



## Självständigt arbete på grundnivå i militärteknik (15 hp)

<b>Författare</b>	<b>Förband</b>	<b>Program / kurs</b>
Mj Kjell Eriksson	Blekinge Flygflottilj	1MT019
<b>Handledare</b>	<b>Kurschef / seminarieledare</b>	
Kk/Tekn.dr. Stefan Silfverskiöld	Kmd Nils Bruzelius, Fil.lic.	
<b>Examinator</b>	<b>Antal ord</b>	
Prof. Åke Sivertun	11974	

### **HPM-vapen vs. kommersiell UAV**

**Sammanfattning:** Detta arbete i militärteknik studerar om högeffektpulsad mikrovågsstrålning kan uppnå verkan mot kommersiella UAV. Analysen genomförs på två olika icke-dödliga HPM-vapen. Data hämtas från ett scenario där vapenverkan innebär hög risk för skada på tredje man. En Försvarsmaktsstudie har konstaterat att Luftvärnsbataljon saknar förmåga att verka mot små UAV. Dagsaktuell kunskap har inhämtats om scenariots miljö samt från forskning och industri genom studiebesök. Inhämtad kunskap har möjliggjort en logisk-matematisk parameterstudie på ett scenario med militärtekniskt perspektiv. Analysens slutsatser är att kommersiella UAV innehar låg skyddsnivå, att beslut om insats underlättas i alla miljöer och att en elektronisk sköld i form av HPM-vapen skyddar en stor volym samtidigt. HPM-vapen kan inte som ensamt vapensystem stå för skydd och uppnå säkerställd verkan mot kommersiell UAV. HPM-vapen kan däremot komplettera övriga verkanssystem och göra luftförsvaret starkare genom system av system. HPM-vapen kan bidra till att minska ett befintligt förmågeglapp mot kommersiella UAV.

**Nyckelord:**

HPM, UAV, Blackout, HPMEcase, förmågeglapp, IDV, svärmning, luftförsvaret, luftvärn



## Thesis in military technology on a basic level (15 pts)

<b>Author</b>	<b>Unit</b>	<b>Educational / course</b>
Maj Kjell Eriksson	Blekinge Wing	1MT019
<b>Supervisor</b>		<b>Head of course</b>
Cdr/Ph.D. Stefan Silfverskiöld		Capt. (N) Nils Bruzelius, Ph.Lic.
<b>Examiner</b>		<b>Number of words</b>
Prof. Åke Sivertun		11974

### **HPM-weapon vs. commercial UAVs**

**Abstract:** This paper in military technology discusses whether high power microwaves can affect commercial UAVs. Two non-lethal HPM-weapons are analyzed. The data is collected from a scenario where there is a high risk for collateral damage. A Swedish Armed Forces study stated that the Air Defence Battalion lacks ability to affect small UAVs. The latest knowledge is obtained from the environment in the scenario, from research and from the industry. This knowledge has enabled a logical-mathematical parametric study on the scenario within a military perspective. The result of the study is the assessment that commercial UAVs are assessed to have low protection factor, facilitates decision to act in all environments and provides an electronic shield protection of a large surface at the same time. HPM-weapons can't stand as a single system for protection against commercial UAVs and achieve guaranteed effect. However, HPM-weapons can complement other weapon systems and thus make the air defense stronger through systems of systems. HPM-weapons can reduce the capability deficiency against commercial UAVs.

**Key words:**

HPM, UAV, Blackout, HPEMcase, capability deficiency, non-lethal weapon, swarming, air defense

## Innehåll

### Sammandrag/Abstract

<b>Inledning .....</b>	<b>4</b>
<b>1 Problemformulering/frågeställning.....</b>	<b>5</b>
<b>2 Syfte .....</b>	<b>6</b>
<b>3 Teorianknytning .....</b>	<b>6</b>
<b>4 Metod.....</b>	<b>8</b>
<b>5 Undersökningen.....</b>	<b>9</b>
5.1 Scenariot .....	11
5.2 HPM.....	14
5.3 HPM-Verkan .....	18
5.4 HPM-Räckvidd.....	22
5.5 HPM-Skydd.....	24
5.6 UAV.....	26
5.7 Spelkort HPEMcase.....	28
5.8 Spelkort Blackout .....	32
<b>6 Analys .....</b>	<b>35</b>
6.1 SWOT-analys .....	36
6.2 Militär nytta .....	38
<b>7 Resultat.....</b>	<b>41</b>
7.1 Svar på frågeställning .....	43
<b>8 Diskussion .....</b>	<b>43</b>
<b>9 Fortsatta studier .....</b>	<b>45</b>
<b>Litteraturförteckning.....</b>	<b>46</b>

## **Inledning**

Sommarnattens skymning har sänkt sig över de 70 091 i publiken på Ullevi i Göteborg. I luften flyger obemannade flygande farkoster (Bruzelius et al. 2010, 250) som försöker filma konserten från luften. Säkerhetspolisen höjde för en månad sen terrorhotnivån (Säkerhetspolisen 2016) mot Sverige till högsta nivån fem. En icke erkänd stat har deklarerat att Sverige kommer attackeras från himlen som straff för sina internationella insatser mot den terroriststämplade organisationen. Lag (SFS 2006) om Försvarsmaktens stöd till polisen vid bekämpning av terrorism tillämpas. Villkoren i lagen är uppfyllda. Rikspolisstyrelsen har begärt stöd av Försvarsmakten och Regeringen har lämnat sitt medgivande. Eldtillståndet innehas av Polisen.

Luftvärnets radarsystem (UndE 23) övervakar luftrummet och till och med fåglar upptäcks (Normann 2016). En luftvärnsbataljon genomför krigsförbandsövning och är grupperad med uppgift att skydda Göteborg. En rote JAS 39 Gripen patrullerar luftrummet tillsammans med helikoptrar från polisen. Utanför och inne på arenan finns beväpnad personal från polisens nationella insatsstyrka. Molnbasen är mycket låg vilket gör det svårt att observera ett större område från luften. Den byiga vinden gör förhållandena för de utplacerade prickskyttarna svårbemästrade.

I skydd av skumrasket på industriområdet omkring Gullbergskajen öppnas sidorna på en långtradare med släp. Ett antal förprogrammerade Unmanned Aerial Vehicles (UAV) bestyckade för terrorattack lastas ur. Den femtonhundra meter långa anflygningen till anfallshöjd ett hundra meter över arenan klaras av på fem minuter. UAV-svärmen upptäckts av UndE 23. Upptäckten rapporteras som aktuellt luftläge till militära förband och till polisens operativa ledning. Polishelikoptern som dirigeras till området observerar och identifierar de obemannade flygande farkosterna som små kommersiella UAV av typen multikopter som flyger i en svärm. Ingen förstår vad som kommer att hända innan anfallspositionerna intagits. Terrorvapnen utlöses över publikhavet och multikoptrarna kraschlandar sedan rakt ner i folkmassan. Fullständig panik utbryter på arenan. Hagelgevären som kan avfyras utan risk för publiken når inte fram. Prickskyttarnas kulor som avfyras i säkra riktningar träffas av den byiga vinden över arenan och missar sina mål. Polisen ger inte eldtillstånd till luftvärnsrobot eller stridsflygplan över ett folkhav i Göteborg.

Tänk om Luftvärnet i scenariot haft tillgång till ett HPM-vapen (HögeffektPulsad Mikrovågsstrålning) (Andersson et al. 2009, 107) som kunde ha satts in mot terroristernas multikoptrar för att skydda arenan. Beslut om insats är enklare för ett icke-dödande vapen (IDV) (Andersson et al. 2009, 165) än ett dödande. Denna inledning har utvecklats från ett

grovt scenario gällande skydd av evenemang i en Försvarmaktsstudie (Försvarmakten 2014b) som beskrivs i problemformuleringen. Det har sedan fyllts med detaljer då inga öppna rapporter hittats som gjort försök till en helhetsbedömning av verkliga vapen i en verklig kontext.

## 1 Problemformulering/frågeställning

Försvarmaktens förstudie *Elektromagnetiska vapen mot luftmål* konstaterar att: ”Lvbat 2020 har ingen förmåga att verka mot små stridstekniska UAV: er och mikro UAV: er”

(Försvarmakten 2014b, 10). Försvarmaktens framtida luftvärnsförband eller nuvarande Lvbat 2014 har ingen förmåga att verka mot dessa UAV: er, vilket är problematiskt. Hur skall dessa luftmål kunna bekämpas i den urbana högriskmiljö som scenariot beskriver?

Försvarmaktens arsenal av vapen som pistol, hagelgevär, kulspruta i lv-stativ, eldrörs-/robotluftvärn eller automatkanon på JAS 39 Gripen kanske inte är bästa sättet att nedkämpa mindre mål i en urban miljö i det fredstida scenariot. ”Framförallt riktigt små mål som stridstekniska UAV och mikro UAV är svåra eller omöjliga att bekämpa med traditionella luftvärnssystem.” (Försvarmakten 2014b, 4). Kan HPM-vapen minska detta förmågeglapp för verkan mot små UAV?

Idag finns många typer av UAV kommersiellt tillgängliga i olika storlek, pris och kvalitetsnivåer. Användandet av UAV är därmed tänkbart för alla typer av motståndare. Det är inte tillåtet i Sverige att skjuta raketer på nyårsafton och det är inte tillåtet att flyga UAV i kontrolltrafikzoner utan tillstånd. Vid särskilda händelser finns det inte resurser att följa upp alla regelbrott. Vid en särskild händelse t.ex. som den i scenariot är det därför sannolikt att UAV kommer flyga utan tillstånd i kontrollzoner. Problemet är beslut om insats mot luftmål i en kontrollzon. Kan HPM-vapen med sina inneboende egenskaper: icke-kinetisk verkansform, icke-dödliga karaktär och begränsad räckvidd (i detta sammanhang en positiv egenskap) underlätta insatser mot dessa luftmål?

I Förordning med instruktion för Försvarmakten framgår i 2§ att Försvarmakten ska avvisa kränkningar av det svenska territoriet. Myndigheten ska dessutom kunna förebygga och hantera konflikter och krig. *Försvarmakten ska med myndighetens befintliga förmåga och resurser kunna lämna stöd till civil verksamhet* (SFS 2007).

Problemet i scenariot är att Försvarsmakten inte har någon lämplig befintlig verkansförmåga att lämna stöd med, inte att uppgiften är polisiär i det exemplifierade inledningsscenarioet. Scenariot kan lika gärna vara skyddet i krig av regeringskansliet Rosenbad i centrala Stockholm, Försvarsmaktens högkvarter eller en militär camp med civil bebyggelse runt omkring under en internationell insats. Kan ett militärt HPM-vapen vara en förmåga som underlättar beslut om insats för att freda skyddsobjektet vilket i detta fall sker i samverkan under polisiärt befäl?

### **Frågeställning**

*Vilka möjligheter har HPM-vapen att uppnå verkan mot kommersiella UAV?*

## **2 Syfte**

Arbetets syfte är att studera om HPM-vapen är en tänkbar militär verkansform som kan fylla ett förmågeglapp mot en svärm kommersiella UAV. Två olika typer av HPM-vapen i form av två detaljerade spelkort undersöks med ett militärtekniskt perspektiv mot ett scenario.

## **3 Teoranknytning**

Den övergripande teoriramen är militärteknik med därtill hörande teorier och metoder. Särskilt studeras hur HPM-vapen kan nyttjas i syfte att bidra till militär nytta avseende de grundläggande förmågorna verkan och skydd enligt konceptet militär nytta (Andersson et al. 2009). Naturvetenskapliga teorier kring den elektromagnetiska pulsens egenskaper och utbredning används för att förstå den för ögat osynliga verkan av HPM. Verkan dvs. koppling av elektromagnetiska vågor till målobjektet UAV beskrivs. Dessa teorier sätts sedan i en militärteknisk kontext som beskrivs i form av ett scenario. Scenariot är en bisak i undersökningen och syftar till att exemplifiera ytor som behövs för att utföra räckviddsbedömningar för vapenverkan. Scenariot skall även belysa en svår insatsmiljö. Den elektromagnetiska pulsens egenskaper studeras i syfte att uppnå förmågan verkan mot luftmål. HPM-vapnets militära nytta i givet scenario mot kommersiell UAV utvärderas med hjälp av logisk-matematisk analys och ger undersökningens slutsatser. Analysen börjar med att påvisa likheterna med HPM-vapen och de grundläggande förmågorna verkan och skydd samt riskhantering. En SWOT-analys (Axberg et al. 2013, 116-118) identifierar viktiga faktorer och drar slutsatser kring möjligheterna att förbättra HPM-vapnets prestanda. I huvudsak dimensionerna militär effektivitet och militär lämplighet ur konceptet militär nytta (Andersson 2015) analyseras och slutsatser dras. Resultatet av hela undersökningen

presenterar en sammanfattande slutsats och använder den för att slutligen svara på frågeställningen.

### **Tidigare studier och forskning**

Generellt omgärdas HPM-området av militär sekretess i likhet med resten av telekrigsområdet. Detta gör det svårt att få fram fakta kring exakta förmågor och specifikationer. Den här uppsatsen bidrar till en icke-sekretessbelagd undersökning av i Sverige existerande försökssystem av HPM-vapen gentemot ett i detalj specificerat verklighetsnära scenario med ett målobjekt (kommersiell UAV). Analys av scenariot har inte återfunnits i öppna rapporter. Tillgänglig litteratur har gjort mer övergripande teoretiska/konceptuella bedömningar eller djupare detaljstudier avseende tekniska detaljer. En detaljerad beskrivning av kopplingen av elektromagnetiska pulser till militär elektronik finns detaljerat beskrivet i doktorsavhandlingen *Effects of Lightning Electromagnetic Pulse and High Power Microwaves on Military Electric Systems* (Silfverskiöld 2002). I denna uppsats används förenklade beräkningar då målobjektet är en kommersiell UAV i allmänhet och undersökningen inte tar sikte på specifik militär materiel.

Tidigare uppsatser vid Försvarshögskolan som tangerar ämnet HPM är *High Power Microwave - fremtidens luftvern/luftforsvar?* (Borkhus 2004) och *HPM som luftvärnsvapen mot kryssningsmissiler, en möjlighet?* (Wessman 2005). Borkhus uppsats belyser HPM:s möjliga roll i luftförsvaret på en mer operativ nivå. Slutsatserna (Borkhus 2004, 60) styrker denna uppsats avseende slutsatser gällande att HPM kan mycket väl vara en del i framtidens luftförsvaret samt att HPM inte ensamt kan utgöra detta. Wessman studerar kryssningsmissiler som målobjekt och drar generella HPM-slutsatser (2005, 25, 64-67) kring att GPS/målsökare på kryssningsmissiler är oskyddade, vilket författaren till denna uppsats inte håller med om. Däremot stödjer Wessmans slutsats (2005, 66) att ”*HPM-system som verkar tillsammans med övriga system kommer öka Luftvärnets verkansförmåga*” denna uppsats.

Försvarsmakten har bevakat ämnet genom bland annat FM studien *HPM – hot och möjlighet i NBF* (Försvarsmakten 2003) och förstudie *Elektromagnetiska vapen mot luftmål* (Försvarsmakten 2014b). Totalförsvarets forskningsinstitut FOI bedriver HPM-vapen och HPM-skyddsforskning. FOI ger regelbundet ut rapporter i ämnet bl.a. referensverket *FOI orienterar om Elektromagnetiska vapen och skydd* (FOI 2001). Försvarsföretaget BAE Systems (Bofors) har inom ramen för Försvarsmaktens demonstratorprogram tillverkat en HPM-demonstrator i hög effektklass kallad Blackout (Karlsson et al. 2009) i samarbete med Försvarsmakten, Försvarets Materielverk och FOI. Vid studiebesök som genomfördes i

samband med denna undersökning 2016-05-23 och 2016-05-25 uppvisades tidigare forskning och tydliga demonstrationer av HPM-vapens effekt mot små kommersiella UAV och kommersiell elektronik.

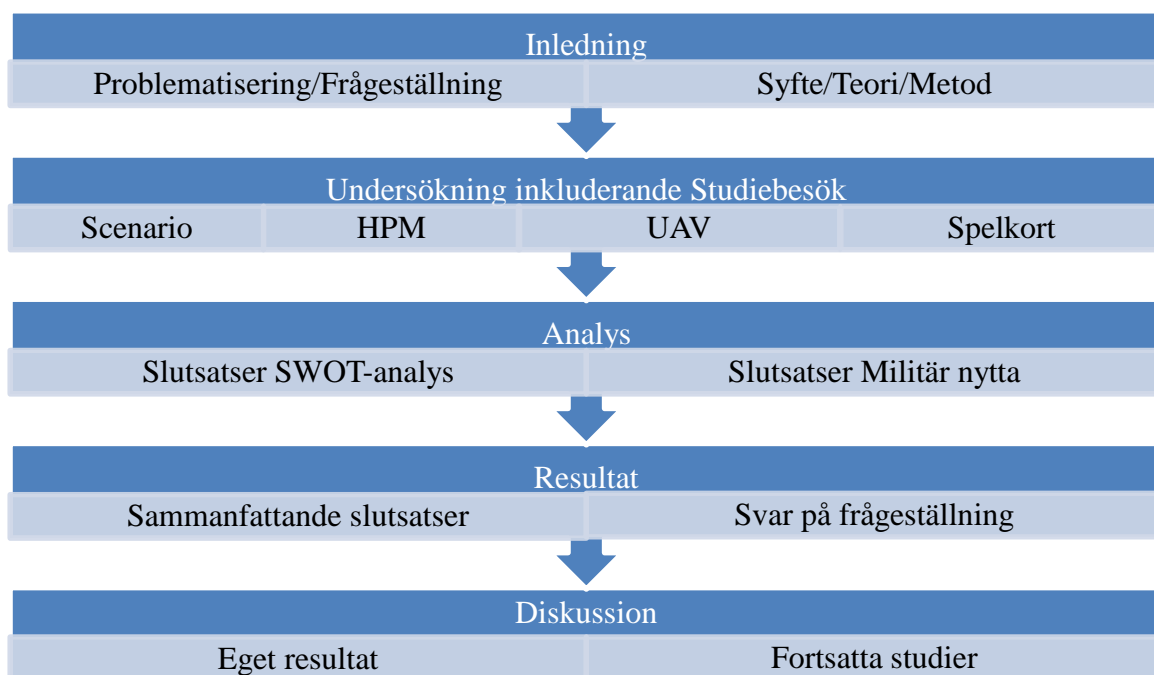
USA gav 2010 ut en ny militär standard MIL-STD-464C (Department of Defence 2010) där skyddsnivåer för elektronik anges. USA kravsätter därmed skyddsnivåer för militär elektronik mot HPM vilket i sig bör tolkas som en bekräftelse av att operativa hotsystem nu finns framtagna.

#### 4 Metod

Data för att kunna genomföra undersökningen har inhämtats genom studiebesök, intervju samt litteraturstudier. Undersökningen har därmed fått primärkällor och aktuella data. En viktig del i metoden är att instuderad litteratur har kunnat dialogiseras och jämföras med verkligheten tillsammans med experter på området. Författaren har genomfört studiebesök och intervjuer med forskare vid FOI Grindsjön, ingenjörer vid BAE Systems Bofors i Karlskoga, en officer vid 62. Luftvärnsbataljon(Lv 6) samt på Ullevi i Göteborg under aktuella förhållanden som beskrivs i scenariot.

Uppgiften löses genom att insamlad data sätts in en logisk-matematisk parameterstudie på ett scenario med militärtekniskt perspektiv. Två detaljerade spelkort på vapensystem används gentemot scenariot för att få fram relevanta data att analysera gentemot frågeställningen.

Metoden förklaras nedan och finns schematiskt beskriven enligt *Figur 1- Metod*.



*Figur 1- Metod*



Inledningen ger en bild av ett scenario i syfte att ge frågeställningen en verklighetsanknytning att bedöma mot. Frågeställningen problematiseras och definieras. Syftet med undersökningen fastställs sedan. Undersökningen får en teoriansknytning och koppling till tidigare forskning.

Metoden för att lösa uppgiften förklaras.

Kunskaperna från litteraturstudier och studiebesök används i hela undersökningen.

Undersökningen inleds med en definition av scenariot och ytorna i området. Detta ger grundförutsättningar i form av data för att studera förmågan för HPM-vapen att uppnå verkan i ett storleksmässigt definierat område genom matematisk analys. Sedan följer en strukturerad belysning av HPM-begreppet med tyngdpunkt på verkan, räckvidd och skydd. Sedan förklaras funktionen hos kommersiella UAV. Små kommersiella UAV:ers principiella uppbyggnad beskrivs och vilka delar av en UAV som kan påverkas av HPM-verkan. Två olika typer av HPM-vapen som inspekterats vid studiebesöken definieras med sina parametrar i två olika spelkort. Sekretessbelagda parametervärden ersätts med rimliga antaganden. Slutsatser framtagna genom logiskt resonemang och, där så varit möjligt, genom matematiska beräkningar presenteras kontinuerligt genom undersökningen.

Analysen bärs upp av de dragna slutsatserna i undersökningen med scenariot som grund. I analysavsnittet genomförs en SWOT-analys på de båda undersökta HPM-systemen då HPM utgör kärnan i hela uppsatsen. Med hjälp av SWOT-analysen dras slutsatser och möjliga förbättringar föreslås. Den militära nyttan kopplat till frågeställningen diskuteras och slutsatser kring den militära nyttan dras.

Resultatet av undersökningen och analysen framlägger en sammanfattande slutsats för att besvara frågeställningen.

Avslutningsvis genomförs en diskussion kring eget arbete och förslag på fortsatt forskning.

## **5 Undersökningen**

Undersökningens syfte har fokus på hur en svärm kommersiella UAV kan stoppas i en miljö med stor risk för skada på tredje man – kan HPM-vapen göra jobbet? Vilket verkanssystem en angripare använder på vapenplattformen UAV, detaljer i scenariot såsom polis/militär eller fred/krig är av underordnad betydelse. Försvarsmaktsstudien konstaterade ett förmågeglapp i *Luftvärnsbataljon 2020* (Försvarsmakten 2014b) i verkan mot små UAV är intressant. Frågan att undersöka, är därmed vilka möjligheter HPM-vapen har att uppnå verkan mot en svärm av kommersiella UAV. Undersökningen börjar med en kort beskrivning av studiebesöken vars inhämtade data påverkar hela undersökningen. En allmän bakgrund kring

elektronikutvecklingen och dess påverkan på UAV följer därefter. Sedan beskrivs scenariot vilket tar fram parametrar och skapar förutsättning för analysen. Därefter följer en förenklad beskrivning av HPM och UAV. Avslutningsvis följer en matematisk analys av de två spelkorten med HPM-vapen.

### **Studiebesök**

I samband med undersökningen har tre studiebesök genomförts för att inhämta aktuell kunskap av forskare och ingenjörer och för att med egna ögon få se scenariots miljö samt hur HPM vapenverkan realiserar. Totalförsvarets forskningsinstitut (FOI) i Grindsjön och BAE Systems Bofors i Karlskoga besöktes den 23:e respektive 25 maj 2016. Författaren har vid studiebesöket i Karlskoga bevittnat att en vanlig kommersiell bärbar dator förstördes som genom ett trollslag då den första HPM-pulsen träffade. En videoupptagning från en nedskjutning av en quadrokopter i BAE Systems Bofors ekofria kammare med HPM-demonstratorn Blackout, som genomfördes några dagar innan, visades. Även quadrokoptern slutade fungera efter den första HPM-pulsen. Scenariots Ullevi i Göteborg besöktes 2016-06-04 under en konsert med 70091 i publiken och filmande UAV i luften. Miljön i scenariot har rekognoserats med ett militärt perspektiv.

### **Allmän elektronikutveckling**

Teknikutvecklingen avseende elektronik går ständigt framåt. Antalet transistorer som får plats på en kiselplatta har fördubblats i princip vartannat år enligt Moores lag sedan 1965.

Mikroprocessorerna kan utföra mer komplexa uppgifter i ett mindre format. Kostnaden för minnes- och processorkraft minskar. Elektronik-COTS (Commercial Of-the-Shelf) är många gånger billiga förbrukningsvaror. Miniaturiseringen medför en minskande energiåtgång per mikroprocessor. Antalet elektroniska saker som kopplas upp mot internet växer. Ett nytt uttryck för detta är "Internet Of-Things" (IoT). Maskiner kommunicerar med maskiner och det kräver antenner och sensorer. Nya möjligheter skapas och det är svårt att sia om alla förändringar i framtiden. "Hur skall den militärspecifika innebörden av teknikutvecklingen inom elektronikområdet förutses?" (Axberg et al. 2013, 42). Den frågan är alltför omfattande och kan inte besvaras här. Ett konstaterande avseende UAV kan däremot göras efter en enkel marknadsundersökning 2016 av multikoptermodeller av UAV.

Företaget DJI ([www.dji.com](http://www.dji.com)) säljer en jordbruks-UAV, DJI AGRAS MG-1 som kan bära 10 kg nyttolast i form av vätska som kan sprayas ut. Ett annat företag Steadi Drone ([www.steadidrone.com](http://www.steadidrone.com)) säljer VADER HL som har förberedd infästning för 15 kg nyttolast.

Företaget Freefly (<http://freeflysystems.com/>) har modell Alta 8 som tar 9,1 kg nyttolast. Detta är bara några exempel på att en flygande plattform är lättillgänglig och kan ha en hög nyttolastförmåga. Alla komponenter för att konstruera en egen önskad UAV-förmåga finns också lätt tillgängliga via till exempel företaget Hobby King ([www.hobbyking.com](http://www.hobbyking.com)).

## 5.1 Scenariot

Ramverket till inledningen utgörs av scenario 3 gällande skydd av evenemang (Försvarmakten. 2014, 12-13). Det är ett stort evenemang med trovärdigt hot och VIP-personer (very important person) närvarande. De lagliga förutsättningarna för samarbete mellan Rikspolisstyrelsen och Försvarmakten är utklarade. Alla åtgärder är vidtagna med förbandssatt och operativ materiel för att kunna möta hotet från luften. Miljön i och runt skyddsområdet (arenan) är full av människor. Syftet med scenariot är att undersöka ett icke-dödligt vapens (IDV) möjlighet att utgöra ett perimeterskydd genom att uppnå verkan i denna svåra miljö. Risken för att skada tredje man i scenariot med ordinarie vapensystem är hög. System med högeffekt-laser har bedömts innebära högre risker för tredje man. Acceptansen i fredstid för oavsiktlig skada på ett icke-legitimt mål (collateral damage) är mycket låg. Därför skall enbart HPM-vapen undersökas för att studera detta vapens förutsättningar i denna specifika situation. Förutsättningar för att kunna göra undersökningen med beräkningar är att data fastställs. Vilka ytor innebär ett skyddsområde över Ullevi? Vilka data har HPM-vapnet? Vilka delar i en liten kommersiell UAV kan påverkas?

### Skyddsområdet

Arenan Ullevi ligger i centrala Göteborg i tätbebyggt område. Själva arenan är en stabil betongkonstruktion i form av en oval med en långsida 230 meter och en kortsida 200 meter. I detta scenario benämns detta område skyddsområde. Det är inom detta område möjlig vapenverkan skall undersökas. I syfte att förenkla beräkningar bestäms skyddsområdet till en cirkel med diametern 250 meter. I höjddled bestäms skyddsområdet till 200 meter. Taket över ena långsidan av arenan hålls uppe av två stycken 52 meter höga pyloner. Från pylonerna löper ett flertal stålvajrar i ett solfjädermönster ner till takkonstruktionen. Ytterligare två belysningsmaster omkring 50 meter höga finns på den andra sidan. Taket utgör ett skydd mot nedfallande mindre föremål.

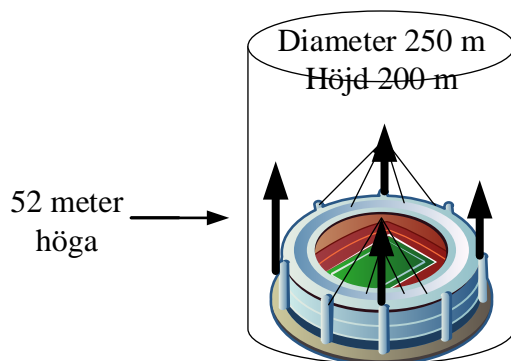


Bild K.Eriksson

*Figur 2- Skyddsområdet*

### **Angriparen**

Scenariots angripare behöver ta hänsyn till ett flertal faktorer för att lyckas. Pylonerna, belysningsmasterna och vajrarna kan befinna sig i flygriktningen. Detta kan försvåra för angriparen att anflyga mot önskad plats för att aktivera nyttolasten. Inflygningen in på arenan kan göras med mycket låg flyghöjd via arenans kortsidor, långsidorna är mer än dubbelt så höga. Räckvidden för ett standardsystem för manuell styrning är cirka 1500 meter.

Anflygningen till arenan bedöms utifrån två olika anfallsvinklar. Anfallsvinkel Låg är under 120 meters höjd och Hög är över denna höjd. Valet av höjden 120 meter beror på att en högre höjd bryter mot regelverket (Luftfartsverket 2009, 7) och kan dra onödig uppmärksamhet till sig. Ett sätt att anflyga hade varit att komma dolt från flera olika riktningar och samlas först vid arenan. Försvaren hade haft mycket svårt att i tid förstå omfattningen av denna överraskningsmanöver. Nackdelen med den spridda anflygningen är att angriparen får mycket sämre kontroll över sin egen koordinering. Detta alternativ väljs bort och diskuteras inte vidare då det inte innebär någon skillnad i bedömningen av HPM-vapnets verkan.

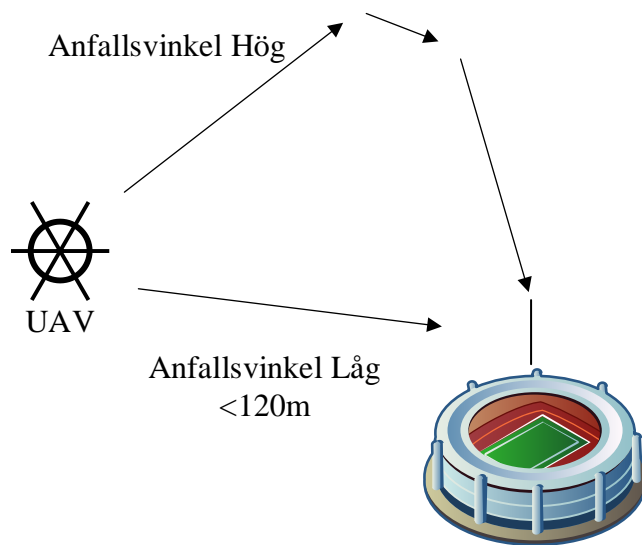


Bild K. Eriksson

Figur 3 – UAV alternativa anflygningsalternativ

### Försvarare

Det finns inga ofarliga riktningar att avfyra vapensystem mot i centrala Göteborg. En riskbedömning måste göras i varje enskilt fall. Det är svårt att skjuta med kulvapen eftersom kulorna kommer falla ner i centrala Göteborg upp till en radie av 4800 meter ( $D_{\max}$  kaliber 7,62x51).

Arenan är hög. En placering av vapensystem på marken precis utanför arenan kommer ge oacceptabla döda vinklar. Gruppering av vapensystem måste göras ovanpå själva arenan, på hög byggnad i närheten eller en bit ifrån arenan.

### Slutsatser Scenariot

- Troligtvis eftersträvar UAV-piloten optisk kontakt med UAV:erna. Angriparen måste hitta en plats med bra sikt och fria transmissionsvägar för styrsignalerna i närheten av anfallsmålet.
- Anfallsvinkel Låg ger bäst möjligheter till dolt uppträdande genom att dölja sig bland höga byggnader och övriga UAV i luften.
- Anfallsvinkel Hög innebär att UAV-vapenlast kan ramla ner i arenan efter bekämpning.
- Ett vapensystem med kort räckvidd måste grupperas på själva arenan eftersom byggnadens utseende annars kommer att blockera skottvinklar och fri sikt till målet.

## 5.2 HPM

### Allmänt om elektromagnetisk miljö

Strålning från elektronik påverkar annan elektronik. Det kallas EMI, elektromagnetisk interferens och den kan vara avsiktlig eller oavsiktlig (Bäckström, Lövstrand 2004). Olika tidsperioder har sina tidstypiska störningar när ny teknik införs. Ett första allmänt exempel på oavsiktlig störning (EMI) är bilstereos vinande ljud som varierade med gaspådraget och motorns varvtal. Det var varvtalet på bilens generator som hördes i högtalarna. Detta var mycket allmänt förekommande på 1970–80-talet. Ett andra allmänt känt exempel på oavsiktlig EMI var då en mobiltelefon låg nära en radioapparat. Periodvis hördes ett karakteristiskt tutande då mobiltelefonen kommunicerade med sin basstation. Många störningar har sedan dess försvunnit på grund av EMC-direktivet (European Union 2014) gällande elektromagnetisk kompatibilitet.

Det förekommer många begrepp och förkortningar inom det elektromagnetiska området. Naturliga elektromagnetiska vågrörelser är blix och statisk elektricitet (ESD, electrostatic discharge) (FOI, Elektromagnetiska vapen och skydd, 2001). Människans uppfinningar har skapat och gett namn till radio-, radar- och mikrovågor. Mikrovågor är inte någon ny företeelse utan genererades av den tyske fysikern Hertz redan på 1880-talet (Benford, Swegle, Schamiloglu 2007, 2). En verkansform vid en kärnexplosion är elektromagnetisk puls (EMP), *kortvarig, bredbandig elektromagnetisk puls med mycket hög energi* (Försvarsmakten 2014a). Generellt har denna puls har en snabb stigtid (5 ns) och hög fältstyrka på marknivå (50 kV/m) (NATO 2014, 156). En kraftig EMP-puls kan medföra att elektronik störs eller förstörs. Ett blixtnedslags påverkan på elektronik var känt sedan tidigare.

Nukleär EMP (NEMP) kallas specifikt pulsen orsakad av en kärnvapenexplosion. Om explosionen sker på hög höjd kallas pulsen höghöjds EMP (HEMP) i litteraturen. Verkansområdet för HEMP är mycket stort och därför har denna fått ett eget namn. En kärnexplosion på 30 km höjd får exempelvis en verkansradie på 2000 km (NATO 2014, 152). Ett blixtnedslag har likartad karaktär som EMP och kallas LEMP (Lightning EMP). Frekvensinnehållet i blixtnedslaget (LEMP) ligger i det låga kilohertzområdet, i huvudsak under 10 kilohertz. Motsvarande frekvensinnehåll för den nukleära pulsen (NEMP) är i huvudsak under 1 Megahertz. LEMP (Lightning) och NEMP (Nukleär) kan störa och förstöra elektronik men i ett lägre frekvensområde än det som kallas HPM.

I samband med forskning kring bl.a. fusion (Benford, Swegle, Schamiloglu 2007, 3) skapades möjligheter för en puls i ett högre frekvensområde (GHz). Då pulsen låg inom det som benämns mikrovågsområdet fick den namnet HPM (High Power Microwaves).

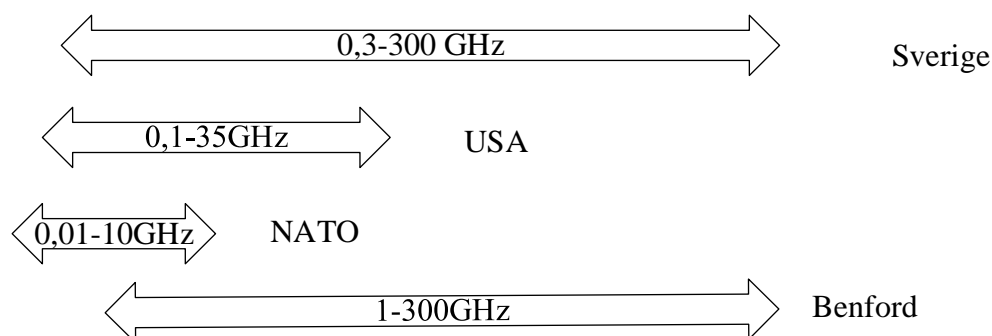
Samlingsbegreppet HPM (HögeffektPulsad Mikrovågsstrålning) återfinns i en del av frekvensspektrumet. HPM är fysikaliskt en transversell elektromagnetisk vågrörelse i likhet med radio, radar, ljus och laser. Transversell innebär att det elektriska fältet utbreder sig med 90 graders vinkelskillnad från det magnetiska fältet. Utbredningshastigheten för vågen motsvarar ljushastigheten.

### HPM-definition

Försvarsmaktens nomenklatur för Ledningssystemområdet (Försvarsmakten 2014a) definierar begreppet HPM som ett elektromagnetiskt pulsvapen med hög effekt.

HPM ingår som en delmängd i området ledningskrigföring (delområde telekrigföring) närmare bestämt *Elektronisk attack, EA - Utnyttjande av elektromagnetisk energi i syfte att nedsätta eller förstöra motpartens systemfunktioner eller stridsförmåga*. Här ingår elektromagnetiska pulsvapen (NNEMP, non-nuclear EMP) och mikrovågsvapen (HPM) (Försvarsmakten 2014a). För att inte själv drabbas av HPM tillkommer därmed automatiskt kravet på EP (electronic protection) för egenskydd.

Det finns ingen exakt definition av HPM. Den mest konkreta svenska definitionen återfinns i studien *HPM-hot och möjlighet i NBF* (Försvarsmakten 2003, 24). Fyra källor uppger fyra olika frekvensområden. USA (Department of Defence. 2010, 13), NATO (NATO. 2014, 175) och en referensbok inom området (Benford, James;Swegle, John A;Schamiloglu 2007, 2) anger alla skilda frekvensband enligt *Figur 4 - HPM frekvensband*.



Figur 4 - HPM frekvensband

### HPM-parametrar

- Frekvens,  $f$  0,3-300 GHz
- Utstrålad effekt,  $P_{\max}$  ca 10GW
- Pulslängd,  $\tau$ : upp till 1 mikrosekund
- Antal pulser: upp till 20
- Pulsrepetitionsfrekvens, prf: upp till 1 kHz

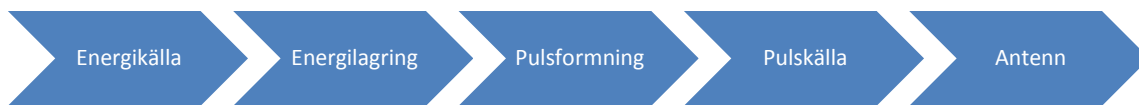
Oavsett om pulser i det lägre frekvensområdet definitionsmässigt ingår i mikrovågsområdet ingår de i begreppet EA, elektronisk attack. I sammanhanget är inte ens mikrovågsområdet klart definierat. Då HPM inte heller har någon fast definition behandlas vanligen även bredbandiga lågfrekventa pulsvapen (NNEMP) och extremt bredbandiga pulskällor (UWB, ultra wide band). NNEMP och UWB har låga energinivåer jämfört med LEMP/NEMP på grund av den extremt korta pulstiden. Det innebär samtidigt att de blir mindre, rörligare och får kortare räckvidd. Enligt Benford et al (2007, 4) kan UWB-pulsen typiskt ha parametrarna 1 ns, 1GHz bandbredd och 1 GW toppeffekt.

### **HPM-källa**

En HPM-källa kan brytas ner till ett antal block enligt *Figur 5 - Principiell HPM-källa*. Först krävs en energikälla för att leverera elektrisk energi. Av tidigare givna parametrar framgår att utstrålad pulseffekt är mycket hög. Det krävs alltså en energilagring för att samla ihop och lagra den elektriska energin. Lagrad elektrisk energi formas och levereras sedan på mycket kort tid till en elektrisk puls. Energin i den elektriska pulsen skickas till en pulskälla där högeffektpulsen skapas. Verkningsgraden i system med mikrovågsstrålning är låg. Normalt genereras endast cirka 10 % mikrovågsstrålning av den tillförda elektriska energin (FOI 2001, 55). HPM-pulsen skickas sedan ut via en antenn. Delteknologierna för att skapa och kontrollera en snabb elektromagnetisk puls med hög effekt är komplexa. Skapandet av smalbandig mikrovågsstrålning med hög effekt kräver mycket god kontroll av den interna miljön där pulsen skapas på grund av de höga spänningsnivåerna och snabba tidsförloppen. Varje puls innebär slitage och lämnar partiklar som måste hanteras för att inte äventyra effektiviteten i nästa puls. En bredbandig HPM-källa (UWB) har en mindre komplex pulskälla. Bredbandiga system har istället svårigheter att få ut effekten då det i princip inte



finns bredbandiga antenner med hög antennförstärkning.



Figur 5 - Principiell HPM-källa

En sprängämnesdriven HPM-källa får sin elektriska energi från en explosion. Piezoelektrisk eller magnetflödeskomprimerande generator är två tekniker (FOI 2001, 57-58) att skapa en elektromagnetisk puls i samband med en sprängämnesexplosion. Denna teknik ger möjlighet att skapa stridsdelar i granater eller robotar. Elproduktion och leverans av elektrisk puls blir då annorlunda enligt *Figur 6 Sprängämnesdriven HPM-källa jämfört med den principiella HPM-källan.*



Figur 6 Sprängämnesdriven HPM-källa

### Slutsatser HPM-källa

- En smalbandig HPM-källa bedöms ur militär synvinkel med nuvarande tekniska mognadsgrad ha ett högt underhållsbehov.
- Fysikens lagar och nuvarande teknologier vid denna undersökning medger en övre gräns för en HPM-källas toppeffekt till omkring 10 GW.
- Det är svårt att styra och kontrollera HPM-källan till en specifik frekvens.

### HPM-vapen

HPM-strålningen påverkar elektronik genom att antingen störa funktionen eller, direkt eller indirekt förstöra elektriska komponenter. Det är detta förhållande som utnyttjas för att uppnå verkan. Utgångshastigheten på detta vapen är ljushastigheten men det alstrar ingen kinetisk energi i jämförelse med konventionella vapensystem. Det är ljudlöst och osynligt för ögat. En viktig parameter är att det är ett icke-dödligt vapen (IDV).

Tillförd elektrisk pulsenergi genererar endast cirka 10 % HPM-strålning som nämnts tidigare. Den verkningsgraden innebär att en 1 GW HPM-puls kräver 10 GW elektrisk pulsenergi under en mycket kort pulstid. I praktiken blir högeffektvapen fast eller installerat på en större plattform då lagringen och skapandet av en elektrisk puls kräver ett visst utrymme med

tillgänglig teknologi. Ett val av mindre uteffekt ger möjlighet att skapa stridsdelar i robotar eller HPM-granater.

NATO (2014, 176) delar in HPM-vapen i fyra kategorier beroende på hur verkan levereras.

De fyra leveranssätten är:

- Rörligt/plattformsbundet
- Bärbart
- Ledningsbundet
- Projektilbaserat

Ett rörligt/plattformsbundet HPM-vapen innebär att det är ett tyngre system på någon form av fordon eller annan bärare av vapnet. Ryssland har t.ex. ett lastbilsburet system kallat Astrofizika-Omega (Benford, Swegle, Schamiloglu 2016). Ett ledningsbundet system måste fysiskt anslutas via kabel till målobjektet för att skicka in HPM-pulsen.

Det finns ett system V-MADS Raytheon (Active Denial System) som bygger på mikrovågor i 94 GHz-frekvensen avsedda att skapa en brännande smärta hos människor (Andersson et al. 2009, 181). Våglängden är 0,3 mm och påverkar därmed strax under huden direkt till känselcellerna. Detta är ett IDV-vapen avsett att förhindra mänskligt tillträde till en viss yta.

### **Slutsatser HPM-vapen**

- Insats med HPM-vapen underlättas i alla miljöer på grund av att det är ett icke-dödligt vapen (IDV).
- Ingen kinetisk energi träffar målet och orsakar splitterverkan.
- Vapnets egenskaper medger dold vapenverkan.

### **5.3 HPM-Verkan**

HPM-verkar på två sätt. Inledningsvis genom att störa elektriska nyttosignaler och orsaka felfunktioner i systemen. Vid högre effektnivåer tillförs energi till de elektriska komponenterna och därmed orsakas värmeutveckling i komponenten. Detta kan innebära att tillförd värme ej kyls bort tillräckligt snabbt och komponenten förstörs fysiskt helt eller delvis. Erfarenheten från BAE Systems är att HPM-pulsen stör ut elektroniken som sedan förstör sig själv. Exemplet från studiebesöket på BAE Systems var att ett switchat nätaggregat på grund av pulsen kan låsa sig i ett felaktigt läge och orsaka kortslutning som förstör kretsen.

Från HPM-vapnets antenn sker det en vågutbredning till målet. Vågutbredningen under olika förhållanden är nogt beskrivet och beräknat i en FOI-rapport *HPM-strålningens utbredning från källa till mål* (Johansson 2003). Förutom avståndet dämpas pulsen i olika grad av all materia som befinner sig mellan antenn och mål. En antens riktverkan och egenskaper som back- och sidolober är viktiga parametrar. De påverkar räckvidden och riskhanteringen. Generellt dämpas HPM-pulsens effekttäthet (S) med  $\frac{1}{R^2}$  där R är avståndet. Eftersom HPM-pulsen dämpas kraftigt i atmosfären är närhet till målet viktigt. Det är alltså viktigt med hög pulseffekt då det ger längre räckvidd. I fallet med HPM-stridsdel i robot är närhetsaspekten inget problem med dagens precisionsvapen.

För att HPM skall kunna ge verkan måste det ske en inträngning eller koppling. Litteraturen benämner kopplingstyperna för fram- och bakvägskoppling. Framvägskoppling använder sig av målets sensorer och antenner för att tränga in. Framvägskoppling kan ske som första eller andra graden. HPM-strålning som sammanfaller till del med målets arbetsfrekvens är första gradens framvägskoppling. Andra gradens framvägskoppling är när HPM kopplar genom en antenn/sensor på en annan frekvens än den är konstruerad för (Bäckström, Lövstrand 2004, 397). Bakvägskoppling är diffus och komplex då den tränger in på andra vägar. En icke-ledande plastkonstruktion skyddar inte alls utan pulsen kan koppla direkt till ledningar och kablage. Kolfiberarmerad plast ger däremot ett skydd i närheten av en metallisk konstruktion. Även en skyddad konstruktion kan ha brister i form av skarvar, packningar med dålig kontakt, displayfönster och hål för ventilation. Via dessa brister i konstruktionen kan HPM-pulsen tränga in och ge verkan.

Vad krävs då för att uppnå någon form av verkan? Beräkningsmässigt blir detta snabbt en utmaning på grund av de många parametrarna. Parametrarna är svårbedömda och har mycket stor inverkan på resultatet. Generellt kan sägas att hög pulseffekt (P), hög pulsrepetitionsfrekvens (prf) och lång pulslängd ( $\tau$ ) inverkar positivt på HPM-verkan (Bäckström, Lövstrand 2004, 398-399).

### **Beräkning av HPM-verkan**

Följande parametrar används i HPM-beräkningarna i undersökningen.

### Parametrar

Absorptionsyta	A	[m <sup>2</sup> , kvadratmeter]
Antenn diameter	D	[m, meter]
Antennvinst	G	[ggr, ofta decibel, dB]
Avstånd	R	[m, meter]
Bandbredd	B	[Hz, hertz]
Frekvens	f	[Hz, hertz]
Effekt	P	[W, watt]
Effekttäthet	S	[W/m <sup>2</sup> , watt per kvadratmeter]
Fältstyrka	E	[V/m, volt per meter]
Impedansanpassningsfaktor q		(värde mellan 0-1)
Lobbredd	$\theta$ [theta]	[rad, radianer] ( $1^\circ = \frac{\pi}{180}$ rad)
Polarisationsverkningsgrad p		(värde mellan 0-1)
Pulslängd	$\tau$ [tau]	[s, sekund]
Pulsrepetitionsfrekvens	1/T	[Hz, hertz]
Skärmverkan	SE	[ggr, ofta decibel, dB]
Tiden (mellan)	T	[s, sekund]
Tröskelenergi	W	[J, joule]
Vågimpedans	Z	[ $\Omega$ , ohm]
Våglängd	$\lambda$ [lambda]	[m, meter]
Sambandet våglängd/frekvens		$\lambda * f = c$ ( $c = 2,99792 * 10^8$ m/s)

### Erfarenhetsvärden HPM-verkan

Erfarenhetsvärden (Bäckström, Lövstrand 2004) från mångårig forskning pekar på att oskyddade system störs vid en fältstyrka, E på något hundratal V/m och förstöring i L/S-bandet 15-25 kV/m. Samma forskning anger även att förstörande framvägskoppling på ett militärt radiolänksystem krävde endast 2kV/m. En annan källa anger att förstöring kräver 10 kV/m och uppåt (FOI 2001, 61). Jämförs dessa värden rakt av utan analys (förstöring 2kV vs. 10kV-25kV) fås att framvägskoppling kan vara 5-12,5 ggr effektivare än bakvägskoppling. Denna jämförelse kan ge en fingervisning men skall inte användas vidare i undersökningen. En kärnvapen-EMP uppe i atmosfären genererar en fältstyrka i storleksordningen 50 kV/m på marknivå. Den elektriska fältstyrkan enligt ovan beräknas enligt Formel 1- Elektrisk

fältstyrka. Ur Formel 1- Elektrisk fältstyrka kan utläsas att ökad effekt, P och ökad antennvinst, G påverkar HPM-verkan positivt men att avståndet, R är den avgörande faktorn.

$$E = \frac{1}{R} * \sqrt{\frac{P * G * Z_0}{4\pi}}$$

Formel 1- Elektrisk fältstyrka

*Formel 2- Antennvinst* visar hur antennvinsten, G påverkas av antenndiametern, D i förhållande till våglängden,  $\lambda$  [lambda]. Valet av ökad räckvidd ökar HPM-vapnets storlek. Detta förhållande gäller även för andra vapensystem

$$G \approx \frac{4\pi}{\theta_h * \theta_e} \approx 4\pi * \frac{D^2}{\lambda^2}$$

*Formel 2- Antennvinst*

$$\theta_h = \theta_e \approx \frac{\lambda}{D}$$

*Formel 3- Lobbredd parabolantenn*

Lobbreden kan vara alltifrån 360 grader runt om (dipolantenn) till några få grader med parabolantenn. HPM-verkan kan alltså ha samtidig omedelbar verkan inom ett volymmässigt mycket stort område jämfört med eldrörsvapen med zonrör. Detta kan innebära enkel invisning av vapnet och risken för riktfel påverkar inte träffsannolikheten.

Det som avgör vapnets verkan är hur stor koppling som kan göras ända in till komponentnivå i målet. Om HPM-frekvensen är anpassad till antennens eller sensors frekvens sker framvägskoppling. För att uppnå verkan till oskyddad komponent krävs endast låga nivåer elektrisk fältstyrka. Detta innebär att framvägskoppling till en känd antenn erbjuder ökade möjligheter till verkan. Bakvägskoppling bygger på att HPM tränger in individuellt på oförutsägbara vägar via svagheter i målets konstruktion. I princip alla mål har en svaghet någonstans, frågan är vilken frekvens den ligger på samt vilken polarisation och infallsvinkel som är optimal. Om bakvägskoppling ska ske till skyddat mål krävs mycket höga nivåer. I sista fallet är det inte säkert att det är möjligt att uppnå verkan.

### Slutsatser HPM-verkan

- HPM-verkan har en stor osäkerhetsfaktor men kan ha både störande och förstörande verkan på all elektronik.
- HPM-pulsens kraftiga dämpning i atmosfären innebär en begränsning av verkansavståndet för HPM-vapen vilket är positivt för att ha kontroll över vapnet och kunna hantera riskerna.
- Vapenverkan kan i viss mån graderas och kontrolleras med hjälp av uteffekt och lobbredd.
- Stor lobbredd innebär en mycket stor verkansvolym för varje puls men kortare räckvidd.
- Ju högre elektrisk fältstyrka vid målobjekt desto mer ökar sannolikheten till verkan.
- Framvägskoppling ökar verkanssannolikheten markant.

### 5.4 HPM-Räckvidd

Ett teoretiskt försök att beräkna vapenverkan för vapen med parabolantenn kan göras med *Formel 4 - Avstånd för vapenverkan*.  $R_{max}$  är avstånd för vapenverkan.  $E_1$  är då erfarenhetsvärden på elektrisk fältstyrka för störning respektive förstöring vid bakvägskoppling på oskyddad elektronik.

$$R_{max} = \frac{D}{E_1 * \lambda} * \sqrt{120\pi P}$$

*Formel 4 - Avstånd för vapenverkan*

Vilka verkansavstånd är teoretiskt möjliga med HPM-vapen för bakvägskoppling? Anta att vapnet har högsta möjliga uteffekt, P och en inte alltför stor parabolantenn, D. Frekvensen, f har lagts i L-bandet i närheten av GPS-signalerna. Syftet med frekvensvalet är att öka sannolikheten till framvägskoppling. Valet påverkar inte den teoretiska beräkningen men skulle öka verkanssannolikheten i praktiken. Genom att använda *Formel 4 - Avstånd för vapenverkan* med valda värden i *Tabell 1- Bedömda verkansavstånd Störning Bakvägskoppling* samt *Tabell 2- Bedömda verkansavstånd Förstöring Bakvägskoppling* fås maximalt verkansavstånd  $R_{max}$  mot oskyddad elektronik.

### Förklaring till Verkanssannolikhetsbedömning

Undersökningen redovisar en egen bedömningskala gällande sannolikhet till verkan. Ju högre HPM-känslighet målobjektet har desto högre verkanssannolikhet, dvs. ett längre påverkansavstånd  $R_{\max}$ .

Forskningen är inte entydig vad gäller de exakta elektriska fälten, E som krävs. Bäckström och Lövstrand anger ”något hundratal V/m” för att störa oskyddad elektronik. Denna undersökning väljer en säkerhetsmarginal dvs. ett något högre elektriskt fält och graderar verkanssannolikheten i låg, trolig och hög. Redovisad litteratur och samtliga forskare/ingenjörer vid studiebesöken är dock helt eniga om att praktisk testning krävs i varje enskilt fall för att få ett säkert svar.

Tabell 1- Bedömda verkansavstånd Störning Bakvägskoppling

HPM-känslighet	$E_{\text{störning}}$	P	D	Frekvens	$R_{\max}$
Hög	300 V/m	10 GW	0,5 m	1,3 GHz	14032 m
Medel	500 V/m				8420 m
Låg	700 V/m				6014 m

Tabell 2- Bedömda verkansavstånd Förstöring Bakvägskoppling

HPM-känslighet	$E_{\text{förstöring}}$	P	D	Frekvens	$R_{\max}$
Hög	10 kV/m	10 GW	0,5 m	1,3 GHz	421 m
Medel	15 kV/m				281 m
Låg	25 kV/m				168 m

### Slutsatser HPM-räckvidd

- Bedömt verkansavstånd mot oskyddad elektronik för störning innebär ett ytmässigt stort påverkansområde.
- Det bedömda verkansavståndet för förstöring är kort jämfört med andra förstörande vapensystem.

## 5.5 HPM-Skydd

Det finns sätt att skydda sig. Ett fullständigt skydd mot HPM är att placera målet helt inkapslat i ett heltäckande metalliskt jordat skal. Principen kallas skärmning, populärt kallad Faradays bur (Young & Freedman 2007, 764-765) och inga elektromagnetiska vågor kan tränga igenom skyddet. Den militära nyttan med objektet helt isolerat i ett slutet skal utan hål kan ifrågasättas. Om Faradays bur byggs som ett jordat nät omkring målet kan ett gott skydd skapas. Hållens storlek i nätet avgör vilken våglängd som kan passera och därmed den oskyddade frekvensen. Skärmning är frekvensberoende. Militära berganläggningar byggda under det kalla krigets kärnvapenhot har EMP-skydd. Skyddet har bestått av principen Faradays bur. Inkommande kablage har skydd i form av åskskydd (LEMP) och EMP-skydd (NEMP). EMP-skydd är designat för gott skydd i det lägre frekvensområdet dvs. frekvenser lägre än HPM-frekvenserna. EMC-direktivet (European Union 2014) innebär ett teoretiskt skydd. Eftersom produkten inte skall stråla ut så skall inte så mycket heller stråla in.

### Skydd mot framvägskoppling

Kraftigast verkan fås genom framvägskoppling. En radar sänder och tar emot en mikrovågssignal i samma antenn. Den måste skyddas mot oavsiktlig reflektion av sin egen strålning in i antennen. Detta sker med snabba brytare som blockerar inkommande signal om den är för stark. Brytarna måste vara mycket snabba. Brytarna är anpassade till radarfrekvensen men kan ge visst skydd även i andra frekvenser. I kampen mellan medel och motmedel kommer skydds-brytarna vara snabbare än stigtiden hos HPM-pulsen enligt forskare vid FOI. Alla antenner och sensorer måste ges skydd mot HPM för att undvika framvägskoppling. Sannolikheten för att ett avancerat skydd med till exempel skydds-brytare på små kommersiella UAV är lågt på grund av kostnadsskal.

### Skydd mot bakvägskoppling

Bakvägskoppling är svårare att konstruera skydd mot. Materialval och bra designad skärmning är en bra början. En fysisk skärmning är ett starkt skydd medan EMC-skydd på komponentnivå inte är det enligt studiebesöket vid BAE Systems. Det är sedan viktigt att utsätta objektet för strålning för att upptäcka ofullkomligheter i skärmningen. Forskare vid FOI, ingenjörer vid BAE Systems och litteraturen är överens om detta. Allt elektriskt ledande material kan fungera som en antenn och ta upp HPM-strålning. Det kan uppstå oväntade kopplingar. Studiebesöket vid BAE Systems klargjorde att det är möjligt att i efterhand



tilläggs-skärma en produkt. Det måste däremot vara riktigt bra utfört annars kan ett slarvigt skydd göra mer skada än nytta och skapa oavsiktliga kopplingar.

### Skyddsberäkningar

Enligt *Formel 5 - Absorberad störeffekt* (FOI 2001, 61) framgår att skärmverkan (SE) får en i princip avgörande påverkan på den absorberade störeffekten  $P_s$ .

$$P_s = \frac{E^2}{Z_0} * A * \frac{1}{SE}$$

*Formel 5 - Absorberad störeffekt*

### Komplexitet

Enligt *Formel 6- Effektiv absorptionsyta* (FOI 2001, 61) framgår komplexiteten tydligt i fallet bakvägskoppling. En oavsiktlig antenn skall beräknas utifrån sin antennförstärkning (G), polarisationsverkningsgrad (p) och impedansanpassningsfaktor (q). En absorptionsyta dvs. en oavsiktlig antenn kan t.ex. skapas av ett slarvigt försök till elektromagnetisk skärmning med aluminiumfolie runt en produkt. Ofta kan okunnigt utförd skärmning göra mer skada än nytta enligt ingenjörerna vid BAE Systems.

$$A = \frac{\lambda^2}{4\pi} * G * p * q$$

*Formel 6- Effektiv absorptionsyta*

### Slutsatser HPM-skydd

- Det går att designa effektiva skydd mot HPM.
- Alla antenner, sensorer och all konstruktion måste ges skydd.
- Allt elektriskt ledande kan fungera som en antenn, ofta finns en svaghet någonstans om inte omfattande praktisk testning på artefakten utförts och skyddsåtgärder vidtagits.
- Fysisk skärmning och skärmning på komponentnivå ökar vikt och kostnad hos produkten.
- Billiga COTS-produkter får sannolikt en låg tålighet mot HPM-verkan.

## 5.6 UAV

Trafikreglerna för luftfart (Transportstyrelsen 2010, 1) gäller för luftrumets användare dvs. all flygning i svenskt luftrum. Transportstyrelsens regelverk (Transportstyrelsen 2009) för UAS (Unmanned Aircraft Systems) reglerar inte nöjes eller rekreativ flygning med UAV. Tillämpningsområdet för denna föreskrift är yrkesmässig trafik och flygning med UAS utom synhåll för piloten.

I undersökningens inledning klarlades att det finns kvalificerade UAV kommersiellt tillgängliga på marknaden som kan köpas anonymt. Företagsmarknaden för kommersiella UAV erbjuder skraddarsydda UAV med högre kapacitet i alla förmågor. Det svenska företaget CybAero AB i Linköping ([www.cybaero.se](http://www.cybaero.se)) har en högkvalificerad UAV i form av en helikopter. Denna UAV kan autonomt landa på korvett Visby i 25 knops fart i vindstyrkan 15 m/s (FMV 2016). Sannolikt konstrueras tyngre och mer avancerade modeller som denna för att klara kravnivån i flygplatsmiljön på den elektriska fältstyrkan,  $E < 7,2 \text{ kV/m}$  mellan 4-6 GHz (Bäckström, Lövstrand 2004, 396). De får då en skärmverkan, SE i grundkonstruktionen och tålighet mot HPM åtminstone i testat frekvensband. En UAV med förmågor som denna modell är dock svårare att anskaffa dolt för en angripare. Undersökningen fokuserar därför enligt problemställningen på de något mindre UAV-modellerna av typen multikopter.

### Principiell uppbyggnad

Grunden till en UAV av typ multikopter är ett chassi som kan bära upp övriga delar och nyttolasten. Chassit måste som alltid i flygsammanhang vara lätt och starkt. Vanliga material är plast och aluminium samt i de mer påkostade modellerna även kolfiber och magnesium. Varje rotor har en egen motor. Motorerna är uteslutande av typen elektriska borstlösa motorer. Orsaken till detta är att de är effektiva och lätta. En borstlös motor har mindre friktion och inga delar att slita ut förutom lagren (Fahlstrom & Gleason 2012, 83). Nackdelen med denna motor är att den kräver en avancerad styrfunktion som tillför rätt spänning till rätt spole i rätt ögonblick. I multikoptersammanhanget benämns styrfunktionen ESC (electronic speed controller). ESC-systemet är vitalt för att en multikopter skall upprätthålla en stabil flygförmåga. ESC kan kallas kraftelektronik vilken normalt är klart mer robust i sin funktion än finelektronik, dvs. svårare att störa.

Kraftkällan som driver de elektriska systemen är vanligtvis ett eller flera batterier av typen litium-polymer (Li-Po). Li-Po-batteriet har ett högt energiinnehåll per viktenhet vilket är fördelaktigt i en flygfarkost. Den tekniska designen av denna batterityp erbjuder förutom

robusthet och säkerhet dessutom enkelhet för tillverkaren att uppfylla olika kunders designönskemål (Fahlstrom & Gleason 2012, 85).

Avioniken i en liten UAV är i huvudsak uppbyggd på samma sätt som i bemannade luftfarkoster. Skillnaden är att systemen inte är dubblerade och att de är uppbyggda av COTS (Szczepanski 2015, 51). En liten UAV har lätt, kompakt och enklare avionik än en större. Särskilda systemlösningar för just UAV är enligt Szczepanski (2015, 51) kommunikations- och datatransmissionslösningar, autopilot, övervaknings- och spaningssystem.

Flygkontrollsystemet med autopiloten är en del av avioniken och utgör ett stabilt reglerystem med inre och yttre reglerloopar för flygförmågan. Avionik för att upprätthålla navigering är GPS/GLONASS, kompass, lufttrycksmätare för höjdregering, lufthastighetssensor och gyro. Styrningen från marken använder standardfrekvensen 2,4 GHz med en normalräckvidd på 1500 meter. Dataöverföring till och från UAV använder standardfrekvens 433 MHz i Europa. Standardfrekvenser innebär att många system med ofta kort räckvidd samsas om ett litet frekvensutrymme. Programmering av den inbyggda autopiloten kan göras med olika program t.ex. Mission planner, APM Planner eller Tower. Programmet Mission Planner stödjer svärmning (swarming) vilket innebär att en grupp UAV navigerar och flyger tillsammans. Svärmning kräver att kommunikation sker mellan UAV:erna i svärmen på något sätt.

### **HPM-koppling till elektroniken i kommersiell UAV**

Tidigare i undersökningen har det framkommit att framvägskoppling av HPM-puls ger klart ökad verkanssannolikhet och ökat verkansavstånd. En kommersiell UAV använder standardsystem för kommunikation och navigation. Det finns därmed ett antal naturliga vägar till framvägskoppling. Alla UAV med autonom flygförmåga har någon form av positioneringssystem och det är oftast GPS. Det krävs en mottagarantenn för att ta de svaga GPS-signalerna från satelliterna. Frekvensbanden för GPS är kända ~1,3 GHz och ligger i L-bandet (1-2 GHz). Styrsignalen från operatören för styrning av UAV använder frekvensen 2,4 GHz. Dataöverföring för datasignal t.ex. video använder 433 MHz. Kommunikation mellan elektroniska produkter sker med standardgränssnitt ofta i licensfria ISM-frekvensband (Industrial, Scientific and Medical). Wifi (Wireless Fidelity eller standarden IEEE 802.11) arbetar i 2,4 GHz-bandet och Bluetooth ligger mellan 2,4–2,5 GHz. Det finns alltså ett flertal antenner och frekvensband för kommunikation till/från UAV.

## Slutsatser UAV

- Marknaden erbjuder flygklara kvalificerade UAV som kan bära ett antal kilo nyttolast och byggdelar för önskade tilläggfunktioner.
- COTS-elektronik är normalt enkla billiga förbrukningsvaror.
- Trenden pekar på att andelen kommersiella elektroniska produkter som kommunicerar genom elektromagnetiska signaler ökar i framtiden genom Internet Of-Things, IoT.
- Kunskap finns i olika forum på internet för att klara av att bygga eller modifiera sitt projekt.
- Programvara för att stödja UAV:ers uppträdande i svärm finns publikt tillgängligt.
- Störtåligheten bedöms öka med storleken hos kommersiella UAV.
- Det finns lämpliga frekvensband för framvägskoppling av HPM-vapen mot kommersiell UAV. Dataöverföringssignal 433 MHz, GPS ~1,3 GHz, Styrsignal/Wifi ~2,4 GHz.

## 5.7 Spelkort HPEMcase

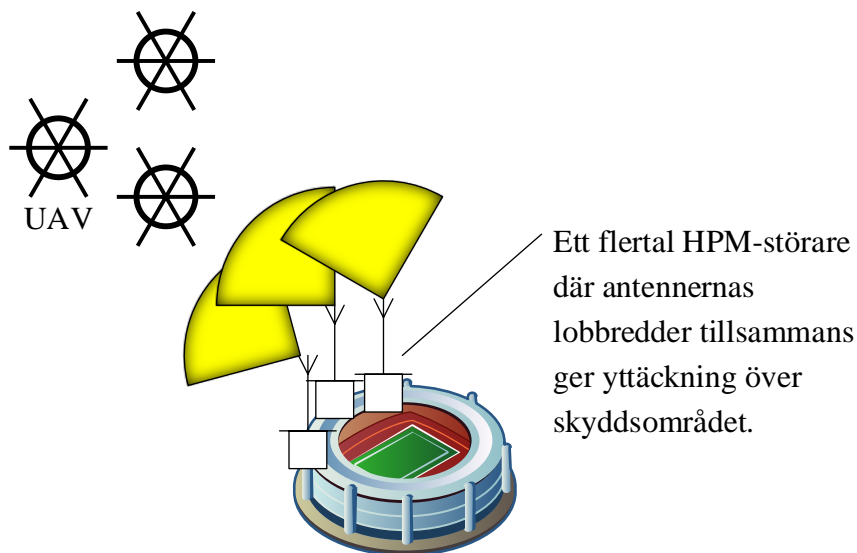


Bild K. Eriksson

Figur 7- Spelkort HPEMcase

HPEMcase är en produkt från det tyska företaget Diehl BGT Defence. Produktnamnet kommer enligt Diehl av High-Power Electro-Magnetics (HPEM) och case av att systemet

inryms i en väska. Väskan är 50x41x20 centimeter och väger 23,5-32 kilo beroende på konfiguration. Systemet upplevs inneha en hög teknisk mognadsgrad då det är en färdig produkt på marknaden. HPEMcase skickar ut en pulsform kallad dämpad sinusoscillation (DS) med en hög bandbredd. Den höga bandbredden innebär ett frekvensmässigt stort påverkansområde för framvägs- och bakvägskoppling. Hög bandbredd innebär också svårigheter att konstruera en effektiv antenn. HPEMcase har därför en reflektor för riktverkan då den i konstruktionen ingående dipolantennen inte är utbytbar enligt forskare vid FOI.



*Figur 8 - HPEMcase standardmodell med reflektor Foto K. Eriksson*

Tabell 3 - Parametrar HPEMcase

Pulstyp	UWB (DS, dämpad sinusoscillation)
Uteffekt, P	160 MW
Pulslängd, $\tau$	5 ns
Pulsrepetitionsfrekvens, prf	Max 10 Hz
Frekvens, f	350 MHz
Lobvinkel, $\theta$	360° dipolantenn 45° riktverkan med reflektor (”antennvinst” G=1,63)
Elektrisk fältstyrka (normaliserat elektriskt fält)	120 kV/m @ 1m med reflektor
Bandbredd, B	450 MHz (150-600 MHz)
Batteridrift (6,6 Ah)	30 min

### **Teoretiska verkansavstånd bakvägskoppling**

”Det är mycket svårt, om inte omöjligt att designa en riktigt effektiv antenn till denna bredbandiga typ av strålkälla” enligt forskare vid FOI. Beräkningarna måste därför utgå från uppmätt normaliserat elektriskt fält på 1m avstånd. Formel 2- Antennvinst och Formel 3- Lobbredd parabolantenn kan inte tillämpas på en reflektor. Inte heller begreppet antennvinst, G kan användas med reflektor och denna signaltyp.

Redovisade värden i Tabell 3 - Parametrar HPEMcase används tillsammans med Formel 1- Elektrisk fältstyrka för att räkna fram  $R_{max}$ .

Beräkningarna redovisas i Tabell 4 – Teoretiska Störningsavstånd HPEMcase

Bakvägskoppling och Tabell 5 - Teoretiska Förstörensavstånd HPEMcase Bakvägskoppling.

Teoretiskt värde på  $R_{max}$  bedöms mot scenariots skyddsområde i slutsatserna.

$$E = \frac{1}{R} * \sqrt{\frac{P * G * Z_0}{4\pi}} = \frac{k}{R} \rightarrow R = \frac{k}{E} \rightarrow R = \frac{E_{1m}}{E}$$

Formel 1- Elektrisk fältstyrka

Beräkningen utgår från det normaliserade elektriska fältet  $E_{1m}$  på 120 kV/m. Insättning av olika värden på  $E_{störning}$  och  $E_{förstöring}$  ger de olika  $R_{max}$ -värdena i Tabell 4 och Tabell 5.

$$R_{max} = \frac{120 * 10^3}{E} = \frac{120 * 10^3}{300} = 400 \text{ m}$$

Tabell 4 – Teoretiska Störningsavstånd HPEMcase Bakvägskoppling

HPM-känslighet	E <sub>störning</sub> E	P	E <sub>1m</sub>	Frekvens, f	R <sub>max</sub>
Hög	300V/m	160 MW	120 kV/m	350 MHz	400 m
Medel	500V/m				240 m
Låg	700V/m				171 m

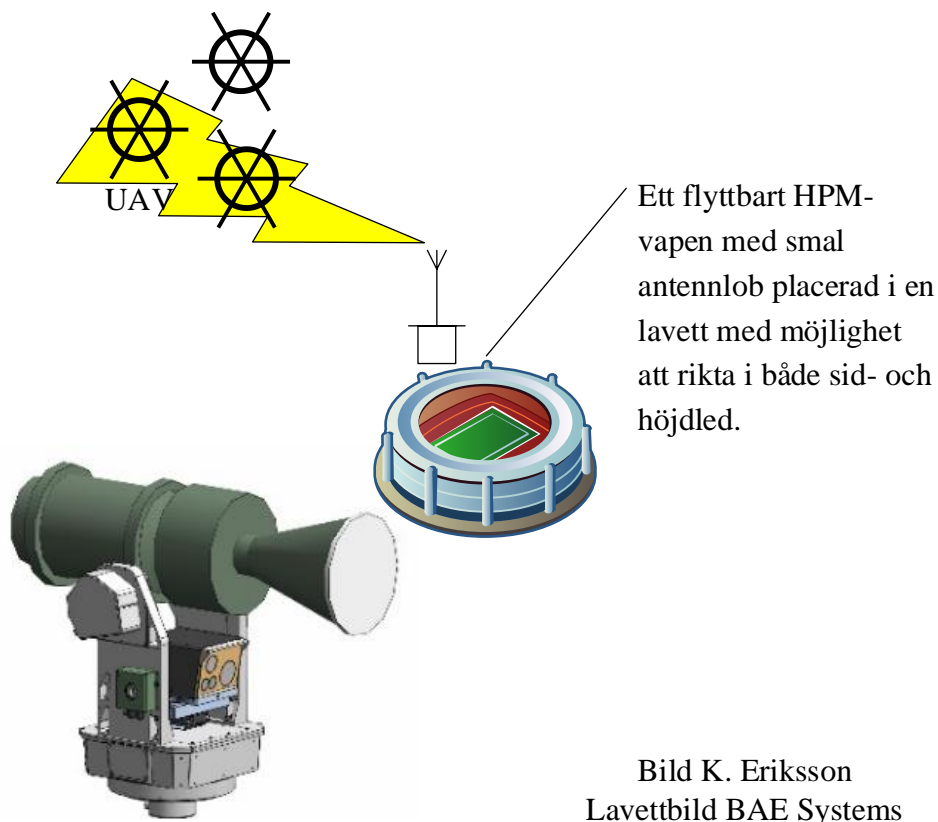
Tabell 5 - Teoretiska Förstörensavstånd HPEMcase Bakvägskoppling

HPM-känslighet	E <sub>förstöring</sub> E	P	E <sub>1m</sub>	Frekvens	R <sub>max</sub>
Hög	10 kV/m	160 MW	120 kV/m	350 MHz	12 m
Medel	15 kV/m				8 m
Låg	25 kV/m				4,8 m

### Slutsatser HPEMcase

- HPEMcase kan med medelhög verkanssannolikhet störa en kommersiell UAV i skyddsområdet.
- Systemet kan inte förstöra mål förrän det är för sent (några få meter). Vid praktiska prov hos FOI har inte mål förstörts trots ett teoretiskt förstöringsavstånd.
- Flera system kan pga. den breda loben störa mycket stora luftvolymmer vilket kan vara både en fördel och en nackdel..
- Teoretiska verkansavstånd har en genuin osäkerhet.

## 5.8 Spelkort Blackout



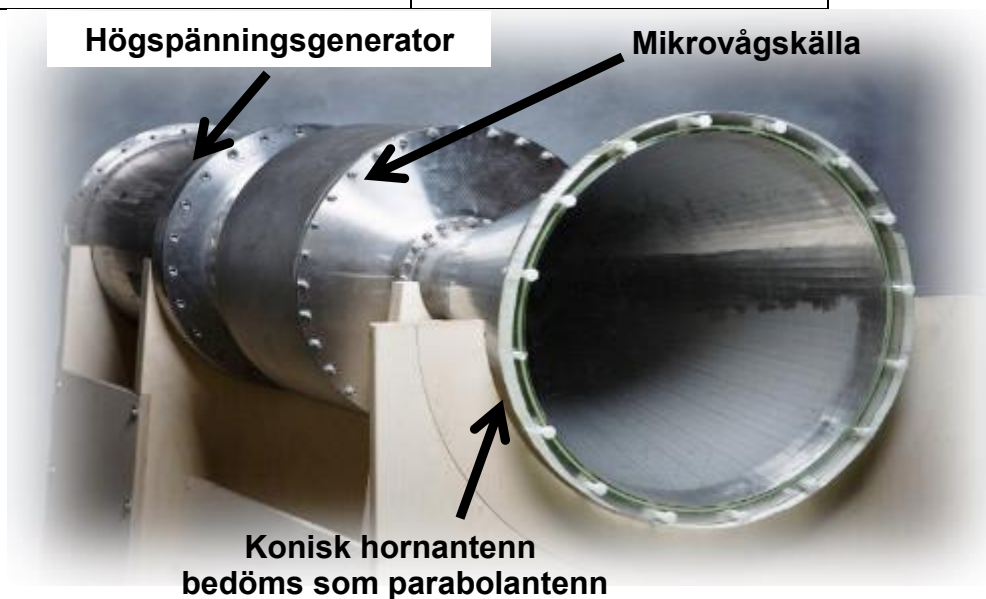
*Figur 9- Spelkort Blackout*

BAE Systems Bofors har i samarbete med Försvarsmakten tagit fram ett HPM-vapen kallat Blackout. Längden är strax över två meter. Diametern är 60 cm och vikten är knappt 500 kg. Uteffekt HPM-strålning anges till knappa GW-nivån. Frekvensområdet ligger i L-bandet och kan ändras till S-bandet. Antennen är en konisk hornantenn och lobvinkeln för antennen antas i detta fall vara 20 grader. Direktiviteten är proportionell till storleken på antennen. Det finns möjlighet att konstruera olika antenner. Vid batteridrift kan systemet skjuta ett skott var 20 sekund. Med extern kraftförsörjning kan pulsrepetitionsfrekvensen vara 5 Hz under minst 1s. Vid långvarig drift krävs påfyllnad av gasen SF<sub>6</sub>, svavelhexafluorid för att minska det elektriska överslaget. Gasen är inte farlig för människor men är en extremt aggressiv växthusgas. Blackout (Karlsson et al. 2009) är ett demonstratorvapen som inte är färdigt för serieproduktion i nuvarande skick.



Tabell 6 - Parametrar Blackout

Pulstyp	Smalbandig HPM
Uteffekt, P	800 MW (antagande)
Pulslängd, $\tau$	400 ns (antagande)
Pulsrepetitionsfrekvens, prf	5 Hz (antagande)
Frekvens, f	L-band (S-band) 1-2 GHz (2-4 GHz)
Lobvinkel $\theta$	20° (antagande)
Kraftförsörjning	Nätansluten eller batteri



Figur 10 - Blackout (Med tillstånd av BAE Systems)

### **Teoretiska verkansavstånd bakvägskoppling**

Redovisade värden i Tabell 6 - Parametrar Blackout används tillsammans med Formel 4 - Avstånd för vapenverkan, Formel 3- Lobbredd parabolantenn och förhållandet våglängd/frekvens.

Beräkningarna redovisas i Tabell 7 - Teoretiska Störavstånd Blackout Bakvägskoppling och Tabell 8 - Teoretiska Förstörringsavstånd Blackout Bakvägskoppling. Teoretiskt värde på  $R_{\max}$  bedöms mot scenariots skyddsområde i slutsatserna.

### Beräkning av våglängd, $\lambda$

Sambandet våglängd/frekvens  $\lambda * f = c$  ( $c = 2,99792 * 10^8$ )

$$\lambda = c/f = 2,99792 * 10^8 / 2,4 * 10^9 = 0,1249133 \text{ m}$$

### Beräkning av antenndiameter, D

Lobbredd,  $\theta$  [theta], [rad, radianer] ( $1^\circ = \frac{\pi}{180}$  rad)

- Lobbredd parabolantenn  $\theta_h = \theta_e \approx \frac{\lambda}{D}$

$$D \approx \frac{\lambda}{\theta} \approx \frac{\lambda}{\left(\frac{\pi}{180}\right) * \theta} \approx \frac{\frac{c}{f}}{\left(\frac{\pi}{180}\right) * \theta} \approx \frac{\frac{2,99792 * 10^8}{2,4 * 10^9}}{\left(\frac{\pi}{180}\right) * 20} = 0,3578502$$

### Beräkning av $R_{max}$

$R_{max} = \frac{D}{E_1 * \lambda} * \sqrt{120\pi P} = \frac{0,3578502}{E_1 * 0,1249133} * \sqrt{120\pi * 800 * 10^6}$  där insättning av olika värden på  $E_1$  ger de olika  $R_{max}$ -värdena i *Tabell 7* och *Tabell 8* som i slutsatserna bedöms mot scenariots skyddsområde.

*Tabell 7 - Teoretiska Störavstånd Blackout Bakvägskoppling*

HPM-känslighet	$E_{störning}$ $E_1$	P	D ( $\theta = 20^\circ$ )	Frekvens	$R_{max}$
Hög	300 V/m	800 MW	0,3578502 m	2,4 GHz	5244 m
Medel	500 V/m				3146 m
Låg	700 V/m				2247 m

*Tabell 8 - Teoretiska Förstörsavstånd Blackout Bakvägskoppling*

HPM-känslighet	$E_{förstöring}$ $E_1$	P	D ( $\theta = 20^\circ$ )	Frekvens	$R_{max}$
Hög	10 kV/m	800 MW	0,3578502 m	2,4 GHz	157 m
Medel	15 kV/m				105 m
Låg	25 kV/m				63 m

### **Slutsatser Blackout**

- Blackout kan med hög verkanssannolikhet störa en kommersiell UAV i skyddsområdet.
- Systemet kan inte förstöra mål i hela skyddsområdet.
- Flera system kan troligen förstöra i större delen av skyddsområdet utom i höjddled.
- Teoretiska verkansavstånd har en genuin osäkerhet.

## 6 Analys

I undersökningen har först redogjorts för grundläggande fakta i den elektromagnetiska miljön. HPM-begreppet har sedan definierats och teknologins möjligheter till verkan och skydd har studerats. En genomgång av UAV(multikopter) och HPM-pulsens troliga kopplingsmöjligheter till UAV har behandlats. Scenariot beskrivs sedan ur angriparens och försvararens synvinklar och ytor definieras. Två spelkort med ett på marknaden befintligt vapen och ett svenskt demonstratorvapen redovisas. Systemens kända och antagna data möjliggör sedan analys av scenariot och HPM-vapen.

De två verkanssystemen HPEMcase och Blackout skall i sak utföra samma uppgift. Genom en elektromagnetisk puls skall en kommersiell UAV påverkas att inte kunna utföra sitt uppdrag. Detta skall dessutom lösas i en högriskmiljö för skada på tredje man där konventionella vapensystem kan ha svårt att få beslut om insats från befälhavaren. HPEMcase har en högre teknisk mognadsgrad och en enklare teknisk uppbyggnad. Blackout-systemet ligger mer i teknikens framkant och har därmed en lägre teknisk mognadsgrad och en mer komplicerad och känslig uppbyggnad.

Kommersiella UAV som kan hantera nyttolast från några hekto och uppåt innehåller avancerad elektronik. Kunder som köper en kvalificerad UAV vill inte att investeringen skall krascha. Därför byggs avancerade flyg- och backupfunktioner in i systemet.

### **HPM-vapens koppling mot verkan och skydd**

Bedömningen av ett HPM-vapens verkan och skyddets funktion är mycket komplex och måste egentligen göras i varje enskilt fall för ett rättvisande resultat. Då verkan av HPM är svårare att se än andra vapensystem gör det svårare för en militär befälhavare. Exempelvis kan ett pansarskotts verkan mot en stridsvagn observeras av skytten – träff och utslagning eller bom. Detta förhållande underlättar för den militäre befälhavaren att fatta beslut kring till exempel anskaffning och användning. Under utvecklingsfasen är HPM-vapen och pansarvärnsvapen egentligen mycket lika. Pansarprojektilens fart, anslagsvinkel, aktiva/passiva skydd på den specifika stridsvagnen måste bedömas i varje enskilt fall för att rättvisande kunna bedöma verkan. HPM-pulsens karaktär på det aktuella avståndet till den specifika UAV:n måste även här bedömas i varje enskilt fall. Det är dock alltid lättare att förstå det man ser.

## Risker med HPM-verkan

Ett HPM-vapen är ett vapen och måste hanteras därefter. Systemet måste anskaffas, mätas upp och ges handhavandeinstruktioner och säkerhetsavstånd. Då klarläggs tillåtna nivåer för strålning på personal och säkerhetsinstruktioner precis som för övriga luftvärnssystem.

Kan ett HPM-vapen förstöra egen elektronik? En HPM-puls kan inte skilja på egen eller fientlig elektronik precis som en avfyrad kula. Säkerhetsinstruktionerna måste följas även för detta vapen för att inte orsaka skada på annat än målet. Förstöring av elektronik sker på korta avstånd vilket redovisats i *Tabell 2- Bedömda verkansavstånd Förstöring Bakvägskoppling*.

Verkan sker huvudsakligen i luftdomänen med fri sikt där risken att förstöra tredje-parts elektronik bedöms som låg av författaren. Blackout har en tydlig riktverkan och skall inte ha några problem att sikta på målobjektet i luftdomänen utan att träffa annan elektronik. Träffas annan elektronik ändå i utkanten av verkansområdet bedöms det innebära en kort störning, kanske omstart vilket all elektronik klarar utan att degraderas.

Störning av en flygande UAV innebär att flygförmågan påverkas och oförutsedda manövrer kan utföras t.ex. rusning av motorerna och därmed en snabb förflyttning i någon riktning. En störd UAV kan därmed krascha en bra bit från platsen där den först träffades av vapenverkan. Detta kan innebära risker vid nedslagsplatsen främst beroende på nyttolasten i likhet med luftvärnsbekämpning med kinetisk energi i någon form.

Vilken verkan har HPM-strålningen på människor?

Precis som en person med pacemaker inte får jobba i ett stålverk så är det olämpligt att avfyra en riktad HPM-puls mot en pacemakerförsedd person. Så länge inte ett HPM-vapen riktas direkt mot en folkmassa bedöms direktiviteten, pulsens dämpning och pacemakers robusta konstruktion inte innebära några begränsningar i användandet i högriskmiljö.

## 6.1 SWOT-analys

Målet med SWOT-analysen är att belysa de två HPM-vapensystemens förmågor.

*Tabell 9- SWOT* lyfter fram karaktäristiken hos vapnen och förtydligar sedan möjligheterna att öka prestanda. Vapnen skall inte jämföras mot varandra. B=Blackout och H=HPEMcase i tabell 9.

Tabell 9- SWOT HPM-vapen

<p><b>Styrkor</b></p> <p><u>Gemensamma</u></p> <p>IDV, orsakar inte splitterverkan</p> <p><u>Särskiljande</u></p> <p>Brett frekvensband-H Hög uteffekt-B Lång puls-B Förstörande och störande verkan-B Störande verkan-H Stor verkansvolym i bredd-H Stor verkansvolym i djup-B</p> <p>Mycket låg kostnad per skott -H Låg kostnad per skott-B Teknisk mognadsgrad-H</p>	<p><b>Svagheter</b></p> <p><u>Gemensamma</u></p> <p>Skärmning av målobjekt minskar verkan Genuin osäkerhet kring verkan</p> <p><u>Särskiljande</u></p> <p>Låg uteffekt-H Kort puls-H Begränsad räckvidd-B Kort räckvidd-H</p> <p>Underhållsmässighet-B Teknisk mognadsgrad-B</p>
<p><b>Möjligheter</b></p> <p>Ökat verkansavstånd Viss möjlighet att byta frekvensområde</p>	<p><b>Hot</b></p> <p>Någon ny skyddsteknik som inte orsakar extra vikt, extra kostnad och är 100 % pålitlig. Ett hittills okänt anti-HPM-vapen</p>

HPEMcase kan få ökat verkansavstånd genom att reflektorn kan göras större. Teoretiskt ger detta 4 ggr högre elektrisk fältstyrka, E. Forskare på FOI anser dock att verkligheten inte är så generös utan det ger i praktiken endast 3 gångers ökning av fältstyrkan och därmed 3 gånger räckvidden. Konsekvensen blir en minskad lobbredd och därmed ökade krav på inriktning. En av Diehl Defence Ag modeller har en varierbar frekvens. Detta kan innebära möjligheter att styra HPM-pulsen mot framvägskoppling för att öka sannolikheten till verkan.

Blackout kan få ett ökat verkansavstånd. Effekten, P kan ökas med bedömt 20 % genom justeringar på vapnets olika delar. Antennförstärkningen, G kan ökas och det ger smalare antennlob och längre räckvidd. Längden på vapnet kommer då att öka eftersom antennen kommer bli längre. Ett alltför långt vapen blir inte fältmässigt hanterbart så verkligheten eller med andra ord den militära miljön kommer innebära en begränsning. Demonstratorn Blackout arbetar i nuvarande konstruktion i två frekvensband 1-2 och 2-4 GHz. Möjlighet finns att försöka styra frekvensen till framvägskoppling i GPS-bandet (~1,3GHz) och Wifi-bandet (~2,4 GHz) och öka sannolikheten till verkan.

### Slutsatser SWOT-analys

- Spelkortens HPM-vapen har liknande egenskaper. Det är pulskaraktären som skiljer. UWB-pulsen påverkar svagheter på bredden medan smalbandig puls slår hårt på djupet. (En liknelse kan vara luftbrisdad eller inträngningsbrisdad för en artillerigranat).
- Verkansytan eller verkansvolymen är stor och varje HPM-puls kan sägas fungera som en elektronisk sköld.
- Största svagheten är att skämning av målobjekt inverkar mycket negativt på verkanssannolikheten som redan är genuint osäker.
- Den låga kostnaden per skott och att det är ett IDV-vapen gör det lättanvänt.

## 6.2 Militär nytta

En bedömning allmänt av den militära nyttan (Andersson 2015) för HPM-vapen samt av spelkorten i det givna scenariot.

### Militär effektivitet

En diskussion av militär effektivitets indikatorer (Andersson 2015, 25-26) genomförs med avseende på HPM-vapnens verkan. Diskussionen belyser indikatorerna önskat resultat och riskmålsättningar. Tidsplan och kostnadsmål belyses inte.

### Önskat resultat

Slutsatserna i undersökningen rör endast bakvägskoppling. Framvägskoppling är mycket effektivare men eftersom specifikt målobjekt inte är känt kan undersökningen inte utgå från det fallet. Undersökningen redovisar att HPM-vapnen HPEMcase och Blackout inte kan förstöra kommersiella UAV i hela skyddsområdet. Den teoretiska räckvidden räcker inte till. Blackout kan störa med hög verkanssannolikhet i hela skyddsområdet. HPEMcase kan störa

med medelhög verkansannolikhet i hela skyddsområdet. Frågan är om inte verkansformen stora är tillräckligt för att uppnå önskat resultat i scenariot? Försök vid FOI Grindsjön med tre HPEMcase på rad med reflektorer som med överlappande lober bildade en elektronisk vägg visade att ingen UAV kunde passera. Luftvolymen som påverkas av en HPM-puls är unik jämfört med alla andra vapensystem exklusive kärnvapen. Ingen UAV blev elektroniskt förstörd men förmågan att flyga enligt sitt uppdrag omöjliggjordes. Först tappade operatören kontrollen över UAV och sedan tappade UAV:ns autopilot och flygkontrollsystemet kontrollen. Störningsläget där UAV:ns egenkontrollförmåga upphörde gav upphov till ”omöjliga” manövrer som till sist ledde till krasch. I och med att ett uppdrag inte kan utföras bör önskat resultat kunna sägas ha uppnåtts. Riskmomentet med störning är att UAV inte faller rakt ned kontrollerat utan flyger iväg. En fördel i ett icke-krigsscenario är att en UAV kan förhindras tillträde utan att förstöras.

Vilka möjligheter finns för att öka HPM-vapenverkan för att uppnå önskat resultat gällande förstöring? Spelkortens båda system har undersökts med normaleffekt och normalantenn. Enligt Formel 1- Elektrisk fältstyrka enligt tidigare i undersökningen framgår att faktorerna som kan påverkas är vapnets uteffekt, P och antennvinsten, G. Ökad uteffekt, P och bättre antenn, G ger ökad räckvidd. De båda undersökta vapensystemen kan ges ökad effekt och bättre antenn/reflektor och därmed förbättras vilket är redovisat i SWOT-analysens Tabell 9. Den ungefärliga fysikaliska toppeffekten 10GW som redovisats i kap 5.4 om HPM gäller fortfarande.

Då flera verkanssystem samverkar kan befälhavaren använda rätt vapen till rätt uppgift. Ett HPM-vapen behöver aldrig hushålla med ammunitionen eller vänta på att överordnad ledningsnivå skall godkänna ammunitionsförbrukning. Det ger snabba beslutskedjor för detta vapensystem. Ett vapensystem som får användas, är lätt att använda i olika miljöer och har gott om ammunition ökar chansen att nå önskat resultat.

### Riskmålsättningar

Osäkerheten kring vapenverkan för HPM i varje enskilt verkansfall är psykologiskt besvärande. Tryggheten för soldaten kring ett fungerande vapensystem är viktig. Synlig verkan är psykologisk verkan. Detta faktum kring HPM-vapens karaktär ger följande helt avgörande bedömning i analysen. På grund av osäkerheten kring verkan kan HPM-vapen inte ensamt stå för luftförsvaret. De måste ingå i luftförsvarets system av system.

## Militär lämplighet

HPM-vapen hanteras i undersökningen som ett tekniskt system och indikatorerna TEPID-OIL(I) (Försvarmakten 2015) används för att bedöma militär lämplighet. Tabell 10 redovisar en kort analys av indikatorer på militär lämplighet

*Tabell 10 - Indikatorer militär lämplighet*

Träning och utbildning	Operatörer bedöms behöva mindre utbildning på grund av den stora verkansytan. Det krävs endast en grov inriktning för att träffa målet. Säkerhetsutbildning krävs precis som för alla vapensystem.
Utrustning och materiel	Förbandet tillförs materiel och måste alltså hantera ytterligare ett verkanssystem.
Personal	HPM-vapnet bedöms få en fast gruppering eller placeras i fjärrstyrd lavett. Det innebär att det inte är personalkrävande.
Information	Information från ett eldlednings-/luftlägessystem krävs för att rikta in vapnet.
Doktrin	Förbandsenheter som är vana att hantera luftarenan och bekämpning av luftmål har doktriner att hantera även HPM-vapen.
Organisation	Luftvärnsförband, fartygsförband, flygvapenförband har organisation och förbandskultur att enkelt kunna hantera även HPM-vapen.
Infrastruktur och faciliteter	Bedöms inte kräva någon särskild infrastruktur eller faciliteter. En placering på fartyg eller flygplan kräver implementering.
Logistik	HPM-vapen kan vara batteridrivna men för att få en hög eldgivningsförmåga krävs strömförsörjning och tillhörande logistikkedja. Ett vapen av Blackout-modell kräver kvalificerat underhåll och särskilt utbildad personal.
Interoperabilitet	Ett HPM-vapen anpassat för europeiska standarder av COTS-elektronik i UAV överensstämmer inte globalt. Frekvensband är olika i olika länder och världsdelar.



### **Kostnadsdimensionen**

Produkten HPEMcase från Diehl Defence AG är färdig och erbjuds marknaden. Priset är en förhandlingsfråga och därmed okänt. Priset för FOI:s tre system är sekretessbelagt.

Demonstratorvapnet Blackout är inte en färdig produkt. Priset är därmed helt okänt.

Undersökningen har inte i någon aspekt fokuserat på kostnad då frågeställningen inte har eftersökt detta. Undersökningens bedömning är att minst ett kostnadsmässigt 5:1-förhållande råder mellan den mer avancerade Blackout och den enklare HPEMcase.

### **Slutsatser Militär Nytt**

- HPM-verkan störning mot en UAV löser uppgiften i princip lika bra som förstöring.
- På grund av osäkerheten kring verkan och den begränsade räckvidden kan HPM-vapen inte ensamt stå för luftförsvaret. De måste ingå i luftförsvarets system av system.
- HPM-vapen har en unik förmåga att agera som en elektronisk sköld pga. den omfattande verkansytan/volymen.
- Det bedöms enkelt att tillföra HPM-vapen till ett förband med vana att bekämpa luftmål.

## **7 Resultat**

Det finns definitivt möjligheter för HPM-vapen att uppnå verkan mot en kommersiell UAV. Demonstration på BAE Systems Bofors 2016-05-25 avseende Blackout-systemets förstörande verkan lämnar inga tvivel. Vid försök på FOI lyckas ingen liten kommersiell UAV passera den elektroniska skölden som tre uppställda bredbandiga HPM-vapen utgjorde. Elektronik och därmed UAV:ns uppdragsförmåga störs eller förstörs av en kraftig HPM-puls när koppling görs in i målet. Material visat vid studiebesök vid FOI Grindsjön 2016-05-23 avseende störande verkan visar tydligt att UAV förlorar kontrollen över sin flygförmåga när de utsätts för HPM-pulser som kopplas in. Verkligheten är dock mer komplex än så. I praktiken måste de exakta parametrarna för HPM-vapnet, scenariot och specifik UAV provas i varje enskild ”skott”-vinkel för att verkan med säkerhet skall kunna bedömas. En bedömning av den elektromagnetiska kopplingen av HPM-pulsen till målet görs realistiskt sett idag endast genom provning, inte genom beräkningar. Denna osäkerhetsfaktor får en avgörande inverkan då frågeställningen skall besvaras.

Utfallet av slutsatserna från undersökningen, SWOT-analysen och bedömningen av den militära nyttan ger bilden av ett i vissa aspekter säreget vapen.

- Vilket annat vapen löser sin uppgift i princip lika bra genom att enbart störa?
- Vilket annat vapen verkar i motsvarande luftvolym med varje skott?
- Vilket annat vapen har en i princip försumbar ammunitionskostnad?
- Vilket annat vapen har en lika osäker verkan?

### **Sammanfattande slutsats**

Sammanfattningsvis framlägger undersökningen och analysen följande sammanfattande slutsats:

- **HPM-vapen kan bidra till att minska ett förmågeglapp mot kommersiella UAV.**

Den sammanfattande slutsatsen stödjer sig på tre huvudsakliga områden och argument:

**Låg skyddsnivå på kommersiella UAV** - Små UAV kommer inte vara fysiskt skyddade pga storleken. Skydd kostar vikt och små flygfarkoster är mycket känsliga för viktökning. Skydd ökar kostnaden markant då inte standard COTS-delar används. Små UAV kommer vara förbrukningsvaror, därmed billiga och sårbara. Kommunikation till operatör och mellan UAV för svärmning kommer använda standarder för IoT. HPM angreppspunkter för framvägskoppling såsom antenner, frekvenser etc. kommer vara kända.

**Beslut om insats** – Ett icke-dödligt IDV-vapen är lätt att använda. En begränsad räckvidd ger kontroll över eldgivning med vapnet. Vapnet avfyrar inte någon kinetisk energi. Kostnaden för eldgivning är mycket låg. Vapnet har obegränsat med ammunition, befälhavaren behöver inte spara på krutet. Rätt vapen kan användas till rätt uppgift.

**Elektronisk sköld** – HPM-vapen har ett ytmässigt mycket stort verkans- eller påverkansområde. Vapenverkan påverkar i hela verkanssfären. Varje puls (skott) fungerar som en elektronisk sköld. Många mål kan påverkas samtidigt dvs. en hel svärm kan träffas samtidigt av ett skott (puls). Ingen noggrann inriktning eller zonrör krävs för att utlösa verkan. HPM-vapen kan därmed utgöra effektivt närskydd i snabba lägen.

## 7.1 Svar på frågeställning

*Vilka möjligheter har HPM-vapen att uppnå verkan mot kommersiella UAV?*

Baserat på osäkerhetsfaktorn och den sammanfattande slutsatsen i kap 7 besvaras frågeställningen på följande vis. HPM-vapen kan inte som ensamt vapensystem stå för skydd och uppnå säkerställd verkan mot kommersiell UAV. HPM-vapen kan däremot komplettera övriga verkanssystem och göra luftförsvaret starkare genom system av system. HPM-vapen kan bidra till att minska ett förmågeglapp mot kommersiella UAV.

## 8 Diskussion

I framtiden bedöms UAV av olika storlekar öka i antal i den luftoperativa miljön samtidigt som autonomiteten förbättras. Det finns ett tomrum i de militära maktmedlen mot små UAV. Det saknas ett eller flera verkanssystem mot luftmål mellan kulsprutans luftvärnsstativ och de kraftiga luftvärnssystemen i form av luftvärnsrobot och stridsflygplan. Stridsmiljön i framtiden kan antas i högre grad gå mot ett tillstånd där det inte alltid finns någon tydlig motståndare och krig inte kan förklaras. Intelligent UAV kan utföra uppdrag anonymt på distans. Ett icke-dödande vapen med liten risk för skada på tredje man som HPM-vapen kan fylla ett allt viktigare tomrum i framtidens stridsmiljö. Dyrbara vapensystem som luftvärnsrobot och Meteor-robot till JAS 39 Gripen bör inte slösas bort på billiga okvalificerade mål som en svärm av små UAV: er. Dessutom bedömer författaren att dessa vapens målsökare inte är optimerade för små mål och kanske inte ens träffar? Ett örlogsfartyg vid kaj är ett skyddsobjekt. När det flyger en UAV precis över fartyget (skyddsobjektet) vid kaj och filmar och samlar in data - hur kan skyddslagen tillämpas? Undersökningen har visat att det är möjligt att sätta in ett störande HPM-vapen som omöjliggör UAV-flygning i den omedelbara närheten av fartyget.

### **Framtiden för HPM finns den?**

Eftersom telekrig är hemligt kan detta inte bestyrkas med referenser men *ingen rök utan eld* som ett uttryck säger. Ryssland sägs ha utvecklat två kraftfulla HPM (telekrig)-system, Astrofizika Omega (Benford, Swegle, Schamiloglu 2016. 393) och Ranets-E (Benford, Swegle, Schamiloglu 2007, 49-50) vilka påstås (oklart av vem) ha påverkansområde 10-15 km på elektronik. Om proportionerna på reklambilden från försvarsföretaget är skalnligen har Ranets-E en parabolantenn på ca 2 meter. Jämförs detta med *Tabell 1- Bedömda*

*verkansavstånd Störning Bakvägskoppling* kan påståendet vara rimligt med en generös tolkning. Krasukha-4 är ett annat telekrigssystem (HPM?) med hemliga data som bl.a. sägs utgöra punktskydd för den kraftfulla ISKANDER missilen. ISKANDER sägs kunna bestyckas med en EMP-stridsdel (bedömt HPM) och eftersom vapenlasten anges upp till 800 kg är detta fullt rimligt. Precisionen hos ISKANDER sägs vara 30-70 meter hos exportversionen men Rysslands egna varianter som utrustas med en elektro-optisk målsökare sägs få en precision på 5-7 meter. Den uppmärksamme läsaren förstår då att det finns en intressant möjlighet till koppling av HPM via den elektro-optiska målsökaren. Vilka andra vapen finns mot ISKANDER på en svensk flygbas? Om en robot får sin elektro-optiska målsökare störd av HPM så att den med några meter missar landningsbanan på en flygbas eller ingången till en stridsledningscentral kan stor militär nytta uppnås.

### **Eget arbete**

Det här arbetet har studerat ett i hög grad komplext vapensystem mot ett typ mål i en speciell situation. Inget öppet återfunnet arbete har gjort en helhetsstudie av verkliga vapen mot en reell verklighet. Denna uppsats bidrar med just detta. Slutsatserna dras inte från vapenprestanda i forskningens ytterkanter utan från verkligheten. Det har genomförts som ett självständigt arbete där författaren själv skall stå för huvuddelen av tankearbetet i utbildningssyfte. Detta innebär en i huvudsak ensidig syn på problemet och är en brist. Denna brist beror inte på författarens förmåga utan gäller generellt alla "ensamarbeten". Stöd har inhämtats från handledare, kontaktpersonerna vid studiebesöken, extern referensperson och vid seminarier. Detta har gett en ökande bredd. Förenklingar av verkligheten har gjorts. Logiska slutsatser bedöms inneha en hög validitet baserat på författarens 27 åriga erfarenhet av arbete med elektronik i en militär kontext. Tack vare genomförda studiebesök bedöms antagna parametervärden inneha hög validitet. Utfallet av de matematiska beräkningarna beträffande räckvidd bedöms inneha låg reliabilitet. Ibland överensstämmer modellen och verkligheten och ibland inte. Den låga reliabiliteten beror på att verkligheten är mer komplex än teorin. De matematiska uträkningarna bedöms vara korrekt utförda och två olika beräkningsmodeller för antenn respektive reflektor har utnyttjats. Det har visat sig vara mycket svårt att bedöma en generell verkanssannolikhet utifrån matematiska modeller byggt på forskningens erfarenhet. Verkanssannolikhetsmodellen ger en möjlighet att värdera och ibland överensstämmer den med verkligheten. Beräkningsmodellerna har för många osäkra data. Reliabiliteten kan dock aldrig bli hög utan omfattande testning av många varierande målobjekt. Litteratur och forskare är i nuläget ense om att endast praktisk testning av varje

artefakt kan ge en hög reliabilitet. Praktisk testning blir väldigt dyrt i längden p.g.a. mängden parametrar som måste varieras och eftersom det krävs förstörande provning. HPM fungerar alltså på riktigt. Av kostnadsskäl kommer generella matematiska beräkningar på HPM-verkan därför att bära på en genuin osäkerhet avseende när-verkan uppträder, inte om den gör det!

## 9 Fortsatta studier

Prioriterat studieområde enligt denna undersökning är alla studier som bidrar till att öka verkanssannolikheten med HPM-vapen. Den här undersökningens bedömning är att all elektronik som inte konstruerats med särskild omsorg har en svag punkt. Det gäller bara att hitta den och kunna utnyttja den.

- Studera möjligheterna att kunna skraddarsy frekvensband för HPM-pulsen
- Studera samutnyttjande av energilagringen och den elektriska pulskällan för att mata två HPM-pulskällor, smalbandig och bredbandig puls. HPM-pulser med olika karaktär kan då påverka målet och öka chansen till ”träff”.
- Studera HPM-vapens möjlighet att utgöra en del i ett närskydd och på så vis öka skyddsnivån på t.ex. baser eller fartyg.
- Studera HPM-vapens möjligheter att påverka den optiska målsökaren i robotar/missiler för att minska dess precision i slutfasen. Varje meters avvikelse kan vara värdefull.
- Fördjupade studier om inkoppling av HPM till UAV:er

## Litteraturförteckning

- Andersson, K. et al., 2009. *Lärobok i Militärteknik, vol. 4 : Verkan och skydd* 1st ed., Stockholm: Försvarshögskolan.
- Andersson, K. et al, 2015. Military utility: A proposed concept to support decision-making. *Technology in Society*, 43, pp.23–32.
- Axberg, S. et al., 2013. *Lärobok i Militärteknik, vol. 9: Teori och metod* 1st ed., Stockholm: Försvarshögskolan (FHS).
- Benford, James;Swegle, John A;Schamiloglu, E., 2007. *High Power Microwaves* 2nd ed., Washington DC: Taylor & Francis.
- Borkhus, J., 2004. High Power Microwave - fremtidens luftvern/luftforsvar? Available at: <http://fhs.diva-portal.org> [Accessed March 30, 2016].
- Bruzelius, N. et al., 2010. *Lärobok i Militärteknik, vol. 5 : Farkostteknik* 1st ed., Stockholm: Försvarshögskolan (FHS).
- Bäckström, Mats G;Lövstrand, K.G., 2004. Susceptibility of Electronic Systems to High-Power Microwaves: Summary of Test Experience. *IEEE transactions on electromagnetic compatibility (Print)*, 46(3), pp.396–403.
- Department of Defence, 2010. *MIL-STD-464C, Department of Defence Interface Standard, Electromagnetic Environmental Effects Requirements for Systems*, USA. Available at: <http://www.everyspec.com/>.
- European Union, 2014. *Directive 2004/108/EC*, Available at: [www.eur-lex.europa.eu](http://www.eur-lex.europa.eu).
- Fahlstrom, P.G. & Gleason, T.J., 2012. *Introduction to UAV Systems: Fourth Edition*, FMV, 2016. FMV testar obemannat flyg från Visbykorvett. Available at: <http://www.fmv.se/sv/Nyheter-och-press/Nyheter-fran-FMV/FMV-testar-obemannat-flyg-fran-Visbykorvett/>.
- FOI, 2001. *FOI orienterar om Elektromagnetiska vapen och skydd* 1st ed., Totalförsvarets Forskningsinstitut.
- Försvarsmakten, 2015. *Handbok Målsättningsarbete Tekniska system 2015*, Försvarsmakten.
- Försvarsmakten, 2014a. *Nomenklatur för Ledningssystemområdet*, swe.
- Försvarsmakten, 2014b. *Slutrapport från förstudien MARK 141402FS Elektromagnetiska vapen mot luftmål*,
- Försvarsmakten, 2003. *Studien ATK 99064S HPM - hot och möjlighet i NBF*,
- Johansson, B., 2003. *HPM-strålningens utbredning från källa till mål*, Tumba.
- Karlsson, M.U. et al., 2009. Bofors HPM blackout - A versatile and mobile L-band high

- power microwave system. In *PPC2009 - 17th IEEE International Pulsed Power Conference*. pp. 499–501.
- NATO, 2014. *AECTP-250 Electrical and electromagnetic environmental conditions Edition C Version 1*, NATO.
- SFS, 2007. *Förordning (2007:1266) med instruktion för Försvarsmakten*, Sverige. Available at: [https://www.riksdagen.se/sv/Dokument-Lagar/Lagar/Svenskforfattningssamling/Forordning-20071266-med-ins\\_sfs-2007-1266/](https://www.riksdagen.se/sv/Dokument-Lagar/Lagar/Svenskforfattningssamling/Forordning-20071266-med-ins_sfs-2007-1266/) [Accessed March 30, 2016].
- SFS, 2006. *Lag (2006:343) om Försvarsmaktens stöd till polisen vid terrorismbekämpning*, swe. Available at: [http://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svenskforfattningssamling/lag-2006343-om-forsvarsmaktens-stod-till\\_sfs-2006-343](http://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svenskforfattningssamling/lag-2006343-om-forsvarsmaktens-stod-till_sfs-2006-343).
- Silfverskiöld, S., 2002. Effects of Lightning Electromagnetic Pulse and High Power Microwaves on Military Electric Systems.
- Szczepanski, C., 2015. UAVs and their avionic systems: development trends and their influence on Polish research and market. *Aviation*, 19(1), pp.49–57.
- Säkerhetspolisen, 2016. Nationellt centrum för terrorhotbedömning. Available at: [www.sakerhetspolisen.se/kontraterroism/nationellt-cenrum-for-terrorhotbedomning.html](http://www.sakerhetspolisen.se/kontraterroism/nationellt-cenrum-for-terrorhotbedomning.html) [Accessed April 27, 2016].
- Transportstyrelsen, 2010. *Transportstyrelsens föreskrifter och allmänna råd om trafikregler för luftfart*, Sverige: [www.transportstyrelsen.se](http://www.transportstyrelsen.se).
- Transportstyrelsen, 2009. *Transportstyrelsens föreskrifter om verksamhet med obemannade luftfartyg (UAS) (konsoliderad elektronisk utgåva)*, Sverige: [www.transportstyrelsen.se](http://www.transportstyrelsen.se). Available at: <http://www.transportstyrelsen.se/sv/Regler/sok-ts-foreskrifter/?RuleNumber=2014:45&rulePrefix=TSFS>.
- Wessman, T., 2005. HPM som luftvärnsvapen mot kryssningsmissiler, en möjlighet? Available at: <http://fhs.diva-portal.org/> [Accessed March 30, 2016].
- Young, H. & Freedman, R., 2007. *University physics with modern physics*,

### **Studiebesök och intervjuer**

- Studiebesök Totalförsvarets forskningsinstitut FOI. Grindsjön .2016-05-23. Kontaktperson Tomas Hurtig
- Studiebesök BAE Systems Bofors. Karlskoga. 2016-05-25. Kontaktpersoner: Patrik Hermansson, Mats Jansson, Denny Åberg.
- Intervju per telefon. 2016-06-07. kn Anna Normann. 62. Luftvärnsbataljon Lv6

Studiebesök Ullevi. Göteborg. 2016-06-04. Konsert med 70091 besökare och kommersiell UAV i luften.