



FOI MEMO

Projekt/Project
MKOK804 (OASIS)

Sidnr/Page no
1 (34)

Projektnummer/Project no Uppdragsgivare/Client
E86262 FM

FoT-område
Inget FoT-område

Författare/Author
Marcus Norgren, Alexander Samimi Johansson

Datum/Date
2023-12-06

Memo nummer/Number
FOI Memo 8336

Teknikutveckling UAS – omvärldsanalys och trender

Titel/Title
Teknikutveckling UAS – omvärldsanalys och trenderMemo nummer/Number
FOI Memo 8336

1 Inledning

Under år 2023 har FOI haft i uppgift (inom ramen för uppdraget *Stöd till förmågeinriktning*, MKOK 804) att stötta framtagningen av ett explorativt koncept för gemensam strid och bekämpning med stöd av obemannade system. Det här memot är framtaget som en del av arbetet, i projektet OASIS (*Operativ Analys och Strategisk Inriktning av Stridskrafter*). Uppdraget i stort syftar till att stödja Försvarmakten med spelstöd, analys och värdering av operativa förmågor och försvarsmaktsgemensamma system.

Detta memo beskriver den tekniska omvärldsanalys som genomförts i uppgiften, i syfte att utveckla metoder och underlag kring hur Försvarmaktens konceptarbeten bör bedrivas i allmänhet. Arbetet har även syftat till att undersöka hur Förmågeutvecklingssektionen vid Förvarsstabens Strategienhet bör leda och inrikta denna verksamhet. Som en del av arbetet i detta memo har spelkort och andra underlag tagits fram som beskriver den förväntade teknikutvecklingen av obemannade system inom de närmsta 10 åren. Underlagen har använts för att stötta genomförande av spel i Förvarsstabens regi för att validera (under steget experimentera i CD & E [1]) framtaget koncept.

Underlaget innehåller en analys av den förväntade teknikutvecklingens potential att bidra till förmågor inom Försvarmakten mot tidsperspektivet 2035. Det här memot fokuserar på obemannade flygande system (*Unmanned Aerial System*, UAS) och innehåller en sammanfattning över teknikutveckling för militära UAS. Det innehåller även en beskrivning av några utvecklingstrender som har potential att öka Försvarmaktens operativa förmågor. Innehållet i det här memot baseras på tidigare FOI-rapporter, öppna källor, diskussioner med sakkunniga på FOI, samt samtal med representanter och ingenjörer från företag.

1.1 Obemannade flygande system

UAS avser en obemannad flygande farkost (*Unmanned Aerial Vehicle*, UAV) samt övriga delsystem i form av operatörer, markstationer, start- och landningsutrustning samt kommunikationslänkar, som möjliggör att systemet kan fungera.

En distinktion görs mellan fjärrstyrda system (*Remotely Piloted Aircraft System*, RPAS), och fullt autonoma system. Det finns ännu inga formellt vedertagna definitioner för vad ett autonomt system är vilket kan leda till viss förvirring angående systemens roller och förmågor [2].

Med RPAS menas system som fjärrstyrs av en eller flera operatörer på avstånd via exempelvis radio eller videolänk. Detta sker vanligtvis från en markbaserad kontrollstation, där navigering, sensorer och verkansdelar kan styras. Dagens mest utvecklade RPAS har typiskt ett flertal inbyggda automatiska funktioner som till exempel automatisk navigering mellan brytpunkter samt spaningsfunktioner med automatisk objekt-detektion och målföljning. Dessa kan utföras antingen från en markstation eller ombord på farkosten om tillräckligt stor beräkningskapacitet finns.

Med autonoma UAS menas här system med fler automatiska funktioner som möjliggör helt autonom operation under en längre tid utan inverkan från en operatör. Utvecklingen av denna kategori tillhör den absoluta forskningsfronten och är inget som idag finns utbrett inom länders försvarsmakter – dock pågår många utvecklingsprojekt för att ta fram helt autonoma system för militärt bruk. De UAS som idag är standard är av typen RPAS, och kommer för detta memo antas vara underförstått om inget annat nämns. För beväpnade UAS används ofta benämningen *Unmanned Combat Aerial Vehicle* (UCAV).

Detta memo fokuserar på obemannade flygande system. Även obemannade markfordon (*Unmanned Ground Vehicle*, UGV), obemannade undervattensfarkoster (*Unmanned Underwater Vehicle*, UUV) samt obemannade ytfartyg (*Unmanned Surface Vehicle*, USV) är högaktuella teknikområden och systemen utvecklas i högre grad för att kunna samverka med varandra.

Titel/Title
Teknikutveckling UASMemo nummer/Number
FOI Memo 8336

1.2 Klassificering av UAS

UAS kan delas in i ett flertal olika kategorier baserat på exempelvis storlek och dimensionerande förmågor såsom räckvidd och uthållighet. Den snabba teknikutvecklingen har dock medfört att små system får fler egenskaper motsvarande större system (exempelvis längre räckvidd), vilket gör det svårt att ta fram en entydig klassificering som ger en helt korrekt bild av samtliga systems förmågor.

Nato har i STANAG 4670 (*Minimum Training Requirements For Unmanned Aircraft Systems (UAS) Operators and Pilots*) valt att dela in UAS i tre klasser utifrån vikt, och underkategorier baserat på vikt, flyghöjd och räckvidd (länkräckvidd) (se Tabell 1). I detta memo refereras det till systemen enbart utifrån vikt, då både flyghöjd och räckvidd för ett specifikt system kan motsvara en annan klass eller kategori.

Tabell 1: Natos klassificering av UAS¹. AGL (Above Ground Level). LOS (Line Of Sight). BLOS (Beyond Line Of Sight) – potentiellt obegränsad räckvidd. MALE (Medium Altitude Long Endurance). HALE (High Altitude Long Endurance). Benämningen Strike/Combat är ett tillägg för beväpnade UAS (UCAV) av typen HALE.

Klass	Kategori	Altitud (AGL)	Räckvidd
Klass I < 150 kg	Mikro < 2 kg	< 200 fot	5 km (LOS)
	Mini 2 – 20 kg	< 3 000 fot	25 km (LOS)
	Liten 20 – 150 kg	< 5 000 fot	50 km (LOS)
Klass II 150 – 600 kg	Taktisk	< 10 000 fot	200 km (LOS)
Klass III > 600 kg	Strike/Combat	< 65 000 fot	Obegränsad (BLOS)
	MALE	< 45 000 fot	Obegränsad (BLOS)
	HALE	< 65 000 fot	Obegränsad (BLOS)

I ett utkast till Systemutvecklingsplan RPAS 2019 föreslås en klassificering av RPAS inom Försvarsmakten utifrån ledningsnivå enligt Tabell 2. De ledningsnivåer som hänvisas till i detta memo kopplat till UAS refererar till en förenklad version av denna klassificering. Exempelvis refererar ”stridsteknisk spaning” till spaning på både låg stridsteknisk och stridsteknisk ledningsnivå, och så vidare.

¹ NATO UAS Classification Guide. September 2009 JCGUAV meeting.

Titel/Title
Teknikutveckling UAS – omvärldsanalys och trenderMemo nummer/Number
FOI Memo 8336

Tabell 2: Förslag till klassificering av RPAS enligt utkast till SUP RPAS. Systemutvecklingsplan RPAS 2019 (SUP RPAS 19), Försvarmakten, version 2020-03-26 (ej fastställd).

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

Små system används primärt för stridsteknisk spaning, övervakning, målinmätning och småskalig verkan mot enstaka personal och fordon, och systemen betraktas som förbrukningsvaror med hög omsättning. Större system används generellt för långräckviddig spaning och informationsinhämtning (*Intelligence, Surveillance, Reconnaissance, ISR*), precisionsbekämpning och telekrig. Tidig förvarning (*Airborne Early Warning, AEW*) är ett annat användningsområde som utforskas [3].

Nato klass I omfattar de minsta UAV-typerna och är den klass av UAS som har sett mest utveckling de senaste åren, framförallt på den civila marknaden. I kategorierna Mikro och Mini finns batteridrivna multikoptrar och flygplans-UAV:er i olika storlekar, medan de större systemen inom kategorin Liten oftast har förbränningsmotor. De mindre UAS-systemen har fördelen av att vara billiga, mobila samt lätta att driftsätta. För att operera en mikro-UAV eller mini-UAV krävs enbart en operatör och markstation, till skillnad från större system som ofta är beroende av flera operatörer och markstationer.

I Nato klass II kommer klassificeringen *Taktisk* av den ökade länkräckvidden, uthålligheten, samt förmågan att bära tyngre och mer avancerade sensorer, som ger möjlighet till övervakning av stora områden under längre tid, vilket ger underlag för taktisk ledning av förband på brigad/divisionsnivå.

System inom Nato klass III karaktäriseras av hög hastighet, hög höjd, lång uthållighet och lång räckvidd. De är typiskt i flygplanskonfiguration och utrustade med både ytspanande och bildalstrande sensorer för långräckviddig spaning över stora områden, eller tyngre beväpning i form av robotar för precisionsbekämpning av mark- eller sjömål. På grund av deras storlek, flyghöjd och krav på start- och landningsbana, opereras de ofta från flygbaser, dock kan de lite mindre MALE-systemen, exempelvis Bayraktar TB2, även opereras av markförband.

I nästkommande kapitel presenteras exempel på befintliga och kommande UAV-system med syfte att illustrera några av de tydligaste utvecklingstrenderna kopplat till operativa förmågor. Därefter diskuteras mer ingående teknikområden som bidrar till utvecklingen av UAS.

Titel/Title
Teknikutveckling UASMemo nummer/Number
FOI Memo 8336

2 Förmågor

Följande kapitel behandlar UAS främst kopplat till förmågorna spaning, målinmätning, bekämpning, telekrig och logistik. Andra förmågor diskuteras också löpande i memot. Det är viktigt att notera att påståenden om prestanda som hämtats direkt från leverantörer inte alltid kan eller har verifierats och därför inte bör tas för givna.

2.1 Spaning, övervakning och målinmätning

UAS används för spaning, övervakning och målinmätning på alla ledningsnivåer. Sensorer för spaning diskuteras mer ingående i avsnitt 3.1.

2.1.1 Stridsteknisk spaning

Ett av de allra minsta spaningssystemen är Teledyne FLIR Black Hornet 4 [4], en drygt 15 cm lång helikopter som väger endast 70 gram. Den är kapabel till tyst flygning (på mycket nära avstånd) upp till 30 minuter, med en länkräckvidd på 2 km och är utrustad med EO/IR-sensorer (*Electro-Optical/Infra-Red*) samt en högupplöst kamera och videoström till en operatör för spaningsuppdrag. Den används av ca 40 länders försvarsmakter och poliskårer världen över, varav Ukraina är ett av de senaste länderna att bruka systemet [5].

De lite större multikoptrarna i Natokategorierna Mikro och Mini väger vanligtvis 0,5 – 5 kg och har en flygtid på 0,5 – 2 timmar, samt en länkräckvidd på upp till ca 5 km. Typiska användningsområden för dessa system är enklare spaning och målinmätning, men de kan även utrustas med enklare beväpning i form av exempelvis granater. Normalt är de av multikoptertyp och har således förmåga att lyfta och landa vertikalt (*Vertical Take-Off and Landing, VTOL*), samt hovra.

Många exempel finns från kriget i Ukraina där små multikoptrar har använts framgångsrikt för att flyga in lågt under motståndarens radartäckning maskerad av terräng och trädlinjer för att spana, mäta in mål samt släppa granater på enstaka personal och fordon [6]. Exempel finns även på en multikopter som flygs längs marken genom skog, in i motståndarens bunker och exploderar [7].

Små stridstekniska UAV:er är ofta mycket lätta att störa ut och nedkämpa när de väl upptäckts, så deras primära fördel ligger i kvantitet och låg kostnad, och bör därför betraktas som förbrukningsvaror. Det uppskattas att Ukraina förlorar över 10 000 UAV:er av olika storlek per månad till följd av Rysslands omfattande telekrigsåtgärder, där individuella telekrigssystem kan täcka 10 km långa frontavschnitt vardera [8].

Kriget i Ukraina har demonstrerat att stridstekniska UAV:er kan 3D-printas och byggas i en mycket snabb takt [9]. Själva flygkroppen kan byggas relativt enkelt med 3D-printing, för att sedan byggas på med färdiga motorer, sensorer och radiomodem. 3D-skrivare kan med fördel användas decentraliserat och kräver inga stora lokaler (åtminstone för tillverkning av små plattformar), vilket möjliggör flexibla och mindre sårbara tillverkningsprocesser i exempelvis skyddade källare och bunkrar. Tillgången till kritiska elektronikkomponenter är dock fortfarande en utmaning.

Multikoptrar används också för stationär övervakning av exempelvis flygplatser eller andra skyddsvärda objekt. Med en tjudrad UAV ansluten med kabel ned till en markstation kan man få en kontinuerlig övervakningskapacitet 24 timmar om dygnet samt ökat skydd mot störningar, och kabellängderna kan vara över 100 meter. Vissa system kan ha övervakningsräckvidder på tiotals kilometer, om en tillräckligt kraftfull sensor kan bäras [10]. En upphöjd UAV kan även fungera som kommunikationsrelä till andra system (se avsnitt 3.3).

Titel/Title
Teknikutveckling UAS – omvärldsanalys och trenderMemo nummer/Number
FOI Memo 8336

2.1.1.1 FPV

I Ukrainakriget är det vanligt att mikro- och mini-UAV:er flygs med FPV-teknik (*First Person View*), det vill säga operatören bär speciella glasögon för att styra UAV:n direkt via dess egen kamera, utan GNSS-beroende eller avancerat mjukvarustöd i form av automatiserad styrning eller stabilisering [11]. Detta gör att systemet kan flygas i GNSS-störda miljöer givet att videolänken till operatören är tillräckligt robust mot potentiella störningar inom andra frekvensområden. GNSS-signaler ligger normalt på runt 1,5 GHz medan de flesta kommersiella FPV-systemen använder sig av 5,8 GHz-bandet.

Länkräckvidden för FPV-system kan med portabla riktade antenner, och rätt väderförhållanden vara upp till 50 – 100 km (LOS) för digital video, och ännu längre för analog video (vissa FPV-användare i Ukraina uppger så långt som 160 km), då det går att sända mindre data och på lägre frekvenser [12]. För att få fri sikt på sådana långa avstånd krävs generellt också en hög flyghöjd och högt placerade antenner. I Ukraina flygs många UAV:er med analog FPV-länk, mycket till följd av Rysslands omfattande signalspaningsåtgärder. Med en digital länk kan man få betydligt bättre bildkvalitet och bättre möjligheter till kryptering jämfört med en analog länk, dock på bekostnad av krav på högre bandbredd. Med enbart en handkontroll utan en dedikerad markantenn ligger räckvidden på runt några kilometer. Det är även vanligt att använda en UAV cirkulerandes ovanför markstationen som relä för FPV-länken.

2.1.2 Taktisk spaning

Utvecklad batteriteknik, miniatyreringen av antenner, sensorer och lättare konstruktioner har gjort att fler system i Nato klass I (kategori Liten) har fått längre räckvidd och uthållighet och därmed kan användas på taktisk nivå. Spaning och målinmätning kan också göras från längre avstånd. De lite större taktiska systemen kan ibland bära både ytspanande och bildalstrande sensorer samt lättare signalspaningsutrustning samtidigt. För flygplans-UAV:er är normalt nyttolasten ungefär en tredjedel av totalvikten. Flygplans-UAV:er som väger mellan 10 – 30 kg kan normalt bära nyttolaster på 3 – 10 kg, ha uthålligheter på 6 – 30 timmar och länkräckvidder på 50 – 120 km med riktade markantenner. För större system är det främst nyttolasten som skiljer sig, samt att något längre länkräckvidd kan fås.

2.1.2.1 Taktisk VTOL-UAV

En tydlig trend inom plattformsutvecklingen för taktiska UAS är ett ökat fokus på VTOL-förmåga, vilket tar bort behovet av en startramp eller startbana. För marina tillämpningar är detta särskilt eftertraktat då de har förmåga att starta och landa vertikalt från marina plattformar, vilket möjliggör flexibla operationer till sjöss. För gemensamma operationer ger detta också en möjlighet att exempelvis starta en UAV från ett markförband, lämna över länken till ett marint förband som kan landa farkosten på ett fartyg, och vice versa. Små flygplans-UAV:er upp till 10 kg kan i regel handkastas eller skjutas iväg med gummiband.

UMS Skeldar V-200 är en UAV av helikoptertyp, med en maximal vikt på 230 kg, 100 km räckvidd, samt 6 timmars flygtid. Plattformen kan bära multipla sensorer, exempelvis EO/IR kamera, radar (AESAs, SAR), samt telekrigsutrustning i form av signalspaning och störsändare. Systemet har ATOL-förmåga (*Autonomous Take-Off and Landing*), sköts av 2 – 4 operatörer från en kontrollstation, och kräver en 15×15 meter startplatta. I Kanada undersöks systemets förmåga till ubåtsjakt, med hjälp av sonarbojar som släpps från rör monterade på UAV:n. Målsättningen är att få en kortare reaktionstid och ett mindre, kostnadseffektivare logistikavtryck än exempelvis ubåtsjakt med helikopter [13].

Helikopter-UAV:er har en större rörelsefrihet än konventionella flygplans-UAV:er, dock är de ofta mer sårbara mot HPM-vapen (*High Power Microwave*) då de är instabila system där små störningar i styrningen snabbt kan få katastrofala effekter. De kan generellt heller inte flyga lika högt eller lika länge som flygplans-UAV:er av motsvarande storlek och bränslevolym. Utvecklingstrenden har således gått mot att flygplans-UAV:er av olika storlek byggs på med rotoror av olika slag. Detta kan göras med till exempel tiltrotorer eller att rotoror monteras på balkar som placeras på vingarna för att

Titel/Title
Teknikutveckling UASMemo nummer/Number
FOI Memo 8336

ge VTOL-förmåga, samtidigt som flygplanskonfigurationen ger ökad uthållighet i luften och tystare flygning än en helikopter eller multikopter. Ett exempel på ett system med vingbalkar är AeroVironment Jump 20, med en vikt på 97 kg, nyttolast på upp till 13,6 kg, och med en angiven uthållighet på 14 timmar. Systemet har en räckvidd på 185 km och kan utrustas med ett flertal EO/IR-sensorer för övervakning samt videoprocessering ombord [14]. Som alternativ till vingbalkar, som både medför extra dödvikt och påverkar aerodynamiken vid vingarna avsevärt, använder till exempel Aerovels Flexrotor sig av en rotor med ca 2 meter i diameter monterad mellan nosen och vingarna, samt små rotorer vid vingpetsarna för rotationsjämvikt. Systemet startar och landar stående och har förmåga till vertikal hovring [15].

HoodTech Mechanical har istället utvecklat en VTOL-lösning FLARES [16] (*Flying Launch and Recovery System*) – en multikopter som lyfter upp och släpper en konventionell flygplans-UAV ca 150 meter upp i luften. Vid landning tjudras multikoptern till en mast med en lina som flygplans-UAV:n hakar fast i med en vingmonterad krok. Lösningen är framtagen för att kunna motstå starka vindar ombord på fartyg, samt ge VTOL-förmåga till flygplans-UAV:er med minimal inverkan på själva flygkroppen. Systemet har bland annat kombinerats med Boeing Insitus Integrator [17].

Shield AI:s V-BAT 128 har en annan typ av konstruktion med en bakre kanalfläkt (eng. *duct fan*), som kan avfyra stående från både mark och marina plattformar, också med förmåga till vertikal hovring. Kanalfläkten ger ökad lyftkraft jämfört med öppna propellrar vilket ger farkosten en mycket hög lastkapacitet relativt sin vikt, dock med ökad ljudgenerering vid främst start och landning. Systemet sägs kunna styras av en operatör och göras startklar på 20 minuter [18]. Med en vikt på 40 kg, maximal nyttolast på 11 kg, en flyghöjd på max 6000 m och en uthållighet på 11 timmar har systemet en spaningsförmåga liknande AAI RQ-7 Shadow (UAV03). Lyckade tester har gjorts av US Navy från marina plattformar [19], och US Army har visat intresse för att ersätta sina åldrade Shadow-system med V-BAT, där VTOL-förmågan är särskilt eftertraktad [20]. Även AeroVironment Jump 20 har utvärderats som ersättare [21].

2.1.3 Strategisk/operativ spaning

Obemannade flygande system som upphöjda sensorer har varit i bruk sedan tidigt 90-tal. En stor plattform (HALE/MALE) på hög höjd ger möjligheten att, med en kraftfull radarsensor, övervaka stora områden med betydligt längre radarhorisont än markbaserade system. Som exempel kan en aktiv multifunktionsradar med effekt på runt 10 – 50 kW på 6000 meters höjd ge förmågan att upptäcka mål med 0,1 m² målarea, flygandes på 100 meters höjd, på över 25 mils avstånd. Koncentreras radarenergien i smalare sektorer kan upptäcksavståndet utökas ytterligare. Med sex stora flygande radarer kan en yta motsvarande Sverige inklusive Östersjön och delar av Finland och Baltikum täckas [22].

Ett typiskt exempel på ett system för strategisk spaning är Northrop Grumman RQ-4 Global Hawk (HALE), med sin första flygning 1998 och som har opererats av US Air Force sedan år 2001. Sedan år 2019 har systemet även introducerats operativt i Nato. Systemets primära roll är ISR-uppdrag (*Intelligence, Surveillance, Reconnaissance*), och flyger normalt på runt 15 000 meters höjd, har en vikt på 14,6 ton (nyttolast 1,36 ton), en räckvidd på drygt 16 100 km (via satellitlänk), och en demonstrerad uthållighet på över 32 timmar. Framdrivning sker med turbofanmotor. För spaning är plattformen utrustad med syntetisk aperturradar (SAR) som ger möjlighet till högupplösta 3D-bilder oberoende av väder, och en GMTI-funktion (*Ground Moving Target Indication*) för att detektera rörliga markmål. Övervakningskapaciteten är 100 000 km² per dag. Radar och EO/IR-bilder behandlas ombord på plattformen och skickas sedan som stillbilder till markstationen. Överföringshastigheten är 50 Mbit/s för sensordata, via direktlänk eller satellit. Systemet sköts av tre operatörer (två piloter och en sensoroperatör) från en markstation [23].

En nyare version utvecklad från RQ-4 Global Hawk, MQ-4C Triton, infördes i US Navy 2018, men är fortfarande under utveckling, och har sedan sin första flygning år 2012 testats i ett antal olika faser med uppgraderade hårdvaru- och mjukvarukonfigurationer. Flygkroppen är i stort sett identisk med Global Hawk men några uppgraderingar är avisningssystem, åskskydd, förstärkt flygkropp för högre

Titel/Title
Teknikutveckling UAS – omvärldsanalys och trenderMemo nummer/Number
FOI Memo 8336

nyttolast samt skydd mot aerodynamiska laster och fågelkollisioner. Syftet ska vara att möjliggöra flygning genom hårdare väderförhållanden, för att exempelvis från hög höjd snabbt kunna dyka nedåt mot en lägre höjd och få en närmare bild av ett område. Ett nytt sensorsystem ska ge 360 graders täckning för alla sensorer [24].

Ett system utvecklat från MQ-9 Reaper (se avsnitt 2.2.1) är MQ-9B SkyGuardian (MALE), anpassat för Nato-standard (STANAG 4671) för att på sikt möjliggöra flygning i civilt luftrum. SkyGuardian har något längre vingspann med vingöron (eng. *wingtips*), och större bränsletank vilket ger en uthållighet på 40 timmar som standard. Systemet kan konfigureras med sensorer för bland annat tidig förvarning, ubåtsjakt, sjömålsbekämpning och telekrig [25]. Vidare finns MQ-9B SeaGuardian, specialiserad för ubåtsjakt, bekämpning och telekrig mot sjömål, med förmåga att släppa och övervaka sonarbojar, samt sjöövervakning med 360 graders sjömålsradar [26]. Samtliga MQ-9-system kan transporteras med flygplan av typen C-130.

Det har även utvecklats UAV:er inom Nato klass III med förmåga till lufttankning av bemannade stridsflyg. Ett exempel är Boeings MQ-25 Stingray som förväntas introduceras år 2024, med förmåga till lufttankning av exempelvis F-18 och F-35, och kapacitet att bära ca 6,8 ton bränsle upp till 930 km [27]. Ett stort fokus inom denna klass av system de närmaste åren kommer att vara utvecklingen av *loyal wingman*, också kallat *Combat Collaborative Aircraft* (CCA), det vill säga obemannade följeslagare till stridsflyg, men detta är inget som behandlas i detta arbete.

Det pågår även projekt för att utveckla solcellsdrivna höghöjdsplattformar (*High Altitude Platform Station*, HAPS), exempelvis Airbus Zephyr, som ska kunna flyga i stratosfären på altituder runt 20 km i månader i sträck för att bedriva spaning och informationsinhämtning, eller agera relänod för kommunikation [28]. Dessa system är ofta lätta med en vikt och lastkapacitet motsvarande Nato klass I, kategori Liten.

2.1.4 Målinmätning

Ett användningsområde som förutspås bli allt vanligare de kommande åren är att med små UAV:er göra målinmätning för indirekt bekämpning med pansarvärnsvapen, vilket ökar skyddet och räckvidden för skytten. Även målinmätning för inriktning av artillerield samt invisning av långräckviddiga bekämpningssystem kan göras.

Som exempel genomförde MDBA år 2021 ett lyckat test med en Novadem NX70-UAV för att skicka måldata till en pansarvärnsrobot som först efter avfyrning låser på sitt mål när det upptäcks av robotens målsökare [29]. Experimentella försök till målinmätning med samma plattform har även genomförts på FOI [30]. Generellt krävs en stabil orientering, precis positionering, upprepade mätningar samt ett relativt kort avstånd till målet (inom en radie av ca 300 meter) för att få en bra precision i inmätningen, åtminstone med små kvadrokoptrar. En mindre precis inmätning kan dock kompenseras för med tidigare erhållen information om var målet befinner sig vilket gör att inmätningens avståndet kan utökas.

I större och stabilare plattformar, som kan bära sensorer som väger ca 5 – 10 kg, kan kraftigare laserbelysare användas och målinmätning kan uppskattningsvis göras med god precision på ungefär 3 – 6 km avstånd mot målareor i spannet 0,3 – 3 m², vid god sikt [31]. För laserutpekning för en styrd robot (där roboten styr mot den reflekterade strålningen) är räckvidden ca 2 – 10 km för laserbelysare som väger ca 0,5 – 1 kg [2]. Numera är det vanligt att i en och samma sensor kombinera laserbelysaren med en SWIR-kamera (*Short-Wave Infra-Red*) med ALPD-teknik (*Asynchronous Laser Pulse Detection*). Det går då att överlagra laserpulsens bild med en högupplöst kamerabild för att manuellt eller automatiskt korrigera riktpunkten och få bättre precision i invisningen. Bland annat Bayraktar TB2 har utrustats med sensorer som använder denna teknik [31].

Det ukrainska företaget Ukrspesystems presenterade hösten år 2022 Shark [32] – en flygplans-UAV med förmåga till målinmätning för långräckviddigt artilleri, exempelvis raketartillerisystemet HIMARS. Med en vikt på 10 kg, sägs den ha en räckvidd på upp till 60 km, en uthållighet på 2 timmar och en maximal flyghöjd på 2000 meter. Systemet sägs ha viss robusthet mot telekrig och avlyssning

Titel/Title
Teknikutveckling UASMemo nummer/Number
FOI Memo 8336

bland annat till följd av en krypterad datalänk, samt ett tröghetsnavigeringssystem som ska möjliggöra navigering i GNSS-fri miljö under en begränsad period. Spaning och målinmätning görs med en högupplöst EO-sensor med 30x optisk zoom, samt ytterligare digital zoom. UAV:n rampstartas, landas med fallskärm, och kan göras startklar på 15 minuter. Markstationen består av en startramp, en laptop samt en portabel, 5 meter hög antenn för ökad räckvidd.

Systemen för laserinmätning och laserstyrning förväntas bli betydligt mindre de närmsta 10 – 15 åren. Fundamentala fysikaliska faktorer såsom diffraktion och atmosfäreffekter sätter gränser för vilka prestandaförbättringar som kan fås och räckviddsprestandan för lasermätarna förväntas bli marginellt bättre än dagens system. Betydligt större fokus läggs för tillfället på att utveckla passiva smygande system för målinmätning som inte röjer den egna positionen, då många system utrustas med laservarnare.

2.2 Bekämpning

UAS av alla storlekar används för bekämpning. Små kvadrokoptrar och flygplans-UAV:er kan bära lättare granater och pansarbrytande stridsdelar på upp till några kilogram, eller vara patrullrobotar med integrerad stridsdel. De system som benämns UCAV är generellt större flygplanssystem inom Nato klass II och III som kan bära styrda robotar eller andra typer av kvalificerade bekämpningsmedel.

2.2.1 UCAV

Under inledningen av Rysslands fullskaliga invasion av Ukraina fick turkiska Baykars Bayraktar TB2 mycket uppmärksamhet. Systemet har även använts av Turkiet i Irak och Syrien, av Azerbajjan i Nagorno-Karabakh-konflikten, samt exporterats till över 30 länder. Utöver Ukraina har bland annat Polen och ett antal afrikanska länder såsom Marocko och Libyen införskaffat systemet [33]. En anledning till TB2-systemets popularitet har varit dess låga kostnad (ca 5 miljoner dollar per enhet), jämfört med exempelvis MQ-9 Reaper (ca 32 miljoner dollar per enhet), som dock är ett större och mer avancerat system [34]. Plattformen har en vikt på 650 kg, varav 150 kg nyttolast, och kan utrustas med vapen såsom långräckviddig pansarvärnsrobot (L-UMTAS), laserstyrda glidbomber (MAM-L/C) och robotar (Cirit 70mm, Tubitak-Sage Bozok). Sensorpaketet består av EO/IR-sensor med laseravståndsmätare, laserutpekare samt AESA-radar [35]. Ett system av sex TB2:or, kan styras från två markstationer, tre dataterminaler och två videoterminaler. Start, landning och navigering kan ske helt automatiskt. Den ursprungliga versionen har en uthållighet på 27 timmar och en räckvidd på 150 km via markbaserad antenn (LOS), dock påbörjades år 2020 en uppgradering, TB2S, som ska ha integrerad satellitkommunikation för BLOS-räckvidd [36]. En något större och specialiserad version, TB3, utvecklad för att kunna opereras från Turkiets amfibiefartyg TCG Anadolu, planeras att introduceras under år 2024 [37].

TB2-systemet användes framgångsrikt under Ukrainakrigets inledning för till exempel attacker mot ryska logistikdjor, men allt eftersom Ryssland lyckades etablera kvalificerat luftvärn och telekrigssystem blev fler TB2-plattformar nedkämpade, och numera används de inte alls i lika stor utsträckning [38].

UAV:er är generellt mycket sårbara mot kvalificerat luftvärn då de historiskt utvecklats för användning mot mindre högteknologiska motståndare såsom terroristgrupper. I januari 2021 meddelade dock General Atomics (GA-ASI) att de utfört lyckade tester med en nyutvecklad *Self-Protection Pod* (SPP) för MQ-9 Reaper [39]. Systemet bestod bland annat av radar- och IR-varnare, infraröda facklor, samt skenmål, och sägs vara nära en försäljning till USA:s militär [40]. Huruvida motmedelssystem kommer införas operativt på fler obemannade plattformar återstår att se, men för stora och dyra strategiska plattformar bedöms det bli nödvändigt om de ska kunna flyga nära eller inom ett stridsområde i konflikter med högteknologiska motståndare.

Turkiska Baykar har även utvecklat en större HALE UCAV, Bayraktar Akinci, som infördes i turkiska försvarsmakten år 2021. Plattformen har en vikt på 6 ton (varav nyttolast är 1,5 ton), drivs av två

Titel/Title
Teknikutveckling UAS – omvärldsanalys och trenderMemo nummer/Number
FOI Memo 8336

turbopropmotorer och har en uthållighet på 24 timmar. Satellitkommunikation, AESA-radar och SAR med GMTI möjliggör BLOS-räckvidd, ytövervakning, och detektion av markmål. Plattformen kan bära upp till 8 vapen av samma typ som stridsflygplan, och är den första UAV:n att utrustas med kryssningsrobot. Den sägs ha förmåga till GNSS-fri navigering baserat på intern sensorfusion, dock är det oklart under vilka omständigheter samt under hur lång tid navigeringssystemet fungerar utan stöttning av satellitsignaler [41].

General Atomics MQ-9 Reaper är uppföljaren till MQ-1 Predator, och infördes i US Air Force år 2007, och har sedan dess använts för bland annat spanings- och attackuppdrag i Irak och Afghanistan, men även av US Customs and Border Patrol. Systemet väger 4,76 ton (varav 1,7 ton är nyttolast), drivs av en turbopropmotor, och har en räckvidd på drygt 1800 km. Flygtiden är 14 timmar, vilket med två externa bränsletankar kan utökas till 42 timmar (med 450 kg vapenlast). Plattformen kan beväpnas med upp till åtta laserstyrda robotar eller bomber, såsom AGM-114 Hellfire eller GBU-12 Paveway II. En markstation med en pilot och en sensoroperatör krävs för att sköta systemet (ej inräknat personalbyten eller omkringliggande logistik) [42].

Två system som vidareutvecklats från MQ-9 Reaper är Predator C Avenger och Mojave. Predator C Avenger har en smyganpassad kropp med intern vapenlagring på upp till ca 1350 kg, vilket ska ge lägre radarsignatur och ökad uthållighet, och den drivs med en turbofläktmotor [43]. Mojave är något mindre än MQ-9 Reaper men har en utökad vingarea med kapacitet att bära upp till 16 Hellfire-missiler, samt en kortare startsträcka bland annat till följd av bibehållen turbopropmotor. Det primära syftet är att ge flygunderstöd (*Close Air Support*, CAS), i ansträngda miljöer där lång startbana inte får vara ett krav [44]. Systemet har vid tester på grusväg åstadkommit startsträckor på mindre än 180 meter samt landningssträckor på drygt 100 meter [45]. En ny design för vingar och stjärtparti inspirerat av Mojave, kallad MQ-9B STOL (*Short Take-Off and Landing*), planeras att införas på MQ-9B plattformarna SkyGuardian och SeaGuardian för att möjliggöra start och landning på hangarfartyg [46].

2.2.2 Patrullrobotar

Patrullrobotar (eng. *loitering munitions*), kan sägas vara mellanting mellan kryssningsrobot och UAV, och utvecklades redan under 1980-talet primärt för att bekämpa och mätta luftvärnssystem. IAI Harpy var det första operativa systemet, och är ett *fire-and-forget*-system som använder signalsökande sensorer för att lokalisera och attackera radarstationer [47].

Patrullrobotar finns i varierande storlek, men gemensamt är att de i olika grad kan cirkulera i ett område över en tid, för att sedan dyka mot ett mål och explodera. Den primära fördelen gentemot större UAV:er med vapenlast (UCAV) är att de är billigare, mindre och mer portabla, och ger markförband förmåga att snabbt skicka upp en luftburen sensor, spana och verka mot mål bortom deras siktlinje. Liten radarmålarea, låg flyghöjd och låg hastighet gör också dessa svåra att upptäcka för motståndarens radar.

Exempel på mindre patrullrobotar är AeroVironments Switchblade 300 och Switchblade 600. Switchblade 300 Block 20 har en totalvikt på 4 kg, varav roboten väger 2 kg, resten utgörs av markstationen och avfyrningstuben. Den packas i ryggsäck och avfyras ur tub med utfällbara vingar från marken eller mobila plattformar. Systemet kan förberedas för avfyrning på mindre än 2 minuter och har en räckvidd på 10 km, 20 minuters flygtid, och EO/IR-sensorer för spaning och målidentifiering [48]. Verkan sker främst mot personal och lätt bepansrade fordon. Systemet har använts i Ukrainakriget, som en del av USA:s stödpaket till Ukraina [49].

Switchblade 600 är en större variant med en totalvikt på 54 kg, varav roboten väger 15 kg och är utrustad med pansarbrytande stridsdel. Den har en länkräckvidd på 40 km och en uthållighet på 40 min. Ett batteri av åtta Switchblade 600 kan monteras på ett stridsfordon. Både Switchblade 300 och Switchblade 600 har förmåga att avbryta ett pågående nedslag och återgå till patrullering (*wave-off*), dock kan de sannolikt inte återhämtas efter armering [50].

Titel/Title
Teknikutveckling UASMemo nummer/Number
FOI Memo 8336

Israeliska UVision, har utvecklat en familj av patrullrobotar i varierande storlek kallad HERO [51], med stridsdelar från 0,5 kg upp till 50 kg. UVision säger sig använda en mjukvarubaserad armeringskedja i två steg, som möjliggör att roboten kan avbryta ett pågående nedslag sekunder in på detonation, avarmeras och återhämtas, alternativt tilldelas nya mål.

Robotar som avfyras ur tub, med utfällbara vingar, har hittills varit den vanligaste konfigurationen för mindre patrullrobotar, men på senare tid har även kvadrokopterkonfigurationer utvecklats för ökad manövrerbarhet i komplexa miljöer. Israeliska IAI har lanserat två kvadrokoptersystem – Rotem L [52] och Rotem Alpha [53], med totalvikter på 6 kg respektive 25 kg, där den sistnämnda är ett pansarvärnsvapen som kan ha en splitterstridsdel i kombination med riktad sprängverkan.

Exempel från Ukrainakriget har visat att patrullrobotar nästan aldrig används enskilt utan allt som oftast kombineras med en spanings-UAV vid bekämpningsuppdrag. Patrullroboten avfyras först efter att ett mål hittats och den agerar då mer som en långsam kryssningsrobot men med förmåga till målföljning, snarare än att utnyttja sin egen spaning- och patrulleringsförmåga [11]. Till följd av att en patrullrobot primärt är gjord för engångsbruk har den generellt inte lika avancerade sensorer som en spanings-UAV av motsvarande storlek, och har således ofta en betydligt kortare räckvidd när det kommer till detektion, klassificering och identifiering av mål.

IAI Harop är en senare variant av Harpy-systemet, som istället för att vara signalsökande använder EO/IR-sensorer för att lokalisera mål, och en operatör fattar beslut om bekämpning. Med en vikt på 135 kg, varav 16 kg är stridsdel, en flygtid på 9 timmar, och en räckvidd på 1 000 km, har den förmåga att flyga autonomt över ett stort område, lokalisera och bekämpa ett flertal olika typer av mål. IAI Harop uppges ha en radarmålarea på under 0,5 m² vilket kan likställas med en större fågel [54].

I kriget i Ukraina har iranska Shahed-136 använts av ryska styrkor (under benämningen Geran-2), samt den något mindre varianten Shahed-131 (benämnd Geran-1). Shahed-136 väger 200 kg, med en stridsdel på 30 – 50 kg, och har en uppskattad räckvidd på 900 km [55]. Systemet tros använda sig av tröghetsnavigering och störskyddad GNSS med hjälp av gruppantenner, men utan avancerade sensorer vilket gör den förhållandevis billig med en uppskattad kostnad på 20 000 – 50 000 dollar per enhet. Kostnaden av att försvara sig mot dessa system har uppskattats till mer än dubbla kostnaden av att använda dem, och Ukraina har använt sig av bland annat stridsflyg, luftvärn och handeldvapen för nedkämpning [56]. I och med att robotarna ofta skickas in utspritt, tiotals åt gången tvingar det också försvararen att placera ut luftvärnssystem över breda försvarslinjer.

2.2.3 Air Launched Effects

Utveckling sker för att integrera mindre, flygande plattformar för avfyrning från större taktiska plattformar eller MALE/HALE-plattformar såsom Kratos XQ-58A Valkyrie eller Predator C Avenger [2]. Dessa förmågor benämns ofta *Air Launched Effects* (ALE) och undersöks även för stridsflyg. ALE:er kan vara i form av till exempel patrullrobotar, små spanings-UAV:er, signalsökande robotar eller markmålsrobotar. Den primära fördelen är att den bärande plattformen kan flyga på ett säkert avstånd från exempelvis luftvärnssystem, och avfyra ALE:er in över ett riskfyllt område för att utöka sitt effektiva verkansavstånd bortom sin säkra zon.

MBDA har till exempel utvecklat SPEAR (*Selective Precision Effects At Range*) – en ca 100 kg tung robot med utfällbara vingar som har anskaffats av Royal Air Force för att integreras ombord på F-35. Roboten drivs av en turbojetmotor, har en räckvidd på 140 km, och kan verka mot bland annat stridsvagnar och marina fartyg. Den ska ha förmåga till automatiskt måluttag, och ska kunna tilldelas nya mål efter avfyrning [57], [58]. Även en version anpassad för telekrig, SPEAR-EW, är under utveckling och ska ha förmåga att störa luftvärnssystem samt agera skenmål. SPEAR-EW ska ha en utökad bränsletank för att kunna cirkulera i ett område under en längre tid, likt en patrullrobot [59]. MBDA har som mål framåt att utveckla svärmkapacitet i ett nätverk bestående av SPEAR och SPEAR-EW, med datalänkar sinsemellan, för samverkande störning och bekämpning av mål [60].

Titel/Title
Teknikutveckling UAS – omvärldsanalys och trenderMemo nummer/Number
FOI Memo 8336

Vidare har General Atomics genomfört lyckade tester med Predator C Avenger utrustad med ett system för *aerial recovery* där en flygande ALE kan docka med en bogserlina för att tankas, laddas och släppas på nytt, alternativt bogseras iväg [61].

2.3 Telekrig

UAV:er av alla storlekar används för telekrig i form av störning, spoofing eller vilseledning. UAV:er med offensiv telekrigsförmåga förutsås bli en viktig trend. Bortsett från konventionell störning finns också möjlighet att agera skenmål genom att med en aktiv sändare och ett signaturbibliotek imitera radarsignaturer från olika typer av flygplan eller robotar. Skenmålsrobotar som exempelvis Raytheons ADM-160 MALD [62] har haft denna förmåga en längre tid, men det antas att fler UAV:er kommer att använda sig av liknande tekniker i framtiden för vilseledning och aktivering av fiendens luftförsvar. I Ukrainakriget används även enklare metoder för skenmål där billiga UAV:er av wellpapp [63] målas med radarreflekterande färg för att trigga motståndarens luftvärnsradar. De används också omvänt för smyguppdrag, där wellpappen istället fungerar radarabsorberande. Exempel på rysk användning av UAV:er för störning och spoofing ges i avsnitt 3.5.1.

Safrans Patroller är ett exempel på ett taktiskt system som kan användas för exempelvis GNSS-störning och spoofing från luften [64]. Det finns indikationer på att allt fler plattformar, även små, börjar utrustas med konforma, skrovintegrerade gruppantennor, vilka kan följa en specifik form, exempelvis en farkosts skrov. Gruppantennor (se avsnitt 3.3) ger möjlighet att både undertrycka störningar som kommer underifrån från markbaserade system, samtidigt som riktade antenner på ovasidan skulle kunna användas för att få mer robusta datalänkar mot satelliter eller reläplattformar, eller för att få en mer robust GNSS-mottagare. Flygande system med förmåga att störa ovanifrån, mellan sändare och mottagare, är svårare att skydda sig mot och förväntas utvecklas som motåtgärd mot gruppantennor. Flygande störsystem har generellt antenner med lägre uteffekt än markbaserade störsystem, men detta kan i viss mån kompenseras för genom att störsändaren (den flygande plattformen) kan placeras närmare målet, då signalstyrkan (i fri rymd) avtar kvadratisk med avståndet [65].

Små UAV:er kan även utrustas med passiv signalspaningsutrustning. Saabs Sirius Compact är ett exempel på ett ESM-system (*Electronic Support Measure*) på 3 kg som kan bäras av till exempel mini-UAV:er. Systemet har förmåga att detektera, riktningbestämma och klassificera radiosignaler [66]. Detekteras samma signal med två separata system från olika riktningar går det att med triangulering bestämma sändarens position. Baserat på öppna uppgifter [67] och grova beräkningar skulle ett sådant system teoretiskt kunna detektera en medel- till långsträcktviddig eldledningsradars sidolober på ca 80 – 400 km avstånd, med undantag för viss atmosfärsdämpning och begränsningen från radarhorisonten [66]. Mot radarsystemets huvudlob kan detektionsavståndet teoretiskt vara ännu längre.

För att ge visst ökat skydd mot luftvärn kan i framtiden fler och mindre UAV:er utrustas med radarvarnare för att upptäcka när de blir belysta, och finns en hög grad av autonomi skulle de också kunna göra undanmanövrar och ruttplanering automatiskt baserat på radarvarnarens information [68].

2.4 Logistik

Tillverkning och framtagning av lättare och mer hållfasta material har ökat både uthållighet och lastkapacitet för plattformar av alla kategorier, vilket har möjliggjort en ökad användning av UAV:er i logistikkedjor för transport av materiel och personal [69].

Den tydligaste plattformstrenden är större multikoptrar med hög lastförmåga och manövrerbarhet för att exempelvis transportera materiel eller placera ut sensorer i svåråtkomlig terräng. Elektriska eller hybriddrivna plattformar blir allt vanligare. Ett flertal större plattformar med bränslemotorer planeras finnas i produktion runt år 2025, som påstås ska kunna bära ungefär 200 kg i ca 4 – 5 timmar [70]. Kommersiellt tillgängliga batteridrivna system med lastförmåga på runt 20 kg har istället påstådda

Titel/Title
Teknikutveckling UAS

Memo nummer/Number
FOI Memo 8336

flygtider på runt 1 – 2 timmar (ca 100 km räckvidd, beroende på hastighet). Topphastigheterna är normalt runt 100 km/h för de lättare plattformarna och 150 – 200 km/h för de tyngre, kommande plattformarna [71], [70].

Brittiska BAE Systems, presenterade hösten år 2021, tillsammans med Malloy Aeronautics, konceptprojektet T-650, en elektrisk multikopter-UAV. Målet är att den ska ha ett lättviktigt men hållfast skrov i kolfiber för att kunna bära en last på 300 kg upp till 30 km, för bland annat logistikkedjor, försörjning av materiel till fronten (*autonomous last mile resupply*), samt skadeevakuering [72]. Projektet är fortfarande i konceptstadiet, med tester genomförda på demoplattformar [73], och det bedöms dröja några år innan en färdig produkt finns på marknaden. Malloy Aeronautics har sedan tidigare utvecklat bland annat T-150 [71] och T-400 [74], med förmåga att bära 68 kg respektive 180 kg upp till 19 km, och 70 km räckvidd utan last. Både T-150 och T-400 har donerats till Ukraina av UK Ministry of Defence [75].

British Army har genomfört tester med bland andra T-400 och Hydra [76], en multikopter med hybridmotor som använder sidomonterade jetmotorer för ökad lyftförmåga. Fokus har varit att testa logistiklösningar för strid i bebyggelse, och likt US Army (se avsnitt 3.8) finns ett mål om att sprida ut logistiken över större ytor för att minska sårbarheten mot exempelvis UAV-attacker. En autonom förmåga som undersöks på sikt är att skapa logistiksystem som kan förutsäga behovet av materiel hos förbanden innan förbanden själva rapporterar det, och använda bland annat UAV:er som bärplattformar, för att få snabbare försörjningskedjor. En av nyckelfrågorna man tittar på är hur dessa bärplattformar ska laddas – om det kan göras via externt medförda generatorer eller om laddning måste ske vid specifika platser.

Titel/Title
Teknikutveckling UAS – omvärldsanalys och trenderMemo nummer/Number
FOI Memo 8336

3 Teknikområden

I detta kapitel presenteras exempel på relevant utveckling inom några teknikområden och delsystem kopplat till UAS som har potential att ytterligare öka systemens operativa förmågor. De teknikområden som diskuteras är sensorer, signaturanpassning, kommunikation, framdrivning och energilagring, autonomi, GNSS-fri navigering, counter-UAS, samt UGV.

3.1 Sensorer

Spaningsförmågan hos en UAV bestäms primärt av hur stor sensorlast den kan bära. Små system med vikter på upp till ca 20 kg har på grund av sin låga lastförmåga generellt endast varit utrustade med EO/IR-sensorer, men det blir allt vanligare att de även kan bära lättare radarsensorer eller passiv signalspaningsutrustning (se avsnitt 2.3). Många plattformstillverkare fokuserar på att anpassa plattformarna med utbytbara sensorparker för att enkelt kunna variera sensorlasten beroende på uppdrag, eller för att flera system ska kunna flygas tillsammans med olika sensorer som kompletterar varandra.

3.1.1 EO/IR

Mindre, flygande system främst inom Nato klass I, kategori Mini, med enbart EO/IR-sensorer kan under goda väderförhållanden normalt detektera mål inom 15 km, och identifiera mål inom 5 km [77]. Upptäckts- och identifieringsförmågan beror i hög grad på avstånd och bildkvalitet, vilket ofta mäts i NIIRS-skalan (*National Imagery Interpretability Rating Scale*). För att identifiera fordonstyper och robotsystem, krävs typiskt minst NIIRS 5 respektive 6 (skala 0 – 9) för visuell kamera respektive IR-kamera. Simuleringsresultat från år 2020, baserat på UAV05B Korpen utrustad med EO/IR-kamera flygandes på 100 meters höjd, har visat att NIIRS 6 kan uppnås på runt 400 – 500 meters avstånd med en medelgod sensor [78].

Utvecklingen av små sensorer går fort och vissa tillverkare uppger i samtal att de kan uppnå NIIRS 8 – 9 på upp till 1500 meters avstånd, med EO/IR-sensorer som väger endast några kilogram, vilket kan möjliggöra klassificering och identifiering av fordon på flera kilometers avstånd. Små sensorsystem med mycket hög prestanda har naturligtvis också en hög prislapp, vilket kan bli olönsamt ur ett stridsekoniskt perspektiv om de används på plattformar som har en kort förväntad livslängd i strid.

3.1.2 Radar

Radar är mindre känsligt för väder än EO/IR-sensorer, och kan ha räckvidder uppemot hundratals kilometer, men för långa räckvidder krävs hög uteffekt och relativt stora antenner, vilket historiskt endast gjort det lämpat för större plattformar [77]. Radar ger inte samma identifieringsförmåga som EO/IR-sensorer vilket gör att de ofta används i kombination, där EO/IR-sensorn inriktas automatiskt mot mål som detekteras med radarsensorn. En del radarsystem kan ha viss förmåga till klassificering genom att exempelvis matcha en signatur mot ett signaturbibliotek, och från en högupplöst SAR-bild kan i vissa fall en tränad operatör känna igen och klassificera ett markmål, men EO/IR är föredraget för identifiering.

Syntetisk aperturradar (SAR) används för att generera högupplösta radarbilder genom att nyttja den relativa rörelsen mellan den sändande antennen och målet, och ta emot en serie av radarekon längs den bärande plattformens flygbana. De flesta SAR-system har en mod kallad *Coherent Change Detection* (CCD) för att jämföra två radarbilder och urskilja förändringar, vilket gör det möjligt att detektera och spåra trupprörelser över tid. Likaså används *Moving Target Indication* (MTI) för att detektera rörliga mål gentemot klotter med hjälp av Dopplerskiftet. *Ground Moving Target Indication* (GMTI) används för markmål, och *Maritime Moving Target Indication* (MMTI) för sjömål. För marina tillämpningar går det att uppnå mycket längre räckvidder (uppemot tiotals mil även för små

Titel/Title
Teknikutveckling UASMemo nummer/Number
FOI Memo 8336

sensorer) då fartyg på öppet hav är lättare att detektera än markmål. Detektions- och identifieringsavstånden varierar beroende på bland annat målets orientering, luftfuktighet, terräng och topografi, val av frekvens och flyghöjd [77].

För stora plattformar (Nato klass II och III) finns möjlighet att bära tunga SAR-system för avbildning. Det radarsystem som bland annat används på MQ-9B SkyGuardian väger ca 62 kg, där SAR-moden sägs ha en avbildningsräckvidd på 80 km, med en upplösning ned till 0,3 m, samt en MTI-räckvidd på 60 km [79].

Det utvecklas även mindre SAR-system som kan bäras av plattformar inom Nato klass I, kategori Liten. Exempelvis har IMSAR utvecklat flera sidospanande SAR-system med MTI-funktion inom viktspannet 3 – 11 kg [80]. Det minsta systemet väger 3,35 kg och har integrerats ombord på bland annat Textron Systems Aerosonde [81]. Systemet påstås ha avbildningsräckvidder på 16 km och 10 km för 1 meters respektive 0,3 meters upplösning, samt 7 km räckvidd för GMTI-detektion av fordon.

AESA-teknik (*Active Electronically Scanned Array*), vilket bland annat möjliggör elektroniskt riktande av antennerna samt nyttjande av flera frekvenser samtidigt, börjar användas i allt fler lättviktiga radarsystem. Med en AESA-radar är det möjligt att koncentrera den utsända energin för att utöka räckvidden i en viss riktning och undvika att sända i andra riktningar, samtidigt som nyttjandet av multipla frekvenser parallellt ytterligare minskar risken för upptäckt och störning [82]. En utmaning är att en AESA-radar blir varm (hög IR-signatur) och är energikrävande, och mer fokus läggs på användning av energieffektivare material och system för kylning. Exempelvis har Thales nyligen utvecklat en kompakt AESA-radar, AirMaster C, som väger ca 20 kg och kan bäras av små och medelstora obemannade plattformar, som ska ha förmåga till självkylning [83], [84].

På senare år har forskning inom passiv SAR-teknik fått ett större fokus och nyligen har exempelvis en forskargrupp i Kina börjat utforska nyttjandet av passiv SAR ombord på UAV:er, men det finns ännu inga kända exempel på operativ användning [85]. Passiv eller *bistatisk* radar, tar emot och bearbetar radarekon från andra systems sändare, utan att sända något själv. Sändarna kan vara icke-kooperativa och i form av andra militära radarsystem, men även till exempel civila landbaserade radiomaster eller satelliter som sänder FM-radio, digital-TV eller mobil kommunikation. Den belysande sändaren kan vara placerad tiotals kilometer ifrån det avbildade målområdet. Tester genomförda med en flygburen passiv SAR har visat att man, med marksänd digital-TV som den belysande sändaren, kan upplösa större fartyg och fordon på tiotals kilometers avstånd, vilket gör det relevant för sjö- och markövervakning. För små UAV:er, som opererar på kortare avstånd till målområdena, kan även svagare signaler från till exempel satellitsänd digital-TV vara av intresse [86].

3.1.3 Databehandling och sensorfusion

Högre beräkningskapacitet, miniatyrisering av sensorer och högre motoreffektivitet har gjort att plattformar kan göras mindre och billigare, vilket leder till både minskad radarsignatur och ökad ekonomisk asymmetri gentemot motåtgärder (counter-UAS). Det har på senare år skett en framgångsrik miniatyrisering av sensorer vilket kraftigt förbättrat spaningsförmågan för mindre plattformar. För större sensorer innebär det ofta att prestandaökningen som kommer av förbättrad detektorteknologi tas ut av att sensorsystemet görs mindre och lättare, med relativt oförändrad prestanda som följd [77].

Högre upplösning på sensorerna innebär också mer sensordata att hantera. För små plattformar blir detta särskilt utmanande då de inte har möjlighet till lika kapabla datalänkar för dataöverföring som större plattformar har, och en hög dataatak både belastar länken och begränsar länkräckvidden. Här blir beräkningshårdvara och mjukvarulösningar som använder sig av exempelvis sensornära signalbehandling eller *edge computing* (beräkning och processering ombord på plattformen) allt viktigare för att både avlasta länken och den kognitiva belastningen för operatörerna. Exempelvis har Overwatch Imaging utvecklat AI-baserade mjukvarulösningar där rådata från bland annat SAR och multispektrala sensorer kan fusioneras och behandlas ombord på plattformen så att en videostream kan konverteras till en statisk lägesbild överlagrat med förändringar i informationsmiljön. Exempelvis kan

Titel/Title
Teknikutveckling UAS – omvärldsanalys och trenderMemo nummer/Number
FOI Memo 8336

en statisk sjöbild med enbart små urklipp och geoinformation om observerade fartyg skickas över datalänken i realtid [87].

Ökat nyttjande av AI och maskininlärning, samt mer effektiv databehandling förväntas också ge ytterligare framsteg inom utvecklingen av måligenkänningsalgoritmer. Detektion, igenkänning och identifiering av objekt kan då göras mer effektivt, i realtid, och understödet till sensoroperatörerna kan minimera riskerna för fel, samt öka uthålligheten i spaningssystemen. Förmågan till automatisk måligenkänning blir särskilt viktig för tillämpningen svärmar (se avsnitt 3.5.1), för att en operatör ska kunna styra flera UAV:er samtidigt på ett effektivt sätt.

3.2 Signaturanpassning

Kriget i Ukraina har visat att smygförmåga blir allt viktigare på ett slagfält där kvalificerad signalspaningsutrustning och counter-UAS-system finns vida utbredd. Signaturanpassning kan göras för att minska farkosternas signatur genom till exempel materialval och utformning, eller minimering av emission i form buller eller elektromagnetisk strålning.

För små UAV:er som lyckas undgå detektion från radar eller andra långräckviddiga detektionssystem är generellt ljudgenereringen den röjande faktorn, och farkosterna hörs ofta innan de syns. För ökad smygförmåga krävs således en design som tar hänsyn till bullerproblematik, vilket de flesta civila system inte alltid gör tillräckligt. En forskargrupp vid MIT Lincoln Laboratory har visat att användning av *toroidpropellrar* – en ringformad design där två böjda propellrar sammanfogas i ändarna, kraftigt kan reducera den akustiska signaturen för multikoptrar inom frekvensområden känsliga för det mänskliga örat. Tester har visat att det hörbara avståndet kan halveras jämfört med konventionella propellrar, utan större inverkan på flygprestanda [88]. Även styralgoritmerna påverkar ljudsignaturen, och kommersiella kvadrokoptrar har ofta en relativt snabb och grov reglering vilket kan ge upphov till ljudspikar som hörs väl.

Fler flygplans-UAV:er blir automatiskt tystare när elmotorer ersätter förbränningsmotorer. För flygplans-UAV:er med bakmonterad propeller ger nedströmsluften från vingarna generellt upphov till skarpa ljud när de träffar rotorbladen vilket bidrar till en ökad ljudsignatur. Effekten är inte lika stor om propellrarna monteras framför vingarna.

Mer signaturanpassade skrov och material har varit en trend främst för större och mer avancerade plattformar såsom Lockheed Martin RQ-170 Sentinel [89], då signaturanpassning är en mycket dyr och avancerad teknik. Utvecklingsprojekt med intern vapenlagring har testats, med Predator C Avenger som exempel. En av svårigheterna är att få till en praktisk design som har tillräckligt hög inverkan på radarmålarean och samtidigt är ekonomiskt lönsam.

Det bedöms som mer sannolikt att fokus läggs på miniatyrisering och minskad kommunikation. Små lågflygande UAV:er är svåra för konventionella radarsystem att upptäcka då deras låga flyghöjd, hastighet och radarmålarea gör att de ofta kan flyga under radarhorisonten, misstas för fåglar, eller att de maskeras bakom radarklotter från träd och terräng. Konventionella spaningsradarer har typiskt varit optimerade för flygplan och helikoptrar, och har således ofta blindzoner några hundra meter intill radarn, samt för hastigheter runt 10 m/s. Dock kan tekniker såsom Dopplerfilter användas för att urskilja små UAV:er från klotter, och moderna radarsystem har ofta mer specialiserade för UAV:er [78]. Dopplerradarer specialiserade för detektion av mikro- och mini-UAV:er [90], som kan särskilja mellan exempelvis UAV:er, fåglar och flygplan, blir allt vanligare och i takt med att mer avancerade counter-UAS-system utvecklas mot små UAV:er lär kraven på ökad smygförmåga även hos mindre plattformar öka.

I Ukrainakriget har en smyganpassad flygplans-UAV vid namn Punisher använts framgångsrikt för smyg- och attackuppdrag i telestörda miljöer. Den kallas för ”reusable airstrike drone” och kan lastas med en 2 – 3 kg tung granat, navigerar med hjälp av en störskyddad GNSS-mottagare, och släpper granaten när den kommit fram till ett på förhand utvalt mål. Ingen kommunikation mellan UAV:n och operatören verkar finnas under uppdragets gång, och verkansvärdering sker efter att systemet

Titel/Title
Teknikutveckling UASMemo nummer/Number
FOI Memo 8336

återhämtats, från en video inspelad ombord på plattformen. Systemet sägs ha en räckvidd på 45 km och kan under ideala förhållanden träffa ett mål med 4 meters precision från 400 meters höjd [91].

3.3 Kommunikation

Användning av både stora och små UAV:er som relänoder mellan system, vilket kan ge ökad räckvidd och robusthet mot störning, förväntas öka allteftersom efterfrågan på samverkan av system både inom och mellan domäner ökar.

För tillämpningen svärmar kan exempelvis några högtflygande UAV:er med tillgång till GNSS göra positionsestimat åt andra UAV:er som flyger i GNSS-fria miljöer, såsom i tät bebyggelse eller inuti byggnader. Möjlig reläräckvidd beror i hög grad på val av frekvens, datatakt, och vilken antennvinst som finns hos sändare och mottagare. Vanligast är att små flygande system utrustas med rundstrålande antenner utan antennvinst, men användning av adaptiva riktade antenner i mobila nätverk är något som utforskas allt mer [92].

En av utmaningarna med att använda UAV:er som relänoder mellan system är att frekvenskonflikter lätt uppstår då radiofrekvensspektrumet är en begränsad resurs. Detta är särskilt ett problem om man med en plattform vill reläa datatrafik till ett flertal system över närliggande frekvenser. Metoder som studeras för att underlätta detta är frekvenshoppning och geografisk tilldelning av frekvenser, samt nyttjande av civil infrastruktur [93]. Många UAV-plattformar utrustas idag med frekvenshoppande radio, men syftet är då primärt att ge ett ökat störskydd.

Optisk kommunikation (laser) är en teknik som studerats i högre grad det senaste årtiondet, bland annat på FOI, och som potentiellt kan ge nya förmågor för UAS. De största forskningsprojekten inom området är inriktade på satelliter, med målet att få en mycket hög datatakt (i storleksordningen Gbit/s), men tekniken studeras även för marina farkoster, bemannade flyg och UAS [94]. Vid laserkommunikation används en mycket smal lob som gör länken svår att upptäcka och störa ut, samtidigt som den kan verka utanför det trånga och potentiellt störda radiofrekvensspektrumet [95]. För kommunikation mellan små UAV:er och markstationer har räckvidder på runt 1 – 5 km demonstrerats, och mellan flygplan och markstationer ca 70 – 100 km. Några av utmaningarna är ett tydligare atmosfär- och väderberoende än vanlig radio, och att det krävs en noggrann inriktning av sändare och mottagare för att etablera en länk [95], [96]. För kommunikation mellan plattformar på hög höjd är atmosfäreffekterna mindre påtagliga än närmare marken. Än så länge finns tekniken inte vida spridd kommersiellt, men det är möjligt att fler plattformar får optisk kommunikationsförmåga de kommande 10 – 15 åren. Exempelvis ska MQ-9B SkyGuardian och MQ-9 Reaper kunna utrustas med en optisk kommunikationsmodul, och General Atomics har genomfört lyckade tester för att strömma video via laser i ett relänätverk bestående av markbaserade och flygande system [46].

Gruppantenner kan användas för att rikta den utsända energin i smala lober för att få en starkare och mer störtålig signal i en viss riktning som samtidigt är svårare att upptäcka. Gruppantenner ger även förmåga till att undertrycka kraftiga störsignaler genom spatiell (rumslig) filtrering [65]. För exempelvis GNSS-mottagning använder gruppantenner normalt algoritmer som försöker undertrycka alla starka signaler, då GNSS-signalerna är svaga och ligger under brusgolvet. Gruppantenner har än så länge främst varit lämpade för större farkoster då det krävs relativt stora antensystem (av storleksordningen flera våglängder). För små plattformar skulle man kunna använda sig av högfrekvent radiokommunikation i frekvensområdena kring 55 eller 60 GHz för att få ner storleken på antensystemet, dock med försämrad framkomlighet genom atmosfär, terräng och vegetation. På större obemannade plattformar kan gruppantenner användas även för kommunikation på lägre frekvenser, exempelvis satellitkommunikation [65].

Satellitkommunikation (SATCOM) är något som historiskt endast använts för MALE/HALE-system, då det krävs relativt stora antenner på plattformen för att få en tillräckligt hög datatakt. Fler och fler mindre, taktiska UAV:er börjar dock integreras med satellitkommunikationsmoduler, exempelvis Tekever AR5 [97] – med en maximal startvikt på 180 kg [98]. Satellitkommunikation på mindre

Titel/Title
Teknikutveckling UAS – omvärldsanalys och trenderMemo nummer/Number
FOI Memo 8336

plattformar än så utforskas också mer och mer. Små satellitkommunikationssystem, exempelvis Honeywells VersaWare – med en totalvikt på 1 kg och maximal dataakt på 200 kbit/s, som påstås kunna strömma realtidsvideo, har utvecklats [99].

Satellitkommunikation med LEO-satelliter (*Low Earth Orbit*) är även intressant för UAV:er, där till exempel ukrainska styrkor nyttjat StarLink för kommunikation till sina system under uppdrag i Ukrainakriget. StarLink är ett system av tusentals satelliter placerade i lägre omloppsbanan än äldre satellitsystem vilket bland annat möjliggör starkare och mer störtåliga signaler. Flera tillverkare undersöker nu integration av StarLink med obemannade plattformar, och lyckade tester har genomförts under en Natoövning med både UAV:er och obemannade marina plattformar [100].

3.4 Framdrivning och energilagring

Allt eftersom batteritekniken utvecklas förväntas fler större plattformar kunna utrustas med elektriska motorer, alternativt hybridmotorer. Idag används elmotorer främst på mindre plattformar, men fler medelstora taktiska system börjar även få eldrift.

Elmotorer har mycket högre energieffektivitet än bränslemotorer – 60 – 80 procent jämfört med 25 – 40 procent [101]. Den stora utmaningen för flygande system är dock energilagringen. Energimängden hos 1 kg flygbränsle motsvarar idag ca 25 – 30 kg batterier, vilket gör flygbränsle överlägset för långa flygningar. Dessutom minskar plattformens vikt ju mer bränsle som förbränns, till skillnad från med batterier. Även om energilagringens kapaciteten för batterier kan ökas med en faktor två eller mer i framtiden, så kommer de troligtvis aldrig bli lika energitäta som kolväten.

Med en hybridmotor kan en elmotor användas vid mer effektkrävande manövrar såsom start och landning, medan förbränningsmotorn används vid marschflygning [102]. Exempelvis AeroVironments Jump 20 använder sig av denna teknik [14]. Hybriddrift blir också allt vanligare på bärplattformar (se avsnitt 2.4). Det blir även vanligare med hybridkonfigurationer där flytande bränsle används till ett elverk för att generera elektricitet till batterier och elmotorer [103].

Vissa UAV:er använder även bränsleceller som energikälla, där kemisk energi i till exempel vätgas omvandlas till elektrisk energi, med en energieffektivitet som ofta överstiger 60 procent [104]. Lockheed Martins Stalker använder en propandrivna bränslecell (*Solid Oxide Fuel Cell*, SOFC) tillsammans med en elmotor i en hybriddriven konfiguration. Plattformen väger ca 20 kg och sägs ha en uthållighet på 8 timmar [105].

I Figur 1 i Bilaga 1 ges en tabell för att uppskatta räckvidden (uthålligheten) för ett batteridrivet flygplan, givet batteriernas specifika cellenergi, andelen batterier i förhållande till totalvikt samt farkostens glidtal. Som tumregel brukar totalvikten vara fördelad ungefär jämnt mellan skrov, batterier och nyttolast, det vill säga en tredjedel vardera. Som exempel fås, med en specifik cellenergi på 250 Wh/kg, 1/3 andel batterier samt ett glidtal på 10, en uppskattad räckvidd på runt 300 km – vilket motsvarar 6 timmars flygtid med en medelhastighet på 50 km/h. Aerodynamiken har självklart stor inverkan och med ett glidtal på 14 fås istället en uppskattad räckvidd på runt 400 km. Antas en specifik cellenergi på 280 Wh/kg med glidtal 10 fås istället en räckvidd på ungefär 350 km. Som jämförelse har AeroVironments Puma LE en marschhastighet på runt 47 km/h och en uthållighet på 6,5 timmar (ca 300 km räckvidd) [106].

Energitätheten på kommersiellt tillgängliga litium-jonceller ligger idag normalt på ca 250 Wh/kg, och vissa kan uppnå så högt som 280 Wh/kg [107]. För litium-jonceller pratas det om att man börjar nå det maxvärde vad gäller specifik cellenergi man kan få ut, och inom de närmaste 10 – 15 åren förväntas ingen större utveckling på denna front. Vad gäller batteripack kan dock smartare sätt att förpacka batterierna göra att man får en högre energidensitet, det vill säga mer batteri per volym, dock med tyngre batterier som konsekvens (för samma batterivolym). Tätare packning av batterierna brukar även påverka säkerheten och brandrisken negativt.

Titel/Title
Teknikutveckling UASMemo nummer/Number
FOI Memo 8336

För flygning i kallt klimat kan speciallösningar för kalla temperaturer göra batterierna mer köldtåliga, och en del tillverkare kan skraddarsy batterier för önskade temperaturer, vissa uppger så lågt som -55 °C. Vid mycket kalla temperaturer påverkas dock även sensorer och annan utrustning i hög grad vilket ger upphov till andra problem [108]. Det finns också utmaningar med laddningen och förvaringen av batterier. De flesta litium-jonbatterier får problem vid förvaring i temperaturer under -10 °C, och laddningsproblem redan under 5 °C [108]. Problem uppstår också vid flygning på hög höjd, då lufttemperaturen sjunker med ca 7 °C för varje 1 000 meter i höjddled [109], vilket gör att batterier och elektriska komponenter kräver väsentlig uppvärmning redan vid ca 1 000 meters höjd. Detta är ytterligare en orsak till avsaknaden av batteridrivna UAV:er av Nato klass II (Taktisk) och uppåt.

3.5 Autonomi

UAV:er för civil användning blir allt mer autonoma. Militära UAV:er är inget undantag och förutspås få fler och mer avancerade automatiska funktioner över tid. Idag har många militära UAV:er inbyggda automatiska funktioner såsom brytpunktsnavigering, rutt- och banplanering, kollisionsundvikning, måligenkänning och målföljning. En utmaning är att integrera dessa så att systemet som helhet kan anses vara tillräckligt säkert för att till exempel tillåtas flyga i osegregerat civilt luftrum över tätbebyggda områden. Detta var en bidragande orsak till nedläggningen av det europeiska Euro Hawk-programmet [110].

Safrans Patroller blev i februari år 2023 det första UAV-systemet inom Nato klass II (Taktisk) att bli certifierat under Natos STANAG 4671 *Unmanned Aircraft Systems Airworthiness Requirements* (USAR) – vilket är ett viktigt steg i utvecklingen för att möjliggöra flygning i Natoländers civila luftrum [111]. Detta ställer krav på exempelvis system för automatisk kollisionsundvikning i händelse av länkbortfall, vilket var något som Euro Hawk-plattformen saknade.

Framåt bedöms att mer av beslutsfattandet blir automatiserat, till följd av bland annat AI- och maskininlärningsalgoritmer, och därmed flyttas från mänskliga operatörer till mjukvara, varvid forskning inom *human-autonomy teaming* (HAT) blir allt viktigare för att kunna samverka med systemen. Autonomt beslutsfattande är också viktigt vid tillfälligt eller permanent kommunikationsbortfall, då en autonom plattform kan ha möjlighet att fortsätta ett uppdrag på egen hand eller återvända till en vald plats om kommunikationen med operatören slås ut. De flesta av dagens RPAS har någon form av felhanteringsprocedur, såsom tillfällig hovring eller landning vid en förspecifierad plats, men med utvecklad uppdragsautonomi skulle systemet själv kunna fullfölja ett uppdrag. Detta kräver en förmåga för systemet att själv värdera sensorinformation samt hantera interna fel oberoende av en extern operatör.

En av de största militära förmågeökningarna som förväntas med ökat automatiserat beslutsfattande är kortare och snabbare bekämpningskedjor. Snabbare och effektivare spaning med hjälp av avancerad mjukvara kan också minska uppdragstiden och därmed risken för upptäckt och nedkämpning. Även nivån av uppdragsautonomi förutspås öka, vilket kommer att avlasta personal och frigöra resurser till andra uppgifter. Operatörer förväntas få mer övervakande roller, snarare än att aktivt delta i styrningen och beslutsfattandet på låg nivå. I takt med att fler och fler uppgifter blir automatiserade så kommer utvecklingen av mjukvara utgöra en större del av systemkostnaden och det är utmanande att validera huruvida mjukvara har önskat beteende samt är tillräckligt robust mot störningar och cyberoperationer.

3.5.1 Svärmar och samverkande system

Den ekonomiska asymmetri som en eller flera mindre UAV:er kan skapa gentemot ett högteknologiskt luftförsvar har gjort UAV-svärmar och samverkande system av UAV:er, till ett högaktuellt forskningsområde, både inom akademien och industrin. Begreppet *svärm* har i detta sammanhang ingen entydig betydelse för vilka förmågor som menas, och vissa använder istället begrepp som *teaming* eller *samverkande system*.

Titel/Title
Teknikutveckling UAS – omvärldsanalys och trenderMemo nummer/Number
FOI Memo 8336

Kan man använda en grupp av förhållandevis billiga mikro- eller mini-UAV:er (eller större) för att genomföra koordinerade attacker för att exempelvis attackera från flera håll, vilseleda eller mäta en motståndares luftvärn kan potentiellt stora fördelar på slagfältet fås. Användning av autonoma UAV-svärmar för koordinerad spaning i urban miljö eller svåråtkomlig terräng är ett annat potentiellt användningsområde. USA och Kina leder utvecklingen och har båda demonstrerat svärmsystem med över tusen små mikro-UAV:er för ljusshower [2]. Dessa plattformar är dock för små för att vara av nytta militärt och förlitar sig på centraliserad styrning från en gemensam nod och satellitnavigering, vilket gör det mycket sårbart för telekrig.

För militärt bruk antas system med ett fåtal eller tiotal lite större UAV:er vara mer relevanta, särskilt om de kan agera decentraliserat oberoende av en central styrningsnod för att skapa redundans. Både svärmar av lätt beväpnade multikoptrar och patrullrobotar, samt defensiva svärmsystem som motmedel mot attacksvärmar, utvecklas av bland annat USA, Turkiet, Indien och Kina. Ett exempel är projektet LOCUST (*low-cost UAV swarming technology*) som drevs av US Navy, och utforskade ett system av ett 30-tal tubavfytrade Coyote-UAV:er med stridsdel, med potential att bekämpa både andra UAV:er samt sjö- eller markbaserade mål [112]. Systemet är fortfarande under utveckling och har numera inkorporerats i ett projekt kallat *Super Swarm* [113]. Som tidigare nämnt i avsnitt 2.2.3 pågår även utveckling av svärmförmåga för mindre, luftburna robotar.

Semi-autonoma svärmsystem är ett annat alternativ som ligger närmare i tiden, där en fjärrstyrd ledar-UAV leder en grupp av andra UAV:er som enbart följer efter ledarfarkosten i en formation. WB Group erbjuder en sådan lösning där en grupp av ca 5 patrullrobotar (WARMATE [114]) flyger i en ledare-följare-formation där endast ledarroboten kommunicerar med operatören och resterande robotar följer efter ledaren på ett visst avstånd, med kommunikationslänkar sinsemellan varandra. Vid bortfall av ledarroboten ersätts den av en av följjarrobotarna. Patrullrobotarna kan även kommunicera med och få måldata från företagets spanings-UAV FLYEYE [115]. Trenden att koppla samman flera patrullrobotar med varandra, samt med spanings-UAV:er, är något som observerats hos fler tillverkare.

Heterogena svärmsystem, det vill säga system där de enskilda UAV:erna har olika utformning och förmågor utforskas också mer och mer. Med heterogena system kan man få en kombination av förmågor såsom spaning, telekrig och bekämpning med en förhållandevis låg kostnad för varje enskild UAV.

Ett tidigt exempel på ett heterogent svärmsystem är det ryska Leer-3-systemet. Innan kriget i Ukraina uppskattades Ryssland ha cirka 2000 operativa UAV:er, varav ungefär hälften var av typen Orlan-10, vilken introducerades i ryska armén år 2011. Orlan-10 är en liten, förhållandevis billig flygplans-UAV på 15 kg (varav 6 kg är nyttolast). Den har en räckvidd på ca 110 km, och ett skrov i komposit för minskad radarsignatur. Ensam kan den användas för inriktning av artillerield och signalspaning mot radar, men ofta används den i ett system av tre, kallat Leer-3, för telekrig. En UAV flyger på en höjd av ca 1 – 1,5 km för spaning och lokalisering av fiendlig radar eller civila kommunikationssystem, medan en annan UAV stör ut det valda målet, och en tredje UAV agerar relänod på en höjd av ca 4.5 km [116].

Brittiska BlueBear, som numera är en del av Saabkoncernen, har utvecklat mjukvara samt utfört demonstrationer i samarbete med DSTL (*Defense Science and Technology Laboratory*), där en operatör styr en heterogen svärm bestående av 20 spanings-UAV:er och patrullrobotar med en varierad uppsättning nyttolast (sensorer, stridsdel). De individuella plattformarna kan genom viss decentraliserad samverkan få en utspridd sensortäckning över ett område samt automatiskt detektera, identifiera och prioritera mål. Operatören fattar dock beslut om bekämpning [117]. BlueBear uppger också i samtal att deras mjukvara ska vara redo att integreras i ett ledningsstödsystem (*Battlefield Management System, BMS*) – för att exempelvis rapportera in information om plattformarnas positioner samt detekterade mål.

Användning av modulär mjukvara som ger möjligheten att integrera UAS med diverse C2-system (*Command and Control*) för att kunna samverka med andra system samt bidra till en gemensam lägesbild är något som observeras hos fler tillverkare.

Titel/Title
Teknikutveckling UASMemo nummer/Number
FOI Memo 8336

3.6 GNSS-fri navigering

En viktig förutsättning för autonomt uppträdande militärt är förmåga till GNSS-fri navigering i telestörda miljöer, då GNSS-signaler är mycket svaga och lätta att störa ut. Än så länge kan detta göras mest framgångsrikt för större plattformar då dessa kan bära större sensorpaket och mer precisa tröghetsnavigeringssystem. Mycket forskning pågår inom PNT-området (*Positionering, Navigering, Tid*) för att möta denna utmaning. För mindre plattformar verkar det relativt vanligt bland leverantörer att nyttja en kombination av markbaserade tracking-antennor och kamerabaserad navigering tillsammans med kartmatchning, för att i viss mån kompensera för mindre precis tröghetsnavigering. Bland annat UVision och UAVTEK [118] uppger i samtal att de använder sig av dessa metoder. Den markbaserade tracking-antennen mäter avstånd och riktning till UAV:n, där endast initial GNSS-information för UAV:n och antennen behövs. GNSS-mottagaren på UAV:n stängs ibland av efter uppstart för att undvika spoofing. Det går även att använda algoritmer som detekterar spoofing och därefter sluta använda GNSS-information om man upptäcker att man blir störd.

Det är viktigt att notera att konventionella tröghetsnavigeringssystem alltid har positionsfel som växer kvadratisk eller kubiskt med tiden. GNSS-fri navigering med enbart tröghetsnavigering kommer således endast vara möjligt under en begränsad tid innan PNT-systemet behöver kompletteras med GNSS-information, sensorinformation eller andra typer av referenspunkter, exempelvis att man återvänder till en tidigare besökt plats.

Förmåga till GNSS-fri navigering med UAV:er förväntas öka de kommande åren, åtminstone under dagtid med bra väderförhållanden. GNSS-fri navigering nattetid eller i miljöer utan tydliga referenspunkter (exempelvis över vatten och skog) med ombordbaserade metoder är fortfarande ett mycket svårt problem. FPV-styrda eller teleopererade UAV:er kan till viss del flygas framgångsrikt i GNSS-störda miljöer, men om positionering och navigering kan skötas helt autonomt ombord på farkosten kan många sårbarheter mot telekrig elimineras.

3.7 Counter-UAS

De senaste åren har forskning och utveckling av system specialiserade för detektion och bekämpning av framförallt små UAV:er accelererat, och idag finns markbaserade, fordonsburna samt handhållna counter-UAS-system (ibland kallat C-UAS) bestående av bland annat Dopplerradar, signaldetektorer och signalstörare, laservapen, HPM-vapen (*High Power Microwave*), vapenstationer samt nät och annan kinetisk bekämpning [119], [120], [121]. Med en luftvärnskanon kan även mindre UAV:er med någorlunda förutsägbar flygbana skjutas ned på ca 1 – 2 km avstånd, dock minskar träffsannolikheten avsevärt om UAV:n gör kraftiga svängar eller oförutsägbara manövrar [122].

Laservapen har blivit en aktuell teknik för luftförsvaret och counter-UAS, med förmåga till hög precision, liten tid från målinmätning till verkan, och möjligheten att kunna bekämpa flera mål samtidigt, med verkansförmåga så länge strömförsörjning finns. Verkan sker genom att bränna sönder delar av skrov, elektronik, sensorer eller antändning av stridsdelar, under enstaka sekunder till några sekunders belysning.

Flera demonstratorprojekt med både små och stora lasersystem pågår. Israel har annonserat en fungerande teknisk lösning, Iron Beam, tänkt som komplement på kortare avstånd till robotförsvaret Iron Dome. Systemet sägs kunna levereras om 2 – 3 år, ha en medeleffekt på över 100 kW och ska effektivt kunna verka på upp till 10 km avstånd. USA har sedan några år tillbaka infört 60 kW-systemet HELIOS på marina fartyg [123]. Dessa system är stationära och ofta i containerstorlek.

Utvecklingsprojekt pågår också för mindre fordonsmonterade lasersystem med effekter på ca 2 – 10 kW för att bekämpa UAV:er av Nato klass I och II på några kilometers avstånd. Fordonsmonterade system med effekter på 10 – 100 kW finns också, där exempelvis Raytheon har levererat ett 50 kW-system till US Armys stridsfordon Stryker [124].

Titel/Title
Teknikutveckling UAS – omvärldsanalys och trenderMemo nummer/Number
FOI Memo 8336

Mindre HPM-system i form av fordonsmonterade vapenstationer med effekter på runt 250 MW kan ha räckvidder upp mot 1 km och större HPM-system med effekter på runt 1 000 MW har potential till räckvidder på flera kilometer, vilket utgör ett hot även mot taktiska UAV:er. En av utmaningarna med HPM-vapen är att inte orsaka sidoskador på egna eller andra närliggande systems elektronik [122]. Lockheed Martin har utvecklat ett flygande HPM-system, MORFIUS, i form av en UAV utrustad med HPM-vapen för att kunna bekämpa UAV:er och UAV-svärmar, på längre och säkrare avstånd från marken än markbaserade system [125]. Inkapslning av känslig elektronik, exempelvis skrovintegrerade antenner, och användning av högreflektiva ytmaterial kan göra UAV:er mindre sårbara mot HPM. Elektriska motorer ökar dock sårbarheten. Att göra plattformar helt resistenta mot HPM är dyrt och svårt att realisera, och förväntas om möjligt endast göras på större och mer avancerade system.

I Ukraina används ett handhållet störsystem, SkyWiper EDM4S, för att störa ut kommunikationslänkar över ett flertal frekvensband. Ett separat signalspaningssystem detekterar fientliga kommunikationslänkar och ger en riktning till en operatör som med en störpistol utrustad med ett flertal riktade antenner stör ut väsentlig UAV-kommunikation. GNSS, radiolänkar, och wifi med mera kan störas ut samtidigt, i en 60 graders sektor, på ett effektivt verkansavstånd av 3 – 5 km. SkyWiper Omni är ett annat portabelt system som istället använder rundstrålade antenner vilket ger 500 meters sfärisk täckning [126].

För kinetisk bekämpning utvecklas bland annat UAV:er och robotar som flyger in och kolliderar med fientliga UAV:er, alternativt exploderar. Raytheon har ett counter-UAS-system bestående av Coyote-UAV:er utrustade med zornör och radarmålsökare vilka inriktas mot mål med hjälp av en K_a-bandsradar och sedan exploderar [127]. Det finns även liknande system som utöver radar också använder plattformens ombordkameror (EO/IR) för att söka upp och följa målet under inflygningens slutfas [128].

3.8 UGV

Som tidigare nämnt pågår utveckling för att i högre grad kombinera UAV:er med andra obemannade system där UGV:er är ett stort fokus. UGV-utvecklingen står inför flertalet markdomänspecifika utmaningar såsom hinderundvikning och terrängnavigering, vilket inte är ett lika stort problem för flygande system. Ett flertal länder undersöker möjligheterna att använda UGV:er för olika syften. Logistik och skadeevakuering (*casualty evacuation*, CASEVAC) är de användningsområden som förmodligen ligger närmast i tiden då det kan gå att åstadkomma med automatiska funktioner såsom brytpunktsnavigering och hinderundvikning. UGV:er undersöks även för att bära CBRN-sensorer och för minröjning [129], eller som artilleri- eller robotplattformar, framskjutna vapenstationer och obemannade stridsvagnar [116]. Tidshorisonter för införandet av operativa UGV:er beror i hög grad på hur autonoma de behöver vara för ändamålet samt i vilken terräng de ska operera. Nedan följer en kortfattad sammanställning av några viktiga exempel inom UGV-utvecklingen, främst kopplat till UAV-UGV-samverkan.

Israeliska armén har under ett antal år använt sig av Guardium – en lätt bepansrad hjuldriven UGV utrustad med radar, EO/IR-sensorer samt en vapenstation, för gränsövervakning längs Gazaremsan. Plattformen kan styras via kamera eller köra autonomt längs en förkarterad rutt [130]. Bekämpning för dessa typer av system sker idag fjärrstyrt, och det är främst en fråga om etik, juridiska frågor om mänskliga rättigheter och den internationella humanitära rätten, samt tillit till de autonoma funktionerna som gör autonom bekämpning tveksamt inom den närmaste framtiden, likaså gäller för UAS [116].

För logistik har bland annat US Army upphandlat och utvärderat MUTT (*Multi-Utility Tactical Transport*) – en åttahjulig diesel-elektrisk bärplattform med en lastkapacitet på 540 kg och ca 100 km uthållighet, som kan fjärrstyras eller autonomt följa efter en soldat [116]. THeMIS är en liknande banddriven plattform som har utvärderats under realistiska förhållanden såsom i Mali, och har införskaffats och utvärderats av 16 länder (varav 8 i Nato). Primär användning är CASEVAC och materieltransport (last 750 – 1200 kg), men ett mål är att den även ska kunna utrustas med ATGM-

Titel/Title
Teknikutveckling UASMemo nummer/Number
FOI Memo 8336

vapen (*Anti-Tank Guided Missile*) såsom Javelin, eller fungera som bärplattform för spanings-UAV:er. Vid elektrisk drift har den en låg akustisk och termisk signatur [116]. Tyskland har skickat 14 THeMIS konfigurerade för CASEVAC och minröjning (*route clearance*) till Ukraina [131].

Några utmaningar som UGV-systemen står inför är att de färdas långsamt (ca 15 – 30 km/h) och ännu långsammare i svår terräng, ofta i bästa fall ca 5 km/h, vilket gör att de har svårt att agera inom ramen för mekaniserad strid. Navigering i skymd skogsmiljö med kort siktlinje eller mörker är svårt vad gäller framkomlighet, och användningen av LIDAR kan begränsas av att det eventuellt stör soldaters mörkersikten. Aktiva sensorer ökar också risken att bli röjd, så en utmaning är att åstadkomma navigering med passiva sensorer. UAV-UGV-samverkan kan här bli en trend där en UAV kan skicka kart- och terränginformation till en UGV för ruttplanering i svårnavigerade miljöer, samtidigt som UGV:n kan agera bärplattform eller laddningsstation för UAV:n [132].

Det utforskas även lösningar för att sammanlänka ett flertal UGV:er med mobila radionät i form av lågflygande UAV:er. UAV:erna kan fungera som reläer mellan flera UGV:er samt ge fri sikt och högre dataakt för kommunikationslänkarna i besvärlig terräng. Även för kommunikation mellan UAV och UGV är dock transmissionsförlusterna genom till exempel skog fortfarande en utmaning [92]. Många UGV-tillverkare börjar även kombinera fordonen med tjudrade UAV:er för att öka länkräckvidden, samtidigt som kommunikationen ned till UGV:n går via kabeln. Med en tjudrad UAV hovrande på ca 30 meters höjd ovanför UGV:n fås en avsevärt längre radiohorisont samtidigt som fri sikt lättare kan erhållas. Hur högt UAV:n kan placeras begränsas primärt av risken för att synas samt kabelns vikt och hållfasthet.

US Army har som en del i att möta hotet från UAV:er mot logistikkedjor fokuserat på att sprida ut logistik över fler och mindre plattformar såsom UGV:er och UAV:er. Man har även påbörjat utveckling av UAV-ledda autonoma fordonskonvojer för tyngre logistik. Målet är en ledare-följarekonvoj, där ett bemannat, fjärrstyrt, eller autonomt första fordon leder en konvoj av obemannade fordon, med understöd av en UAV för navigering och lägesbild [133]. Även om avsaknaden av personal är ett av huvudmålen så ställer det frågor om hur sådana system ska reagera vid eventuellt bortfall av ledarfordonet eller vid väpnade angrepp. Sannolikt kommer man vilja utrusta dessa med någon form av redundans, samt counter-UAS-system och vapenstationer.

Utveckling av obemannade stridsfordon och stridsvagnar pågår också i bland annat Kina, Ryssland och USA. Som en del av US Armys moderniseringsstrategi [134] utvecklas, inom programmet NGCV (*Next Generation Combat Vehicle*), både fjärrstyrda och autonoma prototyper, där det primära målet, utöver avsaknaden av personal, är minskad vikt och volym till följd av det borttagna personalutrymmet. En obemannad stridsvagn kan väga 30 – 40 ton, jämfört med exempelvis M1 Abrams (ca 62 ton), vilket kan ge fördelar när det kommer till uthållighet, topphastighet och framkomlighet. Tre kategorier av system: RCV-L, RCV-M och RCV-H (*Robotic Combat Vehicle – Light, Medium, Heavy*) planeras vara i drift runt år 2030 (autonoma först efter år 2035) och ska fungera som första kontakt med fienden vid frontlinjen eller som flankskydd. RCV-L är mindre och förbrukningsbara system upp till 10 ton, som kan utrustas med vapenstationer och störningsutrustning, och transporteras med helikopter. RCV-M är något större, med tyngre pansar och vapen, och kan utrustas med 30 – 40 mm kanon samt ATGM-vapen. RCV-H ska fungera som en obemannad stridsvagn, och eventuellt vara utrustad med en kvadropter för spaning [135].

Titel/Title
Teknikutveckling UAS – omvärldsanalys och trender

Memo nummer/Number
FOI Memo 8336

4 Sammanfattning

UAS har använts operativt under många år, men de senaste årens teknikutveckling inom kritiska delsystem såsom batteriteknik, sensorer, lätta material och mjukvara har öppnat upp för nya tillämpningar. Små system får allt längre uthållighet, räckvidd, högre lastkapacitet och spaningsförmåga, och system av alla storlekar får en ökad nivå av automatisering.

Nedan ges en sammanställning av några viktiga områden där ytterligare utveckling kan förväntas inom en tioårsperiod.

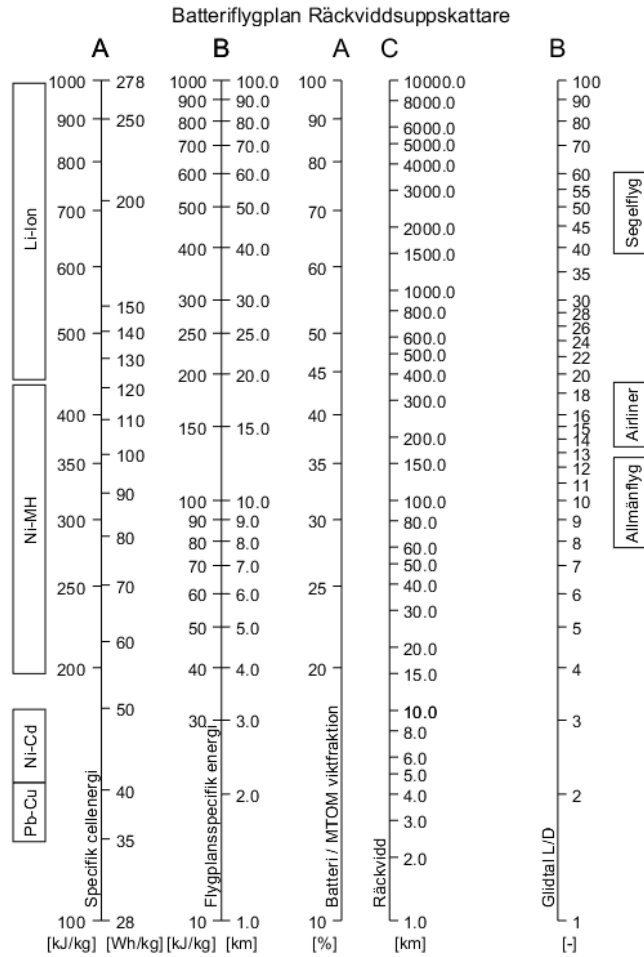
- Högre nyttjande av obemannade plattformar för logistikkedjor och skadeevakuering.
- Smyganpassning av plattformar genom minskad kommunikation, ökad autonomi, samt ökad användning av passiva sensorer.
- Ökat nyttjande av AI och sensornära signalbehandling för databehandling av sensordata, exempelvis för automatisk måligenkänning.
- Utveckling av teknik för navigering i GNSS-fria miljöer, exempelvis FPV-teknik, riktade antenner eller sensorbaserade algoritmer.
- Ökat fokus på VTOL-förmåga för små och medelstora taktiska flygplanssystem.
- Utveckling av heterogena samverkande system bestående av plattformar för spaning, bekämpning, telekrig och kommunikation.
- Utveckling av samverkande system av patrullrobotar med viss förmåga till decentraliserat och automatiserat beslutsfattande.
- Vidare utveckling av robusta datalänkar och sofistikerade antensystem som motmedel mot counter-UAS-system inriktade på störning.
- Ökad användning av billig, civil utrustning anpassat för militärt bruk för enklare spaning, målinmätning och bekämpning.
- Nyttjande av UAV:er som relänodes för kommunikation mellan system i alla domäner.

Teknikutvecklingen för obemannade system är omfattande och detta memo har endast behandlat en delmängd av den. Kriget i Ukraina och en utbredd användning av UAV:er på det moderna slagfältet där bägge stridande parter är högteknologiska aktörer har belyst utmaningar men även nya användningsområden för systemen, vilket kommer sätta tydliga spår för den fortsatta teknikutvecklingen. Mer ingående analyser av delområdena görs och bör göras och de referenser som nämns ska ses som en vägledning för ytterligare underlag och studier.

Titel/Title
Teknikutveckling UAS

Memo nummer/Number
FOI Memo 8336

5 Bilaga 1



Instruktion: Lagg linjal mellan A-A för att få B, sedan linjal mellan B-B för att få C.
 $R = E \cdot (mg) \cdot G$ $g = 10$, $\eta = 1$;
 Totalförsvarets Forskningsinstitut, FOI, Diagram för forskning i höjd beredskap #44

Figur 1: Räckviddsuppskattare för batteriflygplan. Källa: T. Melin, Totalförsvarets Forskningsinstitut, FOI.

Titel/Title
Teknikutveckling UAS – omvärldsanalys och trender

Memo nummer/Number
FOI Memo 8336

Referenser

- [1] NATO's Warfare Development Command, NATO CD&E Handbook, NATO, 2021.
- [2] J. Rantakokko, F. Näsström, R. Woltjer, T. Mårtensson, M. Hagström och A. Foyer, "Tekniköversikt autonoma och obemannade system - Del 4: Luftstriden," FOI-R-5167-SE, FOI, 2022.
- [3] Peter Bull (FHS), Per Grahn, Sara Linder, Kristoffer Hultgren, Anders Lennartsson, Tomas Mårtensson, Björn Persson (FHS), Niclas Stensbäck, Hampus Thorell, "RPAS för territorialövervakning 2030 – värdering av några alternativ," FOI-R-3987-SE, FOI, 2014.
- [4] Teledyne FLIR, "Black Hornet 4," [Online]. Tillgänglig: <https://www.flir.eu/news-center/military/new-black-hornet-4/>. [Använd 20 Oktober 2023].
- [5] Engineering.com, "The incredible engineering of the black hornet nano drone," [Online]. Tillgänglig: <https://www.engineering.com/story/the-incredible-engineering-of-the-black-hornet-nano-drone/>. [Använd 20 Oktober 2023].
- [6] M. Zabrodskiy, J. Watling, O. V. Danylyuk och N. Reynolds, "Preliminary Lessons in Conventional Warfighting from Russia's Invasion of Ukraine: February–July 2022," 2022.
- [7] Business Insider, "Wild video shows Ukrainian drone flying through dense forest into a Russian hideout before exploding, military says," [Online]. Tillgänglig: <https://www.businessinsider.nl/wild-video-shows-ukrainian-drone-flying-through-dense-forest-into-a-russian-hideout-before-exploding-military-says/>. [Använd 20 Oktober 2023].
- [8] J. Watling, N. Reynolds, "Meatgrinder: Russian Tactics in the Second Year of Its Invasion of Ukraine," RUSI, 2023.
- [9] Forbes, "Putting 3D-printers to work in Ukraine's war zone," [Online]. Tillgänglig: <https://www.forbes.com/sites/amyfeldman/2022/03/31/putting-3d-printers-to-work-in-ukraines-war-zone/>. [Använd 20 Oktober 2023].
- [10] ELISTAIR, "Orion 2.2 TE Tactical Tethered Drone," [Online]. Tillgänglig: <https://elistair.com/solutions/tethered-drone-orion/>. [Använd 20 Oktober 2023].
- [11] A. Carlstedt, M. Lyth och L. Forsell, "Noteringar om användningen av patrullrobotar i Ukraina," FOI Memo 8170, FOI, 2023.
- [12] XLRs Extended, "SATPRO Smart Antenna Tracker," [Online]. Tillgänglig: <https://d3.xlrs.eu/satpro/>. [Använd 20 Oktober 2023].
- [13] Janes, "Ultra Maritime and UMS Skeldar awarded contract to evaluate UAS-based ASW solution for Canada," [Online]. Tillgänglig: <https://www.janes.com/defence-news/news-detail/ultra-maritime-and-ums-skeldar-awarded-contract-to-evaluate-uas-based-asw-solution-for-canada/>. [Använd 20 Oktober 2023].
- [14] AeroVironment, "Jump 20," [Online]. Tillgänglig: <https://www.avinc.com/uas/jump-20/>. [Använd 20 Oktober 2023].
- [15] Aerovel, "Flexrotor," [Online]. Tillgänglig: <https://aerovel.com/Flexrotor/>. [Använd 20 Oktober 2023].

Titel/Title
Teknikutveckling UASMemo nummer/Number
FOI Memo 8336

- [16] HoodTech Mechanical, "FLARES," [Online]. Tillgänglig: <https://www.hoodtechmechanical.com/vtol>. [Använd 20 Oktober 2023].
- [17] Insitu, "Integrator VTOL," [Online]. Tillgänglig: <https://www.insitu.com/products/integrator-vtol>. [Använd 20 Oktober 2023].
- [18] Shield AI, "V-BAT," [Online]. Tillgänglig: <https://shield.ai/v-bat/>. [Använd 20 Oktober 2023].
- [19] Janes, "Martin UAV wins US Navy's Mi2 Technology Demonstration competition," [Online]. Tillgänglig: <https://www.janes.com/defence-news/news-detail/martin-uav-wins-us-navys-mi2-technology-demonstration-competition>. [Använd 20 Oktober 2023].
- [20] C4ISRNET, "Replacing the Shadow is a VTOL order," [Online]. Tillgänglig: <https://www.c4isrnet.com/newsletters/unmanned-systems/2018/12/15/replacing-the-shadow-is-a-vtol-order/>. [Använd 20 Oktober 2023].
- [21] DefenseNews, "Army taps AeroVironment's Jump 20 to replace Shadow unmanned system," [Online]. Tillgänglig: <https://www.defensenews.com/land/2022/08/19/army-taps-aerovironments-jump-20-to-replace-shadow-uas/>. [Använd 20 Oktober 2023].
- [22] L. Forsell, "Obemannade luftfarkostsystem för territorialbevakning, tekniktrend 2030," FOI-R-3662-SE, FOI, 2013.
- [23] U.S. Air Force, "RQ-4 Global Hawk," [Online]. Tillgänglig: <https://www.af.mil/About-Us/Fact-Sheets/Display/Article/104516/rq-4-global-hawk/>. [Använd 20 Oktober 2023].
- [24] Northrop Grumman, "MQ-4C Triton," [Online]. Tillgänglig: <https://www.northropgrumman.com/what-we-do/air/triton/>. [Använd 20 Oktober 2023].
- [25] General Atomics Aeronautical, "MQ-9B SkyGuardian," [Online]. Tillgänglig: <https://www.ga-asi.com/remotely-piloted-aircraft/mq-9b-skyguardian>. [Använd 20 Oktober 2023].
- [26] General Atomics Aeronautical, "MQ-9B SeaGuardian," [Online]. Tillgänglig: <https://www.ga-asi.com/remotely-piloted-aircraft/mq-9b-seaguardian>. [Använd 20 Oktober 2023].
- [27] Naval Technology, "MQ-25 Stingray Unmanned Aerial Refuelling Aircraft," [Online]. Tillgänglig: <https://www.naval-technology.com/projects/mq-25-stingray-unmanned-aerial-refuelling-aircraft/>. [Använd 20 Oktober 2023].
- [28] Airbus, "Zephyr," [Online]. Tillgänglig: <https://www.airbus.com/en/products-services/defence/uas/uas-solutions/zephyr>. [Använd 20 Oktober 2023].
- [29] MBDA Systems, "Successful MMP firing with target designation made by a Novadem drone.," [Online]. Tillgänglig: <https://newsroom.mbda-systems.com/successful-mmp-firing-with-target-designation-made-by-a-novadem-drone/>. [Använd 19 Oktober 2023].
- [30] E. Lindgren, E. Branzén och V. Hallbeck, "Målinmätning med UAV - Experimentell data och analys av vanliga felkällor," FOI, Under utgivning.
- [31] Magnus Pettersson, "Laserinmätning med UAV," Elektroniskt brev. FOI. 2023-09-22.

Titel/Title
Teknikutveckling UAS – omvärldsanalys och trender

Memo nummer/Number
FOI Memo 8336

- [32] Militaryni, "Ukrspesystems unveiled its new SHARK UAV.," [Online]. Tillgänglig: <https://mil.in.ua/en/news/ukrspecsystems-unveiled-its-new-shark-uav/>. [Använd 20 Oktober 2023].
- [33] Oryx, "An International Export Success: Global Demand For Bayraktar Drones Reaches All Time High," [Online]. Tillgänglig: <https://www.oryxspioenkop.com/2021/09/an-international-export-success-global.html>. [Använd 27 November 2023].
- [34] FINABEL European Army Interoperability Centre, "The Turkish Bayraktar TB2: Ankara's Renewed Prominence in the Drone Market," [Online]. Tillgänglig: <https://finabel.org/the-turkish-bayraktar-tb2-ankaras-renewed-prominence-in-the-drone-market/>. [Använd 20 Oktober 2023].
- [35] Army Technology, "Bayraktar TB2 Tactical UAV," [Online]. Tillgänglig: <https://www.army-technology.com/projects/bayraktar-tb2-tactical-uav/>. [Använd 20 Oktober 2023].
- [36] Defence Turk, "Bayraktar TB2S UAV integrated with SATCOM completes its flight," [Online]. Tillgänglig: <https://en.defenceturk.net/bayraktar-tb2s-uav-integrated-with-satcom-completes-its-flight/>. [Använd 20 Oktober 2023].
- [37] Wikipedia, "Baykar Bayraktar TB3," [Online]. Tillgänglig: https://en.wikipedia.org/wiki/Baykar_Bayraktar_TB3. [Använd 20 Oktober 2023].
- [38] The EurAsian Times, "Russia 'Shot Down' Over 100 Bayraktar TB2 Drones In The Ukraine War & Kicked Them Out Of Action – Moscow," [Online]. Tillgänglig: <https://eurasianimes.com/russia-shot-down-over-100-bayraktar-tb2-drones-in-the-ukraine/>. [Använd 20 Oktober 2023].
- [39] General Atomics, "GA-ASI Successfully Completes Self-Protection System Demo on MQ-9," [Online]. Tillgänglig: <https://www.ga.com/ga-asi-successfully-completes-self-protection-system-demo-on-mq-9>. [Använd 20 Oktober 2023].
- [40] Overt Operator, "General Atomics Aims to Sell Anti-Missile Pods for MQ-9 Drones to US Military Customer," [Online]. Tillgänglig: <https://www.overtoperator.com/p/generalatomicstantimissilepoddrones>. [Använd 27 November 2023].
- [41] Baykar, "Bayraktar Akinci," [Online]. Tillgänglig: <https://baykartech.com/en/uav/bayraktar-akinci/>. [Använd 20 Oktober 2023].
- [42] U.S. Air Force, "MQ-9 Reaper," [Online]. Tillgänglig: <https://www.af.mil/About-Us/Fact-Sheets/Display/Article/104470/mq-9-reaper/>. [Använd 20 Oktober 2023].
- [43] General Atomics Aeronautical, "Predator C Avenger," [Online]. Tillgänglig: <https://www.ga-asi.com/remotely-piloted-aircraft/predator-c-avenger>. [Använd 20 Oktober 2023].
- [44] General Atomics Aeronautical, "Mojave," [Online]. Tillgänglig: <https://www.ga-asi.com/remotely-piloted-aircraft/mojave>. [Använd 20 Oktober 2023].
- [45] General Atomics Aeronautical, "GA-ASI Mojave STOL UAS Completes First Dirt Operation," [Online]. Tillgänglig: <https://www.ga-asi.com/ga-asi-mojave-stol-uas-completes-first-dirt-operation>. [Använd 23 Oktober 2023].
- [46] General Atomics Aeronautical, "MQ-9B STOL," [Online]. Tillgänglig: <https://www.ga-asi.com/remotely-piloted-aircraft/mq-9b-stol>. [Använd 23 Oktober 2023].

Titel/Title
Teknikutveckling UASMemo nummer/Number
FOI Memo 8336

- [47] IAI, "Harpy," [Online]. Tillgänglig: <https://www.iai.co.il/p/harpy>. [Använd 8 Mars 2024].
- [48] AeroVironment, "Switchblade 300 Block 20," [Online]. Tillgänglig: <https://www.avinc.com/tms/switchblade>. [Använd 20 Oktober 2023].
- [49] U.S. Embassy in Ukraine, "Fact Sheet on U.S. Security Assistance to Ukraine," [Online]. Tillgänglig: <https://ua.usembassy.gov/fact-sheet-on-u-s-security-assistance-to-ukraine/>. [Använd 20 Oktober 2023].
- [50] AeroVironment, "Switchblade 600," [Online]. Tillgänglig: <https://www.avinc.com/tms/switchblade-600>. [Använd 20 Oktober 2023].
- [51] UVision, "HERO-120," [Online]. Tillgänglig: <https://uvisionuav.com/loitering-munitions/hero-120/>. [Använd 20 Oktober 2023].
- [52] IAI, "Rotem," [Online]. Tillgänglig: <https://www.iai.co.il/p/rotem>. [Använd 20 Oktober 2023].
- [53] IAI, "Rotem Alpha," [Online]. Tillgänglig: <https://www.iai.co.il/p/rotem-alpha>. [Använd 20 Oktober 2023].
- [54] IAI, "Harop," [Online]. Tillgänglig: <https://www.iai.co.il/p/harop>. [Använd 20 Oktober 2023].
- [55] RUSI, "Russia's Iranian-Made UAVs: A Technical Profile," [Online]. Tillgänglig: <https://rusi.org/explore-our-research/publications/commentary/russias-iranian-made-uavs-technical-profile>. [Använd 30 Oktober 2023].
- [56] The Guardian, "Financial toll on Ukraine of downing drones 'vastly exceeds Russian costs'," [Online]. Tillgänglig: <https://www.theguardian.com/world/2022/oct/19/financial-toll-ukraine-downing-drones-vastly-exceeds-russia-costs>. [Använd 20 Oktober 2023].
- [57] MBDA, "SPEAR," [Online]. Tillgänglig: <https://www.mbda-systems.com/product/spear/>. [Använd 24 November 2023].
- [58] Royal Air Force, "£550m F-35 missile contract signed," [Online]. Tillgänglig: <https://www.raf.mod.uk/news/articles/550m-f-35-missile-contract-signed/>. [Använd 24 November 2023].
- [59] MBDA, "MBDA's SPEAR-EW moves to the next stage," [Online]. Tillgänglig: <https://www.mbda-systems.com/press-releases/mbdas-spear-ew-moves-to-the-next-stage/>. [Använd 24 November 2023].
- [60] Think Defence, "SPEAR missile," [Online]. Tillgänglig: <https://www.thinkdefence.co.uk/2022/11/spear-missile/>. [Använd 1 December 2023].
- [61] General Atomics Aeronautical, "GA-ASI Advances Aerial Recovery for SUAS and ALE," [Online]. Tillgänglig: <https://www.ga-asi.com/ga-asi-advances-aerial-recovery-for-suas-and-ale>. [Använd 20 Oktober 2023].
- [62] Raytheon, "MALD Decoy," [Online]. Tillgänglig: <https://www.rtx.com/raytheon/what-we-do/air/mald-decoy>. [Använd 20 Oktober 2023].
- [63] Corvo, "CORVO PPDS HL," [Online]. Tillgänglig: <https://corvouas.com.au/ppds-hl/>. [Använd 20 Oktober 2023].

Titel/Title
Teknikutveckling UAS – omvärldsanalys och trender

Memo nummer/Number
FOI Memo 8336

- [64] Safran, "Patroller," [Online]. Tillgänglig: <https://www.safran-group.com/products-services/patrollerm-long-endurance-multi-mission-and-multi-sensor-tactical-uav-system>. [Använd 20 Oktober 2023].
- [65] G. Eriksson, A. Hansson, P. D. Holm, J. Nilsson och J. Rantakokko, "Robust och störtlång kommunikation för obemannade farkoster - Utmaningar och möjligheter," FOI-R-4895-SE, 2019.
- [66] Börje Andersson, "Telekrig mot radarsystem," Elektroniskt brev. FOI. 2023-09-29.
- [67] Saab, "Sirius Compact EW fact sheet – ENG – ver. 2, May 2022," [Online].
- [68] F. Näsström, J. Allvar, S. Björklund, P. Grahn, O. Gustafsson, J. Hedström, H. Hernnäs, J. Karlholm och P. L. and Hanna Lindell, "Värdering av intelligenta sensorsystem - Slutrapport," FOI-R-5074-SE, FOI, 2020.
- [69] S. Rydell, M. Olofsson, Drönare/UAS - teknik och förmågor, Kungliga Krigsvetenskapsakademien, 2023.
- [70] Avidrone Aerospace, "740T," Avidrone Aerospace produktblad. 2023.
- [71] Malloy Aeronautics, "T150," [Online]. Tillgänglig: <https://www.malloyaeronautics.com/t150.html>. [Använd 20 Oktober 2023].
- [72] BAE Systems, "British Engineers reveal ground-breaking electric uncrewed concept vehicle," [Online]. Tillgänglig: <https://www.baesystems.com/en/article/british-engineers-reveal-ground-breaking-electric-uncrewed-concept-vehicle>. [Använd 20 Oktober 2023].
- [73] BAE Systems, "T-600 electric uncrewed demonstrator aircraft achieves significant milestone at NATO exercise," [Online]. Tillgänglig: <https://www.baesystems.com/en/article/t-600-electric-uncrewed-demonstrator-aircraft-achieves-significant-milestone-at-nato-exercise>. [Använd 31 Oktober 2023].
- [74] Malloy Aeronautics, "T400," [Online]. Tillgänglig: <https://www.malloyaeronautics.com/t400.html>. [Använd 20 Oktober 2023].
- [75] The Defense Post, "UK Delivers Cargo Drone for Ukraine Frontline Weapon Supplies," [Online]. Tillgänglig: <https://www.thedefensepost.com/2023/09/12/uk-delivers-cargo-drone-for-ukraine-frontline-weapon-supplies/>. [Använd 20 Oktober 2023].
- [76] Hydra Drones, [Online]. Tillgänglig: <https://www.hydradrones.com/>. [Använd 20 Oktober 2023].
- [77] L. Bohman, "Sensorer mot markmål," FOI-R-3476-SE, FOI, 2012.
- [78] F. Näsström, S. Björklund, H. Hernnäs, H. Lindell och P. Grahn, "Teknisk värdering av luftvärnssystem mot små RPA:er," FOI-R-4842-SE, FOI, 2019.
- [79] General Atomics Aeronautical, "Lynx Multi-Mode Radar," [Online]. Tillgänglig: <https://www.ga-asi.com/radars/lynx-multi-mode-radar>. [Använd 19 Oktober 2023].
- [80] IMSAR, "Radar systems," [Online]. Tillgänglig: <https://www.imsar.com/radar-systems/>. [Använd 19 Oktober 2023].
- [81] Textron Systems, "Aerosonde UAS," [Online]. Tillgänglig: <https://www.textronsystems.com/products/aerosonde-uas>. [Använd 19 Oktober 2023].

Titel/Title
Teknikutveckling UASMemo nummer/Number
FOI Memo 8336

- [82] Bliley Technologies, "Understanding AESA: A Game-Changer in RADAR Technology," [Online]. Tillgänglig: <https://blog.bliley.com/understanding-aesa-radar-tech>. [Använd 1 November 2023].
- [83] Thales, "AirMaster C," [Online]. Tillgänglig: <https://www.thalesgroup.com/en/markets/defence-and-security/air-forces/mission-and-surveillance-systems/airmaster>. [Använd 23 Oktober 2023].
- [84] Defense News, "Thales launches small AESA radar for small aircraft," [Online]. Tillgänglig: <https://www.defensenews.com/c4isr/2020/10/16/thales-launches-small-aesa-radar-for-small-aircraft/>. [Använd 23 Oktober 2023].
- [85] J. Svedin, A. Bernland, "RPAS-buren SAR-sensor, Arbetspaket 1, Milstolpe 1 - Systemdefinitionsarbete," FOI Memo 8247, FOI, 2023.
- [86] L. Ulander, P.-O. Fröling, A. Gustavsson, A. Haglund, R. Ragnarsson och T. Sjögren, "SAR-teknik och passiv radar - Slutrapport," FOI-R-5076-SE, FOI, 2020.
- [87] Overwatch Imaging, "Overwatch AI," [Online]. Tillgänglig: <https://www.overwatchimaging.com/overwatch-ai>. [Använd 19 Oktober 2023].
- [88] MIT Lincoln Laboratory, "Toroidal Propeller," [Online]. Tillgänglig: https://www.ll.mit.edu/sites/default/files/other/doc/2023-02/TVO_Technology_Highlight_41_Toroidal_Propeller.pdf. [Använd 26 Oktober 2023].
- [89] Airforce Technology, "RQ-170 Sentinel Unmanned Aerial Vehicle," [Online]. Tillgänglig: <https://www.airforce-technology.com/projects/rq-170-sentinel/>. [Använd 20 Oktober 2023].
- [90] Weibel Doppler Radars, "Drone detection," [Online]. Tillgänglig: <https://weibelradars.com/drone-detection/>. [Använd 20 Oktober 2023].
- [91] UA Dynamics, "Punisher," [Online]. Tillgänglig: <https://www.uadynamics.com/>. [Använd 20 Oktober 2023].
- [92] G. Eriksson, A. Hansson, P. D. Holm och J. Grönkvist, "Vågutbredningsanalys för UAV-stöd i taktiska mobila radionät," FOI-R-4734-SE, FOI, 2019.
- [93] P. Eliardsson, E. Axell, K. Hägglund, P. Johansson, G. Eriksson och J. Nilsson, "Effektivare frekvensutnyttjande för förbättrad samexistens," FOI-R-5384-SE, FOI, 2022.
- [94] QinetiQ, "QinetiQ deliver world's first demonstration of a laser controlled drone during flight," [Online]. Tillgänglig: <https://www.qinetiq.com/en/news/qinetiq-deliver-worlds-first-demonstration-of-a-laser-controlled-drone-during-flight>. [Använd 20 Oktober 2023].
- [95] L. Sjökvist, F. Kullander, J. Rahm M. Berneland och V. Håkansson, "Förstudie laserkommunikation till drönare," FOI-D-1231-SE, FOI, 2023.
- [96] J. Rantakokko, E. Branzén, E. Lindgren, K. Kraft, J. Nordlöf, G. Tolt, J. Eek, J. Hamberg, K. L. Blomqvist, M. Norgren, J. Nygårds, J. Rydell, T. Wiik, J. Adolfsson, M. Gelin, F. Kullander, L. Sjökvist, P. Strömbäck, M. Vikgren, M. Alexandersson, K. Bengtsson, V. Lindholm, P. Winther och R. Woltjer, "Obemannade farkoster och autonoma system - Årsrapport 2022," FOI-R-5397-SE, FOI, 2022.
- [97] Satellite Evolution Group, "TEKEVER AR5 UAV successfully deployed using SES's Governmental Pooling and Sharing System," [Online]. Tillgänglig:

Titel/Title
Teknikutveckling UAS – omvärldsanalys och trender

Memo nummer/Number
FOI Memo 8336

- <https://www.satelliteevolution.com/post/tekever-ar5-uav-successfully-deployed-using-ses-s-governmental-pooling-and-sharing-system>. [Använd 30 Oktober 2023].
- [98] Tekever, "AR5," [Online]. Tillgänglig: <https://www.tekever.com/models/ar5/>. [Använd 20 Oktober 2023].
- [99] Honeywell Aerospace, "VersaWave," [Online]. Tillgänglig: <https://aerospace.honeywell.com/us/en/pages/sff-uav-satcom>. [Använd 20 Oktober 2023].
- [100] C4ISRNet, "Musk's Starlink satellites accelerating development of drone warfare," [Online]. Tillgänglig: <https://www.c4isrnet.com/battlefield-tech/space/2023/02/14/musks-starlink-satellites-accelerating-development-of-drone-warfare/>. [Använd 30 Oktober 2023].
- [101] U.S. Department of Energy, "Where the Energy Goes: Electric Cars," [Online]. Tillgänglig: <https://fueleconomy.gov/feg/atv-ev.shtml>. [Använd 20 Oktober 2023].
- [102] Airbus, "Thermal engines vs. electric motors," [Online]. Tillgänglig: <https://www.airbus.com/en/newsroom/stories/2019-07-thermal-engines-vs-electric-motors>. [Använd 20 Oktober 2023].
- [103] Unmanned Systems Technology, "Hybrid Drones, UAV, UAS," [Online]. Tillgänglig: <https://www.unmannedsystemstechnology.com/expo/hybrid-drones/>. [Använd 20 Oktober 2023].
- [104] U.S. Department of Energy, "Fuel Cells," [Online]. Tillgänglig: <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/fuel-cells>. [Använd 20 Oktober 2023].
- [105] Lockheed Martin, "Stalker Unmanned Aerial System," [Online]. Tillgänglig: <https://www.lockheedmartin.com/en-us/products/stalker.html>. [Använd 20 Oktober 2023].
- [106] AeroVironment, "Puma LE," [Online]. Tillgänglig: <https://www.avinc.com/uas/puma-le>. [Använd 20 Oktober 2023].
- [107] J. Nilsson, E. Lallo, "Jämförelse av kommersiellt tillgängliga litium-jonceller," FOI Memo 8063, FOI, 2022.
- [108] S. Möller, T. Melin, H. Ellis, L. Hellgren, H. Hamrell, D. Saleh och A. Melbi, "Fjärrstyrda luftfartyg och köldhånsyn 2022," FOI Memo 8156, FOI, 2022.
- [109] SMHI, "Temperatur," [Online]. Tillgänglig: <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/temperatur>. [Använd 20 Oktober 2023].
- [110] Defence Industry Daily, "RQ-4 Euro Hawk UAV: Death by Certification," [Online]. Tillgänglig: <https://www.defenseindustrydaily.com/euro-hawk-program-cleared-for-takeoff-03051/>. [Använd 20 Oktober 2023].
- [111] Defence Aerospace, "NSPA Supports the Greek Army with the Upgrade of its Tactical Drone Force," [Online]. Tillgänglig: <https://www.defense-aerospace.com/greece-orders-safrans-patroller-drone-becoming-first-export-customer/>. [Använd 20 Oktober 2023].
- [112] Defence Procurement International, "The Coming Drone Swarm," [Online]. Tillgänglig: <https://www.defenceprocurementinternational.com/features/air/drone-swarms>. [Använd 20 Oktober 2023].

Titel/Title
Teknikutveckling UASMemo nummer/Number
FOI Memo 8336

- [113] MIT Technology Review, "The US Navy wants swarms of thousands of small drones," [Online]. Tillgänglig: <https://www.technologyreview.com/2022/10/24/1062039/us-navy-swarms-of-thousands-of-small-drones/>. [Använd 20 Oktober 2023].
- [114] WB Group, "WARMATE loitering munitions," [Online]. Tillgänglig: <https://www.wbgroup.pl/en/produkt/warmate-loitering-munitions/>. [Använd 20 Oktober 2023].
- [115] WB Group, "SWARM System," [Online]. Tillgänglig: <https://www.wbgroup.pl/en/produkt/swarm-system/>. [Använd 20 Oktober 2023].
- [116] J. Rantakokko, K. Bengtsson, J. Nygårds, F. Näsström och R. Woltjer, "Tekniköversikt autonoma och obemannade system - Del 2: Markstriden," FOI-R-4901-SE, FOI, 2020.
- [117] BlueBear, "Many Drones Make Light Work," [Online]. Tillgänglig: <https://bbsr.co.uk/many-drones-make-light-work/>. [Använd 20 Oktober 2023].
- [118] UAVTEK Drone Innovation, [Online]. Tillgänglig: <https://www.uavtek.com/>. [Använd 31 Oktober 2023].
- [119] IAI, "ELI-4030 Drone Guard DG5," [Online]. Tillgänglig: <https://www.iai.co.il/p/eli-4030-drone-guard/>. [Använd 20 Oktober 2023].
- [120] Northrop Grumman, "Counter Unmanned Aerial Systems (C-UAS)," [Online]. Tillgänglig: <https://www.northropgrumman.com/what-we-do/land/counter-unmanned-aerial-systems-c-uas/>. [Använd 20 Oktober 2023].
- [121] Fortem Technologies, "DroneHunter F700," [Online]. Tillgänglig: <https://fortemtech.com/products/dronehunter-f700/>. [Använd 20 Oktober 2023].
- [122] J. Andersen, M. Elfsberg, M. Lyth och N. Stensbäck, "Systemintegration av luftvärnskoncept på markfordon - Metod för värdering av kinetiska och mikrovågsbaserade verkanssystem mot en UAV," FOI-R-5383-SE, FOI, 2022.
- [123] M. Björck, L. Sjökvist, M. Henriksson och M. H. Waltin, "Vapenverkan med laser – sammanfattning av verksamhet och resultat 2020-2022," FOI Memo 8046, FOI, 2022.
- [124] Defense News, "Army readies to deliver first set of Strykers with 50-kilowatt laser weapons," [Online]. Tillgänglig: <https://www.defensenews.com/land/2022/01/13/army-readies-to-deliver-first-set-of-strykers-with-50-kilowatt-laser-weapons/>. [Använd 20 Oktober 2023].
- [125] Lockheed Martin, "MORFIUS," [Online]. Tillgänglig: <https://lockheedmartin.com/en-us/products/MORFIUS.html>. [Använd 22 November 2023].
- [126] Janes, "Ukraine conflict: Ukraine deploying 1,000s of Lithuanian C-UAS jammers," [Online]. Tillgänglig: <https://www.janes.com/defence-news/news-detail/ukraine-conflict-ukraine-deploying-1000s-of-lithuanian-c-uas-jammers>. [Använd 20 Oktober 2023].
- [127] Raytheon, "Coyote," [Online]. Tillgänglig: <https://www.rtx.com/raytheon/what-we-do/integrated-air-and-missile-defense/coyote>. [Använd 20 Oktober 2023].
- [128] Anduril, "Counter-UAS," [Online]. Tillgänglig: <https://www.anduril.com/capability/counter-uas/>. [Använd 20 Oktober 2023].

Titel/Title
Teknikutveckling UAS – omvärldsanalys och trender

Memo nummer/Number
FOI Memo 8336

- [129] Teledyne FLIR, "Centaur," [Online]. Tillgänglig: <https://www.flir.eu/products/centaur/?vertical=ugs&segment=uis>. [Använd 20 Oktober 2023].
- [130] IDF Editorial Team, "Will Robots be the Soldiers of the Future?," [Online]. Tillgänglig: <https://www.idf.il/en/mini-sites/technology-and-innovation/will-robots-be-the-soldiers-of-the-future/>. [Använd 20 Oktober 2023].
- [131] Milrem Robotics, "Milrem Robotics to deliver 14 THeMIS UGVs to Ukraine in cooperation with KMW," [Online]. Tillgänglig: <https://milremrobotics.com/milrem-robotics-to-deliver-14-themis-ugvs-to-ukraine-in-cooperation-with-kmw/>. [Använd 31 Oktober 2023].
- [132] Lincoln Laboratory, Massachusetts Institute of Technology, "UAV/UGV Teaming for Military Operations," [Online]. Tillgänglig: <https://ignite.ll.mit.edu/ignite/node/205>. [Använd 20 Oktober 2023].
- [133] U.S. Army, "Autonomous Vehicles: New Technology Revolutionizes Army's Principles of Sustainment," [Online]. Tillgänglig: https://www.army.mil/article/259621/autonomous_vehicles_new_technology_revolutionizes_armys_principles_of_sustainment. [Använd 20 Oktober 2023].
- [134] U.S. Army, "Army Modernization Strategy: Investing in the future," 2019.
- [135] Popular Mechanics, "The Army Is Forming a Whole Family of Armed Robot Tanks," [Online]. Tillgänglig: <https://www.popularmechanics.com/military/weapons/a34659199/army-family-robotic-tanks/>. [Använd 20 Oktober 2023].
- [136] "Russia's Iranian-Made UAVs: A Technical Profile," RUSI, [Online]. Tillgänglig: <https://rusi.org/explore-our-research/publications/commentary/russias-iranian-made-uavs-technical-profile>. [Använd 30 Oktober 2023].
- [137] "The Drive," [Online]. Tillgänglig: <https://www.thedrive.com/the-war-zone/29789/spear-mini-cruise-missile-getting-an-electronic-warfare-variant-to-swarm-with-is-a-huge-deal>. [Använd 1 December 2023].
- [138] J. Rantakokko, J. Appelgren, K. Bengtsson, M. Hagström, O. Jansson, K. Kraft, F. Näsström, F. Kullander, J. Nygårds, M. Pettersson, J. Rydell och R. Woltjer, "Gemensamma teknikbehov inom obemannade och autonoma system - Slutrapport," FOI-R-5096-SE, FOI, 2021.
- [139] S. Björklund, "En flygande AESA-radar för upptäckt och bekämpning av sjömålsrobotar - Version A," FOI-D-1137-SE, FOI, 2022.
- [140] Milrem Robotics, "The THeMIS UGV," [Online]. Tillgänglig: <https://milremrobotics.com/defence/>. [Använd 20 Oktober 2023].
- [141] J. Allvar, F. Näsström, "Spaning med EO/IR-sensorer i marin miljö med RPAS," FOI-R-3964-SE, FOI, 2014.
- [142] S. Cottle, M. Hjelm, "Sensor Systems for Counter – Unmanned Airborne Systems," C3IOP Report 214, FMV, 2021.