserad cybersäkerhet, beslutsstöd samt kognitiva telekrigssystem. I artiklarna beskrivs området AI i vapensystem typiskt som att själva beslutsfattandet involverar autonomi eller automation på något sätt. De fyra viktigaste slutsatserna som framkom är att: (i) AI och framförallt maskininlärningsmetoder (*Machine Learning*, ML) kommer att förbättra detektion, målinmätning och bekämpning genom förbättrad ISR, smart ammunition och ökad användning av UAV:er, (ii) en ökad användning av AI riskerar att underminera den strategiska stabiliteten framförallt i förhållande till USA, (iii) den militära AI-utvecklingen i USA, och antalet obemannade farkoster som är operativa, tenderar att överskattas vilket riskerar att skapa en kapplöpning inom området och (iv) det finns ett flertal hinder som behöver överbryggas för att möjliggöra utveckling och införande av ML-baserade applikationer. De faktorer som nämns är den tekniska kunskapsnivån hos militär personal, samt bristande tillgång till data och beräkningsresurser. En oro finns även för att AI-tekniken ska spridas utanför landet. Risker för att AI ska orsaka eskalering av en konflikt tas ofta upp, samtidigt som sårbarheten mot så kallade *adversarial examples* i träningsdata och cyberattacker som kan hota ledningssystemen tas upp.

4.7.4 Export

Kina bedöms idag vara den näst största vapenexportören, där tre av de tio största exportindustrierna är kinesiska [56,57]:

- Aviation Industry Corporation of China (AVIC)
- China North Industries Group Corporation (NORINCO Group)
- China Electronics Technology Group Corporation (CETC)

⁵¹⁶ hbr.org/2021/02/is-china-emerging-as-the-global-leader-in-ai

Kina bedöms även vara den största exportören av beväpnade UAV:er. Den framgångsrika exporten fram till omkring 2019 anges främst vara ett resultat av tillgängligheten till kinesiska system och begränsad tillgång till amerikanska och israeliska beväpnade UAV:er. De senaste två åren har turkiska beväpnade UAV:er börjat konkurrera med de kinesiska samtidigt som USA har lättat på exportrestriktionerna och förväntas ta en större marknadsandel av detta snabbt växande marknadssegment.

De kinesiska UAV:erna är inte lika kvalificerade som de amerikanska men många länder har bedömt att de varit tillräckligt bra och har ett pris som är avsevärt lägre.⁵¹⁷ Exporten har även gått till ett flertal utvecklingsländer som bekämpar inhemska grupperingar, bland annat olika grupperingar kopplade till IS. Ett flertal länder anges ha importerat kinesiska UAV:er det senaste årtiondet, bland annat Algeriet, Bangladesh, Egypten, Etiopien, Indonesien, Jordanien, Kazakstan, Myanmar, Nigeria, Pakistan, Saudiarabien, Serbien, Turkmenistan, Förenade Arabemiraten, Uzbekistan och Zambia [53].

4.8 Israel

Israel har sedan slutet av 1970-talet, då de utvecklade UAV:erna Mastiff och Scout, varit ett av de ledande länderna i utvecklingen av militära UAV:er. Mastiff anges av militärhistoriker som den första moderna militära obemannade spaningsfarkosten då den i realtid kunde strömma video, alternativt sända högupplösta stillbilder, till en markkontrollstation. Israel använde med stor framgång obemannade skenmål samt spaningsfarkoster för att lokalisera luftvärnsställningar under Libanonkriget 1982. Under 1990-talet utvecklades flera framgångsrika israeliska UAV:er, såsom Searcher, Hermes och Heron. Då utvecklades även patrullrobotarna Harpy och Harop som kunde cirkla över ett område och leta efter radarsignaler och därefter bekämpa dessa [3].

Israel har en aktiv industrisektor med flera framgångsrika företag och idag utvecklas alla typer av UAV:er i Israel, från enkla stridstekniska till mycket kvalificerade farkoster som Heron TP.

4.8.1 IDF

IDF (*Israel Defense Forces*) använder UAV:er i huvudsak för spaning, övervakning och underrättelseinhämtning. De opererar i huvudsak inhemskt utvecklade system förutom på låg stridsteknisk nivå där de använder kommersiella DJI UAV:er. IDF har opererat beväpnade UAV:er åtminstone sedan 2008 där de anges ha genomfört attacker i de palestinskt kontrollerade

⁵¹⁷ foreignpolicy.com/2018/05/10/china-trump-middle-east-drone-wars/

territorierna [17]. IDF anges nyttja beväpnade versioner av Heron TP, Hermes 450 och Hermes 900 som utrustas med exempelvis Spikerobotar.⁵¹⁸

Israel genomför även s.k. *targeted killings* där palestinska terrorister har attackerats från obemannade farkoster. Högsta domstolen i Israel har även behandlat de juridiska aspekterna av detta och attackerna har bedömts utgöra en proportionerlig respons till det hot dessa personer anses utgöra [58].

4.8.2 Export

Israel bedöms vara en av de tre största exportörerna av UAV:er.⁵¹⁹ Europa är den viktigaste exportdestinationen men de anges ha sålt UAV:er till över 50 länder [59, 17]. Historiskt sett så har dessa bestått av obeväpnade UAV:er avsedda för ISTAR-uppdrag men de har de senaste åren öppnat upp för att sälja beväpnade UAV:er såsom Heron TP till exempelvis Tyskland. Israel exporterar patrullrobotar i en relativt stor utsträckning och dessa har använts i exempelvis konflikten i Nagorno-Karabach. IAI Harop, som är en signalsökande patrullrobot designad för att slå ut luftvärnsradarsystem, har exporterats till Turkiet, Azerbajdzjan, Tyskland och Indien.⁵²⁰ En marin version har nyligen även sålts till ett asiatiskt land för placering ombord på fartyg.⁵²¹

4.9 Turkiet

Turkiet har de senaste åren vuxit fram till ett av världens mest aktiva länder när det gäller användningen av framförallt taktiska RPAS för attackuppdrag. De två stora tillverkarna är Turkish Aerospace Industries (TAI) och Baykar. Inhemskt utvecklade beväpnade RPAS har använts i betydande omfattning internt i sydöstra Turkiet för att attackera Kurdistans arbetarparti (PKK) som under 1984 till 1999 utkämpade en väpnad kamp mot den turkiska staten.⁵²² Turkiet, EU och Nato har stämplat PKK som en terroristorganisation. År 2013 utlyste PKK ett vapenstillestånd men sommaren 2015 utbröt nya våldsamma stridigheter som fortsatt pågår med över 5 300 döda sedan dess.^{523,524} Attacker mot olika kurdiska rebellgrupper och terrorgruppen IS bedöms även ha genomförts i norra Irak och Syrien, samtidigt som turkiska RPAS även använts av andra aktörer exempelvis i inbördeskriget i Libyen och i konflikten i Nagorno-Karabach.

⁵¹⁸ drones.rusi.org/countries/israel/

⁵¹⁹ www.france24.com/en/20191128-israel-s-drone-industry-becomes-global-force

⁵²⁰ en.wikipedia.org/wiki/IAI_Harop

⁵²¹ www.thedrive.com/the-war-zone/38690/ship-launched-version-of-the-israeli-harop-suicide-drone-will-be-sailing-with-an-asian-navy

⁵²² www.ui.se/landguiden/konflikter/kurderna/kurderna-i-turkiet2/

⁵²³ www.huffpost.com/entry/pkk-terror-group-status_b_3289311

⁵²⁴ www.crisisgroup.org/content/turkeys-pkk-conflict-visual-explainer

4.9.1 Bakgrund

Turkiet importerade redan för 25 år sedan sex GNAT 750 från USA. Behovet av dessa spanings- och övervakningsfarkoster motiverades av den militära konflikten med PKK som pågick framförallt i de bergiga sydöstra delarna av landet. UAV:erna användes för att lokalisera PKK-enheter i svårtillgängliga områden med sina videokameror men det tog för lång tid (ca 20 minuter) för turkiskt stridsflyg (i form av F-16) att reagera på denna information vilket innebar att de ofta hann undan.⁵²⁵

År 2006 beställde Turkiet tio obebäpnade Heron 1 från Israel men det tog nästan fem år innan de levererades. De opererades även initialt av israeliska operatörer och det fanns misstankar om att informationen även vidarebefordrades till den israeliska underrättelsetjänsten.⁵²⁶ År 2010 meddelade Turkiet att de utvecklade en obebäpnad RPAS, Anka, som skulle ersätta de israeliska Heron.

Bristerna med obebäpnade RPAS framgick vid olika stridigheter där de tidigt var på plats och kunde filma exempelvis PKK-attacker mot militärbaser i Hakkariprovinsen men där förmågan att snabbt reagera på attackerna saknades. En integrerad *Hunter-Killer* förmåga med beväpnade RPAS var högt prioriterad från den turkiska militären men politikerna i USA godkände inte försäljningen av beväpnade Predator eller Reaper trots upprepade förfrågningar i början av 2010-talet. Detta medförde att Turkiet istället beslutade sig för att påbörja utvecklingen av inhemska beväpnade RPAS. I december 2015 genomfördes en första demonstration där en beväpnad Bayraktar TB2 från en höjd på 400 meter på åtta kilometers avstånd kunde bekämpa ett mål med en lätt laserstyrd bomb.⁵²⁷

Turkiska beväpnade RPAS bedöms ha haft en stor påverkan på konflikten med PKK och sedan 2016 anges över 400 personer ha dödats i sydöstra Turkiet i samband med attacker från RPAS eller från stridsflygplan som letts in av RPAS. Turkiet genomför även riktade attacker (*targeted killings*) mot exempelvis PKK-ledare i norra Irak. I Afrinprovinsen i Syrien 2018 användes TB2 RPAS i stor omfattning och under en tremånadersperiod anges att 449 personer dödades direkt av bomber från TB2 medan över 680 dödades vid attacker där TB2 användes för målinmätning.⁵²⁸

Denna långa historik av användningen av RPAS för attackuppdrag, och de erfarenheter som dessa gett den turkiska militären, kan utgöra en förklarande faktor till det senaste årets militära framgångar som nåtts med dessa.

⁵²⁵ thecorrespondent.com/832/how-turkey-became-a-drone-power-and-what-that-tells-us-about-the-future-of-warfare/110071049088-d67e839e

⁵²⁶ theintercept.com/2019/05/14/turkey-second-drone-age/

⁵²⁷ www.theguardian.com/news/2019/nov/27/revealed-uk-technology-turkey-rise-global-drone-power

⁵²⁸ theintercept.com/2019/05/14/turkey-second-drone-age/

4.9.2 Militär användning

Turkiska beväpnade RPAS har framförallt under det senaste året använts med avsevärd framgång i tre konflikter:

- April 2020, Tripoli: ett förbättrat luftförsvar runt Tripoli, telekrigssystem för basskydd och en ökad tillgång till turkiska TB2 bedöms ha bidragit till att hindra Khalifa Haftars Libyan National Army (LNA) från att erövra Tripoli.⁵²⁹ Libyen beskrivs på sistone ha blivit något av en experimentverkstad för bemannad och obemannad luftstrid.⁵³⁰
- 27 september till 10 november 2020, Nagorno-Karabach: Azerbajdzjan hade anskaffat en modern uppsättning av RPAS och patrullrobotar, främst i form av turkiska TB2 och israeliska Hermes-450/900, Heron och Searcher. Av dessa var endast TB2 beväpnad, samt de israeliska patrullrobotarna Orbiter och Harop. TB2 bedöms ha utgjort en viktig faktor i denna konflikt [60].⁵³¹
- 1-6 mars, Idlib (Syrien): Som ett svar på att 33 turkiska soldater dödades i en flygattack genomförde turkiska mark- och flygstyrkor *Operation Spring Shield* i syfte att stoppa avancemanget av syriska reguljära arméförband mot den turkiskt stöttade koalitionen som kontrollerade områdena i Idlib. Turkiska Anka-S och TB2 genomförde under dessa dagar hundratals attacker och slog ut ett stort antal bepansrade fordon, artilleripjäser och soldater, antingen genom direkt bekämpning eller med målutpekare som ledde in laserstyrda artillerigranater [61].

I [29] diskuteras hur turkiska förband, exempelvis RPAS-operatörer, har deltagit i striderna i exempelvis Libyen och Nagorno-Karabach och hur Turkiet är drivande i utvecklingen mot vad som kan benämnas som den tjänstebaserade krigföringen (*War as a Service*).

4.9.3 Turkiska RPAS

Bayraktar's TB2 är den vanligaste beväpnade RPAS i Turkiet medan drygt 20 Anka av olika versioner har anskaffats [17]. Bayraktar Akinci förväntas föras in operativt under 2021. Dessa tre RPAS beskrivs i kapitel 3.

Bayraktar's TB2 bedöms vara en relativt enkel taktisk RPAS vars framgångar bedöms vara dess låga kostnad och integrerade precisionsbekämpningsförmåga (exempelvis i form av fyra lätta laserstyrda bomber, Roketsan MAM-L och MAM-C). Utvecklingen av TB2 gick förhållandevis fort och flera kritiska

⁵²⁹ www.washingtoninstitute.org/policy-analysis/what-turned-battle-tripoli

⁵³⁰ www.defensenews.com/smr/nato-air-power/2020/08/06/libya-is-turning-into-a-battle-lab-for-air-warfare/

⁵³¹ www.washingtonpost.com/world/europe/nagorno-karabakh-drones-azerbaijan-armenia/2020/11/11/441bcbd2-193d-11eb-8bda-814ca56e138b_story.html



Figur 4.25: Vänster - Bayraktar Akinci, december 2019 (illustration: credit armyinform.com.ua, CC BY 4.0, via wikipedia⁵³²). Höger - Bayraktar Akinci visas upp under Teknofest 2019 (foto: CeeGee, CC BY-SA 4.0, via wikipedia⁵³³).

delsystem baserades ursprungligen på import såsom L3Harris WESCAM CMX-15D (EO/IR-sensorer och laserutpekare), GPS mottagare från Trimble, motor (Rotax 912) och bomblavetter.^{534,535,536} Flera företag har stoppat export till Turkiet av dessa delsystem och de ersätts nu med inhemskt utvecklade alternativ.

Bayraktar Akinci (figur 4.25) är en nyutvecklad RPAS med intressanta egenskaper. Den drivs av två ukrainska turbopropmotorer med upp till 750 hästkrafter vardera och den kan utrustas med satellitkommunikation och en på papperet imponerande sensoruppsättning i form av AESA-radar, SAR GMTI, elektrooptiskt WAS (*Wide Area Surveillance*) och signalspaningsutrustning. Akinci bedöms främst genomföra uppdrag som ISTAR och bekämpning men den kan även fungera som en C3-nod (*Command, Control, Communications*).⁵³⁷ Den ska kunna starta, landa och flyga automatiskt. Akinci kan bära upp till åtta robotar, bomber, kryssningsrobot och eventuellt även luftmålsrobotar.⁵³⁸ Den anges även ha ett GPS-oberoende navigeringssystem men det är oklart om detta påstående verkligen stämmer för längre operationer i telestörda miljöer.

Aksungur är även under utveckling av TAI och den anges få liknande egenskaper som Akinci.⁵³⁹ Den har vid provflygningar flugit i som längst 49 timmar och i 28 timmar med full ammunitionslast (tolv MAM-L).⁵⁴⁰

⁵³² en.wikipedia.org/wiki/Bayraktar_Ak%C4%B1nc%C4%B1

⁵³³ en.wikipedia.org/wiki/Bayraktar_Ak%C4%B1nc%C4%B1#/media/File:BayraktarAk%C4%B1nc%C4%B1_Teknofest2019_(1).jpg

⁵³⁴ www.rcinet.ca/en/2020/10/20/armenia-displays-canadian-technology-from-downed-turkish-drone/

⁵³⁵ www.theguardian.com/news/2019/nov/27/revealed-uk-technology-turkey-rise-global-drone-power

⁵³⁶ www.1lurer.am/en/2020/10/28/Foreign-Import-of-Locally-Built-Bayraktar-TB-2-Turkish-Drone-Parts/346626

⁵³⁷ eurasiantimes.com/kicked-out-of-f-35-program-turkeys-new-akinci-drones-miles-away-from-filling-cracks-left-by-its-ageing-air-force/

⁵³⁸ baykardefence.com/uav-14.html

⁵³⁹ www.tusas.com/uploads/2020/01/aksungur-unmanned-aerial-vehicle.PDF

⁵⁴⁰ www.uasvision.com/2020/09/22/tai-aksungur-flies-28-hours-with-12-smart-ammunition/

Turkiet utvecklar även mindre inhemska patrullrobotar, såsom Kargu och Alpagu, där ambitionen är att även utveckla svärmar av patrullrobotar.^{541,542} Kargu är en rotorbaserad VTOL patrullrobot som används operativt av den turkiska militären sedan början av 2020. Den väger 7 kg och har en räckvidd och flygtid på 5 km respektive 30 minuter.⁵⁴³ Tillverkaren anger att den har inbyggd förmåga att automatiskt detektera, följa och klassificera mål. Kargu användes enligt en FN-rapport vid insatser i Libyen i mars 2020 där de attackerade LNA-förband under deras reträtt från Tripoli [62]. I denna rapport anges att Kargu opererade autonomt under attacken där även val av mål i sådana fall genomfördes autonomt. Att implementera denna förmåga är tekniskt möjlig idag

“The lethal autonomous weapons systems were programmed to attack targets without requiring data connectivity between the operator and the munition: in effect, a true ‘fire, forget and find’ capability” (Final report of the panel of experts on Libya)

men om Kargu användes på beskrivet sätt utgör detta i sådana fall ett avgörande steg i riktning mot operativ användning av vad som kan beskrivas som LAWS (*Lethal Autonomous Weapon Systems*) [63]. Både införandet av Kargu och TB2 i Libyenkonflikten anges vidare bryta mot det vapenembargo som råder [62].

Turkiet har även en aktiv utveckling av specialutvecklade lätta precisionsvapen avsedda för UAV:er, bland annat hos Roketsan och TAI. Ambitionen verkar även vara att försöka integrera samma typ av vapen på UAV:er som de använder på bemannade stridsflygplan.

En ytterligare motivering för Turkiets satsning på utvecklingen av beväpnade, kvalificerade UAV:er anges även vara att de blev utestängda från utvecklingen av F-35 efter deras inköp av det ryska luftvärnssystemet S-400. Detta riskerar att medföra att de får en föråldrad stridsflygplansflotta tills deras inhemska utvecklade stridsflygplan TAI TF-X blir operativt om ett drygt årtionde.⁵⁴⁴

4.9.4 Export

Turkiet har som ambition att exportera även beväpnade RPAS. Framgångarna med exempelvis TB2 i Nagorno-Karabach och Syrien i kombination med det relativt låga priset gör att intresset är stort för dessa. Bayraktar TB2 har exporterats till Turkmenistan, Oman, Pakistan, Qatar och Azerbajdzjan

⁵⁴¹ www.defenceturkey.com/en/content/fixed-wing-loitering-munition-alpagu-to-be-in-the-inventory-of-the-turkish-armed-forces-by-the-end-of-2020-4141

⁵⁴² www.thedrive.com/the-war-zone/34204/turkey-now-has-a-swarming-quadcopter-suicide-drone-that-it-could-export

⁵⁴³ www.stm.com.tr/en/kargu-autonomous-tactical-multi-rotor-attack-uav

⁵⁴⁴ eurasianimes.com/kicked-out-of-f-35-program-turkeys-new-akinci-drones-miles-away-from-filling-cracks-left-by-its-ageing-air-force/

[61,17].⁵⁴⁵ TB2 utvecklas även till del gemensamt med Ukraina som redan har anskaffat tolv TB2 och där ytterligare fem beställts för leverans under 2021. Ukraina planerar också att tillverka upp till 48 TB2 i landet.⁵⁴⁶ Ukraina anges ha genomfört försök med att integrera pansarvärnsroboten Javelin på TB2.⁵⁴⁷ Polen meddelade i maj 2021 att de avser att anskaffa 24 beväpnade TB2. Serbien anges förhandla om att köpa turkiska TB2 och även Saudiarabien är intresserade.^{548,549} Tunisien skrev i december kontrakt på att köpa tre till sex TAI Anka-S.⁵⁵⁰

⁵⁴⁵ baykardefence.com/haber-Akinci-PT-2-A-new-addition-to-Turkeys-drone-inventory.html

⁵⁴⁶ www.thedefensepost.com/2020/11/25/ukraine-turkey-venture-bayraktar-tb2-drones/

⁵⁴⁷ www.defenseworld.net/news/28416/Ukraine_to_buy_5_more_Turkish_Bayraktar_TB2_drones_in_2021#.YGLmBa8zaUk

⁵⁴⁸ www.aa.com.tr/en/europe/serbia-eyes-buying-turkish-made-combat-drones/1996795

⁵⁴⁹ www.aljazeera.com/news/2021/3/16/saudi-arabia-willing-to-buy-turkeys-armed-drones-erdogan

⁵⁵⁰ www.dailysabah.com/business/defense/turkish-aerospace-industries-to-make-1st-anka-uav-export-to-tunisia-local-media

5 Kritiska deltekniker

Prestanda för en obemannad farkost avgörs huvudsakligen av hur följande delområden har realiserats: plattform, sensorer och beväpning, kommunikation, PNT, styrning och ledning samt automatisering och autonomi.

5.1 Plattformsutvecklingen

Obemannade flygande farkoster delar många utvecklingstrender med bemannade flygplan men i detta arbete beskrivs primärt de trender som är specifika för obemannade farkoster. De viktigaste trenderna inom utvecklingen av plattformar (främst flygkropp, framdrivning och energiförsörjning) är:

- anpassningar av kommersiellt tillgängliga små kvadrokoptrar
- gradvis förbättrade energisystem för stridstekniska UAV:er som ger en ökad uthållighet genom hybridsystem som inkluderar bränsleceller [64]
- hybridfarkoster som flyger likt ett flygplan men med VTOL-förmåga som ger en kompromiss mellan enkelhet och uthållighet
- tubutskjutna UAV:er och patrullrobotar som kan integreras på fordon, undervattensfarkoster och flygande farkoster
- obemannade farkoster som understödjer stridsflygplan
- optionellt bemannade farkoster
- UAV:er med supersoniska fartprestanda
- MALE/HALE UAV:er som erhåller militär typcertifiering och som ska flyga i osegregerat lufttrum
- högtflygande plattformar (HAPS) med extrem uthållighet.

5.1.1 Stridsteknisk UAV

Den civila utvecklingen är drivande för stridstekniska RPAS framför allt när det gäller soldatburna RPAS avsedda för plutonsnivå (LSRPAS). I detta storlekssegment pågår militära projekt som modifierar civila multirotor UAV:er (exempelvis Parrot Anafi och Skydio X2D) och anpassar dessa för att uppfylla militärens behov. Det gäller framförallt behoven av ökad fysisk robusthet, säkra kommunikationslänkar, automatiserade funktioner som är funktionella för militära uppgifter och militärt anpassade användargränssnitt. Ett exempel på en sådan utveckling är projektet SRR (se avsnitt 4.5.3.2.1).^{551,552}

För det större segmentet av stridstekniska RPAS (SRPAS) pågår utveckling av tekniker för vertikal start och landning vilket även möjliggör att de kan

⁵⁵¹ www.skydio.com/blog/skydio-autonomous-drone-integration-in-the-u-s-army-srr-program/

⁵⁵² www.defensenews.com/land/2021/02/09/skydio-poised-to-supply-first-tranche-of-short-range-recon-drones/

stationeras på mindre fordon och fartyg. Dessa hybridfarkoster kan förväntas nå uthålligheter på 5-6 timmar inom några år [65].

5.1.2 Taktisk UAV

Taktiska UAV:er har en längre räckvidd och uthållighet än stridstekniska RPA:er och de används för att inhämta information inom hela brigadens intresseområde. Ett flertal utvecklingsprojekt studerar hybridfarkoster som flyger som ett flygplan men som exempelvis förses med elektriska motorer som ger dem förmågan att starta och landa vertikalt. Alternativt utrustas UAV:erna med tiltrotorteknik som gör att de kan ändra flygmod. Trenden är att taktiska UAV:er blir mindre och lättare (några tiotals kilogram) men med en lång uthållighet (mer än tio timmar). Gränsen mellan taktiska och stridstekniska UAV:er flyter ihop då dessa UAV:er har en fysisk karaktäristik som ofta förknippas med stridstekniska UAV:er medan deras uthållighet, hastighet och förmågor mer liknar de för traditionella taktiska UAV:er. De kan transporteras enkelt och de kan hanteras av ett par tekniker. De har även en lägre akustisk, termisk och visuell signatur och en mindre radarmålarea än exempelvis UAV03.

5.1.3 MALE/HALE UAV

Fler länder utvecklar MALE/HALE UAV:er även om dessa inte bedöms bli lika kvalificerade som de nuvarande amerikanska och israeliska farkosterna. De förväntas få en lång uthållighet och möjlighet att bära stora mängder robotar eller styrda bomber. Både USA och Israel utvecklar modifierade MALE UAV:er som anpassas för att uppfylla STANAG 4671, vilket på sikt även ska möjliggöra integration i osegregerat luftrum [66,67].

5.1.4 Loyal wingman och UCAV

Det dominerande utvecklingsspåret i västvärlden är nu att utveckla lågkostnadsfarkoster som ska stödja nästa generation stridsflygplan. De ges smygegenskaper, delvis utifrån design och materialval men även tack vare att de är mindre än bemannade flygplan. Den centrala faktorn i utvecklingen bedöms dock vara den snabba utvecklingscykeln och den låga kostnaden som är avsedd att möjliggöra en större volym av farkoster, vilket medger ett större risktagande med dessa. Gruppsamverkan utgör en viktig komponent för dessa farkoster. Modulära multirolls farkoster är det dominerande utvecklingsspåret och Boeing ATS förses exempelvis med en utbytbar nosdel som möjliggör ett snabbt byte av nyttolast.

Utvecklingen i Ryssland och Kina är istället riktad mot något större obemannade farkoster med prestanda och smygegenskaper som mer efterliknar de hos bemannade stridsflygplan. Dessa förväntas bli mer kvalificerade men även dyrare och de kommer sannolikt göra en mer exklusiv resurs.

5.1.5 Moderna digitala tillverkningsmetoder

En kritisk faktor i utvecklingen av nästa generations stridsflygplan är att bryta den accelererande kostnaden för varje ny generation. Storbritannien bedöms exempelvis ha lagt i storleksordningen 200 miljoner pund per flygplan på utvecklingen av F-35 Lightning II [39]. Kostnaderna för underhåll och uppgraderingar av stridsflygplanen har även de ökat markant.

En utvecklings- och tillverkningsmetod som flera länder hoppas ska möjliggöra både en snabbare utvecklingscykel och lägre kostnader är *digital engineering* [39]. I denna metod används digitala tvillingar som används för att snabbare designa, testa och även genomföra flygförsök med nya tekniska koncept. Olika koncept och designer av flygplanet kan testas och utvärderas virtuellt i simulatorer innan en fysisk prototyp tas fram. Tekniken snabbar upp utvecklingsprocessen avsevärt och gör det möjligt att utvärdera innovativa idéer till en låg kostnad. Metoden bedöms även underlätta för underhåll, samtidigt som modifikationer och uppgraderingar kan utvecklas, integreras och utvärderas på den digitala tvillingen innan de införs på den fysiska farkosten.⁵⁵³

BAE Systems kommer att använda denna teknik i utvecklingen av Tempest. Saab utvecklar tillsammans med Boeing det amerikanska träningsflygplanet eT-7A Redhawk och simulatorer till denna. Den är det första flygplanet som tilldelas prefixet 'e' som betecknar att det utvecklats med denna digitala metod. US Air Force avslöjade nyligen att de med denna teknik på endast ett år utvecklat och provflugit ett koncept för ett nytt stridsflygplan. Boeing använder inom ATS även tekniken för att utveckla autonomi och metoder för samverkan mellan bemannade och obemannade system. Det ger en viktig möjlighet för operatörer att skapa förtroende för autonomin och AI-algoritmer. Tekniken kan även förenkla en certifiering av farkosten och dess autonoma funktioner.^{554,555,556,557}

5.2 Sensorer och beväpning

En UAV kan bära många olika typer av sensorer som t.ex. radarsensorer, elektrooptiska (EO) sensorer, telekrigssensorer, CBRN-sensorer och akustiska sensorer. Valet av sensoruppsättning begränsas främst av farkostens storlek som ofta är avgörande för hur mycket nyttolast den kan bära. Utvecklingen inom framförallt taktiska UAV:er går mot modulära sensoruppsättningar som monteras

⁵⁵³ www.aero-mag.com/tempest-fighter-jet-bae-systems-24082020/

⁵⁵⁴ aviationweek.com/defense-space/boeing-rolls-out-ats-uav-heads-toward-loyal-wingman-demo

⁵⁵⁵ www.popularmechanics.com/military/aviation/a35193710/air-force-secret-new-fighter-jet-digital-engineering/

⁵⁵⁶ www.af.mil/Portals/1/documents/2020SAF/There_Is_No_Spoon_Digital_Acquisition_7_Oct_2020_digital_version.pdf

⁵⁵⁷ www.forbes.com/sites/erictgler/2020/09/15/this-is-not-a-t-7a-redhawk-its-now-the-et-7a-redhawk-its-a-digital-thing-the-air-force-says/?sh=4e4df678632c

inför enskilda uppdrag. Telekrigssystem diskuteras inte närmare i denna öppna rapport men signalspaning, störning och vilseledning från UAV:er bedöms komma att öka kraftigt i omfattning.

5.2.1 Radarsystem

En stor fördel med radar är att de normalt har lång räckvidd men framförallt att de fungerar även under svåra väderförhållanden med t.ex. moln, regn och sandstormar (vädrets påverkan ökar dock för högre radarfrekvenser).

Radarsystem ger även en god förmåga att upptäcka rörliga mål. De största nackdelarna är att de är tunga och har hög energiförbrukning jämfört med EO/IR-sensorer, samt att radarsignalerna kan upptäckas och pejlas på mycket stora avstånd. Radarsystem har typiskt även en lägre upplösning. Dessa egenskaper har medfört att det tidigare främst har varit MALE/HALE UAV:er som använt radarsensorer. Miniaturiseringen av elektronikkomponenter och delsystem har dock medfört att de numera även förs in på taktiska UAV:er.

Flertalet moderna radarsensorer som används i obemannade farkoster använder elektriskt styrbara antenner (AESA) som exempelvis möjliggör skapandet av flera parallella, elektriskt styrbara antennlobber. Ett AESA-system består av ett stort antal små antennelement där varje enskilt element har en egen förstärkare. AESA-antennerna gör det möjligt att mycket snabbt rikta om radarlobben och att variera lobbens bredd och orientering. Förstärkarna i en AESA har tidigare ofta tillverkats av galliumarsenid (GaAs), men idag består de allt oftare av galliumnitrid (GaN) som har en högre verkningsgrad och medger längre detektionsavstånd. Räckvidden begränsas i huvudsak av den maximala utsända effekten, antennens storlek samt tillgänglig kraftförsörjning och kylning.

Ett multifunktionssystem som nyttjar AESA kan potentiellt utföra flera uppgifter samtidigt, såsom [68]: spaning efter luft-, mark- eller sjömål, följning av flera mark- och mål, detektera och följa långsamt flygande farkoster, aktiv störning och signalspaning, styrning av robotar, målavbildning, kommunikation och IFF.

På senare år har så kallade metamaterial för antennen börjat användas, vilket gör det möjligt att bygga relativt små och billiga radarsystem med elektriskt styrbara antenner. De har dock en begränsad räckvidd och upplösning men de kan exempelvis användas för att implementera funktioner som *sense-and-avoid* och möjliggöra svärmbeteende.

5.2.1.1 SAR och GMTI

Två vanliga radarfunktioner mot markmål är syntetisk aperturradar (SAR) och GMTI. SAR skapas vanligen genom att en radar spanar ut från sidan i förhållande till flygriktningen och samlar på sig radarekono som sedan signalbehandlas. Intensiteten i varje bildpunkt beräknas genom en koherent integration av alla bidrag som registrerats i avståndsledd under den tid

radarsystemets huvudlob belyst den aktuella markpunkten (upplösningsscellen). En SAR kan registrera fotolika bilder på långa avstånd, även i dåligt väder. Den kan vanligtvis arbeta i två olika moder: *Strip Map* eller *Spotlight*. Vid *Strip Map* belyser radarn kontinuerligt ett stråk på marken vinkelrätt ut från flygbanan vilket ger en stor yttäckning. I *Spotlight*-mod fokuserar radarn istället på ett begränsat område som belyses under längre tid när sensorplattformen passerar vilket resulterar i en högre upplösning. Antennens huvudlob riktas in tidigt mot aktuellt markavsnitt då farkosten närmar sig och radarbelysningen bibehålls över området under motsvarande sträcka efter att den passerats.

Med GMTI-funktionalitet detekteras rörelser hos markmål. Detta åstadkoms genom att använda flera olika antenner (delaperturer) som monterats separerade i farkostens färdriktning. Därmed kan flera SAR-bilder genereras med små tidsskillnader mellan respektive registreringstidpunkt som vid jämförelse dem emellan används för att detektera mål under rörelse. En annan princip är att använda en avsökande radar med smala lober och utnyttja dopplerskillnaderna för detektion. Denna typ av GMTI-funktion täcker en stor yta, men ger dålig upplösning av målen. Genom att nyttja en GMTI-mod hos en radar (ofta en SAR), kan en mycket stor yta avspanas för att detektera rörliga mål och intressanta mål kan därefter klassificeras med en mer högupplöst mod.

5.2.1.2 Exempel: radarssystem för HALE UAV

RQ-4 Global Hawk är ett exempel på RPAS med en avancerad radar som är konstruerad för att kunna spana över stora områden från hög höjd. Radarn har både SAR- och GMTI-funktion som gör att den kan detektera rörliga mål även genom moln och sandstormar. Radardata behandlas ombord och skickas därefter till markstationen som skapar en stor mosaikbild från dessa bilder innan informationen skickas vidare. Enligt [69] har RQ-4 Global Hawk utformats för att fungera med en operationell räckvidd upp till 25 000 km, på höjder upp till 19 800 meter och med en uthållighet på 40 timmar. Under ett typiskt spaningsuppdrag kan den flyga 8 000 km till ett spaningsområde och på plats under 24 timmar avbilda ett område på 100 000 kvadratkilometer för att därefter återvända till sin flygbas.

Det ursprungliga radarsystemet i RQ-4 opererar på X-bandet (8-12.5 GHz) och de olika radarfunktionerna GMTI och SAR beskrivs ha följande (obekräftade) prestanda:⁵⁵⁸

- en yttäckande GMTI-mod som kan upptäcka rörliga mål inom en radie av 200 kilometer

⁵⁵⁸ www.airvectors.net/avpred_3.html

- en kombinerad SAR-MTI-mod som i *Strip Map* mod ger en upplösning på 6 meter vid en stråkbredd på 37 kilometer på ett avstånd från 20 till 110 kilometer
- en SAR-mod som i *Spotlight* mod ger en upplösning på 1.8 meter över en yta på tio kvadratkilometer.

I Global Hawk Block 40 och i Natos fem RQ-4D Phoenix Global Hawk har radarsystemet bytts ut mot en mer högupplöst syntetisk aperturradar (*Multi-Platform Radar Technology Insertion Program*, MP-RTIP) som anges ha en upplösning på ca 0.3 meter.⁵⁵⁹ Den ger en förbättrad förmåga att upptäcka, följa och framförallt identifiera stationära och rörliga mål, exempelvis långsamtgående markmål eller lågflygande kryssningsrobotar.⁵⁶⁰

5.2.1.3 Exempel: radarsystem för taktiska UAV:er

Radarsystem väger normalt mer än EO/IR-sensorer samtidigt som de har en högre energiförbrukning. Det senaste decenniets teknikutveckling har lett till en miniatyrisering av elektroniksystem som numera medger att även mindre taktiska RPAS kan utrustas med radarsystem. Ett exempel på utvecklingen av små SAR-system med GMTI-funktionalitet kan exemplifieras med systemen NSP-3, NSP-5 och NSP-7.⁵⁶¹ NSP-5 används av RQ-21 Blackjack medan Textron Systems Aerosonde kan utrustas med NSP-3. I tabell 5.1 ges en jämförelse av prestanda för de tre systemen.^{562,563}

5.2.2 EO/IR-sensorer

De traditionellt sett vanligaste elektrooptiska sensorerna för UAV:er opererar i de visuella, nära infraröda och det termiskt infraröda (IR) våglängdsområdena. Det mellanliggande kortvågigt infraröda området (1-3 μm) kan utgöra ett alternativ

Tabell 5.1: Prestandajämförelse för tre olika radarsystem från IMSAR.

Parameter	NSP-3	NSP-5	NSP-7
Vikt [kg]	3.4	7.5	10.9
Effekt [W]	81	130	275
Volym [liter]	6	17	22
Avstånd för SAR med 0,3 m upplösning [km]	10	16.5	22.5
Detektionsavstånd för GMTI [km]	6	12	17

⁵⁵⁹ www.globalsecurity.org/intell/systems/mp-rtip.htm

⁵⁶⁰ www.militaryaerospace.com/communications/article/16719456/northrop-grumman-and-raytheon-to-demonstrate-mprtip-radar-system-on-global-hawk-block-40-uav

⁵⁶¹ www.imsar.com/radar-systems/

⁵⁶² www.unmannedsystemstechnology.com/2019/04/us-marine-corps-selects-sar-payload-for-blackjack-tactical-uas/

⁵⁶³ www.epicos.com/article/390900/texttron-systems-and-imsar-successfully-integrate-and-demonstrate-synthetic-aperture

eller komplement då sensorer i detta våglängdsband ger bilder med liknande karaktär som visuella bilder, men har en bättre penetrationsförmåga genom rök och dimma. De är även mer robusta mot marknära turbulens. I området finns även tillgång till ögonsäkra laservåglängder som kan användas som stödbelysning (under exempelvis nattetid) och för avståndsmätning.

Traditionell spaningsradar kan täcka stora ytor men de ger ofta inte tillräckligt detaljerad information om målen. Typiska EO/IR-sensorer ger däremot en hög upplösning om de använder ett smalt synfält, men detta resulterar i ett s.k. ”sugrörsperspektiv”. I USA har därför stora resurser lagts på att utveckla elektrooptiska spaningssensorer som både ger stor yttäckning spaning och hög upplösning. Dessa system kallas WAPS (*Wide-Area Persistent Surveillance*) och har varit mycket värdefulla för USA i framförallt Afghanistan och Irak. Kontinuerlig övervakning över stora ytor med hög upplösning bedöms även vara viktigt vid uppdrag som territorialövervakning. Tre exempel på WAPS-system är: Gorgon Stare, ARGUS-IS och *Airborne Wide-Area Persistent Surveillance System* (AWAPSS).

Det termiska infraröda området delas i sin tur in i mellanvågs-IR (3-5 μm) och långvågs-IR (8-12 μm). Kontrast uppstår i detta fall på grund av skillnader i temperatur och emissivitet mellan olika objekt. I långvågs-IR (LWIR) finns tillgång till detektormaterial som ej kräver kylning, vilket gör sensorerna mindre, lättare, energisnålare och billigare. Detta göra att okylda sensorer är vanliga i stridstekniska RPAS. En nackdel är dock att de är mindre känsliga för svartkroppsstrålning vilket gör dem långsamma och känsliga för rörelseoskärpa. För spaning över långa avstånd gör okänsligheten hos den okylda detektor-tekniken också att en stor optik behövs, vilket inverkar negativt på storlek, vikt och kostnad. Taktiska RPAS använder därför typiskt kylda termiska sensorer.

Utvecklingen inom signalbehandlingsområdet har varit omfattande de senaste åren, 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. En utmaning 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, framförallt för IR-sensorer där tillgången till representativa referensdataset är begränsad.

5.2.3 Beväpning

I [70] anges fyra förmågebaserade trender kopplade till kinetisk bekämpning: (i) räckvidden förväntas öka med 50 till 100% fram till 2040 på majoriteten av plattformarna, (ii) ökad mognadsgrad för aktiva målsökare med förmåga till automatiska korrekationer vilket ökar träffsannolikheten, (iii) möjligheten att

snabbt fusionera sensordata och centralt koordinera bekämpning och på så sätt skapa massa med utspridda långräckviddiga bekämpningsenheter och (iv) utveckling av effektiva defensiva motmedel (dock med kort räckvidd) som kan skapa skyddade områden lokalt. Även om [70] primärt behandlar artillerisystem så bedöms de övergripande trenderna vara generella även för andra långräckviddiga bekämpningssystem. Denna utveckling förväntas sammantaget leda till ett mer fragmenterat stridsfält med utspridda mindre stridande enheter som strider i och runt avreglingszoner.

Framskjuten spaning och målinmätning med UAV:er i kombination med långräckviddig mark- och sjömålsbekämpningsförmåga kommer utgöra en viktig komponent på framtidens slagfält. UAV:er som ger möjlighet till en noggrann målinmätningförmåga på djupet, samt målutpekning, kan om de kopplas samman med långräckviddiga bekämpningsresurser få en betydande påverkan på stridsförloppet. Motståndarens UAV:er utgör ett allvarligt hot mot egna förband samtidigt som motståndaren förväntas lägga betydande resurser på motmedel mot UAV:er. Även direkt bekämpning med beväpnade UAV:er kan utgöra ett komplement, även om framförallt taktiska UAV:er endast förväntas kunna bära relativt små vapenlaster. Det gäller framförallt om ledningssystemet är utsatt för allvarliga telekrigsattacker, men där egna förband finns i närområdet och kan upprätta direktkommunikation med UAV för godkännande av mål.

Det pågår en snabb utveckling av mindre, lättare precisionsvapen som kan integreras på taktiska UAV:er. Denna utveckling har varit en viktig faktor i exempelvis Turkiets utveckling av taktiska beväpnade RPAS. Även i Ryssland bedrivs ett intensivt utvecklingsarbete för att ta fram vapen specifikt anpassade för UAV:er.⁵⁶⁴ Ett aktuellt exempel är den turkiska Roketsan MAM-L (*Mini Akıllı Mühimmat*) som använts i stor omfattning från Bayraktar TB2 och TAI Anka-S. MAM-L har en semiaktiv lasermålsökare och den kan fällas på avstånd upp till åtta kilometer från målet. Den kan även utrustas med ett enkelt tröghetsnavigeringssystem som stötts av en GPS-mottagare vilket ger den en nästan fördubblad räckvidd. Den kan förses med olika stridsdelar, bland annat en högexplosiv splittergranat avsedd för fordon, radarantennor och mjuka mål eller en verkansdel avsedd för bekämpning av bepansrade fordon. En termobarisk stridsdel finns också som ett alternativ. MAM-L väger 22 kg och kan användas mot stationära och rörliga mål.⁵⁶⁵ En mindre version, MAM-C, som väger 6,5 kg har också utvecklats. Det är sannolikt att dessa kommer att exporteras i en snabbt ökande omfattning då kombinationen av taktiska UAV:er med dessa specialutvecklade vapen ofta beskrivs som kostnadseffektivt.⁵⁶⁶

⁵⁶⁴ www.rbth.com/science-and-tech/333518-details-behind-russias-first-ever-striking-drone

⁵⁶⁵ www.roketsan.com.tr/en/product/mam-l-smart-micro-munition/

⁵⁶⁶ asianmilitaryreview.com/2019/03/roketans-smart-micro-guided-munitions-boost-effectiveness-of-uavs/

Ett annat utvecklingsspår är att samma beväpning integreras på UAV:er som på bemannade stridsflygplan, däribland moderna mark- och sjömålsrobotar samt kryssningsrobotar. UAV:er förväntas även komma att utrustas med avancerade jaktrobotar för att få en viss självförsvarsförmåga. Det har exempelvis genomförts demonstrationer med MQ-9 Reaper där den utrustats med AIM-9X jaktrobot som sköt ned en obemannad målfarkost som simulerade en kryssningsrobot. Samma robot används även på F-35 och F-22.⁵⁶⁷ Detta kan öka nyttan med att operera MQ-9 Reaper tillsammans med bemannade stridsflygplan. Även länder som Iran och Ryssland experimenterar med att utrusta UAV:er med jaktrobotar.^{568,569} Enklare kortsträckviddiga robotar som Stinger har även testats i början av 2000-talet på MQ-1 Predator. Dessa robotar är enklare att integrera på en UAV jämfört med exempelvis AIM-9X och de har en avsevärt lägre kostnad men det är oklart hur stor förmågehöjning de i praktiken kan ge.⁵⁷⁰ Enklare jaktrobotar kan potentiellt ge förmåga att exempelvis bekämpa andra UAV:er. Ett annat scenario är om en grupp av UAV:er genomför ett uppdrag där kunskapen om att kvalificerade jaktrobotar kan finnas integrerade på en eller flera UAV:er kan leda till att motståndarens stridsflyg väljer att hålla avstånd till dessa och tvingas bekämpa UAV:erna med kvalificerade, dyra robotar.

5.3 Människa-teknik-organisation (MTO)

Områdena *Human-Machine Teaming* (HMT) och *Human-Autonomy Teaming* (HAT) är kritiska områden när det gäller vilken operativ effekt som obemannade teleopererade och autonoma farkosterna kommer att kunna leverera. Samverkan

*“The winner of the robotics revolution will not be who develops this technology first or even who has the best technology, but who figures out how best to use it.”
(Paul Scharre, Robotics on the Battlefield Part I: Range, Persistence and Daring)*

mellan bemannade och obemannade farkoster benämns även som *Manned-Unmanned Teaming* (MUM-T). Användargränssnitt, ledningsmetoder och koncept för hur obemannade farkoster ska interagera med bemannade system har en

omedelbar påverkan på exempelvis en operatörs kognitiva belastning och möjligheterna att leda obemannade system som en tillikauppgift, vilka uppdrag som kommer kunna genomföras samt om det blir möjligt för en operatör att leda multipla farkoster. För beväpnade obemannade farkoster utgör även meningsfull mänsklig kontroll (*Meaningful Human Control*, MHC) en avgörande faktor som

⁵⁶⁷ www.foxnews.com/tech/air-force-reaper-drone-fires-air-to-air-missile

⁵⁶⁸ www.forbes.com/sites/davidhambling/2021/01/11/why-iran-is-arming-drones-with-air-to-air-missiles/?sh=1c596e71731c

⁵⁶⁹ www.defenseworld.net/news/28742/Russian_Stealth_Attack_UAV_Okhotnik_Drops_Bombs_from_Internal_Bay#.YNGapugzaUk

⁵⁷⁰ www.wired.com/2012/11/predator-defenseless/

förväntas få en betydande påverkan på utvecklingen och den operativa användningen av dessa.

5.3.1 Styrning av RPAS

De obemannade flygande farkoster som används operativt idag är inte autonoma utan mer eller mindre fjärrstyrda. Små farkoster styrs ofta direkt av en operatör baserat på en realtidsvideo. En ökande grad av automation byggs dock in i dessa RPA:er, främst i syfte att reducera operatörens kognitiva belastning. Ett exempel är Skydio X2D som har en termisk och sju visuella kameror och som med hjälp av AI-algoritmer kan upptäcka hinder och väja för dessa. Den kan cirkulera över ett område, följa ett fordon eller en soldat eller kartera en byggnad autonomt.⁵⁷¹

MALE RPA som MQ-9 Reaper styrs huvudsakligen med autopilot (brytpunkts-navigering) men kan även flygas direkt av en pilot från markkontrollstation baserat på sensor- och telemetridata. Dessa har normalt en tvåmannabesättning som styr farkosten och dess sensorer, analyserar sensordata och genomför bekämpning. De RPA som under uppdraget styrs över satellitkommunikation från traditionella baser (*Mission Control Center*, MCS) använder ofta en framskjuten markkontrollstation i närheten av operationsområdet som har en frisiktsdatalänk till farkosten för att hantera start och landning. En utmaning i Storbritannien anges vara brist på operatörer och de har under 2020 använt sig av inhyrd civil personal för att genomföra start och landning från lokala baser inför genomförandet av uppdrag i Syrien och Irak.⁵⁷² Automatiska funktioner för exempelvis taxi, start och landning (ATOL) är under införande även på stora MALE RPAS såsom MQ-9B SkyGuardian, Heron TP, Hermes 900 och Anka-S. Vissa taktiska UAV:er anges redan ha denna förmåga. Det är dock oklart om denna förmåga är beroende av GNSS-mottagare eller om de system som finns och är under införande även fungerar i telestörda miljöer.

Fokus i USA är utveckling och införande av öppen och standardiserad arkitektur och US Army utvecklar generella kontrollstationer som ska kunna styra ett flertal olika farkoster. Syftet är bland annat att reducera tiden för träning, öka interoperabiliteten, möjliggöra snabbare uppgraderingar och reducera inköps- och integrationskostnaderna. Ett exempel är den handhållna kontrollstationen TOGA H-GCS (*Tactical Open Government Architecture Handheld Ground Control Station*) som ska kunna användas för att styra de små UAV:er som opereras av US Army (förutom FLIR Black Hornet PRS) och flertalet mindre obemannade markfarkoster [5].⁵⁷³ Ett annat exempel är UGCS (*Universal*

⁵⁷¹ www.skydio.com/skydio-x2

⁵⁷² www.theguardian.com/world/2020/aug/19/australian-pilots-drafted-to-help-fly-uk-drones-over-syria-and-iraq

⁵⁷³ www.armyaviationmagazine.com/index.php/archive/not-so-current/889-developing-common-standards-to-improve-interoperability

Ground Control Station) som används som markkontrollstation för större UAV:er såsom RQ-7 Shadow och MQ-1 Gray Eagle.⁵⁷⁴

US Army använder sig även av *One System Remote Video Terminal* (OSRVT) som möjliggör för soldater på marken att styra sensorerna ombord på ovanstående två taktiska RPA:er och få realtidsvideo och annan metadata direkt. OSRVT kan ta emot sensorinformation direkt från obemannade farkoster (Raven, Puma, Predator och Reaper) men även från bemannade farkoster som Apachehelikoptern. Utöver en tablet eller laptop består systemet av en riktantenn och ett radiosystem med en räckvidd på upp till 50 km.⁵⁷⁵

I figur 5.1 visas kontrollstationer för tre RPAS samt en OSRVT. Interoperabiliteten möjliggörs genom STANAG 4586 som syftar till att separera markkontrollstation, farkost och datalänk (figur 5.2) [71].

5.3.2 Framtida teknikutveckling kopplat till MTO-aspekter

Chartered Institute of Ergonomics and Human Factors i Storbritannien har nyligen publicerat en framtidsspaning kopplat till utvecklingen av människan i flygsystemet för perioden fram till 2050 [72]. På kort sikt (2020-2025) beskrivs den mest relevanta teknikutvecklingen för luftstriden röra: (i) interoperabilitet i militära system, (ii) obemannade farkosters inträde i det kontrollerade luftrummet och den urbana miljön samt (iii) systemtänkande för att inkludera aspekter kopplade till människa-teknik-organisation (MTO) mer effektivt inom utformning, produktion, drift, och *safety management* av flygsystem.

För perioden 2025-2035 nämns bland annat ([72]): (i) utökad (adaptiv) automatisering och förstärkt verklighet (*Augmented Reality*, AR), (ii) AI-baserade digitala assistenter som utvecklas utifrån konceptet förklarbar AI (*Explainable AI*, xAI), (iii) kontroll av flera obemannade farkoster från enskilda luftburna eller markbaserade enheter, samt (iv) träningsmiljöer baserade på LVC-konceptet (*Live, Virtual, Constructive*) [73]. Alla dessa teknologier har konsekvenser för flygsystemet som helhet.

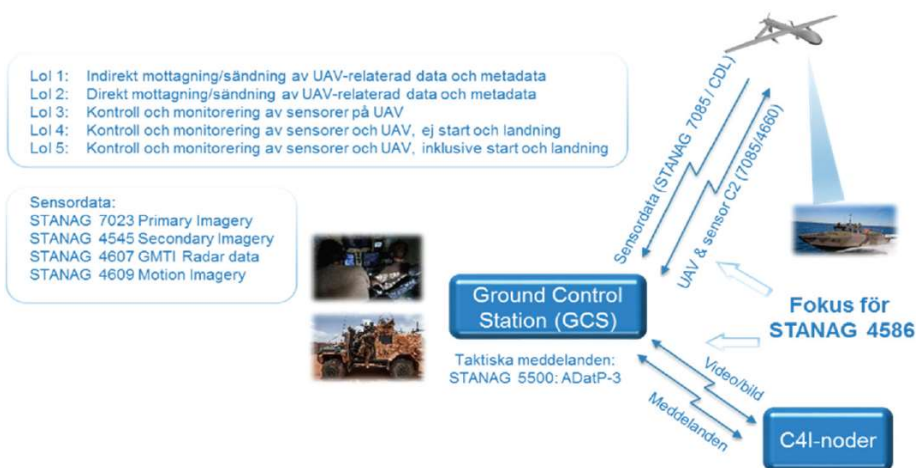
På lång sikt (2035-2050) beskrivs utvecklingsområden som: (i) ökade automationsnivåer inom flygsystem och flygledning, (ii) självanpassande automationsnivåer som kan tänkas tillhandahålla såväl individ- som situationsanpassning som använder biometrisk sensorer, (iii) helintegrerad flygtrafik där flygfarkoster kan kommunicera och koordinera direkt med varandra, bestående av bemannade och obemannade flygplan samt flygplan med passagerare men utan pilot, (iv) anpassningsbar och automatiserad situationsanpassad kontroll av obemannade farkoster genom olika

⁵⁷⁴www.textronssystem.com/products/universal-ground-control-station

⁵⁷⁵www.army.mil/article/239413/one_system_remote_video_terminal_osrvt



Figur 5.1: Övre, vänster: US Army utvärderar alternativa UAV:er inom SRR-programmet där Common Handheld GCS (H-GCS) integreras för styrning av mindre obemannade farkoster (foto: Tad Browning, Visual Information Specialist, U.S. Army Operational Test Command, public domain⁵⁷⁶). Övre, höger: One System Remote Video Terminal (foto: Enigmasoldier, public domain⁵⁷⁷). Undre, vänster: Illustration av markkontrollstation för TB2 (illustration: Bayhaluk, CC BY-SA 4.0, via wikipedia⁵⁷⁸). Undre, höger: Träningsanläggning för MQ-9 Reaper piloter (foto: USAF, public domain, via wikipedia⁵⁷⁹).



Figur 5.2: Översikt över Nato STANAG 4586 som innefattar fem interoperabilitetsnivåer (Level of Interoperability, LoI) [71] (fotografier: Försvarmakten, via www.mil.se).

⁵⁷⁶ www.army.mil/article/238277/infantry_soldiers_test_short_range_reconnaissance_unmanned_aircraft_a_mid_covid_19

⁵⁷⁷ www.army.mil/article/239413/one_system_remote_video_terminal_osrvt

⁵⁷⁸ en.wikipedia.org/wiki/UAV_ground_control_station

⁵⁷⁹ commons.wikimedia.org/wiki/File:9th_Attack_Squadron_-_Trainer.png

automationsnivåer från ensitsiga stridsflygplan, samt hjärna-dator-gränssnitt (*brain-computer interfaces*, BCI) [72]. Dessa teknologier kan därmed sägas utgöra en prioriterad forskningsagenda inför både utveckling och nyttjande. I de kapitel som berör framtida militärflyg nämns dessutom hur AI-utvecklingen förväntas leda till en allt snabbare OODA-loop vilket kan leda till krigföring med maskiners hastighet, samt vikten av att designa för MTO-system som kan bibehålla meningsfull mänsklig kontroll [72] (se även [74,75]).

5.3.3 Human-Autonomy Teaming

Teaming av människa och maskin, pilot och automatisering, bemannat och obemannat har pekats ut som ett FoU-område som är av avgörande vikt för framtida effektivt nyttjande av obemannade system och ökad automatisering [76-79]. Den civila och militära forskningsvärlden verkar vara överens om att utan bra samverkan och samarbete mellan människor och maskiner så kommer potentialen med obemannade system inte nås fullt ut. Detta inkluderar tilltänkta fördelar så som högre tids- och kostnadseffektivitet, styrkemultiplikator, riskreducering för människor, lägre bemanningsbehov, högre prestanda med hjälp av automation, högre operativ flexibilitet, anpassningsförmåga, snabbare och bättre beslutsfattande, högre informationsbearbetningsförmåga, bättre avvikelshantering, minskade träningsbehov, ökad samverkan samt en generellt snabbare OODA-loop [77,79].

Motsatsen till dessa fördelar förutspås uppträda (vilket har visats i forskningen och i en del automationsrelaterade olyckor de senaste decennierna) om inte människa-maskin-samverkan (*teaming*) adresseras på adekvat sätt inom forskning, utveckling och drift [77-81]. På grund av de relativt snabba händelseförloppen och den höga automationsgraden kan dessa problem förväntas ställas på sin spets särskilt inom den framtida luftstriden.

Kruxet på många sätt består i att undvika en naiv eller enbart teknikorienterad inställning av att ”automatisera det som går att automatisera” och lämna det övriga till människor (*left-over principle*). Det är viktigt att endast efter noggranna konsekvensanalyser ersätta mänskliga uppgifter med algoritmer och automation utan istället fokusera på den nytta som människan får ut av automationen och de förutsättningarna som behöver uppnås för att realisera dessa [80,82,83]. Konkret innebär det att målsättningen bör formuleras som att skapa system som kan stödja människor i att hålla sig uppdaterade om den pågående situationsutvecklingen samt stödja dessa i interaktionen med omvärlden. En metod är att designa för möjligheten att vid behov öka graden av mänsklig kontroll över maskin och situation. Det är dessutom viktigt att möjliggöra en förståelse för maskiners agerande och gränser för deras användning, hålla maskiners beteende stabila och vid behov reparera deras omvärldsmodeller för att skapa robusta och situationsanpassade system [77,78,83].

HAT är ett samlingsbegrepp för både en ansats [84] och ett forskningsområde [79] för interaktion mellan människa och dator, eller mer generellt mellan människa och maskin. Metaforen *teaming* hänvisar till aspekter av samarbete, gemensamma målsättningar och koordinering i enlighet med hur människor i lag (som i projekt på arbetsplatser eller inom lagidrott) uppträder. Centrala förmågor för att som *team* genomföra en gemensam uppgift är bland annat att utnyttja och koordinera ömsesidiga beroenden mellan lagmedlemmarnas uppgifter, konflikt-hantering och målförhandling, kommunikations- och koordineringsmekanismer, monitorering och utvärdering av individuellt och gemensamt fortskridande mot satta mål, samt färdigheter inom teamwork som ledarskap och anpassningsförmåga [79,84,85]. Teamarbete anses redan vara en svår uppgift mellan människor och utmaningarna är desto fler när det gäller människa-maskin-teaming [85,84]. En generell utmaning är att konkretisera högnivåteaming-aspekter till implementerbara, validerbara och verifierbara tekniska krav, där designprinciper såsom ömsesidig observerbarhet, styrbarhet och predikerbarhet mellan människa-maskin-lagmedlemmarna verkar vara effektiva för att implementera teaming [84,86,87].

Bland annat följande internationella forskningsdelområden är riktade mot att beskriva, designa, implementera samt utvärdera aspekter av HAT [79]:

- koordineringsmekanismer, kommunikationsspråk och -media, styrning av uppmärksamhet (bl.a. grafiska användargränssnitt, ontologier, röststyrning, BCI, dialogsystem, självanpassande gränssnitt)
- förklarbarhet av artificiell intelligens, särskilt maskininlärning
- implicit kunskap hos experter och etablering av gemensam kunskapsbas
- avstämning och planering av uppgiftsfördelning, funktionsallokering, gemensam samtidig styrning och kontroll på olika automationsnivåer, skiften till högre eller lägre grad av automation, identifiering och överlämnningar av uppgifter eller ansvarsområden
- delad *sensemaking* där människors och maskiners perception behöver kombineras till en gemensam situationsförståelse
- observerbarhet och transparens för agerande (kognitiv modellering, maskiners modeller av människors aktiviteter, design för mänsklig insyn och förståelse för maskiners processer) och implicit och explicit förmedling av avsikter
- anpassningsförmåga, både justerbarhet av människors och maskiners pågående aktiviteter och lämplig självinitierad situationsanpassning av maskiner
- hantering av osäkerhet och oförväntade situationer som ligger utanför planen, utanför maskiners designutrymme eller utanför människors expertis och som kräver anpassningsförmåga hos teamet (resiliens, för att undvika bräcklighet av system som helhet)
- hantering av självlärande och självanpassande automation (AI) utifrån V&V flygsäkerhetssynpunkt (*safety*) och mänsklig (t.ex. befälhavares)

kontroll, samt gemensamt lärande i träning och övning av operatörer och högautomatiserade och lärande system

- förlust av mänskliga färdigheter och omdefiniering av mänskliga uppgifter orsakad av ökad automation (t.ex. mer bevakning och mindre manuell kontroll)
- design för lämpliga grader av (kalibrerad) tillit till automation för att undvika under- eller överförtroende till maskiners förmågor
- gemensam prediktion och *what-if*-resonemang
- relaterade organisatoriska, etiska, moraliska, och juridiska aspekter av en alltmer automatiserad krigföring och arbetsmiljö, samt att bibehålla mänsklig (meningsfull) kontroll över automation som bedöms komma att ta över allt fler delar av sensor- och verkanskedjan
- mätmetoder och indikatorer för verifiering och validering av teaming-aspekter under designfasen, under pågående insatser för att justera teambeteenden vid behov, samt för spårbarhet efter skarp insats.

Natoarbetsgruppen HFM-247 presenterade nyligen en rapport där olika länders forskningsresultat och prototypsystem för flertalet av dessa aspekter diskuteras [79]. Området gör framsteg i takt med att teknikerna för användargränssnitt och människa-AI-interaktion utvecklas men utmaningarna är så omfattande att de kan förväntas bestå på medellång sikt. Teaming och HMI-lösningar kommer fortsatt att utmanas i takt med den allt snabbare tekniska utvecklingen som möjliggör allt kraftfullare beslutsstödsystem och automatiserade beteenden och förmågor.

5.3.3.1 Exempel: Humanfaktorer inom Team Tempest

Humanfaktorer och teaming utgör viktiga komponenter i den brittiska utvecklingen av ett framtida optionellt bemannat stridsflygplan inom Team Tempest. Utvalda pågående aktiviteter runt dessa aspekter beskrivs här som representativa exempel för den industriella utvecklingen inom området.

Flera av de förutsägelser om framtiden som ges i [72] återspeglas i presentationer som Team Tempest grupp för humanfaktorer nyligen har publicerat som berör koncept för styrning och nya koncept inom människa-maskingränssnitt (*Human-Machine-Interface*, HMI) som är under utredning. Team Tempest säger sig snabbt testa många nya teknologier och göra dessa säkrare genom att utvärdera den senaste teknikutvecklingen från industrin och akademien i prov- och försöksverksamhet.⁵⁸⁰ En del av dessa utvecklingar är det nya integrerade cockpitsystemet som inkluderar utvecklingsområden som hjälmen, HMI-teknik och design, kontrollkoncept, uppdragsanalys, autonomi och psykofysiologi. Teamet utforskar även konceptet *Virtual Cockpit Concept* där inga fysiska knappar och displayer förekommer förutom på ett förnyat koncept för HOTAS (*Hands on Throttle-and-Stick*), så att hela cockpiten visas genom hjälburna

⁵⁸⁰ youtu.be/cMJxKpR3Bp4

visualiseringar (*wearable cockpit*).⁵⁸¹ Detta möjliggör nya HMI-teknologier som förstärkt verklighet av omgivningen, spårning av ögon- och handrörelser, multimodal interaktion, insamling av psykofysiologisk data (från hjärtfrekvens till *brain-computer interfaces*) samt individanpassning och snabbare mjukvaruuppdateringar av alla delar av farkostens HMI.

Team Tempest har genomfört workshops för att i mer detalj förstå: (i) krav på, och behov av, mänsklig kontroll och förståelse för automationen, (ii) vikten av lämpliga nivåer av tillit till automationen, (iii) behovet av flexibilitet och dynamik i människa-autonomi-teamet, (iv) att mänsklig kontroll inte nödvändigtvis alltid behöver utövas just i stunden, samt (v) vikten av ökat förtroende för autonoma tekniska förmågor. Fem typbeteenden eller roller som den justerbara autonomin behöver kunna inta beskrivs:

- *passivt* beslutsstödsystem som visar betydelsefull och användbar information för operatören
- *självkritiskt* system som kräver mänsklig auktorisering
- *förklarande* system som kan avdöma och agera men också förklara beslut och varför åtgärder vidtas
- *informativt* system som avdömer och agerar och håller människan informerad
- *tillbakadraget* system där automationen avdömer och agerar utan att kommunicera med den mänskliga operatören.

Detta kan därmed ses som en variant av de mer klassiska automationsnivåerna som möjligtvis är något mer anpassat till språkbruket inom AI. Länken mellan mänsklig operatör och AI i framtiden beskrivs ibland av Team Tempest utgöras av en *Virtual Assistant* [72,88]. Dessa virtuella assistenter utgörs av AI-agenter som ska förklara och hjälpa människan att förstå AI-algoritmer. Att addera ett extra lager, och därmed ökad distans, mellan teknik och operatör är dock inte alltid oproblematiskt [80].

5.3.3.2 Exempel: Enhancing Design for Graceful Extensibility

DARPA har nyligen annonserat ett nytt forskningsprogram *Enhancing Design for Graceful Extensibility* (EDGE) som syftar till att skapa en samling design-verktyg som är avsedda för utformning av människa-maskingränssnitt till höggradigt automatiserade och autonoma system.⁵⁸² Genom att prioritera och orientera dessa verktyg mot att kvantifiera, stödja och testa situationsförståelse avser DARPA att med EDGE skapa HMI-system som gör det möjligt för operatörer att inte bara övervaka autonoma system utan också adaptivt anpassa gränssnitten för att möta operatörernas behov även i oförutsedda situationer.

⁵⁸¹ www.flightglobal.com/defence/team-tempest-partners-detail-fcas-progress/140650.article

⁵⁸² www.darpa.mil/news-events/2021-05-21

Design för att minimera arbetsbelastning medför ofta begränsningar av den information som presenteras för en operatör, vilket kan begränsa möjligheterna för operatörer att förstå situationen korrekt och genomföra passande åtgärder när AI-baserade system inte beter sig ändamålsenligt. Detta är en nackdel med nuvarande AI-system som ofta är bräckliga i sin prestanda i oförväntade situationer, samtidigt som oförväntade händelser i krigssituationer snarare utgör regel än undantag. Utvecklingen i EDGE syftar därmed till att skifta fokus, från att endast syfta till att skapa HMI med en reducerad mental arbetsbelastning till att säkerställa en god situations- och systemförståelse för operatörer som inte är AI-experter. EDGE fokuserar på att stödja en gemensam designutveckling av användargränssnitt från både mjukvaruutvecklare och HMI-designer för bättre teaming av operatörer och komplexa tekniska (AI) system. Detta förväntas även möjliggöra ett förbättrat stöd till operatörernas arbete med framförallt deluppgifterna *Observe*, *Orient* och *Decide* i OODA-loopen.

5.4 Operationer i telestörda miljöer

Dagens RPAS är kritiskt beroende av kommunikation för styrning och ledning, både i form av styrkommandon till flygfarkosten och sensorinformation, telemetridata och annan information till markstationen som möjliggör teleoperation av en RPA. I situationer där kommunikationslänken blir utstörd, och ett taktiskt manövrerande inte gör att farkosten återfår denna, kan farkosten välja att fortsätta att genomföra uppdraget (exempelvis vid spaning längs en förplanerad rutt) eller avbryta och återvända hem eller till en annan i förväg angiven position. Dagens RPAS är dock ofta beroende av GNSS-mottagare för sin navigering och även dessa kan störas ut, eller vilseledas, på stora avstånd [89]. Genom att integrera avancerade störskyddssystem i form av gruppantennor kan en kraftigt ökad robusthet mot störning och vilseledning av GNSS-signalerna erhållas, men även dessa kan störas ut genom att använda en mycket hög störeffekt eller många geografiskt utspridda störare.

Existerande navigeringssystem i taktiska, och MALE/HALE, RPA:er är normalt även utrustade med andra sensorer (främst tröghetsnavigeringssystem, höjdmätare och magnetometer) vilket ger möjlighet att estimeras farkostens position och orientering under begränsade tidsperioder med GNSS-bortfall. Tröghetssensornernas prestanda avgör normalt hur långa GNSS-bortfall som kan hanteras. Under goda visuella förhållanden kan även elektrooptiska sensorer stötta navigeringssystemet. Även radarbaserade höjdmätare kan integreras på större UAV:er. I telestörda miljöer riskerar positionsnoggrannheten att försämrast drastiskt över tiden samtidigt som styrning genom teleoperation inte är möjligt att genomföra. Detta kan medföra att en RPA inte kan utföra sitt uppdrag utan tvingas att avbryta eller i värsta fall riskerar att förloras. Ett antal små RPA bedöms även vara utrustade med GNSS-mottagare som endast använder sig av de öppna okrypterade signalerna (främst GPS L1 C/A-signalen). Dessa mottagare

kan vilseledas och om inte navigationssystemet kan detektera och hantera vilseledningsattacker kan ett telekrigssystem tvinga fram en landning.

En överväldigande majoritet av befintliga RPA:er bedöms inte vara anpassade för operationer i telestödda miljöer då en kombination av störning av kommunikationslänken och dess GNSS-mottagare riskerar att få katastrofala konsekvenser. Ukrainska militära källor anger att de förlorat över 100 UAV:er på grund av ryska telekrigssystem mellan 2015 och 2017.⁵⁸³ Dessa utgjordes sannolikt huvudsakligen av små UAV:er med låg robusthet mot störning och vilseledning. I juli 2016 skickade USA 72 RQ-11B Raven till Ukraina för att förbättra deras spaningsförmåga. Dessa anges dock ha haft de äldre analoga radiolänkarna vilket gjorde dessa till enkla mål för de ryska telekrigssystemen där de även anges ha kunnat se videoströmmen från dessa.⁵⁸⁴

Ryska medieuppgifter anger även att ryska förband vid staden Gjumri i Armenien omkring den 19:e oktober 2020 med hjälp av en kombination av störning av radiosystemet och GNSS-mottagarna orsakat att upp till nio turkiska TB2 neutraliserades.⁵⁸⁵ Gjumri ligger nära gränsen till Turkiet men ca 220 km från gränsen till Azerbajdzjan, vilket skulle kunna indikera att UAV:erna var under transport till eller från Azerbajdzjan vid denna händelse. Även om antalet är ytterst osäkert så finns bilder som indikerar att åtminstone en TB2 kraschlandade vid den tidpunkten. Det ryska telekrigssystemet Krasukha-4 anges ha använts och det har även skyddat ryska baser i Syrien.⁵⁸⁶ Ryska telekrigsförband bedöms ha resurser att både störa ut satellitkommunikations-mottagare och specifika satelliter [25].⁵⁸⁷

5.4.1 Robust kommunikation

Ett motiv för att föra in autonomi i UAV:er är att minska deras sårbarhet mot störning av kommunikationssystemet. Genom att öka autonominivån så reduceras kommunikationsbehovet men även högregradigt autonoma farkoster behöver kommunicera med både bemannade och andra obemannade system. Kommunikationsbehovet påverkas dock av uppdragstypen och av hur automatiserade olika funktioner är.

⁵⁸³ www.thedrive.com/the-war-zone/30741/ukrainian-officer-details-russian-electronic-warfare-tactics-including-radio-virus

⁵⁸⁴ www.reuters.com/article/us-usa-ukraine-drones-exclusive-idUSKBN14A26D

⁵⁸⁵ avia-pro.net/news/razrabotchiki-bayraktar-tb2-nazvali-besplotniki-neuyazvimym-dlya-rossiyskih-kompleksov-reb

⁵⁸⁶ eurasianimes.com/russia-shot-down-a-total-of-nine-turkish-bayraktar-drones-near-its-armenia-military-base-russian-media-reports/

⁵⁸⁷ spacenews.com/future-military-satcom-system-puts-cybersecurity-first/

5.4.1.1 Kommunikationsbehov för MALE RPAS

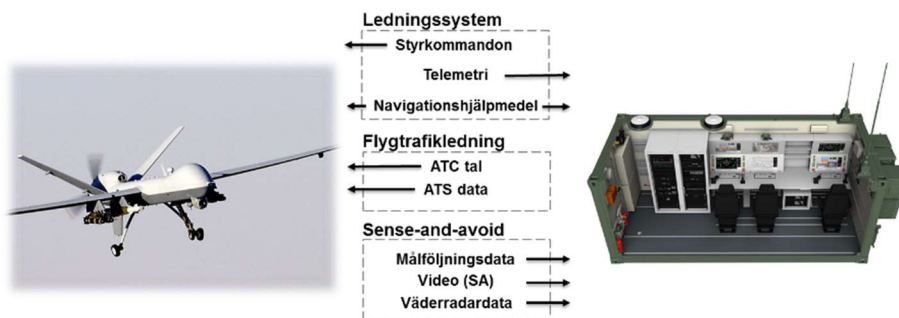
För att möjliggöra flygning med MALE RPAS är bedömningen att följande datatrafik behöver stödjas (se även figur 5.3):⁵⁸⁸

- Uplänk: styrkommandon (4,6 kbps), navigationshjälpmedel (0,7 kbps), flygtrafikledning (ATC) tal (4,8 kbps) och flygkontrolltjänster (ATS) data (0,05 kbps).
- Nedlänk: telemetri (7,6 kbps), navigationshjälpmedel (1,1 kbps), ATC (4,8 kbps), ATS (0,06 kbps), stöd för *detect-and-avoid*, DAA (4,8 kbps), väderradarar (27,8 kbps) och video (270 kbps).

Detta ger ett totalt behov på ca 10 kbps i upplänk och 316 kbps för nedlänken. Dessa databehov är relativt modesta men utmaningen är att säkerställa hög tillgänglighet och låga fördröjningar i telestörda miljöer. De låga datatakterna möjliggör användning av lägre frekvensband. Utöver detta behöver även sensorinformation reläas till markkontrollstationen, eller direkt till militära förband i operationsområdet, beroende på typ av uppdrag. Dessa datamängder är normalt avsevärt högre, men de kan även reduceras genom att analysera sensordata direkt på farkosten (*edge computing*).

5.4.1.2 Kommunikationsbehov för UAV:er med autonoma funktioner

I nedanstående diskussion antas att farkosten har autonom navigerings-funktionalitet. Inhämtningsuppdrag kan troligen genomföras med ett begränsat kommunikationsbehov då de redan idag ofta innefattar analys av sensordata efter uppdragets genomförande.



Figur 5.3: Informationsflöden och trafiktyper mellan RPAS och markkontrollstation [90].

⁵⁸⁸www.icao.int/APAC/Meetings/2017%20RPGITUWRC19/WRC19RPG25_RPAS_LOS_Links_BobKer_czewski.pdf

Vid ett spaningsuppdrag avgörs kommunikationsbehovet delvis av hur automatiserad sensoranalysfunktionen är. Om en operatör eller specialutbildad analytiker ska analysera sensorinformationen behöver sensorinformation fortsatt skickas från farkosten till dessa i nära realtid. Om funktionerna detektion, klassificering, lokalisering och målföljning kan genomföras automatiskt på farkosten kan datatakterna reduceras kraftigt.

Om farkosten även ska genomföra målinmätning inför långräckviddig precisionsbekämpning så ökar kraven på datatakt igen då operatören sannolikt behöver ha ett mer detaljerat underlag för att kunna besluta om bekämpning. Vid spaningsuppdrag utgör risken för felklassificering vid den automatiska analysen, eller en bristande förmåga att detektera och identifiera civila i området, möjligen inte ett allvarligt hinder för skapandet av en lägesbild. Inför ett bekämpningsbeslut kan dock en sådan felklassificering bli ödesdiger. Vid en sådan användning krävs sannolikt en mindre risk för felklassificering än vad automatiserade algoritmer förväntas kunna ge under åtminstone ett årtionde framåt. Även om automatiserad sensoranalys med maskininlärningsmetoder har gjort stora framsteg de senaste fem åren så kommer det sannolikt dröja lång tid (åtminstone femton till tjugo år) innan de har eliminerat risken för felklassificering. Det gäller framförallt i mörker där IR-sensorer måste användas.

Ett liknande resonemang kan föras när det gäller direkt bekämpning från en UAV, där de förväntade kraven på meningsfull mänsklig kontroll bedöms förutsätta att operatören har en god situationsuppfattning. För att minimera tiden från upptäckt av mål till insatsbeslut förutsätts att operatören kontinuerligt har tillgång till viktiga delar av sensorinformationen.

Obemannade *loyal wingman* är exempelvis avsedda att förbättra pilotens lägesuppfattning genom att spana med sina sensorer framför detta, samt även genomföra målinmätning. Detta förutsätter kommunikation mellan farkosterna men det är oklart hur mycket information som bör skickas till det bemannade stridsflygplanet och hur mycket signalbehandling som kan utföras på den obemannade farkosten.

En obemannad farkost behöver även delge andra farkoster information, om dess status och stridsvärde, samt vilka sensorer, beväpning och förmågor den har, för att möjliggöra samordning av ett uppdrags utförande. Detta gäller även för grupper av samverkande UAV:er eller svärmar med ett stort antal individer. För svärmar avgörs dock kommunikationsbehovet av vilken typ av svärmaralgoritmer som används, där decentraliserade svärmaralgoritmer är önskvärda då de reducerar kommunikationsbehoven. Även här är datataksbehovet fortfarande okänt men en generell princip som bör appliceras är att genomföra så mycket signalbehandling som möjligt på de olika individerna för att reducera kommunikationsbehovet. Det är viktigt i framförallt telestörda miljöer eftersom det med många tekniker (bortsett från gruppantennor som möjliggör lobstyrning och adaptiv

störundertryckning) finns en tydlig avvägning mellan störskydd, smygegenskaper och datatakt på en datalänk.

5.4.1.3 Dagens kommunikationssystem

De generella utmaningarna med kommunikation för obemannade system beskrivs i [91,92]. Även möjliga framtida koncept för att öka robustheten i datalänkarna diskuteras. Det finns ett flertal hot och utmaningar som behöver adresseras i kommunikationssystem som ska användas i militära tillämpningar:

- fientliga telekrigsåtgärder i form av framförallt störning av styr- och datalänkar, vilseledning av styrlänkar eller avlyssning av information
- oavsiktliga interferenser orsakade av telekonflikter
- vågutbredningseffekter (dämpning, diffraktion, och spridning).

Kryptering av informationen på styrlänken i kombination med autentisering är nödvändigt för att säkerställa att kontrollen av en RPA inte kan tas över av en motståndare. Kryptering av sensorinformationen är kritisk för att obehöriga inte ska kunna ta del av denna information. En radiolänk kan göras mer robust mot störning på flera olika sätt, bland annat med gruppantennor (lobformning och adaptiv störundertryckning), bandspridningstekniker (exempelvis frekvenshopp), adaptiv modulation och felrättande kodning samt genom relästationer.

Interferenser som är orsakade av telekonflikter utgörs ofta av oavsiktliga störningar från andra sändande enheter som är lokaliserade på samma farkost, eller i form av elektromagnetisk energi som strålar ut från farkostens egna elektroniska system, som stör radiomottagaren via dess antenn. Telekonflikter från samlokaliserade system kan skapas även från system som är separerade i frekvens [92]. Genom att separera antennerna spatiellt (rumsligt) och även tidssynkronisera och separera sändningar med samlokaliserade system i tid från när kommunikationssystemet tar emot signaler, så kan telekonflikter reduceras. Detta är dock ofta svårt att genomföra på små farkoster och det är viktigt att utvärdera och minimera telekonflikter vid integration av nya system på en farkost.

En stor utmaning med att nå den höga tillförlitlighet som krävs för att möjliggöra teleoperation är vågutbredningseffekterna som radiosignalen utsätts för, i form av dämpning, reflektioner och diffraktion av radiosignalen. På de frekvenser som normalt används för att överföra en realtidsvideoström på nedlänken (från RPA till markkontrollstation) dämpas radiosignalen kraftigt av exempelvis vegetation vilket medför att frisiktsförhållanden i stort sett utgör en förutsättning för att möjliggöra denna kommunikation. Möjligheten att skapa frisiktsdatalänkar är ofta gränssättande för räckvidden. Höga frekvensband används för att ge tillräckliga datatakt och riktantennor används på markkontrollstationen vilket

ökar både signalstyrkan och störskyddet (i markstationen). Kommunikationsbehovet är dock asymmetriskt och lägre frekvenser och högre sändareffekter kan användas i upplänken för styrkommandon vilket ger en ökad robusthet.

För de små RPAS som US Army opererar eftersträvas att de ska använda samma kommunikationssystem. Ett vanligt radiosystem är Persistent Systems MPU-5 Wave Relay som används på ett flertal obemannade flygande och markfarkoster. MPU-5 är en modern radio som utnyttjar multipla antenner på sändar- och mottagarsidan (MIMO) och den fungerar som ett mobilt ad hoc-nät (MANET).⁵⁸⁹ AeroVironments RPAS har en krypterad digital datalänk med en datahastighet på 4.5 Mbit/s som de integrerat på alla sina stridstekniska RPAS och två patrullrobotar vilket medger att de sinsemellan kan utbyta målinformation och även reläa informationen vidare.⁵⁹⁰ Markstationens antenn har en avgörande betydelse för räckvidden, där en bärbar antenn och den rundstrålande standardantennen bedöms ge räckvidder på 5 respektive 10 km medan den största parabolantennen möjliggör en räckvidd på upp till 60 km.⁵⁹¹ En dylik bärbar radionod kan även kombineras med en kompakt videoterminal där Androidplattor eller liknande kan erhålla en realtidsvideoström från farkosterna, liknande den funktion som OSRVT tillhandahåller.⁵⁹²

Tactical Common Data Link (TCDL) utvecklades bland annat för användning på RPAS och den används av bland annat US Army RQ-7 Shadow och MQ-8B Fire Scout. TCDL var ursprungligen en enklare och lättare, men begränsad version, av CDL. Senare versioner av TCDL, som L3Harris Mini-T2 Transceiver, har hela CDL-protokollet implementerat och stödjer datahastigheter upp till 274 Mbit/s.⁵⁹³

Satellitkommunikationssystem används på MALE/HALE RPAS för att öka räckvidden på systemen. I dessa fall används ofta en markkontrollstation relativt nära flygfältet varifrån start och landning sker, medan själva uppdraget därefter kan flygas från en MCS som kan vara placerad i en annan världsdel. I USA används en kombination av civila och militära satellitkommunikationssystem. När större RPAS som MQ-1C Gray Eagle, MQ-9 Predator och RQ-4 Global Hawk ursprungligen försågs med satellitkommunikation användes civila Ku-bands satellitlänkar (10-18 GHz).^{594,595,596} På exempelvis MQ-1C kommer nu

⁵⁸⁹ www.persistentsystems.com/site/wp-content/themes/persistentsystems/pdf/mpu5/mpu5_spec_sheet.pdf

⁵⁹⁰ www.avinc.com/uas/sensors/digital-data-link

⁵⁹¹ www.avinc.com/uas/network-connectivity

⁵⁹² www.avinc.com/images/uploads/product_docs/PocketRVT_Datasheet_v1.pdf

⁵⁹³ www.l3harris.com/all-capabilities/mini-t2-transceiver

⁵⁹⁴ www.c4isrnet.com/battlefield-tech/2019/12/24/what-the-pentagon-needs-before-it-makes-a-decision-on-satellite-communications/

⁵⁹⁵ spacenews.com/budget-addition-for-wgs-resets-debate-on-the-future-of-military-space-communications/

⁵⁹⁶ www.aviationtoday.com/2019/08/14/u-s-army-planned-addition-ka-band-gray-eagle-bolster-communications/

militära satellitkommunikationsmodem som använder Ka-bandet (26.5-40 GHz) att integreras, där det militära WGS (*Wideband Global SATCOM*) används.⁵⁹⁷ MQ-4C Triton och MQ-9B Protector anges använda satellitkommunikations-system som opererar på X-bandet.⁵⁹⁸

WGS har idag tio operationella satelliter och två till har beställts. WGS använder även X-bandsfrekvenser, där 7.25-7.75 GHz används för nedlänk och 7.9-8.4 GHz för upplänk. Dessa frekvenser ger en förbättrad länktillgänglighet då länkdämpningen påverkas avsevärt mindre av exempelvis regn. Omkring 1 GHz och 500 MHz bandbredd är allokerat för WGS på Ka- respektive X-banden.⁵⁹⁹ USAF utvecklar inom programmet PATS (*Protected Anti-jam Tactical SATCOM*) mer störsäker och resilient taktisk satellitkommunikation. En militär vågform (*Protected Tactical Waveform*), och radiomodem som kan hantera dessa, är under utveckling och den är avsedd att framöver integreras i WGS eller i civila satelliter.⁶⁰⁰

5.4.1.4 Tekniska möjligheter

För små obemannade spanings- och övervakningsfarkoster avsedda för en låg stridsteknisk ledningsnivå (LSRPAS) kan inom något år troligen störsäker och smygpassad kommunikation med mycket höga datatakt (hundratals Mbit/s) realiseras på korta avstånd (någon enstaka kilometer) under frisksiktsförhållanden. Detta kan realiseras med radiosystem på exempelvis 55 eller 60 GHz alternativt med laserbaserade modem (t.ex. optisk retrokommunikation). På höga RF-frekvenser kan små, lätta gruppantennor designas med ett stort antal antennelement vilket ger en hög antennförstärkning och störundertryckningsförmåga.

Radiosystemen för taktiska, och större, UAV:er kan göras mer robusta genom olika länktekniker som gruppantennor, som eventuellt använder multifunktions-AESA, adaptiva tekniker (datatakt, uteffekt, felrättande kodning och omsändningar) och bandspridningstekniker (primärt frekvenshoppande system).

Reläknoder minskar kommunikationsavstånden och tvingar motståndarens störsystem att sända med högre effekt eller befinna sig närmare. Det är intressant att undersöka framtida koncept där alla UAV:er har möjlighet att utbyta information och reläa information vidare. För att öka räckvidden och robustheten mot bekämpning kan flera samverkande UAV:er med multihoppfunktionalitet användas, ett så kallat ad hoc-nät. Militära ad hoc-nät behöver inkludera

⁵⁹⁷ spacenews.com/budget-addition-for-wgs-resets-debate-on-the-future-of-military-space-communications/

⁵⁹⁸ www.satelliteevolutiongroup.com/articles/x-band.pdf

⁵⁹⁹ www.aerospace-technology.com/projects/wgs-satellite/

⁶⁰⁰ www.defensenews.com/battlefield-tech/space/2020/02/13/space-force-awards-2536m-protected-tactical-satcom-contract/

funktionalitet för att hantera dynamiska situationer där noder försvinner och att nya noder kan ges tillträde till nätet (efter tillbörlig autentisering) [91].

Satellitkommunikationssystemen utvecklas även för att bli mer robusta. En trend är att de stora parabolantennor, som används på exempelvis RQ-4 Global Hawk och MQ-9 Predator, ska ersättas med konforma, farkostintegrerade AESA-antennor. Detta möjliggör att multipla simultana lobar används vilket kan medge exempelvis samtidig sändning och mottagning. Genom att även införa möjligheten att använda flera satellitkonstellationer ökar resiliensen genom att flera olika system kan användas, där adaptiva (kognitiva) radiosystem även kan ges möjlighet att snabbt byta frekvens, satellit eller system om den utsätts för störning. Systemdiversitet med en multinätverksarkitektur, där även olika civila satellitkommunikationssystem används, beskrivs som en nyckelfaktor för att uppnå resiliens i framtidens satellitkommunikationssystem.^{601,602}

5.4.2 Robust PNT

Möjligheten att tillhandahålla en hög positions- och orienteringsnoggrannhet utgör en grundläggande förutsättning för att realisera en autonom navigeringsfunktion. Ett noggrant och tillförlitligt PNT-system (position, orientering och tid) som stödjer lokaliseringen av mål utgör även en viktig faktor för att nå en snabb OODA-loop vid målinmätning och efterföljande bekämpning. Om målet inte kan positioneras automatiskt krävs att analytiker analyserar videoströmmen och utifrån denna manuellt lokaliserar målet genom jämförelser mot en referenskarta. De tekniska möjligheterna påverkas av den obemannade farkostens storlek och dess begränsningar i vikt och effekt på nyttolasten den kan bära. Dessa aspekter diskuteras exempelvis i [93-95].

5.4.2.1 Stridstekniska UAV:er

På stridstekniska UAV:er kan det vara svårt att integrera störskyddssystem (gruppanter) för GNSS samtidigt som kvaliteten är otillräcklig för de tröghetssensorer som kan integreras på dessa. Detta medför att risken för att GNSS-mottagaren blir utstörd eller vilseledd är stor i telestödda miljöer samtidigt som felet i tröghetsnavigeringssystemet riskerar att växa mycket snabbt utan stöttning från en GNSS-mottagare. Det finns därmed ett akut behov av att integrera fler stöttande tekniker i PNT-systemet med beaktande av begränsningarna i vikt, effektförbrukning, storlek och kostnad för dessa sensorer. Algoritmer som kan detektera när mottagaren är utsatt för störning eller

⁶⁰¹ [interactive.aviationtoday.com/avionicsmagazine/september-2019/next-gen-antennas-for-next-gen-satellites/](https://www.interactiveaviationtoday.com/avionicsmagazine/september-2019/next-gen-antennas-for-next-gen-satellites/)

⁶⁰² [interactive.aviationtoday.com/avionicsmagazine/september-2019/military-satcom-avionics-a-growing-opportunity-over-next-decade/](https://www.interactiveaviationtoday.com/avionicsmagazine/september-2019/military-satcom-avionics-a-growing-opportunity-over-next-decade/)

vilseledning utgör även en viktig del av ett militärt PNT-system.

Befintliga sensorer som är avsedda för spaning och övervakning bör i möjligaste mån även användas för att stötta PNT-systemet. Under gynnsamma visuella förhållanden kan dess kameror användas för att estimeras UAV:ns position och orientering på flera olika sätt. Visuellt odometri kan användas för att estimeras dess förflyttning och förändring i orientering mellan bilderna. Även denna algoritm har nackdelen att felet ökar med tiden. Genom att använda en referenskarta och matcha bilden mot kartan kan en absolut position erhållas, under gynnsamma förhållanden, vilket kan användas för att korrigera för driften i tröghetsnavigeringssystemet. Flyghöjden och även kamerans synfält påverkar hur visuella kameror kan användas för positioneringen, då de ser marken med olika detaljrikedom. Även kamerasensorns orientering behöver estimeras noggrant för att få en god positionsnoggrannhet på UAV:n. I vissa miljöer såsom över vatten, och i vissa fall över skog, begränsas möjligheterna till kamerabaserad positionsestimering. Tekniken är ännu inte tillräckligt utvecklad för att möjliggöra positionering i mörker med IR-sensorer eller bildförstärkare så det finns fortsatt ett behov att integrera ytterligare sensorer. Stereokameror används på mindre stridstekniska UAV:er (exempelvis Skydio X2D). De kan estimeras avstånd till exempelvis väggar och andra objekt. Det effektiva avståndet som de kan estimeras avgörs av avståndet mellan sensorerna och för små UAV:er är avståndet typiskt begränsat till mellan fem och tio meter.

UAV:er utrustas normalt även med sensorer som mäter lufttryck och magnetfält. Med de begränsningar i sensorprestanda som förväntas användas på stridstekniska UAV:er så bedöms i huvudsak SLAM-baserade algoritmer (*Simultaneous Localization and Mapping*) vara av intresse. För autonoma system kan farkostens rutt anpassas för att öka PNT-systemets möjligheter att leverera önskad noggrannhet, exempelvis genom att anpassa rutten så att kända landmärken passeras [96].

Det finns avsevärda utmaningar i att realisera ett noggrant och tillförlitligt PNT-system för stridstekniska UAV:er, med de normalt stringenta begränsningarna i storlek, vikt och effektförbrukning, i scenarion då de behöver operera i telestörda miljöer. En metod som kan öka noggrannheten för små UAV:er är samverkande navigering. Detta kan genomföras på olika sätt, exempelvis genom att skapa kartor (inklusive magnet- och gravitationsfält) och dela dessa med andra farkoster. Ett annat alternativ är att en UAV med sina bildalstrande sensorer detekterar, följer och lokaliserar egna enheter som den också kan kommunicera med och erhålla dess interna positionsestimat ifrån. Ytterligare en metod är att avståndet mellan farkosterna estimeras med radiosändtagare och där farkosterna utbyter information om sina respektive positionsestimat och osäkerheter [94]. Denna teknik gör det möjligt öka noggrannheten om det finns andra, bemannade eller obemannade, samverkande enheter inom räckhåll.

Det bedöms inte vara möjligt att garantera en viss noggrannhet under alla förhållanden för stridstekniska UAV:er. En tillförlitlig osäkerhetsestimering är då ett viktigt komplement men även det är en utmanande uppgift att realisera som kräver fortsatta forskningsinsatser för att lösa.

5.4.2.2 Taktiska UAV:er

Det finns en stor spännvidd i hur mycket nyttolast taktiska UAV:er kan bära, från tiotals till hundratals kilogram. De bör utrustas med gruppantennor och algoritmer som kan detektera störning och vilseledning mot GNSS. Motsvarande sensorer som används på stridstekniska UAV:er bör även integreras, i form av tröghetssensorer, magnetometer och barometer, men även t.ex. radarsensorer som mäter höjden över markytan bör föras in. SLAM-tekniker kan utgöra ett viktigt komplement, samt möjligheten till samverkande navigeringstekniker. De visuella spaningssensorerna kan användas för att stötta PNT-systemet men mer forskning behövs för att ge samma förmåga nattetid och genom moln. På större taktiska UAV:er förs även SAR-system in vilket potentiellt skulle kunna användas även av navigeringssystemet.

5.4.2.3 MALE/HALE UAV:er

Kvalificerade MALE och HALE UAV:er har relativt goda möjligheter att realisera ett noggrant PNT-system. Avancerade gruppantennsystem kan integreras på dessa som har möjlighet att undertrycka ett större antal stör- och vilseledningssignaler. De kan även utrustas med tröghetssensorer med god prestanda vilket ger möjlighet att navigera under perioder av GNSS-bortfall. Den stora utmaningen är dock de långa uthålligheterna där de ska kunna flyga i operationsområdet mer än ett dygn i sträck.

Under goda siktförhållanden kan visuella (nedåtriktade) kameror användas för att stödja PNT-systemet, exempelvis genom att detektera och lokalisera kända landmärken som större vägkorsningar och broar vars positioner ofta är kända. En möjlighet vid dåliga siktförhållanden är att använda SAR för att stödja PNT-systemet men detta bedöms fortfarande vara en teknik som är på experimentstadiet.

Stjärnnavigering (*Celestial Navigation*) där visuella kameror riktas mot stjärnhimlen kan utgöra ett effektivt stöd för PNT-systemet.⁶⁰³ Automatiserade integrerade tröghets- och stjärnnavigeringssystem har använts på högt flygande farkoster sedan 1960-talet för navigering nattetid i exempelvis spaningsflygplanet SR-71 Blackbird samt på ubåtsbaserade interkontinentala ballistiska robotar (ICBM) [3,97,75]. Vid stjärnnavigering matchas de stjärnor som detekteras i bilden till en databas och denna matchning kan sedan ge en mycket

⁶⁰³ www.maritime-executive.com/blog/automated-celestial-navigation-for-the-navy

hög noggrannhet i orientering medan positionsosäkerheten i bästa fall är i storleksordningen 30 meter [97]. Ett tröghetsnavigeringssystem med högkvalitativa (treaxliga) accelerometrar och gyroskop som regelbundet stöts av orienteringsestimat från ett stjärnnavigeringssystem (ibland benämnt *astro-inertial navigation*) kan ge en hög noggrannhet under längre tider.

SWIR-baserade sensorer (*Short-Wave Infrared*) har potentialen att möjliggöra stjärnnavigering även dagtid men det förutsätter en filtrering av våglängdsband och SWIR-kameror med ett smalt synfält (enstaka grader). SWIR-baserade sensorer har potentialen att se avsevärt många fler stjärnor dagtid än de som syns på de kortare visuella våglängderna, förutsatt att de våglängder används som har en god transmission genom atmosfären. Om sensorn pekar i en riktning som är i närheten av solen kommer den bli utbländad men genom att använda exempelvis tre ortogonala sensorer kommer alltid två av dessa att ha en tillräcklig vinkelseparation från solen.⁶⁰⁴ Om SWIR-baserade sensorer kan ge noggranna orienteringsestimat dygnet runt så kan de ge ett viktigt bidrag till PNT-systemet på högt flygande UAV:er. Möjligheten att även mäta in mot satelliter med kända banor är en intressant möjlighet.⁶⁰⁵

Med moderna noggranna magnetometrar kan det även vara möjligt att mäta anomalier i jordens magnetfält vid flygning på hög höjd. Genom att jämföra dessa mätningar mot en karta över magnetfältet kan informationen användas som en komplementär navigeringssensor för att stödja tröghetsnavigeringssystemet.⁶⁰⁶ Utmaningen är att kunna filtrera bort farkostens inverkan på magnetfältet, som ofta är avsevärt mycket högre än de normala magnetiska anomalierna.

5.5 Autonoma farkoster

Olika automatiska funktioner förs in kontinuerligt i UAV:er, främst som ett stöd till operatören. Dagens farkoster bedöms dock endast besitta en begränsad förmåga att reagera på oplanerade händelser och de saknar förmågan att utföra uppdrag autonomt i komplexa dynamiska miljöer.

Ett stort antal funktioner kan vara automatiserade eller autonoma i en obemannad farkost. En möjlig övergripande indelning är att dela upp funktionerna i robust *farkostautonomi* som framförallt tillhandahåller autonoma funktioner för ett säkert framförande av farkosten och *uppdragsautonomi* som avser generera de taktiska förmågorna. Vissa funktioner är dock svåra att dela in i farkost- eller uppdragsautonomi då de är delvis gemensamma. Analyser av sensordata kan även införlivas i uppdragsautonomi medan algoritmer för beräkning av farkostens position, orientering och tid (PNT-systemet) utgör en förutsättning för ett

⁶⁰⁴ Patent US7349803 *Daytime Stellar Imager* (patents.google.com/patent/US7349803/en).

⁶⁰⁵ www.popularmechanics.com/military/research/a36078957/celestial-navigation/

⁶⁰⁶ aerospace.honeywell.com/us/en/learn/products/sensors/alternative-navigation-systems

säkert framförande av farkosten och kan placeras under robust farkostautonomi. Ett alternativ är att istället beskriva PNT-systemet och kommunikationssystemet som möjliggörande tekniker och inte en del av farkostens autonomi.

5.5.1 Nuläge

Idag gäller normalt att varje farkost måste styras av en pilot (operatör). Regler för civil och militär luftfart är starkt förankrade i grundprincipen att det finns en ansvarig befälhavare i varje situation. Detta gäller både bemannat och obemannat flyg och oavsett storlek på plattformen. En stor del av de forsknings- och utvecklingsinitiativ som pågår i omvärlden rörande autonoma farkoster utmanar denna grundprincip. Det återstår att se till vilken grad och under vilka premisser exempelvis multistyrning (där en operatör styr grupper av UAV:er) och autonomt uppträdande kommer tillåtas.

Existerande obemannade farkoster har olika typer av automatiserade funktioner inbyggda. De är normalt avsedda att reducera operatörens kognitiva belastning eller öka säkerheten i vissa moment (exempelvis vid start och landning). De flesta farkosterna har förmågan att följa en angiven flygrutt med en autopilot, eller genom enklare brytpunktsnavigering, så länge GNSS-mottagarna levererar tillförlitliga positionsestimat. Små UAV:er som exempelvis Skydio X2D har även förmågan att utifrån sina visuella kameror upptäcka och väja för hinder. Liknande tekniker integreras även på stora UAV:er såsom MQ-9B Protector RG Mk1 och Heron TP i syfte att möjliggöra certifiering för flygning i civilt luftrum. Algoritmer för *detect-and-avoid* (DAA) baseras på information från civila system som TCAS och ADS-B (*Automatic Dependent Surveillance-Broadcast*), i kombination med information från militära IFF-system (*Identification Friend or Foe*) och farkostintegrerade radarsystem som kan upptäcka farkoster utan transponder.^{607,608}

En del civila UAV:er har även förmågan att utifrån kamerabilden följa en person som exempelvis cyklar på skogsstigar eller åker skidor. Liknande teknik förs nu även in i stridstekniska UAV:er där personer eller fordon kan följas automatiskt. Detta förutsätter även en förmåga att upptäcka och väja för hinder. Vissa enklare uppdrag kan även utföras automatiskt, såsom 3D-kartering av ett brohuvud eller en byggnad utvändigt.⁶⁰⁹

Start och landning utgör ett riskmoment där flera olyckor har inträffat de senaste åren med exempelvis MQ-9 Reaper.⁶¹⁰ Vissa militära UAV:er har (eller kommer snart ges) förmågan att automatiskt starta och landa (*Automatic Take-Off and*

⁶⁰⁷ www.ga-asi.com/remotely-piloted-aircraft/mq-9b

⁶⁰⁸ teamartemis.ca/artemis-solution-2/

⁶⁰⁹ www.skydio.com/defense

⁶¹⁰ dronewars.net/drone-crash-database/

Landing, ATOL). Små farkoster kan landa på en utpekad position baserat på dess kameran sensor, exempelvis en öppen handflata, medan stora UAV:er som MQ-9B Protector RG Mk1 och Heron TP kan starta och landa automatiskt på förberedda landningsbanor. Dessa system kan vara beroende av GNSS-positionering men även andra sensorer kan användas för att stödja en ATOL-förmåga. En ATOL-förmåga är viktig då det exempelvis kan eliminera behovet av en framskjuten markkontrollstation som primärt genomför start och landning av MALE/HALE RPAS (alternativt att bemanningen där kan reduceras).⁶¹¹

Olika typer av automatiserad detektion och hantering av nödlägen kan även vara implementerad beroende på farkost. Exempelvis har Zipline möjlighet att landa med fallskärm om kommunikationen förloras eller något annat kritiskt fel uppstår. Zipline levererar blodprodukter, vacciner och mediciner autonomt, i exempelvis Rwanda och Ghana. Även en del militära UAV:er och patrullrobotar landar idag med fallskärm efter uppdraget.

En ökad grad av automatisering av sensoranalys införs även, framförallt så har flertalet större UAV:er möjlighet att automatiskt detektera och följa mål. Även lokalisering och klassificering av mål finns integrerat i vissa system, även om prestanda för dessa är något oklar.

5.5.2 Robust farkostautonomi

Start, landning, taxi, navigering samt detektion och väjning för terränghinder (t.ex. *Ground Collision Avoidance System*, GCAS) i en förutsägbar miljö bedöms vara säkerhetskritiska men relativt enkla autonoma funktioner att utveckla. De finns i stor utsträckning redan på utvalda farkoster men kan ha begränsningar under vilka förhållanden de kan utföras automatiskt. I snabbt föränderliga komplexa miljöer kan dock framförallt detektion av (icke-samverkande) farkoster utgöra en utmaning. Automatiserad monitorering och detektion av fel, samt åtföljande hantering av systempåverkande eller kritiska fel [75], utgör även en utmaning för att nå en hög flygsäkerhet.

5.5.2.1 Upptäcka och väja för hinder och andra farkoster

Stridstekniska UAV:er är normalt beroende av sina egna sensorer för att upptäcka och väja för hinder. Ett exempel är Skydio X2D som använder ett flertal stereokameror runt om farkosten och har möjlighet att estimerar avstånd till olika objekt. Med de korta avstånden mellan sensorerna kan dock avstånds-estimering endast göras på korta avstånd vilket även begränsar hastigheten som den kan flyga i utan att riskera en kollision med ett fast objekt. Inomhus kan även ultraljudssensorer ge motsvarande förmåga på korta avstånd. Laser kan mäta

⁶¹¹ www.rotorandwing.com/2019/02/26/ga-asi-mq-9b-skyguardian-demos-satcom-laptop-controlled-mission/

avstånd till exempelvis väggar på längre avstånd och därför har även den kinesiska kopian av Black Hornet utrustats med fyra enkla lasersensorer. Skydio X2D bedöms ha en god förmåga att undvika stationära objekt men har svårare att i tid upptäcka och väja för andra farkoster som rör sig i hög hastighet.

För att ha möjlighet att upptäcka och väja för andra obemannade eller bemannade farkoster behöver dessa kunna upptäckas på ett avstånd som ökar med den relativa hastigheten till den farkosten. Två UAV:er som båda flyger i 90 km/h, rakt mot varandra, närmar sig varandra med en hastighet av 50 meter i sekunden.

För MALE/HALE UAV:er som även ska integreras i det civila luftrummet kan flera system användas för att detektera och lokalisera andra farkoster, där samverkande farkoster kan vara utrustade med transpondrar eller erhålla information från egna markbaserade radarstationer. Farkosterna kan även utrustas med en integrerad radar (*Due-Regard Radar*, DAA) som detekterar även icke-samverkande farkoster (exempelvis fientliga farkoster).

5.5.2.2 Statusövervakning, feldetektion samt felhantering

En viktig uppgift för en pilot som flyger ett flygplan är att hantera nödsituationer. I autonoma system behövs sensorer och tillhörande signalbehandling för att upptäcka och förstå de fel som kan uppstå. Detta utgör en utmaning där framförallt kombinationer av fel kan förväntas bli svåra för systemet att förstå. Detta kopplar även till hur farkosten ska förstå sina förmågor och begränsningar i dynamiska scenarion och efter att den exempelvis blivit beskjuten och skadats. Farkosten måste göra korrekta bedömningar rörande om den kan fortsätta genomföra sitt uppdrag och huruvida den behöver anpassa utförandet, eller avbryta, uppdraget. En dynamisk resurshantering är även viktig i situationer med samverkande grupper av UAV:er som löser en uppgift där även de andra farkosterna sannolikt behöver skapa sig en bild av de individuella farkosternas förmågor och begränsningar.

5.5.3 Uppdragsautonomi

Utvecklingen av uppdragsautonomi, eller taktisk autonomi, utgör en stor utmaning för annat än enkla uppdrag i godartade miljöer. Autonoma system kan idag fungera väl i välkända och kontrollerade miljöer och scenarion men de flesta uppdragen vid en konflikt mot en kvalificerad motståndare förväntas inte utgöras av denna typ. I en dynamisk stridsituation med egna, allierade och fientliga enheter och omfattande störning och vilseledning, där även juridiska och etiska ställningstaganden behöver göras inför beslut om vapenverkan, är en pilots förmåga att förstå situationen och beslutsfattande sannolikt överlägset den hos ett AI-baserat system även en bit bortom 2040. AI kan dock komma att utgöra ett stöd till piloten i analysen av sensorinformation, ge varningar om piloten bedöms

ha missat viktig information och föreslå olika åtgärder som underlag för pilotens beslut.

5.5.3.1 Dynamisk rutt- och uppdragsplanering

Planering av en obemannad farkosts rutt inför ett uppdrag, samt behovsstyrd omplanering under ett uppdrag, är ett område som har studerats i ett stort antal vetenskapliga artiklar. Det finns dock fortsatt ett behov av att utveckla och anpassa algoritmerna så de tar hänsyn till militärspecifika faktorer som påverkar exempelvis risken för flygning i specifika områden. Även farkostens resurser, i form av energi och vapenresurser, samt PNT- och kommunikationssystemens begränsningar bör infogas i en dynamisk rutt- och uppdragsplanering. En viktig aspekt att ta hänsyn till är även risktoleransen under uppdraget, dvs hur viktigt uppdraget är kontra hur stor kostnaden är för att förlora en obemannad farkost.

5.5.3.2 Autonoma farkoster som stödjer bemannade flygplan

Det är möjligt att utvecklingen inom uppdragsautonomi om femton år medger att autonoma farkoster utför mer begränsade uppgifter, vilket utgör grunden för utvecklingen av *loyal wingman* och *remote carriers*. Tänkbara uppgifter för autonoma farkoster som leds från bemannade flygplan vara:

- framskjuten spaning, även i avreglingszoner
- att öka antalet robotar och bomber som bemannade stridsflygplan kan verka med, samt öka stridsdjupet, genom att använda framskjutna obemannade farkoster som både sensor- och verkansplattform
- en grupp av samverkande autonoma farkoster med heterogena förmågor stör, vilseleder och attackerar fientliga luftvärnssystem eller kvalificerade marina fartyg
- eskort av spanings- eller ledningsflygplan där de leds från dessa vid bekämpning av fientligt jaktflyg med långräckviddiga jaktrobotar och agerar skenmål (störning och fysiskt skenmål) mot inkommande jaktrobotar
- spaning i urbana miljöer med en svärm av mindre autonoma farkoster som släpps från större obemannade farkoster eller bemannade flygplan.

Grunden för den här typen av autonoma farkoster bedöms vara att de är enklare och billigare än bemannade flygplan och kan tillåtas ta en högre risk. De har även potential att öka uthålligheten och på sikt även reducera personal-kostnaderna. En förutsättning för att denna typ av förmågor ska realiseras är dock att forsknings- och utvecklingsresurser allokteras. Uppdragsautonomi är nära förknippad med människa-systemsamverkan (*Human-Autonomy Teaming*, HAT) och taktik- och konceptutveckling.

5.5.3.3 Optionellt bemannade stridsflygplan och skalbar autonomi

Utvecklingen inom Tempest pekar i dagsläget mot att de eventuellt kommer att utveckla ett optionellt bemannat flygplan. Ett slutligt beslut förväntas dock fattas först omkring 2025. Det bedöms ta lång tid innan tillräckligt sofistikerad uppdragsautonomi finns utvecklad som möjliggör ett autonomt genomförande av renodlade stridsuppdrag i dynamiska scenarion och i höga hotmiljöer. I dessa uppdrag, eller faser av ett uppdrag, förväntas främst autonoma funktioner som stödjer pilotens situationsuppfattning och beslutsfattande att användas de närmaste tjugo åren. En skalbar, adaptiv autonomi utgör ett intressant alternativ där farkosten har en hög autonomnivå under enkla faser av ett uppdrag, men där piloten ges en aktivare roll i de mer komplexa uppdragsfaserna. Det förväntas dock vara möjligt att utföra exempelvis förflyttning av stridsflygplan mellan olika baser och spaningsuppdrag i låga hotmiljöer utan pilot [39].

5.5.3.4 Samverkande grupper av farkoster

Även strategier och algoritmer för hur grupper, eller stora svärmar, av UAV:er kan samverka i syfte att lösa en tilldelad uppgift kan ses som en del av uppdragsautonomin. Det kan exempelvis handla om algoritmer för hur de ska kunna flyga säkert till operationsområdet utan risk att kollidera med varandra eller andra farkoster eller ett distribuerat beslutsfattande där de individuellt gör bedömningar av hur de på bästa sätt kan stödja uppdragets genomförande.

5.5.4 AI

AI har ett flertal potentiella användningsområden för obemannade farkoster såsom inom robust farkostautonomi, uppdragsautonomi och gruppsamverkan (svärmbeteende). De två områden som hittills bedöms ha fått störst genomslag är detektion och väjning för terränghinder och andra farkoster samt olika typer av bildanalys inklusive algoritmer där små UAV:er följer ett rörligt mål. Andra möjliga områden är lågnivåstyrning och autopilot, samt terränganalyser baserat på LiDAR-data (*Light Detection And Ranging*) för att hitta säkra landningsområden. AI utgör dock bara en möjlig teknik för att lösa många av dessa uppgifter. Det bedöms framförallt vara inom uppdragsautonomi som de stora genombrotten kan nås, där det finns ett behov av att kunna hantera dynamiska förlopp och komplexa miljöer. I vissa situationer behöver systemet anpassa sig efter motståndaren och även förstå dess intentioner vilket är en mycket utmanande uppgift.

Inom framförallt detektion och klassificering av mål har forskningsfronten på kort tid tagit betydande steg tack vare de stora framsteg som gjorts inom maskininlärningsalgoritmer (ML). Både utvecklingen av nya algoritmer, i form av ML med djupa neuronnät, och avsevärt förbättrad hårdvara, i form av grafikprocessorer som medger stora mängder parallella beräkningar, har bidragit till ML-algoritmernas framgångar [5]. De nya algoritmerna kräver dock stora

mängder träningsdata, vilket i militära applikationer kan utgöra en flaskhals. Forskningen studerar därför bland annat metoder för att ta fram simulerade träningsdata för exempelvis IR-sensorer.

Detektion och hantering av fel, samt dynamisk resursoptimering för uppdragets genomförande, utgör även ett viktigt område som berör både farkost- och uppdragsautonomi. Olika AI-baserade algoritmer kan komma att spela en viktig roll i lösandet av dessa uppgifter, där exempelvis avvikelседetektion baserat på accelerometersensorer på farkosten kan användas för att upptäcka motorfel eller behov av underhåll.

Certifiering av komplexa AI-funktioner för verksamhets- och flygsäkerhetsmässigt godkännande utgör en av de stora utmaningarna. Flygindustrin har dock börjat adressera denna komplicerade fråga.⁶¹²

DARPA genomförde projektet BLADE (*Behavioral Learning for Adaptive Electronic Warfare*) där målet var att utveckla ML-algoritmer som snabbt kan detektera och karaktärisera nya radiosystem, dynamiskt anpassa telekrigsinsatserna och utvärdera effekten på det störda systemet. ARC (*Adaptive Radar Countermeasures*) var ett annat DARPA-projekt som utvecklade AI-algoritmer för att i realtid anpassa telekrigsinsatserna till okända eller adaptiva radarsystem.⁶¹³

5.5.4.1 AlphaDogfight

DARPA organiserade i augusti 2020 en tävling med namn AlphaDogfight. Åtta företag hade mindre än ett år på sig att utveckla och lära upp sina agents artificiella intelligens för att tävla mot varandra i kurvstrid (*dogfight*). Heron Systems agent vann tävlingen och de övriga i topp fyra var Lockheed Martin, Aurora Flight Sciences och PhysicsAI. Efter att AI-algoritmerna först tävlat mot varandra stred sedan Heron Systems agent mot en erfaren stridspilot och vann med 5-0.⁶¹⁴ Maskininlärningstekniken *deep reinforcement learning* uppges ha varit basen i Heron Systems och Lockheed Martins satsningar [98]. Med denna teknik kör AI-agenter många simulerade luftstrider för att själva justera vikterna i ett neuralt nät som består av ett stort antal lager, för att själva ”upptäcka” framgångsrika beteenden istället för att t.ex. koda in mänskliga piloters tumregler. Heron Systems AI-agent sades på så sätt ha genomgått minst 4 miljarder simuleringar och ackumulerat motsvarande ”12 års erfarenhet” [98]. AI-agenterna tilläts inte att lära sig under själva tävlingen medan den mänskliga piloten blev bättre mot slutet och höll ut längre i striden än i början. Stridspiloternas standardtaktiker fungerade inte mot AI-algoritmen [98].

⁶¹² avsi.aero/wp-content/uploads/2020/06/AFE-87-Final-Report.pdf

⁶¹³ www.afcea.org/content/smarter-ai-electronic-warfare

⁶¹⁴ www.darpa.mil/news-events/2020-08-26

AlphaDogfight genomfördes dock virtuellt i ett kraftigt förenklat scenario, där två stridsflygplan strider mot varandra endast med automatkanoner utan möjlighet att använda sensorer eller jaktrobotar. Inga andra farkoster befann sig heller i området. Denna typ av strid är relativt ovanlig i den moderna luftstriden men den används i utbildningen av stridspiloter då det ger piloterna möjlighet att förstå och utnyttja flygplanens möjligheter och begränsningar. I simuleringarna hade även AI-algoritmen kunskap om bland annat motståndarens position, vilket inte hade varit fallet i en riktig stridssituation.⁶¹⁵ AlphaDogfight kan ge en god inblick i status för AI-algoritmer och lite om dess framtida möjligheter men de bedöms inte kunna ersätta en stridspilot under de närmaste 20 åren. Uppdragsautonomin behöver vidareutvecklas så att fler, mer komplexa och dynamiska, uppdrag kan utföras innan autonominivån är tillräcklig för att realisera förmågor såsom *loyal wingmen*.

Kina använder sig i ett liknande utvecklingsprojekt av AI-system för att träna stridspiloter. Självlärande AI-algoritmer användes som motståndare vid simulerad kurvstrid. AI-algoritmerna lärde sig av den mänskliga piloten och AI-systemet vann slutligen genom att använda taktik som den lärt sig av piloten.⁶¹⁶ Träningen anges ge ett värdefullt bidrag till deras träning framförallt då det tvingar piloterna att bli kreativa.⁶¹⁷ Denna typ av utveckling och träning bedöms även ge värdefull kunskap inför utvecklingen av avancerad uppdragsautonomi.

Maskininlärning och AI-agenter för luftstrid har även presenterats tidigare, t.ex. genom *genetic fuzzy trees* [99] och regelbaserade algoritmer baserade på *dynamic scripting* [100]. Även dåvarande FFA (Flygtekniska försöksanstalten) utvecklade för snart 30 år sedan intelligenta artificiella motståndare till piloter vid luftstridssimuleringar som redan då besegrade piloterna vid kurvstrid (de benämndes heuristisk pilot, H-pilot [101]). Det anges även ha varit svårt för erfarna piloter att avgöra om de flög mot en artificiell motståndare eller en annan pilot [102]. Flygvapnets luftstridssimuleringscentrum (FLSC) har under en längre tid använt sig av avancerade AI-piloter baserade på manuellt programmerade beteendeträd. Ur detta perspektiv har maskininlärningstekniken först nu nått motsvarande nivåer som tidigare utvecklade AI-baserade tekniker, även om maskininlärning förväntas kunna leda till artificiella piloter med mer svårförutsägbara beteenden.

⁶¹⁵ www.aerosociety.com/news/ai-and-the-future-of-air-combat/?utm_source=raes_newsletter&utm_medium=email&utm_campaign=1_april_2021&dm_i=4OGU,11H6K,2V3WFL,4PVAE,1

⁶¹⁶ www.forbes.com/sites/davidhambling/2021/06/18/chinese-ai-learns-to-beat-top-fighter-pilot-in-simulated-combat/?sh=265f89dd1b8c

⁶¹⁷ www.businessinsider.com/china-pits-fighter-pilots-against-ai-aircraft-in-simulated-dogfights-2021-6?r=US&IR=T

5.5.4.2 Air Combat Evolution (ACE)

AlphaDogfight utgör grunden för de försök som genomförs i Darpaprogrammet ACE (*Air Combat Evolution*) som har kurvstrid med samarbetande mänskliga och AI-piloter som huvudsaklig utmaning. ACE försöker utveckla AI-agenters kompetens inom luftstridsdomänen, att gå från att genomföra uppgifter med låg komplexitet, motsvarande en autopilot (följa tredimensionella banor) och undvika kollisioner, till att utveckla uppdragsautonomi där den autonomt kan genomföra uppgifter som kurvstrid. På sikt strävar ACE efter att utföra verklighetstroga simulerade scenarier med flera olika flygplan, för att slutligen genomföra fullskaliga experiment med riktiga flygplan. I framtiden ses den mänskliga pilotens huvudsakliga roll vara att effektivt organisera multipla autonoma obemannade plattformar som genomför uppdraget, så att den mänskliga rollen förskjuts från farkostoperatör till uppdragschef (*mission commander*). Människan ägnar sig då åt högre kognitiva funktioner (t.ex. taktik, välja och prioritera mål, välja vapen eller verkan) medan funktioner på lägre nivå (t.ex. manövrering, stridsteknik) lämnas åt de autonoma farkosterna. Begreppen teaming eller symbios används för att beskriva denna typ av samarbete mellan människa och AI. Pilotens tillit till att autonomin kan genomföra komplicerade stridsbeteenden ses som en viktig förutsättning. Därför strävar ACE även efter att implementera metoder för att mäta, kalibrera, öka och förutsäga mänskligt förtroende för AI-agenternas luftstridsförmåga.⁶¹⁸

5.6 Integration i civilt luftrum

Flera utvecklingsprojekt har ambitionen att de MALE RPAS som tas fram ska kunna flyga i osegregerat luftrum tillsammans med civilt flyg. Detta avsnitt beskriver översiktligt utvalda delar av den europeiska utvecklingen som syftar till att möjliggöra för bland annat MALE och HALE UAV:er såsom MQ-9B SkyGuardian, EuroDrone, RQ-4D Phoenix Global Hawk och Heron TP att flyga i europeiskt civilt luftrum på ett säkert sätt. Utveckling och certifiering av metoder, procedurer och teknik för undvikande av kollisioner, detektion och hantering av nödlägen (*emergency recovery*) utgör, tillsammans med tillförlitlig kommunikation och cybersäkerhet, områden som är centrala för att RPAS ska kunna integreras fullt ut i det civila luftfartssystemet. Detta arbete sker främst inom FN:s civila luftfartsorganisation ICAO (*International Civil Aviation Organization*) [14].

Det finns ett stort behov från både civila och militära industrier och slutanvändare att förbereda för den förväntade snabba ökningen av både stora och små RPAS som förväntas ske det närmaste decenniet. En stor nackdel med det befintliga systemet med segregerat luftrum för statsluftfartyg är att det är ett

⁶¹⁸ www.darpa.mil/program/air-combat-evolution

slöseri med begränsade resurser i ett luftrum där antalet flygningar, åtminstone innan COVID-19 pandemin, bedömdes komma att öka kraftigt det närmaste decenniet. Den civila utvecklingen pekar mot att antalet mindre lågflygande UAV:er förväntas öka dramatiskt det kommande decenniet [103]. Från den militära sidan finns även ett starkt tryck mot att i slutet av perioden 2025 till 2030 ha integrerat MALE och HALE RPAS att rutinmässigt flyga i osegregerat luftrum, medan ambitionen är att under perioden fram till 2025 istället möjliggöra att dessa med specifika procedurer ska ges möjlighet att använda luftrummet. Det finns ett starkt önskemål om att redan i närtid kunna flyga i osegregerat luftrum vid flygning till och från nuvarande operationsområden samtidigt som det på lite längre sikt även finns behov av att med RPAS kunna genomföra övervakningsuppdrag över hav och vid gränsområden inom europeiskt luftrum. Målet fram till 2025 är att underlätta för framförallt transitflygningar medan själva uppdraget under denna period förväntas utföras i ett segregerat eller reserverat luftrum [104]. Antalet MALE RPAS flygningar bedöms även i perioden fram till 2025 vara relativt få, vilket kan medge att mer komplexa rutiner och extra stöd kan appliceras under denna period. Det extra stödet är avsett att kompensera för RPAS oförmåga att på kort sikt fullt ut följa befintliga standarder och rekommendationer, exempelvis vid svårare scenarion eller då någon typ av fel uppstår [103].

5.6.1 Single European Sky

Single European Sky (SES) är ett initiativ som drivs av EU där målet är att reformera flygtrafikledningen (*Air Traffic Management*, ATM) för att kunna hantera den förväntade ökningen av trafik på det säkraste och mest kostnads-, flyg- och miljöeffektiva sättet. Det förutsätter bland annat att fragmenteringen av luftrummet reduceras.⁶¹⁹ Som ett led i detta omfattande arbete har även ett gemensamt arbete inletts inom forskning och utveckling, benämnt SESARJU (*Single European Sky ATM Research Joint Undertaking*).

SES bygger på fem hörnstenar: (i) utvecklingen av ett prestandabaserat regelverk, (ii) säkerhet, (iii) teknisk utveckling, (iv) de mänskliga faktorerna och (v) optimering av flygplatsinfrastrukturen. Regionala koordineringsåtgärder genomförs även med ICAO och Eurocontrol och med nyckelpartners internationellt. Arbete pågår även med att tydliggöra och dela upp ansvarsområdena för EASA (*European Union Aviation Safety Agency*), Eurocontrol och kommissionen, vilka idag har delvis överlappande uppgifter.⁶²⁰

⁶¹⁹ ec.europa.eu/transport/modes/air/ses_en

⁶²⁰ ec.europa.eu/transport/modes/air/single_european_sky/ses_2_en

5.6.1.1 European ATM Master Plan

European Air Traffic Management (ATM) Master Plan utgör det huvudsakliga planeringsverktyget för den av kommissionen beslutade moderniseringen av flygtrafikledningen (ATM) i Europa med inriktning mot *Single European Sky*. Den framtidsvision som SESARJU presenterar i [103] är att civila och militära UAV:er sömlöst och fullständigt ska integreras i alla miljöer och klasser av lufterum och där flyga säkert och effektivt jämsides med bemannade flygplan. Planen är att implementera detta i två spår, med olika faser.

Det ena utvecklingsspåret handlar om att vidareutveckla ATM så att stora RPAS kan flyga säkert och använda ATM-tjänsterna, samt att bemannade och obemannade system ska kunna använda samma flygplatsinfrastruktur och kommunicera med flygtrafikledningen (ATC). Samma regler och procedurer ska följas av de obemannade systemen, men med vissa modifikationer för RPAS som behöver införas på grund av att piloten befinner sig på marken.

“U-space is a set of new services relying on a high level of digitalisation and automation of functions and specific procedures designed to support safe, efficient and secure access to airspace for large numbers of drones. As such, U-space is an enabling framework designed to facilitate any kind of routine mission, in all classes of airspace and all types of environment – even the most congested – while addressing an appropriate interface with manned aviation and air traffic control.” (ATM Master Plan)

Det andra utvecklingsspåret handlar om att skapa ett nytt ramverk med hög grad av automation och konnektivitet. U-Space avser utnyttja (och utveckla) ny teknik och införa automatiserade funktioner för att möjliggöra rutinmässiga flygningar med ett stort antal UAV:er, av olika storlekar, även i komplexa urbana områden. U-Space är avsett att utgöra Europas *Unmanned Traffic Management (UTM)*. U-Space utvecklas för att kunna hantera

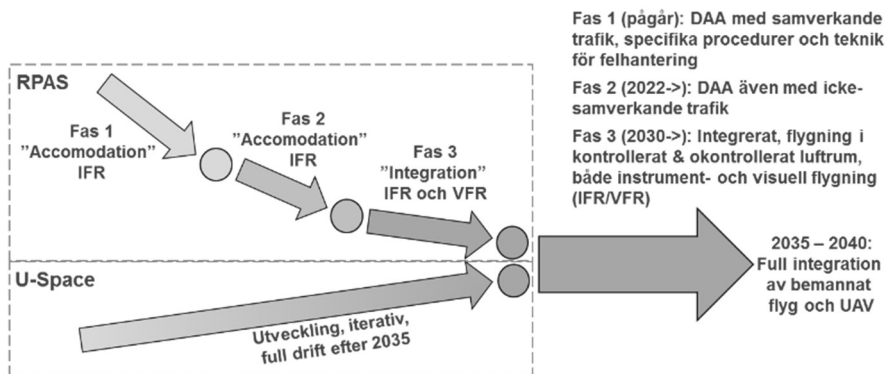
autonoma UAV:er där en operatör ska kunna övervaka ett större antal UAV:er samtidigt. Flygtrafiken bedöms öka med åtminstone en faktor tio där majoriteten av flygningarna utgörs av scenarion där operatören saknar fri sikt till sin UAV [103]. De två utvecklingsspåren illustreras i Figur 5.4.

I urbana miljöer kommer särskilda krav att ställas på grund av det förväntat stora antalet farkoster, bland annat när det gäller positionsnoggrannhet, felhantering och förmåga att detektera och väja för hinder och andra farkoster. U-Space förväntas dock allokera säkra rutter till UAV:erna, där andra UAV:er inte ska finnas sig.

Ett säkert och robust kommunikationssystem förutsätts även finnas, som kan hantera en stor mängd farkoster i urbana miljöer med dess speciella vågutbredningsutmaningar. Tre nyckelteknologier har identifierats för att

realisera U-space: *detect-and-avoid* (DAA), tillförlitlig kommunikation och cybersäkerhet.

Ambitionen att nå full integration av obemannade farkoster till 2040 är ambitiös och betydande insatser inom forskning och utveckling och anpassningar av regelverk återstår att genomföra. De militära behoven driver utvecklingen av



Figur 5.4: Illustration av planen för att integrera MALE RPAS och i högre grad automatiserade UAV:er av alla storlekar i osegregerat luftrum [103]. IFR – Instrument Flight Rules. VFR – Visual Flight Rules.

regelverken och tekniken för införandet av MALE RPAS där målsättningen är att de ska kunna integreras i osegregerat luftrum i slutet av detta årtionde.

UAV:er som opererar på flyghöjder mellan 150 och 18 000 meter behöver integreras i ATM genom att de följer de traditionella instrumentflygreglerna (*Instrument Flight Rules*, IFR). ICAO arbetar med att utveckla standarder och rekommendationer för detta men det är oklart när de införs. De europeiska regelverken och procedurerna kommer att harmoniseras med dessa.

För att RPAS ska kunna operera säkert bredvid civilflyg anges att följande principer måste följas [103]:

- RPAS måste så långt som är möjligt följa de procedurer som existerar för bemannade flygplan. För att kunna integreras sömlöst i luftrummet får flygningen inte medföra en otillbörlig risk eller belastning för personer, egendom eller andra flygplan.
- RPAS får inte reducera nuvarande nivå på flygsäkerhet eller försämra säkerheten eller effektiviteten för de bemannade flygningarna. Detta gäller alla operatörer och drönare.
- RPAS ska anpassas till de standarder som gäller för bemannade flygningar så långt som det är möjligt. När detta inte är möjligt att åstadkomma, på grund av unik design eller egenskaper hos RPAS, och inget alternativ kan identifieras för att följa dessa så kan opererandet av

sådana RPAS kräva att säkerhetsrisker omhändertas genom att exempelvis begränsa flygningen till att genomföras i segregerat luftrum.

Som en del av arbetet har EASA och EDA lett en arbetsgrupp, med deltagande även från militära och civila organisationer, där riktlinjer för att tillåta militära MALE RPAS som flyger under instrumentflygreglerna i delar av det europeiska luftrummet har tagits fram [104]. Dessa ska kunna användas av medlemsstaterna för att genomföra egna säkerhetsbedömningar och utveckla procedurer och processer som efterlever de europeiska regelverken. Syftet har varit att underlätta för transitflygningar med MALE RPAS på kort sikt fram till 2025.

5.6.1.2 Enhanced RPAS Automation Project

Tyskland, Frankrike, Italien, Polen och Sverige (Saab) deltog i EDA-projektet ERA (*Enhanced RPAS Automation*) som syftade till att bidra till standardiseringen av en uppsättning kritiska tekniska förmågor för användningen av både civila och militära RPAS i Europa. Förhoppningen är att arbetet ska underlätta certifieringen av bland annat automatisk start och landning (ATOL), automatisk taxiförmåga och *emergency recovery*. Underlag har överlämnats till EUROCAE (*European Organisation for Civil Aviation Equipment*) och konsortiet har lett arbetet med utvecklingen av standarder tillsammans med fler intressenter och EASA. Ambitionen är därefter att civila och militära luftfartsmyndigheter ska kunna inkludera dessa i certifieringsunderlaget för flygningar med MALE RPAS i Europa.

5.6.2 Tekniska krav på MALE RPAS för att möjliggöra flygning i osegregerat luftrum

Tre kritiska faktorer som möjliggör en framtida integration av MALE RPAS i osegregerat luftrum är: (i) ökad fysisk robusthet hos farkosterna som möjliggör uppfyllandet av STANAG 4671 (*UAV System Airworthiness Requirements*), (ii) förmåga till *sense-and-avoid* baserat på extern information rörande samverkande flygfarkoster och förmåga att detektera och väja för icke-samverkande flygfarkoster med integrerade algoritmer (DAA) och radar (DRR) och (iii) robust kommunikation för C2-datalänkar med mark- och satellitbaserade radiosystem.

5.6.2.1 Fysisk robusthet

Omfattande modifikationer av den ursprungliga MQ-9 Reaper har genomförts för att MQ-9B SkyGuardian ska kunna uppfylla STANAG 4671 som utgör en förutsättning för en framtida typcertifikation av NATO-ländernas respektive *military airworthiness authorities*. Det gäller bland annat införandet av avisningssystem, robusthet att klara svåra väderförhållanden, blixar och fågelkollisioner, en ökad robusthet mot strukturell utmattning av material och

redundanta avioniksystem.⁶²¹ Liknande modifikationer har även genomförts på den israeliska Heron TP.

5.6.2.2 Kommunikation

Kommunikation med hög tillförlitlighet utgör en av de viktiga säkerhetsmässiga aspekterna vid framförandet av militära RPAS i osegregerat luftrum. Spektrumtilldelningen bör därför motsvara de behov som detta medför, framförallt när det gäller att skydda frekvenserna mot interferenser. Ett par studier har genomförts där spektrumbehovet har analyserats, vid flygning i visuell line-of-sight (LOS) och bortom visuell LOS (BVLOS). I det senare fallet används typiskt satellitkommunikation men markbaserade radionät kan även användas. För C2-datalänken för en MALE RPAS angavs tidigare att motsvarande ca 10 kbps behövs för upplänk och 316 kbps för nedlänken.

En militär studie genomfördes inför världsradiokonferensen som genomfördes 2012.⁶²² Spektrumbehovet analyserades och jämfördes med en analys som genomfördes av ITU-R [90].⁶²³ De spektrumbehov som identifierades för LOS och BVLOS kommunikation med RPAS, uppdelat på styrningen av RPAS (upp- och nedlänk mellan RPA och markkontrollstation) och för överföring av sensordata, anges i tabell 5.1. För att erhålla dessa estimat har olika modeller av exempelvis antal UAV:er och typ av satellitkommunikation applicerats.

Spektrum har preliminärt allokerats för att stödja C2-datalänkar med satellitkommunikation i olika frekvensband (C-, Ku- och Ka-frekvensbanden). I C-bandet har ett skyddat band tilldelats på frekvensområdet 5030-5091 MHz men där begränsas möjligheterna då satellitkommunikationen behöver dela frekvenserna med markbunden LOS-kommunikation till RPAS. Förslag för hur denna delning ska implementeras är under framtagande. I Ku- och Ka-banden förväntas de slutliga allokeringarna genomföras på världsradiokonferensen 2023 och en del tekniska detaljer har ännu inte definierats [105,106].

För de markbaserade C2-länkarna är frekvenser i C- och L-banden tillgängliga. I C-bandet delas frekvenserna med satellitkommunikationen för BVLOS-system. I L-bandet (960-1164 MHz) finns ett antal radionavigationssystem och andra system (exempelvis Galileo, GPS och Länk 16) och det är utmanande att på ett säkert sätt integrera RPAS C2-datalänkar där.⁶²⁴ MQ-9B SkyGuardian använder C-bandsfrekvensområdet för frsiktsdatalänkar och X-, Ku- eller Ka-bandsfrekvenser för satellitkommunikation. Det är framförallt Storbritannien som

⁶²¹ www.ga-asi.com/remotely-piloted-aircraft/mq-9b

⁶²² *Study On Military Spectrum Requirements for the Insertion of UAS Into General Air Traffic.* (eda.europa.eu/docs/documents/SIGAT_Leaflet)

⁶²³ eda.europa.eu/docs/documents/SIGAT_Leaflet

⁶²⁴ www.icao.int/APAC/Meetings/2017%20RPGITUWRC19/WRC19RPG25_RPAS_LOS_Links_BobKer_czewski.pdf

planerar att använda X-bandskommunikation för nedlänkning av sensordata. Alla satellitbaserade kommunikationssystem har dock inte global täckning. Exempelvis de turkiska och kinesiska UAV:er som utrustas med satellitkommunikationsmottagare anges normalt ha en begränsad räckvidd.

Tabell 5.1: Sammanställning av estimerade spektrumbehov för RPAS. Vid BVLOS-flygningar antas satellitkommunikation. Analysen innefattar även civila RPAS.

Studie	C2 LOS [MHz]	C2 BLOS [MHz]	Sensorer [MHz]
SIGAT (militära)	15	12	150
ITU-R (civila och militära)	34	56	N/A

6 Sammanfattning

Den militära användningen av RPAS ökar kontinuerligt och över 100 länder använder idag RPAS operativt. Inom något år bedöms över 30 länder ha beväpnade RPAS och åtminstone 15 länder anges redan ha genomfört attackuppdrag med beväpnade RPAS (varav sex inom det egna landets gränser). En tydlig trend är att taktiska RPAS utrustats med specialanpassad beväpning och exporten av dessa har ökat mycket snabbt och de har använts i flera konfliktområden de senaste åren.

De flesta europeiska länderna använder stridstekniska och taktiska RPAS men omkring tio europeiska länder har även tillgång till, eller genomför anskaffning av, MALE RPAS. Natoländerna anskaffar även fem HALE RPAS (RQ-4D Phoenix Block 40 Global Hawk) som baseras på Sigonellabasen i Sicilien.

Ryssland har en betydande inhemsk utveckling av framförallt stridstekniska och taktiska RPAS men har nyligen även anskaffat beväpnade MALE RPAS. De inför även automatiserade ledningssystem som avsevärt snabbar upp tiden från detektion av mål till bekämpning (*reconnaissance-fire/strike*), där RPAS ger en viktig förmåga i form av framskjuten målinmätning.

Dagens RPAS bedöms dock ha stora problem att operera i telestörda miljöer, vilket är en kritisk förmåga som måste tillföras för att dagens system ska kunna användas i en framtida konflikt mot en kvalificerad motståndare. Detta förutsätter att robusta kommunikations- och navigeringssystem utvecklas och integreras samt att en ökad grad av automatiserade (autonoma) funktioner utvecklas. En ökad grad av autonoma funktioner är kritiska för att reducera operatörens kognitiva belastning samt möjliggöra genomförandet av ett uppdrag vid kommunikationsbortfall.

RPAS används idag framförallt för:

- spaning, övervakning och målinmätning (på alla ledningsnivåer)
- målutpekning, direkt bekämpning och efterföljande verkansbedömning
- telekrig främst i form av störning alternativt signalspaning för att identifiera och lokalisera fientliga förband för efterföljande bekämpning (med artilleri eller långgräckviddig precisionsbekämpning)
- relänod för kommunikation
- skenmål, framförallt vid bekämpning av luftvärnsradarsystem.

Ett flertal nya förmågor förväntas även kunna realiseras genom utvecklingen av mer avancerade UAV:er, såsom understödsfarkost till stridsflygplan, kvalificerad mark- och sjömålsattack, luftburen transport (komplement till helikopter) och lufttankning. Samverkande grupper av högggradigt automatiserade UAV:er, eller svärmar med ett stort antal individer, har en stor potential för spaningsuppdrag och för bekämpning av mål som utrustats med kvalificerade självförsvarssystem.

6.1 Övergripande slutsatser

Ett stort antal trender när det gäller den tekniska utvecklingen internationellt och utvecklingen av framtida förmågor har beskrivits i rapporten. Det är utmanande att sammanfatta en dylik bred litteraturstudie på ett koncist sätt men följande övergripande slutsatser bedöms vara av vikt för flygvapnet:

- *Beväpning:* De senaste fem åren har ett antal länder anskaffat eller utvecklat beväpnade RPAS och spridningen förväntas öka i snabb takt. Turkiet och Kina är de största exportörerna av beväpnade RPAS. Dessa RPAS är enklare än sina amerikanska och israeliska motsvarigheter, men kostnaden är lägre vilket gör det möjligt för fler länder att importera dessa system. Även USA och Israel lättar nu på exportrestriktionerna och avser exportera kvalificerade beväpnade RPAS till sina allierade.
- *Autonomi:* De autonoma funktionerna kan delas in i farkostautonomi och uppdragsautonomi. Farkostautonomi syftar främst till att tillhandahålla autonoma funktioner för ett säkert framförande av farkosten. Uppdragsautonomi syftar till att realisera de taktiska förmågorna och till skillnad från farkostautonomi så befinner sig utvecklingen av uppdragsautonomi ännu i sin linda. Uppdragsautonomi är intimt förknippat med hur uppdragen utförs och bör utvecklas i nära samarbete med flygvapnet.
- *Automatiserade ledningssystem:* Genom att införa automatiserade och autonoma funktioner bedöms det vara möjligt att avsevärt snabba upp OODA-loopen, från upptäckt av mål till genomförd bekämpning. Ett automatiserat ledningssystem som kopplar samman information från UAV:er med verkanssystem bedöms i många scenarion kunna utgöra ett större hot mot svenska förband än direkt bekämpning från UAV:er. Detta medför att förmågan att bekämpa UAV:er (counter-UAV) blir ytterst viktig.
- *Loyal wingman:* Ett antal länder utvecklar obemannade flygande farkoster som är avsedda att samverka med bemannade stridsflygplan. Ryssland och Kina verkar åtminstone på kort sikt arbeta med att utveckla kvalificerade obemannade flygplan (t.ex. S-70 Ochotnik) för denna roll. USA, Australien och de europeiska projekten har de senaste fem åren riktat in utvecklingen mot enklare obemannade farkoster med en avsevärt lägre kostnad än moderna bemannade stridsflyg vilket ska kunna möjliggöra att de kan införas i större volym (t.ex. Skyborg, Boeing ATS och LANCA, där exempelvis ambitionen för den senare är att den ska kosta mindre än en tiondel av ett modernt stridsflygplan). Det finns ett behov av att analysera hur effektiva olika koncept kan bli, exempelvis jämförelser mellan operativ effekt för ett fåtal kvalificerade farkoster relativt ett större antal mindre farkoster med begränsade förmågor men som medger ett större risktagande.
- *Digital Engineering:* En utmaning när det gäller utvecklingen av stridsflygplan och kvalificerade RPAS är att bryta trenden där kostnaden

för utveckling och anskaffning ökat kontinuerligt på grund av ökade krav på verkan och överlevnad. Ambitionen är att införandet av moderna digitala utvecklings- och tillverkningsmetoder ska möjliggöra en avsevärt snabbare utvecklingscykel och kraftigt reducerade kostnader för kvalificerade obemannade och bemannade flygfarkoster. Nationell industri bedöms ligga långt fram i denna utveckling.

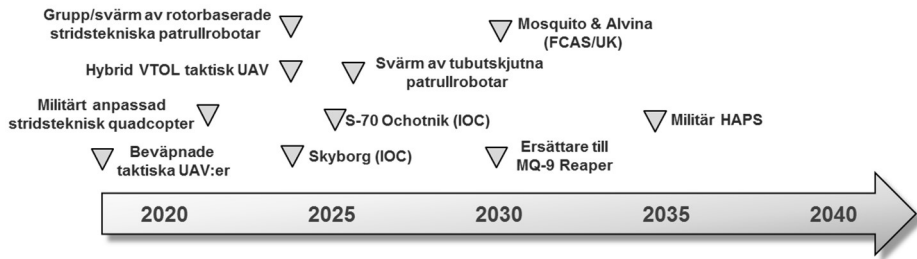
- *Små stridstekniska UAV:er:* Utvecklingen av rotorbaserade UAV:er för grupp- och plutonsnivå baseras primärt på den kommersiella marknaden där civila system modifieras för att möta militärens minimikrav när det gäller, sensorprestanda, fysisk robusthet, störskyddade datalänkar och gemensamma användargränssnitt.
- *Nytt koncept:* Användningen av enklare beväpnade taktiska UAV:er som opererar i grupp utgör ett nytt användningskoncept som haft stor framgång vid strider i Syrien och Nagorno-Karabach. Erfarenheterna från dessa konflikter behöver dock analyseras noga för att dra slutsatser om vilka delar av konceptet som är gångbara i en konflikt mot en kvalificerad motståndare.
- *Svärmar:* Svärmar av tubutskjutna UAV:er baserade på vidareutvecklade patrullrobotar utvecklas av framförallt USA och Kina och de bedöms utgöra ett allvarligt framtida hot. Det som återstår att utveckla för att realisera denna förmåga är framförallt uppdragsautonomi.

6.2 Bedömd tidslinjal för realiseringen av nya förmågor

I figur 6.1 ges en översiktlig bedömning av när teknikutvecklingen förväntas medge att olika förmågor kan realiseras och börjar föras in internationellt. Bedömningen baseras på en sammanvägd bedömning utifrån beskrivningen av den internationella teknikutvecklingen (kapitel 4). Figuren beskriver dock inte när motsvarande förmåga bedöms vara tillgänglig för anskaffning av det svenska flygvapnet eller att den kommer uppfylla deras specifika behov.

En militär version av en liten stridsteknisk kvadrokopter som huvudsakligen baseras på modifierade kommersiella system bedöms föras in av US Army redan under 2022. Den förväntas bland annat få en militär radiolänk, anpassat användargränssnitt samt automatiska funktioner som underlättar användningen.

En liten taktisk UAV (exempelvis FVR-90) med förmåga att starta och landa vertikalt, utan behov av start och landningsbana, men med lång uthållighet (drygt tio timmar) bedöms kunna börja föras in operativt i USA inom ett par år. Den ska kunna transporteras enkelt till och från olika operationsområden, exempelvis med helikopter, och även stationeras på mindre fartyg.



Figur 6.1: Estimerad tidslinjal för när teknikutvecklingen bedöms vara tillräckligt mogen för att kunna realisera olika nya förmågor. Bedömningen baseras på en uppskattning av den internationella teknikutvecklingen. Osäkerheten i tidsbedömningen ökar ju längre fram i tiden en förmåga är bedömd att realiseras. IOC, Initial Operational Capability, indikerar när initial (minsta användbara) förmåga bedöms komma att införas.

Grupper eller svärmar av samverkande rotorbaserade patrullrobotar bedöms kunna realiseras före 2025. Flera länder arbetar aktivt med liknande system, bland annat Turkiet. Det är dock oklart hur avancerade och effektiva dessa kommer att vara, framförallt mot kvalificerade militära mål, och vilken nivå på distribuerat beslutsfattande och styrning som svärmarna kommer ha initialt. Små rotorbaserade farkoster har en kort räckvidd och begränsad möjlighet att bära potenta verkansdelar. Framförallt Kina och USA utvecklar svärmar av patrullrobotar som potentiellt kan utgöra ett allvarligt hot även mot militära mål. Lastbilar som utrustas med utskjutningsanordning för drygt 50 patrullrobotar som gemensamt genomför ett attackuppdrag kan komma att utgöra ett allvarligt hot. Ambitionen är att utveckla svärmar som kan prioritera mål, attackera kvalificerade mål samtidigt från olika riktningar och göra verkansbedömning och vid behov bekämpa mål igen. Beroende på hur avancerade svärmaralgoritmer som implementeras så kan liknande system finnas tillgängliga inom fem år.

Flera länder utvecklar loyal wingmen som är avsedda att operera tillsammans med bemannade stridsflygplan. US Air Force planerar att inom Skyborgprogrammet nå IOC (*Initial Operational Capability*) med en första loyal wingman UAV redan 2024. Det är dock oklart vilka autonoma funktioner som kommer att finnas tillgängliga i denna, exempelvis när det gäller uppdrag som den kan genomföra. Ryssland planerar att föra in S-70 Ochothnik omkring 2025. Motsvarande osäkerhet rörande framförallt hur avancerad uppdragsautonomi som initialt kommer att vara implementerad finns för denna UAV. För dessa system förväntas en avgörande faktor för deras operationella effektivitet vara hur väl frågeställningar rörande styrning och ledning av UAV från stridsflyg samt teamingaspekter har implementerats. Det är troligt att systemen initialt kommer att användas primärt för att utveckla dessa aspekter samt användas under låga. Storbritannien har som målbild att föra in motsvarande system (Mosquito) och tillhörande svärmar (Alvina) omkring 2030.

USA har nyligen släppt en RFI som avser utvecklingen av en ny *Hunter-Killer* UAV som ska ersätta MQ-9 Reaper i slutet av årtiondet. Den utvecklas för att

kunna opereras i höga konfliktnivåer mot exempelvis Kina och Ryssland (*near-peer adversaries*) vilket bland annat innebär nya robusta kommunikations- och PNT-system utvecklade för långvariga operationer i telestörda miljöer.

Referenser

- [1] *Totalförsvaret 2021 – 2025*, Regeringens proposition 2020/21:30, oktober 2020.
- [2] Försvarmakten, *Tillväxt för ett starkare försvar. Slutredovisning av Försvarmaktens Perspektivstudie 2016-2018*, FM2015-13192:15, 2018.
- [3] J. Rantakokko, *Tekniköversikt autonoma och obemannade system - Del 1: Historik*, Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI-R--4680--SE, december 2018.
- [4] J. Rantakokko, F. Näsström, J. Nygårds, R. Woltjer och K. Bengtsson, *Tekniköversikt autonoma och obemannade system - Del 2: Markstriden*, Totalförsvarets Forskningsinstitut, FOI-R--4901--SE, november 2019.
- [5] J. Rantakokko, K. Bengtsson, C. Svensson, R. Lennartsson och M. Skarstind, *Tekniköversikt autonoma och obemannade system - Del 3: Sjöstriden*, Totalförsvarets Forskningsinstitut, FOI-R--5088--SE, december 2020.
- [6] Fredrik Westerlund och Susanne Oxenstierna (red.), *Rysk militär förmåga i ett tioårsperspektiv – 2019*, FOI-R--4752--SE, december 2019.
- [7] J. Bronk, *Combat air choices for the UK government*, Royal United Services Institute (RUSI) for Defence and Security Studies, juli 2020.
- [8] Försvarmakten, *Reglemente Taktik för Luftoperationer (TR LuftOp 2017)*, FM2015-21951:6, 2017.
- [9] *The U.S. Army in Multi-Domain Operations 2028*, TRADOC Pamphlet 525-3-1, december 2018.
- [10] UK Ministry of Defence, *Multi-Domain Integration*, Joint Concept Note (JCN) 1/20, Development Concepts and Doctrine Centre (DCDC), november 2020.
- [11] Lennart Berns, *Flygvapnets historia i sammandrag*, FlygvapenNytt, nr. 3, 1996.
- [12] *Study report on unmanned of systems*, Nordefco, Cooperation area capability (COPA CAPA), februari 2017.
- [13] Försvarmakten, *Försvarmaktens underlag för försvarspolitisk proposition 2021–2025*, FM2019-20164:6, november 2019.
(www.forsvarsmakten.se/contentassets/2df78e607c87458fb3bd19b9dcb75bec/fm2019-20164.6-bilaga-1-fm-underlag-forsvarspol-prop.pdf)
- [14] P. Bull, P. Grahn, S. Linder, K. Hultgren, A. Lennartsson, T. Mårtensson, B. Persson, N. Stensbäck och H. Thorell, *RPAS för territorialövervakning 2030 – värdering av några alternativ*, Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI-R--3987--SE, december 2014.
- [15] *Försvarmaktens strategiska inriktning 2021-2030*, Försvarmakten, FM2021-7333:1, mars 2021.

- [16] G. Woodhams, *Weapons of choice? The expanding development, transfer and use of armed UAVs*, United Nations Institute for Armaments Research (UNIDIR), 2018.
- [17] D. Gettinger, *The drone databook*, The Center for the study of the drone at Bard college, september 2019.
- [18] B. Kellman, *Exporting armed drones – The United States sets policy*, ASIL Insights, American Society of International Law, vol. 19, no. 7, juli 2015. (www.asil.org/insights/volume/19/issue/17/exporting-armed-drones-%E2%80%93-united-states-sets-policy#_edn10)
- [19] *Missile technology control regime (M.T.C.R.) – Equipment, software and technology annex*, MTCR/TEM/2019/Annex, oktober 2019.
- [20] C. Orozbekova och M. Finaud, *Regulating and limiting the proliferation of armed drones: Norms and challenges*, Geneva Paper 25/20, augusti 2020.
- [21] R.B Urcosta, "The revolution in drone warfare - The lessons from the Idlib de-escalation zone," *Journal of European, Middle Eastern, & African Affairs (JEMEAA)*, 2020.
- [22] *Dispatch from the field – Evolution of UAVs employed by Houthis forces in Yemen*, Conflict Armament Research (CAR), februari 2020.
- [23] D. Kunertova, *The European Defense Market and the Spread of Military UAV technology*, Center for War Studies (CSW), SDU, 2019.
- [24] T. Melin och T. Mårtensson, *Obemannade flygsystem i samverkan med stridsflyg*, FOI Memo 7006, Totalförsvarets forskningsinstitut, maj 2020.
- [25] J. Källén, *Russian Electronic Warfare - The role of Electronic Warfare in the Russian Armed Forces*, Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI-R--4625--SE, september 2018.
- [26] Y. Robinson (red.) och M. Garcia Lozano (red.), *AI och framtidens försvarsmedicin*, Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI-R--5045--SE, november 2020.
- [27] *Military Unmanned Systems Handbook – Issue 27*, Shephard, april 2019.
- [28] J. Mankoff (red.), S. Bendett, S. Blank, J. Cheravitch, M.B. Petersen och A. Turunen, *Improvisation and Adaptability in the Russian Military*, Centre for Strategic and International Studies (CSIS), sid. 38-47, april 2020. (www.jstor.org/stable/resrep24241.9?seq=1#metadata_info_tab_contents)
- [29] R. Jonsson och M. Ankel, "Quantum radar – What is it good for?", *IEEE Radar Conference (RadarConf21)*, 2021.
- [30] J. Trevithick, *China is hard at work developing swarms of small drones with big military applications: Terrorist have shown the threat of swarm attacks is real, but nations such as China can make them much more dangerous*, The DRIVE, januari 2018. (www.thedrive.com/the-war-zone/17698/chinas-is-hard-at-work-developing-swarms-of-small-drones-on-multiple-levels)

- [31] S. Allik, S. Fahey, T. Jermalavičius, R. McDermott och K. Muzyka, *The Rise of Russia's Military Robots: Theory, Practice and Implications*, International Centre for Defence and Security (ICDS), Estland, februari 2021.
- [32] R. McDermott, *Russia's Electronic Warfare Capabilities to 2025: Challenging NATO in the electromagnetic spectrum*, International Centre for Defence and Security (ICDS), Estland, september 2017.
- [33] V. Kozyulin, "Militarization of AI: A Russian Perspective," Discussion Paper, *Workshop on The Militarization of Artificial Intelligence*, juli 2019.
- [34] D. Adamsky, *Russian Lessons from the Syrian Operation and the Culture of Military Innovation*, George C. Marshall European Center for Security Studies, februari 2020. (www.marshallcenter.org/en/publications/security-insights/russian-lessons-syrian-operation-and-culture-military-innovation)
- [35] L.W. Grau och C.K. Bartles, *The Russian Reconnaissance Fire Complex Comes of Age*, Changing Character of War Centre, maj 2018.
- [36] P. Scharre, *Robotics on the Battlefield Part II: The Coming Swarm*, Center for a New American Security (CNAS), oktober 2014.
- [37] R. McDermott, Russia's Armed Forces Expand UAV Strike Capability, *Eurasia Daily Monitor*, vol. 16, nr 22, februari 2019.
- [38] *Combat air strategy: An ambitious vision for the future*, Ministry of Defence (MOD), juli 2018. (www.gov.uk/government/publications/combatair-strategy-an-ambitious-vision-for-the-future)
- [39] T. Taylor, *Gambling Responsibly and the UK Tempest Programme: Experiences, Risks and Opportunities*, Royal United Services Institute (RUSI) for Defence and Security Studies, november 2020.
- [40] R. Farid, T. Mårtensson och M. Nylund, *Höghöjdsplattformar i svenskt försvar*, Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI-D--1012--SE, 2020.
- [41] *The U.S. Military's Force Structure: A Primer*, Congressional Budget Office (CBO), Congress of the United States, juli 2016.
- [42] M. Gunzinger och L. Autenried, *The Promise of Skyborg*, Air Force Magazine, pp. 52-55, november 2020. (www.airforcemag.com/app/uploads/2020/11/1120_Nov20_Fullissue_Rev2-1.pdf)
- [43] J.A. Tirpak, *Skyborg Drone Translates Between F-35 and F-22 in Test*, Air Force Magazine, december 2020. (www.airforcemag.com/skyborg-drone-translates-between-f-35-and-f-22-in-test/)
- [44] R.S. Cohen, *Three Companies Win New Skyborg Prototyping Contracts*, Air Force Magazine, december 2020. (www.airforcemag.com/three-companies-win-new-skyborg-prototyping-contracts/)
- [45] J.A. Tirpak, *'Air Force We Need 2.0' Exploring Low-Cost, Unmanned Aircraft*, Air Force Magazine, oktober 2020. (www.airforcemag.com/air-force-we-need-2-0-exploring-low-cost-unmanned-aircraft/)

- [46] R. O'Rourke, *Navy Light Amphibious Warship (LAW) Program: Background and Issues for Congress*, Congressional Research Service (CRS) Report, R44463, april 2021. (crsreports.congress.gov/product/pdf/R/R46374)
- [47] *Unmanned Campaign Framework*, Department of the Navy, mars 2021.
- [48] K. Behymer, C. Rothwell, H. Ruff, M. Patzek, G. Calhoun, M. Draper, S. Douglass, D. Kingston och D. Lange, *Initial Evaluation of the Intelligent Multi-UxV Planner with Adaptive Collaborative/Control Technologies (IMPACT)*, AFRL-RH-WP-TR-2017-0011. 711 HPW/RHCI, Air Force Research Laboratory (AFRL), Wright-Patterson Air Force Base, OH, USA, 2017. (apps.dtic.mil/sti/pdfs/AD1029982.pdf)
- [49] D.J. Musliner, R.P. Goldman, J. Hamell och C. Miller, "Priority-based playbook tasking for unmanned system teams," *Proceedings of Infotech@Aerospace*, AIAA, 2011.
- [50] T. Rogoway, *Everything We Learned From Boeing About Its Potentially Game-Changing Loyal Wingman Drone*, The Drive, maj 2020. (www.thedrive.com/the-war-zone/33271/everything-we-learned-from-boeing-about-its-potentially-game-changing-loyal-wingman-drone)
- [51] 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.
- [52] P. Olsson, *Kinas militära modernisering: Utvecklingen av PLA:s militära materiel*, Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI MEMO 6776, juni 2019.
- [53] P. Paszak, *Are Military Drones the Future of the Chinese Army?*, Warsaw Institute Foundation, december 2020.
- [54] N. Bier och P. Madden, *Unmanned aerial vehicle assessment: China*, Red Diamond, OE Integration Directorate, vol. 9, nr. 4, september-oktober 2018.
- [55] R. Fedasiuk, *Chinese Perspectives on AI and Future Military Capabilities*, Center for Security and Emerging Technology (CSET) Policy Brief, augusti 2020. (cset.georgetown.edu/research/chinese-perspectives-on-ai-and-future-military-capabilities/)
- [56] N. Tian och F. Su, *Estimating the arms sales of Chinese companies*, SIPRI Insights on Peace and Security, Stockholm International Peace Research Institute (SIPRI), nr. 2/2020, januari 2020.
- [57] M.C. Horowitz, J.A. Schwartz och M. Fuhrmann, Who's Prone to Drone? A Global Time-Series Analysis of Armed Uninhabited Aerial Vehicle Proliferation, *Journal of Conflict Management and Peace Science*, november 2020.
- [58] S.R. David, Israel's Policy of Targeted Killing, *Ethics & International Affairs*, Vol. 17, No. 1, sid. 111 – 126, mars 2003.
- [59] W. Zwijnenburg och K. van Hoorn, *Unmanned & Uncontrolled: Proliferation of unmanned systems and the need for improved arms export controls*, PAX for Peace, augusti 2015.

- [60] S. Shaikh och W. Rumbaugh, *The Air and Missile War in Nagorno-Karabakh: Lessons for the Future of Strike and Defense*, Center for Strategic & International Studies (CSIS), December 2020. (www.csis.org/analysis/air-and-missile-war-nagorno-karabakh-lessons-future-strike-and-defense)
- [61] S. Crino och A. Dreby, *Turkey's drone war in Syria – A red team view*, Small Wars Journal, april 2020. (smallwarsjournal.com/jrnl/art/turkeys-drone-war-syria-red-team-view)
- [62] *Final report of the Panel of Experts on Libya established pursuant to Security Council resolution 1973 (2011)*, United Nations Security Council, S/2021/229, mars 2021.
- [63] J. Rantakokko, et al., *Gemensamma teknikbehov inom obemannade och autonoma system - Slutrapport*, Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI-R--5096--SE, december 2020.
- [64] A. Townsend, I.M. Jiya, C. Martinson, D. Bessarabov och R. Gouws, "A comprehensive review of energy sources for unmanned aerial vehicles, their shortfalls and opportunities for improvements", *Heliyon*, vol. 6, nr. 11, november 2020.
- [65] J. Rantakokko, F. Näsström och T. Mårtensson, *Nuläge och förväntad utveckling inom området stridstekniska och taktiska RPAS*, Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI Memo 6685, mars 2019.
- [66] J.E. Mayer, *State of the Art of Airworthiness Certification*, STO-MP-AVT-273,
- [67] *STANAG 4671 Edition 3 – Unmanned aircraft systems airworthiness requirements (USAR)*, NATO Standardization Office (NSO), april 2019.
- [68] K. Artman och A. Westman, *Lärobok i Militärteknik*, Sensorteknik vol. 2, Försvarshögskolan 2007.
- [69] B. Kinzig, *Global Hawk systems engineering case study*, Air Force Center for Systems Engineering, Air Force Institute of Technology (AFIT), 2010. (www.lboro.ac.uk/media/www/lboroacuk/content/systems-net/downloads/pdfs/GLOBAL%20HAWK%20SYSTEMS%20ENGINEERING%20CASE%20STUDY.pdf)
- [70] J. Watling, *The Future of Fires – Maximising the UK's Tactical and Operational Firepower*, Royal United Services Institute (RUSI) for Defence and Security Studies, november 2019.
- [71] J. Rantakokko, *Standarder och gemensamma användargränssnitt som möjliggörare för effektiv MUM-T*, Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI MEMO 6594, december 2018.
- [72] *The Human Dimension in Tomorrow's Aviation System - White Paper*, Chartered Institute of Ergonomics & Human Factors, 2020. (www.ergonomics.org.uk/common/Uploaded%20files/Publications/CIEHF-Future-of-Aviation-White-Paper.pdf)

- [73] S. Aronsson, et al., *LVC Allocator och White Wizard: Fundament för träningsvärde i framtida Live-Virtual-Constructive luftstridsträning*, Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI-R--5047--SE, 2020.
- [74] P. Scharre, *Army of none: Autonomous weapons and the future of war*, WW Norton & Company, 2018.
- [75] J. Rantakokko, et al., *Gemensamma teknikbehov inom obemannade och autonoma system - Slutrapport*, Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI-R--5096--SE, december 2020.
- [76] K. Bengtsson och R. Woltjer, *Autonomi och obemannade system - Inriktning av forskning inom delområdet Manned-Unmanned Teaming (MUM-T)*, Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI-R--4522--SE, december 2017.
- [77] Joint Concept Note (JCN) 1/18, *Human-machine teaming*, Development Concepts and Doctrine Centre (DCDC), Ministry of Defence (MoD), Storbritannien, maj 2018. (www.gov.uk/government/publications/human-machine-teaming-jcn-118)
- [78] *Defense science board task force report: The role of autonomy in DoD systems*, Defense Science Board, US Department of Defense, 2012.
- [79] *Human-Autonomy Teaming: Supporting Dynamically Adjustable Collaboration*, STO-TR-HFM-247, NATO Science & Technology Organization (STO), Paris, mars 2020. (www.sto.nato.int/publications/Pages/default.aspx)
- [80] E. Hollnagel och D.D. Woods, *Joint cognitive systems: Foundations of cognitive systems engineering*, Boca Raton, FL: CRC Press/Taylor & Francis, 2005.
- [81] J. M. Bradshaw, R.R Hoffman, D.D. Woods, och M. Johnson, "The seven deadly myths of autonomous systems," *IEEE Intelligent Systems*, 28(3), 54-61, 2013.
- [82] S. Russell, *Human compatible: Artificial intelligence and the problem of control*, Penguin, 2019.
- [83] R.R. Hoffman, P.J. Feltovich, K.M. Ford, D.D. Woods, G. Klein, och A. Feltovich, "A rose by any other name...would probably be given an acronym," *IEEE Intelligent Systems and Their Applications*, 17(4), 72–80, 2002.
- [84] G. Klein, D.D. Woods, J.M. Bradshaw, R.R. Hoffman och P.J. Feltovich, "Ten challenges for making automation a 'team player' in joint human-agent activity," *IEEE Intelligent Systems*, 19(6), 91-95, 2004.
- [85] S. Tannenbaum och E. Salas, *Teams that work: the seven drivers of team effectiveness*, Oxford University Press, 2020.
- [86] M. Johnson, J.M. Bradshaw, P.J. Feltovich, C.M. Jonker, M.B. Van Riemsdijk och M. Sierhuis, "Coactive design: Designing support for interdependence in joint activity," *Journal of Human-Robot Interaction*, 3(1), 43-69, 2014.

- [87] M. Johnson, B. Shrewsbury, S. Bertrand, T. Wu, D. Duran, M. Floyd och J. Pratt, "Team IHMC's lessons learned from the DARPA robotics challenge trials," *Journal of Field Robotics*, 32(2), 192-208, 2015.
- [88] C. Hoyle, *Team Tempest partners detail FCAS progress*, Flight Global, oktober 2020. (www.flightglobal.com/defence/team-tempest-partners-detail-fcas-progress/140650.article)
- [89] J. Rantakokko, E. Axell, J. Nygårds och N. Stenberg, *Tekniker för navigering i urbana och störda GNSS-miljöer – Slutrapport*, Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI-R--4907--SE, december 2019.
- [90] *Characteristics of unmanned aircraft systems and spectrum requirements to support their safe operation in non-segregated airspace*, ITU-R Report, M2171, 12/2009.
- [91] G. Eriksson, A. Hansson, P.D. Holm, J. Nilsson och J. Rantakokko, *Robust och störtålig kommunikation för obemannade farkoster – Utmaningar och möjligheter*, Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI-R--4895--SE, december 2019.
- [92] E. Axell, M. Jändel, D. Lindahl, S. Linder, I. Rodhe och L. Westerdahl, *Robust kommunikation, cybersäkerhet och artificiell intelligens för säkerhet i RPAS*, Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI-R--3825--SE, december 2013.
- [93] P. Strömbäck, M. Hagström, A. Lennartsson, F. Marsten Eklöf, J. Rydell och J. Rantakokko, *Autonomi och obemannade system - Förslag till inriktning av området Robust navigering*, Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI-R--4523--SE, december 2017.
- [94] J. Rantakokko, E. Axell, J. Nygårds, J. Rydell och N. Stenberg, *Tekniker för navigering i urbana och störda GNSS-miljöer*, Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI-R--4907--SE, december 2019.
- [95] *Study report on unmanning of systems – Robust Navigation*, Nordefco, Cooperation area capability, april 2019.
- [96] D. Sandmark, *Navigation strategies for improved positioning of autonomous vehicles*, Linköping University, LiTH-ISY-EX--19/5255--SE, augusti 2019.
- [97] K. Gudmundson, *Ground Based Attitude Determination Using a SWIR Star Tracker*, Linköping University, LiTH-ISY-EX--19/5236--SE, juni 2019.
- [98] P. Tucker, *An AI Just Beat a Human F-16 Pilot In a Dogfight — Again*, DefenceOne, 2020-08-20. (www.defenseone.com/technology/2020/08/ai-just-beat-human-f-16-pilot-dogfight-again/167872/)
- [99] N. Ernest, et al., Genetic Fuzzy based Artificial Intelligence for Unmanned Combat Aerial Vehicle Control in Simulated Air Combat Missions, *Journal of Defense Management*, Vol. 6, No. 144, 2016.
- [100] A. Toubman, *Calculated Moves: Generating Air Combat Behaviour*, PhD Thesis, Leiden University, Nederländerna, 2020.

- [101] I. Hallkvist, *Redovisning av BABEL, ABM, RRjal, Epiloten och Hpiloten för, personal ur Flygvapnet*, Flygtekniska försöksanstalten, FFAP-F 66, 1995.
- [102] P. Stehlin, I. Hallkvist och H. Dahlstrand, "Models for air combat simulation", *Proceedings of International Council of the Aeronautical Sciences (ICAS)*, Anaheim, CA, USA, 1994.
- [103] *European ATM Master Plan: Roadmap for the safe integration of drones into all classes of airspace*, SESAR Joint Undertaking, mars 2018.
- [104] *Guidelines: Accomodation of military IFR MALE type RPAS under GAT airspace classes A-C*, EDA/EASA, 2019.
- [105] R.J. Kerczewski, J.D. Wilson och W.D. Bishop, "Satellite communications for unmanned aircraft C2 links – C-band, Ku-band and Ka-band," *Proceedings of 22nd Ka and Broadband Communications Conference*, oktober 2016.
- [106] J.H. Griner och R.J. Kerczewski, "Communications for UAS integration in the NAS phase 2 – Satellite communications and terrestrial extension," *Proceedings of Integrated Communications Navigation and Surveillance (ICNS) Conference*, september 2017.

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