



Självständigt arbete i militärteknik (15 hp)

Författare	Förband	Program / kurs
Kn Fredrik Green	HKV	1MT019
Handledare	Kurschef / seminarieledare	
Lars Löfgren	Prof. Åke Sivertun	
Examinator	Antal ord	
Prof. Åke Sivertun	16 569	
Counter Unmanned Aerial Systems, militär nytta med tekniska system för bekämpning av UAV		
<u>Sammanfattning:</u>		
<p>Counter Unmanned Aerial Systems (CUAS) är namnet på förmågan att bekämpa UAV. I Försvarsmakten heter förmågan Anti-UAS. Den snabba utvecklingen av kommersiella UAV medför ökade hot mot Försvarsmaktens infrastrukturer och verksamheter. För att bekämpa UAV med god effekt krävs sammansatta tekniska system med radar och sensorer för att upptäcka och olika verkanssystem för att bekämpa UAV. Då CUAS förmågan inte är fullt implementerad i Försvarsmakten saknas tydlig kravställning för tekniska system för CUAS och dess förmåga för bekämpning. I detta arbete jämförs AUDES och Xpeller, två liknande tekniska system för CUAS vid bekämpning av kommersiell UAV i en svensk fredstida kontext. Den kvalitativa undersökningen presenteras med en bekämpningsmodell med för studien framställda kriterier för en tolkande värdering av systemens militära effektivitet inom ett koncept för militär nytta. Resultatet påvisar att båda systemen bidrar till militär effektivitet avseende bekämpning av kommersiella UAV. Xpeller har övertag i sensorkapaciteter för upptäckt vilket gör att systemet uppvisar fördelar i studiens scenario. Resultatet indikerar även stora kostnadsbesparingar avseende personal vid användning av tekniska system för CUAS vid skydd av skyddsobjekt.</p>		
<u>Nyckelord:</u> CUAS, Anti-UAS, RPAS, UAS, UAV, Drönare, Radar, Sensor, Skyddsobjekt, Militär nytta, Hard-kill, Soft-kill.		



Author	Unit	Educational / course
Cpt. Fredrik Green	HKV	1MT019
Supervisor	Head of course	
Lars Löfgren	Prof. Åke Sivertun	
Examiner	Number of words	
Prof. Åke Sivertun	16 569	
<p>Counter Unmanned Aerial Systems, military utility with technical systems defeating small UAV</p>		
<p><u>Abstract:</u></p> <p>Counter Unmanned Aerial Systems (CUAS) is the UAV defeating capability, named Anti-UAS in the Swedish defense organization. It compresses around the rapid UAV development and proliferation posing threats to military activities and installations. Defeating hostile UAV requires coherent and effective sensors and radar for detection interacting with various effectors for UAV engagement. Due to an absent CUAS capability within the Swedish defense organization adequate requirements for defensive CUAS systems delay. In this study two similar CUAS system, the AUDS and the Xpeller, are compared while defeating commercial UAV in a peacetime context. In this qualitative examination, a kill chain forms the presentation providing a chronology and serial structure for the following analysis. An adapted theoretical approach seeking military effectivity within collected data. A concept of military utility constitutes the theoretical base for the analysis, effected aligned with assembled criterias. The results indicates military effectivity with both CUAS systems defeating commercial UAV. The Xpeller gain advantage due to improved sensor detection capacities. Furthermore, the results indicate reduced personal costs with the integrated use of technical systems for CUAS.</p>		
<p><u>Key words:</u> CUAS, Anti-UAS, RPAS, UAS, UAV, Drone, Radar, Sensor, Object of protection, Military utility, Hard-kill, Soft-kill.</p>		

Innehåll

Sammandrag/Abstract

1	Inledning	1
2	Problemformulering	4
2.1	Syfte.....	6
2.2	Frågeställning	6
3	Teorianknytning	7
3.1	Tidigare forskning	9
3.2	Operationalisering	11
4	Metod	14
4.1	Metodbeskrivning.....	14
4.2	Urval	15
4.3	Intervjuer	16
4.4	Metoddiskussion.....	17
5	Undersökningen	18
5.1	CUAS.....	18
5.1.1	System i fokus 1, AUDES® Anti-UAV Defence System	20
5.1.2	System i fokus 2, Xpeller™ Counter UAV System.....	21
5.2	Situationsvariabler	22
5.2.1	UAV	22
5.2.2	Scenario	24
5.3	Bekämpning.....	31
6	Analys	42
7	Resultat militär effektivitet	46
7.1	Svar på frågeställning	48
8	Diskussion	48
8.1	Fortsatta studier	53
	Litteraturförteckning	55
	Bilaga 1	1

Figurer – Formler - Tabeller

Figur 1 - Förenklad utvecklingsstrategi över problemformulering för CUAS inom Försvarsmakten. Den blå streckade linjen visar studiens fokuserade område, Källa: F. Green.	6
Figur 2 - Bekämpningskedja enligt Robert Ball.....	9
Figur 3 - Generell struktur för studiens operationalisering.....	13
Figur 4 - Elektromagnetiska våglängder.....	19
Bild 1 - Principiell systemdesign CUAS.....	18
Bild 2 - DJI Phantom 3.....	24
Bild 3 - Kartbild 3D, Livgardet. Källa F. Green.....	25
Bild 4 - Kartbild 3D, Högkvarteret. Källa F. Green.....	28
Tabell 1 - Teknisk specifikation UAS, DJI Phantom 3.....	24
Tabell 2 - Sammanfattning kriterier ur upptäcka med koppling till militär effektivitet.....	33
Tabell 3 - Sammanfattning kriterier ur lokalisera med koppling till militär effektivitet.....	35
Tabell 4 - Sammanfattning kriterier ur klassificera och identifiera med koppling till militär effektivitet.....	37
Tabell 5 - Sammanfattning kriterier ur besluta, leverera och verkan med koppling till militär effektivitet.....	41
Tabell 6 - Sammanfattning kriterier ur utvärdera med koppling till militär effektivitet.....	42
Tabell 7 - Kriterier kopplade till indikator Måluppfyllnad.....	42
Tabell 8 - Kriterier kopplade till indikator Tid.....	44
Tabell 9 - Kriterier kopplade till indikator Risk.....	45
Tabell 10 - Kriterier kopplade till indikator Kostnad.....	45
Tabell 11 - Sammanställning särskiljande kriterier.....	47
Tabell 12 - Klassificering UAS ur TSFS 2017:110 (Transportstyrelsen, 2017).....	1
Tabell 13 - Typer av RF signaler för styrning och transmission UAS.....	2
Tabell 14 - CUAS Sensortyper för upptäckt av UAS.	3
Tabell 15 - CUAS verkansformer med relaterade påverkansfaktorer (NIAG, 2017).....	4
Tabell 16 - Tekniska specifikationer för system i fokus.....	5
Tabell 17 - Sammanställning kriterier kopplade till militär effektivitet.....	6
Tabell 18 - Sammanställning intervjuer och intervjupersoner.....	7

1 Inledning

Under natten, den 6 januari 2018, flyger tretton improviserade obemannade flygande farkoster från en avlägsen del i Syrien. Målet för dessa är två ryska baser, flygbasen i Humaymim och marinbasen i Tartus. De obemannade flygande farkosterna är konstruerade av olika typer av vanliga plast och metallföremål och drivs av enkla förbränningsmotorer som liknar de som används i gräsklippare eller enklare trädgårdsmaskiner. Tio av dessa flyger mot den ryska flygbasen men nedkämpas eller hindras av det ryska luftvärnssystemet Pantsir-S. Övriga tre hindras av elektronisk störning och antingen pacificeras och landar innan de nått sina mål eller förstörs. Den ryska utredningen som följer efter attacken visar på att samtliga farkoster var bärare av högexplosiva laster som hade kunnat orsaka stor skada om de lyckats med sina uppdrag (Binnie, 2018).

Attacken ovan visar på hur kunskap om obemannade flygande farkoster används med terrormotiv i allt större utsträckning runt om i världen. Dr Robert Bunker redovisar i en rapport en sammanställning över totalt tjugofyra genomförda obemannade flygningar med terrormotiv mellan 1994 och 2015, vilket ger en något tydligare bild av en annars grumlig och svåröverskådlig omfattning av utbredningen (Bunker, 2015: p. 13).

Attacken utgör även ett tydligt exempel på att det föreligger ett stort behov av att reducera kostnader vid verkan mot obemannade flygande farkoster. Att ett luftvärnssystem nedkämpar obemannade flygande farkoster ger förvisso verkanseffekt men inte kostnadseffektiv verkan. Under september 2017 rapporterades att den israeliska försvarsmakten (IDF) nedkämpat obemannade flygande farkoster med det amerikanska luftvärnssystemet Patriot vid Golanhöjden (Israeli Defense Forces, 2017). En obemannad flygande farkost värd ca 2000 kr nedkämpades av en luftvärnsrobot av ett värde omkring 20 miljoner kr (Fandom, 2009).

Även exempel med politiska motiv mot högprofilerade mål har ökat under de gångna åren. 2013 flög en liten drönare över och kraschlandade ett fåtal meter ifrån Tysklands förbundskansler Angela Merkel under ett kampanjmöte i Dresden (Gallagher, 2013), 2015 observeras en UAV kraschlanda på gräsmattan framför vita huset i Washington (Schmidt, 2015) och samma år påträffas en UAV på taket till den japanska premiärministern Shinzo Abes kontorsbyggnad (Sekiguchi, 2015). Den senare innehöll även spår av radioaktivt material vid påträffandet.

Händelserna ovan belyser utöver ett ökat modus även hur teknikutvecklingen avseende obemannade flygande farkoster bidrar till möjligheter för aktörer att överbrygga säkerhetsstrukturer med de uppenbara målen att påverka olika skyddsvärda element (Choi and Garard, 2018).

Oavsett om obemannade flygande farkoster används av icke-statliga aktörer för terrorattacker i freds- eller konfliktsituationer (Franke, 2016). Eller om de används av stater eller individer med politiska motiv i storstäder mot högvärdiga mål, föreligger ett behov för rättsstater att förfoga över förmågan att motverka dessa (Drwiega and Withington, 2016). Denna förmåga kallas CUAS (Counter Unmanned Aerial Systems) och innehåller allt oftare tekniska artefakter i system för ökad förmåga att upptäcka, motverka och bekämpa obemannade flygande farkoster (Choi and Garard, 2018: p. 71). Den svenska Försvarmakten kallar detta för ”Anti-UAS” och beslutade så sent som januari 2018 att påbörja utveckling av förmågan (Försvarmakten, 2018a).

I de senaste utgåvorna av olika styrdokument inom Försvarmakten, exempelvis *Arméreglemente Taktik*, *Arméns utvecklingsplan*, *Systemutvecklingsplan Luftvärn* samt *Försvarmaktens perspektivstudie 2016-2018*, framgår att CUAS anges sparsamt. Vid angivelse beskrivs oftast CUAS som ett område för framtidsstudier men att sådana studier ej påbörjats ännu, dessutom framgår inte heller var i organisationen förmågan ska förvaltas (Försvarmakten, 2013, 2014a, 2017a, 2018b, 2018c). Dokumentens upprättande enheter vittnar om att Försvarmakten driver utvecklingen av CUAS förmågan via armén och luftvärnet vilket har rimliga motiv. Ett sådant är för att uppnå synergier i nyttjandet av sensorer, ett annat är för att konsolidera erfarenheter att bekämpa luftmål från marken. Det bringas dock ingen klarhet i övriga eventuella intressenter eller hur förmågan ämnas att omsättas i organisationen.

Således framgår det inte vilken del av Försvarmakten som ska förvalta och utveckla förmågan att motverka det ökade hotet av obemannade flygande farkoster vilket är en del av CUAS problemområde.

I fredstid är Försvarmakten nästintill uteslutande organiserad och grupperad vid fysiska objekt. Det lågintensiva fredstida läget och det öppna och tillgängliga civila samhället med Försvarmakten som en integrerad del medför att framförallt viljestyrda hot mot Försvarmakten kan vara svåra att upptäcka och möta. Dagens obemannade flygande farkoster utgör precis ett sådant växande hot.

En utmaning som Försvarsmakten har att hantera är att befintliga nationella säkerhetsstrukturer för fysiskt skydd av skyddsobjekt i huvudsak är dimensionerade mot hot från markmiljön (Försvarsmakten, 2015). Försvarsmaktens principer för att genomföra bevaknings- och skydds-uppgifter utgår från beprövade erfarenheter om att hot realiseras antingen av individer på marken eller av flygande artefakter, såsom flygplan eller missiler högt upp i luftvolymen (Försvarsmakten, 2013).

Försvarsmakten möter fortfarande hoten från obemannade flygande farkoster i Sverige i fredstid genom att använda soldater med skydds- och bevakningsuppgifter (Försvarsmakten, 2015). Förvisso utförs skydds- och bevakningsuppgifter med variation avseende innebörd, ambitioner och mål men fortfarande till en kostnad från kärnverksamheten, då huvudsakligen egna personalresurser avdelas för att möjliggöra dessa uppgifter. Att skydda verksamheter är en svår uppgift vilket oftast kräver stora resurser (Försvarsmakten, 2013). Likaså föreligger stora svårigheter för skydds- och bevakningspersonal att upptäcka obemannade flygande farkoster då dessa ofta är små, snabba, förhållandevis rörliga och tysta. Ytterligare utmaningar uppstår då en obemannad flygande farkost ska nedkämpas. Försvarsmaktens personal kan skjuta ner dessa med eldhandvapen vilket ställer stora krav på juridiska mandat, precision och riskhantering. Detta är därför en komplex uppgift att utföra (Palmer and Geis II, 2017: p. 105).

Vidare är skyddslagen den lag som reglerar hur Försvarsmaktens verksamheter och det civila samhället särskiljs med skydds- och säkerhetsmotiv (Riksdagen, 2010). Lagen reglerar även Försvarsmaktens rättigheter och skyldigheter att skydda dess olika verksamheter. En brist inom denna lag är avsaknaden av förhållning till obemannade flygande farkoster och diskussioner avseende luftdomänen omkring skyddsobjekt. Dessa avgörande juridiska segment inom lagen är ännu inte behandlade vilket medför ett oreglerat juridiskt område (Riksdagen, 2017). Försvarsmaktens juridiska möjligheter att motverka hot från obemannade flygande farkoster grundas således på inaktuell kunskap vilket även relateras till CUAS förmågans problemområde.

Förmågan CUAS består följaktligen av behovet av synergi mellan flera olika verksamhetsområden, vilka sammantaget skapar förutsättningar för att möta det hot som obemannade flygande farkoster utgör. CUAS kompletteras allt oftare av tekniska system vilket med fördel utgör stöd för att lösa bevaknings- och skyddsuppgifter (Palmer and Geis II, 2017). System som består av sen-

sorer med förmågor att utföra övervakning över stora områden och med kapaciteter som överträffar de mänskliga förmågorna. Systemen kan även bestå av olika typer av verkansformer för bekämpning vilket bidrar till fler möjligheter att uppnå effekt.

Dessa system utvecklas av endera olika statliga militära organisationer eller kommersiella företag. De kommersiellt utvecklade systemen riktas vanligtvis till statliga organisationer och de senaste årens utveckling inriktas till del av framförallt den amerikanska försvarsmakten på olika sätt. Detta har visat sig vara en framkomlig väg för att nå framgång med forskning och utveckling av tekniska system för CUAS (Whittle, 2015; Palmer and Geis II, 2017). Försvarsmakten saknar dock denna typ av sammansatta tekniska system för CUAS till stöd för bevaknings- och skydds-uppgifter.

I dagsläget finns kommersiellt tillgängliga system på marknaden vilka är testade och prövade i både freds- och konfliktmiljöer. Ett av dessa, AUDES® Anti-UAV Defence System är ett tekniskt system för CUAS. Systemet är utvecklat av de tre brittiska företagen Chess Dynamics, Blighter Surveillance Systems och Enterprise Control Systems Ltd (Chess Dynamics, 2017). Ett annat, Xpeller™ Counter UAV System är ett tekniskt system för CUAS. Systemet är utvecklat av det tyska företaget Hensoldt som är ett nyskapat företag med ursprung i Airbus defence electronics activities och Airbus Group (Hensoldt, 2018a).

Båda dessa system är tillgängliga och beprövade för att motverka små obemannade flygande farkoster vilket skulle kunna bidra med militär nytta till Försvarsmaktens förmåga för CUAS.

2 Problemformulering

Försvarsmaktens verksamheter utsätts för utökad påverkan av obemannade flygande farkoster med, i stor utsträckning, oklara och/eller okända motiv (Försvarsmakten, 2018a). Inte sällan helt utan Försvarsmaktens vetskap eftersom tekniska system för indikering, identifiering och klassificering av flygningar med obemannade flygande farkoster ännu inte används inom Försvarsmakten. Sammantaget utgör detta ett tomrum inom vilket illvilliga aktörer kan utnyttja obemannade flygande farkoster för att inhämta information om eller påverka Försvarsmaktens skyddsvärden (Försvarsmakten, 2017b).

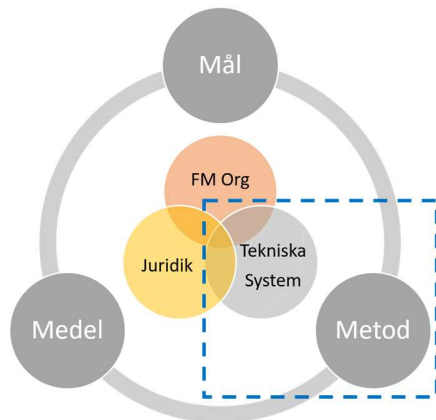
För problemformuleringen framträder tre delområden inom CUAS för Försvarmakten. Det första är Försvarmaktens uppfattning om var i organisationen CUAS förmågan ska förvaltas och användas (Försvarmakten, 2018a). Det andra är avsaknaden på välavvägda juridiska möjligheter till att verka mot små obemannade flygande farkoster i Sverige i fredstid, där skyddslagen (Riksdagen, 2010) inte täcker hot från obemannade flygande farkoster (Riksdagen, 2017). Det tredje, vilket utgör arbetets huvudsakliga problemområde för undersökning, är bristen på tekniska system inom Försvarmakten för att kunna avvärja hot från obemannade flygande farkoster som skydd för viktiga skyddsvärden.

Försvarmakten behöver en strategi för utveckling av CUAS förmågan. En utvecklingsstrategi som omfattar problemets ingående delar och syftar till att utveckla optimerad förmåga att motverka hot från obemannade flygande farkoster.

I operativ doktrin framgår att Försvarmakten definierar ”en strategi” som: *”Plan eller förhållningssätt i form av mål, medel och metoder för hur tillgängliga resurser bör utvecklas, tillföras eller användas för att uppnå överordnade syften”* (Försvarmakten, 2014b: p. 13).

Strategi begreppet ska för studiens problemformulering ses som allmänt och process relaterat vilket avhåller från kopplingar till politik, militärstrategi eller militära nivåer (Försvarmakten, 2016: p. 13).

I figur 1 visualiseras de tre utvecklingsområden för CUAS kombinerat med en förmågas grundförutsättningar mål, medel och metod vilket framhäver problemets delområden med relation till varandra. Denna figur är en förenklad modell vilket utgör grunden för en abstrakt utvecklingsstrategi för CUAS förmågan i Försvarmakten. I denna studie avhandlas tekniska system för CUAS vilket utgör den metodiska delen av denna utvecklingsstrategi för CUAS förmågan enligt figur 1.



Figur 1 - Förenklad utvecklingsstrategi över problemformulering för CUAS inom Försvarmakten. Den blå streckade linjen visar studiens fokuserade område, Källa: F. Green.

Av beskrivningen ovan framgår att det saknas organisatoriska, juridiska och tekniska förutsättningar för Försvarmaktens att kunna bekämpa en mindre antagonistisk obemannad flygande farkost. Med ökade frekvenser av obemannade flygande hot samt bristfällig befintlig förmåga att motverka dessa är det av intresse att undersöka med vilken militär effektivitet tekniska system för CUAS kan utföra bekämpning av obemannade flygande farkoster i fredstid.

2.1 Syfte

Studien syftar till att utifrån Andersson et al. (2015) koncept för militär nytta jämföra AUDS och Xpeller genomföra bekämpning av små obemannade flygande farkoster en skyddssituation vid Försvarmaktens skyddsobjekt (Andersson et al., 2015). Syftet är att påvisa med vilken militär effektivitet de jämförda systemen genomför bekämpning samt är att fastställa vilket, om något, av de två jämförda systemen som levererar störst militär effektivitet givet omständigheterna i studien.

2.2 Frågeställning

Vilket tekniskt system för bekämpning av obemannade flygande farkoster, AUDS eller Xpeller, uppfyller störst potentiell militär effektivitet vid skydd av Försvarmaktens militära skyddsobjekt?

3 Teoranknytning

Studiens övergripande teoretiska ram utgörs av den militärtekniska teorin om ”*Teknikens inverkan på officersprofessionen följer samhällets utveckling och förändring.*” (Axberg et al., 2013: p. 40). Teoribildningen är vald med utgångspunkt i den omfattande tekniska utveckling som omgärdar obemannade flygande farkoster och de tekniska systemen för att motverka dessa inom CUAS. Utvecklingen inom detta område kan beskrivas som en pågående utveckling och motutveckling av teknik och system för att å ena sidan kunna utnyttja obemannade flygande farkoster i syfte att påverka en motståndare, men å andra sida utveckla teknik och system för att motverka och skydda sig från påverkan med obemannade flygande farkoster. Studiens koppling till teorin ta sin utgångspunkt i att teknikutvecklingens hastighet och omfattning förutsätter utvecklad kunskap för att förstå vilken påverkan den medför samt hur önskade effekter kan uppnås och oönskade effekter kan motverkas.

Koncept för militär nytta

Studien värderar militär nytta med tekniska system för CUAS genom att tillämpa Andersson et al. (2015) koncept för militär nytta i undersökningen. Konceptet är framtaget för att strukturerat och allsidigt stödja militär beslutsfattning vid tillförsel av militär teknik och system. Den militära nyttan med teknik enligt Sivertun utgörs av förutsättningar som bidrar till måluppfyllnad med reducerad kostnad där kostnad utöver ekonomi kan vara sparade liv (Sivertun, 2012: p. 108). Axberg et al. beskriver nyttan på liknande sätt men lägger till faktorn reducerade risker (Axberg et al., 2013: p. 16). Andersson et al. (2015) konsoliderar den militära nyttan med det tekniska systemet i fokus (Element of Interest, EoI) bidragande relation till ett och inom ett förmågesystem (Andersson et al., 2015: p. 4).

De militära utmaningarna med att analysera och bedöma militär nytta med tekniska artefakter och system har sitt ursprung från problemlösning, d.v.s. att lösa militärtekniska problem optimalt (Axberg et al., 2013: p. 16). Andersson et al. (2015) koncept för att analysera militär nytta utgår från de bakomliggande dimensioner som formar militärteknisk problemlösning genom att omformulera problem till förmåga för att på ett allomfattande och fördelaktigt sätt värdera teknik för militärt bruk (Andersson et al., 2015: p. 3).

Konceptet för militär nytta har flera fördelar. Strukturen för vilket konceptet är ämnat att tillämpas med täcker de uppenbara områden ett system bör värderas mot vilket stärker konceptet. Konceptet är framställt med en dynamisk nivå för värderingskriterier vilket ger modellens nyttjare friheten att tillföra värderingsområden som passar olika situationer och användningsområden. Konceptet är inte heller framtaget för specifika metoder eller designer. Tvärtom menar Andersson et al. (2015) att konceptet är framtaget för att kunna stödja alla typer av studier och undersökningar som syftar till att pröva den militära nyttan med teknik och system (Andersson et al., 2015: p. 19).

Den militära nyttans tre dimensioner; militär effektivitet, militär lämplighet och ekonomisk överkomlighet, utgör tillsammans delfaktorer för begreppet militär nytta. Var och en av dessa tre dimensioner består av ett antal indikatorer som Andersson et al. (2015) menar utgör den första nivån av mätbarhet och värdering (Andersson et al., 2015: p. 13). Indikatorerna är ämnade att tillämpas som en generisk helhet för respektive dimension och möjliggör mätbarhet av empiri efter operationalisering av de teoretiska element som konceptet formulerar. För att genomföra detta förutsätts en definition av tre situationsspecifika variabler. De tre situationsspecifika variabler Andersson et al. (2015) beskriver för att möjliggöra värdering av tekniska system består i denna undersökning av AUDES och Xpeller (System i fokus), Försvarmaktens insatsorganisation (Militär aktör) och Sverige i fredstid (specificerad kontext) (Andersson et al., 2015: p. 6).

Bekämpningsmodell

En modell för bekämpning används som teoribildning för att likställa utvalda tekniska system och eller komponenter för CUAS utifrån momenten: Upptäcka, lokalisera, klassificera, identifiera, besluta, leverera, verkan, utvärdera (Ball, 2003: p. 261). Balls bekämpningsmodell är vald av två skäl. Det första för att det efter genomförd litteraturstudie framkom ett tydligt behov av en sekventiell struktur för att återge bekämpning. Inte bara för att beskriva vad bekämpningen innebär utan också hur den genomförs. Bekämpningsmodeller återfinns i stora delar av litteraturen som avhandlar CUAS vilket förstärker förståelsen för nyttan med en modell. Balls modell med de åtta stegen är en utav de modeller med flest antal steg vilket bidrar till uttömmande struktur och förståelse för hur de jämförda systemens sensorer fungerar och överlappar varandra. Det andra skälet till val av Balls modell är helt enkelt för att den inte utgör en använd modell i andra CUAS sammanhang vilka kan vara begränsade av sekretess.

Bekämpningskedjan har sitt ursprung i luftvärnsstriden där behov av denna typ av modell vuxit fram för att kravställa och mäta olika effekter vid bekämpning av luftmål vilket passar studien. Framförallt då CUAS förhåller sig till likvärdiga principer för verkan mot luftmål. Bekämpnings-



Figur 2 - Bekämpningskedja enligt Robert Ball

männsliga faktorn i modellens steg för beslutsfattning kan således utgöra den yttersta begränsningen för tekniken eftersom systemens tekniska kapaciteter och ingående sensorer förmågor oftast överträffar den mänskliga förmågan till att utföra samma åtgärder. Full autonomitet av ett tekniskt system för CUAS kräver således både höga grader av teknisk, juridisk och etisk mognad men även acceptans av statsmakten och samhället. Det är dock motsägelsefullt att föreställa sig att ett tekniskt system bekämpar obemannade flygande farkoster med full autonomitet, i fredstid i Sverige, eftersom det i dagsläget pågår diskussioner om autonomi av verkan ur juridiska (Statens offentliga utredningar, 2018: p. 81) samt etiska perspektiv (Johansson, 2017).

3.1 Tidigare forskning

Avseende tidigare vetenskaplig forskning inom ämnet CUAS har författaren trots idogt sökande endast återfunnit ett fåtal vetenskapliga artiklar. Vid fokusering omkring tekniska system för CUAS har författaren inte återfunnit några vetenskapliga artiklar att relatera denna studie till.

kedjan tillför också en logisk och sekventiell struktur till studien vilket ger tydlighet vid senare framställning av kriterier.

Modellen är en momentvis stegrande kedja av åtgärder som förklarar bekämpning. Varje moment ska uppfyllas för att uppnå bekämpning, dock utan definierad tidsbundenhet. Momenten kan utföras av olika sensorer och olika grader av automatik och/eller autonomitet. Eftersom bekämpningskedjan kräver uppfyllnad av samtliga steg kan tidsåtgången vara en begränsande faktor beroende på systemens kapaciteter. Ett tydligt exempel på detta är graden av systemens interaktion mellan människa och teknik. Den

Detta bör nämnas med medvetenheten om att det inte betyder att det inte finns upprättade vetenskapliga verk. Författaren har varit i kontakt med ett antal av de största kompetensbärarna inom CUAS med kopplingar till Forsvarsmakten. Huvuddelen av dessa har bekräftat bristen på tillgänglig aktuell vetenskaplig forskning. En övergripande anledning till avsaknaden anses vara sekretess vilket relateras till uppfattningar om att oönskad spridning av kunskaper riskerar att föda hotutvecklingen (Broberg, 2018; Intervjuperson 2, 2018; Intervjuperson 3, 2018; Intervjuperson 4, 2018).

Den tillgängliga litteratur inom ämnet som anses vara relevant och aktuell är huvudsakligen av amerikanskt ursprung. Delar av denna litteratur är antingen upprättad av NATO eller upprättad av externa organisationer med relation till och beställd av NATO. Även civila amerikanska myndigheter framträder i relation till tillgänglig litteratur inom ämnet. Denna litteratur innehåller kravställningar från amerikanska försvarsmakten eller amerikanska myndigheter vilket medför vissa skillnader i hur CUAS implementeras och förvaltas i organisationerna.

Studiegrupp 200 NIAG (NATO Industrial Advisory Group) för NATO, med ca 70 deltagare, har under de senaste två åren fokuserat på kunskapsuppbyggnad avseende CUAS som presenterats i en slutrapport. Studiegruppens resultat påvisar att den hastiga teknikutvecklingen inom området, både avseende medel och motmedel, ger militära organisationer stora utmaningar att hantera. Studiegruppen menar att allsidiga och heltäckande tekniska system för CUAS är inte tillgängliga i dagsläget. Det krävs mer än bara teknik för att möta detta växande hot. Organisatoriska strukturer på alla nivåer behöver tillföras kunskap om CUAS och tekniska artefakter för CUAS bör hanteras modulärt och med situationsanpassning i förhållande till måluppfyllnad (NIAG, 2017).

Ett antal tekniska system för CUAS finns kommersiellt framtagna i dagsläget men preciserade resultat avseende systemens förmågor och kapaciteter är svåra att få tillgång till. Informationerna är ofta sekretessbelagda av konkurrensskäl eller hemligstämplade med kopplingar till försvarsindustrin eller stater militära förmågor. Information avseende delsystem, sensorer och komponenter som bidrar till CUAS är tillgängliga i större omfattning och har således använts för studien.

Forskning genomförs på FOI avseende delsystem och komponenter som kan nyttjas inom CUAS. Ett exempel är FOI rapport om multisensorsystem för övervakning som visar på hur ett tekniskt system kan urskilja avvikelser som hot i komplexa miljöer men också utföra målföljning av små

flygande mål vilket bidrar till situationsuppfattning och till verkan inom CUAS (Rydell *et al.*, 2017).

Ett annat exempel är den forskning som FOI bedriver inom forsknings- och teknikutvecklingsprojektet (FoT), radar för övervakning (Johansson *et al.*, 2015). I rapporten redovisas positiva tester avseende radarmätningar mot skydda obemannade flygande farkoster. Farkosten belyses av radarn via spridning i andra objekt d.v.s. väggreflekterande radarvågor (Nilsson *et al.*, 2017). Resultaten indikerar möjligheter till att upptäcka, följa och klassificera farkoster som är skydda vilket kan bidra till CUAS förmåga på nära avstånd i bebyggelse.

Det har även skrivits uppsatser om olika delsystem eller delkomponenter som kan ingå i ett tekniskt system för CUAS. Ett exempel är (Eriksson, 2016) som i sin c-uppsats undersöker om högeffektpulsad mikrovågsstrålning kan uppnå verkan mot kommersiella obemannade flygande farkoster. Denna undersökning är intressant eftersom den behandlar verkan med en verkanstyp som är tämligen svårbemästrad i detta sammanhang. Ett annat exempel är (Nilsson, 2017) som i sin c-uppsats undersöker huruvida att blända kommersiella obemannade flygande farkoster med laser kan utgöra tillräcklig verkan. Resultaten i dessa uppsatser indikerar att dessa verkansformer ännu inte uppfyller krav på verkan m.a.p otillräckliga räckvidder och oavsiktliga risker för tredje part, vilket även NIAG bekräftar i sin slutrapport (NIAG, 2017).

3.2 Operationalisering

Studien genomförs som en komparativ analys mellan två tekniska system för CUAS. Som beskrivits ovan är CUAS en relativt ny och oetablerad verksamhet för Försvarmakten varpå tillräckligt stöd avseende kravställning för studiens värdering och analys inte återfunnits i Försvarmaktens styrdokument. Avsaknaden av beprövad erfarenhet och kravställningar från Försvarmakten har istället föranlett framställning av kriterier för värdering i studien.

En kvantitativ förhållning till framställning av kriterier valdes med det huvudsakliga motivet att det passar valda teorier med relationer till det militärtekniska ämnet samt att de undersökta objekten är av logiskt mätbar karaktär.

Författaren har med hänsyn till framställningen av kriterier beaktat ytvaliditeten framförallt genom att kriterierna är relaterade till bekämpningen. Kriterierna utgörs av egenskaper i de tekniska

systemen vilket reflekterar kriteriets koppling till egenskapens kapacitetsvariationer. Samt även då det slutliga beståndet av kriterier även representerar de tekniska systemens nödvändiga egenskaper för att utföra bekämpning i studiens kontext vilket framkommit under intervjuer med experter inom delområden för CUAS (Bryman, 2011: p. 163).

Kriterierna framställs ur bekämpningsmodellen. Modellens åtta moment utgör var och en ett tema. Då modellen har en sekventiell struktur som beskriver hur de tekniska systemen genomför bekämpning tillför den studien en logisk ledstång vid återgivningen som förtydligar framställningen av kriterier. Målobjekt och situationsvariabler formar de krav som valts för studien.

De tekniska systemens egenskaper med förmågor som har direkt och/eller indirekt relation till indikatorerna *måluppfyllnad*, *tid*, *kostnad* och *risk* inom dimensionen militär effektivitet enligt Andersson et al. (2015) under bekämpningen eftersöks i empirin. Kriterier utgörs följaktligen av utvalda egenskaper hos de tekniska systemen när bekämpning genomförs.

För studiens analys används begreppet egenskap istället för funktion eller sensor eftersom de tekniska systemens egenskaper kan bestå av variationer av funktioner, sensorer, processer och/eller automatiska eller manuella åtgärder.

Val av kriterier utförs tolkande m.a.p förekomst och frekvens i litteratur och vid intervjuer. Scenariot med de två typsituationerna fungerar inriktande och avgränsande vid val av kriteriebestånd.

Indikatorn *måluppfyllnad* utgör värderingsområde kopplat till den militära uppgiften. Inom området värderas kriterier avseende de tekniska systemens förmågor till att uppnå rätt effekt för bekämpning inom CUAS. Hur de tekniska systemen tillämpar bekämpningskedjan och följaktligen uppnår verkan mot obemannade flygande farkoster.

Indikatorn *tid* utgör värderingsområde inom vilket kriterier med koppling till de tekniska systemens förmågor att verka inom tillräcklig tid värderas. Den mänskliga interaktionen med de tekniska systemen i bekämpningssituationen värderas inom värderingsområdet.

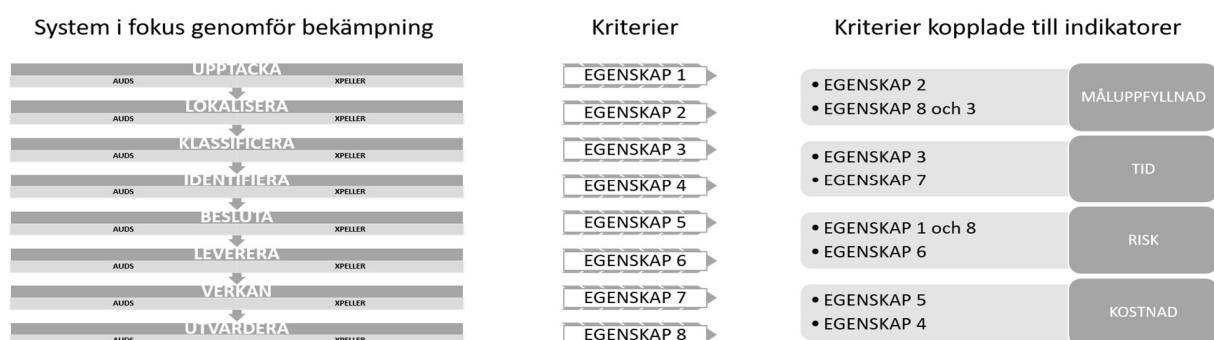
Indikatorn *kostnad* utgör värderingsområde för värdering av kriterier med koppling de tekniska systemens kostnader avseende den militära uppgiftens utförande. Personella och organisatoriska kostnader som krävs för att uppnå effekt värderas inom värderingsområdet.

Indikatorn *risk* utgör värderingsområde för värdering av kriterier med koppling till hur de tekniska systemens olika verkans principer medför oavsiktlig påverkan på egen eller tredje part.

Mätbarhet uppnås av hur väl de identifierade och utvalda kriterierna utförs av de tekniska systemen. Gradering av värden styrs av frekvens av repetitioner avseende egenskaper, egenskapers framställning i empirin, avgörande påverkan på indikator samt för uppfyllt resultat. Dessa värderas tolkande i den tematiska analysen (Bryman, 2011: p. 551).

En avgörande faktor för värdering av kriteriernas uppfyllnadsgrad är huruvida de är tidsbesparande varför denna faktor används för samtliga kriterier. Tidsfaktorns övergripande betydelse är relaterad till bekämpningsmodellens kronologi vilket generellt innebär att tidskonsumerande egenskaper kan leda till misslyckad bekämpning.

Ekonomiska egenskaper faller inom indikatorn kostnad för värdering. För undersökningen har informationen avseende de tekniska systemens kostnader räknat i pengar inte varit tillgänglig varför endast värdering av systemens personella-, drifts- och kontinuitetskostnader utförts.



Figur 3 - Generell struktur för studiens operationalisering

Den militära effektiviteten inom begreppet militär nytta består enligt Andersson et al. (2015) av fyra indikatorer (Andersson et al., 2015: p. 14). Indikatorerna är: måluppfyllnad, kostnad, tid och risk. Indikatorerna är inte exklusiva i den meningen att de är kravställda att tillämpas vid varje undersökning men de utgör ett sammanställt bestånd, en analyserad helhet över förhållanden och betingelser som logiskt och rationellt utgör värderingsgrunder tillsammans med situationsvariablerna inom dimensionen militär effektivitet. I denna undersökning kopplas framställda kriterier till samtliga fyra indikatorer.

4 Metod

4.1 Metodbeskrivning

Data inhämtades via kommersiella leverantörer kompletterat med textanalyser av öppen litteratur samt intervjuer av personer med expertkompetens. Kontakt har även genomförts med utpekade personer hos respektive systemtillverkare för de i studien jämförda tekniska systemen. Dessa kontakter har resulterat i kompletterande och fördjupande kunskap om systemens förmågor och kapaciteter för att motverka risker för osäkerheter omkring källan.

Inledningsvis förklaras och beskrivs CUAS samt vald systemprincip, dess sensorer och verkansformer. Vidare beskrivs de två utvalda tekniska CUAS systemen detaljerat. Beskrivningarna innehåller systemdesign samt de olika tekniska komponenterna för systemens funktionalitet. Detta syftar till att förtydliga den efterföljande beskrivningen av systemens bekämpning inom CUAS.

Därpå beskrivs och utvecklas resonemang om mindre obemannade flygande farkoster. Beskrivningen innehåller definitioner och begrepp med koppling till undersökningen samt klassificering av obemannade flygande farkoster. Den obemannade flygande farkost som representerar målobjekt för undersökningen beskrivs.

Två nationellt fiktiva scenarion har utformats för att tillföra undersökningen ett antal kontextuella krav dels situations- och miljöspecifika med relation till Försvarens skyddsobjekt och organisation men också för att tillföra undersökningen ett reellt fredstida ramverk avseende juridik och beprövad erfarenhet. Dessa faktorer är centrala för att stärka undersökningens reliabilitet. Typsituationerna har således inte en central plats i studien men tillför viktiga parametrar för att undersökningen ska generera reella värden som underbygger de kriterier som används vid värdering av de tekniska CUAS systemens egenskaper med förmågor avseende militär effektivitet.

I undersökningen beskrivs kronologiskt bekämpningskedjans moment. Kriterier extraheras ur bekämpningsmodellens moment med relation till de av Andersson et al. (2015) definierade kategorierna (indikatorerna) för dimensionen militär effektivitet. I avsnittet återges kravställningar från de semistrukturerade intervjuer som genomförts samt krav från slutsatser ur tidigare beskrivna situationsvariabler. Kriterierna med systemens resultat presenteras efter respektive momentbeskrivning.

I avsnitt resultat och analys sker sammanvägning av kriterier till indikatorer med beskrivning av de jämförda systemens fördelar och nackdelar. Resultat återkopplas till Andersson et al. (2015) indikatorer för militär effektivitet och de två jämförda systemens värderade likheter och skillnader diskuteras (Andersson et al., 2015).

Sammanvägt resultat för de jämförda systemens militära effektivitet presenteras och frågeställningen besvaras. I det avslutande avsnittet diskuteras det egna arbetets genomförande utifrån problem och metod med huvudsakliga kopplingar till Försvarmaktens brister avseende beprövade erfarenheter för CUAS förmåga. Slutligen presenteras förslag på vidare forskning.

4.2 Urval

Urvalet av de två tekniska systemen utfördes målstyrt med hänsyn till forskningens problemformulering och frågeställning. Vidare används tre faktorer för urval av de tekniska systemen. Den första urvalsfaktorn var att de tekniska systemen kan uppnå en hög grad av teknisk mognad TRL (Technology Readiness Level) avseende funktionalitet för att uppnå effekt dvs. bekämpning av obemannade flygande farkoster (Mankins, 1995). Den andra urvalsfaktorn var att de tekniska CUAS systemen ska vara dimensionerade för att kunna verka mot obemannade flygande farkoster i kategori 1 enligt tabell 12 i bilaga 1. Den tredje urvalsfaktorn var att de tekniska CUAS systemen ska vara kommersiellt tillgängliga och militärt beprövade för att bättre påvisa aktuell militär nytta för Försvarmakten.

Det har inte varit möjligt att bortse från att valet av tekniska system styrts av en bekvämlighetsaspekt eftersom information, kunskaper och erfarenheter om tekniska system för CUAS och dess tillämpningar inte återfunnits öppet tillgängligt i någon större utsträckning. Ett initialt bestånd av tekniska system för CUAS vilka samtliga uppfyller nedanstående urvalsfaktorer identifierades. Efter kontakt med systemens tillverkare valdes system för studien ut baserat på tillverkarnas intresse att leverera kompletterande information. De för studien utvalda systemen var de som tillförde de mest kvalitativa kompletteringar av information för undersökningen.

4.3 Intervjuer

Studiens primärkällor utgörs av personal vid FOI, insatsstaben högkvarteret (HKV INSS) samt 32. Underrättelsebataljonen. Intervjupersonerna har samtliga hög kompetens inom olika delområden för studien och har varit viktiga för undersökningens validitet.

Av fyra genomförda intervjuer genomfördes tre enskilda och en gruppintervju. Vid gruppintervjun närvarade tre forskare inom olika expertområden. Sammantaget intervjuades sex personer. En anonym sammanställning över intervjupersonerna återfinns i tabell 18 i bilaga 1. Vid behov av intervjupersonernas namn återges dessa efter framställning till författaren.

Ett målstyrt urval av intervjupersoner tillämpades för att inhämta efterfrågad information. Urvalet inriktades med utgångspunkt omkring ämnet och frågeställning. För författaren var det lättare att komma i kontakt med intervjupersoner inom Forsvarsmakten m.h.t. författarens erfarenheter och kontakter relaterat till tidigare tjänstgöring inom Forsvarsmakten. För urval av intervjupersoner med efterfrågad kunskap inom FOI tillämpades istället ett kedjeurval eftersom det för författaren inte var känt vilka personer som hade efterfrågad kunskap inom ämnet eller var dessa återfanns inom FOI:s organisation (Bryman, 2011: p. 434).

Vid intervjuerna beskrevs scenario samt de tekniska CUAS systemens specifikationer med dess önskade måluppfyllnad. För intervjuerna formulerades frågor utifrån bekämpningskedjans steg och Forsvarsmaktens reglementen (beprövad erfarenhet) för att värdera de utvalda tekniska systemen förmågor, möjligheter och begränsningar. Intervjuerna avslutades med frågor om CUAS kopplade till skyddslagen, säkerhetsskydd, samt hot.

Den kompletterade informationen som erhållits från tillverkarna av de tekniska systemen har använts som underlag vid intervjuerna och värderats av intervjupersonerna vilket bekräftat informationens tillförlitlighet.

En osäkerhet som uppmärksammades var intervjuarens förförståelse för ämnet som felkälla vid planering av intervjuerna. Här har det varit viktigt att identifiera var förförståelsen tenderar att övergå till förutfattade meningar inom ämnet (Bryman, 2011: p. 419). För att motverka dessa har den semi-strukturerade intervjuformen använts i kombination med en intervjuguide (Bryman, 2011: p. 415). Varje frågeområde inleddes med öppna frågeställningar vilket möjliggjorde ett flexibelt förhållande till intervjupersonernas olika kunskapsdjup inom delämnena och samtidigt ett

fokus på frågeområden. Det underlättade intervjuarens målsättning att uppfatta helheten inom frågeområden med uppföljningsfrågor samt att rikta datainsamlingen i djup vid nyttjande av samma intervjuguide i alla intervjuer (Lantz, 2007: p. 55).

Den semi-strukturerade intervjuformen möjliggjorde även för intervjuaren att bedöma omfattningen av intervjupersonens specifika kunskapsområden inom ämnet som var viktigt för att reglera uppföljningsfrågors riktningar och för att uppfatta när ett frågeområde kunde anses vara tillräckligt besvarat (Lantz, 2007: p. 54).

4.4 Metoddiskussion

Detta arbete inleddes med en alternativ ansats till den som slutligen valdes för undersökningen. De två entiteterna för jämförelse utgjordes ursprungligen av ett tekniskt system och Försvarmaktens trupp system. Författaren konstaterade under litteraturstudierna inför undersökningen att denna jämförelse inte kunde tillföra aktuella resultat avseende militär effektivitet. En stor del av detta konstaterande relaterades till att den tekniska utvecklingen av sensorer har lett till att de tekniska förmågorna i dagsläget överträffar den motsvarande mänskliga förmågan med sinnesuppfattningar. Dagens tillgängliga sensorer för CUAS är helt enkelt för bra. Den tekniska utvecklingen av obemannade flygande farkoster och tillkommande sensorer sker även med en sådan hastighet vilket många forskare menar leder till svårigheter att hantera utan stöd från tekniska artefakter (Intervjuperson 4, 2018). En återkoppling till denna ansats genomförs i diskussionsavsnittet.

5 Undersökningen

5.1 CUAS

Tekniska system för CUAS är vanligtvis designade på liknande sätt som luftvärnssystem. Det består av sensorer för att upptäcka, lokalisera, klassificera och identifiera en UAV.



Systemet består vidare av en kontrollstation som tar emot information från sensorerna och omvandlar den och presenterar den för beslut av vidare åtgärd.

Systemet består slutligen av olika verkansenheter som är anpassade utifrån situation och miljö. I fredstid är de vanlig-

Bild 1 - Principiell systemdesign CUAS

aste verkansformerna av typen ”soft-kill”, och i ett läge av högre konfliktskala tillförs verkansformer av typ ”hard-kill”. I tabell 15 i bilaga 1 sammanfattas de vanligaste verkansformer som tillämpas inom CUAS.

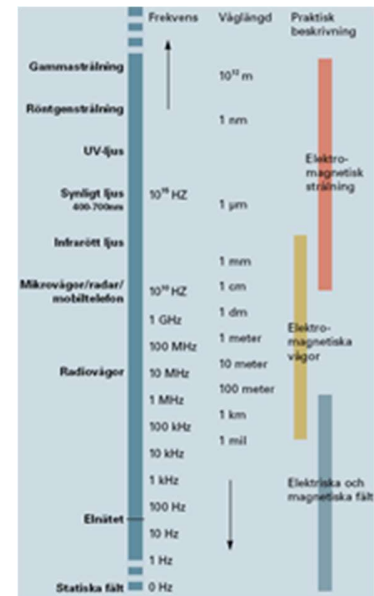
Sensorer

En sensor fungerar som en inhämtare av information i en specifik domän. Den levererar informationen exempelvis till en verkansdel som behöver informationen för att utföra verkan och uppnå önskad effekt. Enkelt beskrivet är sensorn som en apparat som känner fysisk stimulering (Artman and Westman, 2007: p. 13). Den påverkas av faktorer som vilken typ av fysisk stimulering den

hanterar, vilken miljö den arbetar och verkar inom, om den sänder och/eller tar emot signaler samt vilket ändamål den har. Inom CUAS uppfattar dessa sensorer vanligtvis elektromagnetiska våglängder där en UAV avger eller tar emot olika former av elektromagnetisk strålning. Naturligt i det här avseendet söker CUAS systemets sensorer kunna observera UAV signaturer i samtliga tänkbara elektromagnetiska våglängdsområden. Detta kräver således sensorer som kan detektera olika våglängder. I tabell 14 i bilaga 1 redovisas de vanligaste sensortyper som brukas inom CUAS.

Tekniska system för CUAS kan klassificeras som defensiva system för verkan mot UAS, vilket placerar dem inom kategorin skyddssystem. NIAG har genom sitt analysarbete valt att förhålla sig till CUAS som den lägsta definierade nivån inom luftvärnsstriden. Enligt NIAG ska tekniska system för CUAS integreras med luftvärnssystem samt system för CRAM (Counter Rocket, Artillery and Mortar), och förutsätts således vara kompatibla avseende samtliga moment för bekämpning för att uppnå synergier och tillvarata befintliga resurser på bästa sätt (NIAG, 2017: p. 2). En begränsande faktor med en integration av CUAS inom luftvärnsförbanden är att de är avsedda att nyttjas i kris och krigssituationer och inte i fredstid. Förvisso är detta mer av en utbildnings- och resursfråga men Försvarmakten är organiserad för att nyttja andra förband och organisationstyper i fredstid. Försvarmaktens säkerhetsorganisationer genomför skyddsuppgifter i fredstid och det ökande UAV hotet medför att behovet av CUAS kan vara större än vad luftvärnsförbanden kan omhänderta. För Försvarmakten innebär detta möjligheter som är viktiga att ta hänsyn till i kommande upphandlingar av nytt luftvärnssystem.

Likt för luftvärnet vid bekämpning av mål fordras en systemprincipiell process. En bekämpningsmodell eller kedja som beskriver kronologin och momenten som tillämpas under bekämpnings-skedet, denna utvecklas mer under avsnitt *bekämpning*.



Figur 4 - Elektromagnetiska våglängder

5.1.1 System i fokus 1, AUDES® Anti-UAV Defence System

AUDES® Anti-UAV Defence System är ett tekniskt system för CUAS. Systemet är utvecklat av av de tre engelska företagen Chess Dynamics, Blighter Surveillance Systems och Enterprise Control Systems Ltd. AUDES har under 2016 enligt TRL (Technology readiness level) graderats till den högsta nivån på en skala mellan ett och nio (Blighter, 2017a). Detta betyder kortfattat att det tekniska systemet framgångsrikt har använts i de förhållanden och med de uppgifter för vilka systemet är framtaget att användas för (Mankins, 1995: p. 5). AUDES har varit verksamt på gränsen mellan Nord- och Sydkorea från 2015 (McHale, 2015). AUDES ingick 2016 i amerikanska luftfartsverkets program för utveckling av skydd mot UAV (Federal Aviation Administration, 2016). 2017 påbörjade den amerikanska försvarsmakten att nyttja systemet aktivt i Mosul, Irak (Cision PRWeb, 2017).

AUDES system består av tre olika komponenter för funktionalitet i grundkonfiguration. AUDES Radar (Blighter A400 Series Air Security Radar), Hawkeye DS och EO Video Tracker samt Directional RF Inhibitor. Komponenterna består av flertalet sensorer för bekämpning av UAV. Enligt Chess Dynamic genomför AUDES bekämpning av UAV på mindre än 15 sekunder.

AUDES radar är en statisk elektronisk Doppler radar som används för att upptäcka små flygande föremål på frekvensband Ku-band. Den är av typen PESA (passive electronically scanned array) och nyttjar tekniken FMCW (frequency modulated continuous wave). Radarn består av två platta 90° radarelement som monteras vinkelrätt för att uppnå täckning azimut 180°. Två (fyra) element kan monteras för täckning azimut 360°.

AUDES EO system är ett effektorpaket som består av olika sensorer som kombinerar upptäckt, följning och klassificering av mål. Effektorpaketet innehåller även elektromagnetisk störning (RF). För att uppnå detta innehåller paketet, visuell kamera, elektrooptisk kamera med mörkerförmåga (IR, IRV), positioneringskapacitet och mjukvarustyrd bildföljning. Enheten är sammankopplad med AUDES RF Inhibitor för direktriad eller bred störning av radiofrekvenser (RF).

AUDES operatörkonsol är en kontrollstation som består av en PC med två bildskärmar för ledning och styrning av bekämpningen. Systemet manövreras av en operatör. Användarkonsolen har ett öppet användargränssnitt och möjliggör enkel ledning, styrning och drift av det tekniska systemet när det väl är upprättat och används.

AUDS kan grupperas på tre olika sätt. AUDS radar och EO system separerat monterade på flyttbara master (quadpod), semi-permanent samlat montage på teleskopmast (field-mast) samt med fast installation för kontinuerlig funktion. AUDS kan även monteras på fordon (Chess Dynamics, 2017).

5.1.2 System i fokus 2, Xpeller™ Counter UAV System

Xpeller™ Counter UAV System är ett tekniskt system för CUAS. Systemet är utvecklat av det tyska företaget Hensoldt. Xpeller™ Counter UAV System består av en sammansättning av ett antal olika komponenter vilka utvecklats av olika tillverkare. Komponenterna har en motsvarande sammansättning som AUDS system i grundkonfiguration och består av Spexer 500 radar, EO/IR kamera NightOwl ZM-ER med RF störning samt operatörsstyrd användarkonsol (Hensoldt, 2018b).

Spexer 500 är en statisk elektronisk Doppler radar som används för att upptäcka små flygande föremål på frekvensband X-band. Den är av typen PESA (passive electronically scanned array) och nyttjar tekniken FMCW (frequency modulated continuous wave) med DBF (digital beam forming). Radarn består av ett radarelement med täckning azimut 120°. Fler radar kan sammankopplas för 360° täckning azimut.

Xpellers EO system NightOwl ZM-ER är en elektrooptisk visuell kamera med dag och natt kapacitet (IR, IRV). Systemet nyttjar videotracker och Direction Finder (RF) för målföljning. Enheten är sammankopplad med Xpeller UAV jammer för direktriaktad eller bred störning av radiofrekvenser (RF).

Xpellers operatörkonsol är en kontrollstation som består av en PC med två bildskärmar för ledning och styrning av bekämpningen. Systemet manövreras av en operatör. Användarkonsolen har ett öppet användargränssnitt och möjliggör enkel ledning, styrning och drift av det tekniska systemet när det väl är upprättat och används.

Xpeller kan grupperas på olika sätt. Modulärt eller fordonsmonterat (Xpeller Rapid), portabelt montage (Xpeller Gear) samt fast installerat system för permanent drift (Xpeller Guard) (Hensoldt, 2018b).

Tekniska specifikationer för ovan utvalda system återges i tabell 16 i bilaga 1.

5.2 Situationsvariabler

Grundläggande förutsättningar för att erhålla de kontextuella krav som gäller för undersökningen framställs dels genom beskrivning av objektet som ska bekämpas och dels genom scenariobeskrivningarna. Försvarsmaktens säkerhetsorganisation utgör organisation som värderas och tillfället utgörs av fredstid.

5.2.1 UAV

UAS (*Unmanned Aerial System*) är samlingsnamnet på hela systemet för den obemannade flygande farkosten, UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*), det kontrollerande manövreringssystemet, eventuella laster samt övriga systemdelar såsom reservdelar och stödjande system (Fahlstrom and Gleason, 2012). Obemannade flygande farkoster beskrivna i studien kommer härfter att benämnas UAV. En UAV kan vara konstruerad med fasta vingar, som en helikopter med två roterande motorer eller som en multikopter med flera roterande motorer, oftast fyra eller mer. För flygande farkoster gäller alltså att den består av en robust konstruktion. Den kan konstrueras i plast, komposit eller metall. En viktig princip är att farkosten skall bära sin konstruktion och last vilket betyder att den behöver mycket styrka för att erhålla bra flygförmåga samt att vikten måste reduceras. Detta har tidigare inneburit tekniska utmaningar men ett exempel på var teknikutvecklingen medger i dagsläget är Griff Aviation som är ett norskt företag som tillverkar UAV med lastkapaciteter på upp till 200 kg (Griff Aviation, 2017).

Kommersiella UAV drivs nästintill uteslutande av elektriska- eller förbränningsmotorer. Kommersiella UAV av multikoptertyp drivs vanligtvis av elektriska borstmotorer som har hög driftsäkerhet och är relativt billiga att tillverka. Dessa styrs synkroniserat av ett styrsystem som kallas ESC (electronic speed controller). Styrsystemet är tämligen avancerat i sin konfiguration och ger farkosten kontrollerbar rörlighetsförmåga (Fahlstrom and Gleason, 2012). Den vanligaste formen av kraftförsörjning är via Li-Po batterier som är förhållandevis lätta och ger hög strömförsörjning. De manövreras på olika sätt men oftast är de fjärrstyrda via en kontrollenhet. Vanligtvis går styrsignalen via 2,4 GHz (Wi-Fi) och datakommunikation kan ske via frekvens 433 MHz eller 868 MHz eller 2,4 GHz och 5,2 GHz. Även analog videoöverföring kan ske på 5,8 GHz. Navigation sker oftast via GNSS (Global Navigation Satellite Systems) på frekvenser mellan 1159-1616 MHz. Det förekommer UAV som har förmåga att navigera utan kommunikation med satellit men

detta är fortfarande inte fullt så tillgängligt på civila marknader ännu. Dyrare system kan även vara utrustade med intelligenta stödsystem med tillhörande sensorer för att motverka kollision samt autopilotssystem för förprogrammerad autonom flygning (Chess Dynamics, 2018; Intervjuperson 1, 2018).

Begreppet UAV är inte tillräckligt definierat och avgränsat eftersom UAV existerar i mängder av olika storlekar och variationer och för olika syften. För att kunna urskilja och precisera specifika kategorier av obemannade flygande farkoster har olika klassificeringsmodeller tillkommit. Teknikutvecklingen inom området medför också ett kontinuerligt behov av att revidera och uppdatera dessa. Klassificeringsmodellerna är konstruerade omkring olika attribut beroende på vilken organisation eller stat som upprättat modellen. Vissa modeller är konstruerade för att skilja mellan olika framdrivnings principer samt storlek och konstruktionsskillnader, andra är konstruerade baserat på storlek och kapacitet i form av flyghöjd och plattformens förmåga till att bära last. NATO har en klassificeringsmodell enligt den senare modellstrukturen som NIAG refererar till i sin avslutande rapport (NIAG, 2017).

EASA (European Aviation Safety Agency) genomför på uppdrag av EU-kommissionen ett arbete med att införa gemensamma europeiska säkerhetsregler för verksamhet med små obemannade flygande farkoster som förväntas vara implementerade i EU vid utgången av 2019 (European Aviation Safety Agency, 2017). I EASA:s arbete inkluderas en klassificeringsmodell enligt den föregående modellstrukturen, vilken dock ännu inte är fastställd. För detta arbete har Transportstyrelsens klassificeringsstruktur valts då den bygger på EASA:s koncept och är nyligen upprättad och aktuell (Transportstyrelsen, 2017). Eftersom den reglerar UAV flygningar i Sverige passar den undersökningens kontext. I undersökningen kommer en DJI Phantom 3 att användas som målobjekt i scenariobeskrivningar (DJI, 2018). Denna UAV är en vanlig modell på marknaden och definieras som en mini UAV i klass 1 enligt Transportstyrelsens klassificering av UAS. Tabell 12 i bilaga 1 sammanfattar Transportstyrelsens klassificering av UAS och de för studien viktigaste egenskaperna.

Tabell 1 - Teknisk specifikation UAS, DJI Phantom 3

DJI, Phantom 3 (DJI, 2018).	
	
<i>Bild 2 - DJI Phantom 3</i>	
Vikt (inkluderat batteri och propellrar)	1280 g
Diagonal Storlek (propellrar exkluderade)	350 mm
Max hastighet	16 m/s
Max höjd	6000 m
Max flygtid	Ca 23 minuter
Navigering, Positioneringssystem	GPS/GLONASS, 1159-1610 MHz
Kontroll och styrningsfrekvens	2.400 - 2.483 GHz
Max sändningsavstånd, kontroll och styrning	3.5 km, Opåverkad, fri från störning, Europa (CE)
Batteri	6000 mAh Li-Po 2S
Batterivikt	365 g
Medium för video i realtid	Handburna enheter och smarta telefoner
Frekvens för video i realtid	2.4 GHz, ISM
Autopilot	Ja, saknar anti-kollisions sensorer och system
Autopilot navigering	GPS/GLONASS

5.2.2 Scenario

Två typsituationer används i undersökningen. I dessa beskrivs CUAS som tekniskt system för stöd med skydd av Försvarmaktens skyddsobjekt. De juridiska förutsättningarna regleras i Skyddslagen samt övrig civil tillämplig juridik. Syftet med att använda två olika scenario i undersökningen är för att undersöka det tekniska systemet i två olika miljöer där omgivningarna ställer olika krav på förmåga och möjligheter att verka mot UAV. Det föreligger inga juridiska skillnader för skyddsobjektens status i de två typsituationerna. Som tidigare beskrivits i detta arbete har Försvarmakten inte fastställt hur förmågan till CUAS ska förvaltas i organisationen vilket medför osäkerheter omkring vilka organisatoriska enheter som kan komma att utföra CUAS uppgifter inom Försvarmakten. För undersökningen vidkommande fastställs att befintlig säkerhetsorganisation vid skyddsobjekt brukar det tekniska systemet för CUAS. Säkerhetsorganisationerna vid skyddsobjektet leds av organisationsenheternas säkerhetsföreträdare vilket tillika är Säkerhets-

chef. Underställd personal utgörs av bevakningspersonal som tillika är skyddsvakter. Skyddsvakterna upprätthåller skyddet vid skyddsobjektet enligt Skyddslagen. Ett militärt skyddsobjekt med tillträdesförbud samt tilläggsförbud medger Försvarsmakten att förneka obehöriga individer tillgång till eller frihetsberöva obehöriga individer på skyddsobjektet. Tilläggsförbuden medger motsvarande åtgärder av individer som fotograferar eller avbildar skyddsobjektet. Det föreligger även goda möjligheter till att vidta motsvarande åtgärder utanför skyddsobjektet gräns vid uppfattat motiv till att obehöriga söker tillträde till eller påverka skyddsobjektet. Vad som gäller för UAV invid skyddsobjekt är för tillfället mer juridiskt otydligt.

Skyddslagens förarbeten avhandlar begreppet ”invid” som i skyddslagens mening innebär ett skyddsobjekts omgivande område, där en skyddsvakts juridiska befogenheter, och medföljande rätt till tvångsmedel, får tillämpas i situationer där skyddsvakten uppfattar förestående påverkan på skyddsobjektet. I Skyddslagens förarbeten behandlas endast begreppets kopplingar till individer och sålunda saknas vägledande diskussioner omkring nyttjandet av tekniska hjälpmedel och artefakter, exempelvis UAV, vilket försvårar vidare analys för denna studie. Vid tidpunkten för denna studie genomför regeringen utredning avseende förändringar av skyddslagen att omfatta dessa resonemang (Riksdagen, 2017). Dessa är dock ännu ej beslutade. Försättningsvis för undersökningen fastställs att Försvarsmakten medges verkan med verkansmetoder i kategorin ”soft-kill” utanför ett skyddsobjekt gräns för att motverka UAV med stöd i skyddslagen i fredstid. Olika verkansmetoder inom CUAS beskrivs utförligare i tabell 15 i bilaga 1.

Typsituation 1

Livgardet är en av Försvarsmaktens organisationsenheter som geografiskt återfinns i utkanten av



Bild 3 - Kartbild 3D, Livgardet. Källa F. Green

Stockholms norra delar. Förenklat kan Livgardets utformning beskrivas som kvadratisk grupperat med ca 1000 meter långa sidor avgränsat med ett 2,5 meter högt stängsel. På området återfinns

spridd gruppering av byggnader som ingen överstiger ca 10 meters höjd. Det är öppen terräng med ett fåtal partier med träd vid den södra delen av området. Den omkringliggande växtligheten utgörs skog omkring den södra halvan av området och öppen terräng omkring den norra halvan. Den närmaste bebyggelsen är bostadsområdet Brunna som är grupperat ca 600 meter sydväst om Livgardet. Brunna består av bostadsområden och industriområden. Norr om skyddsobjektet ligger övnings- och skjutfält vilket är glest befolkat. Ovanför Livgardet genomförs civil flygtrafik inflygning till Arlanda flygplats. På skyddsobjektet finns det ett fåtal platser som medger en hög gruppering av ett CUAS system. Det finns belysningsmaster utgrupperade på området vilka är mellan 10 och 20 meter höga samt en äldre radiomast grupperad centralt på området. Radiomasten är ca 25 meter hög. Generellt topografiskt är Livgardet grupperat på platt mark. Inom området finns höjdskillnader på omkring 5 meter. Bild 1 visar en 3D kartbild över Livgardet med tre referensavstånd. Avståndsangivelser utgår från radiomastens grupperingsplats. Den sydvästra avståndsangivelsen ca 600 meter och anger avstånd till närmaste bebyggelse. Den nordvästliga anger avstånd ca 1000 meter till närmaste betäckta terrängområde över de omkringliggande öppna ytor som omger den nordliga halvan av objektet. Den västliga angivelsen ca 1100 meter och anger avstånd till det angränsande vattenområdet Norra Görweln.

Livgardet är ett militärt skyddsobjekt med tillträdesförbud samt tilläggsförbud enligt skyddslagen. Livgardet har tillförts ett tekniskt system för CUAS. Det tekniska CUAS systemet ingår i Livgardets säkerhetsorganisation som har CUAS systemet driftsatt dygnet runt sedan ca 6 månader tillbaka.

Händelse

Det är en molnig förmiddag i juni. Temperaturen är ca 20° C och det blåser nordostlig vind, 1-2 m/s. På Livgardet genomförs en medaljceremoni för ett hemkommet förband från en utav Försvarsmaktens internationella insatser. Ceremonin genomförs på Livgardets fordonsuppställningsplats och försvarsminister och överbefälhavaren är medaljförrättare. Förbandet består av ca 250 individer och under medaljceremonin är endast ett fåtal frånvarande. Ca 500 anhöriga är närvarande för att bevittna sina anhörigas hemkomst och deras mottagande av medaljer för sina förtjänstfulla insatser.

Livgardets säkerhetschef har genomfört säkerhetsplanering med säkerhetsanalys av medaljceremonin. Säkerhetschefen har tillfört extraresurser i form av personal för skydd och bevakning av verksamheten.

En UAV av typ DJI Phantom 3 är precis startklar och förbereds att lyfta från den nordöstra utkanten av Brunna industriområde. Individerna som opererar UAV:n har under förberedelserna monterat en explosiv last på UAV kroppen. Individerna avser att fjärrstyra UAV:n och flyga de ca 1300 meter till Livgardet och komma nära folksamlingen för att detonera laddningen. Med en maxhastighet på 16 m/s tar det ca 80 sekunder för UAV:n att flyga till Livgardet. Individerna har modifierat UAV:n och en fjärrstyrd utlösare har monterats på laddningen. Utlösaren har kopplats till konsolen som via en signal kan utlösa laddningen. En av individerna har god vana av att framföra UAV:n som även avser att videofilma hela förloppet i realtid. Individerna har genomfört en kartrekognoscering och beslutat att genomföra anflygningen väster ifrån, parallellt med Granhammarsvägen, över de öppna ytorna på den nordvästra sidan om Livgardet. Flygningen sker i östlig riktning mot Livgardet.

Slutsatser typsituation 1

- Ett tekniskt system för CUAS kan lämpligen grupperas på den 25 meter höga radiomast som finns på området.
- Mastgrupperat system innebär att inhämtande/övervakande sensorer erhåller fri sikt LOS (Line of Sight) då det grupperas på 25 meters höjd, vilket är ovanför träd och byggnader.
- Samlad gruppering av radar och EO/IR sensorer medger således 360° azimuth utan sensorseparation.
- För att det tekniska CUAS systemet ska medges att utföra de moment som krävs för att motverka eller bekämpa en UAV inom tillräcklig tid behöver systemet påbörja verkan mot UAV utanför skyddsobjektets gräns.
- Val av verkansmetoder för CUAS måste ske med hänsyn till begränsande faktorer såsom, angränsande bebyggelse (tredje part).
- Flyttid UAV är ca 80 sekunder.
- Verkan mot UAV:n måste inledas inom 60 sekunder från det att den startar för att bekämpning skall ske utanför gränsen för skyddsobjektet.

- Upptäckt av UAV:n måste ske senast vid startmoment m.h.t. tid för verkan.
- CUAS systemet måste identifiera UAV:n under 60 sekunder från start.
- CUAS systemet behöver bemannas av operatör för beslut om verkan i fredstid.
- Störning av frekvens 2.4 GHz (Wi-Fi) kan påverka tredje part i västlig riktning (600 meter).
- Störning av frekvens 2.4 GHz (Wi-Fi) kan genomföras direktriktat för reducerad verkan på tredje part.
- Kapning av frekvens 2.4 GHz (Wi-Fi) kan genomföras direktriktat för reducerad verkan på tredje part.
- Störning eller falsksignalering av GNSS på frekvens 1159-1610 MHz påverkar tredje part.
- Kinetisk verkan mot UAV:n kan ej genomföras med kulvapen eller explosiva effekter m.h.t risk för påverkan på tredje part.
- Alternativa verkansformer såsom snärjande (skjuta nät, gelé eller vatten) kan ge effekt på UAV.
- Fortifikatoriska åtgärder vid skyddsobjektet såsom montage av hindrande nät, ger obefintligt till lågt skydd mot UAV.

Typsituation 2

Högkvarteret är ett utav Försvarsmaktens skyddsobjekt som är förlagt i centrala Stockholm.

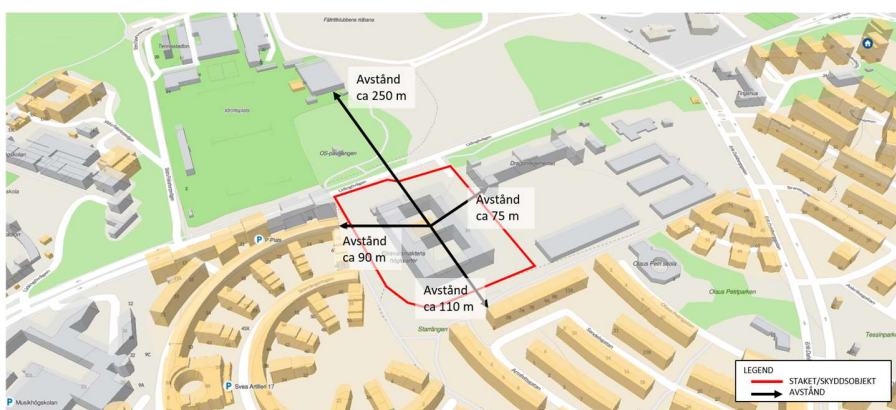


Bild 4 - Kartbild 3D, Högkvarteret. Källa F. Green

Skyddsobjekt är grupperat i tätbebyggt område i nära anslutning till flerbostadshus. Skyddsobjektet är delat med Livgardets skyddsobjekt på Lidingsgövägen 28 och har en rektangulär utsträckning

med ca 125 x 185 meter långa sidor. Skyddsobjektet är avgränsat med ett ca 3 meter högt

staket. Det består i huvudsak av en stor kontorsbyggnad som är ca 20 meter hög och har två öppna innergårdar i markplan. Skyddsobjektets gruppering och utformning medger en hög gruppering av ett CUAS system med LOS (Line of Sight) för att uppnå verkan. Dock är omkringliggande bebyggelse likvärdig i höjd vilket medför att CUAS systemet kan grupperas i centrum av skyddsobjektets huvudbyggnad med en tillförd mast om ca 5-10 meter för att säkerställa att systemet får LOS ovan angränsande byggnader. En mastgruppering medför även att CUAS systemets sensorer erhåller NLOS (Near Line of Sight) mellan huvudbyggnaden och de närmaste omkringliggande byggnaderna. Detta för att kunna observera och upptäcka eventuella mål som uppenbarar sig på låg höjd <15 meter vid anflygning. En alternativ gruppering kan vara att gruppera två sensorpaket delat, en i vardera motsatta hörn av byggnaden. En fördel med denna gruppering är att den medger observation längs byggnaden och således täcker byggnadernas sidor. Nackdelen är förutom att behöva två enheter istället för en är att verkansenheter blir separerade med ett avstånd lika med byggnadens bredd vilket kan medföra risker, framförallt vid mot en UAV som angriper rakt uppifrån.

Högkvarteret är ett militärt skyddsobjekt med tillträdesförbud samt tilläggsförbud enligt skyddslagen. Högkvarteret har tillförts ett tekniskt system för CUAS. Det tekniska CUAS systemet ingår i Högkvarterets säkerhetsorganisation som har CUAS systemet driftsatt dygnet runt sedan ca 6 månader tillbaka.

Händelse

Det är en solig eftermiddag i juni. Temperaturen är ca 20° C och det blåser nordostlig vind, 1-2 m/s. På Försvarmaktens högkvarter pågår normal daglig verksamhet. Denna dag arbetar ca 1500 personer på högkvarteret. Försvarmaktsledningen är på plats i byggnaden och genomför ett internationellt besök. Besöket utgörs av ett allierat NATO-lands överbefälhavare med ca 10 högt uppsatta officerare.

Högkvarterets säkerhetschef har genomfört säkerhetsplanering med säkerhetsanalys av besöket. Säkerhetschefen har tillfört extraresurser i form av personal för skydd och bevakning av besöksverksamheten.

På Brinellvägen 30, väster om Stockholms Kungliga Tekniska Högskola ca 1 km nordväst om högkvarteret står en minibuss parkerad. De två individerna i minibussen har precis förberett tre

autonoma UAV. De tre farkosterna är av typen DJI Phantom 3 och har konfigurerats att via bestämda kartpunkter flyga autonomt till högkvarteret. De autonoma inställningarna har konfigurerats med hjälp av en tredje parts programvara och farkosterna kommer att flyga m.h.a. autopilotfunktionen. Navigeringssystemet är även inställt med högkvarteret som återgångsplats vid eventuell förlust av satellitsignal. De tre farkosterna har modifierats och improviserats, samtliga har utrustats med en last bestående av ca 1000 gram högexplosivt ämne vardera. De explosiva lasterna har försetts med en mekanisk självutlösande detonator. När farkosterna väl kommer i kontakt med marken eller med något annat föremål utlöses laddningen. De tre farkosterna har konfigurerats med tre separerade slutliga navigeringspunkter på Högekvarteret i syfte att skapa en spridning av verkansseffekt vid detonationerna. Flygrutten till högkvarteret går över Lill-jansskogen i sydostlig riktning, via Östermalms idrottsplats till högkvarterets byggnad och på en flyghöjd om 15-20 meter. Det innebär precis ovan trädtopparna.

Slutsatser typsituation 2

- Ett tekniskt system för CUAS kan lämpligen grupperas på taket av högkvarteret.
- Mastgrupperat system innebär att inhämtande/övervakande sensorer erhåller fri sikt LOS (Line of Sight) då det grupperas på kompletterande mast vilket är ovanför träd och byggnader.
- Samlad gruppering av radar och EO/IR sensorer medger således 360° azimut utan sensorseparation.
- För att det tekniska CUAS systemet ska medges att utföra de moment som krävs för att motverka eller bekämpa en UAV inom tillräcklig tid kommer systemet påbörja verkan mot UAV utanför skyddsobjektets gräns.
- Val av verkansmetoder för CUAS måste ske med hänsyn till begränsande faktorer såsom, angränsande bebyggelse (tredje part).
- UAV flygtid är ca 63 sekunder
- Verkan mot UAV:n måste inledas inom 60 sekunder från det att den startar för att bekämpning skall ske utanför gränsen för skyddsobjektet.
- Upptäckt av UAV:n måste ske senast vid startmoment m.h.t. tid för verkan.
- CUAS systemet måste identifiera UAV:n under 60 sekunder.

-
- CUAS systemet behöver bemannas av operatör för beslut om verkan i fredstid.
 - Omniktad störning av frekvens 2.4 GHz (Wi-Fi) påverkar sannolikt tredje part 360°
 - Direktiktad störning av frekvens 2.4 GHz (Wi-Fi) kan genomföras för reducerad verkan på tredje part.
 - Kapning av frekvens 2.4 GHz (Wi-Fi) kan genomföras för reducerad verkan på tredje part.
 - Störning eller falsksignalering av GNSS på frekvens 1159-1610 MHz påverkar tredje part i stor omfattning.
 - Kinetisk verkan mot UAV:n kan ej genomföras med kulvapen eller explosiva effekter m.h.t risk för påverkan på tredje part.
 - Alternativa verkansformer såsom snärjande (skjuta nät, gelé eller vatten) kan ge god effekt.
 - Fortifikatoriska åtgärder vid skyddsobjektet såsom montage av hindrande nät, ger lågt till måttligt skydd mot UAV.

5.3 Bekämpning

Bekämpningsmodellen som valts för denna studie är ursprungligen framtagen för luftvärnsstrid eller IADS (Integrated Air Defense System) (Ball, 2003: p. 261). Modellen har åtta moment vilka representerar åtgärder och egenskaper relaterat till sensorer. Dagens mer utvecklade sensorer och teknik kan medge att olika moment kan utföras av en och samma sensor vilket förkortar tidsfaktorn vid modellens tillämpning för CUAS. Sensorena kan fungera gränsöverskridande i bekämpningsmodellens olika moment.

Upptäcka

De flesta UAV som finns kommersiellt tillgängliga sänder och/eller tar emot olika elektromagnetiska signaler. Det sker mellan UAV, operatör och/eller satellit eller GSM mast. UAV elektromagnetiska signatur skiljer beroende på faktorer som konstruktionstyp, framdrivning, elektroniska komponenter, sändning-mottagning av RF m.fl. En mer detaljerad beskrivning av de olika typer av UAV och vilka sensorer som kan upptäcka dessa återfinns i tabell 14 i bilaga 1. De olika typer av signaturer som olika UAV alstrar kan således lagras av tekniska system för CUAS för att senare användas för att jämföra för identifiering, mer om det under begreppet *identifiera*.

Elektromagnetiska signaler kan upptäckas av olika sensorer. Det tekniska CUAS systemet måste kunna upptäcka UAV med sensorer som kan urskilja UAV specifika signaturer i olika frekvensområden. Sensorer som används för detta ändamål är radar, EO visuell kamera (elektrooptisk kamera), EO/IR kamera (elektrooptisk/infraröd kamera), RF signal (R/C, WiFi eller analog) samt akustisk sensor. En viktig faktor för att olika sensorer ska kunna upptäcka dessa mål är relaterat till vilken kontrast som målet avger i förhållande till bakgrund och omgivning och med vilken förmåga respektive sensor kan urskilja målet (Artman and Westman, 2007: p. 16).

Både AUDs och Xpeller har radar, EO/IR samt RF identifiering i systemens grundkonfiguration. Systemen är tämligen likvärdiga. AUDS radar A400 arbetar med frekvenser på Ku-bandet (12-18 GHz). Avstånd för upptäcka en mini UAV av typen DJI Phantom 3 uppger Chess Dynamic till mer än 2000 meter (Chess Dynamics, 2018) vilket för studien avrundas till 2500 meter. AUDS radar har ett 180° horisontellt avsökningsområde i grundkonfiguration med en svephastighet på 2 sekunder. A400 har ett antennberoende vertikalt avsökningsområde mellan 10° och 15° utökat med M10S antenn samt 20° och 30° utökat med W20S antenn. A400 klarar att registrera upp till 700 mål (Blighter, 2017b).

Xpeller:s radar Spexer 500 arbetar på X-bandet (8-12 GHz). Hensoldt uppger att Spexer 500 upptäcker en mini UAV på mellan 2000-3000 meter vilket för studien avrundas till 2500 meter för DJI Phantom 3 (Hensoldt, 2018). Spexer 500 har ett 120° horisontellt avsökningsområde i grundkonfiguration med en svephastighet på 1,3-1,5 sekunder. Vertikalt avsökningsområde är 30°.

Inget av systemen har begränsningar i radaravstånd för att upptäcka UAV som anges i situation 1 eller 2. Samtliga intervjuade utom en bekräftade att systemens förmåga att upptäcka mini-UAV med radar överstiger 1300 meter (Intervjuperson 1, 2018; Intervjuperson 3, 2018; Intervjuperson 4, 2018). Vidare skiljer sig systemens radar i sökningens höjd- och vidvinkel i grundkonfiguration. Dock kan båda systemen tillföras fler radarenheter upp till 360° vidvinkeltäckning vilket således inte utgör begränsningar för kriteriet måluppfyllnad utan relateras till kriteriet kostnad för fler tillförda enheter. Systemens förmåga att avsöka i höjddled skiljer sig. Spexer 500 har ett vertikalt avsökningsområde på upp till 30° i höjddled och A400 har ett antennberoende avsökningsområde mellan 10° och 20° i höjddled. Båda systemen kan kompletteras med mekanisk tiltfunktion för utökat vertikalt avsökningsområde. Dessa skillnader är enligt forskarna på FOI relaterade till radardesignerna men eftersom både Spexer 500 och A400 har god förmåga att upptäcka UAV på

avstånd får skillnaden i elevation marginell betydelse (Intervjuperson 4, 2018; Intervjuperson 6, 2018). När det kommer till felkällor såsom fåglar anger både Hensoldt och Chess Dynamics att respektive radar klarar att särskilja UAV från fåglar men ingen anger närmare på vilket sätt, inom vilka avstånd eller med vilket resultat (Chess Dynamics, 2018; Hensoldt, 2018). Det är således en osäkerhet för undersökningen vilket också stöds i FOI rapport om mikrodopplersignaturer från UAV (Nilsson et al., 2016). I rapporten beskrivs att det finns ett antal olika metoder för att särskilja UAV från fåglar men det kräver mycket arbete och aktiva signaturbibliotek vilket tar tid att upprätta. Rimliga alternativ är att elektrooptiska sensorer kompletterar radar med urskiljning av fåglar. Båda systemen kompletterar radar med högupplöst elektrooptisk visuell kamera med IR kapacitet samt RF identifiering av UAV styrnings- och transmissionssignaler i de vanligaste förekommande kommersiella frekvensområdena ISM och GNSS. Vad beträffar akustiska sensorer för upptäckt anger Hensoldt att detta ingår i grundkonfiguration för Xpeller men kapacitet på sensorn är inte tillgänglig varpå det endast kan värderas att sensorn finns tillgänglig (Hensoldt, 2018b). Akustisk sensor nyttjas inte för AUDES (Chess Dynamics, 2018).

För att genomföra upptäckt med radar förutsätts LOS. Båda undersökta system kan grupperas på tillräcklig höjd i situation 1 och 2 vilket ger hinderfri radaroperation och goda förutsättningar att upptäcka UAV. De intervjuade forskarna på FOI menade att radar inte är begränsade att upptäcka UAV vid takgruppering i situation 1 och 2 (Intervjuperson 4, 2018). För upptäckt av UAV på nära avstånd i situation 2 krävs en gruppering av delat system i de motsatta hörnen på byggnaden för att kunna utnyttja depressionsvinkel till marken längs med byggnadens sidor. Begränsningar för radar att upptäcka UAV uppstår om flygning genomförs på lägre höjd skydd av föremål som träd och byggnader. Ett sådant uppträdande kräver dock mycket kunskap hos en UAV operatör i kombination med tekniska sensorer på UAV för stöd av hinderobservationer vilket inte återfinns på DJI Phantom 3.

Tabell 2 - Sammanfattning kriterier ur upptäcka med koppling till militär effektivitet

Indikator	Kriterier	AUDES	Xpeller
Måluppfyllnad/Tid	Maximal räckvidd för upptäckt, LOS	2500 meter, mini UAV	2500 meter, mini UAV
Måluppfyllnad	Minsta räckvidd för upptäckt, NLOS	<10 meter	10 meter
Måluppfyllnad	Täckningsgrad frekvensområden upptäckt	Saknar akustisk sensor	Hög

Fredrik Green

1MT019 2018

2018-05-21

Kostnad/Risk	Larmhantering, felkällor	Lågt	Lågt
Kostnad	Kontinuerlig beman- ning/Redundans	Operatör, låg grad system- nedgång	Operatör, låg grad systemned- gång

Lokalisera

Lokalisering inom CUAS förutsätter vidare att ett upptäckt föremål i lufthavet måste lägesbestämmas i förhållande till omgivning och miljö. Ett tekniskt system för CUAS måste innehålla funktioner för att registrera det upptäckta målets fart, avstånd, höjd och geografiska position. För att medge detta krävs det att CUAS systemet kan nyttja flera olika typer av sensorer som arbetar sensoröverlappande eftersom ingen enskild sensor klarar alla uppgifterna (Intervjuperson 5, 2018; Intervjuperson 6, 2018). Radar kan läges bestämma det upptäckta föremålet eftersom radarn sänder radiovågor som reflekteras från det upptäckta objektet varpå radarn kan räkna ut avstånd och hastighet baserat på objektets positionsdifferens. Både Spexer 500 och A400 radar är i dagsläget elektrisk styrd med hänsyn till fördelar som ökad förmåga att detektera mål med små radar-målytor, möjlighet att nyttja antenn för fler ändamål (multifunktion) och situationsoptimering (Artman and Westman, 2007: p. 43). Radarmålets area (RMA) är också en avgörande faktor för upptäckt, vilket kan beräknas med vissa osäkerheter. Chess Dynamics uppger att A400 radar kan upptäcka UAV med en RMA om 0,01 m² vilket motsvarar en fågels målstorlek (Artman and Westman, 2007: p. 32). För Hensoldts Spexer 500 anges inte minsta RMA, dock anges att radarn kan urskilja fåglar med god marginal. För studien antas Spexer 500 kunna upptäcka mål med RMA på 0,01 m². Radarsystem är fortfarande begränsade och inte tillräckligt allsidiga för att lokalisera alla måltyper vilket medför behov av kompletteringar av andra sensorer. Elektrooptiska sensorer kan utföra kompletteringar vilket är vanligt i dagsläget. Visuellt och infraröd kamera med hög upplösning i kombination med programvara för automatisk följning av registrerade mål används i dessa sammanhang. En allt vanligare funktion för detta kallas ”slew-to-cue” vilket innebär att radar upptäcker målet och invisar den kompletterande elektrooptiska sensorn för stöd med lokalisering. Båda AUDES och Xpeller nyttjar denna funktionalitet.

Videotracker är en funktionalitet som bidrar till detta. Funktionen innebär att de visuella sensorerna är understödda av en mjukvara som följer definierade målobjekt i sensorernas alstrade bilder och på så sätt medger till efterföljande *klassificering* och *identifiering*. Båda systemen nyttjar

denna funktionalitet. Detta är en funktionalitet som de intervjuade på FOI beskrev som ett tidsbesparande stöd för bekämpningen då den medger operatören mer tid till att fatta beslut om åtgärder (Intervjuperson 4, 2018).

En UAV utgör målobjekt för CUAS systemet att hantera och således det primära hotet i situationen men för att påverka hotet behöver det sekundära hotet identifieras vilket kan utgöras av den operatör som kontrollerar UAV. För att lokalisera en operatör som kontrollerar en UAV behövs en sensor som kan upptäcka den styrsignal som operatören använder. Xpeller nyttjar en geolokalisering funktionalitet av hybridkaraktär som kombinerar TDOA (Time Difference Of Arrival) med AOA (Angle Of Arrival) och kallas DF (Direction Finder) (Hensoldt, 2018). Förenklat beskrivet är detta en RF mottagare som kan pejla och läges bestämma RF baserat på tids- och vinkelavvikelser. För kommersiella UAV är styrsignal vanligtvis känd eftersom de flesta UAV använder sig av signaler på det kommersiellt standardiserade ISM bandet (Industrial, Scientific and Medical) som avser licensfria frekvenser för radiostyrd elektronik, WiFi och analog videoöverföring. De vanligaste licensfria frekvenser som nyttjas av kommersiella UAV i Europa redovisas i tabell 13 i bilaga 1. I dialog med företaget som tillverkar AUDES framkommer att man har valt bort DF funktionalitet och stället nyttjar radarhistorik som underlag för att lokalisera operatören (Chess Dynamics, 2018). Företaget menar att DF bl.a. resulterar i ökad mängd falska registreringar, i synnerhet i befolkningscentra som i situation 2 där signalmiljön innehåller fler signaler. Man menar även att det är ett problem med DF då funktionen kräver referensmottagare som vanligtvis placeras på alternativa platser för att uppnå separation i tid eller geografi från huvudmottagaren.

Tabell 3 - Sammanfattning kriterier ur lokalisera med koppling till militär effektivitet

Indikator	Kriterier	AUDES	Xpeller
Måluppfyllnad	Minsta RMA, Radarmålarea	0,01 m ²	0.025 m ²
Måluppfyllnad/Tid	Slew-to-cue	Ja	Ja
Måluppfyllnad	Målföljning	Ja	Ja
Måluppfyllnad/Tid	Lokalisera operatör	Ja, Radarhistorik	Ja, DF

Klassificera och identifiera

De sensorer ingående i CUAS system som stödjer med klassificering är vanligtvis de samma som stödjer med identifieringen av ett målobjekt. För undersökningen beskrivs därav momenten klassificera och identifiera under samma stycke.

Förenklat beskrivet är identifiering av en UAV en djupare analys av klassificeringen. CUAS systemets förmåga att klassificera kan utföras automatiskt och kräver funktionalitet som utför hänsyftnings- och referenskontroller (Intervjuperson 4, 2018; Intervjuperson 5, 2018; Intervjuperson 6, 2018). Det kan även utföras manuellt av en människa som har studerat och lärt sig olika attribut och egenskaper hos UAV som har konstruerats och finns tillgängliga. Två av de intervjuade menade att manuell klassificering fortfarande behöver utföras av en operatör, dels eftersom utvecklingen av kompletta bibliotek inte är tillgängliga i dagsläget och dels för att en tränad människa fortfarande kan genomföra vissa visuella klassificeringar fortare och med större säkerhet än en mjukvara (Intervjuperson 1, 2018; Intervjuperson 3, 2018). CUAS systemen behöver således vara utrustade med elektrooptisk visuell dagkamera samt visuell IR (infraröd) kamera för mörkerobservation. Visuell klassificering av UAV behöver kunna genomföras på ca 1000 meters avstånd i både situation 1 och 2 för att möjliggöra efterföljande bekämpning vilket kräver ca 10-12 pixlars upplösning, d.v.s. med 640 x 512 pixel sensor och en fokallängd mellan 430 mm och 960 mm. Befintliga betingelser i miljö påverkar även kamerornas förmåga vilket medför osäkerheter (Artman and Westman, 2007: p. 67). De intervjuade på FOI menade att båda CUAS system i studien klarar visuell klassificering av UAV på ca 1000 meter i dagsljus och mörker enligt specifikationer men att det även kräver träning av operatören som utför observationen (Intervjuperson 4, 2018). Detaljerad information avseende systemens referensbibliotek för visuell klassificering är inte känd vilket medför att värdering av EO/IR kamera endast genomförs om systemet har tillgång till specificerad förmåga på 1000 meter.

De automatiska åtgärderna för klassificering och identifiering är komplexa och består av en fusionering av flera olika sensorers registrerade information om målobjektet. Exempelvis kan en mikrodoppler radar skilja på en fågels vingslag ifrån en multikopters rotorblad (Nilsson et al., 2016; Intervjuperson 6, 2018). Forskarna på FOI beskrev under intervju att det finns goda möjligheter att med radar urskilja specifika egenskaper hos ett målobjekt men det krävs tid och mer forskning att bygga kunskapen för bibliotekshantering (Intervjuperson 4, 2018; Intervjuperson 5,

2018; Intervjuperson 6, 2018). RF klassificering och identifiering kan genomföras när radiofrekvenser indikeras i eter, Wi-Fi-nätverk kan identifieras via MAC-adress och även kapas av CUAS systemet (Intervjuperson 2, 2018; Intervjuperson 3, 2018; Intervjuperson 5, 2018).

Samtliga intervjuade ser positiva effekter med tillämpning av referensbibliotek för klassificering och identifiering. Dock menar de intervjuade att Försvarmakten behöver bygga upp hanteringen av referensbibliotek för alla tillgängliga sensorer inom CUAS, inte bara för vissa sensorer (Intervjuperson 1, 2018; Intervjuperson 2, 2018; Intervjuperson 3, 2018; Intervjuperson 4, 2018; Intervjuperson 5, 2018; Intervjuperson 6, 2018). En intervjuperson uttryckte att referensbiblioteken även bör matcha de verkanssensorer som nyttjas i situationen eftersom informationen kan indikera med vilken typ och hur verkan ska genomföras (Intervjuperson 3, 2018). Det är således väsentligt att befintlig datamängd som avses utgöra referensinformation att kontrollera aktuellt målobjekt emot är tillförlitlig och reliabel för att uppnå ett gynnsamt läge för efterföljande beslut om åtgärd.

Identifiering av en UAV utgör det avslutande momentet i bekämpningskedjan inför val av påverkansåtgärder av CUAS systemet. Identifiering åsyftar möjlighet att urskilja målobjektets unika egenskaper för att medföra ett proportionerligt val av påverkansåtgärder och är en djupare form av hänsyftnings- och referenskontroller. CUAS systemets förmåga att identifiera målobjektets hotande egenskaper står i förhållande till tidsbegreppet att motverka UAV. En god förmåga till identifiering av UAV leder till ett gynnsamt tidsförhållande till efterföljande moment i bekämpningskedjan vilket i sin tur ökar sannolikheten till välavvägd verkan.

Tabell 4 - Sammanfattning kriterier ur klassificera och identifiera med koppling till militär effektivitet

Indikator	Kriterier	AUDS	Xpeller
Måluppfyllnad	EO dagsljus, 1000 meter	Ja	Ja
Måluppfyllnad	EO/IR Mörker kamera, 1000 meter	Nej	Ja
Måluppfyllnad/ Tid	Referensbibliotek Visuellt	Ja	Ja
Måluppfyllnad/ Tid	Referensbibliotek RF	Ja	Ja
Måluppfyllnad/ Tid	Referensbibliotek Radar (signatur)	Ja	Ja

Besluta, leverera och verkan

Bekämpningsmodellens moment besluta, leverera och verkan är i undersökningen sammankopplade. Vid bekämpning av UAV har tidsfaktorn en central betydelse. Modellens moment ska genomföras med kronologi vilket betyder att varje moment utgör ett mått med krav som måste uppfyllas. Vid effektoptimering söker nyttjare förenkla de krav som tar onödig tid. Detta kan göras med automatiska funktioner eller sensorer som kan utföra flera av modellens steg. De beskrivna situationerna medger ej automatiska beslut om verkan vilket förutsätter mänskligt ansvar för beslut.

En viktig aspekt att ta hänsyn till inom interaktionen mellan människa och teknik för tekniska CUAS system nämligen det mänskliga beslutets tidsåtgång. Eftersom det sannolikt förutsätts ett mänskligt beslut för bekämpning av obemannade flygande farkoster behöver CUAS systemet funktionalitet avseende stödjande tidsreducerande processer för bl.a. beslut om bekämpning (NIAG, 2017: pt. D-4). För detta kan olika cybernetiska modeller nyttjas då de visualiserar med vilken dynamik funktioner utförs och vilka förutsättningar som krävs av systemets olika komponenter eller sensorer (Andersson et al., 2009: p. 15).

Både AUDES och Xpeller tillämpar operatörsstyrning genom C2 med ett öppet användargränssnitt av en operatör vilken genomför beslut och leverans av verkan mot målet. För studien har detaljerad information om systemens digitala miljöer inte varit tillgänglig vilket begränsar möjlighet att värdera operatörens åtgärder vid beslut om och leverans av verkan. Studien värderar inte heller med vilken tidsåtgång systemen effektuerar ett beslut och hur det omsätts till leverans av vald verkan. Användargränssnitt värderas således endast mot måluppfyllnad.

Momentet besluta avser ett fastställande av aktiv påverkan på UAV. Grundläggande parametrar för beslut utgörs av kunskap och medvetenhet om skyddsvärdet för vilket CUAS systemet är tillfört att skydda. Ett beslut förutsätter vidare kännedom om regler och mandat samt eventuella miljö- och situationsrelaterade krav. För CUAS system i situation 1 och 2 föreligger ingen skillnad i status på skyddsobjekten. Skyddsvärdet i de olika situationerna värderas också likvärdigt i studien. Däremot är det skillnader i situationerna avseende miljö samt olika beskafter hos målobjekten.

Inom momentet leverera åsyftas val av CUAS systemets tillgängliga verkansmetoder och dess förmågor för bekämpning/påverkan på UAV. De olika typer av verkansformer som kan nyttjas inom CUAS kan delas in i Hard-kill och Soft-kill. Indelningen kan grovt beskrivas syfta till ett urskiljande mellan förstörande verkansformer och hindrande verkansformer. NIAG beskriver soft-kill (mission kill) relaterad till bekämpning av motståndarens mål med UAV flygningen och hard-kill (plattform kill) till bekämpning av plattformen (NIAG, 2017: p. 55). Verkansformerna och deras påverkan beskrivs i tabell 15 i bilaga 1. NIAG gör även skillnad på verkansformer och leveransmetoder. Syftet är att lättare följa den tekniska utvecklingen av verkansformer och leveransmetoder och lättare att kunna modulera ett tekniskt system för CUAS situations anpassat. Det syftar också till att kunna nyttja befintliga verkans- och leveransformer som redan finns utvecklade och används inom luftvärnsstrid eller annan strid till förmån för CUAS. Denna undersökning avhandlar fortsättningsvis endast verkansformerna i kategorin soft-kill som medges att tillämpas m.h.t. undersökningens rådande situationsvariabler.

I situation 1 är avstånd från skyddsobjektets gräns till närmaste bebyggelse och tredje man ca 600 meter. För att ett beslut om verkan mot en identifierad UAV ska kunna fattas krävs säkerhet för tredje man. M.h.t den relativt glesbefolkade omgivningen och avstånden till bebyggelse är förutsättningarna goda att genomföra verkan mot UAV. Kinetiska verkansmetoder är dock begränsade m.h.t risker då avstånd för kinetiska verkansmetoder överskrider tillåtna riskavstånd.

Både AUDS och Xpeller levereras med verkansmetoder för RF störning på ISM band och GNSS. Uteffekt anges till 400 W för båda systemen vilket ger teoretiska verkansavstånd på mellan 500 – 1500 meter beroende på om störfrekvensen sänds direktriktat eller brett. För störande eller vilseledande verkan mot navigationssignal föreligger begränsning då detta påverkar övrig teknologi som nyttjar GNSS.

I situation 2 är avstånd till tredje man betydligt kortare, under 100 meter. Risken för påverkan på tredje man är således mycket större i situation 2. För verkan med RF störning krävs tydliga avgränsningar i omgivande terräng och bebyggelse. Verkan måste genomföras direktriktat i större utsträckning. RF störning eller vilseledning av GNSS kan genomföras i situation 1 men sannolikt inte i situation 2 då det påverkar tredje part vilket samtliga intervjuade bekräftade (Intervjuperson 1, 2018; Intervjuperson 2, 2018; Intervjuperson 3, 2018; Intervjuperson 4, 2018; Intervjuperson 5, 2018; Intervjuperson 6, 2018).

Wi-Fi kapning av styrsignalen är möjlig i situation 1. Både AUDES och Xpeller har denna verkanmetod vilket innebär att styrsignalen identifieras och CUAS systemet tar över kontrollen av signalen. I situation 2 är denna metod inte sannolik. Vid två intervjuer angavs detta dels m.h.t signalmiljön och begränsningar med många Wi-Fi signaler. Men framförallt eftersom målobjektet i situation 2 inte använder styrsignal för kontroll utan endast navigerar med GPS signal (Intervjuperson 3, 2018; Intervjuperson 4, 2018; Intervjuperson 5, 2018).

Vid intervju bekräftas att tekniska system för CUAS i situation 2 behöver referenshantering för att genomföra bekämpning med säkerhet (Intervjuperson 4, 2018; Intervjuperson 5, 2018). Systemet måste således kunna presentera för operatören vilken typ av mål som uppenbarar sig i luftvolymen och åtgärderna inför den presentationen måste genomföras snabbt för att medge beslut om åtgärd. Signalmiljön i situation 2 är sannolikt betydligt mer utmanande än den i situation 1 m.h.t. den omfattande mängd signaler som sänds i befolkningscentra. Under tre intervjuer var de intervjuade eniga om svårigheter att genomföra RF störning i situation 2 (Intervjuperson 1, 2018; Intervjuperson 3, 2018; Intervjuperson 4, 2018). Två intervjuade menar att för att uppnå skydd för skyddsobjektet i situation 2 krävs kompletterande fysiska skyddsåtgärder såsom stora hinderande nät monterade runt om skyddsobjektet (Intervjuperson 1, 2018; Intervjuperson 3, 2018).

Verkansformen HPM (HögeffektPulsad Mikrovågstrålning) kan ge god verkan på målet. Verkansavstånd för HPM är beroende på vald uteffekt. Det är en verkansform som stör eller förstör elektronik vilket gör den lämplig för verkan mot UAV. Dock föreligger det risker för oavsiktlig verkan på tredje part inom verkansområdet. Vid tre intervjuer menar intervjupersonerna att HPM inte kan användas i situation 2 då avstånd till tredje part är för korta (Intervjuperson 1, 2018; Intervjuperson 3, 2018; Intervjuperson 4, 2018).

AUDES Operator Console & GUI och Xpeller GUI bygger på öppna användargränssnitt med full integration av sensorinformation. Båda gränssnitten medger systemdrift av en operatör med full sensorstyrning (C2) samt beslut om verkan. Tillverkarna uppger att systemen är interoperabla med nyttjarens tredje parts informationssystem och databaser. Vid installation av systemen genomförs planering och rekognoscering av miljö och omgivning för att på bästa sätt konfigurera CUAS systemens möjligheter och begränsningar till verkan (Chess Dynamics, 2018; Hensoldt, 2018).

Fredrik Green

1MT019 2018

2018-05-21

Tabell 5 - Sammanfattning kriterier ur besluta, leverera och verkan med koppling till militär effektivitet

Indikator	Kriterier	AUDS	Xpeller
Måluppfyllnad/Kostnad	Operatör	Ja, en	Ja, en
Måluppfyllnad	Ledningssystem, användargränssnitt	Ja, öppet	Ja, öppet
Måluppfyllnad/Risk	Mjukvarudefinierade gränser GIS	Ja	Ja
Måluppfyllnad	Verkansformer soft-kill	Ja	Ja, saknar HPM
Måluppfyllnad	Verkansformer hard-kill	Ja	Nej
Måluppfyllnad/Risk	Möjlighet tillföra alternativa verkansformer	Ja	Ja
Risk	Reglerbar effekt, elektromagnetiska verkanformer	Ja	Ja
Risk	Reducera oavsiktlig verkan	Ja	Ja

Utvärdera

Det tekniska CUAS systemets förmåga att utvärdera innebär primärt att systemet har funktionalitet för att stödja vid bedömning av vilken måluppfyllnad vald verkansform har i målet. Detta sker med det huvudsakliga syftet att återuppta/fortsätta/alternera verkansmetod för att bekämpa UAV. Systemet bör uppmärksamma operatör på avvikelser från måluppfyllnad.

Systemet kan låta operatören utföra utvärdering via sensorer i realtid. Systemet måste således kunna följa målet under bekämpningen och registrera och dokumentera avstånd, hastighet och position för att indikera om vald verkansform ger önskad effekt. Båda systemen nyttjar operatör med visuell utvärdering av verkan.

Momentet *utvärdera* innebär också att systemet registrerar måldata med syftet att kunna stödja eventuella åtgärder för att beslagta UAV efter att den nedkämpats. Två intervjupersoner angav detta som en utav de viktigaste förmågorna för ett tekniskt CUAS system (Intervjuperson 1, 2018; Intervjuperson 3, 2018). Detta eftersom aktören är det faktiskt hotande elementet, UAV är bara ett medel vilket om den stoppas inte påverkar aktörens möjligheter att fortsätta med andra hotande åtgärder. Ett tekniskt system för CUAS kan genom åtgärder i momentet utvärdera tillföra värdefull information som efter bearbetning skapar underrättelser för beslutsfattare på olika nivåer. Detta menar de intervjuade måste kunna integreras med Försvarmaktens exploateringsfunktion (Intervjuperson 1, 2018; Intervjuperson 3, 2018). För att kunna bekämpa motståndaren behöver all tillgänglig information som kan identifiera eller härleda UAV till denne inhämtas och sammanställas inom exploateringsfunktionen.

Tabell 6 - Sammanfattning kriterier ur utvärdera med koppling till militär effektivitet

Indikator	Kriterier	AUDS	Xpeller
Måluppfyllnad/Tid	Målvärdering, hot analys	Ja	Ja
Måluppfyllnad	Måluppfyllnad, bekämpat mål	Ja	Ja
Måluppfyllnad/Tid	Dokumentation/Inspelning	Ja	Ja

6 Analys

Kriterier inom indikatorn måluppfyllnad

Vid en sammanvägning av resultatet för måluppfyllnad för CUAS systemen att genomföra bekämpning av kommersiell UAV kan konstateras att både AUDS och Xpeller i stort uppfyller kraven. De båda systemen är likvärdiga i funktionalitet och förmåga med ett fåtal undantag. AUDS saknar förmåga att upptäcka UAV akustiskt. Denna brist kan i dagsläget anses vara av mindre betydlig karaktär men eftersom utvecklingen av autonoma UAV med förmåga att flyga utan signaler ökar kan en akustisk sensor komma att vara långt mer betydelsefull i en nära framtid. Xpeller har även en bättre förmåga att upptäcka UAV i mörker m.h.t. en IR kamera med högre upplösning. Det ger Xpeller en fördel. Vidare skiljer sig systemen avseende metod för att lokalisera en eventuell operatör som kontrollerar en UAV. Denna skillnad medför ingen brist då båda systemen uppfyller målet att kunna genomföra lokaliseringen. Den största skillnaden återfinns inom allsidighet avseende systemens verkansformer. Xpeller saknar verkansformer i kategorin hardkill samt verkansformen HPM. Studiens situationsvariabler har inte värderat eventuell effekt av dessa verkansformer m.a.a. att typsituationerna inte medger dessa verkansformer med risk för oavsiktlig verkan.

Tabell 7 - Kriterier kopplade till indikator Måluppfyllnad

Indikator	Kriterier	AUDS	Xpeller
Måluppfyllnad	Maximal räckvidd för upptäckt, LOS	2500 meter, mini UAV	2500 meter, mini UAV
	Minsta räckvidd för upptäckt, NLOS	<10 meter	10 meter
	Täckningsgrad frekvensområden upptäckt	Saknar akustisk sensor	Hög
	Minsta RMA, Radarmålarea	0,01 m ²	0.025 m ²
	Slew-to-cue	Ja	Ja
	Målföljning	Ja	Ja
	Lokalisera operatör	Ja, Radarhistorik	Ja, DF

Fredrik Green

1MT019 2018

2018-05-21

EO dagsljus, 1000 meter	Ja	Ja
EO/IR Mörker kamera, 1000 meter	Nej	Ja
Referensbibliotek Visuellt	Ja	Ja
Referensbibliotek RF	Ja	Ja
Referensbibliotek Radar (signatur)	Ja	Ja
Operatör	Ja, en	Ja, en
Ledningssystem, användargränssnitt	Ja, öppet	Ja, öppet
Mjukvarudefinierade gränser GIS	Ja	Ja
Verkansformer soft-kill	Ja	Ja, saknar HPM
Verkansformer hard-kill	Ja	Nej
Möjlighet tillföra alternativa verkansformer	Ja	Ja
Målvärdering, hot analys	Ja	Ja
Måluppfyllnad, bekämpat mål	Ja	Ja
Dokumentation/Inspektion	Ja	Ja

Kriterier inom indikatorn tid

Samtliga kriterier som värderats med anknytning till indikatorn tid har värderats sekundärt. Det innebär att kriterierna har värderats primärt med koppling till någon utav de övriga indikatorerna måluppfyllnad, risk eller kostnad. Av detta är det lätt att dra slutsatser om att indikatorn tid har en mindre betydande påverkan inom dimensionen militär effektivitet. Det bör dock nämnas att tidsfaktorns betydelse för ett CUAS system vid bekämpning av UAV är av stor betydelse sett till helheten. Bekämpningsmodellen visar på att dess kronologi är en förutsättning för att uppnå bekämpning. Kronologin medför dock begränsningar om svårigheter uppstår i något moments utförande som resulterar i ett ökat tidsuttag. Detta eftersom ett för långsamt utfört moment i modellen kan skapa tidsbrist som efterföljande moment har svårt att ta igen. Det uppstår en rest som förs vidare till efterföljande moment. Detta går att beskriva med att kedjans svagaste länk är dels det moment med längst tidsuttag men samtidigt modellens kronologi. I denna undersökning har de värderade kriterierna formulerats för att visa på vilka funktioner och förmågor de två jämförda systemen för CUAS uppfyller. Undersökningen påvisar inte hur detta går till vilket medför att resultat för de två systemens brister i funktioner eller förmågor som skapar tidsbrister enligt ovan inte värderas.

Kriterierna för värdering av systemens resultat med koppling till indikatorn tid uppfylls likvärdigt. Den noterade skillnaden avseende funktionalitet för att lokalisera UAV operatör samt relaterad tidsskillnad bedöms som marginell då båda systemen använder funktionalitet för att lokalisera operatör. Xpeller nyttjar förvisso pejlande funktionalitet som kompletterar radarhistorik vilket indikerar sensoröverlappande tillvägagångssätt men med studiens typsituationer som kontext medför detta inte någon mätbar tidsvinst.

Både AUDES och Xpeller nyttjar slew-to-cue funktionalitet för målinvisning av EO kamera vid radarupptäckt vilket besparar operatören tid att utföra visuell målföljning manuellt. Vidare anges för båda systemen att radar, RF och EO visuell kamera stöds av referensbibliotek vilket bidrar till tidsoptimerad klassificering och identifiering av mål.

Tabell 8 - Kriterier kopplade till indikator Tid

Indikator	Kriterier	AUDES	Xpeller
Tid	Maximal räckvidd för upptäckt, LOS	2500 meter, mini UAV	2500 meter, mini UAV
	Slew-to-cue	Ja	Ja
	Lokalisera operatör	Ja, Radarhistorik	Ja, DF
	Referensbibliotek Visuellt	Ja	Ja
	Referensbibliotek RF	Ja	Ja
	Referensbibliotek Radar (signatur)	Ja	Ja
	Målvärdering, hot analys	Ja	Ja
	Dokumentation/Inspelning	Ja	Ja

Kriterier inom indikatorn risk

Även för kriterierna inom indikatorn risk uppfyller de två jämförda systemen likvärdiga resultat. Inom indikatorn risk har de två översta kriterierna värderats som primära kriterier och de efterföljande som sekundära. Reduceringar av oavsiktlig verkan och reglerbar effekt, elektromagnetiska verkansformer anses utgöra de kriterier med störst betydelse för systemens förmåga att hantera risker under bekämpning. De båda systemen möjliggör reduktion av risker genom mjukvarubaserade verktyg för larva operatör enligt olika parametrar i miljö och situation vilket stödjer operatörens genomförande av bekämpning. Vidare har båda systemen möjlighet att analysera upptäckta målobjekt i övervakad luftvolym för att reducera påverkan på tredje part vilket medger dynamiska förhållningssätt till risker i miljön. Båda systemen har förmåga att tillföra verkansformer

som medför reducerande risker för oavsiktlig verkan vilket ökar möjlighet att använda CUAS system i anslutning till befolkningscentra. Den övergripande slutsatsen är att AUDES och Xpeller värderas lika vad avser hantering av risker för tillämpning i undersökningens typsituationer.

Tabell 9 - Kriterier kopplade till indikator Risk

Indikator	Kriterier	AUDES	Xpeller
Risk	Reducera oavsiktlig verkan	Ja	Ja
	Reglerbar effekt, elektromagnetiska verkanformer	Ja	Ja
	Larmhantering, felkällor	Ja, Lågt	Ja, Lågt
	Mjukvarudefinierade gränser GIS	Ja	Ja
	Möjlighet tillföra alternativa verkanformer	Ja	Ja

Kriterier inom indikatorn kostnad

De värderade kriterierna med koppling till indikatorn kostnad antyder på likheter i uppfyllnad mellan systemen. Båda systemen förutsätter kontinuerlig bemanning av operatör för drift vilket utgör den personella kostnaden. Kontinuerlig drift förutsätter således kontinuerlig bemanning av personal. Systemavbrott och nedgång av systemet korrigeras av systemoperatören.

Den tekniska mognaden har ansetts vara hög för båda systemen vilket resulterar i jämbördig driftsäkerhet med låg nivå av systemfel, kostnadsdrivande avbrott och underhåll. Avbrott av större karaktär samt fel på systemets delkomponenter och sensorer kan relateras till särskild expertkompetens vilket enligt de jämförda systemens båda tillverkare utförs av tillverkarnas egen personal.

Det är inte känt till vilken grad denna kunskap kan överföras till nyttjaren att utföra och värderas således inte i undersökningen.

Tabell 10 - Kriterier kopplade till indikator Kostnad

Indikator	Kriterier	AUDES	Xpeller
Kostnad	Kontinuerlig bemanning/Redundans	Operatör, låg grad systemnedgång	Operatör, låg grad systemnedgång
	Larmhantering, felkällor	Ja, Lågt	Ja, Lågt
	Operatör	Ja, en	Ja, en

7 Resultat militär effektivitet

Av 30 st kriterier uppfyller båda systemen 25 st likvärdigt. De 5 st kriterier som skiljer mellan systemen är *Täckningsgrad frekvensområden upptäckt*, *Lokalisera operatör*, *EO/IR Mörker kamera*, *1000 meter*, *Verkansformer soft-kill*, *Verkansformer hard-kill*. Samtliga av dessa kriterier är värderats inom indikatorn måluppfyllnad.

En slutsats av detta är att systemens skillnader är direkt kopplade till uppgiften bekämpning i nationell fredstida kontext. Sett till de faktiska olikheterna är AUDES brister relaterade till upptäckt och lokalisering vilket utgör förutsättningar för att kunna vidta åtgärder mot ett mål. Xpeller har brister relaterade till allsidighet avseende verkansformer. En slutsats av skillnaderna mellan systemen är att Xpellers fördelar inom upptäckt och lokalisering av UAV medför större säkerhet för upptäckt av mål i fler attityder d.v.s. i lågljusmiljö och avseende ljud med akustisk sensor. Här har Xpeller högre förmåga till upptäckt vilket påvisar smärre fördelar vid upptäckt på längre avstånd samt snabbare klassificering av UAV i mörker. Detta resulterar i mer tid till efterföljande moment under bekämpningen. Xpeller har även en mindre fördel vid upptäckt då det utnyttjar akustisk sensor vilket kan komplettera radarns brister med att upptäcka UAV i mask eller på nära avstånd samt där EO visuell kamera inte kan observera. Vidare förstärks Xpellers fördelar med nyttjandet av mjukvarustyrd RF pejll av operatör vilket har värderats högt eftersom möjligheterna att omhänderta ansvarig person för att få kunskap om aktören medför reell effekt på framtida hot. Systemens sammanfattande bestånd av verkansformer skiljer sig då AUDES har ett större utbud av verkanformer. Inom kategorin hard-kill har AUDES fördelar då systemet har tillgång till kinetiska verkansformer vilket medför allsidighet i situationer där lägre risker medger verkanformerna. Dock saknas specifikationer för huvuddelen av verkansformer i kategorin hard-kill för denna studie. AUDES fördelar är relaterade till verkan mot UAV i synnerhet då AUDES nyttjar HPM som verkanform inom kategorin soft-kill. Verkansformen har god effekt på UAV men innebär osäkerheter avseende risker för tredje part, i synnerhet i befolkningstäta områden där verkansområden överlappar områden där tredje part uppehåller sig. Det föreligger dock ett tydligt behov av verkansformen för att uppnå säkerhet och allsidighet vid bekämpning av vissa typer av UAV enligt situationer likt de i denna undersökning. Slutsatser som kan dras av detta är att trots att

AUDS nyttjar verkansformen HPM innebär osäkerheter avseende risker inte ökad sannolikhet för bekämpning.

Tabell 11 - Sammanställning särskiljande kriterier

Indikator	Kriterier	AUDS	Xpeller
Måluppfyllnad	Täckningsgrad frekvensområden upptäckt	Saknar akustisk sensor	Hög
Måluppfyllnad/Tid	Lokalisera operatör	Ja, Radarhistorik	Ja, DF
Måluppfyllnad	EO/IR Mörker kamera, 1000 meter	Nej	Ja
Måluppfyllnad	Verkansformer soft-kill	Ja	Ja, saknar HPM
Måluppfyllnad	Verkansformer hard-kill	Ja	Nej

Undersökningen påvisar efter sammanvägning av kriterier påfallande likheter avseende uppfyllnad av militär effektivitet mellan de jämförda systemen. Den övergripande slutsatsen är att både AUDS och Xpeller tillför militär effektivitet vid bekämpning av UAV i en nationell militär kontext dock föreligger gemensamma begränsningar kopplade till risker för tredje part. De undersökta verkansformerna för soft-kill medför i huvudsak störande verkan på tredje part men det föreligger risker för allvarliga indirekta konsekvenser för tredje part vid störning av kommunikation och navigation för kritiska samhällsviktiga system. Risker för oavsiktlig verkan är relaterade till verkansformer vilket beskrivs i konceptet för militär nytta med att oönskade effekter som motverkar uppgiftens lösande kan behandlas som en risk (Andersson et al., 2015: p. 14). En sådan innebörd kan komplicera studiens resultat då samtliga verkansformer för de jämförda systemen kan utsätta tredje part för risker. Å ena sidan kan nyttjaren reducera risker med verkansformer för att kunna verka mot mål utan att skapa risker för tredje man, vilket är svårt och resurskrävande. Å andra sidan kan nyttjaren nyttja verkansformer som inte utsätter tredje man för risker vilket begränsar nyttjaren till att uppnå verkan om det inte finns riskfria verkansformer för en given situation.

Både AUDS och Xpeller nyttjar riskreducerande system för dessa ändamål vilket ökar möjligheten att genomföra verkan men frågan om detta är tillräckligt kvarstår. Detta påvisar dock att det föreligger osäkerheter avseende systemens möjligheter till bekämpning av UAV i situationer där verkansområden överlappar områden där tredje part befinner sig. Inte minst m.h.t. att resultaten i undersökningen förutsätter att verkan mot UAV inleds långt utanför det militära skyddsobjektet

vilket utöver oavsiktlig störning även kan medföra utökade risker med eventuella explosiva laster för tredje part. En viktig slutsats av detta är att risk för tredje part påverkar verkan med alla verkansformer. Risk utgör därför en faktor som begränsar effekt med CUAS vilket måste omhändertas vid varje verkanssituation.

I tabell 17 i bilaga 1 sammanställs samtliga kriterier med koppling till militär effektivitet.

7.1 Svar på frågeställning

Frågeställningen i studiens inledning lyder:

Vilket av två kommersiellt tekniska system för CUAS uppfyller störst potentiell militär effektivitet vid skydd av Försvarmaktens militära skyddsobjekt i en nationell fredstida kontext.

Då studiens miljö och sammanhang avser bekämpning av UAV i fredstid i Sverige är svaret att Xpeller från Hensoldt uppfyller störst militär effektivitet. Xpeller har en högre förmåga till upptäckt och samtidigt ett större utbud av sensorer för att upptäcka och läges bestämma UAV.

Resultatet av undersökningen visar att både AUDES och Xpeller uppfyller en förhållandevis hög grad militär effektivitet och endast små skillnader föreligger systemen emellan.

Det är väl värt att notera att undersökningens resultat endast är giltiga under de förutsättningar beskrivna i scenariot. AUDES fördelar avseende fler verkansformer inom kategorin hard-kill påverkar inte studiens resultat. Fördelarna skulle kunna vara betydelsefulla för liknande undersökningar med alternativa sammanhang. Ett högre konfliktscenario där risker för angrepp på Försvarmaktens skyddsobjekt är sannolikt av relevans för Försvarmakten.

8 Diskussion

Studien har jämfört två tekniska system för CUAS i en svensk nutida miljö där aktören nyttjar UAV som medel för att påverka Försvarmaktens skyddsobjekt. Omständigheterna är avgränsade och snäva vilket medför att resultatens validitet endast avser förutsättningarna som beskrivs i studien. I likhet med andra teoretiska studier föreligger dock osäkerheter avseende studiens resultat. Detta relateras till att de tekniska specifikationerna för de jämförda tekniska systemen saknar djupgående data samt till studiens inledande problemlösning med oklarheter avseende För-

svarsmaktens utveckling av CUAS förmågan vilket sammantaget utgör begränsningar för undersökningen. Författaren har belyst dessa osäkerheter genomgående och bl.a. för att öka studiens reliabilitet och validitet.

Den framställning av kriterier för värdering som utförts i undersökningen har genomförts med medvetenhet om att det kan uppstå reliabla osäkerheter. Framställningen har utförts med kopplingen till nödvändiga egenskaper för uppfyllnad av effekt som kravställts av variabler utifrån omständigheter i beskrivna typsituationer samt antaganden och bedömningar avseende Försvarmakten som nyttjande organisation. Dessa har sedan validerats vid intervjuer och av experter inom angränsande kunskapsområden för ökad tillförlitlighet.

Studiens teoretiska ramverk med koppling till Anderssons et al. (2015) koncept för militär nytta är i studien inte helt oproblematiskt. Utöver det faktum att denna studie endast omfattar militär effektivitet som en del av det militära nyttobegreppet föreligger osäkerheter i studien omkring det som Andersson et al. (2015) beskriver avseende ett värderat tekniskt systems sammanhang som förutsättning för tillförlitliga resultat avseende militär nytta (Andersson et al., 2015: p. 8).

Problemformuleringen i inledningen visar på att Försvarmakten inte har fastställt sammanhanget för hur CUAS förmågan skall formas i organisationen för att uppnå mest militär nytta. Av just detta skäl kan studiens resultat och dess validitet ifrågasättas eftersom det i undersökningen genomförts antagande att Försvarmaktens säkerhetsorganisation utgör sammanhanget för vilket de tekniska systemen nyttjas den militära organisationen. Detta indikerar således att forskning omkring tekniska system för CUAS med koppling till begreppet militär lämplighet kommer att peka på dessa typer av brister.

Vidare får den externa validiteten få anses begränsad då kravställningen för bekämpningen utgår från situationsvariabler omkring två skyddsobjekt i fredstid. Således medför detta små möjligheter att generalisera studiens resultat avseende systemens uppfyllnad av militär effektivitet, om än till Försvarmakten som nyttjare och för den nationella kontexten i fredstid. Bryman menar dock att det är kvaliteten på de teoretiska slutsatserna som utgör generaliserbarheten och således torde de icke situationsbundna slutsatserna vara generaliserbara i större utsträckning (Bryman, 2011: p. 369).

Resultatet påvisar att de jämförda systemen innehar stora likheter avseende studiens frågeställning. Det indikerar även stora likheter avseende systemens brister kopplat till allsidighet med verkanformer vilket får anses vara underförstått av betydelse för Försvarmakten. Med försiktighet omkring tillverkarnas uppgifter avseende möjligheter att tillföra verkanstyper kan följaktligen säkra resonemang om allsidig verkan inte tillföras studiens resultat.

Tillverkaren för systemet AUDS uppger förvisso att kinetiska verkanstyper har prövats med systemet och uppger även att detta har genomförts i konfliktsituation med gott resultat men detta kan inte vetenskapligt härledas i denna studie (Chess Dynamics, 2018). Ett skäl till varför detta kan anses viktigt är att Förvarmakten inte kan bortse från kravställningar relaterade till högre konfliktnivåer. Om ett tekniskt system CUAS kommer att införas i Försvarmakten måste systemet kunna tillföra nytta i alla konfliktskalor vilket sannolikt kräver andra typer av verkansformer än de som presenteras i undersökningen.

Efter studiebesök vid FOI och kompletterande intervjuer med forskare vid olika FoT-projekt har bilden av forskningsläget vuxit fram (Intervjuperson 2, 2018; Intervjuperson 4, 2018). Härvid framgår att utmaningarna inom utvecklingen av tekniska motmedel för obemannade flygande farkoster är bl.a. teknisk mognad och forskningsprioritering i kombination med ekonomiska resurser. Stora delar av tekniska möjligheter inom detta område finns tillgängligt men då vissa delkomponenter har tagits fram för andra ändamål behöver dessa anpassas. Andra delkomponenter behöver vidareutvecklas för att stödja nytillkommen teknik.

Det handlar mycket om allsidighet kring att dels upptäcka hot i rätt tid samt att tillföra balanserad och proportionerlig verkan m.h.t mål, situation och miljö. Studien indikerar att Försvarmakten inte hinner omsätta den snabba teknikutvecklingen till åtgärder för att möta UAV hot. Försvarmaktens behöver således inte bara utveckla CUAS förmågan för att möta de tilltagande hoten som härrör från den ökande teknikutvecklingen kring och nyttjandet av obemannade flygande farkoster. Försvarmakten behöver sannolikt tillföra tekniska system till organisationen på bredd för att uppfylla CUAS förmågan att innehålla reella instrument för att med säkerhet kunna bekämpa UAV.

För Försvarsmakten är det dock fler delar av problemet som måste adresseras för att bekämpningen av UAV ska möjliggöras. I studien problemområde ges en bild av övriga delar i sammanhanget. Juridiska förutsättningar för att kunna använda tekniska system för CUAS vid bekämpning behöver etableras. I dagsläget är de otillräckliga för att Försvarsmakten ska kunna uppnå skydd mot UAV. Juridikens rättigheter och skyldigheter sträcker sig förvisso längre än Försvarsmaktens organisation och de senaste lagar och förordningar som reglerar det civila nyttjandet av UAV i Sverige medger vissa förbättringar avseende kontroll och uppföljning av flygningar (Transportstyrelsen, 2017).

Detta förändrar dock inte hotets karaktär och förhindrar således inte en illvillig aktör att påverka Försvarsmakten. Studien påvisar att utvecklingen av obemannade flygande farkoster har skapat nya tillvägagångssätt som i en allt större omfattning möjliggör oönskad påverkan på Försvarsmaktens verksamheter, objekt eller infrastruktur.

Det föreligger även att risker för att de beprövade erfarenheter som tillämpas i dagsläget för att skydda Försvarsmaktens verksamheter, objekt och/eller infrastruktur är verkanslösa. Påfallande få av Försvarsmaktens reglementen och instruktioner innehåller information om skydd mot UAV vilket å ena sidan förefaller naturligt eftersom förmågan att motverka UAV kan anses ny och omogen. Detta kan vidare till del förklaras med att kunskaper inte har trängt ut i organisationen. Å andra sidan är det inte orimligt att ställa sig frågan om detta kan relateras till en omedvetenhet inom Försvarsmakten avseende problemets omfattning och i förlängningen de negativa konsekvenser detta hot medför. Detta ger sammantaget bilden av att Försvarsmakten har ett bristfälligt förhållningssätt till hot från små obemannade flygande farkoster.

Autonomi- och automatikbegreppen inom tekniska system för CUAS tar allt större plats. Detta kommer sannolikt fortsätta i takt med att teknikutvecklingen av UAV fortsätter. Detta medför inte nödvändigtvis konkurrens med den mänskliga interaktionen och dess juridiska och etiska krav för verkan inom CUAS. Dock förefaller de tekniska kapaciteternas överlägsenhet relativt den mänskliga förmågan påkalla ökad grad av automatiserade funktioner inom dessa system för att överhuvudtaget uppnå effekt med de allt kortare tidsförlopp som UAV utvecklingen medger. Möjliga lösningar på detta kan vara att utveckla ledningssystemen inom tekniska system för CUAS till att i allt större omfattning innefatta rätt stöd för beslutsfattning snabbare.

För detta ändamål kan olika beslutsmodeller likt OODA-loopen vara stödjande. OODA-loopen är dock begränsad till beslutets tidsåtgång och inte den efterföljande effekten, d.v.s. att bekämpningen uppnås vilket således understryker behov av att analysera den minsta nivån av mänsklig interaktion avseende beslut i bekämpningsmodellen ur ett ledningssystemperspektiv (Andersson et al., 2009: p. 13). Här kan även cybernetiska modeller stödja ledningssystemutvecklingen. Den luftvärnslika designen för det tekniska systemet för CUAS i kombination med ledningens utförande i systemet är i detta avseende betydelsefullt att studera för att styra de olika komponenternas eller sensorers funktionsutförande som bidrag till avsedd måluppfyllnad med reducerad tidsåtgång under bekämpningen.

Vidare framgår det att Försvarmakten uppger luftvärnsförbandet att ombesörja ansvar för att motverka hot från små obemannade flygande farkoster i alla situationer, från fred till krig. Detta trots att luftvärnsförbandet saknar förmåga eller resurser till att lösa detta ökande hot i dagsläget. Försvarmakten står även inför en omfattande utveckling av luftvärnsförmågan under kommande år vilket ökar möjligheterna att möta hot från små obemannade flygande farkoster men det avser fortfarande verkan med luftvärnsrobotar vilket är ett exklusivt verkanssystem ämnat att verka mot mål som stridsflyg, missiler och robotar. Försvarmakten bör utreda hur skydd mot obemannade flygande farkoster skall bedrivas och på vilket sätt. För Försvarmakten kan det behövas ett alternativt synsätt till det som exempelvis NIAG förespråkar avseende utvecklingen och implementeringen av CUAS (NIAG, 2017).

Avslutningsvis är en återkoppling till studiens ursprungliga men ej genomförda ansats värdefull att diskutera. I inledningen av metodkapitlet beskrevs att en ansats för att värdera Försvarmaktens truppsystem mot tekniska system för CUAS med studiens kontext togs i början av arbetet. Denna ansats övergavs relativt tidigt med motivet att de eventuella resultat denna jämförelse kunde tillföra inte bedömdes tillräckligt värdefulla för Försvarmakten eftersom kapaciteter i sensorer överträffar de mänskliga sinnen. Detta förefaller både rimligt och troligt att det förhåller sig så men eftersom detta inte är undersökt i studien kan det heller inte grundas med vetenskaplighet. Det finns dock andra perspektiv för vilket en undersökning mellan truppsystem och tekniska system för CUAS kan tillföra värdefulla resultat till Försvarmakten. Ett sådant är relaterat till indikatorn kostnad inom dimensionen militär effektivitet enligt Andersson et al. (2015) kon-

cept för militär nytta (Andersson et al., 2015: p. 14). Denna studie påvisar att de tekniska systemen för CUAS har kapacitet att övervaka tämligen stora terrängavsnitt för att upptäcka UAV vilket genomförs med olika sensorer. Resultaten visar också på en relativt god måluppfyllnad avseende upptäckt och sedermera bekämpning. Vid en hypotetisk jämförelse mot truppsystemet kan det konstateras att det krävs en omfattande mängd personal för att truppsystemet ska kunna utföra motsvarande övervakning av samma terrängavsnitt. Detta konstaterande har en direkt koppling till måluppfyllnad avseende bekämpning eftersom kraven på lednings- och samordningsförmågan ökar då fler individer avdelas för lösande av bekämpningsuppgift (Intervjuperson 3, 2018). Detta kan skapa friktioner vilket medför risker för långa ledtider inför beslut om åtgärder. Det tekniska systemet för CUAS medger en enklare ledning, det innehåller automatiserade funktioner för optimering av information samt färre beslutssteg. Truppsystemets stora omfattning av personal för att lösa denna typ av uppgift medför även att personalen i större utsträckning utsätts för risker för vådabekämpning. Vidare indikeras samtidigt en överhängande kostnadsreducering med en indirekt koppling till måluppfyllnad vilket påtalats vid intervjuer (Intervjuperson 1, 2018; Intervjuperson 3, 2018). Intervjuade menar på att eftersom ett tekniskt system för CUAS frigör personalresurser för andra uppgifter kan detta även medföra ökade effekter inom andra verksamhetsområden.

8.1 Fortsatta studier

Det är av intresse att tillföra kunskap från praktiska undersökningar av tekniska system för CUAS. Givetvis även kompletterande studier med undersökningar avseende dimensionerna militär lämplighet och ekonomisk överkomlighet för att uppfylla hela omfattningen av begreppet militär nytta.

Vidare utgör studiens nationella fredstida kontext endast en del av sammanhanget där CUAS förmågan behöver undersökas. Högre konfliktnivåer ställer andra krav på CUAS förmågan varför sådana undersökningar behöver genomföras för att tillföra kunskap om tekniska system för att bekämpa UAV med förstörande verkan. Här är det även intressant att undersöka med vilken effektivitet tekniska system kan bekämpa micro-UAV eller olika typer av svärmar med UAV.

Forskning om sensorer och dess effekter är också ett område som har direkt koppling till CUAS. Tekniska system för CUAS är i dagsläget generellt begränsade av de ingående verkanssensorernas oavsiktliga påverkan på tredje part. Forskning bör därför genomföras omkring reducering sensorers oavsiktliga påverkan vilket kan resultera i högre grad av måluppfyllnad med befintliga verkanssensorer men också fler verkansmöjligheter.

De olika verkanstyperna som beskrivits i undersökningen utgör de mest förekommande verkanstyper som relateras till CUAS. Detta leder till rimliga antagandet att fler verkanstyper är möjliga att använda för att bekämpa UAV. NATO:s studiegrupp 200 är inne på det här spåret när de beskriver att tekniska system för CUAS inte är tillräckligt allsidiga (NIAG, 2017). Det finns inget känt tekniskt system för CUAS som kan hantera samtliga hot i alla konfliktnivåer i dagsläget. I undersökningens båda typsituationer skulle exempelvis bekämpning kunna genomföras genom att skjuta ett nät mot UAV. Teoretiska möjligheter med att bekämpa UAV med förstörande laser föreligger också men inget av de undersökta systemen levereras med de verkansformerna vilket för undersökningen är en brist. För Forsvarsmakten är det därför intressant att studera hur fler verkansformer, både nya och/eller befintliga verkanstyper kan inkluderas inom CUAS.

Studiegruppen uttrycker vidare att CUAS endast kan utgöra den lägsta dimensionen av luftvärnsstriden vilket förutsätter full interaktion med luftvärnets sensorer. För Forsvarsmakten är det elementärt att implementeringen av CUAS förmågan genomförs med relation till luftvärnsförmågan för att uppnå synergier i nyttjandet av sensorer vid alla moment i bekämpningskedjan. Följaktligen är det intressant att studera hur Forsvarsmakten kan tillföra tekniska system för att bekämpa UAV inom luftvärnet och om en sådan integrering bör genomföras.

Forskningen bör även säkerställa leverans av resultat till fler teknikområden för att öka utvecklingsmöjligheter av angränsande teknikområden. För CUAS är detta särskilt noterat för forskning om sensorer som har andra användningsområden men kan ge goda resultat inom CUAS.

Litteraturförteckning

- ANDERSSON, J., ASTELL, M., and BREHMER, B., 2009. *Lärobok i Militärteknik, vol. 3: Teknik till stöd för ledning*.
- ANDERSSON, K., BANG, M., MARCUS, C., PERSSON, B., STURESSON, P., JENSEN, E., and HULT, G., 2015. Military utility: A proposed concept to support decision-making. *Technology in Society*, Vol. 43, p. 23–32.
- ARTMAN, K. and WESTMAN, A., 2007. *Lärobok i Militärteknik, vol. 2: Sensorteknik*. Första upp.
- AXBERG, S., ANDERSSON, K., BANG, M., BRUZELIUS, N., BULL, P., ELIASSON, P., ERICSON, M., HAGENBO, M., HULT, G., JENSEN, E., LIWÅNG, H., LÖFGREN, L., NORSELL, M., SIVERTUN, Å., SVANTESSON, C.-G., and VRETBLAD, B., 2013. *Lärobok i Militärteknik, vol. 9: Teori och metod*. Första upp.
- BALL, R.E., 2003. *The fundamentals of aircraft combat survivability analysis and design / Robert E. Ball*. 2. ed. . New York, N.Y.: New York, N.Y. : American Institute of Aeronautics and Astronautics.
- BINNIE, J., 2018. Russians reveal details of UAV swarm attacks on Syrian bases | Jane's 360 [online]. *Jane's 360*. Available: <http://www.janes.com/article/77013/russians-reveal-details-of-uav-swarm-attacks-on-syrian-bases> [Accessed 2018-2-23].
- BLIGHTER, 2017a. AUDS Counter-drone System First to Achieve TRL-9 Status Following Successful Deployment with U.S. Forces [online]. Available: <http://www.blighter.com/news/press-releases/138-auds-counter-drone-system-first-to-achieve-trl-9-status-following-successful-deployment-with-us-forces.html> [Accessed 2018-4-22].
- BLIGHTER, 2017b. Blighter® | A400 Series - Air Security Radar from Blighter Surveillance Systems [online]. Available: <http://www.blighter.com/products/a400-series-radars.html> [Accessed 2018-4-23].
- BROBERG, A., 2018. Telefonintervju.
- BRYMAN, A., 2011. *Samhällsvetenskapliga metoder / Alan Bryman ; översättning: Björn Nilsson*. 2., [rev.]. Malmö: Malmö : Liber.
- BUNKER, R.J., 2015. *Terrorist and Insurgent Unmanned Aerial Vehicles (UAVs): Use, Potentials, and Military Implications*. U.S. Army War College, Strategic Studies Institute.
- CHESS DYNAMICS, 2017. AUDS – Chess Dynamics [online]. Available: <http://www.chess-dynamics.com/product/auds/> [Accessed 2018-4-22].
- CHESS DYNAMICS, 2018. Personlig kommunikation, 2018-2-23, 2018-3-29, 2018-4-23.

Fredrik Green

IMT019 2018

2018-05-21

-
- CHOI, W. and GARARD, O., 2018. Countering Small Unmanned Aircraft. *Marine Corps Gazette*, Vol. 102, No. 2, p. 69–73.
- CISION PRWEB, 2017. Liteye and Numerica Enter Exclusive Partnership to Enhance Counter Drone Systems [online]. Available: <http://www.prweb.com/releases/2017/07/prweb14514268.htm> [Accessed 2018-4-27].
- DJI, 2018. Phantom 3 Standard - Specs, FAQ, manual, video tutorials and DJI GO | DJI [online]. Available: <https://www.dji.com/phantom-3-standard/info#specs> [Accessed 2018-4-6].
- DRWIEGA, A. and WITHINGTON, T., 2016. DRONE DANGERS. *Armada International*, Vol. 40, No. 2, p. 44–49.
- ERIKSSON, K., 2016. HPM-vapen vs. kommersiell UAV.
- EUROPEAN AVIATION SAFETY AGENCY, 2017. Notice of Proposed Amendment 2017-05.
- FAHLSTROM, P.G. and GLEASON, T.J., 2012. *Introduction to UAV systems*. 4th ed. West Sussex: West Sussex : Wiley.
- FANDOM, 2009. Modern Day Military Pricing List [online]. Available: http://nation-creation.wikia.com/wiki/Modern_Day_Military_Pricing_List [Accessed 2018-5-18].
- FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION, 2016. FAA Expands Drone Detection Pathfinder Initiative [online]. Available: <https://www.faa.gov/news/updates/?newsId=85532> [Accessed 2018-4-26].
- FRANKE, U., 2016. Flying IEDs: The Next Big Threat? [online]. *War on the rocks*. Available: <https://warontherocks.com/2016/10/flying-ieds-the-next-big-threat/> [Accessed 2018-3-13].
- FÖRSVARSMAKTEN, 2013. *Arméreglemente Taktik ,R AR Taktik 2013*.
- FÖRSVARSMAKTEN, 2014a. *Arméns utvecklingsplan (aup) 2014 – 2023*.
- FÖRSVARSMAKTEN, 2014b. Operativ doktrin.
- FÖRSVARSMAKTEN, 2015. Handbok Säkerhetstjänst, Fysisk säkerhet.
- FÖRSVARSMAKTEN, 2016. Militärstrategisk doktrin – MSD 16 2016, p. 75.
- FÖRSVARSMAKTEN, 2017a. Systemutvecklingsplan Luftvärn 2017-2026.
- FÖRSVARSMAKTEN, 2017b. Flygning med drönare - Försvarsmakten [online]. Available: <https://www.forsvarsmakten.se/sv/om-myndigheten/tillstand/flygning-med-dronare/> [Accessed 2018-5-16].
- FÖRSVARSMAKTEN, 2018a. LEDS direktiv FÖRSVARSMAKTENS Anti-UAS verksamhet.

Fredrik Green

IMT019 2018

2018-05-21

FÖRSVARSMAKTEN, 2018b. *Slutredovisning av Försvaretsmaktens perspektivstudie 2016-2018*. Stockholm.

FÖRSVARSMAKTEN, 2018c. *Inriktning av Försvaretsmaktens forskning och utveckling 2019-2021 (IFoU19)*.

GALLAGHER, S., 2013. German chancellor's drone "attack" shows the threat of weaponized UAVs | Ars Technica [online]. *Ars Technica*. Available: <https://arstechnica.com/information-technology/2013/09/german-chancellors-drone-attack-shows-the-threat-of-weaponized-uavs/> [Accessed 2018-3-13].

GRIFF AVIATION, 2017. GRIFF Aviation [online]. Available: <http://griffaviation.com/> [Accessed 2018-4-16].

HENSOLDT, 2018a. Our Company : HENSOLDT [online]. Available: <https://www.hensoldt.net/about-us/our-company/> [Accessed 2018-5-10].

HENSOLDT, 2018b. Xpeller Counter UAV System : HENSOLDT [online]. Available: <https://www.hensoldt.net/solutions/air/electronic-warfare/xpeller-counter-uav-system/> [Accessed 2018-2-12].

HENSOLDT, 2018. Personlig kommunikation, 2018-4-19.

INTERVJUPERSON 1, 2018. Intervju, 2018-3-15.

INTERVJUPERSON 2, 2018. Intervju, 2018-3-22.

INTERVJUPERSON 3, 2018. Intervju, 2018-3-26.

INTERVJUPERSON 4, 2018. Intervju, 2018-4-06.

INTERVJUPERSON 5, 2018. Intervju, 2018-4-06.

INTERVJUPERSON 6, 2018. Intervju, 2018-4-06.

ISRAELI DEFENSE FORCES, 2017. IAF Patriot Missile Shoots Down Hezbollah UAV in Golan Heights [online]. Available: <https://www.idf.il/en/minisites/hezbollah/iaf-patriot-missile-shoots-down-hezbollah-uav-in-golan-heights/> [Accessed 2018-5-18].

JOHANSSON, L., 2017. Bör robotar få döda? Etiska aspekter på militära autonoma system. *Tidskrift i Sjöväsendet*, Vol. 180, No. 1, p. 25–34.

JOHANSSON, T., SVEDIN, J.A.N., and ÖRBOM, A., 2015. *Radar för övervakning – Lägesrapport 2015*.

LANTZ, A., 2007. *Intervjumetodik / Annika Lantz*. 2., [omarb. Lund: Lund : Studentlitteratur.

MANKINS, J.C., 1995. Technology Readiness Levels. *White Paper April*, p. 5.

Fredrik Green

IMT019 2018

2018-05-21

-
- MCMALE, J., 2015. Anti-UAV system released by Blighter, Chess Dynamics, and Enterprise Control Systems - Military Embedded Systems [online]. *Military Embedded Systems*. Available: <http://mil-embedded.com/news/anti-uav-system-released-by-blighter-chess-dynamics-and-enterprise-control-systems/> [Accessed 2018-4-26].
- NIAG, 2017. *Final report of NIAG SG-200 study on low, slow and small threat effectors*.
- NILSSON, P., 2017. Blända kommersiella UAV:er med laservapen.
- NILSSON, S., ANDERSSON, Å., GUSTAFSSON, M., JOHANSSON, T., JONSSON, R., and KARLSSON, N., 2017. *Experimentell detektion av drönare bakom hörn*.
- NILSSON, S., JOHANSSON, T., and NILSSON, S., 2016. *Radar för övervakning Mikrodopplersignatur från UAV – en litteraturstudie Innehåll*.
- PALMER, T.S. and GEIS II, J.P., 2017. Defeating small civilian unmanned aerial systems to maintain air superiority.(VIEWS). *Air & Space Power Journal*, Vol. 31, No. 2, p. 102.
- RIKSDAGEN, 2010. Skyddslag (2010:305) Svensk författningssamling 2010:2010:305 t.o.m. SFS 2016:668 - Riksdagen [online]. *Skyddslag (2010:305)*. Available: http://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/skyddslag-2010305_sfs-2010-305 [Accessed 2018-3-13].
- RIKSDAGEN, 2017. Förbättrat skydd för totalförsvarsverksamhet Kommittédirektiv 2017:31 - Riksdagen [online]. *Kommittédirektiv 2017:31*. Available: https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/kommittedirektiv/forbatttrat-skydd-for-totalforsvarsverksamhet_H5B131 [Accessed 2018-3-13].
- SCHMIDT, M.S., 2015. White House drone crash described as a U.S. worker's drunken lark [online]. *The New York Times*. Available: <https://www.nytimes.com/2015/01/28/us/white-house-drone.html> [Accessed 2018-2-23].
- SEKIGUCHI, T., 2015. Drone Found at Japan Prime Minister Shinzo Abe's Office - WSJ [online]. *The Wall street Journal*. Available: <https://www.wsj.com/articles/drone-found-at-japan-prime-ministers-office-1429694098> [Accessed 2018-3-13].
- SIVERTUN, Å., 2012. Militärgeografi och GIS: delar av militärteknik. *Kungl Krigsvetenskapsakademiens Handlingar Och Tidskrift*, No. 1, p. 108–120.
- STATENS OFFENTLIGA UTREDNINGAR, 2018. *SOU 2018:26, Delbetänkande av Kommittén för förbättrat skydd för totalförsvarsverksamhet*.
- TRANSPORTSTYRELSEN, 2017. Transportstyrelsens föreskrifter om obemannade luftfartyg 2017_110.
- WHITTLE, R., 2015. Military exercise Black Dart to tackle nightmare drone scenario | New York Post [online]. Available: <https://nypost.com/2015/07/25/military-operation-black-dart-to->

[tackle-nightmare-drone-scenario/](#) [Accessed 2018-2-26].

Bilaga 1

Tabeller.

Tabell 12 - Klassificering UAS ur TSFS 2017:110 (Transportstyrelsen, 2017).

Kategori	Storlek/Vikt	Inom/utom synhåll LOS/BLOS samt andra-restriktioner	Hösta flyg-höjd	Flygning i mörker	Krav på pi-lot eller or-ganisation	Tillstånds-plikt	Märkning UAV
Kategori 1	Obemannade luftfartyg med en maximal startvikt på mindre än eller lika med 7 kg.	Flygs enbart inom synhåll för piloten. LOS. Max 1000 meter från HKP lpl. Kontrollerat lufrum Max 5000 meter från flpl. Särskilda krav Militär flpl.	120 meter	Ja, tydligt utmärkt med belysning.	Nej	Nej	Operatörens namn och telefonnummer.
Kategori 2	Obemannade luftfartyg med en maximal startvikt på mer än 7 kg, men mindre än eller lika med 25 kg.	Flygs enbart inom synhåll för piloten. LOS. Max 1000 meter från HKP lpl. Kontrollerat lufrum Max 5000 meter från flpl. Särskilda krav Militär flpl.	120 meter	Ja, tydligt utmärkt med belysning.	Ja, förar-bevis	Ja	Operatörens namn och telefonnummer, samt tillståndsnummer.
Kategori 3	Obemannade luftfartyg med en maximal startvikt på mer än 25 kg.	Flygs enbart inom synhåll för piloten. LOS. Max 1000 meter från HKP lpl. Kontrollerat lufrum kommunikation med filed samt klar-ning. Särskilda bestä-melser gäller.	120 meter	Ja, tydligt utmärkt med belysning.	Ja, förar-bevis, ål-derskrav 18 år. Flyglogg	Ja, verk-samhets-ansvarig, flygchef samt tek-nisk chef	Operatörens namn och telefonnummer, samt tillståndsnummer.
Kategori 4	Ej definierad	Obemannade luftfartyg som är certifierade för att kunna flygas och kontrolleras utom synhåll för piloten. BLOS. Särskilda krav	120 meter Särskilda krav	Ja, navigat-ionsljus enligt vad som före-skrivs i EASA Certi-fication Spe-cifi-cations och i Trans-portstyrelsens föreskrifter (TSFS 2012:87) Särskilda krav	Ja, trafik-flygar-certifikat (CPL) samt IR behörig. Ålder minst 21 år men ej äldre än 67 år samt medi-cinskt in-tyg klass 3.	Ja, verk-samhets-ansvarig, flygchef samt tek-nisk chef. Befälha-vare Särskilda krav	Registreringsbe-teckning ska anges på det obe-mannade luftfarty-get samt i kon-trollstationen.
Kategori 5A	Obemannade luftfartyg som används för speciella typer av flygningar, som inte är tillämpliga på någon annan kategori.	Om det obemannade luftfartyget motsvarar kategori 1 ska det även vara utrustat med ett in-byggt felsäkerhetssystem som kan avbryta flygningen om styrlän-ken skulle förloras.	Särskilt tillstånd kan ges för flyg-ning över 120 meter	Särskilt till-stånd, kraven i övrigt för kategori 2 och 3 ska uppfyl-las. Enskilt tillstånd styrs av vikt då gäller övriga	Särskilt tillstånd, kraven i övrigt för kategori 2 och 3 ska uppfyllas. Enskilt tillstånd styrs av vikt då	Ja, Sär-skilda krav enl. 6 kap, 1§ TSFS 2017:110	Operatörens namn och telefonnummer, samt tillståndsnummer.

				kategoriernas övriga krav.	gäller övriga kategoriernas övriga krav.		
Kategori 5B	Obemannade luftfartyg som används för speciella typer av flygningar, som inte är tillämpliga på någon annan kategori.	Särskilt tillstånd krävs för flygning utom synhåll för piloten, där observatörer i stället har det obemannade luftfartyget inom synhåll. Klar och tydlig kommunikation ska vara upprättad mellan piloten och observatörerna.	120 meter	Särskilt tillstånd, kraven i övrigt för kategori 2 och 3 ska uppfyllas. Enskilt tillstånd styrs av vikt då gäller övriga kategoriernas övriga krav.	Särskilt tillstånd, kraven i övrigt för kategori 2 och 3 ska uppfyllas. Enskilt tillstånd styrs av vikt då gäller övriga kategoriernas övriga krav.	Ja, Särskilda krav enl. 6 kap, 2§ TSFS 2017:110	Operatörens namn och telefonnummer, samt tillståndsnummer.
Kategori 5C	Obemannade luftfartyg som används för speciella typer av flygningar, som inte är tillämpliga på någon annan kategori.	Övrig verksamhet med obemannade luftfartyg, som inte faller in under någon annan kategori, kan eventuellt genomföras efter särskilt tillstånd. Exempel på sådana flygningar kan vara flygningar utom synhåll i ett särskilt område eller flygningar på högre höjd än 120 m över marken eller vattenet.	Särskilt tillstånd kan ges för flygning över 120 meter	Särskilt tillstånd	Särskilt tillstånd	Ja, Särskilda krav enl. 6 kap, 3§ TSFS 2017:110	Operatörens namn och telefonnummer, samt tillståndsnummer.

Tabell 13 - Typer av RF signaler för styrning och transmission UAS

Typ	Styrning	Beskrivning	Sänder signaler
1	R/C med RF telemetri och Wi-Fi-kamera.	UAV fjärrstyrs genom envägsradiokommunikation från kontrollenhet och skickar telemetridata genom radiokommunikation. En påhängd kamera kan skapa ett Wi-Fi-nätverk för videoöverföring.	Ja
2	R/C utan RF telemetri med Wi-Fi-kamera.	Fjärrstyrs genom enkelriktad radiokommunikation, men har en Wi-Fi-uppkoppling för överföring av video och telemetri.	Ja
3	Wi-Fi-styrning	Fjärrstyrs via Wi-Fi, tvåvägskommunikation.	Ja
4	R/C med telemetri/RF-video	UAV fjärrstyrs genom envägsradiokommunikation från kontrollenhet. Kan även skicka analog videosignal eller telemetridata via radiokommunikation tillbaka till operatören.	Ja
5	R/C utan telemetri	UAV fjärrstyrs genom envägsradiokommunikation från kontrollenhet.	Ja
6	GSM/3G/4G/5G	UAV som fjärrstyrs genom mobiltelefonnätet. Dubbelriktad kommunikation.	Ja,
7	GNSS (GPS/GLONASS/Galileo)	Automatisk navigation med hög precision via signaler från satellit.	Nej

8	SLAM	(Simultaneous Localization And Mapping). Navigering med hjälp av elektrooptiska sensorer.	Nej
9	Tröghetsnavigering	UAV med accelerometer med hög precision. Navigering med kontinuerlig uppdatering av egen position och rörelse.	Nej

Tabell 14 - CUAS Sensortyper för upptäckt av UAS.

Sensortyp	Beskrivning	Frekvensområde	Våglängd	Påverkan	Begränsningar	Möjligheter
EO visuell	Elektrooptisk kamera, Bra upplösning och zoom. Kan innehålla biligenkänning och följning av mål.	405,1-788,9 THz	0,4-0,7 μm	Väder och ljuskänslig	Mörker, Dimma, Rök. LOS	Bra observation för operatör i dagsljus. Följning och identifiering.
IRST (Infra Red Rearch and Track)	Svepande IR sensor som uppfattar värmestrålning från objekt. Söker av 360° azimut och har förmåga att följa mål	0,3-405,1 THz	2-14 μm	Relativt väderokänslig. Okänslig för partiklar i luften.	Upplösning, kan behöva kylning	Bra observation för operatör i mörker samt genom vissa material
IRV	Uppfattar värmestrålning från objekt och presenterar objektets skillnad mot dess bakgrund.	0,3-405,1 THz	2-14 μm	Relativt väderokänslig. Okänslig för partiklar i luften.	Upplösning vidvinkel eller zoom, kan behöva kylning	Bra observation för operatör i mörker samt genom vissa material
Radar	Sänder och tar emot reflekterande signaler	8-16 GHz	50mm	Relativt väderokänslig	Låg upplösning >10km, LOS	Medellång räckvidd. Multimål (flermålskapacitet).
RF video	Uppfattar radiovågor och kan läges bestämma källor	5,8 GHz	100mm	Väderokänslig	Svår vid frekvenshoppande signaler.	Kan upptäcka UAV sänder analog signal till operatör. Kan störas
RF Wi-Fi	Uppfattar radiovågor och kan läges bestämma källor	2,4 GHz 5,2 GHz	100mm	Väderokänslig	Wi-Fi nätverk kan krypteras.	Kan upptäcka RF mellan UAV och operatör. Digital signal. Kan överta styrning
RF GNSS	Uppfattar radiovågor och kan läges bestämma källor	L-band 1164-1610 MHz	500mm	Väderokänslig	Stör omgivning. Stor konsekvens	Kan upptäcka UAV mottager GNSS satellit signal. Kan störas
RF R/C	Uppfattar radiovågor och kan läges bestämma källor	433 MHz, 868 MHz	800 mm	Väderokänslig	Direktriaktad störning.	Kan upptäcka RF signal mellan UAV och operatör. Kan pejla

						operatör. Kan störas
Akustisk	Uppfattar ljudvägor, kan identifiera	30 kHz–3 Hz	10km	Väderokänslig	Kort räckvidd	NLOS

Tabell 15 - CUAS verkansformer med relaterade påverkansfaktorer (NIAG, 2017)

Verkansform	Hard/Soft kill	Mognad (TRL)	Beskrivning funktion	Påverkan tredje part	Konsekvens tredje part	Väder påverkan
Störning/kapning av Wi-Fi	Soft	9	Stör Wi-Fi signal efter identifikation. Förutsätter okrypterat nätverk.	Liten störning av omgivande kommunikation.	Kan ge allvarlig konsekvens	Låg
Störning/kapning av frekvenshopp R/C	Soft	9	Frekvensföljande RF störning. Kräver bibliotek. Påverkar endast den signal som anges. Lägre uteffekt.	Liten störning av omgivande kommunikation.	Efter identifikation följer endast utpekad målfrekvens. Liten konsekvens.	Låg
Bredbandig störning av relevanta RF band	Soft	9	En stark brussignal sänds ut i bandet som ska störas.	Stör all kommunikation i bandet.	Kan ge allvarlig konsekvens.	Låg
Störning/vilseledning GNSS	Soft	9	Störning via brussignal i GNSS band. Den svaga satellitsignalen dränks. Sända falsk signal som vilseleder till alternativ plats.	Många system nyttjar GNSS i samhället. Telekomm., kraftnät, flygtrafik m.fl.	Stor utbredning av störning. Allvarliga konsekvenser.	Låg
Direkt kinetisk	Hard	9	En massa i hög hastighet tillförs målet och skapar kinetisk effekt.	Fysiska skador bortom mål. Stor påverkan på omgivning. Nedfall, D max.	Stora riskområden. Allvarliga konsekvenser.	Låg
HPM	Soft	9	Högeffektpulsad mikrovågsstrålning. Mätar elektroniska komponenter i effektområdet. Varierar i storlek och kräver stor uteffekt.	Kan orsaka permanenta skador på elektroniska komponenter. Vid stor uteffekt kan skada människor i effektområdet	Kan ge allvarliga konsekvenser i bebyggelse. Väda.	Låg
LASER blända	Soft	9	Direktriaktad lågeffekt laser som bländar optik och optronik. Stör optisk funktionalitet.	Kan störa vid felriktning.	Risk för påverkan av andra flygande element i luftvolymen. Stör ut optik.	Hög
LASER bränna	Hard	7	Direktriaktad högeffekt laser som förstör optik och optronik. Kan bränna alternativa material. Högeffekt påverkar sensorstorlek.	Kan störa vid felriktning.	Risk för påverkan av andra flygande element i luftvolymen. Allvarliga konsekvenser beroende på räckvidd. Flyg, satellit.	Hög

Snärjande	Hard	9	Mekanisk direktriktad fysisk påverkan. Kan vara nät, gele eller annan hinderande massa.	Kan störa. Svår kontrollerad, nedfallande element till mark.	Kan ge allvarliga konsekvenser i bebyggelse.	Medel
------------------	------	---	-----------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------	----------------------------------------------	-------

Tabell 16 - Tekniska specifikationer för system i fokus

Funktioner	AUDS® Anti-UAV Defence System	Xpeller™ Counter UAV System
RADAR	AUDS Radar (Blighter A400 Series Air Security Radar)	SPEXER 500
Radartyp	Elektriskt styrd PESA (passive electronically scanned array) FMCW, Doppler	Elektriskt styrd, FMCW (frequency modulated continuous wave) DBF (digital beam forming) Doppler
Frekvensområde	Ku-band, 15.7 till 17.2 GHz	X band, 8-12 GHz
Antenn	M10S, vertikal elevation 10°/15° W20S, vertikal elevation 20°/30°	30° vertikal elevation
Radartäckning azimuth	180°, 2 sek svep	120°, 1,5 sek svep
Minsta radarmålyta (RMA)	0.01 m ²	0.025 m ²
Effekt	4 W	4 W
Räckvidd	4-10 km	4-10 km
Målkapacitet	700, inom FOV.	50, inom FOV
Tid till verkan	15 sek	-
Montage/Installation	Teleskopstativ per enhet, Mastinstallation, Fast installation Fordonsmotage	Teleskopstativ per enhet, Mastinstallation, Fast installation Fordonsmotage
ELEKTROOPTISKA SENSORER	Hawkeye DS med EO Video Tracker Piranha 46 HR Camera	NightOwl ZM-ER Daylight Camera
Typ	Elektrooptisk färgkamera, IR filter	Elektrooptisk färgkamera, IR filter
Upplösning	High Definition (HD), 2,3 megapixel (MP)	1920 x 1080 px (HD)
Zoom	Optisk x30 Digital x12	Optisk x30 Digital x12
Focus	Automatisk	Manual or Automatic
	Högintensiv Termisk kamera (TI)	Night Camera
Typ	Kyld, generation 3	Kyld
Upplösning	640 x 512 px	1280 x 1024 px (HD)
Våglängd	3 - 5 µm	3 - 5µm
Zoom FOV	1.8° till 24°	1.40° to 17.0° (HD)
	AUDS RF Inhibitor	UAV jammer
Typ	Direktriiktad mjukvarudefinierad (SDR) radiofrekvens störning	Direktriiktad mjukvarudefinierad (SDR) radiofrekvens störning
Funktion	Multiband, selektiv eller simultan frekvensoperation, 400 MHz till 6 GHz Biblioteksanpassad (signaturprofilreferens) Variabel effekt, 1W min 10W max	20 MHz ... 6000MHz Variabel effekt, 10 W to 400 W nom.
Band	ISM	ISM
Antenn	High gain quad-band antenn system (penta-band 5.8 GHz tillval)	omnidirectional or directional
Frekvens	433 MHz 915 MHz 2.4 GHz 5.8 GHz GNSS band	433 MHz 915 MHz 2.4 GHz 5.8 GHz GNSS band
KONSOL	AUDS Operator Console & GUI	Xpeller GUI
Typ	Mjukvaruintegrerad operatörkonsol, C2	Mjukvaruintegrerad operatörkonsol, C2
Användargränssnitt	Windows 10 arkitektur. Möjlig att integrera med tredje parts lednings- eller verkanssystem	Öppen arkitektur, möjlig att integrera med tredje parts lednings- eller verkanssystem
Operatör	En operatör	En operatör
Automatisk dokumentation	Ja	Ja

Tabell 17 - Sammanställning kriterier kopplade till militär effektivitet

Indikator	Kriterier	AUDS	Xpeller
Måluppfyllnad	Maximal räckvidd för upptäckt, LOS	2500 meter, mini UAV	2500 meter, mini UAV
	Minsta räckvidd för upptäckt, NLOS	<10 meter	10 meter
	Täckningsgrad frekvensområden upptäckt	Saknar akustisk sensor	Hög
	Minsta RMA, Radarmålarea	0,01 m ²	0.025 m ²
	Slew-to-cue	Ja	Ja
	Målföljning	Ja	Ja
	Lokalisera operatör	Ja, Radarhistorik	Ja, DF
	EO dagsljus, 1000 meter	Ja	Ja
	EO/IR Mörker kamera, 1000 meter	Nej	Ja
	Referensbibliotek Visuellt	Ja	Ja
	Referensbibliotek RF	Ja	Ja
	Referensbibliotek Radar (signatur)	Ja	Ja
	Operatör	Ja, en	Ja, en
	Ledningssystem, användargränssnitt	Ja, öppet	Ja, öppet
	Mjukvarudefinierade gränser GIS	Ja	Ja
	Verkansformer soft-kill	Ja	Ja, saknar HPM
	Verkansformer hard-kill	Ja	Nej
	Möjlighet tillföra alternativa verkansformer	Ja	Ja
	Målvärdering, hot analys	Ja	Ja
	Måluppfyllnad, bekämpat mål	Ja	Ja
Dokumentation/Inspelning	Ja	Ja	
Indikator	Kriterier	AUDS	Xpeller
Tid	Maximal räckvidd för upptäckt, LOS	2500 meter, mini UAV	2500 meter, mini UAV
	Slew-to-cue	Ja	Ja
	Lokalisera operatör	Ja, Radarhistorik	Ja, DF
	Referensbibliotek Visuellt	Ja	Ja
	Referensbibliotek RF	Ja	Ja
	Referensbibliotek Radar (signatur)	Ja	Ja
	Målvärdering, hot analys	Ja	Ja
	Dokumentation/Inspelning	Ja	Ja
Indikator	Kriterier	AUDS	Xpeller
Risk	Reducera oavsiktlig verkan	Ja	Ja
	Reglerbar effekt, elektromagnetiska verkanformer	Ja	Ja
	Larmhantering, felkällor	Ja, Lågt	Ja, Lågt
	Mjukvarudefinierade gränser GIS	Ja	Ja

	Möjlighet tillföra alternativa verkansformer	Ja	Ja
Indikator	Kriterier	AUDS	Xpeller
Kostnad	Kontinuerlig bemanning/Redundans	Operatör, låg grad systemnedgång	Operatör, låg grad systemnedgång
	Larmhantering, felkällor	Ja, Lågt	Ja, Lågt
	Operatör	Ja, en	Ja, en

Tabell 18 - Sammanställning intervjuer och intervjupersoner.

Intervjuperson	Tjänst/befattning	Beskrivning kompetensområde	Intervju
Intervjuperson 1, Officer, OR 7	32.Underrättelsebataljon och HKV INSS J2 säkerhetsavdelning.	IP 1 har under de senaste åren arbetat med UAV hot mot FM vid HKV och operativ stab. IP 1 har tidigare arbetat ca 5 år som chef inom TUAV på taktisk nivå. IP 1 har deltagit inom FM projektgrupper för utveckling av UAV inom FM.	Intervju 1, genomförd 2018-03-15. HKV INSS J2 säkerhetsavdelning.
Intervjuperson 2, Civil	FOI Stockholm, Chef FoT.	IP 2 har lång tjänstgöring vid FOI bakom sig. IP 2 är projektchef för ett FoT vid FOI inom CUAS relaterat område. IP 2 har under ca 5 år arbetat nära FM företrädare inom C-IED.	Intervju 2, genomförd 2018-03-22, FOI Stockholm.
Intervjuperson 3, Officer, OF 2	HKV INSS J2 säkerhetsavdelning.	IP 3 har under de senaste året arbetat med telekrig inom FM vid HKV och operativ stab. IP 3 har de föregående 5 åren arbetat som chef inom telekrigsförbandet med uppgifter att motverka UAV.	Intervju 3, genomförd 2018-03-26. Hemma hos intervjuperson 3.
Intervjuperson 4, Civil	FOI Linköping och HKV LedS	IP 4 har lång tjänstgöring vid FOI bakom sig inom aktörsdrivna hot och har de senaste åren arbetat med systemsammansättningar av tekniska system för CUAS. De senaste året arbetar IP 4 på HKV LedS med FM styrning Anti-UAS.	Intervju 4, genomförd 2018-04-06, FOI Linköping.
Intervjuperson 5, Civil	FOI Linköping	IP 4 har lång tjänstgöring vid FOI bakom sig inom multisensorsystem, UAV och sensorer.	Intervju 4, genomförd 2018-04-06, FOI Linköping.
Intervjuperson 6, Civil	FOI Linköping	IP 4 har lång tjänstgöring vid FOI bakom sig inom radarteknik och radarutveckling.	Intervju 4, genomförd 2018-04-06, FOI Linköping.