



Militärteknik 2045

Ett underlag till Försvarmaktens perspektivstudie

GÖRAN KINDVALL, ANNA LINDBERG (RED.)

Göran Kindvall, Anna Lindberg (Red.)

Militärteknik 2045

Ett underlag till Försvarmaktens perspektivstudie

Titel	Militärteknik 2045 – Ett underlag till Försvarmaktens perspektivstudie
Title	Military technology 2045 – A basis for the Armed Forces long term planning process
Rapportnr/Report no	FOI-R--4985--SE
Månad/Month	November
Utgivningsår/Year	2020
Antal sidor/Pages	224
ISSN	1650-1942
Kund/Customer	Försvarmakten
Forskningsområde	Operationsanalys och strategisk planering
FoT-område	Inget FoT-område
Projektnr/Project no	E13709
Godkänd av/Approved by	Malek Finn Khan
Ansvarig avdelning	Försvarsanalys

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

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

Sammanfattning

Föreliggande rapport har tagits fram inom ramen för FOI-projektet *Stöd till militärstrategisk inriktning (SMI)* och är ett underlag till Försvarmaktens Perspektivstudie, vilken också har identifierat de teknikområden som tas upp. Syftet med rapporten är att informera om möjlig framtida teknikutveckling och den utgör därför ett framsynsunderlag, framförallt till stöd för Perspektivstudiens omvärldsanalys.

Rapporten består av kapitel som beskriver följande teknikområden: Additiv tillverkning, Cyber- och informations säkerhet, Distribuerade liggare, High Power Microwave (HPM), Hypersoniska system, Informationsteknologi, Kvantteknologi, Kärnvapen, Laser, Mänsklig förstärkning, Obemannat/Autonoma system, Plattformar (mark, sjö, luft), Rymden, Signaturanpassningsteknik (SAT) och Soldatsystemet. Samtliga författare är anställda på FOI och har lång erfarenhet inom respektive område.

Alla teknikkapitel har samma struktur. En inledande beskrivning följs av övergripande trender mot 2045. Därefter följer specifika delområden och teknologier som är särskilt relevanta för tidsperioden samt hur dessa beror av andra teknikområden. Militära konsekvenser till följd av teknikutveckling beskrivs framförallt under rubriken om grundläggande förmågor. Då underlaget är en del i omvärldsanalysen redovisas aktörer med relevans för teknikområdet, både avseende forskning och tillgång till system. Rapporten inleds och avslutas av redaktörerna, som beskriver teknikutvecklingen i allmänna termer, diskuterar rapportens innehåll, drar slutsatser och ger förslag på fortsatt arbete.

Rapporten kan användas för att identifiera viktiga frågeställningar för Försvarmaktens utveckling mot framtiden. Tidsperspektivet för rapporten är 2045 även om året 2045 ska tas med en nypa salt. För vissa av teknikområdena kan det vara svårt göra framsyn mer än 5-10 år framåt. I projektet SMI kommer fortsatta och fördjupade teknikunderlag tas fram till Perspektivstudiens strategiska arbete med att utveckla koncept och strukturella alternativ givet de bedömda och prioriterade gapen och behoven. Beskrivningar av ytterligare områden likt de i rapporten kommer också att tas fram.

Underlaget är framtaget både för att vara en inspirerande skrift i sammanhang där en uppfattning om den framtida teknikutvecklingen behövs och för att kunna användas i spel och seminariediskussioner om militärteknik inom Försvarmaktens Perspektivstudie eller annan studieverksamhet. Redaktörerna uppmanar till ett fortsatt arbete där tekniska experter och militära experter (officerare) tillsammans diskuterar frågeställningar.

Nyckelord: perspektivstudie, militär teknik, teknikutveckling, framsyn

Summary

This report has been produced by the project *Support to military strategic direction* (SMI) on assignment from the Swedish Armed Forces and the long term defence planning process specifically, which also has directed the specific areas to address. In this report FOI presents some technology areas of interest for future warfighting.

The purpose of the report is to inform on future technological developments out to 2045 for use in the Armed Forces long term defence planning process and its work on futures in particular.

In this report the areas of additive manufacturing, cyber and information security, distributed ledgers, High Power Microwave (HPM), hypersonic systems, information technology, quantum technology, nuclear weapons, laser, human performance optimization/enhancement, unmanned and autonomous systems, platforms, space, signature management and the soldier system are addressed in short chapters. Each chapter is written by FOI researchers with long experience in the specific areas.

In each chapter a general introduction and trends out to 2045 introduces the reader to the area. Thereafter specific technologies of relevance and interdependencies are presented. Military consequences as effects on capability and actors pursuing research and/or development activities in the area closes the chapter. The introductory and final chapters, written by the editors, describe the technology development in general terms, discuss the content of the report, draw conclusions and present ideas for future work

This report can be used to identify questions of relevance for future military capabilities depending on technological developments. The time perspective, that is, how long into the futures one can anticipate vary between technology areas. The year 2045 is thus the longest timespan and most chapters present developments that are possible already 5 to 10 years into the future.

Wargaming, workshops and reporting on additional technology areas are examples of possible continuing activities based on the information presented in this report. The editors encourage technical experts and military experts to meet, wargame and discuss issues raised by technology developments to better anticipate and prepare for future capability development.

Keywords: long term planning, military technology, technology development, technology foresight

Innehållsförteckning

1	Inledning	7
2	Allmänt om teknikutveckling	11
3	Obemannade farkoster och autonoma system	15
4	Informationsteknologi	29
5	Cyber- och informationssäkerhet	39
6	Distribuerade liggare	51
7	Kvantteknologi	61
8	High Power Microwave (HPM)	75
9	Laser	87
10	Signaturanpassningsteknik	93
11	Rymden	101
12	Hypersoniska system	119
13	Kärnvapen	127
14	Mänsklig förstärkning/Human enhancement	135
15	Soldatsystemet	149
16	Additiv tillverkning	161
17	Plattformer	177
18	Diskussion	211
19	Avslutning och förslag på fortsatt arbete	223

1 Inledning

Författare: Göran Kindvall och Anna Lindberg

1.1 Bakgrund

FOI-projektet *Stöd till militärstrategisk inriktning (SMI) 2020* har som en del av sitt uppdrag att lämna underlag till Försvarmaktens perspektivstudie. Ett område som särskilt beaktas i Perspektivstudien är teknikutveckling med relevans för militär förmåga. Denna rapport är ett bidrag till Perspektivstudiens framsynsarbete.¹ Rapporten redovisar i kortform ett antal utvalda teknikområden som företrädare för Perspektivstudien identifierat som intressanta och relevanta i ett 25-årigt tidsperspektiv.

Under 2017 levererades en rapport² som beskrev teknikutvecklingen fram till 2035 som ett underlag till Försvarmaktens Perspektivstudie 2016-2018.³ Uppgiften från Försvarmakten var att i skriftlig form redovisa en samlad och strukturerad övergripande sammanställning av utvecklingen inom ett antal teknikområden i tjugoförårspektivet. Samma områden men med andra underlag⁴ utgjorde grund för teknikspel under kvartal ett 2017.⁵

Försvarmakten har inom ramen för den nuvarande Perspektivcykeln 2019-2022/23 efterfrågat en uppdatering av den tidigare rapportens teknikbeskrivningar i tidsperspektivet 2045. Därutöver har underlagen breddats i ett försök att bättre redovisa kopplingar mellan teknik, förmåga och effekt. Aktörer som bedriver forskning och möjliga system i tidsperioden samt fler och bättre referenser är andra förändringar. Dessutom har Försvarmakten önskat komplettera med ett antal nya områden. De nya områden som ingår i rapporten är distribuerade liggare, kvantteknologi, kärnvapen och mänsklig förstärkning.

Rapporten redogör för ett antal tekniska forskningsområden och beskrivningarna syftar både till att redogöra för den tekniska utvecklingen och för vad denna kan innebära för verksamhet inom försvar och säkerhet. Den ger inte en heltäckande

¹ Perspektivstudien inriktas genom regleringsbrev och ger underlag till Försvarsberedningen och därigenom även indirekt till Försvarsbeslut. Tidsperspektivet är 25-årigt och underlaget är till stora delar ett framsynsarbete där konsekvenser för försvar studeras.

² Kindvall, G. och Wiss, Å. (red.), *Militärteknik i ett tjugoförårigt perspektiv: Underlag till Försvarmaktens Perspektivstudie 2017*, FOI-R--4462--SE, november 2017.

³ Försvarmakten, (2018). *Slutredovisning av Försvarmaktens Perspektivstudie 2016-2018: Tillväxt för ett starkare försvar*, FM 2015-13192:15.

⁴ Underlagen kommunicerades i powerpoint och togs fram av samma författare. Underlagen anpassades efter mottagare och spelets syfte.

⁵ Lindberg A. et al. (2017). *Erfarenheter från teknikspel våren 2017*. FOI Memo 6230, 2017-11-28.

presentation av alla tänkbara tekniker eller teknikområden, utan innehållet ska ses som ett urval.

Tonvikten ligger på militär verksamhet. Vi har försökt diskutera teknikutveckling och dess konsekvenser utgående från olika nivåer av möjlighet till användning. Den mest forskningsnära och teknikinriktade beskrivningen gäller teknikutveckling och verksamhet inom forskning och utveckling. Detta är i fokus i denna rapport. Vi har försökt att omfatta även den mer tillämpade nivån genom att beskriva hur teknik bidrar till förmåga och hur teknik skulle kunna komma till användning. I vissa fall ges även exempel på detta, eller beskrivningar som hör till operativt nyttjande, som möjliga effekter vid användning av materiel och system. Dessa diskussioner redovisas ofta som konsekvenser för militär verksamhet.

Genom de tillagda rubrikerna i den uppdaterade rapportstrukturen har vi försökt nå längre avseende beskrivningar av förmåga, beroenden mellan system och exempelvis motmedelsaspekten, då teknologi för militära ändamål är en ständig duell mellan medel och motmedel. Texterna i denna rapport har sin absoluta tyngd i beskrivningar av den tekniska forskningen och utvecklingen snarare än i konsekvenser för militär förmåga och effekter i operationer.

Rapportunderlaget är framtaget både för att vara en inspirerande skrift i sammanhang där en uppfattning om den framtida teknikutvecklingen behövs och för att kunna användas i spel och seminariediskussioner om militärteknik inom Försvarmaktens perspektivstudie. Författarna är anställda på FOI och har lång erfarenhet inom respektive område.

1.2 Metod

För att samla in underlaget identifierade redaktörerna, i några fall med hjälp av linjechefer, lämpliga författare inom respektive område på FOI. För de områden som ingick i rapporten 2017 har i huvudsak samma författare som då vidtalats.

Författarna ombads följa en mall vid textframtagningen. I samråd mellan författare och redaktörer redigerades de framtagna texterna. Därefter skrev redaktörerna för rapporten de inledande kapitlen 1 och 2 samt de avslutande kapitlen 18 och 19. Rapporten sändes därefter ut i sin helhet till samtliga författare för kommentarer. Kapitel 18 och 19 granskades av operationsanalytiker med strategisk inriktning. Rapporten har också genomgått formell rapportgranskning enligt rutin på FOI Försvarsanalys.

Som läsaren kommer att upptäcka finns det många kopplingar mellan områdena. Underlagen är dock framtagna oberoende av varandra. Ingen gemensam och övergripande analys med författarna av underlagen har genomförts.

Alla kapitel har samma struktur, en struktur som tagits fram i dialog mellan redaktörerna för denna rapport och personal i Perspektivstudien. Strukturen syftar till att lyfta olika aspekter av relevans för Försvarens perspektivstudie för de olika teknikområdena. Strukturen ser ut enligt följande:

1. Inledande beskrivning av området
2. Övergripande trender samt exempel på teknik och system ut mot 2045
3. Beskrivning av utveckling av specifika delområden/teknologier i tids-horisonten
4. Koppling till andra teknikområden som samverkar med eller är förutsättande för området
5. Beskrivning av hur teknikutvecklingen inom området kan påverka de grundläggande förmågorna ut till 2045
6. Beskrivning av vilka aktörer som forskar eller utvecklar inom området, alternativt har system i tidsperioden
7. Referenser

Punkterna 5 och 6 är nya i denna rapport jämfört med rapporten 2017.

Under punkt 5 beskrivs teknikutveckling i relation till de grundläggande förmågorna enligt TURVLUS – tillgänglighet, underrättelser, rörlighet, verkan, ledning, uthållighet och skydd.

1.3 Läsanvisning

I kapitel 2 presenteras ett övergripande resonemang om teknikutveckling. Därefter presenteras de olika teknikområdena. I tabellen nedan framgår kapitelnummer, kapitelrubrik och författare. Samtliga författare är anställda vid FOI.

Tabell 1. Ämnesområden och författare till de olika kapitlen.

Kapitel	Titel	Författare
1	Inledning	Göran Kindvall, Anna Lindberg
2	Allmänt om teknikutveckling	Göran Kindvall, Anna Lindberg
3	Obemannade farkoster/Autonoma system	Martin Hagström
4	Informationsteknologi	Joel Brynielsson, Fredrik Johansson
5	Cyber	Joel Brynielsson, Hannes Holm, Fredrik Johansson
6	Distribuerade liggare	Lars Westerdahl
7	Kvantteknologi	Per Jonsson, Jonas Kjäll
8	High Power Microwave (HPM)	Tomas Hurtig, Sten E Nyholm
9	Laser	Lars Sjöqvist, Göran Kindvall
10	Signaturanpassningsteknik (SAT)	Lars Bohman, Hans Kariis
11	Rymden	Sandra Lindström, Kristofer Hallgren
12	Hypersoniska system	Erik Berglund, Martin Hagström
13	Kärnvapen	Mattias Waldenvik
14	Mänsklig förstärkning	Britta Levin
15	Soldatsystemet	Britta Levin, Sofia Hedenstierna
16	Additiv tillverkning	Steven Savage
17	Plattformer (mark, sjö, luft)	Martin Hagström (mark), Ekaterina Fedina (mark), Linus Fast (marin yt), Mats Nordin (marin undervatten), Tomas Mårtensson (luft)
18	Diskussion	Anna Lindberg, Göran Kindvall
19	Avslutning och förslag på fortsatt arbete	Anna Lindberg, Göran Kindvall

I kapitel 18 diskuterar redaktörerna utifrån det tekniska underlaget och drar slutsatser av både generell och områdesspecifik karaktär. Kapitel 19 knyter ihop rapporten och ger idéer på fortsatt arbete.

Varje teknikkapitel avslutas med en sammanställning av referenser. En del av dessa refereras tydligt till i texten medan andra aldrig anges i den löpande texten utan snarast kan ses som lästips för den som vill veta mer om området. Redaktörerna har valt att behålla båda dessa typer av referenser. I kapitel 1, 2, 18 och 19 anges referenser endast som fotnoter.

2 Allmänt om teknikutveckling

Författare: Göran Kindvall och Anna Lindberg

I november 2014 presenterade USA vad som kallades The Defense Innovation Initiative, även benämnd den tredje offsetstrategin.⁶ I maj 2016 beskrev dåvarande vice försvarsminister Robert Work denna med orden:

“It basically hypothesizes that the advances in artificial intelligence and autonomy – autonomous systems – is going to lead to a new era of human-machine collaboration and combat teaming”.⁷

Fem komponenter som lyftes fram i den tredje offsetstrategin var autonoma inlärningssystem (deep learning), samverkan mellan människa och maskin i beslutsfattande, förbättring av den mänskliga prestationsförmågan, avancerad samverkan mellan människa och maskin i strid (exempelvis samverkan mellan människor och obemannade system) samt semiautonoma nätverksbaserade vapensystem konstruerade för att klara intensiv tele- och cyberkrigföring. Fokus var både på kort- och långsiktiga resultat och på att kombinera det nya med befintliga system. Det är oklart i hur hög grad den tredje offsetstrategin har överlevt Trump-administrationen,⁸ men satsningar på artificiell intelligens och autonoma system fortsätter med nya initiativ.⁹

USA är inte på något sätt ensamma om att satsa stort på nya teknikområden. Kina och Ryssland ser också potentiella försvarstillämpningar inom teknikområden som artificiell intelligens, autonoma system och materialteknologi. Det görs även civila satsningar på genteknik och bioteknologi.¹⁰ Kina satsar till exempel stort och

⁶ Offset betyder här att det är en strategi för att ta tillbaka initiativet, det vill säga att åter bli övermäktig en motståndare som har anpassat sig till dagens vapen och taktik. I den tredje offsetstrategin handlar det om att kunna hantera så kallad A2/AD (Anti-access area denial). De två tidigare offsetstrategierna har varit fokuserade på kärnvapenavskräckning respektive precisionsvapen och ISR (intelligence, surveillance, reconnaissance).

⁷ Atlantic Council, 2 May 2016. Trumpadministrationen använder inte begreppet den tredje offsetstrategin, men har fortsatt satsningarna på försvarsinnovation för att USA skall kunna verka avskräckande på andra aktörer.

⁸ The Pentagon’s third offset strategy may be dead, but no one knows what comes next, 2017-12-18, <https://foreignpolicy.com/2017/12/18/the-pentagons-third-offset-may-be-dead-but-no-one-knows-what-comes-next/>. (Besökt 2020-09-08)

⁹ Ett Joint Artificial Intelligence Center (JAIC) inrättades i USA 2018, för information om detta se <https://www.ai.mil/index.html> (Besökt 2020-09-08). I februari 2019 skrev president Trump på ett beslut om att inrätta ett American AI Initiative, se <https://www.whitehouse.gov/ai/> (Besökt 2020-09-08). I februari 2020 presenterades en rapport över vad som gjorts inom detta initiativ under dess första år, <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2020/02/American-AI-Initiative-One-Year-Annual-Report.pdf> (Besökt 2020-09-08). I februari 2019 släpptes Pentagons AI-strategi, <https://www.defense.gov/Explore/News/Article/Article/1755942/dod-unveils-its-artificial-intelligence-strategy/> (Besökt 2020-09-08).

¹⁰ Approval of the Federal Research Programme for Genetic Technologies Development for 2019–2027, 2019-04-22, <http://government.ru/en/docs/36457/>. (Besökt 2020-09-08).

målmedvetet på artificiell intelligens med ambitionen att bli ledande inom området.^{11,12} Kina satsar också på tillämpningar för övervakning genom användning av många sammankopplade sensorer. I detta ingår bland annat teknik för ansiktsigenkänning och för att känna igen människor på rörelsemönster. Kina är också ett av det växande antal länder som under Covid-19-krisen har använt appar för smittspårning.

När det gäller Ryssland har president Putin uttalat sig om att den som dominerar inom AI dominerar världen.¹³ Ryssland satsar mycket på AI inom områden som tal- och bildigenkänning men satsningar görs också inom hypersoniska system och autonoma plattformar. Exempel på detta ges senare i denna rapport. Ryssland bedöms ha en relativt välutbildad arbetskraft och har en tradition av hög eftergymnasial kompetens inom områden som matematik och fysik, vilket kan vara till fördel vid etablering av satsningar inom AI och andra teknikområden.¹⁴ Ryssland har också kompetens inom områden som HPM, laser, cyber och telekrygning.

I Europa satsas det också på teknik- och materielutveckling för försvar och säkerhet och Europeiska försvarsfonden (European Defence Fund, EDF) planeras starta fullt ut år 2021. Trots att ambitionen verkar ha minskat något innebär detta att stora summor kommer att satsas på att i flernationsprojekt (joint defence industrial projects) utveckla kvalificerad europeisk militärteknik och materiel.¹⁵ Covid-19 har påverkat EU:s föreslagna budget, men satsningar inom EDF och 'the Military Mobility Initiative' ser ut att fortsätta. I den 7-årsplan för arbetet som inleds 2021 föreslås dessa program tilldelas 8 respektive 1,5 miljarder euro.¹⁶ Detta är dock inte fastslaget i skrivande stund. EDF bedöms ha stor påverkan på Sverige, svensk industri och Försvarsmaktens framtida materielutveckling och inköp. Inom civil teknikutveckling satsar EU stort med bland annat 1 miljard euro på kvantdatorer.¹⁷

¹¹ Allen, G. och Kania, E. B., China Is Using America's Own Plan to Dominate the Future of Artificial Intelligence, 2017-09-08, <https://foreignpolicy.com/2017/09/08/china-is-using-americas-own-plan-to-dominate-the-future-of-artificial-intelligence/>. (Besökt 2020-09-08).

¹² A next generation artificial intelligence development plan, China copyright and media (ed. Rogier Creemers <https://chinacopyrightandmedia.wordpress.com/2017/07/20/a-next-generation-artificial-intelligence-development-plan/>), uppdaterad 2017-08-01. I denna plan anges ambitionen vara att Kina ska vara dominerande avseende AI-baserad innovation 2030. (Besökt 2020-09-08).

¹³ Vladimir Putin har sagt att "Artificial intelligence is the future not only for Russia but of all of mankind. ... Whoever becomes the leader in this sphere will become the ruler of the world", Who Vladimir Putin thinks will rule the world <https://edition.cnn.com/2017/09/01/world/putin-artificial-intelligence-will-rule-world/index.html>. (Besökt 2020-09-08).

¹⁴ Kindvall, G. och Brändström, S., Sammanfattning av MORS-konferens om AI och autonomi, FOI Memo 6714, 2019-05-07.

¹⁵ https://ec.europa.eu/commission/news/european-defence-fund-2019-mar-19_en, (Besökt 2020-09-08).

¹⁶ Sprenger, S., The European Union's defense ambitions are still showing signs of life, <https://www.defensenews.com/global/europe/2020/05/29/the-european-unions-defense-ambitions-are-still-showing-signs-of-life/>. (Besökt 2020-09-08).

¹⁷ EU:s *Quantum Flagship Programme*, <https://qt.eu/>. (Besökt 2020-09-08).

På en övergripande nivå finns det stora likheter mellan de teknikområden som lyfts fram i civilt och militärt inriktade teknikanalyser. Detta ligger också i linje med att vi kan förvänta oss att vi i högre grad kommer att utgå från civil teknik även i militära system. I många dokument¹⁸ lyfts följande teknikområden fram som de som anses vara de viktigaste och de med störst potential att ge omfattande påverkan eller vara disruptiva:

- Informations- och kommunikationsteknologi (inkluderar AI, autonomi, IoT, distribuerade liggare, cyber etc.)
- Materialteknologi (inklusive additiv tillverkning)
- Bioteknologi (inkluderar förstärkning av den mänskliga förmågan på allehanda sätt, syntetisk biologi, medicinsk teknologi med mera)
- Energiteknologi
- Sensorteknologi
- Kvantteknologi

Det kan finnas skäl att till denna lista, och som specifikt för försvarsområdet, lägga även utvecklingen av nya vapentechnologier som laser, HPM och hypersoniska vapen. De senare är egentligen inte nya, men förutsättningarna för att uppnå en del av de sedan lång tid uppskrivna förväntningarna förbättras nu snabbt. En viktig faktor här är civil teknikutveckling – till exempel avseende kommersiella lasrar.

Potentiellt kan teknikutvecklingen få stor påverkan på samhället. Det har till exempel hävdats att många av dagens jobb kan komma att automatiseras inom 20 år. Vad detta de facto betyder för den framtida arbetsmarknaden beror på i hur hög grad nya arbetstillfällen skapas. Det som händer i samhället kommer också att påverka Försvarsmakten och Försvarsmaktens personal.

Utöver de tekniska utmaningarna spelar de etiska och legala utmaningarna en stor roll för teknikutvecklingen. Idag finns stora variationer mellan olika delar av världen vad gäller uppfattningen om vad som är etiskt acceptabelt. Detta kommer också med de möjligheter som skapas av teknikutvecklingen att ställas på sin spets.

Flera av texterna i rapporten ger beskrivningar av samma eller till varandra kopplade teknikutvecklingar. Det är viktigt att beakta att systemmässiga tillämpningar ofta drar nytta av utvecklingen inom två eller flera teknikområden – lättare material och bättre batterier kan till exempel möjliggöra mindre och uthålligare obemannade/autonoma system. Det kan vara just i kombinationen mellan flera teknikområden som de sant disruptiva utvecklingsstegen kommer att tas. Jakten på

¹⁸ Kindvall, G. och Tarras-Wahlberg, B., FOI-R--5049--SE. Rapport som planeras utkomma sent 2020 eller tidigt 2021 och bland annat innehåller en genomgång av prioriterade teknikområden i olika länder/organisationer.

så kallade disruptiva teknologier har också blivit intensivare. Med disruptiv menas i detta sammanhang teknologier som enskilt eller tillsammans skapar diskontinuiteter i en annars evolutionär utveckling. Det kan innebära helt nya förutsättningar att nå förmåga, sätt att hantera samhällsfunktioner eller ge Försvarsmakten helt nya förutsättningar att möta hot. En disruptivitet behöver inte vara teknikbunden utan omfattar också nya sätt att använda teknologi eller en kombination av teknologier.

En disruptiv utveckling utgör närmast en chock för aktörer och ytterst lite tid för anpassning ges. En jämförelse är de inkrementella förändringar som organisationer hinner anpassa sig till, eller de emergenta utvecklingarna som, om de upptäcks, också möjliggör anpassning i tid. Framtida försvarsforskning måste därför bedrivas på ett sätt som gör att teknikområden möts och forskning kring tillämpningar som kombinerar forskningsgenombrott inom flera forskningsområden uppmuntras.

Många stater och aktörer utöver USA, Kina och Ryssland, små som stora, ser idag stora potentiella möjligheter inom försvarsområdet för de teknikområden som nämns i rapporten. Vi kan förvänta oss att potentiella framtida motståndare och antagonister, oavsett om de är stater eller andra, kommer att nyttiggöra åtminstone delar av de möjligheter teknikutvecklingen kommer att erbjuda. Det ser vi idag inom bland annat cyberområdet. Obemannade flygande plattformar kan också användas av parter med mycket olika tekniska och ekonomiska förutsättningar, till exempel har sådana använts av både IS och irakiska regeringsstyrkor.¹⁹ Även i Jemen har obemannade plattformar använts.²⁰

En tydlig slutsats är att teknikutvecklingen under de kommande 25 åren kan komma att skapa många nya möjligheter, men också innebära nya risker. Det är av vikt att myndigheter inom försvar och säkerhet upprätthåller en kontinuerlig förståelse på bredden såväl som på djupet för dessa möjligheter och risker.

¹⁹ Se till exempel Iraqi forces now attacking ISIS militants with drones in Mosul, <https://eu.usatoday.com/story/news/world/2017/04/25/united-states-technology-isis-drones-iraqi-forces-mosul/100851612/>. (Besökt 2020-09-08).

²⁰ Evolution of UAVs employed by Houthi forces in Yemen, Published online by Conflict Armament Research Ltd., London, February 2020, <https://www.conflictarm.com/dispatches/evolution-of-uavs-employed-by-houthi-forces-in-yemen/>. (Besökt 2020-09-08).

3 Obemannade farkoster och autonoma system

Författare: Martin Hagström

3.1 Inledande beskrivning av området

Obemannade farkostsystem har länge varit en realitet och förekommer i luft, på mark och till sjöss. Med farkostsystem menar vi farkoster på och i vatten, på land, i luften och rymden samt tillhörande system. Obemannade farkostsystem kan vara direkt fjärrstyrda av en operatör eller kontrollerade med automatiska funktioner, så kallade cyberfysiska system, som gör att systemen kan agera autonomt med olika nivåer av högnivåstyrning. Utvecklingen har pågått under lång tid och tekniken är idag inte längre förbehållen högteknologiska statliga aktörer.

Idag är obemannade farkoster väsentligen fjärrstyrda men operatörens uppgifter underlättas allt mer i den takt som funktioner kan automatiseras. För Försvarsmakten bedöms området obemannade farkoster och autonoma system vara av stor vikt för den framtida operativa och strategiska verksamheten. Internationellt används små och medelstora obemannade system i allt större grad för under rättelseinhämtning, fastställande av lägesbild, leverans av underhåll och verkansmedel samt för operationer i svårtillgänglig eller farlig miljö som grottor. Obemannade, för spaningsändamål autonoma och för röjningsuppgifter fjärrstyrda, undervattensfarkoster används i ökande omfattning. I aktuella konfliktområden som Ukraina och Syrien är användningen av obemannade farkoster i luften och på marken omfattande. I Syrien har många aktörer utvecklat förmågan att såväl använda som att utveckla system.²¹

Det är idag möjligt att göra plattformar fullt autonoma, det vill säga att de kan genomföra ett uppdrag utan att alls styras av en operatör. Autonoma farkoster förekommer i strukturerade eller enkla miljöer, som till exempel fordon i en kontrollerad miljö eller flygande farkoster i ostörd miljö och från övrig trafik

²¹ Dearden, L., *Revealed: Isis developing weaponised drones in secretive programme*, Independent, 2016-10-20, <https://www.independent.co.uk/news/world/middle-east/isis-weapons-drones-uav-programme-development-weaponised-explosives-surveillance-terrorist-groups-a7371491.html>. (Besökt 2020-09-08).

Postings, R., *The Islamic State's Armed Drone Program*, In: Conflict, West & Central Asia, International Review, 2017-12-10, <https://international-review.org/islamic-states-armed-drone-program/>. (Besökt 2020-09-08).

Rassler, D., al-'Ubaydi, M. och Mironova, V., *The Islamic State's Drone Documents: Management, Acquisitions, and DIY Tradecraft*, Combating Terrorism Center at West Point, 2017-01-31, <https://ctc.usma.edu/ctc-perspectives-the-islamic-states-drone-documents-management-acquisitions-and-diy-tradecraft/>. (Besökt 2020-09-08).

separerat luftrum. Många biltillverkare arbetar med förarstödsystem som under vissa omständigheter kan köra bilen utan förarens medverkan.

Större obemannade flygande plattformar har använts i stor omfattning under de militära insatserna i Irak, Afghanistan och Syrien, främst av USA och Storbritannien. Dessa system och plattformar, civilt ofta benämnda drönare, är i huvudsak fjärrstyrda av operatörer som befinner sig långt från det område där drönarna uppträder. Trots avståndet till operationsområdet har operatörerna en närmare kontakt med de motståndare som nedkämpas än de flesta andra soldater på marken. Detta har lett till diskussioner om hur människor påverkas av att ha ett arbete på stridsfältet och samtidigt vara i närkontakt med sin familj och det vanliga samhället.

Obemannade farkostsystem används redan idag av (alla) tänkbara motståndare och är därför ett hot mot våra förband var vi än uppträder. Kvalificerade system är dyra, men det finns system som är billiga och kan vara tillgängliga för irreguljära aktörer. I Syrien har användningen av mindre beväpnade drönare ökat kraftigt och har använts med stor effekt av IS som utvecklat närmast reguljär användning.²² Även mindre grupper använder system både för informationsinhämtning och som vapenbärare. I vissa fall är sannolikt propagandavärdet större än den militära nyttan.²³ Houthi-rebellerna²⁴ i Jemen har utvecklat en förmåga att såväl utveckla som använda även större UAV-system.

Den civila marknaden är i flera avseenden drivande för efterfrågan av teknik för autonoma system, men militära behov hos kvalificerade aktörer ställer särskilda krav avseende bland annat robusthet och möjlighet att agera i en ostrukturerad och antagonistisk miljö. Civila tillämpningar ställer krav på säkerhet där tillförlitlighet är en viktig komponent. Däremot behöver civil teknik inte kravställas för att fungera i en antagonistisk miljö på samma sätt som militära system. Detta medför att det kan vara kostsamt att utveckla militära tillämpningar baserade på civilt utvecklad teknik. Militära tillämpningar saknar i många fall dessutom direkta civila motsvarigheter, vilket visar på behovet av försvarsegen forskning och utveckling. Med ett större beroende av mjukvara kommer också ökade risker för

²² Woody, C., *Drones are dropping bombs on US troops in Syria, and it's not clear who's doing it*, Business insider, 2020-03-11, <https://www.businessinsider.com/drones-used-to-drop-bombs-on-us-troops-in-syria-2020-3?r=US&IR=T>. (Besökt 2020-09-08).

Trevithick J., *Drones Have Been "Raining" Small Bombs On American Troops Guarding Oil Sites In Syria*, The Warzone, 2020-03-09, <https://www.thedrive.com/the-war-zone/32514/drones-have-been-raining-small-bombs-on-american-troops-guarding-oil-sites-in-syria>. (Besökt 2020-09-08).

²³ Archambault E., Veilleux-Lepage Y., *Drone imagery in Islamic State propaganda: flying like a state*, International Affairs, Volume 96, Issue 4, July 2020, Pages 955–973, <https://doi.org/10.1093/ia/iaa014>. (Besökt 2020-09-08).

²⁴ *Evolution of UAVs employed by Houthi Forces in Yemen*, Conflict Armament Research, London, February 2020.

cyberangrepp på systemen. Detta är inte unikt för autonoma system men kommer kräva en ökad uppmärksamhet när sådana system tas i bruk i större omfattning.

Det finns flera exempel på civila tillämpningar av autonoma system. Redan år 1998 genomfördes demonstrationer med självkörande bilar, där bilarna körde flera hundra mil på motorväg och i stadstrafik. Till exempel kördes sträckan Florens - Bologna utan att föraren i bilen tog aktiv del i körningen. Idag har alla stora biltillverkare en uppsättning funktioner som gör att föraren får stöd i framförandet av fordonet och att fordonen kan användas som helt självkörande i begränsade situationer. Svårigheten med att utveckla helt självkörande fordon har tydliggjorts av uppmärksammade olyckor då personer, såväl förare som medtrafikanter, förolyckats när bilar framförts helt automatiskt och oväntade situationer som fordonen inte kunnat hantera har uppstått. I strukturerade miljöer som till exempel logistikfunktioner i inhägnade områden eller i gruvor fungerar tekniken idag väl, men det kommer dröja ett eller flera decennier innan den kan användas fullt ut i alla miljöer.

Obemannade system ställer nya krav på organisationen och existerande system. Inte bara doktriner och taktisk användning behöver utvecklas utan även ledningsstrukturer, utbildningsprogram, regelverk och underhållssystem måste utvecklas och anpassas för att systemen ska kunna användas fullt ut. Därför måste införandet av obemannade och autonoma system föregås av omfattande försöks- och utvecklingsverksamhet som innefattar mer än enbart de tekniska delsystemen. Detta för att införandet ska medföra den önskade förmågehöjningen.

3.2 Övergripande trender samt exempel på teknik och system ut mot 2045

Mot år 2045 fortsätter obemannade system²⁵ att utvecklas för en högre grad av autonomi (det vill säga med fler automatiserade funktioner) och kunskapen ökar om hur de bäst ska användas av såväl civila som militära aktörer. Gemensamt för alla system är att den ökade funktionaliteten bygger på integration av många deltekniker där nya systemförmågor ofta är ett resultat av kombinationen av framsteg inom flera teknikområden. Högre grad av autonomi innebär större beroende av mjukvara och kommunikation mellan system. Detta innebär också, för både civila och militära system, att risken för cyberangrepp på systemen ökar. För militära system är robust, främst i meningen störtålig, navigering och kommunikation två nyckeltekniker som behövs för att kunna realisera militära autonoma system.

²⁵ Detta kapitel har obemannade farkostsystem i fokus men ibland används begreppet obemannade system i meningen fysiska system som styrs av en operatör eller är datorstyrda, så kallade cyberfysiska system.

Ett exempel på hur mångdimensionell utvecklingen är kan ses i USA:s strategi för utveckling och integration av robotik och autonoma system i armén. Denna är indelad i flera delområden, eller delprojekt, och visar såväl tillämpningsområden som system-av-system-frågor som måste lösas för att de autonoma farkosterna ska kunna nyttjas effektivt. Strategin innehåller utveckling av generell robotikteknik och stödsystem för den avsuttna truppen för att underlätta logistiken, teknik för autonoma stridsfordon som även ska kunna användas i bemannade fordon, teknik för att komplettera befintliga fordon med autonoma funktioner samt system för autonom minröjning. Ett exempel på ett utvecklingsprojekt är Squad/Small Multipurpose Equipment Transport (SMET), vilken är avsedd att stödja främst en soldatgrupp genom att bära deras utrustning och förse dem med ström.



Figur 1. US Army har beställt 624 Multi-Utility Tactical Transport (MUTT) inom SMET-programmet. (Foto: US Army – public domain)

För markgående farkoster är en högre grad av autonoma funktioner för att öka den självkörande förmågan i många terrängtyper ett område som ägnas stora ansträngningar. Självkörande fordon med terrängframkomlighet är en svår forskningsfråga men sådana system kan komma att finnas tillgängliga till år 2045. En annan tydlig trend är att ge mindre obemannade markfarkoster (UGV:er) förmåga till pansarbekämpning, som bärare av tyngre vapenstationer och pansarvärnsrobotar.

För flygande farkoster är en ökad autonomi i form av robusta och störtåliga navigerings- och kommunikationstekniker prioriterade frågor för att kunna använda mindre obemannade flygande farkoster (UAV:er) i antagonistiska miljöer. En ökad autonomi avseende farkoststyrning, informationsbehandling och uppgiftstyrning behövs även för att minska kraven på operatören. Ett annat exempel på teknik som måste utvecklas är funktioner för automatisk målföljning med ruttplanering relativt ett spaningsobjekts rörelser. Tillgång till autonoma flygande system eller information från dessa kommer ge ökad förmåga till pluton och grupp, förmågor som idag finns på brigad- och möjligtvis bataljonsnivå. För användning i fält, på gruppnivå, krävs att systemen automatiseras i hög utsträckning och att operatörsgränssnitten utvecklas så att systemen kan användas utan att kapaciteten hos andra förmågor minskar på grund av att systemen blir personalintensiva.

Samverkande plattformar, såväl bemannade som obemannade, har diskuterats i flera decennier. I kvalificerade tillämpningar finns de idag till del realiserade i till exempel sjömålsrobotsystem som det amerikanska systemet LRASM.²⁶ Svärmar av mindre plattformar kan erbjuda flera intressanta militära tillämpningar som mätning av motmedelssystem och operatörseffektiva spaningssystem. En framtida möjlig förmåga som diskuteras som önskvärd är att kunna dela ut uppgifter till flera UAV:er som i samverkan genomför obemannad spaning över ett område utan att varje farkost behöver ges detaljerade instruktioner.

Obemannade farkoster med hög grad av autonomi kommer i framtiden finnas på alla arenor i många olika tillämpningar. Som sensorbärare har UAV:er redan förändrat förutsättningarna på stridsfältet och idag är motsvarande utveckling på markfordonssidan intensiv. På samma sätt kommer obemannade ytgående farkoster och undervattensfarkoster i ökande utsträckning användas för uthålliga och flexibla distribuerade sensornätverk.

2045 kommer sannolikt flera stater ha obemannade beväpnade plattformar med autonoma funktioner på alla arenor, inte bara i luften. Idag saknas koncept och kunskap om hur sådana ska användas i mark- och sjö tillämpningar men det pågår ett aktivt arbete med att utveckla system och inhämta erfarenheter. Ryssland använder idag UGV-prototyper i Syrien för att skapa förståelse för systemens möjligheter och begränsningar.²⁷ Idag är människan den största begränsningen i mindre sjöplattformar. Utan människor ombord kan mindre ytfarkoster färdas i högre hastigheter även i hårt väder och sådana system med hög grad av autonomi

²⁶ AGM-158C LRASM (Long Range Anti-Ship Missile) är en sjömålsrobot med lång räckvidd och smygegenskaper. https://en.wikipedia.org/wiki/AGM-158C_LRASM. (Besökt 2020-09-08).

²⁷ Bendett, S., *Russian Ground Battlefield Robots: A Candid Evaluation and Ways Forward*, RealClear Defense, 2018-06-26, https://www.realcleardefense.com/articles/2018/06/26/russian_ground_battlefield_robots_a_candid_evaluation_113558.html. (Besökt 2020-09-08).

kan skapa fördelar i typiska svenska militära tillämpningar genom större yt-täckning utan uppenbart kraftigt ökade personalbehov.

3.3 Koppling till andra teknikområden som samverkar med eller är förutsättande för området

Kärnan i autonoma obemannade farkoster är i någon mening de automatiska funktionerna som dels gör att systemet i viss omfattning kan agera autonomt, dels att operatören kan flyttas ur farkosten och att den kan styras med högnivå-instruktioner.

För att automatisera funktioner krävs a) sensorer, som kommunicerar och omvandlar fysikaliska parametrar till digitala mätvärden (digital information), b) en modell av omvärlden farkosten befinner sig i, det vill säga en matematisk beskrivning av hur den fysiska omvärlden fungerar, c) beslutsalgoritmer som baserat på mätvärdena och tillståndet systemet befinner sig i beräknar vilka åtgärder som ska vidtas, till exempel vrida på hjulen eller flygplansrodren samt slutligen d) aktuatorer, de mekanismer i exempelvis en farkost som fysiskt verkställer den åtgärd som ska vidtas. Dessa teknik- och tillämpningsområden sammanfattas ofta med termen robotik men innehåller flera delområden såsom djupinlärning för bildigenkänning, signalbehandling, automation, farkoststyrning, optimeringslära, navigering med flera.

Obemannade farkoster innefattar i sig många teknikområden och som nämnts ovan är robust navigering och kommunikation två centrala tekniker som inte är unika för obemannade farkostsystem. Utöver dessa så kommer utvecklingen av andra för plattformsutvecklingen relevanta områden att vara av betydelse. Det handlar om material- och energiteknik, som kan skapa förutsättningar för miniatyrisering och längre uthållighet, samt sensorteknik och informationsteknologi i stort. För att realisera en autonom funktionalitet för komplexa situationer krävs komplex programvara med hög tillförlitlighet. Hur sådan ska utvecklas är ett viktigt forskningsområde i sig.

3.4 Beskrivning av hur teknikutvecklingen inom området kan påverka de grundläggande förmågorna ut till 2045

3.4.1 Potentiella militära tillämpningar

Obemannade och autonoma plattformar kommer att vara oundgängliga system för Försvarsmakten i framtiden. Som framgår finns det många potentiella användningsområden för obemannade system och dessa kommer sannolikt att bli ännu fler när fler autonoma funktioner införs. Förutom de så kallade 3D-uppdragen (Dirty, Dull and Dangerous) med röjning av explosiva laddningar som ett exempel är uthålliga ISTAR-uppdrag²⁸ den kanske viktigaste förmågehöjningen som obemannade farkostsystem i dagsläget tillför. Som nämnts ovan studeras lösningar för många olika typer av uppgifter som kräver försvarsinriktad forskning som komplement till den kommersiellt drivna forskningen. Användningen ställer särskilda krav på militära system och dessutom finns det i militära tillämpningar en motpart som försöker utnyttja de svagheter som finns i systemen.

I militära sammanhang erbjuder plattformar utan människor ombord en möjlighet att minska risken för militär personal, men nya eller förstärkta förmågor är sannolikt starkare skäl till en ökad användning. I TURVLUS-termer stärker obemannade system framförallt uthållighet, underrättelser, verkan och ledning. Underrättelser och uthållighet är de hittills två viktigaste förmågorna som stärkts av användningen av obemannade system. USA:s användning av UAV:er har gett en spaningsfunktion med oöverträffad uthållighet när operatörernas behov av avbyte inte längre begränsar uppdragens längd. Därutöver har kommunikations- och sensorutvecklingen ökat kvaliteten, möjliggjort agerande på stora avstånd och förkortat inhämtningstiden i underrättelsefunktionen. Under kriget i Ukraina har Ryssland framgångsrikt infört UAV:er i flera nivåer i ledningssystemet. Dessa tillför spaningsinformation och kortar besluts cyklerna för indirekt eld, och medför därmed även en förstärkning av ledningsförmågan. Obemannade system kan också användas som noder i kommunikationslänkar, en förstärkning av de tekniska delarna av ledningssystem.

USA, och även Storbritannien, har sedan många år också använt UAV-systemen för verkan. Reapersystemen har utrustats med markmålsrobotar som används mot såväl rörliga som fasta mål. Ryssland experimenterar i stor utsträckning med beväpnade markfarkoster. Verkansförmågan, i betydelsen vapeneffekt, ökar inte i sig med användningen av obemannade system men däremot ökar möjligheterna att distribuera vapensystem över en större yta, och på större avstånd från trupp.

²⁸ ISTAR = Intelligence, Surveillance, Target Attack, Reconnaissance.

US Marines har studerat gruppens storlek och förmåga kopplat till olika system. De gör en analys av hur olika system bidrar till gruppens förmåga och gör en avvägning mellan till exempel kulspruta och UAV-system samt utformningen av gruppens roller.

Som nämnts ovan kan obemannade system bidra till flera av de grundläggande förmågorna i TURVLUS-begreppet. Uthållighet, underrättelser, verkan och ledning är de förmågor för vilka obemannade och autonoma system har störst betydelse, men ökad rörlighet för avsutten trupp är en fråga för vilken det finns flera utvecklingsprojekt. Skyddsförmåga kan indirekt stärkas genom att med obemannade farkoster på längre avstånd än med bemannade system kunna projicera verkan. Obemannade farkoster som en del av logistikkedjan är något som studeras, bland annat i Storbritannien. Där studeras koncept bestående av obemannade system för användning i den sista delen av försörjningskedjan, ”the last mile” fram till stridande förband (främre logistik). I vilken utsträckning det är möjligt att realisera sådana system är idag inte klart och det kommer bero på många avvägningar mellan tillgängliga personella resurser, kostnader och storlek på organisationen. Även hur militära obemannade logistikkedjor passar ihop med civil logistik bör beaktas. Ett exempel på produktutveckling är att USA under Afghanistankriget utvecklade en tillsats som gjorde lasthelikoptern K-max autonom. Den användes för att kunna försörja specialförband och andra mindre grupper långt utanför egen trupps säkrade områden. Funktionen utvecklades som en prototyp och användes under en begränsad tid men har nu blivit en produkt.

Som redan framgått, men som sammanfattas här, kan obemannade och autonoma system utnyttjas för många olika typer av uppdrag i alla fysiska domäner.

Några exempel är:

- ISTAR, till exempel som bärare av sensorer eller kommunikationslänkar. Dessa uppdrag kan även genomföras inomhus, med hjälp av små flygande eller kravlande system, för att exempelvis identifiera eventuella hot inne i en byggnad.
- Som vapenbärare, antingen som ett av flera typer av uppdrag eller genom att utnyttja specifika plattformar avsedda för väpnad strid (exempelvis UCAV:er, som kan bekämpa markmål).
- För telekrigföring, till exempel för att störa motståndarens kommunikationssystem och sensorer.
- För underhåll och logistik.
- För röjning av minor och improviserade sprängladdningar, på land (UGV:er) eller i havsmiljö (USV:er eller UUV:er/AUV:er).

Framtida tillämpningar som diskuteras är också att störa eller bekämpa motståndarens luftförsvär, så kallad SEAD (Suppression of Enemy Air Defence) eller DEAD (Destruction of Enemy Air Defence). Dessa uppdrag kan exempelvis utföras av svärmar av enklare UAV:er eller avancerade attack-UAV:er (UCAV).

En ökad användning av system med hög grad av automation inom Försvarsmakten kommer påverka organisation, materielkostnader, beslutsprocesser och doktrin. Behovet av forskning kring gränssnittet mellan operatörer och system och organisationens utformning med roller, utbildningskrav och övningsbehov är lika stort som behovet av teknikorienterad forskning.

3.5 Begränsande faktorer

Idag tillåts inte fjärrstyrda flygplan (remotely piloted aircraft systems, RPAS) att flyga tillsammans med annan lufttrafik av säkerhetsskäl. Det kommer att dröja flera decennier innan helt autonoma farkoster tillåts i samma område som annan trafik. I storskaliga militära konflikter kommer sannolikt systemen att kunna användas i större omfattning om civil trafik inte är närvarande.

Av samma skäl kommer det dröja innan förarlösa fordon kan köra på samma vägar som förarstyrda. För användning i strukturerade miljöer, på baser eller andra kontrollerade områden kan dagens teknik för förarlösa fordon användas, till exempel i logistikuppgifter, men i ett stridsområde med en föränderlig och antagonistisk omvärld kommer det dröja flera decennier innan det finns system som kan användas.

Folkrättsliga frågeställningar kan uppkomma vid användning av autonoma plattformar för vapeninsatser.²⁹ Vad innebär det att en maskin självständigt kan ta ett beslut om vapeninsats och hur långt kan detta drivas och tillåtas. Det konstateras att det med ökande komplexitet i systemen krävs mer av användarna för att kunna förstå och förutse konsekvenserna av användning och att det är ansvaret för användningen av tekniken som är i fokus.

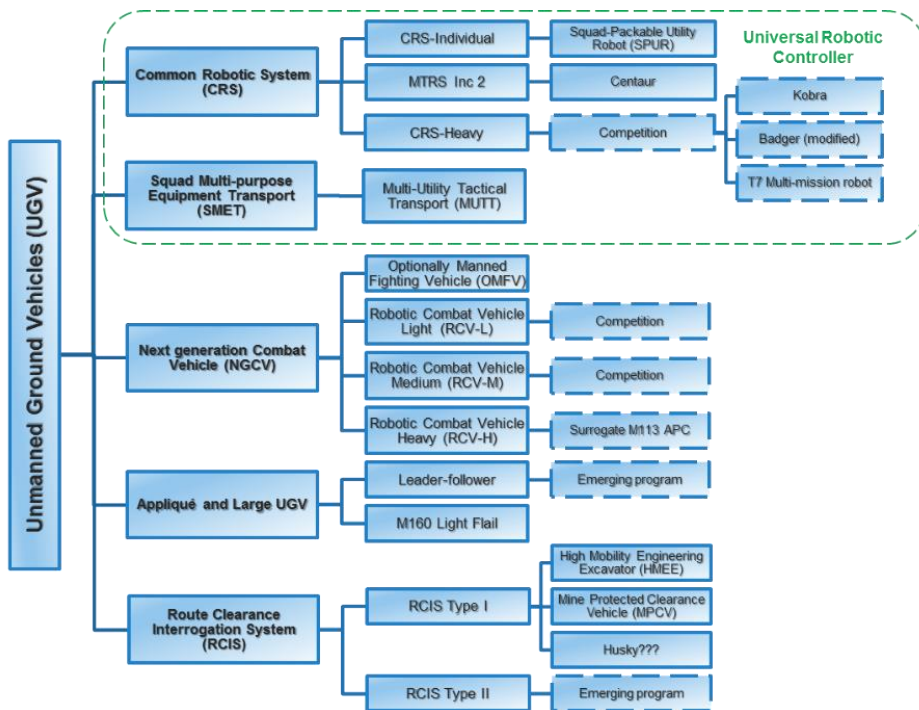
²⁹ Appelgren, J. et al., Autonoma vapensystem – tekniska, legala och etiska aspekter, FOI Memo 695, december 2019.

3.6 Beskrivning av vilka aktörer som forskar eller utvecklar inom området, alternativt har systemen i tidsperioden

Många länder har en aktiv utveckling av autonoma system och obemannade farkoster. De mest aktiva aktörerna är USA, Israel och Ryssland men många andra länder har utvecklingsprogram där vissa, som Kina, inte är lika öppna med sin forskning och teknikutveckling som till exempel USA.

Teknikutvecklingen är en möjliggörare men för att den ska nyttiggöras måste även organisation och metoder utvecklas. UAV-utvecklingen skedde under 1970- och 1980-talen och system kunde införas operativt på 1980-talet i Israel och 1990-talet i USA. Metoder för användning och organisationens uppbyggnad har utvecklats sedan dess. Under perioden 2020-2045 kommer motsvarande metodutveckling ske på mark- och sjösidan och många länder har omfattande program för såväl teknik- som metodutveckling. USA, Israel och Ryssland har alla marksystem i insatsområden men även mindre nationer som Estland provar obemannade marksystem i övningar och i insatser i Mali.

USA satsar stora belopp på forskningen inom obemannade farkoster inom alla arenor. Darpa (Defense advanced research projects agency) har flera stora program varav några sker i samverkan med US Air Force och Nasa. I försök har man nu visat hur obemannade flygfarkoster kan landa och starta på hangarfartyg, lufttanka och flyga tillsammans med bemannade flygplan. US Army satsar huvuddelen av sin forskningsbudget för obemannade system på UAV-system men uppskattningsvis 700 miljoner dollar under 2019 på markplattformar. USA har en omfattande strategi för varje arena med planer för hur system ska införas på kort sikt, vilka utvecklingssteg som bör tas och vilka forskningsfrågor som är prioriterade. Ett exempel på utvecklingsstrategi är den US Army gjort för hur RAS (Robotic and Autonomous Systems) bör integreras och vilka prioriteringar som bör göras på kort, medellång och lång sikt, se Figur 2. Prioriteringen på kort sikt är att införa RAS som ett hjälpmedel för att förbättra lägesuppfattningen och reducera soldaternas fysiska belastning.



Figur 2. Översikt över strategin för den pågående utvecklingen inom UGV-området i US Army. Utvecklingsprogrammet omfattar fem delprogram som tillsammans syftar till att utveckla obemannade autonoma marksystemsystem och införa dem på förband. På kort sikt prioriteras lösningar som reducerar soldaternas fysiska belastning. Illustration: FOI

Storbritannien genomför en modernisering av sin armé där obemannade system förväntas utgöra en viktig framtida komponent. Den brittiska armén genomförde i slutet av 2018 övningen AWE18 på Salisbury Plains där mer än 40 UAV- och UGV-system testades och utvärderades under realistiska förhållanden. I början av 2019 aviserade Storbritanniens försvarsminister att de under året kommer att satsa ytterligare 66 miljoner pund från deras Defence Transformation Fund med målet att accelerera utvecklingen och införandet av obemannade system i armén. Utvecklingen inom området autonoma markfordon har i Storbritannien delvis inriktats mot logistiktillämpningar, exempelvis last-mile re-supply med en mindre UGV, då det bedöms vara uppgifter som kan utföras i närtid med obemannade system. QinetiQ samarbetar med Milrem Robotics och dess THeMIS UGV, där QinetiQ och Milrem har utvecklat TITAN Sentry och Strike. QinetiQ utvecklar självkörande funktioner vilket krävs i logistiktillämpningarna. Flera större militära forskningsprogram inom området obemannade system genomförs i Storbritannien,

bland annat Autonomous Last Mile Resupply (ALMR), Coalition Assured Autonomous Resupply (CAAR), Persistent Urban ISR (STRATUS) och Swarming UAS.

Ryssland har de senaste fem åren satsat stora resurser på att införa motsvarande UGV-förmågor som finns i exempelvis USA och Storbritannien. UGV:erna har ofta utvecklats för att lösa en specifik uppgift. De har exempelvis utvecklat en handfull prototyper av mindre soldatburna UGV:er som används till spaning (lokalt) och som bombrobotar, samt flera lätta och tunga beväpnade UGV:er avsedda för stridsuppgifter. Flera av dessa system har använts i Syrien där de utvärderats under realistiska förhållanden, för minröjning, spaning (lokalt), logistik och rena stridsuppgifter. Konflikten i Syrien ses som en möjlighet att experimentera med nya teknologier, i syfte att utvärdera prototyper i realistiska förhållanden och förstå utvecklingsbehoven.

3.7 Referenser

AGM-158C LRASM, https://en.wikipedia.org/wiki/AGM-158C_LRASM. (Besökt 2020-09-08).

Appelgren, J., Beran, T., Hagström, M., *Autonoma vapensystem – tekniska, legala och etiska aspekter*, FOI Memo 695, december 2019

Archambault E., Veilleux-Lepage Y., *Drone imagery in Islamic State propaganda: flying like a state*, International Affairs, Volume 96, Issue 4, July 2020, Pages 955–973, <https://doi.org/10.1093/ia/iiaa014>. (Besökt 2020-09-08).

Army Modernization Strategy – Investing in the Future, US Army, oktober 2019.

Bendett, S., *Russia is Poised to Surprise the US in Battlefield Robotics*, Defense One, 2018-01-25 www.defenseone.com/ideas/2018/01/russia-poised-surprise-us-battlefield-robotics/145439/. (Besökt 2020-09-08).

Bendett, S., *Russian Ground Battlefield Robots: A Candid Evaluation and Ways Forward*, RealClear Defense, 2018-06-26, https://www.realcleardefense.com/articles/2018/06/26/russian_ground_battlefield_robots_a_candid_evaluation_113558.html. (Besökt 2020-09-08).

Conflict Armament Research, *Evolution of UAVs employed by Houthi Forces in Yemen*, februari 2020, <https://www.conflictarm.com/dispatches/evolution-of-uavs-employed-by-houthi-forces-in-yemen/>. (Besökt 2020-09-08).

Dearden, L., *Revealed: Isis developing weaponised drones in secretive programme*, Independent, 2016-10-20,

<https://www.independent.co.uk/news/world/middle-east/isis-weapons-drones-uav-programme-development-weaponised-explosives-surveillance-terrorist-groups-a7371491.html>. (Besökt 2020-09-08).

Elfving, J., *Russian UGV Developments*, European Security & Defence Magazine, november 2019.

Eriksson, G., Holm, P., Hansson, A., Nilsson, J. och Rantakokko, J., *Robust och störtlålig kommunikation för obemannade farkoster – utmaningar och möjligheter*, FOI-R--4895--SE, december 2019.

Evolution of UAVs employed by Houthi Forces in Yemen, Conflict Armament Research, London, February 2020

FM2016-2626:6 Mark 151603S UAV-studie Slutrapport. Försvarsmakten, 2016.

Lee, P., *Reaper Force: The Inside Story of Britain's Drone Wars*, John Blake, January 2019

Linder, S. och Alexandersson, M., *Användning av störsändning i konflikten i Ukraina - en sammanställning från öppna källor*, FOI Memo 5625, januari 2016.

Martin, B., Tarraf, D. C., Whitmore, T. C., DeWeese, J., Kenney, C., Schmid, J., DeLuca, P., *Advancing Autonomous Systems An Analysis of Current and Future Technology for Unmanned Maritime Vehicles*, RAND Corporation, Santa Monica, Calif. 2019,
https://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/research_reports/RR2700/RR2751/RAND_RR2751.pdf. (Besökt 2020-09-08).

Oliver, D., *Russia's Rapid UAV Expansion*, published in the december 2018/januari 2019 Armada International Issue,
<https://armadainternational.com/2019/03/russias-rapid-uav-expansion/>. (Besökt 2020-09-08).

Postings, R., *The Islamic State's Armed Drone Program*, In: Conflict, West & Central Asia, International Review, 2017-12-10, <https://international-review.org/islamic-states-armed-drone-program/>. (Besökt 2020-09-08).

Rantakokko, J., *Tekniköversikt autonoma och obemannade system – Del 1: Historik*, FOI-R--4680--SE, december 2018.

Rantakokko, J. och Nygårds, J., *Avrapportering från AWE18 Exploitation Conference*, FOI MEMO 6720, 2019.

Rantakokko, J., Näsström, F. och Mårtensson, T., *Nuläge och förväntad utveckling inom området stridstekniska och taktiska RPAS*, FOI Memo 6695, mars 2019.

Rantakokko, J., Näsström, F., Nygårds, F., Bengtsson, K., Woltjer, R., *Tekniköversikt autonoma och obemannade system, del 2: Markstriden*, FOI-R--4901--SE, december 2019

Rassler, D., al-Ubaydi, M. och Mironova, V., *The Islamic State's Drone Documents: Management, Acquisitions, and DIY Tradecraft*, Combating Terrorism Center at West Point, 2017-01-31, <https://ctc.usma.edu/ctc-perspectives-the-islamic-states-drone-documents-management-acquisitions-and-diy-tradecraft/>. (Besökt 2020-09-08).

Reim, G., *Kaman receives 'multiple firm orders' for autonomous K-Max kits*, Flight Global, 2020-01-28, <https://www.flightglobal.com/hai-heli-expo-2020/kaman-wins-multiple-orders-for-autonomous-k-max-kits/136388.article> (Besökt 2020-09-08).

Snow, S., *It soon may be a 15 Marine rifle squad — most likely for MEU deployments*, 2018-10-10, <https://www.marinecorpstimes.com/news/your-marine-corps/2018/10/10/a-15-marine-rifle-squad-may-be-the-reality-for-meu-deployments/> (Besökt 2020-09-08).

South, T. and Snow, S., *15-Marine rifle squad: An exclusive look inside the future infantry*, The Marine Corps Times, August 7, 2019, <https://www.marinecorpstimes.com/news/your-marine-corps/2019/08/09/15-marine-rifle-squad-an-exclusive-look-inside-the-future-infantry/> (Besökt 2020-09-08).

Strömbäck, P., Hagström, M., Lennartsson, A., Marsten Eklöf, F., Rydell, J. och Rantakokko, J., *Autonomi och obemannade system - Förslag till inriktning av området Robust navigering*, FOI-R--4523--SE, december 2017.

Trevithick J., *Drones Have Been "Raining" Small Bombs On American Troops Guarding Oil Sites In Syria*, The Warzone, 2020-03-09, <https://www.thedrive.com/the-war-zone/32514/drones-have-been-raining-small-bombs-on-american-troops-guarding-oil-sites-in-syria>. (Besökt 2020-09-08).

Woody, C., *Drones are dropping bombs on US troops in Syria, and it's not clear who's doing it*, Business insider, 2020-03-11, <https://www.businessinsider.com/drones-used-to-drop-bombs-on-us-troops-in-syria-2020-3?r=US&IR=T>. (Besökt 2020-09-08).

4 Informationsteknologi

Författare: Joel Brynielsson och Fredrik Johansson

4.1 Inledande beskrivning av området

Informationsteknologi (IT) är ett samlingsbegrepp för teknologi som är avsedd att hantera och bearbeta digital information. Särskilt åsyftas informationshantering och -bearbetning som åstadkoms med datorer, datornätverk och datorprogramvara, där datorer utöver konventionella persondatorer även inbegriper styrsystem, databasservrar, övervakningssystem, mobiltelefoner med mera. Datorers förmåga att spara, hantera och analysera data ligger till grund för en stor del av vår teknologiska utveckling de senaste 50 åren. Mycket av den informationsbehandling som avses sker i dag ”online” i nätverk, vilket behandlas särskilt i kapitlet om cyber. För att undvika överlapp kommer därför vissa aspekter kopplade till internetanslutna system och de möjligheter och problem dessa medför, att behandlas förhållandevis kortfattat nedan.

En stor mängd av de produkter som kommer ut på marknaden i dag, exempelvis fordon, telefoner och kameror, innehåller någon typ av IT-system. Utvecklingen av Internet of Things (IoT, svenska: sakernas internet) innebär dessutom att informationsteknologi implementeras i kylskåp, kaffeautomater, dörrlås, klimat-anläggningar, belysningar och allt annat som kan tänkas behöva beräkningskraft och lagringsförmåga för att tillhandahålla bättre funktionalitet. Det finns anledning att anta att IT kommer att spela en än större roll i framtiden eftersom IT påverkar hela samhället. När det gäller IT är det svårt att tänka på teknikområden som *inte* har någon beröringspunkt med IT år 2045. Denna insikt och det faktum att det är den civila marknaden som driver IT-utvecklingen är viktiga att ha i åtanke vid militär analys av IT; IT är nästan alltid närvarande och IT är sällan primärt designat för tillämpningar inom försvar och säkerhet.

4.2 Övergripande trender samt exempel på teknik och system ut mot 2045

Utvecklingen inom IT har de senaste decennierna varit extremt snabb och har i stor utsträckning styrts av enskilda tekniska genombrott både på hårdvaru- och på mjukvarusidan. Att förutse trender på lång sikt är av det skälet svårt, men i detta avsnitt listas några mer övergripande trender som kan ses i samhället redan i dag.

4.2.1 Ökad sammankoppling av IT-system

En tydlig trend i samhället är att mängden tillgänglig information ständigt ökar och att olika informationssystem i allt större utsträckning kopplas ihop med varandra – direkt eller indirekt. Sammankoppling av olika informationssystem ger stora möjligheter för både privatpersoner och företag att kommunicera, optimera och planera. Den uppenbara nackdelen är att samhällets sårbarhet för haverier, systemfel och IT-attacker ökar drastiskt, vilket beskrivs närmare i kapitlet om cyber.

4.2.2 Analysprogram kompletterar eller ersätter människor

En trend inom IT är att överlåta mer och mer databehandling och analys till datorer, ungefär som att man i den fysiska världen har överlåtit mycket av arbetet till maskiner och robotar. Några av de främsta anledningarna till det är att datorer är snabba, har perfekt minne och enorm beräkningskraft som ökar för varje år. Den förmåga som fram till nu i mångt och mycket har saknats hos datorer är förmågan att kunna fusionera olika typer av information och analysera betydelsen av den på en hög abstraktionsnivå. På senare år har dock stora framsteg gjorts inom just analysförmågan hos datorer. I dag kan datorer användas för att transkribera tal till text och översätta mellan olika språk i realtid, men också för att analysera text, sammanfatta rapporter, skapa rapporter etc.

4.2.3 Artificiell intelligens

Datorers förmåga att kunna utföra typiskt mänskliga aktiviteter – tänka – brukar benämnas artificiell intelligens (AI). AI är ett mycket aktivt forskningsområde. De senaste åren har det skett en enorm utveckling inom maskininlärningsområdet kopplad till så kallade djupa neuronnet som gjort att många begränsade uppgifter som tidigare ansetts kräva mänsklig intelligens i dag kan utföras med nära mänsklig, eller ibland bättre, precision av datorprogram som tränats på stora mängder data. Exempel på detta är ansiktsigenkänning och tolkning av vissa typer av radiologiska bilder, men en liknande revolution som redan skett inom bildanalys pågår just nu också inom textanalysområdet. I dagsläget har främst de lägst hängande frukterna skördats av storskalig AI-användning, men många bedömare förväntar sig en samhällsomvälvande inverkan när allt fler AI-system börjar tillämpas på bred front. Än så länge är de flesta lösningar väldigt specialiserade på att utföra begränsade uppgifter, men i takt med att AI-systemens lägesförståelse blir mer utvecklade kan man i framtiden tänka sig att uppgifter av mer generell karaktär kan lösas. Det är dock viktigt att nämna att de flesta aktiva AI-forskare anser att det är en lång väg kvar tills något liknande så kallad generell artificiell intelligens (AGI) kan uppnås.

4.2.4 Robotar och autonoma system blir en del av vardagen

En utveckling som kan förväntas de kommande 25 åren är att datorer och maskiner i större utsträckning kommer att interagera med människor i den fysiska världen. Som nämns i kapitlet som behandlar obemannade farkoster och autonoma system används datorer allt mer för att kontrollera olika typer av fordon (med autopiloter i flygplan och självkörande bilar som kända exempel), och enkla hushållsrobotar har redan i dag gjort sitt intåg i våra hem i form av till exempel dammsugare och gräsklippare. Allt mer avancerade IT-, kommunikations- och datorsystem tillsammans med utveckling inom exempelvis robotik ligger till grund för denna utveckling.

En stor anledning till att robotar och autonoma system ännu inte förekommer i samhällets öppna miljöer i större utsträckning är att de inte kan hantera kontext och situationer lika bra som människor. De klarar inte av att anpassa sig till en föränderlig omvärld tillräckligt bra. Rent tekniskt handlar det dels om att förmågan att tolka omgivningen, det vill säga sensordata i form av till exempel bilder, behöver förbättras, dels om att en mer generell lägesförståelse som kan ligga till grund för det autonoma beslutsfattandet behöver utvecklas ytterligare. Det autonoma beteendet måste i större utsträckning ”agera rätt” i olika situationer, och också göra detta på ett mer förutsägbart sätt. Inom de tekniska områdena görs i dag stora framsteg, men det finns juridiska och etiska aspekter som måste klargöras och som kan begränsa de möjliga användningsområdena.

4.2.5 Människan som en del av nätverket

En möjlig – om än spekulativ – utveckling av IT på längre sikt är att människan kopplas samman med ett IT-system och blir en del av ett nätverk. Idén att sätta in mikrochips i kroppen, som till exempel möjliggör lättare identifiering, har funnits i många år och det finns redan i dag proteser som är sammankopplade med det mänskliga nervsystemet. I förlängningen kan man tänka sig en utveckling där gränsen mellan dator och människa blir allt mer diffus, och där tekniska hjälpmedel används för att till exempel förstärka de mänskliga sinnesintrycken. En sådan utveckling kan till del vara etiskt kontroversiell, men är ur teknisk synvinkel fullt möjlig.³⁰ I kapitlet om mänsklig förstärkning och soldatsystemet beskrivs detta mer utförligt.

³⁰ Att bara ge personer som hör eller ser dåligt syn och hörsel tillbaka är knappast särskilt kontroversiellt, men andra möjligheter som teknikutvecklingen medger kan vara det.

4.3 Beskrivning av utveckling av specifika delområden/teknologier i tidshorisonten

I detta avsnitt beskrivs ett antal områden som kan komma att få särskild betydelse för forskning och utveckling med avseende på försvarstillämpningar under de kommande två decennierna. Trender inom standardisering av mjukvara och alltmer homogena hårdvaror beskrivs mer ingående i kapitlet om cyber, där även IoT behandlas.

4.3.1 Automatisk textanalys och artificiellt resonerande

I och med datorernas intåg i samhället kunde stora mängder text göras sökbar på ett sätt som tidigare inte var möjligt. Datorernas användningsområden begränsades länge till enklare informationshantering såsom att sortera bland stora mängder data och matcha sökord med data som fanns i systemet. Utvecklingen har på senare år gått mot att bearbeta informationen ytterligare så att den blir mer relevant för användaren. Stora framsteg har gjorts inom textanalys och automatiserat resonerande. Ett bra exempel är den sökfunktion som Google tillhandahåller. När användaren skriver in ett ord eller en fras i sökfältet försöker de underliggande algoritmerna förstå vilken information användaren är intresserad av genom att titta på såväl de enskilda orden som kontexten. Informationen som sökmotorn hittar rangordnas utifrån bedömd relevans, där relevansen avgörs av olika kriterier, till exempel hur viktig informationen är för andra användare. Även om det i slutändan är användaren som avgör vilken information som är mest relevant förenklas sökprocessen avsevärt av den avancerade sökfunktionen.

Exemplet ovan illustrerar hur datorprogram kan fungera som beslutsstöd åt en mänsklig användare. Programmet assisterar användaren genom att sortera, filtrera och visualisera information, men i slutändan ligger det på den mänskliga användaren att fatta ett beslut och agera med avseende på informationen.

4.3.2 Automatisk bildanalys

Att få datorer att tolka information som tillhandahålls i form av bilder har länge varit en utmaning. Ett stort steg framåt togs i och med introduktionen av de djupa neuronäten, som är en teknik inom området maskininlärning/AI som det i dag forskas mycket kring. I dag är det möjligt att med stor säkerhet klassificera redan kända objekt i bilder, och det är också i viss mån möjligt att skapa en högre förståelse genom att sätta objekten i kontext. Utmaningen handlar de kommande åren om att kunna förstå bildinnehållet på en djupare nivå i syfte att kunna dra slutsatser som inte bara rör begränsade domäner och kända kontexter, utan att även kunna generalisera och ge ett bidrag till det mänskliga resonandet. Att på detta sätt kombinera lärande med resonerande är i dag en av de viktigaste öppna frågorna inom AI-forskningen. Integrerade tillvägagångssätt för lärande och resonerande

förväntas kunna leda till nästa stora AI-genombrott, där svårigheterna med dagens ”svarta lådor” baserade på de djupa neuronäten kan övervinnas.

Bildigenkänningsteknik baserad på de djupa neuronäten som används för exempelvis ansiktsgenkänning kan även användas för att känna igen andra typer av sensordata så att till exempel video, tal och röster kan kännas igen och kombineras med de analyserade bilderna. Med hjälp av kameror, mikrofoner och andra sensorer kommer datorer i framtiden därmed kunna skapa sig lägesförståelse utgående från sensordata som i många avseenden liknar människans sinnesintryck.

4.3.3 Kryptering

Att kryptering fungerar är en grundförutsättning för dagens uppkopplade samhälle. Exempelvis förutsätter de flesta finansiella tjänster tillgång till olika typer av fungerande kryptering. Om de krypteringstekniker som är i bruk skulle knäckas skulle det kunna orsaka svåröverskådliga problem för banksystemet, och samma öde skulle drabba många andra teknologier som är beroende av kryptering såsom epost, telefontrafik, webbsidor och databaser.

RSA-kryptering³¹ och liknande varianter av de så kallade asymmetriska kryptosystemen används i dag i stor utsträckning för säker dataöverföring, datalagring med mera. Liksom många krypteringsmetoder förlitar sig RSA på asymmetri med avseende på svårighetsgraden att kunna utföra en beräkning jämfört med att kunna reversera den. RSA-kryptering använder sig av asymmetrin i multiplikation där det är lätt att multiplicera ihop två primtal (med dagens teknik görs det på bråkdelen av en sekund), men svårt att efteråt dela upp det sammansatta talet i dess två primtalsfaktorer (inversen av multiplikation utgörs således av att finna den unika faktoriseringen bestående av de två primtalen som använts för multiplikationen).

Tekniken använder en publik nyckel (produkten av de två stora primtalen) för att kryptera ett datapaket. För att dekryptera krävs det kännedom om vilka de två individuella primtalen (den privata nyckeln) är. Det är bara den som har den privata nyckeln som kan dekryptera ett meddelande. Med dagens teknik är det i princip omöjligt att efteråt beräkna (faktorisera) de två primtalen som använts vid multiplikationen, vilket innebär att bara den som redan vet de två primtalen kan dekryptera datapaketet. Eftersom svårigheten att faktorisera växer med storleken på de ingående primtalen så går det att välja primtal så att faktorisering inte blir möjlig inom överskådlig framtid.

De algoritmer som faktorerar primtal i dag ser inte ut att kunna bytas ut mot väsentligt snabbare motsvarigheter, utan man förlitar sig på att det inte kommer att uppfinnas en överlägsen algoritm före 2045. Ett forskningsgenombrott som gör det

³¹ Denna krypteringsalgoritm är namngiven utifrån begynnelsebokstäverna i upphovsmännens namn (Rivest, Shamir, Adleman).

möjligt att konstruera en tillräckligt generell så kallad kvantdator skulle helt förändra detta. Med en sådan massivt parallell dator skulle faktoriseringar kunna åstadkommas lika smärtfritt som själva multiplikationen, och därmed skulle redan färdigutvecklade algoritmer för kvantberäkningar kunna användas för att knäcka många av dagens asymmetriska krypteringssystem. Rykten och nyhetsrapportering gör exempelvis gällande att Google med hjälp av en kvantdator ska ha lyckats få ned tiden från 10000 år till 200 sekunder för en viss typ av beräkning, även om detaljerna kring detta ännu är oklara.³² För hemligheter som är tänkta att bevaras för lång tid framöver behöver detta beaktas redan i dag. Se även kapitel 7 om kvantteknologi.

4.3.4 Skadlig mjukvara

Det är ett välkänt faktum att IT-system är sårbara för attacker från fientlig mjukvara. Sådan mjukvara går under benämningar som virus, trojanska hästar och maskar, beroende på dess uppbyggnad. Trenden är att skadlig mjukvara blir mer och mer avancerad. Stuxnet är troligtvis den mest kända sofistikerade skadliga koden i dagsläget. Stuxnet ger en indikation om att framtida attacker kommer att använda sig av tekniker som konventionell krigföring använder sig av i dag med avseende exempelvis på kamouflage, vilseledning och riktade attacker.

Skadlig mjukvara kan med dagens ihop- och uppkopplade system orsaka stor skada på kort tid. Det är därför av största vikt att såväl företag som myndigheter får resurser att följa utvecklingen på detta område och möjlighet att utveckla motåtgärder i samma takt.

4.4 Koppling till andra teknikområden som samverkar med eller är förutsättande för området

Som nämnts i det inledande avsnittet är IT i dag en del av vardagen. Ibland utgörs ett IT-system av en persondator som i sig självt tillhandahåller den eftersträvarvärda funktionaliteten och ibland är IT-systemet en inbäddad delkomponent i ett annat tekniskt system. Ibland är IT-systemen mycket sofistikerade och ligger till grund för att exempelvis utveckla självkörande bilar, och ibland är IT-systemen enkla och billiga och ligger till grund för att exempelvis utveckla sensorer i vardagliga produkter i ”smarta hem”.

³² Google bekräftar genombrott av kvantöverlägsenhet, Ny Teknik 2019-10-23, <https://www.nyteknik.se/innovation/google-bekraftar-genombrott-av-quantoverlagsenhet-6976044>. (Besökt 2020-09-08).

I linje med IoT-trenden har det blivit billigt att berika alla möjliga produkter med IT-system, vilket gjort att det i dag kan vara svårt att hitta en glödlampa utan nätverksuppkoppling. Snarare än att det finns särskilda kopplingar till vissa teknikområden, är det när det gäller IT således svårt att tänka på teknikområden som *inte* har någon beröringspunkt med IT.

Det senaste decenniets framgångar inom AI-området har hårdvarumässigt hängt samman med utvecklingen av specialbyggd hårdvara i form av snabba grafikprocessorer som är speciellt anpassade för att kunna ta hand om de beräkningar som behöver göras i samband med att stora mängder träningsdata behandlas. Dessa grafikprocessorer är i grunden speciellt anpassade för att kunna hantera de beräkningar som krävs för att kunna manipulera bilder utgående från lokala bildegenskaper, det vill säga beräkningarna utgår bara från de närmaste bildpunkterna, vilket leder till beräkningar som enkelt kan delas upp och beräknas parallellt och därför kan ske mycket snabbt. Denna egenskap har tidigare främst nyttjats i datorers grafikprocessorer, men neuronnätsberäkningarna som ligger till grund för AI-framgångarna kännetecknas matematiskt av samma lokala och lätt parallelliserbara egenskaper vilket lett till en utveckling av grafikprocessorer som specifikt är till för att kunna utföra matrisberäkningarna som behövs för djupinlärning. Denna utveckling av specialdesignad hårdvara för AI-området pågår i dag parallellt med att utvecklingen av algoritmer och mjukvarubibliotek fortsätter, och kan så förväntas göra de närmaste decennierna.

4.5 Beskrivning av hur teknikutvecklingen inom området kan påverka de grundläggande förmågorna ut till 2045

De delområden/teknologier som beskrivs i föregående avsnitt är alla intressanta ur militär synvinkel eftersom de kan ingå som komponenter i mer omfattande system med specifika tillämpningsområden. Några exempel ges nedan.

4.5.1 Potentiella militära tillämpningar

4.5.1.1 Beslutsstödssystem som del av ledning och genomförande av verksamhet

Eftersom information används som underlag för beslutsfattande såväl civilt som i militära operationer är det nödvändigt att kunna hantera och analysera informationen löpande. Då datamängderna kan vara stora är det nödvändigt med tekniska hjälpmedel i form av analys-/beslutsstödsprogram. Olika typer av analysprogram kan användas inom exempelvis logistikplanering, sårbarhetsanalys, uppgiftsfördelning/optimering under strid, hotanalys och resursplanering.

Analysprogram kan också användas för att utföra mindre sofistikerade analysuppgifter så att mänskliga resurser kan utnyttjas till annat. Ett exempel är övervakning, där det är till stor hjälp att automatiskt kunna känna igen situationer och händelser utifrån bilder, videoströmmar och andra media.

4.5.1.2 Autonoma fordon för exempelvis bättre rörlighet och tillgänglighet

I en militär kontext kan autonoma eller semiautonoma fordon användas för spaning, transporter och i strid. Obemannade fordon som opererar över större avstånd behöver ha ett visst mått av autonomi inbyggt för den händelse att kommunikationen med basen bryts. Vidare är det resurseffektivt att kunna förflytta exempelvis en kolonn med transportfordon genom att aktivt navigera ett av fordonen och låta de övriga följa efter med hjälp av lokal självstyrning. När det gäller användande av autonoma fordon i strid återstår många etiska frågor att ta ställning till, och dessa frågor kan tänkas bli allt viktigare i takt med att forskningen gradvis leder till att maskiner kan erhålla en mer generell lägesförståelse. En sådan generell lägesförståelse skulle kunna användas för att uppnå ett helt autonomt beteende när det kommer till att kunna agera inom mer öppna systemgränser och kunna reagera på mer svårförutsägbara och i förväg okända händelser. Autonomt fordonsunderhåll och automatisk förflyttning i syfte att uppnå skydd utgör exempel på de mer komplexa uppgifter som då skulle kunna lösas. Se även kapitel 3 om obemannade farkoster och autonoma system.

4.5.1.3 Övning och träning

Spel och simuleringar används i allt större omfattning som hjälpmedel vid träning av bland annat brandmän, poliser och militär personal. I en virtuell verklighet kan man träna på scenarier som av praktiska eller ekonomiska skäl inte är möjliga att öva på i verkligheten. Det kan till exempel handla om strid i främmande miljöer eller i krissituationer där skaderisken är för hög för att man ska kunna träna säkert i verkligheten.

För att övningar i en virtuell verklighet ska upplevas som realistiska krävs inte bara att den simulerade världen ser verklig ut, utan också att aktörerna, agenterna som befolkar den simulerade världen, uppvisar ett lagom intelligent beteende. Ett kostsamt alternativ är att låta alla personer i den simulerade världen styras av verkliga människor. Ett mindre kostsamt alternativ är att datorgenerera beteendena för åtminstone de personer i den simulerade världen som är mindre centrala. För att kunna återskapa ett sådant trovärdigt mänskligt beteende hos de automatgenererade aktörerna är utvecklingen inom AI central. Även autonoma system som ska användas i verkligheten kan tränas upp med hjälp av simuleringar, vilket gör att utvecklingen av simulatorer för övning och träning anknyter också till utveckling av verkliga system.

Det finns dock många utmaningar med övningar i simulerade verkligheter. Miljöer, situationer eller verktyg som inte är anpassade efter verkliga förhållanden riskerar att leda till felinlärning. Det kan handla om att alltifrån enklare teknik såsom sikten till mer komplexa verktyg och datahantering behöver vara representativa med avseende på det lärande som eftersträvas. I en spelsituation är det också viktigt att incitamentsstrukturen i spelet/simuleringen avspeglar verkligheten såtillvida att det vinnande beteendet korrekt avspeglar det önskvärda beteendet i en verklig situation.

4.5.1.4 IT-attacker

Att kunna skydda sig mot IT-attacker är nödvändigt inom i princip all militär verksamhet. Skyddet innefattar såväl säker kryptering som möjligheter att detektera och motverka skadlig kod. Mer om detta finns att läsa i kapitel 5 om cyber.

4.5.2 Begränsande faktorer

Utvecklingen inom IT har de senaste åren givit upphov till ett stort antal etiska och juridiska utmaningar. Det handlar bland annat om integritetsproblem som uppstår vid hantering av personrelaterade data, och frågan om vem som har det juridiska ansvaret för eventuella (materiella eller immateriella) skador som uppstår vid användningen av autonoma IT-system. De uppkomna problemen bromsar den tekniska utvecklingen, dels genom att forskning inom vissa områden försvåras, dels genom att användandet av vissa teknologier begränsas av lagar och överenskommelser. Att det behövs ett juridiskt regelverk som styr användandet av viss teknik är de flesta instanser överens om. Exakt hur regelverket ska se ut är det däremot betydligt svårare att enas om.

Många av de områden som nämns i detta kapitel är fortfarande förhållandevis utvecklade. Som inom all forskning gäller att oväntade problem kan uppstå och att resultaten inte alltid blir de förväntade.

4.6 Beskrivning av vilka aktörer som forskar eller utvecklar inom området, alternativt har system i tidsperioden

Många vanliga arbetsuppgifter handlar i dag om IT: utveckling av programvara, system och hårdvara, drift, underhåll av system, utbildning av användare, projektledning, planering av IT-stöd och driftsäkerhet. Kompetens inom IT efterfrågas inom nästan alla branscher och är ett vanligt förekommande utbildningsämne.

Kopplat till denna rådande samhällsutveckling sker forskning och utveckling i stor skala med fokus på i första hand civila tillämpningar inom alla samhällssektorer,

och utförarna återfinns hos snart sagt alla teknikdrivna högskolor, forskningsinstitut och teknikintensiva företag. Utöver att det är de civila behoven som är drivande så skiljer sig IT-området också från andra högskoleämnena genom att en stor del av forskningen sker i industrin, och ofta är det där de bästa förutsättningarna finns. Exempelvis sker de stora forskningsframstegen inom AI-området ofta hos stora IT-aktörer såsom Google, NVIDIA och Microsoft, vilka hyser forskningsavdelningar och har resurser utöver vad som finns vid traditionella högskolor och forskningsinstitut.

4.7 Referenser

- Amselem, E., Svenson, P., Gisslén, L. Kvantinformatik. Teknisk rapport FOI-R--3920--SE, Totalförsvarets forskningsinstitut, Stockholm, 2014.
- Andersson, J., Astell, M., Axberg, S., Brehmer, B., Brynielsson, J., Hagstedt, D. S., Nylander, M., Reberg, M., Sivertun, Å. *Teknik till stöd för ledning*, band 3 av *Lärobok i Militärteknik*, kapitel 7 ”Informationsteknik”, sidorna 117–143. Försvarshögskolan, Stockholm, 2009.
- Brynielsson, J., Nilsson, M., Schubert, J., Svenmarck, P. Artificiell intelligens för beslutsstöd i ledningssystem. Teknisk rapport FOI-R--4678--SE, Totalförsvarets forskningsinstitut, Stockholm, 2018.
- Goodfellow, I., Bengio, Y. Courville, A. *Deep Learning*. MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 2016.
- Russel, S. J, Norvig, P. *Artificial Intelligence: A Modern Approach*, fjärde upplagan. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 2020.
- Sommestad, T., Brynielsson, J., Varga, S. Möjligheter för automation av roller inom cybersäkerhetsområdet. FOI Memo 6737, Totalförsvarets forskningsinstitut, Stockholm, 2019.

5 Cyber- och informationssäkerhet

Författare: Joel Brynielsson, Hannes Holm och Fredrik Johansson

5.1 Inledande beskrivning av området

Cyberområdet spelar i dagens uppkopplade samhälle en viktig roll för både enskilda individer och samhället i stort. Det är en fråga för totalförsvaret som helhet. Oavsett om vi vill kontrollera saldot på vårt bankkonto, ringa ett telefonsamtal eller genomföra ett kortköp så är vi beroende av välfungerande och säkra kommunikationer. På samma sätt är centrala samhällsfunktioner som energi- och transportsektorn starkt beroende av fungerande och säkra informationssystem. Detsamma gäller i stor utsträckning också annan offentlig samhällsservice såsom sjukvård och polisier verksamhet. Samtidigt tenderar allt fler samhällskritiska system att kopplas samman som system av system på en global nivå. Detta leder till komplexa och svåranalyserade säkerhetsberoenden mellan många olika aktörer och intressenter. Sammantaget innebär detta att vi blir alltmer beroende av informationsteknologi (IT) men därmed också mer och mer sårbara för störningar i IT-infrastruktur, helt oavsett om denna orsakas av den mänskliga faktorn, elavbrott eller cyberattacker från främmande makt.

Cyberförmågan är ett verkanssystem som existerar parallellt med de traditionella försvarsförmågorna och ger tillgång till alternativa sätt att uppnå ett visst mål. Militärt likställs inte sällan begreppet cyber med samlingsnamnet computer network operations (CNO), vilket kan delas in i underkategorierna computer network defence (CND), computer network attack (CNA) och computer network exploitation (CNE). Lite grovt kan CND definieras som handlingar för att skydda, övervaka, analysera, detektera och svara på nätverksattacker, intrångsförsök och andra typer av handlingar riktade mot IT-system, medan CNA är den andra sidan av myntet. Vidare rymmer CNE-begreppet olika typer av attacker mot informationssystem för att möjliggöra spionage eller underrättelseinhämtning.

I detta sammanhang är det viktigt att inse att cybersäkerhet inte enbart har att göra med brandväggar, virus, hackerattacker och trojaner. I den senaste tidens omvärldsutveckling har det blivit alltmer tydligt hur olika typer av påverkansoperationer kan spela en allt viktigare roll i såväl krigstid, skymningsläge som fredstid, innefattande allt från att piska upp en hätsk stämning i sociala medier mot olika grupper till att fysiskt sabotera IT-relaterad infrastruktur. Cyberförmågan kan ingå som en komponent i sådana påverkansoperationer.

5.2 Övergripande trender samt exempel på teknik och system ut mot 2045

Uppkomsten av internet och det i dag alltmer uppkopplade samhället har gjort att utvecklingen inom cyberområdet rör sig allt snabbare. Det är därför svårt att sja om trender i det längre perspektivet, men nedan görs ändå ett försök att lista ett antal övergripande trender som kan antas påverka och vara viktiga att ha i åtanke under de kommande decennierna.

5.2.1 Ärva sårbarheter består och nya uppkommer

Dagens dator- och nätverksteknologier bygger på nästan samma plattformar som de som fanns på 1980-talet. Exempelvis var det då processorarkitekturen x86 slog igenom och programmeringsspråket C++ släpptes. I dag, mer än 30 år senare, är x86 fortfarande bland de vanligaste arkitekturerna och C++ är ett av de flitigast nyttjade programvaruspråken. I korthet innebär detta att samma typer av mjukvarusårbarheter (exempelvis buffertöverskridningsbrister³³) funnits i mer än trettio år. Inte heller distribuerade överbelastningsattacker (DDoS) är något nytt även om det under åren har skett en gradvis upptrappning där det numera å ena sidan finns en arsenal av olika tekniker för att försvara sig och å andra sidan har utvecklats smarta så kallade lågnivåattacker (low-rate DoS attacks) som gör det möjligt för en angripare att överbelasta utan att behöva ha tillgång till mer bandbredd än vad det angripna systemet har tillgång till. Ehuru den teknologiska utvecklingen i dag är fortsatt lika snabb som på 1980-talet, är det därmed ändå rimligt att anta att dessa typer av sårbarheter kommer att bestå även om 25 år. Mjukvarusårbarheter ärvs över tid när språk och plattformar består.

En stor skillnad mellan dagens IT-system och de som fanns under 1980-talet är dock att komplexiteten i dagens stora och sammankopplade system har ökat. Under 1980-talet var komplexiteten hos IT-systemen så begränsad att en duktig programmerare kunde ha insyn i allt ifrån kablage till applikationsnivån. Detta har med tiden förändrats och i dag är en vanlig mjukvara så komplicerad att ingen enskild individ kan ha fullständig förståelse för hur allt hänger ihop. Bruk av ramverk och bibliotek som låter utvecklaren skapa applikationer utan att behöva förstå vad som händer under huven är i dag praxis. Det används många överlappande ramverk och bibliotek, vilket lett till att sårbarheterna i dessa tenderar att få genomslag i alla de vitt skilda mjukvaror som använder sig av de överlappande ramverken och biblioteken.

³³ En buffertöverskridningsbrist är en sårbarhet som möjliggör omskrivning av en applikations inre, till exempel tillägg av en bakdörr.

5.2.2 Standardisering av mjukvara och applikationer

Standardisering i form av ramverk, appbutiker och liknande kommer sannolikt att påverka vilka typer av sårbarheter som förekommer i framtiden. Det finns i dag enkelt implementerade och relativt effektiva skydd mot till exempel buffertöverskridningsbrister. Problemet är dock att dessa inte alltid implementeras på ett korrekt sätt i operativsystem, och att applikationer oftast inte måste inkorporera dem. En ökad standardisering kommer att tvinga fram utveckling av skydd vilket därmed minskar antalet exploaterbara minnessårbarheter, men den kan samtidigt öka antalet brister som rör felaktiga antaganden som görs av utvecklare som inte helt förstår ramverket de nyttjar. Dessa exploaterbara brister inkluderar exempelvis command injection, file inclusion, SQL injection³⁴ och cross-site scripting (XSS).³⁵

Det bör även tilläggas att ett ökat säkerhetskrav på funktioner gör att antal rader kod inte kommer att bli färre utan fler, vilket i sin tur kan införa nya sårbarheter. Vi måste också alltjämt leva med mycket av den legacy-kod³⁶ som skapades under en tid då cyberattacker i stort sett var obefintliga.

En annan standardiseringstrend som kan förväntas fortgå är att utveckling och exekvering av skadlig kod blir allt mer användarvänlig; affärsmodellen och användarkraven blir helt enkelt allt mer lika de som finns för allmän mjukvara. I korthet innebär detta att det i framtiden kommer att vara enklare för mindre kompetenta hotaktörer att identifiera nya brister samt att exploatera existerande brister.

5.2.3 Hårdvara blir alltmer enhetlig

Att injicera skadlig kod i hårdvara är mycket attraktivt eftersom hotaktören då kringgår de allra flesta moderna IT-skyddsmekanismer. I dag är det dock väldigt få skadliga koder som sprider sig till hårdvarukomponenter (till exempel BIOS/UEFI³⁷ eller firmware³⁸ för en hårddisk). Anledningen till detta är att den skadliga koden måste vara specialskriven för varje hårdvara, vilket i kombination med den stora variationen på hårdvara helt enkelt gör att det inte är särskilt lukrativt utom kanske för verkligt motiverade aktörer med stora resurser. En trend är dock att hårdvarukomponenter tenderar att bli mer och mer enhetliga, och att vissa leverantörer (exempelvis Intel) blir allt mer dominerande på marknaden. Samtidigt får drivrutiner och firmware som styr hårdvaror allt fler egenskaper, det

³⁴ Structured Query Language (SQL) injection handlar om införande av skadliga anrop till en SQL-databas.

³⁵ Cross Site Scripting (XSS) handlar om införande av skadlig JavaScript-kod genom en part som mottagaren litar på.

³⁶ Defining Legacy Code, <https://dzone.com/articles/defining-legacy-code>. (Besökt 2020-09-08).

³⁷ BIOS/UEFI är ett grundläggande program som startas på en dator innan dess fullskaliga operativsystem körs.

³⁸ Firmware är en enklare typ av operativsystem som oftast nyttjas av IT-system med specialiserade tillämpningsområden, såsom tv-kontroller, hårddiskar och routrar.

vill säga de blir mer komplicerade och har fler rader kod. Denna homogenisering av hårdvara visar inga tecken på att avta, vilket kommer att göra det mer lukrativt att utföra cyberattacker mot hårdvara.

5.2.4 Internet of Things

Ytterligare en trend, även beskriven i kapitlet om informationsteknologi, som kan väntas hålla i sig är IoT. I takt med att kostnaden för att förse olika föremål med nätverksuppkoppling blir allt lägre så ser vi i dag hur allt fler klockor, övervakningskameror, personvågar, TV-apparater, belysningar och kylskåp börjar kopplas upp trådlöst. I dag kopplas miljontals nya saker eller enheter upp på daglig basis. De nuvarande och sannolikt även de framtida militära plattformarna och vapen- och sensorsystemen innehåller även de IT-komponenter (sensorer, styrenheter, ställdon etc.) som är mer eller mindre uppkopplade i nätverk. Även militärt går trenden mot ökad uppkoppling. Bland annat har begreppet Internet of Military Things (IoMT) myntats, vilket konceptuellt handlar om att ha tillgång till ett ekosystem med smart militär teknik som autonomt kan hantera och distribuera olika typer av sensorinformation.

Även om IoT erbjuder en rad spännande möjligheter så kan trenden också förväntas skapa många säkerhetsutmaningar. Exempelvis kan enheter utrustade med billiga nätverksuppkopplingar komma att stå vidöppna för välkända sårbarheter i årtal, eftersom säkerhetsuppdateringar riskerar att nedprioriteras till förmån för att kunna tillverka många enheter till ett lågt pris. Således kommer det att finnas gränssytor, via till exempel internet, insiders och leverantörskedjor, som ger möjlighet att påverka andra nätverksanslutna fysiska system. Även om systemet eller informationen som finns på enheterna som initialt attackerades inte är högintressant för en angripare, så kan den attackerade enheten eller informationen på grund av den alltmer uppkopplade naturen hos olika enheter utgöra grunden för en attack mot mer svåråtkomliga system innehållande mer skyddsvärd information.

5.2.5 AI och kvantdatorer påverkar mot 2045, men hur?

Två mer svårförutsägbara trender handlar slutligen om artificiell intelligens och kvantdatorer, där det för närvarande görs stora satsningar världen över.³⁹ Artificiell intelligens är än så länge ett relativt omoget område, men under de senaste åren har det skett en enorm utveckling kopplad till djupa neuronät och dess tillämpning på framförallt analys av stora mängder ostrukturerad data (bildanalys, textanalys etc.). Denna AI-utveckling förutspås av många experter leda till en omvälvande samhällsutveckling som kan liknas vid händelser som införandet av elektricitet i stor skala eller den industriella revolutionen. Om detta

³⁹ White House Earmarks New Money for A.I. and Quantum Computing, The New York Times, 2020-02-10, <https://www.nytimes.com/2020/02/10/technology/white-house-earmarks-new-money-for-ai-and-quantum-computing.html>. (Besökt 2020-09-08).

blir fallet öppnar sig nya möjligheter att utföra cyberattacker på, där algoritmerna som den artificiella intelligensen är baserad på exploateras. Sett ur ett cybersäkerhetsperspektiv kan tre huvudsakliga AI-användningsområden skönjas som utvecklingen i ökande utsträckning kan förväntas leda till och som behöver beaktas: (i) AI i vanliga system, (ii) AI som en del av säkerhetslösningar och (iii) AI-lösningar som används av illasinnade aktörer.

Kvantdatorer är ett än mer omoget område än artificiell intelligens, men kan om stora framsteg görs komma att förändra förutsättningarna för vissa verksamheter. Exempelvis kan en kvantdator i teorin knäcka de asymmetriska kryptografiska protokoll (till exempel RSA) som i dag används för att skydda data (till exempel vid webbsurfning). Kvantdatorutvecklingen behöver därför tas i beaktande redan idag vid kryptering av information som ska kunna hemlighållas även efter år 2045.

5.3 Beskrivning av utveckling av specifika delområden/teknologier i tidshorizonten

Nedan beskrivs några specifika trender som är av särskilt intresse för det framtida arbetet med informations- och cybersäkerhet med avseende på försvar och säkerhet. Genomgående gäller (i) att det krävs investeringar för att kunna hinna med i den snabba utvecklingen inom cyberområdet och (ii) att framtida arbete bör beakta människa och maskin i kombination snarare än isolerat eftersom vi människor är delaktiga i konstruktion, installation, drift och användning av de relevanta teknologierna.

5.3.1 Standardiserade tester och empiri

Det råder i dag ingen brist på lösningsförslag och verktyg inom IT-säkerhetsområdet. IT-säkerhetslösningar spänner över allt från träning av personal mot nät-fiskeförsök till kryptokakor som upptäcker om kontrollflödet i en mjukvara har riktats om från det förväntade. Faktum är att det finns oräkneliga verktyg och metoder som är tänkta att hantera samma problem, men som fungerar på helt olika sätt.

En av de största anledningarna till den stora mängden säkerhetslösningar är att det i dag är svårt att avgöra vad som fungerar bra och vad som fungerar dåligt. Det finns ingen tillförlitlig eller valid empiri som rör angrepp, eller någon standard för hur utvärderingar av olika verktyg och metoder bör utföras. För att cybersäkerhet ska uppnå en mognadsgrad liknande till exempel medicinsk teknik krävs det en stor kulturförändring kring utförande av produkttester.

5.3.2 Detektion av sårbarheter

I och med att IT-system blir allt mer komplexa, och därmed allt svårare för utvecklare att förstå, finns det en risk att även kritiska sårbarheter blir fler till antalet, och att det tar längre tid att identifiera dem. Det behövs därmed utveckling av metoder för att identifiera och behandla sårbarheter i syfte att uppnå framtida säkra IT-system.

Utgående från antagandet att det alltid kommer att finnas sårbarheter blir frågan hur de bäst detekteras och behandlas i efterhand. I dag tillämpas huvudsakligen två typer av verktyg för att automatisera denna tidskrävande process. Den ena kategorin handlar om så kallade fuzzers, verktyg som kommunicerar med mjukvaror på sätt som är tänkta att få dem att krascha och därigenom exponera sårbarheter. Den andra kategorin är statisk kodgranskning, som involverar att automatiskt granska källkod för att identifiera användning av sårbara funktioner och dylikt.

Ingen av de nämnda metoderna är för närvarande särskilt effektiv. En fuzzer är otillräcklig eftersom det finns många sätt att interagera med en mjukvara på, och testfall på grund av tidsbegränsningar enbart kan skapas för en liten delmängd av alla dessa interaktioner. Statisk kodgranskning är otillräckligt eftersom det inte är möjligt för verktyget att effektivt spåra komplexa flöden i en applikation. Exempelvis är det svårt för ett kodgranskningsverktyg att förstå hur en förfrågan från en klient kopplas till ett svar från en server, då källkoden för dessa metoder inte är ihopkopplad. I framtiden kan man tänka sig att mer automatiserade metoder baserade på modern AI-teknik (exempelvis maskininlärning baserad på djupa neuronät enligt ovan) kan börja användas för att upptäcka sårbarheter. Än är området alltför omoget, men mycket forskning pågår.

5.3.3 Intrångsdetektionssystem och hotmodeller

Att bygga ett system som identifierar och förhindrar alla angrepp som utförs är något av en ”helig graal” då det skulle möjliggöra säker exekvering av sårbara system. Forskningen inom intrångsdetektion är omfattande och innefattar allt från placering av sensorer till val av algoritmer som är tänkta att larma för angrepp.

Att hantera all sensordata som produceras i och med IoT är ett viktigt forskningsområde, både i dag och i framtiden. Olika sensorer fångar in datafragment som i sig själva kanske är irrelevanta, men som i kombination ger tydliga indikationer på cyberangrepp. Att skapa algoritmer och beslutsstödssystem som på ett effektivt sätt korrelerar olika typer av data för att identifiera angrepp samt metoder för att spara och söka i dessa stora datamängder på ett effektivt sätt, är därmed viktigt både i dag och om tjugofem år.

Dagens intrångsdetektionssystem bygger dock på förenklade hotmodeller, såväl gällande vilka cyberattacker som är rimliga som hur en hotaktör kan förväntas

uppträda. Anledningen till detta är den begränsade forskningen kring hotmodellering, exempelvis kring vad som kan anses vara rimliga beteenden hos en hotaktör under olika förutsättningar. Utöver standardiserade empiriska tester krävs därför teoriutveckling kring hotmodellering för att kunna uppnå effektiva intrångs-detektionssystem. Precis som för detektion av sårbarheter kan man i framtiden förvänta sig att AI-teknik även kommer kunna leda till bättre hotmodellering. Redan i dag finns lösningar baserade på maskininlärning som framgångsrikt används för att detektera olika typer av självmodifierande skadliga koder, det vill säga cyberattacker baserade på skadlig kod som hela tiden ändrar sitt eget beteende och utseende. För denna typ av attacker och muterande programvara är det svårt att se och programmatiskt ta hänsyn till de särdrag som finns med hjälp av klassiska metoder, men med hjälp av maskininlärning har det visat sig vara möjligt att modellera och ta hänsyn även till dessa attacker. I framtiden kommer vi sannolikt få se mer AI-teknik i form av liknande smarta lösningar i intrångs-detektionssystem och för hotmodellering.

5.3.4 Lägesförståelse och träning inom cyberförsvar

Att kunna bygga upp och vidmakthålla en god lägesförståelse med avseende på cyberrymden är kritiskt för att kunna bedöma cyberattacker roll i en helhets-kontext. Många komplexa, domänöverskridande attacker har utförts under de senaste åren, och sådana attacker kan förväntas öka i omfattning. Lägesförståelse i cyberrymden (cyber situational awareness, CSA) är det övergripande område som handlar om människans förmåga att förstå cyberrymden och vad som sker där, och sätta det i relation till förståelsen av vad som händer på de fysiska arenorna. En god CSA är till exempel en förutsättning för att kunna upptäcka om en cyberattack i själva verket syftar till att avleda uppmärksamheten från ett långt värre datorintrång, eller huruvida ett datorintrång syftar till att åstadkomma en effekt i den fysiska miljön.

För att uppnå en god förmåga inom CSA krävs övning. På grund av begränsad tillgång till realistiska träningsmiljöer är det i dag dock ovanligt att relevant personal har övats i tillräcklig omfattning. Det är än ovanligare att någon empirisk forskning faktiskt bedrivits baserad på sådan träning. Omfattande träning, samt forskning kring sådan träning, krävs för att öka förmågan inom CSA. På samma sätt krävs det träning kring utförande av offensiva operationer i syfte att kunna träna defensiv förmåga för att öka motståndskraften mot sådana operationer.

5.3.5 Kaskadeffekter i uppkopplad kritisk infrastruktur

Samhället är beroende av fungerande kritisk infrastruktur såsom elnät, vatten-försörjning och transporter. Informations- och kommunikationsinfrastrukturen är en alltmer central infrastruktur som i hög grad påverkar och påverkas av annan infrastruktur, vilket gör cyberrymden till en viktig infrastruktur för totalförsvaret.

Förmåga behövs därför avseende att kunna bedöma ömsesidig påverkan mellan cyberrymden och övriga miljöer såsom kritisk infrastruktur och andra militära domäner. För att kunna åstadkomma detta behöver representativa modeller av cyberrymden (informations- och kommunikationssystem med mera) tas fram och relateras till befintliga modeller av annan kritisk infrastruktur. Med sådana modeller kan man genom simulering försöka bedöma effekten av hur olika attacker kan tänkas drabba samhället, och effektiviteten av olika skyddsåtgärder.

5.3.6 Beteende i cyberdomänen

Människors ökade användning av sociala medier och webben i allmänhet gör att allt mer data produceras relaterat till enskilda människors vanor och beteenden. I takt med utvecklandet av tekniker för analys av stora datamängder har det blivit möjligt för aktörer med tillgång till de relevanta datamängderna både att analysera och exploatera data i underrättelsesyfte och att utföra påverkansoperationer på en demografisk nivå (till exempel inriktat mot specifika åldersgrupper, samhällsklasser eller politiska grupper) såväl som riktade operationer skraddarsyddas för specifika individer.

Att kunna verka dolt i cyberdomänen och/eller att i en cyberoperation kunna upptäcka, klassificera och identifiera aktörer, kräver förutom en anonym nätverksanslutning också att man kan dölja sitt beteende i form av hur man uttrycker sig, skriver skadlig kod samt vilka användningsmönster som utnyttjas då man genomför inhämtning och intrång. För framgångsrikt utförande av eller försvar mot cyberattacker blir det därmed nödvändigt att tillägna sig kunskap avseende att kunna dölja och/eller känna igen relevant beteende i cyberrymden och i de spår en motståndare lämnar efter sig.

Att analysera beteende i cyberrymden och/eller vid genomförande av cyberoperationer handlar forskningsmässigt om att ta tillvara på de senaste forskningsrönen avseende inhämtning och analys av stora mängder data (i olika utsträckning strukturerade texter, metainformation, bilder, filmklipp med mera) som underlag för utveckling av processer och verktyg anpassade för cyberdomänen. Området är tillämpat och kräver kompetenser inom exempelvis maskininlärning, datorlingvistik, antropologi, bildanalys, informationsvisualisering och etik.

5.4 Koppling till andra teknikområden som samverkar med eller är förutsättande för området

I dagens uppkopplade samhälle är cyberområdet en del av vardagen, och spelar stor roll för enskilda individers dagliga liv, hur samhället fungerar i stort och för teknikutveckling med tillämpning inom försvar och säkerhet. Beröringspunkter till

andra teknikområden kan kopplas till alla tänkbara tillämpningar där ett system på något sätt är uppkopplat, vilket i sin tur påverkar förutsättningarna för arbetet med informations- och cybersäkerhet i termer av hur IT-säkerhetslösningar bäst implementeras relativt tillgänglig kunskap om hur illasinnade aktörer kan tänkas exploatera cyberområdet. Tidigare i kapitlet har vi redogjort för utvecklingen inom IoT, AI och kvantteknik, där de två sistnämnda områdena stort kan påverka utvecklingen mot 2045. Utvecklingen inom sensorer är ett annat förutsättande område som kan kopplas till utvecklingen inom IoT såväl som försvarslösningar. Därutöver är tillgång till energi och vissa råvaror kritiska för systemens funktionalitet. Helt eller delvis autonoma mark-, luft- och rymdbaserade system utgör ofta del av ett större uppkopplat system, och cybersäkerhet inom området autonoma system kan därför tänkas få högre prioritet mot 2045.

5.5 Beskrivning av hur teknikutvecklingen inom området kan påverka de grundläggande förmågorna ut till 2045

Vad gäller cyberområdet är det svårt att dra en definitiv och skarp gräns mellan militära och icke-militära tillämpningar. Cyberförsvar är en fråga för totalförsvaret. Många av de IT-attacker som har ägt rum och som kan misstänkas ha en statsaktör som utförare eller sponsor har inte skett i krigstid mot militära mål, utan som ett medel som kan kopplas till en politisk konfliktsituation. På samma sätt utförs påverkansoperationer inte bara i samband med krig utan också som ett politiskt maktmedel under fredstid. Sammantaget gör detta att cyberområdet inte kan eller bör betraktas från ett rent militärt perspektiv, utan att Försvarsmakten och andra aktörer måste samarbeta och dela information om dessa frågor – såväl nationellt som internationellt. Civila system kan vara enklare att slå mot då de är mer oskyddade jämfört med Försvarsmaktens system. De senare kan också vara avgränsade/isolerade även om Försvarsmaktens beroenden av samhällets kritiska infrastruktur aldrig helt kan bortses från.

Likväl finns det inom cyberområdet många rent militära tillämpningar avseende allt från kartläggning av specifika individer i försvarsunderrättelsesyfte till att slå ut energitillförseln i en hel stad eller att slå mot högvärdiga militära plattformar. Genom att rikta cyberattacker mot fienders nätverk eller IT-sensorer kan även möjligheterna till effektiv kommunikation eller lägesförståelse till stora delar slås ut.

Begränsande faktorer för användning av eller försvar mot cyberangrepp är i första hand inte tekniska utan snarare etiska eller juridiska. Att slå ut fiendens energikapacitet som en kaskadeffekt av ett lyckat cyberangrepp kan innebära stora taktiska fördelar på slagfältet, men kan på samma gång innebära ett stort lidande hos civilbefolkningen. På samma sätt är det etiskt och juridiskt tveksamt huruvida

det är lämpligt att försöka påverka opinionen gentemot en meningsmotståndare genom att på olika sätt sprida desinformation från falska avsändare på sociala medier.

Ovanstående kan tyckas självklart, men faktum är att juridiken inte heller är tydlig vad gäller försvar mot vissa cyberrelaterade angrepp. Detta gäller också för andra typer av angrepp, där det enda riktigt effektiva sättet att försvara sig mot en motståndare är att rikta motattacker mot dennes system, vilket snabbt skulle kunna leda till en accelererande konflikt.

5.6 Beskrivning av vilka aktörer som forskar eller utvecklar inom området, alternativt har system i tidsperioden

I samband med en nationell inventering som gjordes 2018 kunde konstateras att ett trettiotal olika svenska organisationer bedriver och publicerar akademisk forskning inom IT-säkerhetsområdet. Bland organisationerna återfinns merparten av landets tekniska högskolor med KTH som den i särklass största utföraren tillsammans med enstaka forskningsinstitut och företag såsom Ericsson, ABB, Saab och Volvo. Vid den uppföljande internationella inventeringen som gjordes senare samma år påvisades vid en jämförelse att det finns ett stort ämnesmässigt överlapp mellan svensk och internationell forskning, samtidigt som Sverige inte hör till de elva länder som står för merparten av publiceringarna, utan hamnar först runt plats tjugo.

Även om den akademiska forskningen är förhållandevis lätt att kartlägga bör man ha i åtanke att IT-säkerhetsområdet till sin natur både är ett tillämpat område och ett område som omgärdas av sekretess. Den största delen av den tillämpade forskningen och utvecklingen sker därför naturligt i industrin hos företag som till exempel säljer säkerhetslösningar, vilket är betydligt svårare att kartlägga än vad den akademiska forskningen är.

5.7 Referenser

- Baloch, R. *Ethical Hacking and Penetration Testing Guide*. CRC Press, Boca Raton, Florida, 2015.
- Brynielsson, J., Horndahl, A., Johansson, F., Kaati, L., Mårtenson, C., Svenson, P. Harvesting and analysis of weak signals for detecting lone wolf terrorists. *Security Informatics*, 2(1), 2013. doi:10.1186/2190-8532-2-11.
- Brynielsson, J., Sharma, R. Detectability of low-rate HTTP server DoS attacks using spectral analysis. I *Proceedings of the 2015 IEEE/ACM International Conference on Advances in Social Networks Analysis and Mining (ASONAM 2015)*, sidorna 954–961. ACM, New York, 2015. doi:10.1145/2808797.2808810.
- Faircloth, J. *Penetration Tester's Open Source Toolkit*, fjärde upplagan. Syngress, Cambridge, Massachusetts, 2016.
- Franke, U., Brynielsson, J. Cyber situational awareness – A systematic review of the literature. *Computers & Security*, 46:18–31, 2014. doi:10.1016/j.cose.2014.06.008.
- Holm, H., Shahzad, K., Buschle, M., Ekstedt, M. P²CySeMoL: predictive, probabilistic cyber security modeling language. *IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing*, 12(6):626–639, 2015. doi:10.1109/TDSC.2014.2382574.
- Karlzén, H. Operationer i cyberdomänen – en inventering av internationell forskning. Teknisk rapport FOI-R--4614--SE, Totalförsvarets forskningsinstitut, Stockholm, 2018.
- Karlzén, H., Granlund, H., Wedlin, M. Operationer i cyberdomänen – en inventering av svensk forskning. Teknisk rapport FOI-R--4594--SE, Totalförsvarets forskningsinstitut, Stockholm, 2018.
- Mitnick, K. D., Simon, W. L. *The Art of Deception: Controlling the Human Element of Security*. Wiley, Hoboken, New Jersey, 2002.

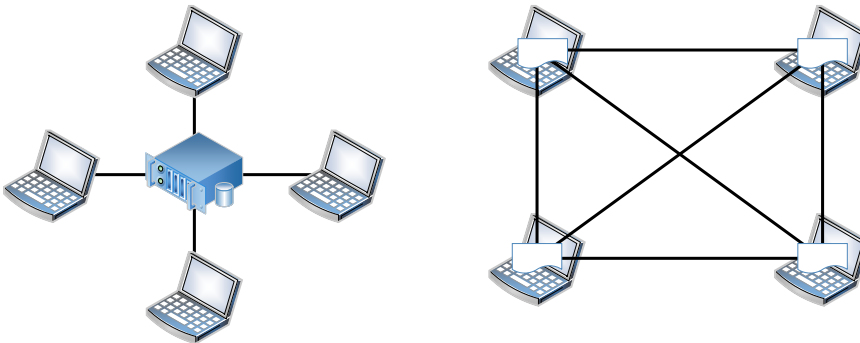
6 Distribuerade liggare

Författare: Lars Westerdahl

6.1 Inledande beskrivning av området

Distribuerad liggare⁴⁰ är ett begrepp för en lista över transaktioner och som har fått mycket uppmärksamhet de senaste åren. Liggaren är en samlad bild över alla transaktioner som genomförts av dem som delar listan mellan sig.

En distribuerad liggare liknas ofta vid en databas som delas mellan flera användare. En traditionell databas är ofta centraliserad, vilket innebär att den fysiska databasen och dess innehåll finns på en plats och hanteras av en ägare (Figur 3). De som vill hämta information ur databasen ansluter till den. En av de stora fördelarna med en databas är att den är snabb, vilket är viktigt i flertalet tillämpningar. En nackdel med databaser är exempelvis att de oftast saknar spårbarhet avseende vilken information som förändrats och hur. Ägaren av databasen, och dennes administratör, har stora möjligheter att påverka databasen och dess innehåll utan att användarna av databasen märker detta. En databas kan även vara decentraliserad, det vill säga att den finns på flera platser. Detta i syfte att skydda databasen genom att den finns på flera ställen. Det är dock fortfarande en databas som är centralt administrerad och användarna har ingen större insyn i en decentraliserad databas jämfört med en centraliserad.



Figur 3. En centraliserad databaslösning (till vänster) och en distribuerad lösning med en distribuerad liggare (till höger)

⁴⁰ Distributed ledger – förteckning över händelser, fördelad i identiska exemplar på många datorer. <https://it-ord.idg.se/ord/distribuerad-liggare/>, hämtad 2020-03-25.

En distribuerad liggare är däremot publik, genom att innehållet i liggaren distribueras ut till alla användarna av liggaren. Innehållet i liggaren består av vilka förändringar som gjorts vilket medför att alla transaktioner är spårbara och tillgängliga för alla som delar liggaren. Distribution ger ett mycket robust system genom att ingen enskild nod kan förstöra hela systemet. Om en nod drabbas av ett angrepp eller på annat sätt inte når resten av systemet, så fortsätter övriga noder med sina transaktioner utan att störningen märks. Nackdelen med en distribuerad liggare jämfört med en databas är att liggaren är betydligt långsammare när det gäller informationsbehandling.

En annan aspekt som skiljer distribuerade liggare från vanliga databaser är konsensus. Alla som använder den distribuerade liggaren måste acceptera de förändringar som sker och som bokförs i liggaren. Denna egenskap flyttar ansvaret för informationens korrekthet från en central aktör till hela gruppen av användare. Konsensus medför en hög tilltro till innehållet i liggaren, men tar även bort behovet av den centrala ägaren. Detta märks tydligt i e-valutaapplikationer, vilket är den hittills mest kända tillämpningen av distribuerade liggare. Bitcoin var den e-valuta som först fick stort genomslag och som skapades som en självständig valuta utan koppling till en centralbank. Sedan dess har ett flertal nationer skapat eller planerat att skapa en egen e-valuta som ett robust elektroniskt komplement till den normala valutahanteringen.

E-valutor använder sig av blockkedjeteknik, vilket är en variant av distribuerad liggare. En distribuerad liggare kan vara en blockkedja men kan även implementeras med andra tekniker (ConsenSys 2018). Begreppet distribuerad liggare används inom företagsvärlden i syfte att visa att tekniken är mer än bara e-valuta.

6.2 Övergripande trender samt exempel på teknik och system ut mot 2045

Övergången från ett pappersbaserat samhälle till ett datoriserat och mer digitaliserat samhälle fortsätter. Övergången drivs av utvecklingen inom IT-området och av att allt fler blir vana att använda datorer i olika former redan tidigt i livet. Digitalisering innebär inte enbart att gamla processer och rutiner flyttas över till datorer och kommuniceras över internet, utan även att nya processer och möjliga sätt att interagera uppstår. Det innebär också att antalet interagerande enheter ökar. Marknaden för de komponenter som kommer att ingå i framtida system kommer förmodligen att utgöras av flera mindre aktörer särskilt när det gäller IoT. System som inte tydligt är baserade på en leverantörs komponenter blir mer decentraliserade i sin design. Det finns fortfarande ett behov, och förmodligen ett större sådant, för en systemägare att få dessa komponenter att kommunicera med varandra. I ett sådant sammanhang kan distribuerade liggare få en viktig roll genom att distribuerade liggare och blockkedjor är skapade för att fungera i grupper.

Decentraliseringen ger även robustare system med avseende på informationens korrekthet, då det är svårt att lura liggaren. I ett publikt system såsom Bitcoin krävs det kontroll över mer än hälften av de blockgenererande serverna för att kunna påverka kedjan med falska block. Det finns andra sätt att hantera sin distribuerade liggare, exempelvis genom att rätten till att skapa block flyttas runt inom en betrodd sluten grupp. Tilltron till informationen i den distribuerade liggaren hamnar då mer i vilka som tillåts in i gruppen, medan själva signeringen av transaktioner är ett sätt att permanenta transaktionshistoriken. Ett sådant system är fortfarande distribuerat i teknisk mening även om hanteringen av information administreras mer centralt.

När samhället blir allt mer uppkopplat blir det fler system som kan kommunicera med varandra. Sakernas internet har medfört att all elektronisk utrustning som är IoT-förberedd kan kommunicera och elektronik finns inbyggt i princip i allt. Det innebär att det finns en stor mängd sensorer som är tillverkade av olika producenter och som skulle ge en osammanhängande vy av det område som sensorerna ska mäta om dessa sensorer inte kan samverka. En distribuerad liggare kan användas för att samla information och dela dessa mellan en avgränsad mängd sensorer för att på så sätt skapa ett gemensamt system trots att alla enheter inte kan kommunicera med varandra direkt. En förutsättning för detta är att sensorerna kommunicerar med ett gemensamt språk eller att programvaran som kontrollerar liggaren kan förstå språket. Den distribuerade liggaren blir en leverantörsberoende databas för de system som finns inom en användares intresseområde. Storleken på området och de system som avses kan variera, vilket möjliggör även för organisationer att kunna vara en nod i systemet och att dela sensordata på detta sätt. Då en distribuerad liggare inte enbart behöver vara en lista med transaktioner utan även kan vara en lista med kod, är det möjligt att skapa enklare regler för hur transaktioner får utföras för de system som delar en distribuerad liggare.

Decentraliseringen märks inte enbart på antalet uppkopplade komponenter som utgör sakernas internet. Vanliga produkter såsom datorer och fordon består av flera komponenter som skapats av olika producenter. I dagsläget är det vanligt att en konsument känner till vilken tillverkare som skapat den produkt som konsumenten köper och att tillverkaren känner till första ledet av tillverkare av de delsystem som ingår i produkter. En distribuerad liggare kan användas för att koppla samman flera oberoende aktörer för att på så vis skapa en spårbarhet för (samtliga) de komponenter som ingår i en produkt. Särskilt för komplexa system såsom elektronik kan detta vara en fördel, om konsumenten vill ha bättre koll på vem som varit delaktig i slutprodukten. Förmågan att spåra händelser och komponenter i en leverantörskedja är ett viktigt kvalitetsinstrument och för vissa system även ett säkerhetsinstrument. För att kunna bedöma graden av tilltro till informations-säkerhetskritiska system är det viktigt att kunna verifiera var ingående komponenter kommer ifrån.

Dokumenterade leverantörskedjor och produkter är ett av de tydligaste användningsområdena för distribuerade liggare. Dels är det ett sätt att skapa spårbarhet för komplexa produkter såsom det beskrevs ovan, dels är det ett sätt att binda samman mellanliggande hantering av en produkt. Genom att kombinera möjligheten att för flera oberoende aktörer dela information över en distribuerad liggare med identifieringsteknik, kan även enklare produkter spåras från producent, via olika transportled, till den slutliga konsumenten. Detta kan dels stärka tilltron till produkten säkerhetsmässigt, dels visa att produkten hanterats enligt gällande regelverk såsom miljöregler.

Även andra fysiska föremål kan få en digital identitet vilket förväntas få allt större betydelse. Genom att skapa en digital representation (tokenisering) av ett objekt kan detta föras upp på en liggare och liggaren kan då användas för att spåra ägandeskap. Det är också möjligt att använda värdet på objektet för att köpa och sälja andelar av objektet, på samma sätt som med e-valuta. I sammanhang där historik över ett föremål är viktigt utgör den distribuerade liggaren en förteckning av transaktioner med hög tillförlitlighet och där alla som delar liggaren har möjlighet att kontrollera äktheten och ägandeskapet för objektet. En annan möjlighet är att ersätta känslig information med en digital representation vilken kan delas öppet utan att den känsliga informationen avslöjas. För att åstadkomma dessa digitala representationer måste något agera som garant för att informationen i den digitala representationen motsvarar det fysiska objektet eller den känsliga informationen.

Med distribuerade liggare finns möjligheten till att skapa en digital ekonomi. E-valutor är en känd tillämpning av distribuerade liggare, men sätten som tekniken tillämpas på varierar likväl som syftet. Bitcoin är en publik valuta som explicit undviker central styrning genom att konsensusmodellen för hur block skapas är publik. Vem som helst kan försöka beräkna ett nytt block. E-valutor har även intresserat nationer, men då som ett komplement till den vanliga valutan. Att tänka sig en digital ekonomi är inte så avlägset då den i teknisk mening redan finns idag, om än med centraliserad teknik genom banker. I nationella satsningar är det sannolikt att en centralbank fortfarande kommer att vara en central aktör. Det e-valutan tillför jämfört med ordinarie valutasystem är en transparens som normal valutahantering inte medger. Alla som har tillgång till den distribuerade liggaren har möjlighet att se vilka transaktioner som genomförts och av vem. Integriteten hos de som använder liggaren bevaras genom att det är en till synes slumpmässig signatur som utgör en identitet. Det är dock endast den med rätt digitala certifikat som kan skapa en transaktion med en given identitet.

Frånsett den spårbarhet som e-valutor ger är funktionaliteten densamma som för den traditionella valutahanteringen, om än virtuell snarare än fysisk. Något som distribuerad liggare-teknik tillför är en effektivare och mindre kostsam modell för att sätta villkor för att transaktioner ska genomföras. En transaktion som tas upp

på en distribuerad liggare är en bit text. Denna text kan bytas ut mot en kortare kod som anger under vilka förutsättningar en transaktion får genomföras. Denna kod exekveras på samtliga noder så att alla är uppdaterade om förutsättningarna. Ett enkelt exempel på hur detta kan tillämpas är en insamling, där ett visst belopp ska uppnås för att något ska ske. Alla som deltar i insamlingen gör en villkorad transaktion, vilken dels kan verifiera att avsändaren har det belopp som krävs, dels att pengarna inte förs över förrän villkoret är uppfyllt. På så sätt behöver inga återbetalningar göras om totalbeloppet inte uppnås och risken för svinn är lägre. Ett mer komplext exempel kan kopplas till leverantörskedjan, där en betalning kan villkoras till dess produkten anlänt till den rättmätige mottagaren. Nyttan med villkorad betalning framför en traditionell deponering är att själva överföringen sker först när villkoret uppfyllts.

6.3 Beskrivning av utveckling av specifika delområden/teknologier i tidshorizonten

6.3.1 Digital identitet

En grundläggande säkerhetsfunktion i en digitaliserad miljö är att kunna påvisa sin identitet. Lösningar med unika inloggningar för varje tjänst som en användare nyttjar har visat sig riskabla då mängden identiteter och lösenord har resulterat i grova förenklingar genom återanvändning och förutsägbara lösenord. Även centraliserade lösningar med digitala certifikat har begränsningar, främst genom att det finns en stor mängd utgivare, men även för att användaren inte själv styr över vilken personlig information som denne vill dela. Ett certifikat innehåller ofta mer personlig information än vad som behöver delas med varje mottagare av certifikatet. Genom att använda en lösning med distribuerad liggare kan identitetshanteringen decentraliseras och det blir då möjligt för användaren att själv välja vilken personlig information som delas med vilken mottagare. På så sätt bevaras användarens integritet samtidigt som en starkare autentiseringsmekanism används.

6.3.2 Smarta kontrakt

Smarta kontrakt är en kraftfull teknik för att styra under vilka förutsättningar en transaktion får genomföras. Med ett smart kontrakt sätts villkor som måste uppfyllas för att transaktionen ska genomföras. Till skillnad från en traditionell lösning behöver inga medel flyttas till ett deponikonto och inga återbetalningar behöver göras ifall inte villkoren uppfylls. Något som också är viktigt att utveckla är kostnadseffektiva beräkningsmetoder. Ett smart kontrakt i en distribuerad liggare kan läsas av samtliga som har tillgång till liggaren och beräkningen av kontraktet görs även den av samtliga parter. Sett ur perspektivet en kraftfull centraliserad databas så låter inte detta så problematiskt, men i det fallet så utförs

beräkningen vid ett tillfälle. Alla noder som delar den distribuerade liggaren har sannolikt inte samma beräkningskraft, särskilt inte i en miljö av sakernas internet. Små komponenter kan visserligen ha en fast energikälla om de är kopplade till det vanliga elnätet, men små batteridrivna komponenter kommer snabbt att förbrukas om de ens klarar av att utföra beräkningarna (Kasireddy 2017). Därigenom kan resurssvaga noder efterhand bli avskurna från liggaren.

6.3.3 Tokenisering

Möjligheten att skapa en digital representation av ett fysiskt objekt eller en ofarlig representation av känslig information har ett stort värde. Metoderna för att skapa denna representation varierar men kräver att en eller flera betrodda aktörer i den distribuerade liggaren accepterar och bekräftar representationens äkthet. När det kommer till överförande av ekonomiskt värde, då kanske främst för fysiska ting som exempelvis ett hus, krävs det att de juridiska regelverken accepterar denna modell för äganderepresentation. För att säkerhetsställa att fler föremål kan representeras på detta sätt bör regelverk ses över så att de följer den här utvecklingen. Legala förutsättningar snarare än tekniska utmaningar påverkar utvecklingen inom detta område.

6.4 Koppling till andra teknikområden som samverkar med eller är förutsättande för området

Tekniken för distribuerade liggare kräver tillgång till kommunikation mellan noder samt kapacitet för att lagra och beräkna information från liggaren. Den distribuerade liggaren, särskilt om blockkedjetechnik används, kan växa till en relativt omfattande fil efter ett tag om antalet transaktioner är många. Tillverkare av beräkningssvaga noder, exempelvis inom sakernas internet, behöver utveckla effektiva beräkningsalgoritmer för att kunna hantera denna teknik. Det finns redan exempel på distribuerade liggare som publiceras på webbsidor vilka ger tillgång till informationen, men inte verifieringsmöjligheten. Även när det gäller smarta kontrakt som nämndes ovan så kommer alla noder som delar den distribuerade liggaren att utföra beräkningarna, vare sig det är relevant för dem eller inte.

6.5 Beskrivning av hur teknikutvecklingen inom området kan påverka de grundläggande förmågorna ut till 2045

6.5.1 Potentiella militära tillämpningar

Tekniken med distribuerade liggare har ingen unik militär tillämpning även om förslag på tillämpningar finns. Det är snarare så att Försvarmakten följer den normala teknikutvecklingen och om den går mot system med distribuerade liggare så kommer sannolikt även Försvarmakten att använda detta. Det är exempelvis troligt att sakernas internet kommer att få en större påverkan på hur informations-system skapas och därmed kommer Försvarmaktens system att påverkas av detta. I det fallet så kan distribuerade liggare vara ett sätt att skapa spårbarhet i en annars distribuerad miljö. Denna spårbarhet kan även skapas för beslutskedjor (Hunstad & Westerdahl 2018) i syfte att stärka beslutsunderlaget.

Distribuerade system kan ha en stor betydelse för Försvarmakten och de system som är sammankopplade, genom att risken för informationsbortfall minskas. Om det inte endast finns en central nod för informationslagring blir informations-systemet mer robust mot förlust. Samtidigt så kommer informationen att vara mer spridd, vilket ökar dess exponering och därmed risken att falla i orätta händer. Tekniker för distribuerade liggare ger i första hand spårbarhet i en distribuerad miljö, inte skydd av känslig information.

Utvecklingen med en mer spårbar leverantörskedja är viktig för Försvarmakten. Ursprung och kvalitetssäkring är viktiga faktorer för tilltron till komplexa system, särskilt säkerhetskritiska system.

6.5.2 Begränsande faktorer

Försvarmaktens IT-system har i fredstid till synes samma förutsättningar som andra myndigheters IT-system. Dessa system ska dock även kunna användas i kris och krig, vilket genererar högre krav på exempelvis tillgänglighet säkerhet. Försvarmaktens IT-system har under en längre tid centraliserats vilket underlättar bland annat drift och underhåll. I tidigare utvecklingsmetodik påpekades det dock att ett system bör kunna övergå till ett mer decentraliserat system i händelse av en höjd hotnivå. Centraliserade och decentraliserade system har som tidigare nämnts mycket gemensamt men skiljer sig från distribuerade system. Det innebär att det inte är några speciella begränsande faktorer som uppstår för Försvarmakten avseende tekniken med distribuerade liggare.

Krigsorganisationen kännetecknas av spridning och behov av förmåga till rörlighet vilket innebär att det måste finnas kommunikationslösningar ut till mindre förbandsenheter och soldater för ledning. Idag är dessa radiobaserade. Detta påverkar

hur mycket data som dessa kan ta emot eller sända. När det gäller lagring och beräkningskraft kan fordon oftast ha tillräckliga resurser, särskilt genom att de har påfyllnadsbara energikällor. Soldater är mer begränsade då de naturligt har mindre komponenter att tillgå och att deras energiförbrukning oftast är batteriberoende. Detsamma kan gälla för fysiskt otillgängliga system såsom sensornätverk. De begränsade faktorerna för soldater och sensorsystem är dock liknande andra system som är batteriberoende. Utveckling hos vissa av de förutsättande systemen som idag utgör begränsningar beskrivs i kapitlet om soldatsystemet.

6.6 Beskrivning av vilka aktörer som forskar eller utvecklar inom området, alternativt har system i tidsperioden

Utvecklingen drivs framförallt av civila aktörer. Intresset för distribuerade liggare och dess kanske mest kända implementation blockkedjor för e-valuta fick snabbt mycket uppmärksamhet genom Bitcoin. Det är viktigt att påminna om att även om Bitcoin använder blockkedjeteknik så finns det flera varianter på hur denna teknik tillämpas. Detta har medfört att det finns flera aktörer som experimenterar med lösningar som blockkedjor och distribuerade liggare. Än så länge så har dock få projekt med distribuerade liggare tjänat in den investering som gjorts. Orsaken till detta är bland annat att tekniken är ny, men kanske mer att distribuerade lösningar inte lika enkelt passar in i producenters affärsmodeller (Kandaswamy, Valdes, Furlonger & Chesini 2017). Det är dock rimligt att system baserade på distribuerade liggare kommer att skapas, exempelvis för kvalitetssäkring av leverantörskedjan.

Inom den militära verksamheten finns ett intresse för blockkedjor och distribuerade liggare. Både USA och Nato har sponsrat tävlingar för att utveckla tekniska lösningar för blockkedjor och distribuerade liggare (Department of Defence (DoD) 2019; NCI Agency 2016).

6.7 Referenser

- ConsenSys (2018). Blockchain vs. Distributed Ledger Technologies (DLTs): Part 1 - A comparative analysis between Ethereum, Hyperledger Fabric, and R3 Corda. <https://consensys.net/blog/enterprise-blockchain/blockchain-vs-distributed-ledger-technologies-dlts-part-1/>. (Besökt 2020-09-23).
- Department of Defence (DoD) (2019). *DoD Digital Modernization Strategy - DoD Information Resource Management Strategic Plan FY 19-23*.
- Hunstad, A.G. & Westerdahl, L. (2018). *Blockkedjor - Är blockkedjor en användbar teknik för militärt bruk?* (FOI-R--4679--SE).
- Kandaswamy, R., Valdes, R., Furlonger, D. & Chesini, F. (2017). *Predicts 2018: Top Predictions in Blockchain Business* [id: G00342298]. Gartner.
- Kasireddy, P. (2017). How does Ethereum work, anyway? [blogg]. *Medium*, 27 september, <https://medium.com/@preethikasireddy/how-does-ethereum-work-anyway-22d1df506369> (Besökt 2020-09-08).
- NCI Agency (2016). NCI Agency innovation challenge, 25 april 2016, <https://www.ncia.nato.int/about-us/newsroom/nci-agency-innovation-challenge.html>. (Besökt 2020-09-23).

7 Kvantteknologi

Författare: Per Jonsson och Jonas Kjäll

7.1 Inledande beskrivning av området

Kvantteknologier är teknologier som använder ett eller flera kvantfysikaliska fenomen. Chalmers har publicerat en bra populärvetenskaplig översikt på svenska om området [1]. Medan vanlig klassisk fysik bland annat beskriver de fysikaliska fenomen vi kan se är kvantfysiken mer abstrakt.

Kvantfysiken beskriver mikrokosmos på den mest fundamentala nivån, elementarpartiklar⁴¹ (till exempel elektroner), atomer och deras växelverkan. Kvantfysik har de senaste hundra åren varit och är fortsatt ett stort och viktigt forskningsområde. Vad som håller på att förändras är att vi nu börjar få större möjligheter att designa och kontrollera materia på atomnivå, där kvantfysiken bestämmer reglerna. Inom kvantfysiken är fysikaliska storheter kvantiserade, vilket betyder att de bara kan anta vissa diskreta värden, till exempel energinivåer hos elektronerna i en atom. Kvantobjekt har en partikel-våg-dualitet, det vill säga att exempelvis en elektron kan beskrivas både i form av en partikel och i form av en våg.

Kvantobjekts partikel-våg-dualitet tillåter interferometri⁴² med till exempel atomer, som kan användas för extremt noggranna mätningar. Ett kvantobjekt kan vara i en så kallad superposition av flera olika kvanttillstånd. Med superposition menas att ett kvantobjekt ”tycks befinna sig i två [i den klassiska fysiken] oförenliga tillstånd samtidigt.”⁴³, se även ref. [1]. Exempelvis gör superposition att ”kvantbitar” (qubits) kan hålla de digitala värdena 1 och 0 samtidigt med vissa sannolikheter för respektive värde. Detta är en skillnad mot vanlig fysik och digitala system som deterministiskt håller antingen 1 eller 0. Vid mätning erhålls endast ett tillstånd med en sannolikhet svarande mot det tillståndet. I kvantfysiken finns även något som kallas för sammanflätade objekt, vilket är kvantobjekt som vi normalt sett betraktar som separata, men nu beror så starkt av varandra att de inte kan beskrivas separat, utan måste beskrivas som ett gemensamt kvantobjekt. Superposition och sammanflätade kvantobjekt är förutsättningar för kvantdatorer. Att kvantfysiken i grunden är icke-deterministisk gör att den sällan är intuitiv och inom området har många fenomen upptäckts som saknar motsvarighet i den värld vi är vana vid.

⁴¹ <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/kvantfysik>. (Besökt 2020-09-08). Kvantfysik används ofta synonymt med kvantmekanik och kvantteori.

⁴² Mätning av interferens mellan koherenta vågor från en och samma källa. <https://sv.wikipedia.org/wiki/Interferometri>. (Besökt 2020-09-08).

⁴³ IT-ord, <https://it-ord.idg.se/ord/superposition/>. (Besökt 2020-09-08).

Kvantteknologier använder kvantfysikaliska fenomen för att skapa nya tillämpningar och tekniker. Idag använder vi många tekniker som baseras på kvantteknologi. Laser är ett exempel som funnits i 50 år där användningsområden utvecklats inom kommunikation, mätning, medicin och skärning för att nämna några. De flesta av dessa befintliga tekniker kan förklaras med semi-klassisk teori, det vill säga där det räcker att atomerna kvantiseras och att elektromagnetiska vågor beskrivs klassiskt. Dessa tekniker utnyttjar ett fåtal kvanttillstånd men inte sammanflätning och partikel-våg-dualitet. Andra exempel på tillämpningar baserade på kvantteknologi är till exempel halvledarteknik, atomklockor i GPS-satelliter och supraledande magnetometrar. Betydligt fler tillämpningar är på gång, som kvantaccelerometrar och kvantkommunikation mellan två noder där mer av kvantfysiken behövs för att förklara fenomenen.

Mer avancerade kvantteknologier, som använder kvantfysik i större utsträckning, som kvantdatorer och sensorsystem som är kvantmekaniskt sammanflätade, ligger längre bort tidsmässigt, men skulle komma att innebära mer fascinerande användningsmöjligheter. Ett tydligt tecken på att det bedöms finnas stora möjligheter inom en överblickbar framtid är att stora summor investeras i forskning om kvantteknologier. I första hand är det civila aktörer som investerar, men även militärt satsas stora summor, främst i de större länderna. Följaktligen finns det en stor potential för att helt nya teknologier och användningsområden som helt eller delvis bygger på kvantteknik kan komma att utvecklas de närmaste 25 åren. Vilka dessa kommer att bli, och vilka konsekvenserna blir för försvar och säkerhet, är svårt att veta. Nedan diskuterar vi de områden som det forskas mest inom idag och som ser ut att kunna vara av intresse för Försvarsmakten.

7.2 Övergripande trender samt exempel på teknik och system ut mot 2045

Kvantteknologier är ett brett begrepp och har potentialen att påverka många teknikområden. För att begränsa oss något kommer vi att fokusera på områden där det idag bedrivs aktiv forskning. Extra fokus läggs på de kvantteknologier där militära aktörer finansierar forskningen och utvecklingen. Att halka efter inom dessa områden kan leda till relativa förmågegap.

De flesta kvantteknologier har civila tillämpningar. Där civila aktörer driver utvecklingen går det ofta snabbare att få ett system operativt, då det finns kunskap och produkter att köpa på den öppna marknaden.

Under EDA:s (Europeiska försvarsbyrån) foresight workshop om kvantteknologier våren 2019 identifierades ett stort antal kvantteknologier som skulle kunna få stor inverkan på militära teknologi- och eller förmågeområden. Några områden som diskuterades är:

- Avbildning, som inkluderar kvantradar, -lidar, -sonar och NMR⁴⁴.
- Mätteknik och sensorer, som inkluderar tröghetsnavigeringssystem, atomklockor, accelerometrar, magnetsensorer och gravitometrar som bygger på kvantteknik.
- Kommunikation över såväl som under vattenytan och med kvantnyckel-distribution.
- Kryptering, kryptoanalys och dekryptering inkluderande postkvant-kryptostandardisering, felkorrigering koder, gitterkryptosystem, och multivariata system.
- Kvantdatorer och kvantsimulerare av olika typer som bland annat kommer att vara överlägsna klassiska datorer på optimeringsproblem och framtagande av material och molekyler med nya egenskaper.
- Kvantmaterial, det vill säga material med kvantfysikaliska egenskaper.

Militära tillämpningar av kvantteknologi som det forskas på idag inkluderar att kunna navigera i en miljö där man inte har tillgång till extern information, som GPS. Kvantteknologi kan också förbättra sensorförmåga och avbildningstekniker, vilket skulle göra det möjligt att mäta signaturer med större noggrannhet och högre känslighet. Det högre signal-brus-förhållandet gör även att man kan mäta på större avstånd och därmed få en mer översiktlig bild. Dessutom kan dagens smyg- och störningstekniker bli obrukbara. Med förbättrad noggrannhet kan även signaturer som vi inte använder oss av idag för att vi inte kan mäta dem tillräckligt noggrant bli intressanta. Gravitation är ett sådant exempel, som skulle kunna användas för att hitta främmande objekt som är nedgrävda, eller befinner sig under vatten [2]. Kvantkommunikation kan innebära att det inte går att avlyssna utan att det märks. Optimeringsproblem finns det otaliga av, i allt från logistik till stridsledning, och till dessas lösning kan kvantberäkningar/datorer bidra. Nya kvantmaterial skulle kunna påverka utveckling av allt från uniformer till explosivämnen och nya molekyler för förbättrade läkemedel.

⁴⁴ Nuclear Magnetic Resonance – Kärnmagnetisk resonans

7.3 Beskrivning av utveckling av specifika delområden/teknologier i tidshorizonten

2018 gjorde NATO en avskanning av kvantteknologier, von Kármán Horizon Scanning on Quantum Capabilities for Sensing and Communications [3], där experter bland annat gjorde en tidsuppskattning för olika kvantteknologier. Detta avsnitt bygger i huvudsak på deras slutsatser.

7.3.1 Positionering, navigering och tidsmätning

Inom området positionering, navigering och tidsmätning (PNT) finns det möjligheter att utnyttja kvantteknik för att minska beroendet av GPS och liknande satellitbaserad teknik. Ny kvantteknik kan möjliggöra bland annat noggrannare portabla atomklockor och noggrannare tröghetsnavigering [4, 5] som på kort sikt, inom 7 år, kan få plats i ett 1–2 m³ stort utrymme. Dessa kvantsystem är noggrannare och kan följaktligen användas under en längre tid i en GPS-fri miljö än nu existerande tröghetsnavigeringssystem. Dessa system är lämpade för större plattformar som yfartyg och ubåtar.

På medellång sikt, upp till 20 år, kan framtagande av magnetiska och gravitationskartor för externa referenser markant komma att göra underlagen än mer precisa (noggranna) och på sikt kan den geografiska täckningen göras större. Dessa kartor kan tillsammans med kvantförbättrade sensorer (magneto- och gravitometrar) användas för egenpositionering och navigering i GPS-fri miljö.

På lång sikt, över 20 år, ser man att systemen är så små att de kan användas på plattformar och system såsom stridsfordon, flygplan, mindre båtar, missiler och AUV. Om kostnaden minskar, kan de i princip användas på mindre system inklusive soldat.

7.3.2 Mätning och sensorer

Inom mätning och sensorer sker idag stora framsteg som bygger på kvantfysikaliska fenomen. Tidigare sågs ofta kvantfysikaliska fenomen som en begränsning för tekniken, till exempel sätter de en brusgräns för hur noggranna klassiska sensorer kan bli. Idag har synsättet förändrats och istället för att se dessa fenomen som en begränsning kan de med rätt konstruktion användas för att nå precisioner man tidigare bara kunnat drömma om. Supraleddande magnetometrar har funnits i ett antal år och flera nya kvantsensortyper är på väg.

Exempel på kvantteknologiskt baserade sensorer är atominterferometrar som kan mäta acceleration, rotation och gravitation väldigt noggrant. Man är nu på väg att passera de brusgränser som finns i de klassiska motsvarigheterna. Detta innebär att vi på medellång sikt kan mäta signaturer med större noggrannhet och signaturer som idag ligger i brusnivån. Det betyder även att nya signaturer som gravitation kommer att kunna mätas med tillräcklig noggrannhet för att bli intressanta. I

dagsläget är det främst underjordiska hålrum som kan hittas, men senare finns möjlighet att detektera nedgrävda minor och större undervattensobjekt, med inhomogen massfördelning, såsom ubåtar [2]. På lång sikt kommer sensorerna att ha mångfalt bättre känslighet. I takt med allt bättre sensorer blir det följaktligen allt viktigare att känna till bakgrunden i miljön man verkar i. Även där kommer förbättrade sensorer kraftigt snabba på kartläggningsarbetet eftersom man kan mäta snabbare än idag. På lång sikt är det också möjligt att tänka sig kvantfysikaliskt sammanflätade sensorsystem, vilka med större precision kan detektera objekt i en flera nivåer högre brusbakgrund.

7.3.3 Kvantkommunikation och kryptering

Inom kommunikation är den viktigaste förmågan på kort sikt att utveckla kvant-säkra krypton så att den sparade informationen inte kan avkodas av en framtida kvantdator.

Idag sker stora framsteg inom kvantkommunikation där man kodar informationen i kvanttillstånd [6,7]. Om kvantnyckelöverföring⁴⁵ används, kan bara två kommunikatörer tillgodogöra sig informationen, då den alltid förstörs vid läsandet. Följaktligen märks det direkt om en tredje part försöker avlyssna. Det medger att de kommunicerande parterna då kan avsluta eller ändra kommunikationen eller kommunikationssättet. Lokala nät som kan kommunicera upp till 100 km har byggts eller håller på att byggas på flera ställen, till exempel i Nederländerna och Kina, och på medellång sikt tror man att de här systemen kommer bli vanligare och användas av fler aktörer. Kvantkommunikation via satellit har visats av Kina. På lång sikt tror man att det kan finnas ett allmänt tillgängligt kvantinternet.

7.3.4 Kvantavbildning

Vid kvantavbildning används kvantpartiklar i form av enstaka fotoner, det vill säga elektromagnetisk strålningens minsta beståndsdel. Inom det optiska området finns redan idag detektorer som är så pass känsliga att de kan avbilda enskilda fotoner. System som använder denna typ av detektorer för aktiv avbildning finns till exempel inom LiDAR.⁴⁶ LiDAR är ett system där laserstrålar pulsas ut och reflekterande strålar samlas in. De nya typerna av känsliga sensorer (detektorer) medför att det inte behövs lika kraftfull belysning (laserstråle), vilket gör att dessa aktiva system är svårare att upptäcka än klassiska typer av LiDAR-system.

Dagens högkänsliga system utnyttjar inte kvantmekanikens fulla potential. Det finns olika förslag på hur man skulle kunna utnyttja sammanflätning för att få ännu känsligare och noggrannare system. Bedömningen är att på lite längre sikt, 7-15 år, kommer prototyper med kvantförbättrade tekniker att demonstreras. För att nå

⁴⁵ Vid kvantnyckelöverföring (eng. Quantum Key Distribution) överförs en slumpmässig nyckel mellan två parter.

⁴⁶ Light Detection and Ranging

dit behövs en fortsatt utveckling när det gäller detektorer, baserade på kvantteknologi såsom generering av sammanflätade fotoner och höghastighetselektronik. Kvantradar i mikrovågsområdet är ett område som rönt stort intresse och där de första experimentella försöken precis har genomförts i laboratoriemiljö [9, 10].

7.3.5 Kvantdatorer

Kvantdatorer bygger på förhoppningen att kunna utnyttja den ofantliga parallellism som finns i stora kvantsystem. Idag forskas det på flera olika kvantfysikaliska system, som supraledande kretsar, kvantprickar och joner i magnetooptiska fällor för att nämna några. De har alla sina styrkor och svagheter, men generellt gäller att de, för att kunna bidra till kvantdatorer, behöver vara lätta att skala till större system, med bra kontroll över både de individuella och de sammanflätade kvantbitarna. Därutöver måste dekoherens undvikas så länge som möjligt. Kvantsystemet behöver vara så isolerat som möjligt för att undvika informationstapp genom påverkan från yttre faktorer. (För en beskrivning av dekoherens, se avsnitt 7.5.7 Begränsande faktorer.) Ett viktigt men svårt steg är att implementera kvantfelrättning, det vill säga kod som rättar till de fel som ofrånkomligen kommer att inträffa (eftersom systemet inte kommer att vara helt isolerat).

Hösten 2019 presenterade Google resultat från den första ”kvantdatorn” som var bättre än en klassisk dator på ett specifikt problem [11]. Den består av 53 kvantbitar, vilka inte är felkorrigering, vilket gör att endast beräkningar okänsliga för dessa fel kan göras. Kvantdatorer med felkorrigering har i dagsläget bara ett fåtal kvantbitar. Sådana små system kan enkelt simuleras på en vanlig klassisk dator. När man pratar om tidshorisonten för fungerande kvantdatorer, menas egentligen sådana som kan utföra generella kvantberäkningar som inte går att utföra på en klassisk dator under överskådlig tid. Vidare behöver man även skilja kvantsimulatorer från kvantdatorer. Kvantsimulatorernas bitar är inte generella, så de kan bara simulera ett eller ett fåtal specifika problem medan en kvantdator kommer vara betydligt mer generell. Användbara kvantsimulatorer kommer troligen att finnas inom 7 år, medan experternas uppskattning för användbara kvantdatorer ligger 10-25 år framåt i tiden. Författarnas uppfattning är att omkring den senare tiden – det vill säga om ca 25 år – är det mer troliga.

7.4 Koppling till andra teknikområden som samverkar med eller är förutsättande för området

Nanoteknologi, att skapa komponenter ner mot atomnivå, är en förutsättning för de flesta kvantteknologier. Dessa nanokomponenter kopplas ofta till större klassiska komponenter. Därför är även utveckling inom elektronik, material-, laser- och halvledarteknik med mera viktigt.

Den viktigaste förutsättningen för kvantteknologier och eventuella framtida genombrott är grundforskningen som sker inom den akademiska världen. Då kvantfysik oftast inte är intuitiv, krävs en djup förståelse och flera års erfarenhet för att kunna utveckla befintliga kvantteknologier och tillämpningar, men naturligtvis även för att kunna komma på nya. Dagen då man börjar bemästra tekniken, speciellt för militära tillämpningar, kommer utvecklingen mest troligt att ske utan att information om dessa delges, liksom inom många andra militärt relevanta teknikområden.

7.5 Beskrivning av hur teknikutvecklingen inom området kan påverka de grundläggande förmågorna ut till 2045

Kvanttekniker innebär både möjligheter och hot och kan påverka förutsättningarna för att skapa och utveckla förmåga. Tidpunkten för när olika tillämpningar av kvantteknik är tillräckligt mogna för användning är svår att förutse, men för framtida taktik, förmågeutveckling, materielanskaffning och planering behöver möjligheterna och riskerna beaktas.

Kompetens är en förutsättning för att kunna hantera den kommande teknikutvecklingen. Forskning och utveckling av kvantteknologi och dess tillämpningar är än så länge relativt tillgängliga och publiceras normalt öppet men när man börjar bemästra tekniken och militära tillämpningar kommer kunskapen troligen inte att bli allmänt tillgänglig. Nationell kompetens och verksamhet inom kvantområdet kan därför behövas.

En användare av system som nyttjar kvantteknologi kommer normalt inte behöva kunna kvantfysik, men en bra allmän teknisk skolning är viktig och kommer bli allt viktigare med tiden. Detta gäller naturligtvis inte bara kvantteknologier utan även andra teknikområden. Med alltmer avancerad teknik kommer kompetenta användare att kunna få stora fördelar.

7.5.1 Kryptering och konsekvens för dagens informationshantering

En av de viktigaste förändringarna som kvanttekniken kan medföra är att dagens kryptering blir otillräcklig. Om en tillräckligt kraftfull kvantdator kan byggas kommer dagens kryptering som bygger på publika osymmetriska nycklar att kunna knäckas. Även om det antagligen är ett antal årtionden kvar tills en sådan kvantdator finns kan det redan idag finnas information som behöver hållas hemlig med kryptering en lång tid framöver. En motståndare skulle kunna spara krypterade meddelanden idag och dekryptera dem när kvantdatoren kommer. Ett

sätt att förhindra detta är att redan idag använda kvantdatorsäkra krypteringsmetoder. Sådana metoder finns tillgängliga men kräver en mer komplicerad nyckelhantering och säker överföring av hemliga nycklar mellan kommunicerande parter. De grundläggande förmågorna ledning och underrättelse påverkas därför stort av utvecklingen.

Civilt förlitar man sig ofta på publika nycklar eftersom hanteringen av dessa nycklar är så mycket enklare. Dessa metoder anses säkra för en konventionell dator, men en kvantdator kan enligt ovan snabbt knäcka denna typ av kryptering. För att samhället i stort inte ska skadas behövs nya metoder för kryptering som inte kan knäckas av en framtida kvantdator.

En viktig aktör för att ta fram nya krypteringsmetoder – så kallad kvantsäkra kryptering eller postkvantkryptering – är NIST (National Institute of Standards and Technology) i USA som har en stor tävling för att lösa detta problem. Inom 7 år hoppas man att nya standarder kan tas fram som är kvantsäkra även inom civil sektor.

7.5.2 Kvantdatoren för specifika problem och optimeringsproblem

En kvantdator har en mängd tillämpningar men kommer på inga sätt att ersätta ”vanliga” datorer. Kvantdatorer kommer att användas till en begränsad typ av problem. Att kunna avkryptera meddelanden används ofta populärvetenskapligt för att motivera framtagandet av en kvantdator, men utvecklandet av kvantsäkra krypton snarare ger som konsekvens att just användningen av kvantdatorer för att avkryptera meddelanden minskar. Istället kommer troligen kvantdatoren att användas för vissa typer av optimeringsproblem, med nyttjande inom logistik, taktik och stridsledning.

Kvantdatorns största användningsområde kommer dock troligen att bli kvantfysikaliska beräkningar som att enklare kunna simulera material och molekyler. Detta kommer att innebära snabba framsteg inom en mängd områden och förmodas ge bättre mediciner, effektivare sprängmedel och tåligare material för att bara nämna några exempel. Kvantdatoren kan påverka både Försvarets maktens grundläggande förmågor och förutsättningar för att producera förmågor.

7.5.3 GPS/GNSS

Inom positionering, navigering och tidreferens (PNT) kommer ny kvantteknik utvecklas för att öka möjligheten till GPS-fri navigering med hjälp av stabila atomklockor och tröghetsnavigering baserad på atominterferometri. Till en början kommer detta att realiseras på stora och relativt långsamma farkoster, till exempel fartyg. Även georeferering med hjälp av magnet- och/eller gravitationskartor är möjlig. En lokal noggrann tidsreferens öppnar även nya möjligheter att operera med system som kräver noggrann tid även i GPS-störd miljö. Kvanttekniken skulle

därför kunna användas för att minska beroendet av GPS/GNSS när det gäller positionering, navigering och som tidsreferens. Detta ger effekter för den grundläggande förmågan rörlighet.

7.5.4 Sensorer och signaturer

Sensorer baserade på kvantteknik med högre känslighet än klassiska sensorer kan ge nya möjligheter att detektera elektromagnetiska vågor i telekrigstillämpningar, magnetiska fält för t.ex. ubåtsdetektion samt lokala gravitationsvariationer för till exempel tunneldetektion. På längre sikt kommer det att bli möjligt att koppla ihop sensorer kvantmekaniskt vilket gör att noggrannheten ökar med en faktor N , där N är antalet sensorer, istället för \sqrt{N} som är det den klassiska fysiken medger. Aktivt avbildande system som radar, lidar och sonar kan med kvantteknik använda så låga uteffekter att de blir svåra att upptäcka. De kan även få ökad känslighet som gör att farkoster som idag anses vara smygande (stealth) blir möjliga att detektera.

De grundläggande förmågorna skydd och verkan påverkas därför genom att känsligare kvantmättekniker gör det möjligt att detektera signaturer från objekt som idag betraktas som svåra eller omöjliga att upptäcka, till exempel stealthflygplan och ubåtar. Även ledning och underrättelse påverkas genom att kvantteknik kan göra aktiva system (radar, kommunikation etc.) ännu svårare att upptäcka, avlyssna och störa.

7.5.5 Kommunikation

Inom kommunikation kan kvantteknik användas för säker nyckelöverföring men även för att upptäcka avlyssning. Det går också att utnyttja kvantfysiken för att gömma den utsända signalen i bakgrundsbruset. Stora framsteg har de senaste åren skett inom kvantkommunikation. Det finns fungerande optiska fibersystem och kvantkommunikation med och mellan satelliter har testats. Kvantkommunikation i luft eller vatten med sammanflätade tillstånd är störningskänslig, både naturligt och från en aktiv motståndare. Idag ser man en gräns avseende räckvidd på ungefär 300 km i luft. Även om en motståndare inte aktivt kan avlyssna, kan en kompetent motståndare sannolikt störa ut kommunikationen så att ingen får informationen, vilket kan vara nästan lika allvarligt för vissa tillämpningar. Tidskritisk kommunikation som stridsledning bör därför inte initialt förlita sig på kvantkommunikation.

7.5.6 Taktik och materiel

Ett exempel på hur taktik och materiel kan påverkas är effekten av kvantgravitometrar. Kvantgravitometrar ger en ny möjlighet att upptäcka till exempel tunnlar, nedgrävda föremål och ubåtar. För att minska risken för upptäckt av de egna

ubåtarna eller andra undervattensfarkoster kan man arbeta med signaturbegränsande åtgärder, till exempel eftersträva en jämn massfördelning. Taktiskt och uppförandemässigt kan man gömma sig där bakgrunden är extra besvärlig för upptäckt. Detta kräver dock god information om och en god kartläggning av den lokala gravitationen.

7.5.7 Begränsande faktorer

Den största begränsande faktorn för kvantteknologier är att kvanttillstånden man försöker utnyttja är känsliga för omgivningen. Kvantssystem fungerar (bäst) som avgränsade system. För att kunna föra in och plocka ut information krävs dock interaktion med systemet vilket introducerar störningar. En konsekvens av denna nödvändiga interaktion, och typ av störning är dekoherens av kvanttillstånden, till exempel minskande grad av sammanflätning, vilket försämrar prestandan [1]. För sammanflätade fotoner leder transmission genom atmosfären till dekoherens. I en kvantdator behöver vissa komponenter kylas ner till strax över den absoluta nollpunkten för att fungera. För att kunna läsa resultatet från komponenterna behöver man dock koppla ut systemet till rumstemperatur, vilket också introducerar dekoherens. För atominterferometrar är ofta vibrationer ett problem som degraderar prestandan. Även om man börjar kunna bemästra åtminstone delar av dekoherensproblemen i laboratoriemiljöer är det ett stort steg att få tekniken att fungera i en operativ miljö.

En viktig slutsats från von Kármán Horizon Scanning-studien är att länder behöver samverka för att få kvantteknologin att fungera i den militära kontexten och miljön. Militära systemaspekter måste beaktas vid designen av utrustningen. Detta är något som universitet och högskolor (UoH) ofta negligerar i sin forskning.

Trots stora framsteg inom kvantkommunikation är räckvidden en begränsning. För längre avstånd än ungefär 300 km i luft behövs kvantrepeaterare, vilka sannolikt ligger minst 10 år framåt i tiden. Dessutom finns det fortfarande en del frågetecken om säkerheten i de verkliga implementationerna av kvantkommunikation som ännu inte är helt utredda eller lösta.

7.6 Beskrivning av vilka aktörer som forskar eller utvecklar inom området, alternativt har system i tidsperioden

The Economist hade ett temanummer som belyste kvantteknologi 2017 [12]. I detta fanns en uppskattning av olika aktörers monetära satsningar på öppen forskning år 2015 (med siffror från McKinsey). De totala satsningarna uppskattades till cirka 1500 miljoner euro. Av detta stod EU, USA och Kina för respektive cirka 35, 25 och 15 %, medan Ryssland som jämförelse bedömdes stå

för cirka 2 %. Sedan denna sammanställning gjordes har investeringarna ökat ytterligare, till exempel med EU:s Quantum Flagship⁴⁷ och det svenska programmet Wallenberg Centre for Quantum Technology.⁴⁸

Den största delen av forskningen inom området kvantteknologier bedrivs vid universitet, men en allt större del sker i samverkan med andra aktörer, främst civila företag. Den främsta utvecklingen inom kvantdatorer sker i USA, främst genom stora satsningar från civila informations- och datorföretag som Microsoft, IBM, Google, Intel med flera.

Vad gäller militärt styrd forskning är USA störst, tätt följt av Kina. Dessa två är tillräckligt stora för att kunna satsa på alla kvantteknologier de tror kan vara av intresse. I USA har man till exempel via DARPA finansierat Quantum sensors program [13] som studerade möjligheterna att förbättra sensorprestanda med hjälp av kvantteknologi.

Kina har satsat stort inom kvantkommunikation. De har fungerande optiska fiber-system och har testat kvantkommunikation med satellit. Kina verkar ligga i framkant [14] inom detta, men framsteg sker även i USA och Europa. Kina satsar även stort inom andra kvantområden [15-17] och det kommer uppgifter om stora framsteg inom mätning och sensorer [18, 19], men de bedöms som relativt överdrivna [20].

I Europa sker det en del men det är väldigt spritt, såväl avseende vilka länder som satsar som på vilka områden satsningarna görs. I Nederländerna har TNO och TU Delft skapat ett gemensamt institut kallat QuTech, som arbetar med kvantdatorer och kvantinternet. I Frankrike har militära pengar satsats i Muquans, ett företag som utvecklar och verkar vara världsledande på atominterferometrar främst för gravitationsmätningar men som även arbetar med tröghetsnavigering. I Storbritannien forskar Dstl också på atominterferometrar, men där främst för tröghetsnavigeringstillämpningar.

I Ryssland sker det förvånansvärt lite som framkommer i öppna källor.

Den främsta satsningen i Sverige sker vid akademiska institut med finansiella medel från en Wallenbergstiftelse. Tyngdpunkten för satsningen, som är på en miljard SEK för 2018-2028, ligger i Göteborg och går under namnet Wallenberg Centre for Quantum Technology. Utöver det bidrar ABB, Astra Zeneca, Ericsson, Jeppesen, SAAB, SEB och Volvo med medel och kompetens. Huvudsatsningen sker på kvantdatorer, men det ingår även en satsning på kvantsensorer i Lund och kvantkommunikation vid KTH. Utöver detta är Chalmers även med i EU:s flagskeppsatsning på kvantdatorer på totalt 1 miljard euro.

⁴⁷ <https://qt.eu/> (Besökt 2020-09-08).

⁴⁸ WACQT, Wallenberg Centre for Quantum Technology, <https://www.chalmers.se/en/centres/wacqt/> (Besökt 2020-09-08).

Kvantteknologier är ett väldigt stort område, med oanade möjligheter, vilket gör det svårt att förutse när genombrotten kommer att ske. För en liten aktör som Sverige är det omöjligt att satsa på allt. En noggrann övervägning behövs av vilka kvantteknologier det skall satsas på och framförallt när. Vad gäller kvantdatorns utveckling ses ingen anledning till att försvarsmyndigheterna engagerar sig i dagsläget. Det finns ingen möjlighet att konkurrera med de stora företagen och framförallt kommer eventuella kommersiella produkter att finnas tillgängliga och de kommer troligen relativt enkelt att kunna anpassas för försvarets behov.

För andra kvantteknologier, som kvantkommunikation och flertalet kvantsensorer, finns det också stora civila behov som antagligen kommer att driva utvecklingen, men då tillämpningarna ibland skiljer sig en del åt är det viktigt att aktivt delta på den nivå som behövs för att tekniken ska kunna anpassas för försvarets behov.

För kvanttillämpningar som tröghetsnavigering och kvantradar är de civila behoven idag relativt begränsade, vilket troligen innebär att utvecklingen åtminstone till en början kommer att behöva drivas av militära aktörer.

7.7 Referenser

1. "Kvantteknologi-Populärvetenskaplig beskrivning", Chalmers, https://www.chalmers.se/sv/nyheter/Documents/kvantteknologi_popvet_171114_sve.pdf. (Besökt 2020-09-08).
2. V. Ménoret et al.: Gravity measurements below 10–9 g with a transportable absolute quantum gravimeter", *Nature Scientific Reports* 8, 12300 (2018).
3. von Kármán Horizon Scanning on Quantum Capabilities for Sensing and Communications – Summary Report.
4. E. Amselem et al., "Atom interferometry for high precision navigation", FOI-R--4015--SE (2014).
5. P. Cheiney et al., "Navigation-Compatible Hybrid Quantum Accelerometer Using a Kalman Filter", *Phys. Rev. App.* 10, 034030 (2018).
6. N. Gisin et. Al, "Quantum cryptography," *Reviews of Modern Physics* 74(1), 145–195 (2002), doi: 10.1103/RevModPhys.74.145
7. A. Shenoy-Hejamadi et al. "Quantum Cryptography: Key Distribution and Beyond," *Quanta* 6, 1–47 (2017) doi: 10.12743/quanta.v6i1.57
8. M. Höijer et al., "Quantum Radar", FOI-R--4854--SE (2019).

9. D. Luong et al. "Receiver Operating Characteristics for a Prototype Quantum Two-Mode Squeezing Radar," *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, pp. 1-1 (2019), doi: 10.1109/TAES.2019.2951213.
10. S. Barzanjeh et al. "Microwave quantum illumination using a digital receiver," *Science Advances*, 6(19), eabb0451 (2020). doi: 10.1126/sciadv.abb0451.
11. Arute, F., Arya, K., Babbush, R. et al. Quantum supremacy using a programmable superconducting processor. *Nature* 574, 505–510 (2019).
12. "Technology quarterly–Quantum devices", *The Economist*, March 11th 2017, pp. 3-12.
13. G. Burdge et al., "Quantum sensors program," in "AFRL-RI-RS-TR-2009-208," Harris Corporation, Melbourne FL, August 2009. [Online], <https://apps.dtic.mil/docs/citations/ADA506209>. (Besökt 2020-09-08).
14. Se artiklar i *Science* Vol. 356(6343) 16 June 2017.
15. E. Kania and J. Costello, "Quantum Leap (Part 1): China's Advances in Quantum Information Science," *China Brief*, Vol. 16(18), pp. 11-16, 5 December 2016.
16. E. Kania and J. Costello, "Quantum Leap (Part 2): The Strategic Implications of Quantum Technologies for the PLA," *China Brief*, Vol. 16(19), pp. 22-27, 21 December 2016.
17. E. B. Kania and S. Armitage, "Disruption Under the Radar: Chinese Advances in Quantum Sensing," *China Brief*, Vol. 17(11), pp. 15-21, 17 August 2017.
18. D. Hambling, "China's quantum submarine detector could seal South China Sea," *New Scientist* 2017-08-22, <https://www.newscientist.com/article/2144721-chinas-quantum-submarine-detector-could-seal-south-china-sea/>. (Besökt 2020-09-08).
19. M. Giles, "The US and China are in a quantum arms race that will transform warfare", *MIT Technology Review* 3 January 2019. Se: <https://www.technologyreview.com/s/612421/us-china-quantum-arms-race/>. (Besökt 2020-09-08).
20. J. Haystead, "Quantum Radar Sees the Light," *The Journal of Electronic Defense*, 2019, July pp. 23-31.

8 High Power Microwave (HPM)

Författare: Tomas Hurtig och Sten E Nyholm

8.1 Inledande beskrivning av området

Telekrigsföringsoperationer förväntas få en allt större roll i framtida konflikter. Den offensiva delen, Elektronisk Attack (EA), innefattar aktiva åtgärder som olika typer av störning, vilseledning och generering av kraftiga elektromagnetiska pulser. Delområdet HPM (High Power Microwave) behandlar teknologier för att generera elektromagnetiska pulser med hög toppeffekt som temporärt eller permanent kan försätta målelektroniken ur funktion. Inom området studeras hur HPM-strålning verkar mot olika typer av elektroniska komponenter och utrustningar samt hur man provar och skyddar utrustning och samhällssystem mot denna typ av elektromagnetisk påverkan.

Det som skiljer HPM från andra typer av EA är möjligheten till permanent fysisk förstörelse av elektronisk utrustning samt möjligheten att störa/förstöra även icke kommunicerande elektroniska system genom inkoppling av energi via kablage eller direkt in på kretskort och halvledarkomponenter, så kallad bakvägskoppling. Så kallad framvägskoppling är endast aktuell för kommunicerande målobjekt och innebär att energin kopplas in via systemets antenn. Framvägskoppling kan indelas i inombands- och utombandskoppling beroende på om HPM-pulsens frekvens överensstämmer med målsystemets kommunikationsfrekvens (inomband) eller inte (utomband).

Det faktum att HPM-tekniken blivit fältmässig innebär att man börjar kravställa militär materiel med avseende på HPM-hotet.⁴⁹ Detta innebär i sin tur att det pågår ett intensivt arbete på flera håll i världen (inklusive Sverige) med att ta fram metoder för att prova elektronisk materiels tålighet mot HPM-bestrålning.

8.2 Övergripande trender samt exempel på teknik och system ut mot 2045

Då militär elektronik ofta är väl skärmad och då HPM-tålighet börjar bli en del av kravställningen vid anskaffning av ny materiel är det knappast troligt att HPM-vapen kommer att användas för att på bred front slå ut motståndarens elektronik på slagfältet. HPM-tekniken kan dock användas för att generera mycket kraftig

⁴⁹ MIL-STD-464C, *Department of Defense Interface Standard, Electromagnetic Environmental Effects Requirements for Systems*, Dec 2010.

störning som försvårar motståndarens kommunikation, i huvudsak genom framvägskoppling, det vill säga där mikrovägsenergin kopplar in i elektroniken via antenner eller sensorer.

Bredbandiga HPM-källor kan generera pulser med mycket hög topp effekt som sprider energin över ett brett frekvensområde. Själva pulsen är kortvarig, någon eller några nanosekunder, men då den kan genereras med hög repetitionsfrekvens, som dessutom kan varieras, blir det svårt för motståndaren att hitta luckorna som tillåter kommunikation. HPM-operatören vet däremot när pulserna kommer och kan utnyttja luckorna för egen kommunikation. Då energin i strålningen är spridd över ett brett frekvensband och endast en del av denna energi kan väntas ha frekvenser som kopplar till målobjektet är det inte troligt att den ger förstörande verkan. Att sända med hög effekt i syfte att störa motståndarens kommunikation kan innebära en risk att röja egen position; det är dock svårt att positionera en sändare som sänder mycket korta pulser med, på förhand, okänt frekvensinnehåll. Runt om i världen pågår därför arbete med att ta fram HPM-detektorer som åtminstone kan detektera förekomsten av HPM-bestrålning och, i bästa fall, även ge en grov inriktning till källans position.⁵⁰

Smalbandiga HPM-källor kan generera pulser med mycket högre energiinnehåll än vad som är möjligt med bredbandiga system. Om den genererade strålningens frekvens kopplar in effektivt i målobjektet kan dessa källor med få pulser ge förstörande verkan i såväl kommunicerande som icke-kommunicerande elektronisk utrustning.

En trend verkar vara att använda HPM på ett mer förtäckt sätt i en tidig fas av en konflikt och då i syfte att slå ut eller störa det civila samhällets infrastruktur och kommunikationer. Mycket tyder på att Ryssland använde avancerad telekrigföring och HPM för att störa både civilsamhället och den primitiva Ukrainska militära kommunikationen under Ukrainakonflikten.⁵¹

Då verkansavstånd för förstörande verkan är av storleksordningen enstaka kilometer behöver man komma nära målet för att åstadkomma denna typ av verkan. Ett sätt att öka strålad effekt i målet är att använda en större antennarea. Genom att utnyttja en större plattformsyta som antenn blir det möjligt att skapa stora effektiva antenner med hög antennförstärkning på till exempel flygplanskroppar/-vingar eller fartygsskrov.

Den tidigare nämnda utvecklingen av provningsmetodik och användning av metodiken på olika typer av elektroniska system ger också mycket god insikt i hur

⁵⁰ Suhrke M., *HPM Detector System with Frequency Identification*, http://publica.fraunhofer.de/eprints/urn_nbn_de_0011-n-3263775.pdf (Besökt 2020-09-08).

⁵¹ Blank, S., *A Military Assessment of the Russian War in Ukraine*, American Foreign Policy Council, <http://russialist.org/transcript-a-military-assessment-of-the-russian-war-in-ukraine/>, 2015. (Besökt 2020-09-08).

HPM-vapen bör specificeras för att slå mot specifika mål. Denna utveckling innebär i sin tur att vi kan förvänta oss HPM-vapen som är anpassningsbara för att kunna slå ut flera olika typer av mål, så kallad smart HPM.

8.2.1 Exempel på försök och användning

I USA utvecklar Boeing en demonstrator i form av en HPM-kryssningsrobot som ska kunna ta sig fram till och bestråla målet på relativt nära håll. I det öppet tillgängliga materialet verkar det som om tanken är att den ska verka mot civil elektronik.⁵²

Flera länder undersöker HPM-teknik för att stoppa bilar och båtar genom att störa/förstöra motorns elektroniska tändsystem. De närmaste åren kommer vi säkert att se en hel del utvecklingsarbete för att använda HPM-teknik mot drönare och speciellt svärmar av drönare.^{53,54} U.S. Army avser att 2024 introducera HPM-kapacitet för att kunna förstöra svärmar av drönare. En demonstration är planerad till 2022.⁵⁵

Arbetsgruppen NATO SCI-294, där FOI medverkar, höll i oktober 2019 på Kreta en demonstration av HPM som verkansmedel mot drönare, personbilar och mindre båtar. Demonstrationen använde sig av kommersiellt tillgängliga system från Teledyne-e2v (England) och ITHPP (Frankrike). Systemen från Teledyne-e2v bygger på kommersiellt tillgängliga radarmagnetroner och det franska systemet, framtaget för att stoppa bilar på relativt korta avstånd (< 10 m), bygger på kommersiellt tillgänglig förstärkarteknik. Demonstrationen visade att HPM kan stoppa de valda målobjekten, men också att det kan finnas svårigheter med inriktning av källan och att effektiviteten kan variera mellan olika typer av målobjekt när man använder en HPM-källa med fix frekvens. Till exempel varierade verkansavståndet från över 300 m till under 100 m för olika typer av drönare. Ett fotografi av systemet som användes vid demonstrationen kan ses i Figur 4.

⁵² CHAMP - Lights Out, Counter-electronics High-powered Microwave Advanced Missile Project (CHAMP), <http://www.boeing.com/features/2012/10/bds-champ-10-22-12.page>, 2012. (Besökt 2020-09-08).

⁵³ NATO SCI-294 *Demonstration and Research of Effects of RF Directed Energy Weapons on Electronically Controlled Vehicles, Vessels and UAVs*, <https://www.sto.nato.int/Lists/test1/activitydetails.aspx?ID=16085&IsDlg=1> (Besökt 2020-09-08)

⁵⁴ Rogulin, D., *Russia's new 'microwave cannon' to disable enemy drones within 10 km radius*, ITAR-TASS, 2015-06-15, <http://tass.ru/en/russia/800636> (Besökt 2020-09-08)

⁵⁵ Judson, J., *Soon to come to the Army: A high-power microwave to take out drone swarms*, Defence News 2019-08-07, <https://www.defensenews.com/digital-show-dailies/smd/2019/08/07/the-armys-indirect-fires-protection-system-is-getting-a-high-power-microwave/> (Besökt 2020-09-08)



Figur 4. RF Safe Stop™ från brittiska Teledyne e2v är ett system framtaget för bekämpning av mindre drönare. I detta utförande är verkansdelen, som väger runt 500 kg, placerad på ett datorkontrollerat stativ vilket ger möjlighet att rikta strålningen. Foto: Teledyne e2v

Ryssland påstås ha monterat ett HPM-vapen på Buk-systemets bandgående chassi för luftvärnsapplikation.⁵⁶

HPM kan även användas mot elektroniska triggersystem i sprängladdningar, exempelvis IED:er, i såväl militär som civil kontext. Det tyska företaget Diehl

⁵⁶ Kjellén, J., *Russian Electronic Warfare*, FOI-R--4625--SE, September 2018

studerar bredbandiga HPM-källor för denna tillämpning.⁵⁷ I USA har man utvecklat HPM-liknande strålkällor i syfte att störa/förstöra IED-elektronik. Ett problem i detta sammanhang är att avgöra om en IED verkligen oskadliggjorts vid bestrålning.

8.3 Beskrivning av utveckling av specifika delområden/teknologier i tidshorisonten

Den pågående utvecklingen av nya metamaterial⁵⁸ är intressant för tillämpningar i HPM-källor, exempelvis för att styra genereringen av mikrovågspulser inuti strålkällan eller för att fokusera mikrovågsstrålningen i vågledarlins. Detta skulle kunna ge möjlighet att bygga mer kompakta HPM-källor.

Utvecklingen av Active Electronically Scanned Array (AESA)-tekniken⁵⁹ för radarapplikationer möjliggör en mycket koncentrerad antennlob, vilket innebär längre verkansavstånd. Dessutom kan AESA styras för att följa ett mål eller svepa av ett område och även generera strålning vid flera olika frekvenser i syfte att öka möjligheten till verkan. Om uteffekten från varje antennlement kan ökas någon eller några storleksordningar bör AESA-antennerna kunna åstadkomma störande och kanske även förstörande verkan. För radartillämpningen pågår en huvudsakligen civil kommersiell utveckling av förstärkare som på sikt kan göra AESA intressant för användning i EA. Det är dock knappast troligt att dessa system kan nå samma topp effekter som traditionella HPM-källor men då tekniken drivs framåt av stora kommersiella intressen inom radar och telekommunikation kan man vänta sig en hastig utveckling.

För att med HPM-verkan kunna angripa många olika typer av mål är det nödvändigt att HPM-källor konstrueras för att kunna generera flera pulser med olika karaktär. Eftersom känsligheten hos elektronisk utrustning varierar med den infallande strålningens frekvens, polarisation, pulsform (främst stigtid) och varaktighet behöver en HPM-källa kunna generera en lång serie av pulser med olika värden på dessa parametrar. Främst är det en ökad frekvensavstämbarhet och möjligheter till pulsmodulering som är aktuella.

En ökad energiverkningsgrad hos HPM-genererande system skulle innebära vinster i form av minskad vikt, volym och energibehov samt möjligheter att

⁵⁷ *Living in a safe environment*,

https://www.diehl.com/cms/files/Diehl_Defence_Brosch%C3%BCre2018_en.pdf

(Besökt 2020-09-08).

⁵⁸ Vissa artificiella material har egenskaper som inte finns i naturliga material, till exempel negativa brytningsindex eller omvänd Dopplereffekt. Se till exempel Kshetrimayum, R.S. *A brief intro to metamaterials*, IEEE Potentials Vol. 23, No. 5, December 2004.

⁵⁹ *Active electronically scanned array*, Wikipedia,

https://en.wikipedia.org/wiki/Active_electronically_scanned_array (Besökt 2020-09-08).

generera mycket långa serier av pulser. Minskad vikt och volym liksom ett mindre energibehov skulle innebära ökade möjligheter till plattformintegrering för fler plattformar och taktiska situationer. Långa pulsserier ökar möjligheterna att täcka ett brett frekvensområde med flera smalbandiga pulser av olika frekvens.

Generering av HPM-pulser med olika karaktär kräver att strålkällans fysiska konstruktion kan ändras snabbt under fältmässiga förhållanden. Detta betyder möjligheter att ändra någon eller några geometriska dimensioner mellan pulser eller pulsskurar. För att åstadkomma detta, liksom en ökning av energiverkningsgraden, behövs, för varje typ av HPM-källa, ett omfattande utvecklingsarbete inkluderande såväl simuleringar som experiment.

Med större kännedom om olika måltypers känslighet kan man anpassa frekvens och pulsform för att maximera verkan i den aktuella måltypen. Detta innebär ett steg i utvecklingen av 'smart HPM'. Ett annat steg i denna riktning vore utveckling av möjligheterna att på avstånd detektera funktionen hos målelektronik, det vill säga att avlyssna målelektronikens arbetsfrekvenser, dataflöden med mera för att anpassa HPM-pulsgenereringen samt sedan efter bestrålning detektera målelektronikens funktion för att kunna konstatera skillnader och därigenom avgöra om avsedd verkan har uppnåtts.

En förutsättning för taktisk anpassning av genererade HPM-pulser är att man har tillgång till ett stort referensbibliotek innefattande många olika typer av elektronikobjekt. Detta förutsätter en väl utvecklad provningsmetodik och utrustning för att prova elektronikkomponenters såväl som kompletta systems känslighet över en stor parameterrymd. Omvänt kan den kunskapen användas för att identifiera svagheter i egna elektroniska system och för att utveckla skyddsmetoder.

För att kunna genomföra provning vid hotnivåer, inklusive förstörande verkan, behövs relativt kraftiga provningskällor som kan avstämmas i exempelvis frekvens, uteffekt och pulslängd. Provning kan genomföras i flera steg, först för att finna känsliga frekvenser m.m. hos provobjektet, sedan för att identifiera hur känsligheten varierar med bestrålningsriktning och polarisation, och slutligen för verifiering av verkan under fältmässiga förhållanden.

8.4 Koppling till andra teknikområden som samverkar med eller är förutsättande för området

Av naturliga skäl ställer användandet av HPM vissa krav på egen utrustning då den behöver vara väl skärmd för att inte skadas av egen eld. Detta kan innebära särskilda krav på skärningsåtgärder för närbelägen utrustning eller vissa begränsningar i placeringen av sådan utrustning.

Även om strålningsloben har en viss bredd och alltså inte behöver riktas in lika noga som en laserstråle eller kinetiska projektiler från eldrörsvapen behövs någon form av hel- eller halvautomatiserat inriktningsverktyg. I de fall objekten är små och har låg radarsignatur (exempelvis UAV:er eller svärmar av dessa) kan detta bli en utmaning.

Då en HPM-attack inte följs av explosioner eller annan direkt bekräftelse på verkan i målet kan man tänka sig en koppling till andra telekrigföringstekniker där det är möjligt att lyssna av motståndarens radiotrafik och eventuellt andra elektroniska system för att erhålla verkansbekräftelse.

Energiinnehållet i varje individuell HPM-puls varierar stort mellan olika typer av HPM-källor men överstiger i de flesta fall inte 1 kJ/puls, men då effekten är mycket hög och man vill kunna utnyttja en hög repetitionsfrekvens behövs en plattform som (åtminstone kortvarigt) kan leverera höga elektriska effekter. Här utgör utvecklingen av elektrifierade militära plattformar, anpassade elektriska mellanlagringsenheter och högspänningspulsaggregat med möjlighet till korta pulser och snabb återuppladdning en viktig pusselbit.

8.5 Beskrivning av hur teknikutvecklingen inom området kan påverka de grundläggande förmågorna ut till 2045

På 25 års sikt förväntas den elektroniska informationsmängden som distribueras trådlöst vid militära insatser öka påtagligt. Detta kan leda till ett ökat beroende av tillgången till information, vilket också gör informationssystemen sårbara för extern påverkan genom attack med störsändare och mikro vågsvapen. Främst är det lednings- och underrättelseförmågor som kan påverkas vid en HPM-attack. Detta kan naturligtvis försvåra möjligheterna till en korrekt lägesbild och innebära inskränkningar i förbandsenheters rörelse, tillgänglighet och uthållighet samt förmåga att verka effektivt.

8.5.1 Potentiella militära tillämpningar

HPM kan ur telekrigföringsperspektiv ses som en mycket kraftig elektromagnetisk störning för att förhindra fiendens kommunikation, men med potential till störande eller, i vissa fall, förstörande verkan mot alla typer av elektronisk utrustning, såväl kommunicerande som icke-kommunicerande.

Användning av telekrigföring och HPM kan skapa förvirring och osäkerhet i ett tidigt skede av en konflikt genom att slå ut civila elektroniska system som kommunikationssystem och distributionsnoder för elförsörjning, vilka ofta är dåligt eller inte alls skyddade mot HPM. Trenden med ökad användning av elektronisk

kommunikation, till exempel 5G och IoT, gör civilsamhället mycket sårbart för HPM-attacker. Möjligheterna att slå ut civil elektronisk infrastruktur begränsar kraftigt möjligheterna för det civila samhället att stödja Försvarmakten vid en militär konflikt. Enligt vissa uppgifter skedde detta i Ukraina vid Rysslands intervention 2014.^{60,61} En sådan electronic knock-down syftar till att passivisera fiendens statsapparat och militära styrkor.⁶²

HPM är en tyst verkansform, vilket innebär att det kan ta en stund innan den som är utsatt för HPM förstår att det handlar om en HPM-attack. Detta medför bland annat att HPM lämpar sig för användning i inledningsskedet av en operation, före insats av andra medel. Det är i få militära operationer som HPM-användning skulle vara det enda angreppsmedlet; oftast ger HPM störst effekt tillsammans med andra verkansformer. Däremot kan sabotageverksamhet, terrorism, med flera subversiva användningsområden med fördel nyttja enbart HPM, eftersom detta ger användaren möjligheter att försvinna innan HPM-verkan konstaterats. Verkansavstånd torde för de flesta tillämpningar av HPM ligga på mellan några hundratal meter och några kilometer, beroende på objektens känslighet och på om man vill uppnå störande eller förstörande verkan.

Soldatsystem för information, kommunikation och navigering kommer sannolikt att i någon mån vara härdade (skärmdade) men kravet på portabilitet och användarvänlighet begränsar möjligheterna att skydda dem. De begränsade möjligheterna till HPM-skydd av elektronisk utrustning i denna tillämpning och i andra installationer med snäva vikt- och volymkrav gör dessa till potentiella mål för HPM-vapen.

HPM har fördelen av en relativt bred strålningslob, vilket gör att man inte behöver rikta strålningen exakt mot en punkt för att kunna träffa ett mål. Detta är intressant för att kunna verka mot svärmar av små luftmål, till exempel UAV:er som genomför en koordinerad attack men med distribuerade uppgifter, det vill säga vissa UAV:er navigerar, andra bär en verkanslast, andra har som uppgift att störa och förvillan, etc. Dessa är svåra att komma åt med konventionella verkanssystem.

8.5.2 Begränsande faktorer

Den fysikaliska begränsningen vad gäller den energi som i en kort puls kan riktas mot målet är luftens förmåga att motstå elektriska överslag. Genererar man elektriska fält som överstiger denna joniseras luften och strålningen reflekteras.

⁶⁰ Johnson, R. F. *Update: Russia's hybrid war in Ukraine is working*, IHS Jane's Defence Weekly, 2015-02-26.

⁶¹ R.D. Thiele, *Crisis in Ukraine – The Emergence of Hybrid Warfare*, ISPSW Strategy Series: Focus on Defense and International Security, Issue No. 347, May 2015, s. 2, https://www.files.ethz.ch/isn/190792/347_Thiele_RINSA.pdf. (Besökt 2020-09-08).

⁶² Rác, A., *Russia's Hybrid War in Ukraine, Breaking the Enemy's Ability to Resist*, The Finnish Institute of International Affairs, FIIA report 43, July 2015, s. 39.

Det enda sättet att undvika denna grundläggande fysikaliska begränsning är att använda en stor antennarea eller flera antenner och mikrovågskällor så att strålningen från flera separata enheter kan samverka i målet.

Det faktum att strålningseffekten avtar kvadratisk med avståndet gör att räckvidden alltid kommer att vara begränsad och ”att hålla ett stort avstånd” mellan HPM-källa och det man vill skydda (avspärning med utökat perimeterskydd) alltid kommer att vara ett bra skydd mot HPM. Men det kommer även att krävas ytterligare skyddsåtgärder, av typ skalskydd och transientskydd, för viktig elektronisk utrustning.

En begränsande faktor på små plattformar är tillgången till anpassad elektrisk energiförsörjning. HPM-källor behöver matas med korta högspänningspulser med tillräckligt hög topeffekt, vilket kräver särskild utrustning som upptar viss vikt och volym. För att erhålla en smal strålningslob och därigenom ett långt verkansavstånd behövs det en antenn med stor diameter; ju större desto längre verkansavstånd. Detta begränsar möjligheterna att använda HPM effektivt på mindre plattformar.

Det finns inga indikationer på att HPM-pulser i frekvensområdet 0,1-10 GHz, avsedda för bekämpning av elektroniska system, skulle ha negativ inverkan på människor eller biologiska material. Däremot kan HPM-bestrålning av soldater eller civilbefolkning leda till oro för framtida hälsoeffekter bland de som bestrålas.

Bristande skydd av egna system kan vara en begränsande faktor vid HPM-användning. Elektronisk utrustning i närheten av HPM-källan kan utsättas för sidolober, så därför måste denna utrustning HPM-skyddas eller sidoloberna begränsas med hänsyn till den taktiska användningen.

8.6 Beskrivning av vilka aktörer som forskar eller utvecklar inom området, alternativt har system i tidsperioden

Ryssland har visat sig använda olika avancerade former av telekrig i dagens konfliktområden. Samtidigt pågår i Ryssland forskning och utveckling av HPM-vapen för olika plattformar, främst som luftvärn mot svärmar av UAV:er etc. Ryssland kan därför väntas använda mikrovågsvapen i framtida konfrontationer, mot såväl militära som civila mål.

USA är idag ledande inom HPM-området, med flera olika koncept. Nuvarande fokus verkar vara att använda mikrovågsvapen för att skjuta ner drönare och som

flygplatsskydd.^{63,64} Man har testat mikrovågsbestrålning som en verkansform mot IED:er och det finns prototyper för verkan mot människor vid så kallad crowd control, där effekter på biologiska vävnader, främst nervsystemet, uppkommer vid frekvenser omkring 90-100 GHz. Strålningen är i detta fall kontinuerlig och orsakar en svidande känsla i huden som gör det mycket smärtsamt att befinna sig innanför strålningsloben. Det finns även idéer om polisiär användning av HPM för att stoppa bilar. Inom ett par decennier torde HPM-vapen finnas på flera plattformar på land, till sjöss och i luften.

Kina har idag en omfattande forskning inom HPM-området med ett flertal parallella verksamheter vid universitet och militärakademier. Man har upprepat västerländsk forskning inom området och gått vidare med utveckling av nya avancerade koncept. Det finns planer på mobila HPM-system för att attackera flygplan och missiler, men även system för anti-personell användning.⁶⁵

Förutom nämnda länder finns det pågående forskning eller utveckling av HPM-koncept i länder som Tyskland, Storbritannien, Frankrike, Kanada, Indien med flera. Flera andra nationer studerar eller utvecklar delteknologier för HPM.

8.7 Referenser

Active electronically scanned array, Wikipedia,

https://en.wikipedia.org/wiki/Active_electronically_scanned_array
(Besökt 2020-09-08).

Blank, S., *A Military Assessment of the Russian War in Ukraine*, American Foreign Policy Council, <http://russialist.org/transcript-a-military-assessment-of-the-russian-war-in-ukraine/>, 2015. (Besökt 2020-09-08).

CHAMP - Lights Out, Counter-electronics High-powered Microwave Advanced Missile Project (CHAMP), <http://www.boeing.com/features/2012/10/bds-champ-10-22-12.page>, 2012. (Besökt 2020-09-08).

⁶³ Kevin Robinson-Avila, *The Air Force has a new drone-killing microwave weapon named 'Thor'*, Albuquerque Journal, <https://taskandpurpose.com/air-force-thor-microwave-weapon> (Besökt 2020-09-08).

⁶⁴ Rachel S. Cohen, *Microwave Weapons Moving Toward Operational Use*, <http://www.airforcemag.com/Features/Pages/2019/March%202019/Microwave-Weapons-Moving-Toward-Operational-Use.aspx> (Besökt 2020-09-08).

⁶⁵ Richard D. Fisher, Jr, *China's Progress with Directed Energy Weapons, Testimony before the U.S.-China Economic and Security Review Commission hearing, "China's Advanced Weapons"*, Washington, D.C, February 23, 2017

- Cohen, R.S., *Microwave Weapons Moving Toward Operational Use*, <http://www.airforcemag.com/Features/Pages/2019/March%202019/Microwave-Weapons-Moving-Toward-Operational-Use.aspx> (Besökt 2020-09-08).
- Fisher, R.D. Jr., *China's Progress with Directed Energy Weapons, Testimony before the U.S.-China Economic and Security Review Commission hearing*, "China's Advanced Weapons", Washington, D.C, 2017-02-23.
- Johnson, R. F., *Update: Russia's hybrid war in Ukraine is working*, IHS Jane's Defence Weekly, 2015-02-26.
- Judson, J., *Soon to come to the Army: A high-power microwave to take out drone swarms*, Defence News 2019-08-07, <https://www.defensenews.com/digital-show-dailies/smd/2019/08/07/the-armys-indirect-fires-protection-system-is-getting-a-high-power-microwave/> (Besökt 2020-09-08).
- Kjellén, J., *Russian Electronic Warfare*, FOI-R--4625--SE, September 2018
- Kshetrimayum, R.S., *A brief intro to metamaterials*, IEEE Potentials Vol. 23, No. 5, December 2004.
- MIL-STD-464C, *Department of Defence Interface Standard, Electromagnetic Environmental Effects Requirements for Systems*, December 2010.
- Living in a safe environment*, https://www.diehl.com/cms/files/Diehl_Defence_Brosch%C3%BCre2018_en.pdf (Besökt 2020-09-08).
- NATO SCI-294, *Demonstration and Research of Effects of RF Directed Energy Weapons on Electronically Controlled Vehicles, Vessels and UAVs*, <https://www.sto.nato.int/Lists/test1/activitydetails.aspx?ID=16085&IsDlg=1> (Besökt 2020-09-08)
- Rácz, A., *Russia's Hybrid War in Ukraine, Breaking the Enemy's Ability to Resist*, The Finnish Institute of International Affairs, FIIA report 43, July 2015
- Robinson-Avila, K., *The Air Force has a new drone-killing microwave weapon named 'Thor'*, Albuquerque Journal, <https://taskandpurpose.com/air-force-thor-microwave-weapon> (Besökt 2020-09-08).
- Rogulin, D., *Russia's new 'microwave cannon' to disable enemy drones within 10 km radius*, ITAR-TASS, 2015-06-15, <http://tass.ru/en/russia/800636>. (Besökt 2020-09-08).

Suhrke M., *HPM Detector System with Frequency Identification*,
http://publica.fraunhofer.de/eprints/urn_nbn_de_0011-n-3263775.pdf
(Besökt 2020-09-08).

Thiele, R.D., *Crisis in Ukraine – The Emergence of Hybrid Warfare*, ISPSW
Strategy Series: Focus on Defense and International Security, Issue No. 347,
May 2015. https://www.files.ethz.ch/isn/190792/347_Thiele_RINSA.pdf
(Besökt 2020-09-08).

9 Laser

Författare: Lars Sjöqvist och Göran Kindvall

9.1 Inledande beskrivning av området

Laserbaserade system kan användas för många olika tillämpningar, exempelvis för att upptäcka optiska och elektrooptiska sensorer, för att blända, störa, eller förstöra dessa sensorer, för avståndsmätning, för högupplöst 3D-avbildning och som vapen för att bekämpa mål.

Laservapen brukar räknas till kategorin icke dödande vapen, det vill säga vapen som kan bekämpa ett mål med graderad verkan utan att permanent slå ut det. Exempel på detta är laservapensystemens möjlighet att utöver strukturförstörande verkan även kunna blända sikten och målsökare.

Laservapen har under lång tid tillmätts stort intresse för försvarstillämpningar. Studier av såväl verkans- som skyddsprinciper har bedrivits inom den svenska försvarssektorn i flera decennier. Under 1990-talet genomfördes omfattande studieverksamhet om laservapensystem och skydd mot laserstrålning.

De framtida tillämpningar som tidigare bedömdes finnas har inte realiserats i den takt som då ansågs trolig. Detta beror i huvudsak på en för positiv bedömning av teknologiutvecklingen, särskilt avseende högeffektlasrar. Under senare tid har industritillämpningar med den snabba utvecklingen av diodpumpade fastatillståndslasrar, och då särskilt fiberlasrar, påskyndat utvecklingen av taktiska laservapen. Flera demonstratorprojekt i USA och Europa har också visat på de möjligheter som ett taktiskt laservapen kan ge.

Andra faktorer som påverkat utvecklingen är de krav som ställs på stödjande teknikområden, till exempel kraftförsörjning av systemen, och hänsyn av etisk och medicinsk natur samt utvecklade regelverk. Bland annat har konventionen om särskilt inhumana vapen en särskild del som förbjuder laservapen med uttalat syfte att skada ögon.⁶⁶

⁶⁶ Convention on prohibitions or restrictions on the use of certain conventional weapons which may be deemed to be excessively injurious or to have indiscriminate effects, https://www.icrc.org/en/doc/assets/files/other/icrc_002_0811.pdf. (Besökt 2020-09-08). Protokollet om laservapen är från 1995.

9.2 Övergripande trender samt exempel på teknik och system ut mot 2045

Utvecklingen av laservapen domineras av USA, där ett antal avancerade system utvecklats och demonstrerats under de senaste decennierna. Ett exempel på ett sådant är Airborne laser (ABL), där en avancerad kemisk laser placerades i en Boeing 747 med syfte att skjuta ner interkontinentala ballistiska missiler.⁶⁷ Svårigheterna att uppnå nödvändiga verkansavstånd och de höga kostnaderna ledde till att projektet avbröts för några år sedan. Även ett antal andra amerikanska laserprogram baserade på kemiska lasrar har avbrutits.

På senare år har tekniskt fokus för taktiska laservapentillämpningar skiftat från kemiska lasrar till fastatillståndslasrar. Dessa har utvecklats på den civila marknaden för främst applikationer inom tillverkningsindustrin såsom svetsning och skärning. Sådana lasrar kan göras mycket kompakta och ändå leverera höga effekter, dock ännu inte i nivå med de effekter som kan uppnås med kemiska lasrar.

Fiberlasrar är den teknik som idag dominerar militär utveckling och används i merparten av de demonstratorer för laservapen som tagits fram. Många av dessa demonstratorer bygger på kommersiellt tillgängliga fiberlasrar som är kompakta och har hög effektivitet. Ett exempel är den markbaserade demonstrator som tagits fram av det tyska företaget Rheinmetall. I detta fall har man utnyttjat ett befintligt vapenstativ och ersatt eldröret med fiberlasrar.

Samtidigt har tillämpningsfokus för laservapen skiftat från strategiska (exempelvis ABL) till mer taktiska tillämpningar, till exempel som mark- eller fartygsbaserat luftförsvar. I framförallt USA pågår ett antal utvecklingsprogram med syfte att integrera laservapen på plattformar. Bland dessa finns system avsedda för montering på både mark-, sjö- och luftplattformar.

Ett exempel är den demonstrator – Laser Weapon System (LaWS) – med ca 30 kW uteffekt som utvecklades för den amerikanska flottan och 2014 monterades på USS Ponce⁶⁸ för tester under uppdrag. Systemet godkändes redan i december 2014 för skarp användning och användes på fartyget tills det skrotades. LaWS flyttades sedan över till ett annat fartyg.

Laservapens kostnadsbild skiljer sig från andra vapensystem genom att utveckling och anskaffning av själva vapnet är den stora kostnaden medan kostnaden per insats sedan är låg jämfört med andra system.⁶⁹ Ett krav är dock att plattformen kan energiförsörja laservapnet. Så länge det är möjligt är ammunitionsmängden för laservapnet närmast obegränsad.

⁶⁷ För mer information se https://en.wikipedia.org/wiki/Boeing_YAL-1.

⁶⁸ USS Ponce var ett amfibiefartyg av Austin-klass med en dödvikt på ca 7700 ton, se [https://en.wikipedia.org/wiki/USS_Ponce_\(LPD-15\)](https://en.wikipedia.org/wiki/USS_Ponce_(LPD-15)). (Besökt 2020-09-08).

⁶⁹ Enligt uppgift mindre än en dollar (USD) för systemet LaWS, som bygger på en 30 kW laser.

Högenergilasrar för militära tillämpningar är inte en mogen teknologi ännu. Bland annat energiförsörjning och termiska effekter kräver mer utvecklingsarbete, men de första systemen börjar bli pre-operativa på den marina arenan. Bedömningen är också att den totala effektnivån måste skalas upp så att mer avancerade hot som olika typer av större robotar samt flygande plattformar kan bekämpas.

Inom 5-10 år bedöms system som kan utnyttjas för att försvara markanläggningar mot attacker från RAM-hot⁷⁰, det vill säga granater och raketer, samt marina plattformar mot små snabbgående ytfarkoster och mindre lufthot som UAV:er, kunna vara operativa. Elektriskt drivna (diodpumpade) fastatillståndslasrar är här sannolikt den mest lovande tekniken.

På längre sikt, 10-25 år, bedöms volym och vikt hos system baserade på fastatillståndslasrar komma att reduceras liksom behovet av kylning. Detta skulle kunna förenkla implementering i markfordon och mindre flygplan. I detta tidsperspektiv (25 år) kan det också vara möjligt att implementera frielektronlasrar på fartyg, vilket skulle kunna ge effekt mot hårdare mål än vad som är möjligt med fastatillståndslasrar. Frielektronlasern har varit under utveckling under en lång tid och anses som en möjlig laserkandidat för den marina arenan.

Om laservapen blir talrika kommer de potentiella målen för dessa med stor sannolikhet att vidta motåtgärder. Sådana kan handla både om hur de manövrerar (genom att rotera kan målet tvinga lasern att belysa det en längre tid), att använda reflekterande ytor eller att använda ytbeläggningar som skapar ett skyddande plasma när de belyses med laserstrålning.

9.3 Beskrivning av utveckling av specifika delområden/teknologier i tidshorisonten

Som nämnts ovan kommer utvecklingen av diodpumpade fastatillståndslasrar och specifikt fiberlasrar troligtvis att medge mindre kompaktare enheter (moduluppbyggda) med högre verkningsgrad. I dagsläget utnyttjas enbart inkoherent kombinerings⁷¹ av laserstrålar. I framtida system bedöms strålar kunna adderas koherent vilket medför högre intensiteter och längre räckvidder. Även utveckling av teknologier för att kompensera för atmosfärsstörningar, som idag reducerar prestanda, kommer successivt att utvecklas. På längre sikt kan man även skönja en utveckling mot lasrar med längre våglängd, vilket skulle reducera problematiken med risk för ögonskador hos egen personal och tredje man.

⁷⁰ Rockets, artillery and mortars.

⁷¹ Vid inkoherent strålkombinering tar man inte hänsyn till fasskillnader mellan strålarna utan adderar intensiteter. Vid koherent strålkombinering kan faser optimeras mellan strålarna och man kan kontrollera fasskillnader.

9.4 Koppling till andra teknikområden som samverkar med eller är förutsättande för området

Lasersystem ställer stora krav på energiförsörjning. Utvecklingen inom områden som energigenerering och energilagring är därför av betydelse för de framsteg som görs för högenergilasrar avsedda för militära tillämpningar. Detta är en särskilt stor utmaning för system avsedda att placeras på markfordon eller flygplan. I dessa fall kan batterier som i sin tur laddas av små generatorer vara en möjlighet.

Andra viktiga teknikområden är de som kan bidra till att forma strålen (exempelvis adaptiv optik), upptäcka och följa mål på långa avstånd samt kyla lasersystemen. En utmaning som nämnts ovan är att kunna öka laserintensiteten i målet för att kunna bekämpa mer kvalificerade mål som kryssningsmissiler, större robotar och flygande plattformar.

9.5 Beskrivning av hur teknikutvecklingen inom området kan påverka de grundläggande förmågorna ut till 2045

Den mest troliga tillämpningen av laser som vapen är under tidsperioden mot 2045 för skydd. Skyddet avser såväl fasta installationer som olika plattformar (mark-, sjö- och luftplattformar) där lasern ingår som system. Lasersystemen kommer därför att ha sin främsta påverkan på de grundläggande förmågorna verkan och skydd.

9.5.1 Potentiella militära tillämpningar

Den huvudsakliga användningen för en högenergilaser för fartygsbaserad är rimligen som kort- och medelräckviddigt luftvärnssystem. Atmosfäriska effekter på strålutbredningen minskar effekten på längre avstånd. Möjliga mål för lasern kan vara sensorer, små flygplan och obemannade flygande plattformar (UAV:er), snabba patrullbåtar, robotar, minor och granater. Lasern kan även skada infrastruktur längs kuster, till exempel kraftledningar. Ett laserluftvärn kan vara särskilt effektivt, relativt andra luftvärnssystem, när hoten kommer i svärmar. Några styrkor hos lasersystem är en strålstyrka som kan varieras efter behov, vilket möjliggör graderad effekt, kort reaktionstid samt förmåga att engagera flera mål samtidigt. Ett laserbaserat luftvärn kan därför vara svårare för motståndaren att mäta.

För mark- och luftplattformar kan effekten begränsas av vikt- och volymkrav jämfört med tillämpningar för fartyg och för skydd av fasta markanläggningar.

Den huvudsakliga tillämpningen i mark- och luftmiljön torde därför vara som egenskydd för plattformar och i någon grad mindre förbandsenheter. Till exempel kan en ledningsplats skyddas mot mindre luftmål som UAV:er av en markplattform med ett laservapen.

9.5.2 Begränsande faktorer

Lasersystem kräver en klar siktlinje till målet. Atmosfäreffekter (absorption, spridning, turbulens) och väder påverkar också räckvidden. Att sikta är också en utmaning då strålningen måste koncentreras på målet för att kunna bekämpa detta, vilket kräver precis målföljning och inriktning.

Motåtgärder för att begränsa verkan från ett laservapen kan vara att utnyttja reflekterande ytor, förgasande skikt eller målrörelse. Här ska givetvis motåtgärden ställas i relation till bland annat laserintensiteten och vid en ökning av intensiteten kan effekten reduceras. Området är dock viktigt och här behöver kunskap byggas upp för att verkanseffektivitet ska kunna bedömas på ett realistiskt sätt. Erfarenheter kring dessa frågor har oftast en hög sekretessnivå.

Enligt ovan förbjuds lasersystem med avsedd effekt mot ögon av en särskild internationell konvention. Denna förbjuder dock inte skador på ögon när lasrar används för andra syften. Sådana risker torde också finnas när laserstrålning med mycket hög effekt sänds ut från högenergilasrar och reflekteras.

9.6 Beskrivning av vilka aktörer som forskar eller utvecklar inom området, alternativt har system i tidsperioden

Som redan nämnts pågår forskning kring lasersystem för försvarstillämpningar i ett antal länder med USA i spetsen. I USA finns en hel del program som syftar till att ta fram lasersystem för tillämpning för mark- sjö- och lufttillämpningar. Många av dessa program handlar om lasersystem som ska kunna skjuta ner mål som robotar och UAV:er.

Kina och Ryssland har en tradition inom laserutveckling och båda länderna uppger att de har markbaserade lasersystem. Bedömningen är att de i dagsläget ligger något efter USA i teknologitvecklingen, särskilt avseende elektriskt pumpade fastatillståndslasrar. I Europa finns pågående demonstratorutveckling av laservapensystem i framförallt Storbritannien och Tyskland. Även i länder som Japan, Sydkorea, Israel och Turkiet finns laservapenprogram.

Inom EU:s Preparatory action for defence research (PADR) pågår ett projekt (Towards a European high power laser effector) under ledning av det franska

företaget Cilas. Utöver detta pågår även forskning vid forskningsinstitut i många länder i och utanför Europa.

9.7 Referenser

Björck, M., Henriksson, M., Sjöqvist, L., Förstudie elektromagnetiska vapen.

Emerging Technology Concepts and Defence Planning in the Nordic Countries, FFI Externnotat 16/00336, February 2016.

Henriksson, M. och Sjöqvist, L., *Laserteknologier för telekrigstillämpningar - En översikt av teknikutvecklingen*, FOI-R--4089--SE, Juni 2015.

High-Energy Solid-State Laser Weapons, 11FMV2150-22, 2011-08-31, underlag från Fraunhofer INT till Teknisk Prognos.

Larsson, A., Akyuz, M., Nyholm, S. E. och Sjöqvist, L., *Elektriska vapen på stridsfältet – Litteraturöversikt rörande elektrifiering av plattformar, elektromagnetisk utskjutning och taktiska laservapen*, FOI-R--3962--SE, December 2014.

Laservapen, FOI-RH--2189--SE, 2019.

Sjöqvist, L., Allard, L., Henriksson, M., Hurtig, T., Lundberg, P., Wedberg, R., Öhgren, J., *Förstudie vapenverkan med laser (VAPLAS)*, FOI-DH--0186--SE, 2017.

10 Signaturanpassningsteknik

Författare: Lars Bohman och Hans Kariis

10.1 Inledande beskrivning av området

Signaturanpassningsteknik (SAT, signature management, stealth) handlar om metoder för att minska kontrasten mellan ett objekt och bakgrunden ur alla aspekter som kan detekteras av sensorer. SAT brukar sorteras under begreppet vilseledning och området utvecklas i princip bara för militära tillämpningar. Dock finns civil FoU inom till exempel materialområdet som kan nyttiggöras också i SAT-tillämpningar. Kunskap rörande SAT behövs inte bara för att designa och kravsätta egen materiel utan också för att bedöma skyddsnivån hos andra aktörers skyddsmateriel.

Syftet med SAT uttrycks bra med det engelska uttrycket *sensor denial* och avser skydd mot de sensorer som används för att upptäcka objekt. Tekniskt sett handlar det främst om optronik (UV, visuellt, nära-IR, termisk IR och laser), radar (passiv radiometri, aktiv radar) och akustik. I specialfall kan det handla om elektriska eller magnetiska fält (marina tillämpningar som fartyg och ubåtar) eller andra emissioner eller spår som någon sensor detekterar.

SAT är ett övergripande systemområde där det är viktigt att ha kunskap om hela kedjan där hotsensorer, miljö, maskeringssystem, formgivning och materialegenskaper finns med.

Dimensionerande för behovet av signaturanpassning är kapaciteten hos de sensorer som används avseende förmåga till upptäckt, klassificering, identifiering och möjlighet att följa målobjekt (tracking). En svår avvägning är bedömningen av när nya sensorteknologier kan förväntas vara operativa och införda i sikten, spaningssystem och vapensystem och därmed kräva en vässad skyddsnivå.

Sannolikheten för konflikt med kvalificerade motståndare har ökat. En sådan motståndare har tillgång till avancerade sensorer varför betydelsen av signaturanpassningsteknik ökar.

10.2 Övergripande trender samt exempel på teknik och system ut mot 2045

I duellen mellan sensorer och signaturanpassning har en upptrappning varit tydlig de senaste åren. Nedan beskrivs några trender på sensorsidan som kommit att för-

skjuta balansen och därmed successivt öka kraven på signaturanpassning och skyddsnivån för överlevnad allt eftersom ny sensorteknik införs i operativa system.

10.2.1 Hotsensorer

Framförallt har mängden sensorer ökat. Där spaningsshotet tidigare utgjordes av dedikerade spaningsflygplan som genomförde spaningsuppdrag med våtfilmskameror, finns idag en ökande flora av realtidssensorer som insamlar information, alltifrån civila mobilkameror och avancerade sikten till sensorer på så gott som varje militär plattform. Sensortyper som för några år sedan endast fanns på fordon och i målsökare, såsom IR-sensorer, finns nu tillgängliga för avsuttna soldater. Speciellt utgör UAV-utvecklingen ett tredebrott vad gäller hot mot våra skyddsobjekt. Det är obemannade plattformar som bär fram kvalificerade sensorer till nära skyddsobjektet. Även sensorer i rymden måste beaktas, varifrån sensorinformationen kan tillgodogöras genom länkning i realtid.

En dramatisk förbättring av sensorernas upplösning noteras. På radarsidan har SAR-tekniken (syntetisk aperturradar) blivit en game-changer. Där äldre radarer i huvudsak detekterar rörliga objekt producerar en modern SAR upplösta spaningsbilder och kan sondera flera målkaraktistika. Måligenkänning kan inom prognosperioden förväntas bli vanlig även på radarsidan.

Genom den snabba elektronikutvecklingen och datorutvecklingen utvecklas den sensornära signalbehandlingen. Man kan säga att sensorerna blir intelligentare. AI-teknologier som maskininlärningsmetoder utvecklas för alla typer av sensor-system. Beslutstödsfunktioner kan hjälpa operatören att sortera informationen och hitta det man söker även i mycket komplexa miljöer.

Den tekniska utvecklingen av nya sensortyper och sensorer med nya egenskaper aktualiserar behov av förbättrad signaturanpassning. Några exempel på detta är:

- Hyperspektrala sensorer samlar in information i fler våglängder. Sensorn kan sägas ta ett spektralt fingeravtryck. I urban miljö kan dessa sensorer särskilja militära från civila plattformar.
- Polarisationskänsliga sensorer kan användas för att hitta mänskligt tillverkade objekt i en naturlig bakgrund.
- Sensorer tillkommer i våglängdsområden där det hittills inte funnits något hot. Signaturanpassade objekt kan upptäckas eftersom sensorer i dessa våglängdsområden hittills inte bedömts utgöra något hot vid SAT-design/kravställning. Ett exempel på sådan sensor är SWIR⁷²-sensorn som

⁷² Short Wave Infrared (1,1-2,5µm).

kan utnyttja natthimlens strålning bättre än traditionella bildförstärkare och dessutom ser bättre genom dimma och rök.

- SAR-radarer miniaturiseras och kan bäras även av små UAV-system, varför mikrovågsområdet bedöms få ökad betydelse.
- Bistatisk radar kan behöva mötas med förändrade signaturanpassningsmetoder.

10.2.2 Signaturanpassningsteknik

En stark utveckling av modellering och simulering möjliggör optimering av signaturlösningar som tidigare inte varit möjliga. Det kan handla om design av allt från hela lågsignaturplattformar till impedansanpassning av ytkonforma antenner eller radomer. En trend är också att införa simuleringsverktyg operativt i tyngre plattformar för att åstadkomma signature awareness, det vill säga beslutsunderlag för att avgöra hur sårbar plattformen är under rådande omgivningsförhållanden. Med god kännedom om aktuell signaturstatus kan man också anpassa det taktiska uppträdandet. Med utvecklade signaturmodelleringsverktyg ökar också förmågan att bedöma hotprestanda avseende signatur på motståndarens materiel.

Den civila utvecklingen på materialområdet har i vissa fall varit språngartad där nya lätta material ger möjlighet till nya skyddslösningar. Nya komponenter för att styra energi kan ge möjlighet till att realisera styrbar signatur.

Förberedelser görs på flera håll i Europa för att anskaffa generell maskeringsutrustning. Syftet är att ge ett gott skydd till alla delar av stridande förband, där fokus tidigare har legat på dyra plattformar som stridsvagnar. I ljuset av att sensorerna framgent verkar över hela spektret, är trenden också att all skyddsmateriel ska ges multispektral skyddsförmåga.

En stark trend för att överleva i den framtida hotsensormiljön är att komplettera signaturanpassningsåtgärder med skenmål.

10.3 Beskrivning av utveckling av specifika delområden/teknologier i tidshorisonten

Många signaturanpassningsproblem kan lösas med skräddarsydda ytskikt som kan ges önskade egenskaper (reflektans, absorptionsförmåga, polarisation etc.) för att möta några av de nya sorteknologierna som nämns ovan. Ytskikten kan vara kombinationer av materialval och struktur. Spektral design är en teknik där man med avancerad materialteknologi kan anpassa en ytas reflektans till bakgrunden inom ett brett våglängdsområde.

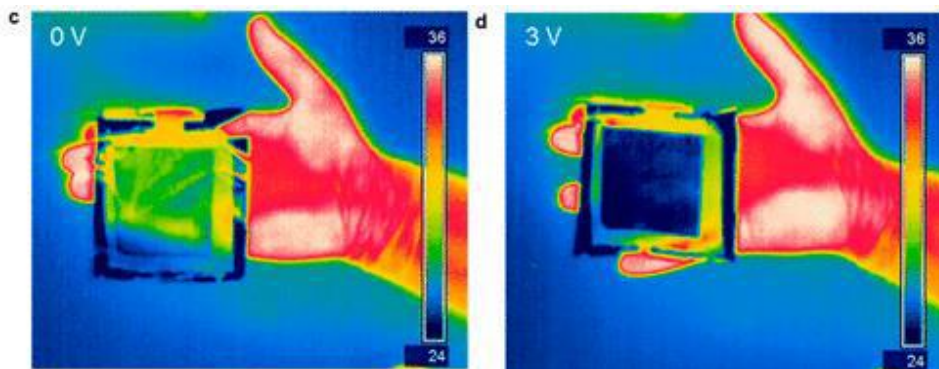
Multifunktionella material utvecklas för att sänka den totala vikten på ett system. Speciellt intressant är detta för personburna och flygande system. Det kan röra sig

om lastbärande strukturer, radarabsorbenter som kan lagra vatten och/eller bränsle, batterier eller ballistiskt skyddande signaturmaterial.

Traditionellt har radarsignaturanpassning handlat mycket om formgivning av plattformar. Principen har varit att spegla bort sonderande radarstrålning. Ny sensorteknologi, såsom bistatisk radar och lågfrekvensradar, möjliggör upptäckt av stealth-formgivna plattformar. Ökad användning av radarabsorberande material kan avsevärt minska radarmålearen mot dessa nya hot. Magnetiska nanokompositer är ett exempel på en materialkategori som kan vara användbar för detta ändamål.

Signaturanpassning i IR har traditionellt handlat om att undvika att exponera varma delar av plattformen mot motståndarens sensorer. Detta kan göras genom avskärmning eller kylning. En alternativ metod, som tros få större betydelse i framtiden, är att använda lågemissiva material som gör att en varm yta ser svalare ut än vad den är för en IR-sensor. Fotonkristaller och keramiska multipelskikt är strukturer som studeras.

Grafen är ett relativt nytt material med intressanta egenskaper som kan komma till nytta för signaturanpassning i framtiden. Det är elektriskt och termiskt ledande, lätt och dessutom mekaniskt mycket starkt. Tack vare styrkan kan grafen uppträda i mycket tunna ($0,1 \mu\text{m}$) skikt, som är i det närmaste genomskinliga. Den civila bildskärmsindustrin satsar stora resurser på utveckling av grafenteknologi för displaytillämpningar.



Figur 5. IR-bilder på hand som håller en grafendisply som har egenskapen att man kan styra den skenbara yttemperaturen. Grafens termiska emission kan kontrolleras genom att variera spänningen över dopad grafen. Ref: Omer Salihoglu, Hasan Burcak Uzlu, Ozan Yakar, Shahnaz Aas, Osman Balci, Nurbek Kakenov, Sinan Balci, Selim Olcum, Sefik Süzer, and Coskun Kocabas, *Graphene-Based Adaptive Thermal Camouflage*, *Nano Lett.* 2018, 18, 7, 4541–4548

Adaptiv signaturanpassning, där signaturen kan ändras i realtid med avseende på bakgrund, väderförhållanden, hotbild eller uppdrag förekommer ännu inte operativt men forskning och utveckling pågår i ett flertal länder.

Inom biomimetik försöker man inspireras av naturen till signaturanpassningslösningar. Djur, såsom bläckfiskar, fåglar, kameleonter och skalbaggar, har ofta mycket avancerade material och strukturer som ger bättre kamouflage än vi lyckas åstadkomma. Sådana biologiska kamouflage studeras nu i det elektrooptiska området med målsättning att efterlikna och modifiera materialen för att uppnå bättre skydd mot nya sensortyper.

Utvecklingen av teknik för 3D-utskrift erbjuder nya möjligheter till signaturanpassningslösningar. Material med önskade graderade elektromagnetiska egenskaper kan tillverkas. Vidare kan maskeringsskikt med komplicerad geometri och låg vikt tillverkas.

Modellering och simulering är verktyg som används alltmer både vid design av signaturanpassade plattformar och vid värdering av sensorsystem och duellsituationer sensor/signatur. Mycket god representation av signaturen för stora plattformar är möjlig. Hybridmetoder utvecklas för att kunna hantera alla signaturbidrag. Även så kallade scengenereringsverktyg utvecklas för att fysikaliskt korrekt kunna modellera bakgrunder. Modellering och simulering kommer till nytta på alla systemnivåer, från materialval till stridssimulering på bataljonsnivå. För värdering och validering av signaturnivåer hos skyddsobjekt samt för validering av beräkningsmetoder är kapaciteten för signaturmätningar viktig för att kunna arbeta inom området. Detta gäller inte bara tillgången till mätinstrumentering utan i minst lika hög grad utbildad personal och utveckling av metodik för signaturmätningar.

10.4 Koppling till andra teknikområden som samverkar med eller är förutsättande för området

SAT kopplar starkt till sensorområdet, då duellsituationen driver på utvecklingen inom båda områdena så att skyddet ska matcha hotet och tvärtom. Den specifikt militära utvecklingen inom sensorområdet inriktas mot förmåga att detektera lågsignaturmål eller hitta maskerade mål i en komplex bakgrund.

SAT kopplar till plattformsområdena för mark, sjö, luft och soldat. Internationellt pratar man om integrated survivability som avser en optimering och balansering av alla olika skyddsåtgärder. Det ska påpekas att förutom tekniska lösningar så inkluderas även taktikutveckling. Om signaturaspekter beaktas redan i designskedet kan kostnaden minskas och skyddsnivån ökas i förhållande till efterhandsanpassning.

Som skydd för plattformar samverkar SAT med telekrigområdet. I slutfasen, då vapnet är avfyrat och målsökaren låst på plattformen kompletterar SAT telekrigs-

och skenmålsåtgärder i syfte att skydda plattformen från träff eller vilseleda målsökaren bort från plattformens vitalare delar. En lägre plattformssignatur ökar sannolikheten att en robot ska låsa på motmedel (till exempel facklor) istället för på plattformen.

Kopplingen är också stark till området vapen och skydd där det ballistiska skyddet utvecklas.

Inom flygsystemområdet är signaturanpassning en viktig designparameter tillsammans med aerodynamisk optimering. Här finns också speciella utmaningar i integrationen av delsystem och last för att flygplattformen totalt ska erhålla låg signatur.

Som framgår av tidigare text är materialteknik ett område med en snabb civil utveckling, som kan komma till nytta för militära tillämpningar. Det gäller speciellt spektral design och adaptivt kamouflage.

10.5 Beskrivning av hur teknikutvecklingen inom området kan påverka de grundläggande förmågorna ut till 2045

10.5.1 Potentiella militära tillämpningar

Flera tillämpningar har redan beskrivits ovan.

Primärt är signaturanpassning basal teknik för att bidra till den grundläggande förmågan **skydd**. I ljuset av den snabba utvecklingen på sensorområdet är kunskapsutvecklingen och teknikutvecklingen inom signaturanpassningen kritisk för att bibehålla en god skyddsförmåga och möta hotet från nya sensortyper och känsligare sensorer med sofistikerad AI-baserad signalbehandling.

Traditionellt har signaturanpassningen utvecklats för att förhindra eller fördröja upptäckt, klassificering, identifiering och mällåsning av viktigare plattformar. Hotmässigt utvecklas ytspaningsförmåga varför trenden inom signaturanpassning är att utveckla skyddet för hela förband. Förutom mer sofistikerad signaturanpassning med inbyggd adaptivitet till aktuell omgivning kompletteras signaturanpassningen med skenmål för att vilseleda en motståndare och försvåra dennes underrättelseinhämtning.

Signaturpredikteringsverktyg kan också användas operativt som beslutsunderlag för att bedöma **tillgänglighet** för egna och motståndarens sensorer och hotstatus för egna plattformar i aktuella miljöer och omgivningsförhållanden.

10.5.2 Begränsande faktorer

Det är svårt att åstadkomma bra signaturanpassning mot alla typer av sensorer samtidigt. Att kombinera radarabsorbenter med visuell och termisk signaturanpassning kräver planering redan i designskedet.

Bestyckning av befintliga plattformar med ny utrustning, såsom vapen, sensorer, ballistiska skydd och ledningsutrustning, kan försämra plattformens signatur kraftigt, speciellt i radar- och IR-områdena. En avvägning behöver göras mellan olika skyddstekniker där hänsyn tas till hur olika förmågor hos enheten påverkas, till exempel ballistiska skydd mot signaturanpassning. Tunga ballistiska skydd sänker exempelvis rörligheten, vilket signaturanpassningsmateriel inte behöver göra i lika hög grad. Omvänt gäller också att extrem signaturanpassning kan försämra möjligheterna att verka med sensorer och vapen etc.

Spaningssensorerna får en allt bättre förmåga att över ytan upptäcka förändringar och rörelse. Traditionellt har rörlighet antagits ge ökad överlevnad. Vi ser inte att signaturanpassningstekniken klarar att leverera tillräckligt god skyddsförmåga under perioden (för system i rörelse). Ett utvecklat beslutsstöd med signaturprediktering kan dock bidra till riskminimering vid nödvändiga förflyttningar av förband.

En riskfaktor kopplat till den grundläggande förmågan ledning är att god signaturanpassning kan försvåra egen lägesuppfattning och leda till vådabekämpning av egna förband. Vidare riskerar IFF-funktioner⁷³ att kompromettera signaturanpassningen om signalerna kan detekteras av motståndarens sensorer.

Olika miljöbetingelser begränsar också vilken signaturstatus som är möjlig att uppnå. I arktisk miljö är IR-signaturanpassning mycket svårt på grund av de stora temperaturskillnaderna mellan objekt och bakgrund.

10.6 Beskrivning av vilka aktörer som forskar eller utvecklar inom området, alternativt har system i tidsperioden

All utveckling av militärmateriel som exponeras i fält sker med krav på överlevnad, där signaturanpassningen är en basal förmåga. Stora aktörer är därför så gott som alla nationella försvarsforskningsorganisationer, liksom plattformindustrin samt tillverkare av delsystem som sensor- och vapensystem. Exempelvis nämns i de stora europeiska programmen för nästa generations flygfarkoster stealth och cybersäkerhet i samma andetag som nyckelteknologier.

Vidare finns tillverkare av objektsanpassade och generella kamouflagesystem.

⁷³ Identification Friend or Foe, igenkänningssystem

10.7 Referenser

- Andersson, Å., Gustavsson, M., Jonsson, R., Karlsson, N., *Metodik för beräkning av radarsignatur för objekt med komplicerade delstrukturer*, FOI-RH--1899--SE, 2017.
- Björkert, S., *Polarimetrisk optisk signaturmodellering: Implementering av en polarimetrisk BRDF modell i PolSig*, FOI Memo 5540, 2015.
- Bohman, L. et.al., *SAT-handbok Mark*, FOI ISBN 91-7056-114-1, 2003.
- Hallberg, T., Andersson, Å., Björkert, S., Dalenbring, M., Glendor, P., Gustafsson, O., Gustavsson, M., Jonsson, R., Karlsson, N., Lindell, R., Parmhed, O., Pohl, A., Wellander, N., Zdansky, E., *Signaturmodellering 2017-2019: Slutrapport*, FOI-R--4878--SE, 2019.
- Kariis, H., & Savage S., *The sensor-signature duel*, Sensorsymposium 2012, Stockholm, Sverige. FOI-S--4136--SE, 2012.
- Kariis, H., *Camouflage requirements and solutions for the future*, FOI-S--4906--SE, 2014.
- Karlsson, L., Andersson, Å., Hallberg, T., Kariis, H., Pettersson, L., Pohl, A., Savage, S., Åkerlind, S., *Signaturmaterial 2017-19 – Slutrapport*, FOI-R--4852--SE, 2019
- Pohl, A., Kindström, G., Alm, M., Magnusson, P., Hedenstierna, S., Kariis, H., Savage, S., Thunéll, M., *The Soldier's Individual Protection Equipment*, FOI-R--3368--SE, 2011.
- Savage, S., *Signaturmaterial: Trender och militär nytta 2015*, FOI MEMO 5521.
- Savage, S., *Graphene technologies for camouflage*, FOI MEMO 6543, 2018.
- Teknisk Vilseledning*, studie ATK 99091S, Försvarmakten, 13301:60353, 2003.
- Zdansky, E., *Ground winter signatures, an inventory*, FOI-R--3509--SE, 2012.
- Åkerlind, C., Arwin, H., Hallberg, T., Gustafsson, J., Kariis, H., Landin, J., Järrendahl K., *Biomimetics for future low emissive coatings: Optical properties of Cyphochilus insulanus*, FOI-S--4851--SE, 2014.
- Åkerlind, C., Bergström, D., Hallberg, T., Valyukh, S., *Spectral polarimetric camouflage*, FOI-S--5463--SE, 2016.

11 Rymden

Författare: Sandra Lindström och Kristofer Hallgren

11.1 Inledande beskrivning av området

Rymden är en av fem domäner som tillsammans utgör den fysiska miljön enligt Försvarmaktens doktrin för gemensamma operationer.⁷⁴ Den är idag en så kallad global allmänning (global common). Det finns inga tydliga gränser i rymden likt i de traditionella domänerna mark, sjö och luft. Ingen kan idag äga rymden. Rymden är därför tillgänglig för alla stater, såväl civila som militära aktörer. Andra länders civila och militära satelliter rör sig därmed fritt i bana runt jorden och passerar över Sverige flera gånger per dag.

Satelliter är komplexa tekniska system, som verkar enskilt, i formation med flera andra satelliter och/eller integrerat med system i andra domäner (mark, sjö, luft men även cyber och information). Rymdinfrastrukturen kompletterar, förstärker och tillför stridskrafter ny militär förmåga i de andra domänerna. Vissa stater har även stridskrafter som verkar i rymddomänen. Satellitsystem kan i huvudsak nyttjas som sensorbärare, kommunikationsnod och/eller som vapenbärare. Den omgivande rymdmiljön i form av rymdväder, som härrör från solen, påverkar system i samtliga domäner.

11.2 Övergripande trender samt exempel på teknik och system ut mot 2045

11.2.1 Rymden som krigsarena och vapenutveckling

På grund av ökad militär användning av och ökat beroende av rymden samt den rymdkaprustning som sker är det högst sannolikt att rymddomänen dras in i framtida konflikter, oavsett om de startar i rymddomänen och sedan eskalerar på marken eller tvärtom. Vid asymmetrisk krigföring, i detta fall mellan en stor rymdaktör och en mindre rymdaktör kan det bästa vara att slå mot rymdinfrastrukturen för störst effekt på förmågan i de andra domänerna. Sårbarheten gör att rymddomänen ses som en egen krigsarena där både offensiva och defensiva förmågor behövs och numera utvecklas. Det pågår utbildning, träning och planering för krigföring i rymden som en del av traditionell krigföring.

Vapenutvecklingen handlar framförallt om krigföring mark-mot-rymd och rymd-mot-rymd. Vapen tilltänkta för rymd-mot-mark är tveksamma i detta tids-

⁷⁴ Försvarmakten, Doktrin för Gemensamma Operationer, 2020

perspektiv då de är mycket kostsamma och ineffektiva men de stora rymdaktörerna har dock ännu inte avfärdat tekniken. Mark-mot-mark räknas inte som rymdkrigföring men det är viktigt att komma ihåg att krigföring riktad mot marksegment eller användarsegment kan leda till stora konsekvenser för rymdstödd militär förmåga.

Rymdkrigföring innefattar både kinetiska och icke-kinetiska vapen, telekrigföring samt cyberattacker.⁷⁵ Kinetiska vapen har nackdelen att de kan producera stora mängder rymdskrot, vilket kan höja tröskeln för användande. Militära doktriner omfattar därför ett brett spektrum av antisatellitförmågor som kan anpassas till olika konfliktnivåer. Det bör noteras att det idag inte är förbjudet att utveckla och testa vapen mot satelliter.

Med kinetiska vapen avses möjligheten att förstöra en satellit genom fysisk kontakt eller genom att detonera en sprängladdning nära målet. Inom tidsperioden är det möjligt att fler stater utvecklar och testar sådan teknik. Icke-kinetiska vapen innefattar elektromagnetiska vapen, exempelvis laser och HPM. Dessa vapen kan på distans vålla fysisk skada på eller degradera förmågan hos en satellit. Inom tidsperioden kommer icke-kinetiska vapen sannolikt utvecklas och testas av fler stater. Med telekrigföring avses störning, blockering och vilseledning av en motståndares radio- eller radarsystem. Det är satellitens kommunikationskanaler, både upp- och nedlänk, man huvudsakligen fokuserar på, men det går också att störa en satellitradar. Cyberattacker är attacker mot satellitens eller markstationens IT-system, i form av exempelvis dataintrång, sabotage eller att man tar över kontrollen av satellitsystemet. Bedömningen är att fler stater sannolikt kommer att utveckla och testa teknik för telekrigföring och cyberattacker mot rymdinfrastruktur framöver.

Det alltmer aggressiva förhållningssättet till rymddomänen kommer tvinga fram en teknikutveckling för mer motståndskraftiga satelliter (olika typer av skydd, signaturanpassning, robusthet, etc.), olika förvarningsmetoder, motmedel och andra åtgärder för att hantera sårbarheten i rymdinfrastrukturen.

11.2.2 Fler aktörer, fler satelliter och ökad tillgänglighet till rymden och rymdtjänster

Både etablerad och ny teknikutveckling, exempelvis miniatyrisering, återanvändbar teknik, standardisering, serietillverkning, autonomi, additiv tillverkning, robotik och AI, tillsammans med en snabb teknikspridning samt de sänkta kostnaderna för att bedriva rymdverksamhet har bidragit till en stor ökning av antal aktörer i rymden och av antal satelliter i bana runt jorden. Inom de närmaste 5-10 åren planeras antalet satelliter i bana runt jorden mångdubblas mot nuvarande antal

⁷⁵ Handbook of Space Security, Kai-Uwe Schrogl, et al. (editors), Springer Science + Business Media, New York, 2015, ISBN 978-1-4614-2028-6.

då det kommer att skjutas upp stora satellitkonstellationer med upp till tusentals satelliter. Det blir även fler aktörer i raketbranschen, framförallt för mindre bärarketer för uppskjutning av mindre satelliter men även nya lösningar för uppskjutningar (exempelvis återanvändbara raketsteg och uppskjutning med flyg). Till följd av detta har priset per kg för uppskjutning reducerats med en faktor tio på bara de senaste tio åren.⁷⁶ I tidsperspektivet 2045 kommer priset sannolikt att reduceras ytterligare en faktor tio eller mer. Tillgängligheten till olika rymdtjänster och -tillämpningar kommer därför öka för alla typer av användare. Detta kan bidra till förbättrad egen förmåga via rymdtjänster och -tillämpningar, men också till förbättrad förmåga och ökad tillgänglighet hos antagonister. Framförallt kommer det sannolikt vara fler aktörer, både militära och civila, som skickar upp egna satelliter inom tidsperioden.

11.2.3 Teknik för taktisk användning av rymden

Det finns ett behov av ett mer militärt taktiskt nyttjande av rymden, begreppen responsiv och rapid används ofta i detta sammanhang. Det går ut på att korta ner alla ledtider, att hellre få tillgång till en förmåga snabbt och billigare men där kvaliteten kan tillåtas vara sämre (till exempel lägre upplösning hos spanings satelliter). Det avser att korta ner tiden för utveckling av satelliter, för uppskjutningen men även att snabbare få information över ett visst område när behovet uppstår, med andra ord bättre täckning. I och med den teknikutveckling som har skett på senare år med exempelvis standardisering, plug and play och serietillverkning finns det idag satelliter som utvecklas med betydligt kortare ledtider än förut. Det finns även fler alternativ till uppskjutning och nya mer mobila och flexibla koncept är i utvecklingsskedet. Inom tidsperioden kommer det sannolikt skjutas upp stora militära konstellationer med små satelliter som ger bättre täckning i tid.

11.2.4 Manövrerande satelliter - möjligheter och hot

Dockning och formationsflygning med satelliter, så kallad Rendezvous and Proximity Operations (RPO), är ett samlingsnamn för aktiviteter som rör koordinerade manövrar mellan två eller flera närbelägna satelliter. Användningsområdena för RPO förväntas öka framöver. Utvecklingen påskyndas av den kommersiella sektorn där fokus ligger på on-orbit servicing (OOS), det vill säga att på olika sätt förlänga livstiden på satelliter i bana runt jorden genom att tillföra mer bränsle, uppdatera hårdvara, byta ut nyttolaster eller utföra service och laga sådant som inte fungerar. De flesta pågående OOS-program är i utvecklingsskedet och teknikk demonstrationer har genomförts i rymden. Det första operativa systemet sköts upp under hösten 2019, och påbörjade sitt uppdrag i februari 2020. Tekniken

⁷⁶ Kostnaden har gått ner från ungefär 100 000 SEK per kg till 10 000 SEK per kg för utplacering i låg bana. FutureTimeline.net, 2018-09-01, <https://www.futuretimeline.net/data-trends/6.htm>. (Besökt 2020-09-08).

kommer att möjliggöra nya affärlösningar framöver, istället för att skjuta upp en helt ny satellit kan det räcka med att endast skjuta upp en ny nyttolast som monteras på en satellitbuss som redan befinner sig i bana. Andra användningsområden för RPO är aktiv skrotborttagning och utvinning av naturresurser i rymden.

RPO kan också användas militärt för satellitinspektioner och signalspaning. Genom att manövrera nära en annan satellit kan den inspekteras och dess förmåga bedömas, alternativt kan signaler till och från satelliter avlyssnas. USA, Ryssland och Kina genomför redan denna typ av manövrar. Sammantaget är rymdbaserad inspektion och signalspaning av satelliter en verksamhet som ökar i omfattning.

Det finns tydliga beröringspunkter med rustningskontroll i rymden, vilket gör den snabba utvecklingen förenad med stora politiska utmaningar. I praktiken kan RPO-teknologi vara oskiljbar från ett antisatellitvapen. En satellit som kan lokalisera, närma sig och påverka en annan satellit kan lika väl användas som ett vapen som för reparationer eller inspektion. Om intentionen vid RPO-manövrar inte är tydlig så finns en uppenbar risk för missförstånd och konflikter, och missioner med otydliga avsikter har vid flera tillfällen gett upphov till starka internationella reaktioner. Under tidsperioden bedöms sådana incidenter öka kraftigt.

11.3 Beskrivning av utveckling av specifika delområden/teknologier i tidshorisonten

11.3.1 Bärraketer och tillgänglighet till rymden

Författare: Niklas Wingborg

Som tidigare konstaterats förväntas uppskjutningsmöjligheterna bli fler, kostnaderna minska och antalet aktörer bli fler. Militära aktörer, speciellt hos de stora rymdaktörerna, kräver full kontroll på vilken bana satelliterna placeras i. De vill även ha kontroll på när uppskjutningen ska ske och har högre krav på sekretess. Detta kräver oftast specifika tillvägagångssätt vid uppskjutning vilket kan begränsa valmöjligheterna. De stora rymdaktörerna löser detta med uppskjutning från flygfarkost eller med en egen dedikerad bärraket. Utvecklingen mot mer taktisk användning av satelliter innebär att vid behov kunna skjuta upp en satellit med kort varsel. Här brukar begreppet launch on demand nämnas. En av förutsättningarna för uppskjutningar med kort tidshorisont är att hanteringen av bränslet i bärraketer och ombord på satelliter blir mer lätthanterligt och billigare.

Återanvändbara bärraketer eller raketsteg bidrar till billigare sätt att få tillgång till rymden. Det finns redan operativa återanvändbara bärraketer, fler initiativ finns på koncept- eller utvecklingsstadium och kommer troligen realiseras inom tidsperioden.

Det sker i någon mån två olika utvecklingstrender parallellt, utveckling av mindre bärraketer dedikerade för små satelliter, samtidigt som det har skjutits upp så många som ca 100 små satelliter per uppskjutningstillfälle med en större bärraket. Här ställs kostnad mot önskan om specifik bana.

Antalet aktörer som vill utveckla små bärraketer har de senaste åren ökat markant och i dagsläget finns ett 100-tal koncept, se även tidigare avsnitt. Av dessa förväntas dock bara ett fåtal ha kapacitet och finansiering för att lyckas. Det kommer troligen inte finnas en tillräckligt stor marknad för att alla dessa initiativ skall förverkligas. I samband med detta projekteras även uppskjutningsplatser för små bärraketer på många håll. I Europa sker detta bland annat i Norge, Storbritannien, Spanien, Portugal och i Sverige. Det finns även ett antal olika nya initiativ där uppskjutning via flygplan studeras och testas.

Vid utveckling av nya bärraketer dominerar flytande drivämnen på grund av lägre kostnad och högre prestanda. Krutdrivna startraketer kommer användas även i vissa av nästa generations bärraketer (exempelvis Ariane 6, SLS) men kommer förmodligen längre fram i tiden fasas ut på grund av miljöskäl. Krutdrivna bärraketer kommer dock användas under överskådlig tid i militära system och framförallt då launch on demand krävs eftersom en krutraket alltid är laddad till skillnad från en vätskeraket som tankas just innan avfyrning. De små bärraketer som är under utveckling drivs antingen med vätske- eller med hybridraketsmotorer.

En ny typ av jet-raketmotor, kallad Sabre, har potential att revolutionera marknaden (det blir billigare). Motorn är tänkt att användas till återanvändbara rymdflygplan. Flera nyckelteknologier har redan utvecklats och testats med lovande resultat.

11.3.2 Satellitkommunikation (satkom)

Författare: Börje Asp och Erik Axell

Militära kommunikationssatelliter utrustas idag med mycket avancerad teknik som skydd mot avsiktlig störning och den teknikutvecklingen bedöms fortsätta framgent. Samtidigt finns det i dagsläget obetydligt inbyggt skydd mot detta i de kommersiella satelliterna. Andelen rent militära kommunikationssatelliter har minskat i takt med att den militära trafiken har övergått till kommersiella satellitsystem med, i de flesta fall, betydligt högre kapacitet och till en lägre kostnad. Aktiv störning mot kommersiell satellitkommunikation kommer sannolikt fortsätta att öka fram till 2045, det finns redan flera exempel på sådan

störning.⁷⁷ Störhotet mot kommersiella system förväntas dock leda till en utveckling av störskydd för dessa satelliter under tidsperioden. Detta kommer i sin tur sannolikt att ytterligare öka den militära användningen av kommersiella satelliter.

En tydlig trend bland kommersiella aktörer är att försöka skapa global bredbands-täckning med stora konstellationer av hundratals eller tusentals satelliter, främst i låga banor (LEO). Flera aktörer driver projekt i den riktningen i konkurrens om att vara först.

Inom utvecklingen och standardiseringen av 5G finns stort intresse av att utveckla rymdbaserade 5G-nät. Det innebär i praktiken att satelliterna ska utrustas med speciella 5G-basstationer och att de därmed kan bidra till global 5G-täckning. Inom tidsperioden gäller detta sannolikt även 6G.

Andra teknikområden inom kommunikationsområdet som förutspås få ökad betydelse under perioden inkluderar så kallad kognitiv radioteknik och artificiell intelligens (AI). Optiska länkar förutspås även få ökad betydelse för kommunikation mellan satelliter och mellan rymd- och marksegmentet, framförallt slipper man frekvenstilldelningsproblematiken. Vidare utgör M2M (Machine-To-Machine) en ökande marknad för satellitkommunikation där övervakning, sensor-datainhämtning, fordonsföljning och logistikstöd i avlägsna områden dominerar användningen. Stark utveckling förutspås inom det närmaste decenniet vilket bör skapa möjligheter till förbättrade och nya militära förmågor.

För militärt bruk studeras även möjligheten att bygga tätt integrerade system bestående av kortvågs- och satellitsystem (för marksegmentet). Genom bland annat en utvecklad nätstruktur bedöms dessa system kunna utnyttja de båda kommunikationsmetoderna effektivare än idag och skapa en redundans som tidigare inte medgivits med separata system.

Satellitkommunikation används även i ökande grad som transmissionsnät för mobilnät, exempelvis vid katastrofinsatser och internationella militära operationer.

11.3.3 Spaning och övervakning från rymden (SÖR)

Författare: Lars Ulander, Lars Sjöqvist, Patrik Hedström och Börje Andersson

Utvecklingen fram till 2045 går mot tjänster och tillämpningar som erbjuder övervakning i nära realtid, med både passiva och aktiva sensorsystem som samverkar med samtliga övriga domäner. Rymdbaserade sensorer kommer att utgöra en fundamental komponent i en sådan utveckling som med stor sannolikhet kommer

⁷⁷ Exempel på rapporterade störningar är när Libyen störde Thuraya under den arabiska våren i februari 2011 och Egyptiska Nilesat som blev störda på mer än 60 TV-kanaler under samma tidsperiod. Erik Axell, Sara Örn Tengstrand, Björn Johansson (2015). Behövs robustare satkom? Om brister och skyddsåtgärder i satellitkommunikationssystem, FOI, Stockholm. FOI-R-- 4102--SE.

att medföra både nya militära möjligheter och en förändrad och mer komplex hotbild.

Inom både optisk avbildning och högupplösande syntetisk aperturradar (SAR) går utvecklingen tydligt mot att fler stater skaffar sig en egen förmåga genom egna system eller, alternativt, tillgång till motsvarande spaningsinformation i samarbete med andra stater eller via kommersiella lösningar.

Inom det optiska våglängdsområdet kommer högupplösta bilder att finnas tillgängliga med korta ledtider. Både multi- och hyperspektrala sensorer förväntas ge information som kan användas för militära tillämpningar, exempelvis materialklassificering, anomalidetektion och en förbättrad objektidentifiering. Nästa generations ryymbaserade lidarsensorer kan ge topografisk information och möjliggöra exempelvis undersökning av bottenförhållanden i grunda vatten.

Framstegen inom automatisk analys av bilder med hjälp av maskininlärning och AI kommer att få stor påverkan inom analys av data från rymden (och då primärt satellitbilder). Automatisk analys av bilder drivs primärt av att mängden öppen tillgänglig träningsdata har ökat och kommer att fortsätta öka framöver. Möjligheten till automatisk detektion och klassificering av både en-pixel-mål och utbredda mål, exempelvis olika typer av fordon, byggnader, vägar och vegetation, kommer att öka. Även möjligheten att automatiskt detektera förändring mellan olika tidpunkter så som tillfälliga vägar, bostäder och miljöförändringar kommer att öka.

På World Radiocommunication Conference 2015 (WRC-15) beslutades att tillåta en utökad frekvensanvändning för SAR på X-bandet vilket innebär att det blir möjligt att förbättra radarbildernas upplösning. ITU-regelverket tillåter därmed att bandet 9,2-10,4 GHz kan användas för jordobservation från rymden, det vill säga 1200 MHz bandbredd blir tillgängligt för satellitradar.⁷⁸ Det innebär att upplösningen i SAR-bilder potentiellt förbättras till 10 centimeter. Det finns ännu inga civila system som kan utnyttja den högsta bandbredden men det kommer förmodligen att finnas tillgängligt inom 5-10 år.

Det är sannolikt att det i tidsperioden kommer tillkomma flera kommersiella företag med radarsatellitkonstellationer med minst meterupplösning. Därmed reduceras ledtiden mellan upprepade radaravbildningar över ett geografiskt område högst avsevärt och finns tillgängligt att utnyttja åtminstone under fredstida förhållanden. Uppskattningsvis kommer tidsfönstret för att inte utsättas för spaning med radar från rymden vara maximalt ca en till två timmar. För den grundläggande förmågan skydd kan detta få konsekvenser då risken för upptäckt av

⁷⁸ International Telecommunication Union, Final Acts WRC-15, World Radiocommunication Conference 2015. <http://www.itu.int/pub/R-ACT-WRC.12-2015>. (Besökt 2020-09-08).

förband ökar när man inte kan röra sig fritt i skydd av rådande molnförhållanden, mörker eller val av geografisk position långt in från nationsgränsen.

Signalspaning från rymden har tidigare inte gått att köpa kommersiellt, men tack vare trenderna inom rymdteknologi erbjuds nu denna tjänst av ett fåtal aktörer. Det är dock osäkert hur detta utvecklas till 2045. Tekniskt sett finns inga hinder men det kan bli politiskt svårt för kommersiella aktörer att fortsätta verka då signalspaning ofta ses som ett integritetskänsligt område av länderna de opererar från.

11.3.4 Rymdlägesbild (SSA)

Författare: Matti Nylund

Rymdlägesbild (Space Situational Awareness, SSA) innebär en lägesbild av rymdomänen och kan användas som beslutsstöd vid egen planering såväl som vid bedömning av andras förmåga. Med information om rymdläget går det exempelvis att planera för egen bildinhämtning, vilseledning men även eventuella telekrigsinsatser mot andra aktörers rymbaserade informationsinhämtning.

Rymdlägesbild står framför ett tekniskt paradigmskifte. Nu är det USA som tillhandahåller den stora majoriteten av rymdlägesbildstjänster. Även om den europeiska rymdorganisationen (ESA), den franska rymdmyndigheten (CNES), den tyska rymdorganisationen (DLR) och EU:s satellitcentrum (SatCen) bidrar med tjänster, är det USA som bidrar med majoriteten av de stora och viktiga tjänsterna. SSA-tjänsterna har utvecklats för en rimlig densitet av objekt i rymden och för ett begränsat antal satellitoperatörer som motsvarar dagens situation.

Ansvar för hanteringen av dessa tjänster är flyttad från försvars- till handelsdepartementet i USA. Det finns därmed större möjligheter för kommersiella företag att kunna skaffa sig en nisch i denna bransch. När antalet operatörer ökar och stora konstellationer skickas ut i redan belastade banor kommer de tekniska stödsystemen behöva förändras i grunden.

Även sensorer med annan huvudsaklig tillämpning än att upptäcka och mäta in objekt i rymden har börjat användas för SSA-inmätningar som komplement till deras normala användningsområde. Företag och organisationer erbjuder till exempel astronomiska teleskop, lasrar, RF-antennor och atmosfärsradar för SSA-inmätningar. Detta innebär inte bara ett utökat antal sensorer utan möjliggör även fusion av olika typer av sensordata vilket resulterar i en förbättrad noggrannhet och precision i banbestämningen av rymdobjekt.

Traditionellt hanterar CSpOC⁷⁹ hela kedjan från inmätning till kollisionvarning. I framtiden kommer sannolikt denna uppdelning att hanteras av olika aktörer. Det finns aktörer, organisationer och kommersiella företag som bara hanterar sensorer

⁷⁹ CSpOC, Combined Space Operations Center.

och levererar inmättningsdata till SSA-samfundet. Detta kan vara grupper som primärt använder sensorer för andra ändamål som astronomiska teleskop, atmosfärsforskningsradarsystem med mera. Andra aktörer kan istället specialisera sig på databehandling och SSA-tjänstehantering. SSA-tjänsten går mot en modulärt uppbyggd funktion där fler aktörer kan bidra och därmed snabba på teknikutvecklingen.

Med de nya sensorerna kommer antalet objekt som följs ökas med en magnitud, upp till 200 000 objekt. Det innebär att även förädlingen av data kommer att behövas förbättras. Sannolikt kommer endast möjliga kollisioner med avsevärt större sannolikhet för kollision att rapporteras till operatörerna för åtgärd jämfört med idag.

I samband med de stora framsteg som AI-teknologin tar i viktiga samhällsfunktioner påverkas även forskningen kring rymdlägesbild. Med AI-tekniker kan problemet angripas från ett beteendeperspektiv för att till exempel identifiera avvikande beteenden hos satelliter såsom tidigare nämnda manövreringar.

Det militära och civila intresset för rymdlägesbild är till stora delar gemensamt. Användningen av gemensamma sensorer för både civila och militära ändamål kommer därför vara en sannolik utveckling. Om sensorn är militär kan det däremot vara svårt att dela detaljerad information kring inmätningar vilka kan avslöja sensorprestanda från rådata. Därför är det möjligt att militär sensorinformation kommer att distribueras i en processad form. Det finns ett behov av att både dela med sig och att samla in egen SSA-data. Rymdnationer med stora investeringar i rymdinfrastruktur och beroenden av rymdbaserade tjänster vill säkerställa eget SSA-data utan att vara beroende av till exempel amerikanska CSPOC:s rymdobjektskatalog. Ambitionen varierar från att kunna verifiera att data som man mottagit är tillförlitligt till att kunna skapa en egen nationell katalog. Delning av SSA-data kommer möjligen göras globalt på lång sikt.

11.3.5 GNSS - satellitnavigeringssystem

Författare: Fredrik Marsten Eklöf

Global Navigation Satellite Systems, GNSS, är ett samlingsnamn på alla globala satellitbaserade positions- och navigationssystem. Idag finns tre fullt operativa system, det amerikanska GPS, det ryska GLONASS och det kinesiska BDS. Det europeiska Galileo är delvis operativt och förväntas nå full operativ förmåga 2021. Ur svenskt perspektiv är GPS och Galileo de viktigaste systemen för egen användning av GNSS.

Alla GNSS tillhandahåller dels öppna tjänster för kommersiell användning, till exempel Standard Precision Service (SPS) för GPS och Open service (OS) för Galileo, dels krypterade tjänster för ackrediterade användare till exempel Precise Precision Service (PPS) för GPS och Public Regulated Service (PRS) för Galileo.

Försvarsmakten är en ackrediterad användare av militär GPS som används operativt på ett flertal plattformar. Det finns tillämpningar som är beroende av GNSS för att erhålla avsedd verkan. Hotbilden (störning och vilseledning) mot det civila samhällets och Försvarsmaktens användning av GNSS är omfattande och ett flertal incidenter har skett.

USA genomför ett omfattande moderniseringsprogram som benämns GPS III där samtliga delar ingår. GPS III-programmet kommer att pågå minst fram till 2035 och stora resurser satsas. I den första delen av programmet ingår det 10 GPS III-satelliter varav två har skjutits upp under 2019 och resterande planeras skjutas upp fram till 2024. Under nästa steg av programmet kommer ytterligare 22 satelliter att utvecklas, benämnda GPS III-F (Follow on). En ny typ av antenn kommer att införas som kan rikta en antennlob mot ett område på jorden. Detta medför att den mottagna effekten kan höjas markant vilket kommer öka robustheten mot störning i motsvarande grad för de militära signalerna. Detta kallas Regional Military Protection (RMP). Ny teknik och förmågor kommer att införas stegvis för GPS III-F-programmet. Tre experimentsatelliter planeras där den första (NTS-3) kommer att skjutas upp under 2023. Syftet med NTS-satelliterna är att testa och utvärdera ny teknik för primärt förbättrad robusthet som därefter kan införas i GPS III-F-satelliterna eller senare.

EU kommer under perioden 2021 till 2027 att satsa 9,7 miljarder euro på utveckling och drift av Galileo-programmet. Forskningsinsatser från EU, ESA och medlemsstaterna kring Galileo tillkommer. Nästa generation av Galileo i perspektivet bortom 2030 är under utveckling, Galileo Second Generation (G2G). Inriktning är att Galileos tjänster avseende positionering, navigering och tid (PNT) ska utökas och förbättras med avseende på noggrannhet, tillgänglighet och robusthet.

BDS och GLONASS förväntas ha långsiktiga utvecklingsplaner men vad som ingår i dessa är inte känt. Men både Ryssland och Kina anser att respektive system utgör en vital del av deras kritiska infrastruktur och satsar omfattande resurser för drift och utveckling.

Utvecklingen av tekniker och sensorer för navigering är mycket omfattande och antalet tillämpningar bedöms öka, till exempel självkörande bilar och andra autonoma system.

Den sammanvägda utvecklingen av system och sensorer för navigeringstillämpningar medför att det kritiska beroendet av GNSS kan reduceras i perspektivet 2045 men det kräver en genomtänkt strategi och implementering.

Bedömningen är att GNSS i perspektivet 2045 kommer att fortsätta att vara en viktig del för att erhålla noggrann PNT för ett stort antal tillämpningar och som en av flera sensorer i ett robust navigeringssystem. Utvecklingen av GNSS kommer fortsätta även i detta långsiktiga perspektiv och ny teknik kan implementeras för att öka robustheten mot olika typer av hot för samtliga ingående delar (kontrollsegment, satelliter och mottagare).

11.3.6 Tidig förvarning (Early Warning, EW)

Satellitssystem för tidig förvarning har traditionellt varit inriktade på att upptäcka ett strategiskt kärnvapenhot, men detta har i samband med att nuvarande generation av system blivit operativa ändrats till att även omfatta globalt stöd på en operativ nivå. På grund av dess tidiga koppling mot kärnvapenhot är det endast USA och Ryssland (tidigare Sovjetunionen) som opererat denna typ av system. Satelliterna bygger i huvudsak på IR-sensorer för att upptäcka uppskjutningar av interkontinentala ballistiska missiler (ICBM). Idag används flera frekvensband inom IR-området vilket innebär att man kan upptäcka uppskjutningen och få information om vilket typ av missil det handlar om, banhastighet och bedömd nedslagsplats.

Den amerikanska konstellationen, SBIRS, håller nu på att ersättas av nästa generation tidig förvarningssatellit, OPIR, som planeras skjutas upp 2023. OPIR ska i likhet med SBIRS stödja med förvarning från strategisk till operativ nivå, och troligen även för vissa taktiska funktioner. I likhet med SBIRS kommer OPIR att placeras i både geostationär och högelliptiska banor. Enligt plan ska även en del av konstellationen ligga i en låg bana.⁸⁰

Ryssland håller på att växla generation av tidiga förvarningssatelliter, och den fjärde satelliten (EKS-4) i en planerad konstellation om sex satelliter sköts upp i maj 2020. De ryska satelliterna för tidig förvarning har alltid legat i högelliptiska banor vilket är fallet även för denna generation. Utöver förmåga att upptäcka uppskjutning ska dessa satelliter även ha förmåga att följa missilen samt skicka måldata till bekämpande enheter. Nyligen presenterade Ryssland och Kina också ett fördjupat strategiskt samarbete som bland annat omfattar utveckling av tidig förvarning mot ballistiska missiler.⁸¹

Det finns indikationer på att förmågan ändrar karaktär under perioden på grund av teknikutveckling inom andra områden. Hypersoniska vapen och ubåtsavfyrate missiler ger så pass kort tidig förvarning att den tid som idag anses krävas för att bedöma hot samt besluta om motåtgärd blir för kort.⁸² Det är däremot troligt att system med förmåga att upptäcka robotavfyrningar och ballistiska missiler kommer få större operativ och taktisk betydelse under perioden varför systemen kommer vara relevanta under perioden.

⁸⁰ Detta gällde även för SBIRS men detta segment blev aldrig operativt.

⁸¹ Russia-China Strategic Alliance Gets a New Boost with Missile Early Warning System, 2019-10-25, <https://thediplomat.com/2019/10/russia-china-strategic-alliance-gets-a-new-boost-with-missile-early-warning-system/>. (Besökt 2020-09-08).

⁸² USA överväger och forskar dock på möjligheten att implementera AI i beslutsprocesserna för att minska tidskravet.

11.4 Koppling till andra teknikområden som samverkar med eller är förutsättande för området

Det finns många kopplingar mellan rymdområdet och andra teknikområden. En förutsättning för att bedriva rymdverksamhet eller för att använda rymdtjänster och dess tillämpningar är ett mark- och användarsegment. Det behövs ett marksegment för drift av satelliterna, för att kontrollera dem och ta emot information om satellitens status. Det är även via marksegmentet man tar ner data från satelliterna. Marksegmentet är typiskt en eller flera fasta anläggningar. Användarsegmentet är ett samlingsbegrepp för den utrustning som nyttjas av användare, exempelvis GPS-mottagare eller kommunikationsutrustning.

Både cyber- och informationsdomänen är i hög grad integrerade med rymddomänen. Det innebär att cyberhot i hög grad kan påverka både rymdinfrastrukturen och dess mark-/användarsegment. Dagens rymdinfrastruktur, och i ännu högre utsträckning de stora konstellationer som är planerade, kommer ge möjlighet till snabb och global informationsspridning. På samma sätt som det ger en möjlighet att sprida demokratiska tankar kommer det också finnas möjlighet att sprida desinformation i demokratier.

I området mellan eller i överlappet mellan traditionellt luftrum och rymden finns förutsättningar för så kallade höghöjdsplattformar (High-altitude platform systems, HAPS) eller pseudosatelliter. Det handlar om obemannade system som är soldrivna och rör sig på höjder mellan satelliter och flyg. Till skillnad mot satelliter kan de kontinuerligt verka över ett visst område och stanna på den höjden i veckor och månader. De kan utgöra en plattform för både spaning, PNT-tjänster och kommunikation.

11.5 Beskrivning av hur teknikutvecklingen inom området kan påverka de grundläggande förmågorna ut till 2045

11.5.1 Potentiella militära tillämpningar

De militära användningsområdena för rymdbaserade system är många. I vissa avseenden nyttjas de för att stödja och förstärka redan existerande militära förmågor i övriga domäner. I andra avseenden nyttjas de för att skapa nya militära förmågor och möjliggöra operationer som annars inte skulle vara möjliga. Inom perioden är det också sannolikt att nästa steg blir att operationalisera militär rymd, det vill säga skapa dedikerade verkansprocesser för en dedikerad vapengren.

Rymddomänen kallas ibland för stridsfältets högsta punkt, en sorts ultimata high ground. I vissa fall ser man nu bortom låga jordbanor. Med hjälp av olika typer av sensorer för underrättelse, spaning och övervakning, kan man få global överblick. Rymdbaserade sensorer utför strategisk, operativ och taktisk spaning på global nivå och är ett spaningssystem som inte kränker nationsgränser. Under perioden kommer utvecklingen fortsätta mot högre upplösning framförallt för SAR-system. De optiska systemen börjar närma sig en gräns för vad som är praktiskt möjligt men multi- och hyperspektral information kommer att nyttjas allt mer. Högupplöst IR är en efterfrågad förmåga som ännu inte kommersialiserats. Med ökad tillgänglighet i form av fler aktörer som säljer tjänster och kortare ledtider är det troligt att rymdbaserade spanings- och övervakningssystem kommer fortsätta vara en viktig del i underrättelseprocessen. Sannolikt kommer nya tekniker för sensorfusion och nyttjande av AI få stor påverkan på hur man bedriver rymdbaserad spaning framöver.

Då Försvarmakten idag inte äger egna rymdsystem blir frågan om tillgänglighet på systemen viktig, vilket här innebär tillgång till system som är operativa med den funktionalitet som Försvarmakten har behov av men som man kontrakterar. Kan tillgängligheten garanteras för ett system som Försvarmakten inte har kontroll över och hur långt kan man förvänta sig att kontraktbundna åtaganden uppfylls i högre konfliktnivåer? Skiljer det sig mellan bilaterala eller kommersiella avtal? De flesta försvarsmakter nyttjar idag kommersiella rymdbaserade system, och detta kommer sannolikt öka under perioden. Dessa system har fungerat relativt väl i de lokala konflikter de nyttjats vid. Däremot är det oklart hur sårbara systemen egentligen är i en global konflikt, eller mot en kvalificerad motståndare. Denna typ av frågor är viktiga att ta med i riskanalysen för nya system och tjänster.

Tillgänglighetsfrågan blir högst relevant då de rymdbaserade systemen utgör en viktig del av ledningssystemen. I takt med att nya konstellationer för rymdbaserad datatrafik blir operativa kan priserna förväntas sjunka. Under perioden kommer det sannolikt bli ett ökat nyttjande av rymdbaserad datatrafik med system som är mer användarvänliga och till en lägre kostnad. Det är också sannolikt att framtida ledningssystem blir bärnätsagnostiska, det vill säga ledningssystemet bryr sig inte om datatrafiken går via satellit, fiberkabel eller kopparledning.

GPS och militär GPS kommer att vara det huvudsakliga systemet för PNT under första halvan av perioden. Även om Galileo inklusive den skyddade PRS-delen blir operativt tidigt i perioden är det i huvudsak ett civilt system med blåljusfunktion. PNT-systemen stödjer flera av de grundläggande förmågorna, från navigering till precision i verkan med indirekt eld. Troligtvis kommer PNT även understödja logistikfunktionen. Även om mycket utveckling görs för att systemet ska vara robust och störtlågt är det troligt att andra typer av navigering utvecklas under perioden för att begränsa det kritiska beroende som finns av GPS idag.

Den kanske viktigaste skyddsaspekten att hantera inom rymdområdet är att ha tillräcklig kunskap och förståelse för andra länders förmåga och doktrin samt vilka krav det ställer på när Sverige kan och bör utföra egen skyddsvärd verksamhet. Med en god kännedom om andra länders system kan man både begränsa andra nationers möjlighet att observera egen verksamhet samt genomföra verksamhet i syfte att vilseleda. Detta ställer inte bara underrättelsekrav om andra länders system utan det förutsätter även en väl utvecklad rymdlägesbild.

Skulle Försvarsmakten anskaffa egna system under perioden måste även frågan avhandlas om hur systemen ska skyddas och av vem. I dagsläget har inte ens den starkaste rymdnationen, USA, möjlighet att skydda sina tillgångar fysiskt utan man förlitar sig på avskräckning. Men här kan en förändrad retorik skönjas där flera länder talar om att skydda sina rymdplattformar på olika sätt. Ett alternativt sätt att se på saken är att det är förmågan som ska skyddas, inte plattformen. Då är det viktigare hur snabbt förmågan kan återställas efter att plattformen har påverkats av en motståndare.

11.5.2 Begränsande faktorer

De största begränsande faktorerna för att utnyttja de möjligheter som rymden erbjuder är huvudsakligen inte tekniska utan handlar om mjuka frågor såsom organisatoriska, regulatoriska eller kunskapsmässiga aspekter.

Det finns ett antal avtal och riktlinjer som reglerar och inriktar rymdverksamhet. Dessa avtal är i huvudsak framtagna inom ramen för FN. Grundbulten i dessa är att rymden är tillgänglig för alla, och att all rymdverksamhet ska kopplas till en statlig aktör. På senare år har det höjts röster om att det ursprungliga rymdavtalet bör omförhandlas, eller utökas och kompletteras med texter som är mer anpassade till dagens situation. USA och Luxemburg har stiftat lagar som omfattar gruvdrift i rymden vilket är en verksamhet som ännu inte sker, men som kan komma att bli verklighet under perioden. Flera andra aktörer skulle dock vilja se att den här typen av lagstiftning först behandlas inom FN innan de nationella lagarna skrivs. Det har dock varit svårt att komma framåt med nya riktlinjer inom FN varför eventuella nya uppförandekoder och rekommendationer troligtvis kommer att växa fram genom bi- och multilaterala avtal, exempelvis inom ledning av rymdtrafik (space traffic management).

I Sverige finns idag en bristande samordning på nationell nivå vad det gäller rymdsatsningar. Den nationella rymdstrategin som blev klar 2018 kan till del förbättra situationen men Rymdstyrelsen som ska koordinera arbetet har varken ekonomiska medel eller uppgifter som motsvarar strategins ambition. I många avseenden hamnar rymdfrågor mellan olika myndighetsstolar. Utöver detta finns det kunskapsluckor inom totalförsvaret både för hur man bättre kan nyttja de resurser som Sverige har tillgång till genom olika europeiska samarbeten, men också vilka risker som rymdtjänster ger upphov till. Framförallt avseende det

ökande beroendet av rymdbaserade tjänster som Sverige inte har kontroll över. Försvarsmyndigheterna och den försvarspolitiska ledningen måste ha en god kunskapsnivå och en medvetenhet om rymddomänens inverkan på och betydelse för framtida konflikter. Den största utmaningen blir att identifiera kunskapsluckorna samt att balansera kontroll och möjlighet till ett agilt agerande av olika myndigheter med expertkompetens.

Rymddomänen berör alla andra domäner, både på en säkerhetspolitisk och på en teknisk nivå. Det måste finnas kunskap om, och förståelse för, den teknik som de stora aktörerna satsar på för att kunna bedöma deras kapacitet och dess konsekvenser. Historiskt har det i Sverige funnits en låg medvetenhet och förståelse för den säkerhetspolitiska aspekten av rymdverksamhet. Utöver detta innebär svenskt medlemskap i EU, EDA, ESA och liknande organisationer att Sverige och Försvarsmakten behöver anpassa sig till dessa organisationers syn på hur nära förknippat rymdverksamhet och säkerhetspolitik är.

Under perioden kommer antalet operativa satelliter och skrotobjekt öka dramatiskt, vilket kommer att skapa utmaningar i hur man bedriver och koordinerar operationer i rymden, framförallt vad det gäller att undvika kollisioner. Exakt hur denna ledning av rymdtrafik ska ske, och av vem, är oklart. Det är en större politisk utmaning än teknisk. Frekvenstilldelning för nya system är idag reglerat inom FN-organet ITU. Det finns däremot farhågor om att framtida megakonstellationer och rymdbaserad kommunikation inom IoT kraftigt kommer öka risken för interferens. Det kommer också innebära förhöjda bakgrundsbrusnivåer vilket kommer ställa högre krav på radioutrustning att kunna verka i en störd miljö.

Olika typer av verkansmedel mot satelliter kommer att implementeras under perioden, såväl kinetiska och icke-kinetiska vapen som telekrig samt cyberattacker. Många av dessa tekniker kommer kunna användas mot såväl rymd som mark- och användarsegmentet. Det är också troligt att hot om användande av dessa kommer att bli vanligare. Utmaningen blir att ha kunskap om vilka konsekvenser detta leder till och vilka verkansmedel som skyddet ska prioriteras mot. En stor skillnad mellan kommersiella och militära system är den högre graden av skydd militära system har, framförallt avseende skydd mot störning och högre robusthet. De system, oftast kommersiella, som står till buds för mindre stater som Sverige kan visa sig inte ha den robusthet som krävs för att hantera avsiktliga eller oavsiktliga störningar. Detta gäller även informationssäkerhetsbrister samt mekanismer för att förhindra otillbörligt övertagande av satelliternas styrning och kontroll.

Indirekt krigföring, exempelvis genom uppköp av all kapacitet hos en tjänsteförmedlare eller i vissa fall förmedlaren i sig är också en risk att ta hänsyn till. Det finns redan idag exempel på när all kapacitet inom exempelvis satellitkommunikation eller bildalstrande satelliter köpts upp inför eller under en insats. Denna typ av förnekande av tillträde till rymden är ett större hot för mindre nationer som Sverige än för de större rymdnationerna.

Priserna för att utveckla, skjuta upp och operera rymdplattformar kommer med stor sannolikhet fortsätta att sjunka under perioden. I takt med att förståelsen för möjligheterna ökar och priserna sjunker ökar därmed möjligheterna att införskaffa egna system alternativt ingå i samarbetsprojekt med likasinnade.

11.5.2.1 Scenario post-space

Ett tänkbart scenario som kraftigt skulle påverka alla ovan beskrivningar är post-space-scenariot. Sannolikheten att det kommer att ske är låg till mycket låg, men konsekvensen är så pass stor att det måste till ett aktivt val att inte överväga effekterna. Scenariot utgår ifrån följande grundfakta och antaganden:

- Mängden satelliter och aktörer i rymden fortsätter öka i nuvarande takt, inkluderat de megakonstellationer som finns planerade.
- Den politiska vilja och samtalsklimat som krävs för att anta striktare regler för hur man begränsar rymdskrotsproblematiken saknas.
- En eller flera kollisioner sker i högre jordbanor vilket leder till en kaskad-effekt där skrot från en kollision ger upphov till fler kollisioner, den så kallade Kessler-effekten,⁸³ vilket i slutändan skapar ett skal av skrot runt jorden som är svårt att passera utan hög risk för kollision och förlorad satellit.

Till dessa antaganden kan man addera:

- En eller flera stater utför antisatellitester, eller förstör satelliter på annat sätt, i omloppsbanan på ett sådant sätt att skrotet inte återinträder.

I *post-space*-scenariot blir planeringsutgångsläget att Försvarsmakten inte har tillgång till rymdbaserade resurser på samma sätt som idag. Det kan gå att skjuta upp satelliter men det är hög risk att de kolliderar med skrot i omloppsbanan och därmed endast fungerar under kort tid. Hur bör man anpassa sina system för att kunna hantera detta scenario och vad går att göra för att minska dessa konsekvenser och samtidigt dra nytta av de möjligheter som erbjuds av rymdsystem idag. En viktig planeringsfråga är hur snabbt händelseförloppet skulle vara och vilka indikatorer som måste följas upp för att dämpa effekterna och påskynda övergången från dagens verksamhet till en *post-space*-verksamhet. Kunskapen idag är låg vad gäller bedömning av sannolikheten i scenariot, effekterna av det, samt vilka indikatorer som är relevanta att följa upp för att öka precisionen i sannolikhetsbedömningen.

⁸³ Vissa anser att Kessler-effekten startat redan idag. Det är dock en långsam effekt och en omloppsbanan och dess närliggande banor (inklination och höjd) blir inte obrukbar på några timmar.

11.6 Beskrivning av vilka aktörer som forskar eller utvecklar inom området, alternativt har system i tidsperioden

Rymdverksamhet bedrivs idag av ett stort antal aktörer från närmare 80 stater, där teknikutvecklingen drivs av både militära och civila aktörer. Rymden är ett område med dubbla användningsområden, det som utvecklas civilt kan ha en direkt militär nytta och tillämpning. Det är därför vanskligt att dela upp rymdverksamhet i civil och militär teknikutveckling. Det finns skillnader mellan civil och militär användning av satellitdata men det är ofta liknande eller samma teknik som används. I tidsperioden är det i huvudsak USA, Ryssland och Kina som dominerar utvecklingen utifrån militära intressen och militär förmågeutveckling i rymden. Fler och fler stater skickar upp militära satelliter. Idag har 24 stater militärt dedikerade satelliter, för tio år sen var det 15 stater. Stater med sina första militära satelliter som nyligen skjutits upp är exempelvis Colombia, Danmark och Qatar. Flera anpassar även doktriner för krigföring i rymden, exempelvis Indien, Frankrike och Australien. Det finns även en möjlighet att EU utvecklar militära satellitsystem inom tidsperioden.

De civila aktörerna är typiskt myndigheter, universitet/högskolor, forskningsinstitut eller företag. Även om USA dominerar så är det betydligt fler stater som har civila satelliter än som har militära satelliter. Idag är det 68 stater som har det, jämfört med 40 för tio år sedan. Här utmärker sig framförallt Kina, Ryssland, de europeiska länderna (inklusive EU och ESA), Japan, Indien och Kanada. Det stora skiftet som kommer ske inom de närmaste fem åren är att de kommersiella aktörerna kommer att dominera hela rymdsektorn i antal operativa satelliter. Idag står de för ca 40%, medan de övrigt civila står för ca 40% och de militära för ca 20%. Framförallt kommer nya kinesiska företag etablera sig inom rymdsektorn inom tidsperioden.

Under många år har det bara varit ett tiotal stater som har egna, i huvudsak statligt utvecklade och finansierade, bäraketprogram samt uppskjutningsplatser. Dominerande aktörer vad gäller antal hittills genomförda uppskjutningar är USA, Ryssland, Kina, Indien samt den mellanstatliga europeiska rymdorganisationen ESA, European Space Agency.⁸⁴ I och med att de kommersiella aktörerna blir fler även inom uppskjutningsindustrin, framförallt avseende mindre bäraketer, finns det en möjlighet att följande stater kommer ha bäraketer, dock i huvudsak i kommersiell regi, inom tidsperioden: Australien, Brasilien, Kanada, Norge,

⁸⁴ ESA har idag 22 medlemsländer. Notera att alla EU-länder inte är medlemmar i ESA och alla medlemsstater i ESA inte nödvändigtvis är EU-länder.

Singapore, Spanien, Storbritannien, Turkiet och Tyskland. Detta betyder inte nödvändigtvis att dessa länder kommer att ha egna uppskjutningsplatser.

11.7 Referenser

Challenges to security in space, Defense Intelligence Agency (DIA), januari 2019.

Counterspace Weapons 101, 2019-10-28,
<https://aerospace.csis.org/aerospace101/counterspace-weapons-101/>.
(Besökt 2020-09-08).

Global counterspace capabilities: an open source assessment, Secure World Foundation, april 2019, <https://swfound.org/counterspace/>.
(Besökt 2020-09-08).

Lindström, S. (red.), m.fl., (2017). Omvärldsanalys RYMD 2017 Med fokus på försvar och säkerhet, FOI, Stockholm. FOI-R--4517--SE.

The future of space 2060 and implications for U.S. Strategy: Report on the space futures workshop, Air Force Space Command, 5 september 2019,
<http://www.spaceref.com/news/viewsr.html?pid=52822>.
(Besökt 2020-09-08).

12 Hypersoniska system

Författare: Erik Berglund och Martin Hagström

12.1 Inledande beskrivning av området

Med hypersonisk hastighet avses hastigheter kring eller över fem gånger ljudhastigheten (Mach 5).

Hypersoniska farkoster har förekommit sedan rymdålderns inledning på 1940-talet. Den första hypersoniska farkosten var den tyska V-2-raketen från mitten av 1940-talet. Ett annat tidigt exempel är det amerikanska X-15, som var ett raketdrivet flygplan som flögs på 1960-talet och nådde farter om Mach 6,7 och höjder om 100 km.

Den vanligaste formen av framdrivning för höga hastigheter har varit raketmotorn. För X-15-flygplanet gav raketmotorn en hastighet om 2000 m/s och för Apollofärderna och andra rymdfarkoster har det handlat om hastigheter upp till 11000 m/s. I militära sammanhang är ballistiska robotar idag de enda egentliga exemplen på hypersoniska farkoster – samtliga drivna av raketmotorer.

Förhållandena vid flygning beror mycket starkt på farten som den aktuella farkosten flyger med. Vid överljudshastigheter bildas stötvågor som gör att aerodynamiken ändrar karaktär och vid hastigheter omkring fem gånger ljudhastigheten, det vill säga Mach 5 eller ungefär 1700 m/s, inträffar ett antal fenomen som gör att själva luften ändrar egenskaper.

Två stora problemområden vid flygning med hypersonisk hastighet är framdrivning och uppvärmning. Vid hypersoniska hastigheter upphör dagens luftförbrukande motorer (ramjet) att fungera och alla hypersoniska farkoster fram till för några år sedan har därför varit utrustade med raketmotorer.

12.2 Övergripande trender samt exempel på teknik och system ut mot 2045

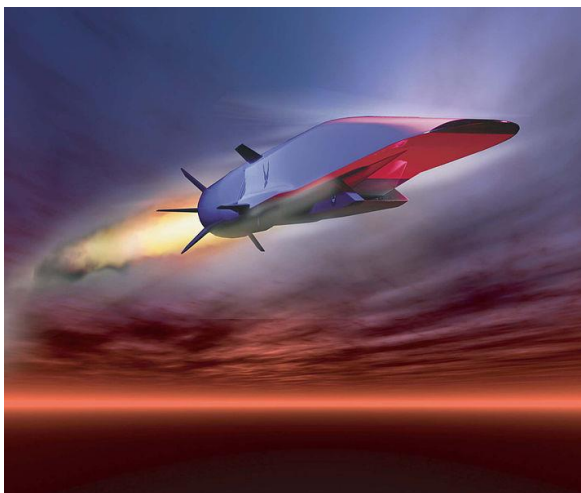
Intresset för flygfarkoster med höga hastigheter har länge varit stort. Det finns åtminstone två drivkrafter bakom utvecklingen av hypersoniska farkoster. En uppenbar anledning är att minska tiden från start till mål, vilket är intressant både för militära ändamål och för passagerarflyg. En annan anledning för militära ändamål är att minska möjligheterna för motståndarens luftförsvar att ingripa mot farkosten.

Ett sätt att beskriva de olika hypersoniska farkoster som finns eller håller på att utvecklas är att dela in dem i tre typer: glidfarkoster; kryssningsrobotar; och semiballistiska robotar.



Figur 6. Skiss av glidfarkosten i Darpas projekt Falcon (Darpa: Public domain).

Hypersoniska glidfarkoster (HGV) avfyras med konventionella raketsteg, som en traditionell interkontinental ballistisk robot (ICBM). De är pilformade och glider på den tryckvåg som skapas framför farkosten och kan även studsas på atmosfären. För att styra på mycket höga höjder används reaktionsjet.



Figur 7. Skiss av den amerikanska scramjetdrivna experimentfarkosten X-51 Waverider (Public Domain, PD-USGov-Military-Air Force).

Hypersoniska kryssningsrobotar (HCM) har en luftandande framdrivning. Scramjet (supersonic ramjet) är idag den teknik som är realiserbar, men detonationsmotorer kan vara en framtida teknik. De startas med ett raketsteg och kan släppas från en luftburen plattform. De använder typiskt aerodynamisk styrning och färdas troligen i den övre delen av atmosfären, de behöver syre för motorn men de höga hastigheterna gör att uppvärmningen blir för stor vid lägre höjd.

De hypersoniska robotar som finns operativa idag, förutom interkontinentala ballistiska robotar, är semiballistiska robotar, det vill säga ballistiska robotar med någon form av utökad styrförmåga. De ryska robotarna Iskander-M och den flygburna varianten Kinzjal är exempel på de senare. Iskander-M är en semiballistisk robot med hög flyghöjd. Toppfarten ligger över Mach 5. Kinzjal provsköts 2018 från en MiG-31. Topp hastigheten anges till mellan Mach 7 och Mach 10.



Figur 8. Den ryska roboten Kinzjal (Källa: www.kremlin.ru).

Den senaste tidens tekniska framsteg inom framdrivningsområdet, som baseras på såväl komplexa datorsimuleringar av hypersonisk strömning och tillhörande förbränningsförlopp som experiment, har lett till att fler hypersoniska vapen och andra farkoster har kommit närmare en realisering.

Hypersoniska kryssningsrobotar kommer sannolikt att tas i tjänst under de närmaste decennierna. Såväl bemannade som obemannade flygplan kan tas i tjänst strax efter 2030. Exempelvis är ett nytt hypersoniskt strategiskt spaningsflygplan, SR-72, under utveckling vid Lockheed Martin och beräknas flyga som prototyp under 2025 för att tas i tjänst efter 2030.

Utvecklingen fram till 2045 kommer troligen att innehålla flera typer av hypersoniska vapen mot mark-, sjö- och luftmål. Såväl bemannade som obemannade flygplan med hypersoniska hastigheter kan också tas i tjänst under 2030-talet för att 2045 vara ett etablerat inslag i stridskrafterna.

12.3 Koppling till andra teknikområden som samverkar med eller är förutsättande för området

Framdrivning är det viktigaste teknikområdet för att uppnå hypersoniska hastigheter. Det finns flera möjliga motortekniker för att åstadkomma detta.

Raketmotorer använder inte syret i luften för förbränningen, vilket innebär att de har hög dragkraft oberoende av omgivande luft, men också att de måste bära med sig både bränsle och oxidator.

En effektivare form av motor är ramjet, som använder luftens syre till förbränningen. I en ramjet bromsas luften upp så att förbränningen sker i underljudshastighet inne i brännkammaren. Uppbromsningen av luften ger dock förluster, vilket begränsar den maximala hastigheten till omkring Mach 4. Ramjet används bland annat i jaktroboten Meteor, som nyligen introducerats till JAS 39.

För att nå högre hastigheter kan scramjet användas. I scramjet bromsas luften inte upp lika mycket och förbränningen sker i en gasblandning som strömmar i överljudsfart. Idéer om scramjet har funnits i många år, men har varit svåra att realisera. Detta då förbränningsförloppen i överljudsströmning är mycket komplicerade och instabila, varför utvecklingen inom avancerad beräkningsfysik kopplad till experiment har varit helt nödvändig för att ge tillräcklig insikt i problematiken.

Under de senaste decennierna har ett antal experimentfarkoster med scramjet flugits. Den första lyckade flygningen gjordes 2002 i Australien av en grupp ledd av University of Queensland. Deras HyShot flög under 6 sekunder i en hastighet om Mach 7,6.

X-43 var ett litet obemannat amerikanskt flygplan med scramjet med vätgas som bränsle. X-43 flög 2004 och satte då ett nytt hastighetsrekord för flygfarkoster om Mach 9,6 eller 11000 km/h. Nästa amerikanska experimentflygplan använde scramjet med vanligt flygbränsle. X-51 gjorde sin första lyckade flygning 2013 och nådde då Mach 5 under 210 sekunder.

Scramjettekniken anses nu vara tillräckligt utvecklad för att utnyttjas i robotar. Idag bedrivs utveckling av hypersoniska attackrobotar i åtminstone USA, Ryssland och Indien samt troligen i Kina.

Den amerikanska Hypersonic Conventional Strike Weapon (HCSW) bygger troligen på X-51. HCSW ska kunna bäras internt av F-35 och B-2 och ha en hastighet som överstiger Mach 5. Air-Launched Rapid Response Weapon (ARRW) verkar dock vara en farkost med stark raketmotor och en stridsdel som glidflyger.

Hittills har alla scramjetdrivna farkoster använt raketmotor för att nå tillräcklig starthastighet, det vill säga omkring Mach 5. För en robot är detta fullkomligt acceptabelt, men för bemannade eller obemannade flygplan vore det önskvärt med en motor som kunde ändra sin funktion för att möjliggöra såväl start och landning som hög marschhastighet på hög höjd.

Forskningen kring scramjet är idag inriktad mot att dels öka tillförlitlighet och prestanda, dels ta fram motorer som kan möjliggöra en hel flygning med start och landning.

Ett alternativ till scramjet är detonationsmotorer. I alla befintliga förbränningsmotorer sker förbränningen relativt långsamt i form av deflagration⁸⁵, men i en detonationsmotor sker förbränningen mycket snabbt i form av en detonation. Under detonationen hinner gaserna inte expandera, vilket gör att förbränningen sker under högt tryck och hög termodynamisk effektivitet. Att gå från effektiv förbränning till en effektiv motor har dock visat sig vara svårt.

Pulsdetonationsmotorn (PDE) delar grundläggande idé med den enkla pulsjetmotorn som fanns på V-1, den första jetdrivna kryssningsroboten. En första flygning med ett obemannat flygplan med PDE gjordes 2008.

En annan typ av detonationsmotor använder roterande eller kontinuerlig detonation. Den tekniken finns idag i simuleringar och laboratorier, men den skulle kunna ge motorer med hög effektivitet över stora hastighetsområden. Det rapporteras om genombrott i utvecklingen och från att ha demonstrerat fenomenet i några sekunder finns nu laboratorieexperiment där man demonstrerat en kontinuerlig detonation under flera minuter.

Viktiga forskningsområden för framdrivning för hypersoniska hastigheter är framförallt beräkningsfysik i kombination med experiment, men även materialteknik och sensorteknik för höga temperaturer är viktiga områden.

12.4 Beskrivning av hur teknikutvecklingen inom området kan påverka de grundläggande förmågorna ut till 2045

12.4.1 Potentiella militära tillämpningar

Den militära effekten av hypersoniska system kan vara mycket stor. Hypersoniska farkoster med lång räckvidd skulle kunna nå alla punkter på jorden inom någon eller några timmar. Hypersoniska attackrobotar skulle vara mycket svåra att

⁸⁵ Deflagration sker när reaktionszonen i ett explosivämne (till exempel krut) breder ut sig i ämnet med mindre än ljudets hastighet. (Wikipedia)

motverka med luftförvarssystem och hypersoniska luftmålsrobotar skulle vara en mycket stor fördel i luftstrid eftersom de skulle vara svåra att fly undan ifrån.

Semiballistiska robotar och hypersoniska glidfarkoster flyger på höjder där dagens luftförvar har svårt att verka. Exempelvis är det amerikanska THAAD avsett att motverka större ballistiska robotar på höjder över 50 km, och traditionellt luftvärn, även med längre räckvidder, sträcker sig typiskt upp till 20-30 km. Hot med flygbanor på mellan 40 och 50 km kan vara svårare att motverka och kräva nya skyddssystem. Detta kan komma att kräva utveckling av nya sensorsystem med förmåga att detektera farkoster på höjderna mellan 40 och 50 km i tid. Samtidigt kommer det krävas nya typer av motmedel. Darpa har ett forskningsprogram kallat Glide Breaker som syftar till att utveckla grunderna till ett motmedel, en Hypersonic defense interceptor.



Figur 9. Skiss över de tänkta motmedlen i Darpas projekt Glide breaker. Källa Darpa.

Ur ett verkansperspektiv ger de höga hastigheterna emellertid inte någon självklar fördel. Verkansdelen i en robot utformas efter måltypen och en hög anflygningshastighet gör det svårt att utveckla vissa typer av stridsdelar, till exempel om effekten ska vara yttäckande.

Ur ett skyddsperspektiv kan man resonera kring att dessa farkoster, om de utrustas med konventionella stridsdelar, är ämnade att träffa högvärdiga mål med hög precision vilket är möjligt om navigeringssystemen också utvecklas. För dessa högvärdiga mål, med positioner kända av både angripare och mottagare, kan särskilda skydd utvecklas som kan ha god, men mycket lokal, skyddsförmåga.

12.4.2 Begränsande faktorer

Uppvärmning är ett centralt problemområde för hypersoniska farkoster. Vid all flygning ger luftmotståndet upphov till uppvärmning, men vid hypersoniska hastigheter blir uppvärmningen mycket kraftig. Apollokapslarna hanterade uppvärmningen med en värmesköld som förgasades och därigenom tog upp och förde bort värmen. Rymdskytteln hade isolerande keramikplattor för att skydda mot värmen. Spaningsplanet SR-71 som utvecklades på 1960-talet flög i det här sammanhanget endast i drygt Mach 3, men cirkulerade bränsle för att kyla ner cockpit och andra utsatta ytor.

Hypersoniska farkoster måste byggas i värmeståliga material och klara den strukturella hållfastheten. Därtill kommer problematiken med att de olika systemen ombord måste kunna hantera värmen. Detta gäller inte minst olika sensorer som till exempel robotmålsökare.

12.5 Beskrivning av vilka aktörer som forskar eller utvecklar inom området, alternativt har system i tidsperioden

Utvecklingen av hypersoniska vapen har accelererat och blivit betydligt mer intensiv än vad som förutsågs för bara ett decennium sedan. USA drog ner på utvecklingsprogrammen runt 2010 samtidigt som Ryssland och Kina intensifierade sina. USA har inte längre samma uppenbara stora teknologiska försprång och har därför åter stärkt forskningen och utvecklingen inom området. Den amerikanska kongressen har till och med antagit en lag som kräver att hypersoniska vapen ska vara operativa senast i oktober 2022. Tydliga resultat av detta är två olika program med Lockheed-Martin som leverantör. Det första är Air-Launched Rapid Response Weapon (ARRW), som redan har fått en vapenbeteckning (AGM-183) och som provflögs i ett test på en B-52 i juni 2019, mindre än ett år efter beställningen. ARRW är en relativt stor robot och toppfarten anges till Mach 20. Den andra är Hypersonic Conventional Strike Weapon (HCSW), som anges ha en toppfart om Mach 5.

I Ryssland utvecklas bland annat sjömålsroboten Zirkon som det finns mycket begränsad information om. Det har rapporterats om att provskjutningar har genomförts och att hastigheten Mach 8 har nåtts. Den rysk-indiska BrahMos II anses vara en exportversion av Zirkon med kortare räckvidd. Det är oklart om försök genomförts med BrahMos II som var planerad att flyga under 2017 och ska ha en toppfart om Mach 7 och en räckvidd om 290 km. Även Kina har flera utvecklingsprogram av manövrerande hypersoniska robotar.

12.6 Referenser

‘Best New Year’s gift to Russia’: Putin boasts successful test of Avangard hypersonic glider, 2018-12-26, <https://www.rt.com/russia/447441-avangard-hypersonic-glider-test/>. (Besökt 2020-09-08).

Critical Technologies for Hypersonic Vehicle Development, NATO RTO-EN-AVT-116, December 2006.

Karnozov, V., Russian Kh-47M2 Kinzhal hypersonic missile is a modified Iskander-M, <https://thaimilitaryandasianregion.blogspot.com/2018/03/russian-kinzhal-hypersonic-missile-is.html>. (Besökt 2020-09-08).

“Lockheed Martin Wins Hypersonic Plane Research Contract worth \$147 Million”, *International Business Times*, 2016-09-20.

Musielak, D.E. & Saracoglu, B.H., *Soaring at Hypersonic Speeds – 2015 Status of High Speed Air Breathing Propulsion*, AIAA HSABP, December 2015.

Panday, K.M. & Debnath, P., *Review on Recent Advances in Pulse Detonation Engines*, *Journal of Combustion* Volume 2016, 2016.

Russia 'test-fires hypersonic Kinzhal missile', BBC, 2018-03-11, <https://www.bbc.com/news/world-europe-43362213>. (Besökt 2020-09-08).

Smith, R. J., Hypersonic Missiles Are Unstoppable. And They’re Starting a New Global Arms Race, *The New York Times Magazine*, 2019-06-19, <https://www.nytimes.com/2019/06/19/magazine/hypersonic-missiles.html>. (Besökt 2020-09-08)

“Tactical Boost Glide (TBG)”, DARPA, <http://www.darpa.mil/program/tactical-boost-glide>. (Besökt 2020-09-16).

Zhen, L., China’s hypersonic aircraft, Starry Sky-2, could be used to carry nuclear missiles at six times the speed of sound, 2018-08-06, <https://www.scmp.com/news/china/diplomacy-defence/article/2158524/chinas-hypersonic-aircraft-starry-sky-2-could-be-used>. (Besökt 2020-09-08).

Macias, A., Russia again successfully tests ship-based hypersonic missile – which will likely be ready for combat by 2022, 2018-12-20, <https://www.cnn.com/2018/12/20/russia-tests-hypersonic-missile-that-could-be-ready-for-war-by-2022.html>. (Besökt 2020-09-26).

13 Kärnvapen

Författare: Mattias Waldenvik

13.1 Inledande beskrivning av området

Under fördraget om ickespridning av kärnvapen (Non-proliferation treaty), i dagligt tal ofta benämnt NPT, tillåts endast fem stater i världen ha kärnvapen. Dessa *de jure* kärnvapenstater är USA, Ryssland, Storbritannien, Frankrike och Kina. Övriga stater med kärnvapen står utanför fördraget om ickespridning och dessa *de facto* kärnvapenstater är Indien, Pakistan, Israel och Nordkorea.

I detta avsnitt om teknikutveckling inom kärnvapenområdet begränsar vi oss till de kärnvapenstater vars innehav av kärnvapen påverkar Sverige och vårt närområde, det vill säga framför allt Ryssland men även USA samt i förlängningen de kärnvapen som disponeras av Nato. Ur ett teknikperspektiv är det ingen större begränsning då den övervägande delen av ny teknikutveckling sker i någon av dessa stater, möjligen undantaget Kina.

Både Ryssland och USA har strategiska kärnvapen organiserade i triader, det vill säga kärnvapen på interkontinentala landbaserade robotar, interkontinentala ubåtsbaserade robotar och strategiskt bombflyg. Denna klass av kärnvapen är för USA och Ryssland föremål för rustningskontroll enligt avtalet Nya start. Avtalet kan i det här fallet tjäna som definition av begreppet strategiska kärnvapen. USA har ett fåtal substrategiska⁸⁶ kärnvapen, samtliga flygburna och några av dessa disponeras av Nato och är utplacerade i Europa. Ryssland har både en större numerär av substrategiska kärnvapen och fler typer av vapenbärare och plattformar.

Den teknikutveckling som sker i Indien och Pakistan påverkar förvisso styrkeförhållandet mellan dessa båda stater men ur ett tekniskt perspektiv rör sig utvecklingen framför allt om att parterna bemästrar och implementerar teknik som redan finns i de mer etablerade kärnvapenstaterna.

Det är svårt att diskutera förutsättningarna för teknisk utveckling av kärnvapen utan att beröra frågan om kärnvapenprov. Det fullständiga provstoppsavtalet (Comprehensive Test Ban Treaty, CTBT) har inte trätt i kraft då detta förutsätter att ett utvalt antal stater har undertecknat och ratificerat avtalet, vilket ännu inte har skett och utsikterna för att detta skall ske är dystra. Avtalet fungerar dock ändå idag som ett *de facto* avtal, mycket på grund av det världsomspännande nätverk med sensorer för detektion av kärnvapenprov som organisationen CTBTO byggt

⁸⁶ Med substrategiska kärnvapen avses här alla kärnvapen som inte är strategiska, det vill säga alla kärnvapen som inte är föremål för rustningskontroll under Nya start. Det otydliga begreppet *taktiska kärnvapen* används inte i detta avsnitt.

upp under de senaste decennierna. Vilken roll kärnvapenprov har för teknikutveckling inom området diskuteras nedan.

En annan aspekt av området kärnvapen som är värd att uppmärksamma är att det till syvende og sist handlar om avskräckning på både strategisk och substrategisk nivå varför kärnvapenområdet är intimt sammanvävt med andra teknikområden men även med utvecklingen inom säkerhetspolitik och folkrätt. Till sist är det av vikt att betona att avskräckning som koncept inte betyder att kärnvapen inte kommer att faktiskt användas i en väpnad konflikt.

13.2 Övergripande trender samt exempel på teknik och system ut mot 2045

Vad innebär teknikutveckling av kärnvapen? Innan vi försöker svara på den frågan kan det vara värt att kort rekapitulera hur de berörda parterna gör för att vidmakthålla de befintliga arsenalerna i skenet av det de facto provstopp som nämnts tidigare i texten.

Ett kärnvapen, vare sig det är en stridsspets till en interkontinental ballistisk robot eller en frifallsbomb, består i grova drag av en kärnladdning och kompletterande komponenter. Kärnladdningen i sin tur innehåller alltid en så kallad primärladdning där explosivämne komprimerar höganrikat uran eller plutonium av vapenkvalitet så att en kedjereaktion av kärnklyvningar, fissioner, på kort tid frigör en mycket stor mängd energi. I vissa fall finns även en sekundär laddning⁸⁷ med material som om det utsätts för mycket höga temperaturer och tryck kan bringas att fusionera, det vill säga en sammanslagning av lätta kärnor, vilket i sin tur genererar än större energi än primärladdningen allena. De höga temperaturer och det höga tryck som krävs för att åstadkomma fusion kan med dagens teknologi bara realiseras av en primärladdning.

Utmaningen för kärnvapenstaterna har sedan 1990-talet, då de senaste⁸⁸ kärnvapenproven genomfördes, varit att vidmakthålla arsenalerna utan att provspränga. Provsprängningar kan ha många syften, till exempel studier av verkan, säkerhetsaspekter, sårbarhet etc. men också verifiera att en komponent eller hela laddningen fungerar som den är avsedd att fungera. Det skall dock noteras att redan 1945 ansåg man från amerikanskt håll att det finns konstruktioner som är så principiellt enkla att det inte behövs något prov för att verifiera att en kärnexplosion kommer att ske. Vi behöver alltså skilja på kärnvapenprovets betydelse för horisontell spridning, spridning till nya aktörer, och den vertikala spridning

⁸⁷ Kärnladdningar med en sekundär laddning benämns ofta termonukleära laddningar eller, mer populärt, vätebomber.

⁸⁸ Med *senaste* avses här prov genomförda av etablerade kärnvapenstater. Indien och Pakistan provsprängde 1998 och Nordkorea har provsprängt vid flera tillfällen under 2000-talet.

som diskuteras här där utvecklingen av kärnvapen hos en etablerad kärnvapenstat avses.

USA har valt att vidmakthålla den faktiska arsenalen utan att bygga några nya laddningar. Istället har man valt att satsa på underhåll och viss modernisering av komponenter och att skaffa sig en detaljerad fysikalisk förståelse för olika relevanta processer. Till det senare hör detaljerade modeller av hur viktiga material, som till exempel plutonium, beter sig under de höga temperaturer och tryck som förekommer i detonationsförloppet. Den typen av detaljerad materialdata är absolut nödvändig för att med hjälp av datorkraft kunna ersätta kärnvapenprov med numeriska beräkningar. Däremot saknar USA idag kapacitet att på industriell skala nytillverka komponenter av plutonium.

Ryssland har istället valt att behålla sin industriella infrastruktur för tillverkning av komponenter och själva kärnladdningarna. I det här sammanhanget förekommer ofta liknelser med gamla bilar. I USA gör man service på sin gamla bil, byter regelbundet olja, laddar batteriet och med hjälp av avancerade beräkningar med komplicerade materialdata förstår man i detalj hur en packning åldras. Ryssland har kvar sin gamla bilfabrik och kan regelbundet bygga nya bilar, om än baserat på gamla ritningar. Möjligheterna finns till små förbättringar, en högre toppfart genom att sätta in en starkare motor i ett lättare chassi, men i huvudsak är det gamla beprövade konstruktioner.

Den övergripande trenden för teknikutveckling av kärnladdningar *per se* är alltså beroende på status och utveckling av den industriella infrastrukturen för tillverkning av komponenter och kärnladdningar, och huruvida ett *de facto* provstoppsavtal fortsätter att respekteras. Med det sagt kan man inte förvänta sig några revolutionerande förändringar i den faktiska förmågan baserat på kärnladdningens utveckling med dagens fysikaliska principer. Förmågeökningar framgent kommer istället framförallt från bland annat vapenbärare, plattformar, ledningssystem och logistik.

Det är värt att betona att utvecklingsprojekt inom kärnvapenområdet i allmänhet löper över lång tid, upp till och längre än ett decennium. Mycket av denna utveckling sker i det fördolda varför utvecklingen är svår att följa. Det sagt, när ett vapensystem som tillför en ny förmåga offentliggörs, som till exempel de vapensystem (Woolf 2019b) som Rysslands president Putin presenterade i ett tal vårvintern 2018, rör det sig om utvecklingsprojekt som initierades i början av seklet eller tidigare på bevekelsegrunder som uppenbarligen fanns redan då.

13.3 Beskrivning av utveckling av specifika delområden/teknologier i tidshorizonten

Det är möjligt, om inte annat för att klargöra resonemangen i denna text, att dela upp framtida utveckling i några olika kategorier baserat på vad avsikten bedöms vara och vilken förmåga som utvecklingen representerar. Från rysk sida förefaller den främsta drivkraften för förmågutveckling vara olika metoder för att hantera motståndarens robotförsvar för att i förlängningen även framgent kunna upprätthålla en strategisk avskräckning.

Den första kategorin avser grunden för strategisk avskräckning, det vill säga den ovan nämnda triaden. Både Ryssland och USA befinner sig i ett skede av modernisering där en äldre generation vapenbärare och plattformar är i slutet av sin tekniska livstid och därmed behöver ersättas. Ett exempel på detta är den ryska roboten Sarmat som skall ersätta det åldrande robotsystemet SS-18. Sarmat förefaller vara helt och hållet utvecklad och tillverkad i Ryssland vilket utöver allt annat medför att ett beroende av ukrainsk teknologi som funnits kvar sedan Sovjetunionen inte längre föreligger. Den modernisering som sker bedöms av vad som är offentligt känt framför allt avse arsenalens effektivitet snarare är faktisk verkan i det tilltänkta målet. Ett annat exempel är den amerikanska stridsspetsen W76 som beväpnar ubåtsbaserade ballistiska robotar och togs in i arsenalen 1978. Stridsspetsen har livstidsförlängts och det påstås att initieringsmekanismen förbättrats (se till exempel Kristensen, McKinzie, and Postol 2017) så att stridsspetsen fått en kraftigt ökad förmåga till att bekämpa hårda mål. Kärnladdningen är i princip densamma men den kringutrustning i stridsspetsen som avgör när och var stridsspetsen bringas att detonera har förbättrats så att stridsspetsens precision kan nyttjas mer effektivt och det är möjligt att stridsspetsen därmed även kan användas effektivt mot hårdgjorda mål. Denna typ av modernisering av styrsystem i kombination med ökad precision hos vapenbärare kommer sannolikt att tillföra förmågor till de strategiska arsenalerna utan att stridsspetsarnas kärnladdningar förändras väsentligt.

Olika metoder för att skydda den strategiska avskräckningen från robotförsvar kan förväntas i de strategiska arsenalerna och då framför allt i den ryska. Tänkbara metoder för att åstadkomma detta är manövrerande inträdesfarkoster, skenmål av olika slag och variationer i robotarnas flygprofiler.

En radikalare variation av flygprofiler representeras av de ryska systemen Burevestnik och Poseidon (Woolf 2019b) som är en kryssningsrobot respektive en torped med nukleär framdrift avsedda att bära kärnstridsspetsar. Den nukleära framdriften ger dessa plattformar en i praktiken oändlig räckvidd vilket gör att de kan närma sig målet med den flygprofil som minimerar exponeringen mot luftförsvar eller, för torpeden, under vattnet. Dessa system bedöms vara mest lämpade för andraslagsförmåga, den förmåga att vedergälla ett strategiskt anfall

som utgör en vital del av den strategiska avskräckningen. Tanken här är möjligen att verkan av ett effektivt robotförsvar mot den normala triaden inte skall urholka den strategiska avskräckningen eftersom dessa mycket långräckviddiga vapensystem kommer att garantera andraslagsförmågan.

Varken Burevestnik eller Poseidon bedöms vara färdigutvecklade idag. I vilken utsträckning de kommer att realiseras i den aktiva arsenalen är sannolikt inte en teknisk fråga, de tekniska problemen som föreligger bedöms möjliga att övervinna med tiden. Eventuell framtida rustningskontroll och i vilken mån den kommer att inbegripa denna klass av vapensystem, så väl som robotförsvar, kommer bedömt ha en större inverkan på framtidens arsenaler.

Två andra nya vapensystem från Ryssland (Woolf 2019b) är den flygburna ballistiska roboten Kinzjal och en hypersonisk glidfarkost baserad på en strategisk interkontinental ballistisk robot. Mycket lite är känt om vilket syfte utvecklingen av dessa vapensystem har. Tillgången på bärarflygplan till Kinzjal och, än mer, den begränsade tillgången på roboten SS-19, som förefaller vara den tilltänkta bäraren till den hypersoniska glidfarkosten, gör gällande att de är avsedda för ett mindre antal specifika mål. Med tanke på att penetrering av robotförsvar förefaller vara en dimensionerande målsättning från rysk sida är det inte otänkbart att de specifika målen är antingen robotbaser eller sensorer. Det slutgiltiga syftet skulle alltså återigen vara den strategiska avskräckningen men istället för att tillföra andraslagsförmåga är det troligt att dessa vapensystem istället riktas mot robotförsvaret i sig.

För att sammanfatta detta avsnitt så här långt, och återknyta det till en prognos in i framtiden snarare än en uppdatering av läget idag, så sker utvecklingen inom området kärnvapen endast i begränsad omfattning för kärnvapnet i sig utan den utveckling som tillför nya förmågor avser nya bärare och plattformar samt stridsspetsarnas stödsystem. Drivkrafterna för den strategiska utvecklingen i syfte att garantera strategisk avskräckning är för rysk del förmågan att förstöra, penetrera eller undvika robotförsvar.

För substrategiska vapensystem, definitionsmässigt kärnvapen som inte omfattas av rustningskontrollavtalet Nya start, handlar utvecklingen om längre räckvidder, ökad precision och högre fart. Det är återigen vapenbärare, och i viss mån plattformar, som står för nya eller förbättrade förmågor. Syftet med substrategiska kärnvapen är avskräckning i en lokal eller regional konflikt. Det är värt att poängtera att avskräckning i en regional kontext inte innebär att kärnvapen inte kommer att användas. Det är snarare så att avskräckning skulle vara mest effektiv genom att ett eller ett fåtal kärnvapen faktiskt kommer till användning i något kritiskt skede av en konflikt.

Behovet av substrategisk avskräckning kan illustreras av att man från amerikansk sida dragit slutsatsen att man saknar förmåga i det avseendet och därför funnit det

nödvändigt att i väntan på att ett lämpligt vapensystem tagits fram, modifiera en version av den ovan nämnda ubåtsbaserade stridsspetsen W76 till en version med relativt låg laddningsstyrka, se Woolf (2019a).

Som nämnts ovan behövs det en primär kärnladdning för att uppnå de höga temperaturer och tryck som krävs för att detonera den sekundära kärnladdningen. En metod för att detonera den sekundära kärnladdningen utan en primär skulle medföra att den flaskhals som föreligger för spridning till nya aktörer, de kostsamma och komplicerade metoderna för framställningen av höganrikat uran eller vapenplutonium, inte längre föreligger samt att det radioaktiva nedfall som till övervägande del härrör från primärladdningen kan undvikas.

En metod för att åstadkomma detta har till och med en egen wikipediasida med titeln Hafnium controversy. Metoden baseras på en så kallad nukleär isomer av hafnium och tanken är att med hjälp av denna kunna tillverka en mycket energetisk röntgenkälla. Metoden avfärdas dock i den för författaren kända litteraturen. För att citera Hartouni et al. (2008), "While additional research in the nuclear physics of isomers would be a worthy academic endeavor, the usefulness of this research for a practical energy source is doubtful". Se också Lewis (1997).

13.4 Koppling till andra teknikområden som samverkar med eller är förutsättande för området

Kopplingen till vapenbärare, framför allt robotar av alla möjliga slag, är uppenbar. Längre räckvidd, högre precision och högre farter för att öka sannolikheten för en framgångsrik bekämpning av målet, med eller utan kärnladdningar i stridsspetsen.

Ett effektivt robotförsvar är beroende av sensorer, både i rymden och på marken, och ett effektivt ledningssystem som länkar samman upptäckt, målföljning och bekämpning. Prestandan hos dessa system är drivande för utvecklingen av olika metoder för att bekämpa alla delar av robotförsvaret idag och kommer sannolikt vara det långt in i framtiden.

Beroendet av sensorer i rymden för dels robotförsvar, dels upptäckt och följning av mål på marken inför bekämpning med långräckviddiga vapensystem gör att den övergripande frågan om trovärdig avskräckning beror av utvecklingen i rymdsektorn.

Långräckviddig precisionsbekämpning, särskilt i större skala, krymper motståndarens beslutscykel och ställer större krav på robusta och tillförlitliga system för förvarning och ledning av kärnvapenstyrkorna. Mycket lite är öppet känt om hur dessa system egentligen är beskaffade. Förmågor hos plattformar och vapenbärare är dock av mindre nytta om de inte kan ledas på ett effektivt sätt.

Utöver de ämnesområden som tangerar teknikutvecklingen för kärnvapen beror påverkan av densamma av graden av rustningskontroll. Ett aktuellt exempel är INF-avtalet⁸⁹ som förbjöd parterna USA och Ryssland att utveckla, tillverka eller inneha landbaserade kryssningsrobotar eller ballistiska robotar med räckvidder i intervallet 500 till 5500 km. Avtalet som trädde i kraft 1988 sades upp av USA 2019 efter att USA i flera år hade anklagat Ryssland för att ha brutit mot avtalet. Den teknikutveckling som vi kan förvänta oss framgent avseende landbaserade medeldistansrobotar härrör alltså inte från nya förmågor per se utan för att tillfälle bjuds och att det anses finnas ett behov.

Den huvudsakliga anledningen till att INF-avtalet, trots att ordet nuclear finns i namnet, var ett avtal som reglerade vapenbärare är problemet med verifikation av kärnvapen. Det finns föga förvånande ett principiellt motstånd mot tanken att en annan part skall ha möjlighet att övervaka den egna arsenalen, men också ett tekniskt problem. Det tekniska problemet avser möjligheten att genomföra en mätning som på ett tillförlitligt sätt kan konstatera huruvida ett objekt är en kärnladdning eller inte, utan att några slutsatser kan dras om konstruktionen.

13.5 Beskrivning av hur teknikutvecklingen inom området kan påverka de grundläggande förmågorna ut till 2045

I händelse av en väpnad konflikt i Sveriges närområde föreligger en uppenbar risk för att kärnvapen kommer till användning, möjligen bara ett fåtal. Vilken påverkan det får på grundläggande egna förmågor beror på en lång rad faktorer. För ett enskilt objekt är taktiska och tekniska faktorer avgörande men i ett större perspektiv handlar det om hur väl samhället har förberett sig på allvarliga händelser.

13.6 Beskrivning av vilka aktörer som forskar eller utvecklar inom området, alternativt har system i tidsperioden

Samtliga kärnvapenstater, de facto och de jure, bedriver sannolikt forskning och utveckling med bäring på kärnvapenområdet. Utvecklingen avser främst plattformar, bärare och stödsystem; vilket väsentligen är konventionell vapenutveckling med en för det aktuella systemet lämplig anpassning och integrering av kärnstridsspetsar.

⁸⁹ *Intermediate range Nuclear Forces Treaty.*

Nya kärnvapenstater under tidsperioden går inte att utesluta men det skulle i praktiken betyda att en stat antingen bryter sig ur, eller bryter mot, fördraget om ickespridning av kärnvapen, vilket skulle få säkerhetspolitiska konsekvenser utöver de som kommer med ännu en kärnvapenstat. Klivet över tröskeln är möjligt för stater med den kärntechniska infrastrukturen som krävs kompletterat med den politiska viljan och intentionen. Den idag mest aktuella tröskelstaten är Iran men det kan vara värt att poängtera att ur ett rent tekniskt perspektiv är både Tyskland och Japan, med väl utvecklad kärntechnisk infrastruktur, tröskelstater. Spridning är med andra ord, liksom så många andra aspekter av kärnvapen, en kombination av tekniska förmågor och säkerhetspolitiska ambitioner. I det längre tidsperspektivet kan det också vara tänkvärt att titta 20 år bakåt och konstatera att då var det Irak som misstänktes bli nästa kärnvapenstat.

13.7 Referenser

- Hartouni, E.P., M. Chen, M.A. Descalle, J.E. Escher, A. Loshak, P. Navratil, W.E. Ormand, J. Pruet, I.J. Thompson, and T.F. Wang. 2008. "Theoretical Assessment of $178\text{m}2\text{Hf}$ de-Excitation." LLNL-TR-407631. Lawrence Livermore National Laboratory.
- Kristensen, Hans M., Matthew McKinzie, and Theodore A. Postol. 2017. "How US Nuclear Force Modernization Is Undermining Strategic Stability: The Burst-Height Compensating Super-Fuze." *Bulletin of the Atomic Scientists*, March.
- Lewis, N. 1997. "High Energy Density Explosives." JSR-97-110. Jason, The Mitre Corporation.
- Woolf, Amy F. 2019a. "A Low-Yield, Submarine-Launched Nuclear Warhead: Overview of the Expert Debate." IF11143. Congressional Research Service.
- Woolf, Amy F. 2019b. "Russia's Nuclear Weapons: Doctrine, Forces, and Modernization." R45861. Congressional Research Service.

14 Männsklig förstärkning/Human enhancement

Författare: Britta Levin

14.1 Inledande beskrivning av området

Männsklig förstärkning, (human enhancement) är samlingsnamnet för tekniker och metoder som syftar till att öka eller bibehålla nivån på männsklig prestation. Genom att förbättra människans fysiska och mentala förutsättningar ökar möjligheten att lösa förekommande uppgifter. Den mänskliga förstärkningen kan ge ökad eller ny förmåga, förlänga uthållighet och skapa förutsättningar för fysisk och mental prevention. I regel avses förstärkningar som syftar till ökad männsklig förmåga med avseende på beslutsfattande, perception, vigilans, fysisk styrka, fysisk och mental uthållighet, stresshantering samt möjlighet att verka i svåra miljöer.

Begreppet männsklig förstärkning är brett och omfattar dels a) användningen av teknik för att förändra människans kapacitet till nivåer som överträffar normala biologiska funktioner, dels b) metoder för att förbättra och upprätthålla prestation och förmåga under operativ stress. Förändringarna kan göras utanpå kroppen och utan att kroppen påverkas (icke-invasivt), eller genom att reversibelt eller icke-reversibelt påverka kroppen fysiskt (invasivt).

Området består av två delområden: HPE (Human Performance Enhancement) och HPO (Human Performance Optimization). Delområdet HPE inkluderar teknologi som har potential att öka männsklig prestation utöver ”det biologiskt normala”. HPE handlar om att skapa nya och utökade förmågor genom yttre såväl som inre modifikation av kroppens strukturer och funktion. Detta kan uppnås genom exempelvis kirurgiska ingrepp, genetisk förändring, farmakologiska substanser (farmaka), nervstimulering, implantat, exoskelett och proteser. Delområdet HPO omfattar strategier för att öka prestationen inom det som anses ”biologiskt normalt” för populationen genom exempelvis urval, utbildning, träning, nutrition, vila, läkemedel och ledarskap. Potentialen att uppnå förstärkning förväntas vara betydligt större med HPE-metoder samtidigt som dessa metoder generellt sett är förenade med större risker och fler etiska dilemman.

Det har visat sig svårt att definiera en exakt gräns mellan begreppen. Befintliga klassificeringsprinciper utgår från att individerna initialt är friska med intakta funktioner. Det är också troligt att innebörden av normal och frisk på sikt förändras, bland annat då vissa tekniker och metoder kan införas inom vården för att behandla fysiska och genetiska tillstånd och sjukdomar. Detta kan ytterligare bidra till att tunna ut gränsen mellan begreppen. Det pågår ett arbete med att se över definitioner av begrepp som relaterar till männsklig förstärkning.

Till skillnad från många andra militära teknikområden finns inom området mänsklig förstärkning ett tydligt humanperspektiv. Tekniken ska inte bara användas av människan utan i vissa fall även vara en del av henne. Det finns också en tydlig koppling till civil utveckling inom området med en intressesfär som omfattar individ, organisation och samhälle. Detta innebär att resonemangen om möjligheterna med dessa typer av tekniker måste inkludera en mängd olika perspektiv såsom utvecklingen globalt, synen på förstärkning, användbarhet, säkerhet, effekter på kort och lång sikt, etiska ställningstaganden samt legala förutsättningar såväl civilt som militärt. Dessa perspektiv förväntas avgöra i vilken utsträckning, och i vilken takt, som olika typer av förstärkning kan komma att realiseras. Militärt kommer utvecklingen av olika förstärkande tekniker att vara avhängig möjligheten att uppnå effekt såväl som de fältmässiga förutsättningarna för att använda teknologin.

14.2 Övergripande trender samt exempel på teknik och system ut mot 2045

Området är inte nytt – människans strävan efter att öka sina förmågor är troligen lika gammal som människan i sig. Historiskt sett har det experimenterats med en mängd olika medel för att öka prestationen. HPE-relaterad forskning har i vissa fall pågått i många år utan att uppnå den tekniknivå som krävs för införande då bland annat användbarheten inte varit tillräcklig. Samtidigt sker i dag innovation och det görs framsteg inom teknik och produktion som är avgörande för att skapa grundläggande förutsättningar för bred användning av HPE. Vi står inför en framtid med förstärkningsmöjligheter i en helt ny skala. På längre sikt, efter 2045, förutsägs nya tekniker ge förutsättningar att förändra spelplanen för vad som är möjligt att åstadkomma med människokroppen på ett fundamentalt sätt. Förväntningen är att framtida innovationer kommer att ge tekniker och metoder som är både effektiva och säkra i det långsiktiga perspektivet.

Då området inkluderar både människa och teknik krävs tvärvetenskaplig forskning som skapar användbara och av samhället accepterade lösningar. Förutsättningar för teknikutveckling och produktframtagning är att det finns aktörer som har nödvändig finansiering, kunskap och teknik samt att det finns en marknad med önskemål och behov. Bland förväntade intressenter ses allt ifrån privata användare till mer organiserad användning kopplat till viktiga samhällsfunktioner såsom räddningstjänst och hälso- och sjukvård. Intresset för HPE/HPO förväntas inte vara begränsat till militära behov, tvärtom kan mycket väl den enskilde individens behov bli en viktig drivkraft i utvecklingen.

Sett ur individens perspektiv kan en uppgradering av den kognitiva förmågan ge en fördel i konkurrensen om utbildning, arbetsmarknad och möjligheterna att göra karriär. Men incitament skulle mycket väl också kunna röra sig om personlig

tillfredsställelse – att må bra, vara lycklig och bli road. En trend är biohacking [1] som innebär att individen på egen hand försöker förändra eller förbättra sin biologi med hjälp av olika knep (hacks). Metoderna kan omfatta allt från påverkan på kroppens kemi (kost, kosttillskott, substanser), träningsmetoder (fysik, kognition), till försök att modifiera egna gener och att sätta in chip under huden i olika syften.

Bland trender i samhället ses en strävan efter ökat välbefinnande i form av god hälsa, och längre livslängd. Kraven på ökat välmående i kombination med en åldrande befolkning skapar ett tryck på hälso- och sjukvård att ta fram nya och effektiva lösningar. Detta är ett område där den civila marknaden förväntas bidra med både teknik och metoder som har potential att nyttjas för mänsklig förstärkning.

14.3 Beskrivning av utveckling av specifika delområden/teknologier i tidshorisonten

Området består av en mängd olika tekniker där förutsättningarna för framtida införande varierar. I vissa fall finns uppenbar potential medan det i andra fall fortfarande är oklart om tillräckliga effekter kommer uppnås eller inte. Därutöver finns etiska och legala spörsmål.

Sätten människan kan förstärkas på redovisar vi här som fysiskt, sensoriskt och kognitivt. Det finns ett flertal olika sätt att förmedla förstärkning. En övergripande indelning kan göras i: yttre applicerad utrustning (objekt utanpå kroppen), implantat (artificiellt eller biologiskt objekt som sätts in i kroppen), substanser (läkemedel, näringsämnen etc.), genetisk modifiering och träningsmetoder. Förstärkningen kan genomföras med olika medel och några exempel ges nedan.

Fysisk förstärkning omfattar olika sätt att skydda människan mot omgivningen samt att öka uthållighet och skadetålighet (till exempel via förstärkning av hud och sensor). **Exoskelett** är en yttre struktur som stöttar det mänskliga muskelskelettsystemet i syfte att öka styrka och uthållighet. Genom att avlasta kroppens leder i till exempel höft och knä förhindras också skador på bäraren. Ett exoskelett kan vara passivt och stötta kroppen med stag och fjädrar eller aktivt tillföra energi från inkorporerade motorer. Utvecklingen har hittills mest fokuserat på att möjliggöra eller optimera förmågan att gå eller springa med stor buren last. För att ett exoskelett ska vara fullt användbart på slagfältet behöver även förmågan till mer komplexa aktiviteter utvecklas, som att klättra, krypa och stödja vid fysisk närkamp. Fysisk handstyrka kan till exempel ökas med hjälp av en kraftförande **robothandske** som förstärker användarens grepp om ett föremål [2]. Energi-försörjning är en utmaning för aktiva exoskelett.

Sensorisk förstärkning inkluderar tekniker för att skapa nya eller förbättrade sinnen. Det handlar dels om att tillvarata den information i omgivningen som

normalt inte kan uppfattas av människans sinnen, dels om nya metoder för kroppsnära informationspresentation. Genom att transformera sensorinformation till mänskliga spektra kan individen försees med förmågor som supersyn (till exempel att kunna se genom väggar, att uppfatta detaljer på långt håll eller i låg belysning), superhörsel (till exempel att kunna uppfatta ljud med låga nivåer med tydligare riktning, brusreducering) och superkänslighet (till exempel att uppfatta låga vibrationer och farliga ämnen). Ett exempel på teknik är smarta kontaktlinser för överlagring av information direkt i ögat [3].

Kognitiv förstärkning omfattar sätt att öka den mentala prestationsförmågan. Många potentiella framtida HPE-metoder förutsätter att det finns ett gränssnitt mellan människa och teknik. Redan i dag finns Brain-machine interface (BMI), även kallat brain-computer interface (BCI), som är gränssnitt för kommunikation mellan hjärnans nervceller och tekniska enheter där metoderna är mer eller mindre invasiva [4]. Att stimulera hjärnan under inlärning via implantat i form av elektroder har visat sig förbättra minnesförmågan med 30 % [5].

Farmaka (läkemedel) har använts för att förstärka den mänskliga förmågan inom en rad olika områden. Det finns substanser som kan höja den fysiska prestationsförmågan såsom ökad muskelmassa och syreupptagningsförmåga. Nootropa läkemedel (smart drugs) har effekt på kognitiva funktioner såsom mental status, minnesförmåga och vakenhet. Dessa substanser finns redan i dag och nya är under utveckling. Användbarheten varierar beroende på fysiskt och mentalt utgångsläge och i vissa fall ses oönskade bieffekter samt tillvänjnings- och beroendeproblematik.

Anpassad nutrition handlar om att säkerställa tillräckligt och gynnsamt näringsintag för den enskilde individen. Korrekt anpassad nutrition är prestationshöjande genom att fungera som energikälla, öka tillgången på annars begränsade ämnen, reducera metaboliska biprodukter och underlätta återhämtning. Med nya mätmetoder och kunskap om biologiska system skulle anpassningen av nutrition kunna förbättras än mer på individbasis.

Transkraniell stimulering omfattar tekniker för att påverka mental sinnestämning. De har börjat tillämpas i vissa länder för terapeutiska syften samtidigt som det råder viss skepticism med avseende på kort och långsiktiga effekter. Exempel på teknik är T-PEMF (Transcranial Pulsed Electromagnetic Fields) som har visat sig effektiv mot svårbehandlad depression genom att öka vissa tillväxtfaktorer i hjärnan [6].

Personligt anpassad träning och coaching syftar till att göra soldater bättre rustade för kommande påfrestningar. Skräddarsydda träningsprogram ökar fysisk förmåga samtidigt som förslitningar orsakade av överbelastning på grund av felaktig träning undviks. Fysisk aktivitet bidrar också till att höja den kognitiva förmågan genom att stimulera bildandet av nya nervceller i hippocampus (centrum

för inlärnin g och minneslagring). Exempel på metoder som nämns i samband med mental förstärkning är yoga och meditation.

Virtuell verklighet (Virtual Reality, VR) används alltmer för träning och kunskapsöverföring inom vitt skilda applikationer. Tekniken nyttjas framförallt för att ge kunskap om hur ett system fungerar (systemförståelse och konceptuell insikt) och lära ut handhavande (handgrepp och interaktionsprinciper), men också för att generera färdighet. Den flexibla simuleringstekniken möjliggör individanpassad utbildningstakt alltmedan omgivningen/miljön varieras. Upplevelsen förstärks genom att den simulerade omvärlden upptar hela synfältet, dvs. den blir mer immersiv (omslutande och engagerande). En styrka med VR är möjligheten att öva interaktion och uppträdande i svåra eller sällan förekommande situationer, något som kan användas för att skapa mental förberedelse. VR utreds även som metod för att behandla PTSD (posttraumatiskt stressyndrom) [7].

Förstärkt kommunikations- och interaktionsförmåga omfattar bland annat sätt att automatiskt avläsa en människas intention. Ett neuralt nätverk har till exempel lyckats syntetisera tal med hjälp av elektrokortikografi, det vill säga utgående från nervcellers aktivitet registrerade med hjälp av elektroder placerade direkt på hjärnbarken [8].

14.4 Koppling till andra teknikområden som samverkar med eller är förutsättande för området

Funktioner för mänsklig förstärkning beror av en mängd helt olika forsknings- och produktområden. Applikationerna är ofta baserade på kombinationer av olika tekniker. Fortsatt forskning och processutveckling inom skilda domäner är därför i många fall en förutsättning för att uppnå en bredd av fungerande förstärkningstekniker. Det är därför svårt att peka på vilka områden som är mer centrala än andra och vilka som är förutsättande. Det beror helt på vilken typ av applikation som avses.

Inom mänsklig förstärkning kommer utvecklingstakten att variera och olika sätt att förstärka infrias allteftersom möjligheterna, sett ur ett systemperspektiv, med respektive teknologi(er) så medger. Kopplingen mellan teknikområden gör det mycket svårt att förutsäga utvecklingen på längre sikt än fem till tio år. Det gör även att vilka applikationer som tas fram är svårt att förutse, då det både beror på teknikutvecklingen själv och idégenereringen som föregår framtagning av produkter som beror av ett flertal teknikområden.

Exempel på forskningsområden vars framsteg och innovationer utgör en bas för utvecklingen mot användbara produkter är:

- Miniaturisering. Minimera fysisk storlek på buren eller integrerad teknologi. När optik och sensorteknik miniaturiseras uppstår sensorer som är små och lätta och som kräver minimalt med energi för att möjliggöra integration med människans egna sinnen (till exempel doftsensorer, ljuskänsliga sensorer (IR, NIR etc.), akustiska sensorer, linser för implantat).
- Elektronik. Effektivisering med nya elektroniska byggsätt i 3D där processorer packas på höjden [9] och med mikroprocessorer baserade på kolnanorör [10]. Detta bidrar bland annat till miniaturisering och databehandling.
- Nanoteknologi. Exempel på teknik: försök på möss har visat att synceller belagda med nanopartiklar kan ge förmåga att se frekvenser i det infraröda spektrat [11].
- Materialteknik. Grafen, borofen [12] och nanocellulosa är exempel på nya material som anses ha mycket stor potential men där utvecklingen ännu är i sin linda.
- Forskning och produktutveckling inom bioteknologin kan ge biologiska eller icke-biologiska material med skräddarsydda egenskaper. Dessa kan användas i eller utanpå kroppen och ha en bättre slitstyrka eller friktion, utformas för att få bättre acceptans av kroppens vävnader och mindre beläggning av oönskade ämnen, och på sikt kopplas till nervceller eller stärka leder och skelett.
- Inom bioteknikområdet kommer utvecklingen av databehandling, teknik och apparatur inom bland annat det gentekniska området ge nya möjligheter för mänsklig förstärkning. Gensaxen CRISPR/Cas 9 (Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats) är en genomredigeringsteknik som stort har påverkat och underlättat möjligheten att göra riktade förändringar i arvsmassan [13]. Metoden kan användas för att förändra utvalda gensekvenser genom att stänga av, ta bort, reparera eller ersätta genetiskt material. Detta för att uppnå en önskad förändring eller förbättring. För att nå önskade effekter måste även andra forskningsområden som ger kunskap om biologiska system utvecklas. Medicin omfattar både behandlingar och nya, effektiva preparat och metoder för deras insättning. Exempel på teknik: en tablett som veckar ut sig till en stjärna när den når magen och därefter utsöndrar den verksamma substansen i lagom takt under flera veckor [14].

- Personlig medicin (personalized medicine), bygger på ett flertal teknikområden. Genom förståelse av och kartläggning av individens biologi såsom genetik, proteomik och tarmflora, kan medicinsk behandling skräddarsys. Ett exempel är individuellt anpassad dosering av läkemedel med bas på individens egenskaper och sjukdomens karaktär.
- Stamceller och regenerativ medicin är områden som på sikt tros kunna användas för att snabbt öka läkningen vid stora skador och användas för att producera till och med kroppsegna material och kanske även organ. Detta påverkar både behandling av sjukdomar och möjligheter till transplantation.
- Bio-mekatronik omfattar utveckling av exoskelett och bioniska proteser (robotproteser). Framtagningen av tekniska lösningar drivs inte minst av industriella behov av att avlasta operatörer från fysiskt tunga eller monotona moment och möjligheten att ersätta förlorade kroppsfunktioner i armar och ben.
- Beräkningskapacitet och nya analys- och signalbehandlingsmetoder kommer att vara helt avgörande för att uppnå tillräcklig funktion hos de HPE-tekniker som baseras på data från biosensorer men även för resultat inom teknikområden som omfattar analys av stora datamängder. Metoder inom AI som maskininlärning (machine learning) och djupinlärning (deep learning) ses som väsentliga för vissa tekniker relaterat till mänsklig förstärkning.
- Utvecklingen inom beslutsstöd och informationsteknik bidrar med nya möjligheter till informationspresentation. Ett exempel är visning av biofeedback på skärmar i form av böjbar elektronik som kan följa kroppens rörelser [15].
- Flera av applikationerna är beroende av elektrisk energi och området beror av nya sätt att utvinna och lagra energi, inklusive lättare och mindre lagringsenheter. Lokal utvinning av energi från den egna kroppen med kapacitet att driva implantat är exempel på forskning med konsekvens för området [16].
- Nya industriella metoder. Additiv tillverkning är av intresse för området. Utskrift i 3D av biokompatibla material, bioskrivare för utskrift av organ [17] eller hudceller direkt på sår [18] är exempel. Objekt utskrivna i 4D transformeras till andra strukturer under påverkan av temperatur, ljus eller annan yttre stimulering [19].

- Konnektivitet, IoT och nätverklösningar för överföring av data, är förutsättningar för exempelvis vissa sensorlösningar. Implantat för konsumentbruk kan ge tillgång till tjänster som identifikation och kommunikation med stöd av infrastrukturen till 5G.

14.5 Beskrivning av hur teknikutvecklingen inom området kan påverka de grundläggande förmågorna ut till 2045

Den framtida operationsmiljön kommer att förändras i takt med samhällsutvecklingen och den tekniska utvecklingen, med nya och fortsatta stora krav på människan. Behovet av framtida förstärkning styrs dels av de förväntade uppgifterna och miljöerna, dels av motståndarens förmåga. Förstärkningen kan göra det möjligt för människan att fortsatt vara med i den taktiska loopen och bidra med sin intelligens, kognitiva förmåga och flexibilitet. Användningen kommer att skilja sig åt beroende av fas, om det handlar om förberedelse inför insats, strid eller återhämtning/återställande.

14.5.1 Potentiella militära tillämpningar

Ledning

Människans roll på det framtida slagfältet förväntas i större utsträckning handla om att skapa sig en lägesuppfattning, hantera osäkerhet, bedöma trovärdigheten i inkommande information, planera, leda och fatta beslut. Genom att informationen förmedlas i realtid skapas en höjning av stridens tempo. Nya uppgifter och förutsättningar innebär nära interaktion med maskiner i form av HMT (human-machine teaming). Även om AI används för att generera informations- och beslutsunderlag kommer de slutgiltiga besluten fortsatt fattas av människan. När den mentala arbetsbelastningen ökar påverkas förmågan att fatta beslut. Kognitiv förstärkning bidrar till att öka förmågan att fatta beslut, motstå stress och bibehålla situationsmedvetandet.

Underrättelse

En väsentlig del av soldatens uppgifter är att inhämta, tolka och bearbeta information. Sensorisk förstärkning ändrar förutsättningarna för perception och bidrar med helt nya sätt att se omvärlden, vilket förväntas leda till förbättrad omvärlduppfattning. Nya och intuitiva gränssnitt kommer effektivisera kommunikation och informationsinhämtning.

Verkan

Ökad mental styrka och uppmärksamhet inverkar positivt på förmågan att fokusera, såsom i samband med eldgivning, och att hantera stridens belastning i form av stress.

Skydd

Förstärkningsmetoder kan användas för att öka fysisk och mental tålighet och skapa förutsättningar för snabbare återhämtning.

Uthållighet

En viktig aspekt av uthållighet är möjligheten att verka i svåra miljöer. Det finns tillfällen då den utrustning eller materiel som krävs för att lösa uppgiften måste bäras eller lyftas av soldaten. Fysisk förstärkning i form av exoskelett är ett sätt att avlasta kroppens leder, i exempelvis höft och knä, vilket därmed ökar uthålligheten och förhindrar skador på bäraren. När det gäller mental och kognitiv uthållighet finns olika tekniker som kan användas för att förlänga vakenhet, bidra till bibehållen vaktens samt fortsätta striden även om förutsättningarna ter sig ohyggliga.

Tillgänglighet

På samma gång som inslaget av teknik och autonomi ökar minskar antalet inblandade människor. Med synsättet att soldaten är en värdefull resurs höjs kraven på skydd och utrustning – soldaten ska vara väl förberedd på vad som kan inträffa och det ska finnas sätt att återställa skadade kroppsfunktioner. Genom att arbeta preventivt skapas förutsättning för ökad tillgänglighet och minskat behov av återställande åtgärder såsom rehabilitering. Förstärkning i form av specialanpassad fysisk träning och nutrition minskar risken för skador samtidigt som styrka och uthållighet ökar. VR kommer troligen vara en del av framtida träningsprogram för att öka mentala såväl som kognitiva förmågor och stresstålighet. En del i detta är mental förberedelse och träning inför de situationer och uppgifter som kan förekomma. Genom att underlätta anpassning till kommande miljöer skapas också kulturell förståelse och möjlighet att minska och förebygga effekter av stress. En ytterligare aspekt är huruvida HPE kommer vara något som brukas av samtliga soldater eller om det i första hand är förbehållet speciella elittrupper.

14.5.2 Begränsande faktorer

Sett ur individens perspektiv är integreringen/kompatibiliteten med människokroppen helt avgörande. Tillförda tekniker och metoder får inte hindra eller försämra de normala mänskliga funktionerna. Då människokroppen i normala fall har ett eget väl definierat tillstånd kommer alla yttre eller inre förändringar att påverka helheten. Den starka kopplingen till individen ställer särskilda krav på användbarheten – produkterna måste vara funktionella, ergonomiska och säkra.

Användningsområdet kommer att bero av kontexten (det vill säga i vilken utsträckning en teknologi och metod kan nyttjas i en specifik miljö). Användbarheten (det vill säga fältmässigheten) styrs av principer för interaktion och integration med människokroppen. Exempel på egenskaper som påverkar användbarheten är huruvida tekniken är: fristående/ansluten till annan utrustning, intern/extern (till exempel kirurgisk respektive exoskelett), passiv/aktiv (krav på energiförsörjning), typ av teknisk enhet (till exempel implantat) eller substans (läkemedel), dosering/individuell anpassning, tid till effekt samt oönskade bieffekter. Förståelsen för människans kognition och fysik (det biologiska systemet) är en begränsande faktor. En utmaning är att hitta medicinska (biologiska) markörer som är indikativa för kroppens tillstånd. En annan är att förstå vad som kan påverkas och på vilket sätt för att ge förstärkning. I vissa fall har grundläggande fysiologiska samband precis börjat förstås, i andra fall finns förmodligen tillräcklig förståelse.

Kraven på funktionalitet innebär att teknologin eller metoden måste ge önskad och tillräcklig effekt för att motivera dess användning. Samtidigt som det är försvarbart att sätta in vad som krävs för att lösa en uppgift måste uppnådd effekt vara i paritet med eventuella negativa konsekvenser för den egna individen och dess omgivning. I det militära perspektivet diskuteras de etiska frågorna ur ett brett folkrättsligt perspektiv såväl kring den humanitära rätten som om mänskliga rättigheter. Ett införande av tekniker och metoder för mänsklig förstärkning måste föregås av allehanda överväganden gällande forsknings- och medicinsk etik samt lagstiftning.

Allmänhetens acceptans för HPE förväntas bero på syfte och användning.

Systemsäkerheten påverkas av tillgänglighet, tillförlitlighet, varaktighet och hållbarhet. Fungerade energiförsörjning är väsentlig för varaktigheten på samma sätt som biokompatibiliteten garanterar hållbarheten. För uppkopplade enheter ingår också att beakta IT-säkerheten och minimera sårbarheten från yttre hot. En ökad antibiotikaresistens kan bli ett hinder för invasiva metoder, såsom att sätta in implantat.

14.6 Beskrivning av vilka aktörer som forskar eller utvecklar inom området, alternativt har systemen i tidsperioden

Försvarets behov har historiskt sett varit en tydlig drivkraft för teknikutvecklingen inom vitt skilda områden. Att hålla sig i teknikens framkant är dock både kostsamt och resurskrävande, speciellt när utvecklingen snabbt går framåt. Den civila marknaden för högteknologiska konsumentprodukter är exempel på hur förutsättningarna förändras när produkterna är allmänt överkomliga och kundbasen är stor. Militärt sett är det inte längre möjligt att på stor bredd följa och

överträffa utvecklingen på den civila sidan. Istället blir ansatsen att på bästa sätt nyttja, utgå ifrån och bygga vidare på, det som tas fram för civilt bruk.

Tekniker och metoder som tas fram för att bota/behandla sjukdomar och öka välmående kommer i viss utsträckning vara användbara för att öka prestationen hos friska individer. Marknaden för och produkter från medicintekniska företag och läkemedelsindustri är redan stor och kommer att öka över tid, inte minst med tanke på behoven från en allt större och åldrande befolkning. Nya, individanpassade och för individen tillgängliga enklare produkter och ”mätande” apparatur kommer att införas mot 2045. Då utvecklingscykeln för mer avancerade medicinska produkter är lång och kostsam, begränsas ofta möjligheten för mindre företag att komma in på marknaden. Även stora aktörer inom läkemedelsbranschen anser sig ofta inte ha råd att ta fram mediciner för ovanligare sjukdomar där försäljningspotentialen är begränsad. Segmentet kommer därför fortsättningsvis att domineras av stora företag, i många fall de som redan idag är aktiva med att ta patent på nya lösningar och antagligen riktat mot åkommor där betalningsvilja hos individer och stater finns.

Telekombolagen ligger i startgroparna för att möta den efterfrågan på nya tjänster som förväntas när allt, inklusive människan, ska var uppkopplat. Samsung spekulerar redan i hur världen kommer att se ut år 2069 [20], en tid när vi automatiskt kan förstå andra språk men ständigt tvingas lära nytt för att möta arbetsmarknadens förändringar. Vissa steg tas mot koncept som kan leda till ökad acceptans för ny teknik. Ett exempel är SAS Labs som på prov injicerade microchip, försett med identitetsinformation, så att resenärerna automatiskt kunde passera kontroller utan att behöva uppvisa handlingar [21].

Det finns också ett antal helt nya aktörer med det gemensamt att de har lyckats få fram ”rätt produkt i rätt tid” vilket snabbt lett till en marknadsdominans som genererat mycket stora intäkter. Dessa, ofta IT-relaterade företag, leds av den nya tidens entreprenörer som nu använder sina intjänade medel till att satsa på innovation inom skilda domäner. Google, Amazon, Neuralink (Elon Musk) och Facebook är exempel på aktörer som driver högriskprojekt inriktade mot HPE-relaterad teknologi.

Inom vissa domäner görs särskilda satsningar för att förstå grundläggande mekanismer såsom 10-åriga europeiska The Human Brain Project riktat mot neurovetenskap och hjärnrelaterad medicin [22] samt amerikanska \$100 million brain mapping research initiative [23]. För de områden där marknaden endera inte har intresse av att agera eller av olika skäl förhindras att delta är det fortsatt aktuellt med militär forskning och utveckling. Amerikanska DARPA med sitt innovativa ekosystem står för bredd inom forskning och satsar på banbrytande explorativ utveckling för militära syften. Ett exempel är en 5-årig satsning på att utveckla hjärnimplantat för behandling av PTSD [24].

14.7 Referenser

1. Samuel, S., How biohackers are trying to upgrade their brains, their bodies – and human nature, 2019-11-15, <https://www.vox.com/future-perfect/2019/6/25/18682583/biohacking-transhumanism-human-augmentation-genetic-engineering-crispr>. (Besökt 2020-09-08).
2. The ergonomic, challenge, <https://www.bioservo.com/professional>. (Besökt 2020-09-08).
3. Elgan, M., Why a smart contact lens is the ultimate wearable, 2016-05-09, <https://www.computerworld.com/article/3066870/why-a-smart-contact-lens-is-the-ultimate-wearable.html>. (Besökt 2020-09-08).
4. Chandler, S., Brain-Computer Interfaces And Mind Control Move One Step Closer To Becoming Reality, Forbes, 2019-09-24, <https://www.forbes.com/sites/simonchandler/2019/09/24/brain-computer-interfaces-and-mind-control-move-one-step-closer-to-becoming-reality/#237d44dd32fb>. (Besökt 2020-09-08).
5. Brain implant boosts memory, New Scientist, 11/18/2017, Vol. 236 Issue 3152, p8-8. 1p
6. Martiny, K., Lunde, M., & Bech, P. (2010). Transcranial low voltage pulsed electromagnetic fields in patients with treatment-resistant depression. *Biological psychiatry*, 68(2), 163-169.
7. Reger, G. M., & Gahm, G. A. (2008). Virtual reality exposure therapy for active duty soldiers. *Journal of Clinical Psychology*, 64(8), 940-946.
8. Anumanchipalli, G. K., Chartier, J., & Chang, E. F. (2019). Speech synthesis from neural decoding of spoken sentences. *Nature*, 568(7753), 493.
9. Intel ökar datorkraften med chip i flera lager. Ny teknik, nr 3, 2019-01-17.
10. Hills, G., Lau, C., Wright, A., Fuller, S., Bishop, M. D., Srimani, T., & Murphy, D. (2019). Modern microprocessor built from complementary carbon nanotube transistors. *Nature*, 572(7771), 595-602.
11. "Nanotechnology makes it possible for mice to see in infrared". Nano week, 2019-02-28, <https://www.nanowerk.com/nanotechnology-news2/newsid=52242.php>. (Besökt 2020-09-08).
12. "Sorry, graphene – borophene is the new wonder material that's got everyone excited". *MIT Technology Review*. 2019-05-25.

13. CRISPR/Cas9 & Targeted Genome Editing: New Era in Molecular Biology, <https://international.neb.com/tools-and-resources/feature-articles/crispr-cas9-and-targeted-genome-editing-a-new-era-in-molecular-biology>. (Besökt 2020-09-08).
14. Bellinger, A. M., Jafari, M., Grant, T. M., Zhang, S., Slater, H. C., Wenger, E. A., ... & Barman, R. (2016). Oral, ultra-long-lasting drug delivery: application toward malaria elimination goals. *Science translational medicine*, 8(365), 365ra157-365ra157.
15. Liang, J., Li, L., Niu, X., Yu, Z., & Pei, Q. (2013). Elastomeric polymer light-emitting devices and displays. *Nature Photonics*, 7(10), 817
16. Dagdeviren, C., Li, Z., & Wang, Z. L. (2017). Energy harvesting from the animal/human body for self-powered electronics. *Annual Review of Biomedical Engineering*, 19, 85-108.
17. <https://techcrunch.com/2019/08/11/3d-printing-organs-moves-a-few-more-steps-closer-to-commercialization/>. (Besökt 2020-09-16).
18. Albanna, M., Binder, K. W., Murphy, S. V., Kim, J., Qasem, S. A., Zhao, W., ... & Green, J. (2019). In Situ Bioprinting of Autologous Skin Cells Accelerates Wound Healing of Extensive Excisional Full-Thickness Wounds. *Scientific reports*, 9(1), 1856.
19. 4D Printing: A technology coming from the future, www.sculpteo.com/blog/2017/10/25/4d-printing-a-technology-coming-from-the-future. (Besökt 2020-09-08).
20. Szondy, D., Samsung's take on the world of 2069, 1 september 2019, <https://newatlas.com/good-thinking/future-prediction-2069-samsung/>. (Besökt 2020-09-08).
21. Nu tar SAS nästa steg i digitaliseringsresan, Ny Teknik, nr 39, 2019-09-26.
22. Human brain project, <https://www.humanbrainproject.eu/en/>. (Besökt 2020-09-08).
23. Underwood, E., More than \$100 million in new BRAIN funds, 2015-10-01, <https://www.sciencemag.org/news/2015/10/more-100-million-new-brain-funds>. (Besökt 2020-09-08).
24. Morris, L., DARPA teams begin work on tiny brain implant to treat PTSD, 2014-05-29, https://www.eejournal.com/fresh_bytes/darpa-teams-begin-work-on-tiny-brain-implant-to-treat-ptsd/. (Besökt 2020-09-08).

15 Soldatsystemet

Författare: Britta Levin och Sofia Hedenstierna

15.1 Inledande beskrivning av området

Soldatsystemet inkluderar både individen, med dess utbildning och färdighet, och materiel såsom personlig utrustning, befattningsspecifik utrustning och av soldaten buren gruppustning [1]. Uppgifterna som en soldat ska hantera varierar mellan olika roller och befattningar. De kan bidra till en eller flera av de grundläggande förmågorna eller andra funktioner, som verkan och skydd, underrättelseinhämtning, ledning, logistik och sjukvårdstjänst.

Soldaten ingår som en del av en grupp där varje individ har en tilldelad uppgift/roll som måste samspela med resten av gruppen för att skapa en funktionell enhet. Detta ställer krav på effektiv kommunikation och interaktion mellan individer inom såväl som mellan grupper. Sett ur ett ledningsperspektiv ingår soldaten som en nod i en större helhet och bidrar med interaktion mellan nivåer som pluton och kompani.

Samtidigt som soldaten ingår som en del av ett militärt system med plattformar för exempelvis verkan, ska den också kunna agera avsuttet utan stöd av tyngre plattformar. Detta ställer krav på att soldatsystemet både ska kunna integreras som del av plattformar med dessas randvillkor och agera självständigt där all funktionalitet ingår i den egna eller gruppens burna utrustning. Att systemets utrustning ska kunna bäras av en individ eller en grupp individer ställer höga krav på att den burna vikten och volymen minimeras. De olika delsystemen behöver även i så stor omfattning som möjligt vara integrerade med varandra för att minimera onödig buren vikt.

Att individen är en del av systemet innebär att soldatens prestation i form av kognitiv och fysisk förmåga påverkar systemets möjlighet att skapa effekt. Soldatens prestation i fält är beroende av fysisk komfort, ergonomi, näringstillförsel och vila såväl som träning och förberedelser inför insatsen.

15.2 Övergripande trender samt exempel på teknik och system ut mot 2045

Under 2000-talet tillfördes ny utrustning till soldatsystemet i form av till exempel skyddssystem med en högre vikt och volym, nya kommunikationssystem, nya sensorer och stort behov av batterier för alla system, vilket belastade soldaten alltmer. Försök att minska vikt genom materialutveckling och integration av materiel har inte kompenserat för den ökade mängden utrustning. Behovet av

minskad fysisk belastning kvarstår således och en trend nu är att situationsanpassa skyddsnivåer och verkansförmåga med hjälp av modulära system för att ge en lättare utrustning. Andra strategier är att nyttja exoskelett eller så kallade autonoma mulor som rör sig bredvid soldaten och bär en stor del av utrustningen.

På senare tid har den dimensionerande motståndaren skiftat från aktörer i utvecklingsländer till kvalificerade motståndare. Detta har medfört att kravet på förmåga inom exempelvis verkan ökat, både avseende träffsannolikhet och högre effekt i skyddade mål. Detta kommer troligtvis även leda till en ökad utveckling av skyddssystemen för att kompensera för ökad verkan från motparten.

Teknikutvecklingen kommer att driva på behoven av uppdatering och förnyelse av stora delar av utrustningen, speciellt sensorer och digitala system kommer att behöva uppgraderas med en relativt hög frekvens.

I framtiden ses ett ökat antal informationskällor bestående av etablerade nätverk inom grupp, pluton, kompani, men också ad hoc-källor som UAS/UGV och andra omgivningssensorer, som en del i ett nätverk. Detta förväntas leda till en ökad mängd information av olika typ, där källorna varierar över tid och rum. Utmaningen kommer vara att hantera, validera och fördela denna informationsmängd.

En trend på senare år är forskningsansatser riktade mot systemutveckling med syfte att ta fram gemensam infrastruktur och standardiserade gränssnitt för att bland annat öka möjligheten till interoperabilitet.

Ett område som rönt ett ökat militärt men framförallt civilt intresse är möjligheten att förstärka den mänskliga förmågan (human performance enhancement, HPE). Området är brett och inkluderar många olika tekniker, varav vissa används redan idag medan andra är under utveckling eller är kontroversiella ur ett etiskt perspektiv. Olika sätt att förstärka den mänskliga förmågan beskrivs i kapitel 14.

Mjukvarudefinierad radio är ett område som rönt stort intresse internationellt. Avsikten är att överföra den funktionalitet som traditionellt sett sköts av hårdvaran i radiosystemet till olika mjukvarulösningar, vilket ger en stor flexibilitet, möjliggör så kallad kognitiv radio och användandet av olika vågformer på olika frekvenser beroende på scenario och kommunikationsbehov. Svårigheten att nå energieffektivitet för handhållna enheter har dock tidigare varit ett hinder för införande i soldatsystemen.

15.3 Beskrivning av utveckling av specifika delområden/teknologier i tidshorisonten

Soldatsystemet är beroende av flera olika teknikområden. Utvecklingen inom områden som bioteknik, materialteknik, sensorer och informationsteknologi kommer att kunna innebära att den enskilda soldatens förmåga utvecklas såväl fysiskt

(exempelvis genom förstärkande exoskelett) som avseende förbättrad omvärlds-omfattning (sensorer), verkansförmåga samt skyddsnivå. Soldaten kommer också sannolikt, liksom andra framtida plattformar, att med hjälp av ny teknologi kunna integreras som en nod i ett informationsnätverk med möjlighet att i (nära) realtid både leverera och erhålla data.

Nedan listas ett antal områden där utvecklingen förväntas påverka soldatsystemet. Forskning pågår inom alla dessa områden och det finns stor potential att nyttiggöra även civil forskning för försvarets behov inom vissa av dem.

15.3.1 Verkanssystem

Utvecklingen av soldatburna verkanssystem dimensioneras allt mer mot en kvalificerad motståndare försedd med moderna kroppsskydd och egna sensorer som till exempel ger mörkerförmåga. Detta ställer ökade krav på vår verkansförmåga i moderna skydd och när motståndarens förmåga är likbördig krävs mer av våra vapensystem gällande både räckvidd och träffsäkerhet för att vinna en duell.

En avgörande framtidsfråga för såväl finkalibervapen som burna splitterstridsdelar är hur dessa ska dimensioneras för att ge verkan i väl skyddade mål. Teknikutvecklingen för att öka penetrationsförmågan kommer troligen inte att räcka för att hänga med i skyddsutvecklingen. Detta innebär att större kaliber och tyngre vapensystem kommer att krävas för att nå genomslag i motståndarens skydd. USA håller till exempel på att ta fram ett vapensystem i en mellankaliber med hög utgångshastighet för att öka verkans effekten i skyddade mål [2]. Man kan också tänka sig verkansstrategier baserade på att verkan erhålls i mindre väl skyddade delar av målet, till exempel genom ökad splittertäthet för granater eller integrerade eldledningssystem för ökad träffsannolikhet i direktriktade vapen. Samtidigt sker utveckling av nya lättare system, så kallade självskyddsvapen. Det är troligt att den framtida gruppen har kompletterande system tillgängliga på olika skyttar i gruppen.

För burna pansarvärnsvapensystem innebär moderna hotplattformar betydande utmaningar, på grund av dels ökade grund- och tilläggsskyddsnivåer, dels aktiva skyddssystem som riskerar att göra många äldre pansarvärnsvapen obsoleta. Därför finns det behov av att utveckla hotmålsanpassade pansarvärnsvapen och studera alternativa verkansprinciper för att vidmakthålla soldatens förmåga att bekämpa tyngre hotmål.

15.3.2 Sensorer och sikten

Sensorer och elektronik blir tillgängliga i allt mindre format och avancerade sensorer blir vanligare på soldatnivå. Detta innebär att soldaten på individnivå får mer information för att fatta egna beslut än idag.

En snabb utveckling pågår även vad gäller sikten för soldatburna vapen. Sensorer och funktionalitet som tidigare endast fanns i stridsfordon miniaturiseras och blir alltmer tillgängliga på burna vapen till en kontinuerligt minskande kostnad. Detta omfattar allt från relativt enkla analoga dagsikten som med hjälp av ett laser-avståndsinstrument bistår soldaten med ballistisk kompensation på längre skjut-avstånd (korrigerad riktpunkt) till bildbehandlande multispektrala sikten som kan bistå med såväl upptäckt och målprioritering som ballistik-kompensation och framförhållning för rörliga mål.

USA:s nästa generations eldhandvapen, NGSW (Next Generation Squad Weapons), omfattar även prototypframtagning av ett nytt eldledningssystem (fire control). Detta ska stödja träffsannolikheten upp till 600 meter genom en avancerad kamera med automatisk måligenkänning, målföljning samt ansiktsigenkänning [3]. Det talas även om att integrera vindavmätande instrument för att kompensera ballistiken för vind.

Då ett kvalificerat sikte kombineras med ett elektriskt avfyrat vapen kan ytterligare funktionalitet erhållas, till exempel att siktet efter avtryckning följer målet och det skarpa skottet avfyras av siktet först när riktpunkten korresponderar med önskat träffläge eller att siktet själv avfyrar vapnet baserat på igenkänningsalgoritmer då vapnet riktas mot målet med avtryckaren aktiverad (exempelvis baserat på typisk termisk signatur).

Genom att sensorsystemen på enskilda soldater kommunicerar med varandra inom en grupp eller mellan grupper kan man dessutom genom att sätta samman sensor-data få en mer komplett bild av till exempel omgivningens utseende eller motståndarens position.

15.3.3 Ballistiskt skydd

Utvecklingen av skydd har länge fokuserat på att öka överlevnaden genom tillägsskydd i form av högrepresterande keramer som skydd mot projektiler tillsammans med ökande täckt yta för splitterskydd. Skyddets prestanda såväl som den täckande ytan har ökat med följd att massa och bulk blivit en börda. Materialutvecklingen kommer troligen leda till mer effektiva keramer vilket kan leda till något lättare och tunnare skydd för att minska den burna bördan. För fortsatt ökade skyddsnivåer kommer även alternativa lösningar krävas. Genom exempelvis individanpassade skydd som byggs efter individuella mått kan passform och storlek optimeras. Andra lösningar är att använda exoskelett som hjälper till att bära utrustningen eller att skyddsnivån kan minskas efter behov av rörlighet.

Lättare skydd mot små splitter och jorduppkast kan komma att integreras i uniformen eller en heltäckande overall för att ge ett nästan heltäckande skydd, såsom exempelvis i det ryska RATNIK-systemet. Möjligen kan framtida material skapa ett sådant skydd utan att det påverkar andra egenskaper så som termisk belastning.

Huvudets skydd i form av hjälm har utvecklats starkt och det finns i dag ett visst projektilskydd även mot gevärsammunition. Huruvida denna utveckling fortsätter till ett fullgott projektilskydd inom perioden mot 2045 är dock osäkert, då det ställer ytterligare krav på både ballistiskt skydd och strukturell hållfasthet utan att massa och volym ökar. Ett ökat splitterskydd även för ansiktet i form av goggles och ansiktsskydd är något som utvecklats på flera håll. Nackdelar avseende begränsningar i rörelseförmåga, synfält/omvärldsuppfattning samt imma har dock begränsat användningen.

Forskning pågår för att förstå vilka skadeeffekter som kan uppstå vid stötvågor vilket skulle kunna leda till förbättrade skydd även för stötvågsbelastningar. Detta gäller båda akuta skador och kroniska skador från långvarig belastning.

Det finns två troliga bilder av den framtida soldaten, antingen helt täckt av skydd med stöd av exoskelett eller med nedbantat skydd för att öka rörligheten. Båda dessa är troliga för olika stridssituationer.

15.3.4 Signaturanpassning

Forskning inom materialteknik kan komma att möjliggöra en alltmer effektiv signaturanpassning till omgivningen (minskad signatur) för soldatsystemet.

Strukturell färg används inte i militärt kamouflage i dag, men forskning pågår då det kan vara en fördel att använda material som finns i naturen för spektral design. Fåglar och insekter använder ofta strukturerade naturliga proteiner, exempelvis keratin och kitin, för att skapa sina färger. Fenomenet har gett upphov till intresse för biomimetiska material. Civilt finns redan produkter där fotonkristaller ingår, för militär användning ligger dessa på TRL 3-8 för olika tillämpningar såsom spektralt designade ytor.

För adaptivt kamouflage kan biologisk inspiration fås från till exempel kameleonten och bläckfiskar, men användningen ligger troligen längre bort i tid än metoder som baseras på nyttjande av civil teknik från displayindustrin. Som skydd mot dopplerbaserad stridsfältsskanning kan ledande polymerer komma ifråga.

Det pågår forskning för att minska soldatens termiska signatur. Ett exempel är ytmaterial (coating) som begränsar värmeutstrålningen i de våglängdsområden som termiska sensorer normalt sett arbetar, det vill säga 3-5 och 8-12 μm [4].

15.3.5 Uniform

Uniformen är en del av soldatens gränssnitt mot omgivningen. Den visar tillhörighet, utgör grunden för komfort och i viss utsträckning även en del av skyddet mot omgivningen. Den framtida uniformen kommer att i större utsträckning vara integrerad med olika typer av skydd (splitter, BC-ämnen, eld, väder och trubbigt

våld) samt med teknik som till exempel kablage, antenner och olika typer av sensorer. Två exempel är solceller insytt i jacka och BAE systems skottsäkra väst som även är ett laddningsbart batteri.

Soldatens termiska komfort påverkas av omgivningens förutsättningar i kombination med burens beklädnad och annan burens utrustning. Tyger som avser att skydda soldaten mot olika typer av hot är ofta täta och ventilerar därmed inte, vilket snabbare leder till överhettning med både minskad fysisk och kognitiv prestationsförmåga som följd. Det forskas på ett material som anpassar sig till bäraren och omgivningsförutsättningarna på så sätt att det släpper igenom värme när det är varmt och fuktigt och hindrar ventilationen när det är kallare och torrt. Ett exempel på lösning är speciellt framtagna fibrer som belagts med metall, vilka drar ihop sig när det blir varmt och fuktigt, och släpper därmed ut mer värme, medan motsatsen sker vid kyla och torr omgivning [5].

En uniform med bra passform är en förutsättning för god rörelseförmåga och komfort hos soldater. I perspektivet 2045 är kroppsmått hos soldatpopulationen uppmätt med 3D-skanner vilket möjliggör effektivare anskaffning och anpassning av uniformer. Underlaget kan användas för att underlätta logistikkedjan gällande tillförsel och tillhandahållande av personlig utrustning.

15.3.6 Informationshantering och beslutsstöd

Mångfalden av informationskällor i den framtida stridsmiljön förväntas förse soldatsystemet med olika typer av data, inte minst från sensorförsedda obebemannade system (UGV, UAV). Automatiska signalbehandlingsfunktioner (detektering, spårning, lokalisering och klassificering) bidrar till användbarheten hos nya funktioner som blue and red force tracking. Kombinerat med tillgång till exakta 3D-kartor som också inkluderar inomhusmiljöer ges ökad möjlighet att uppnå en lägesbild lokalt. Detta kan komma att påverka soldatsystemet och soldatens roll dramatiskt eftersom mängden tillgänglig information blir enorm.

För att nyttja den tilltagande mängden information, och samtidigt inte öka den mentala belastningen, behövs effektiva stödsystem för soldaten i form av funktioner för presentation, tolkning och beslutsfattande. Soldaten kommer att i ökad utsträckning vara en del av infrastrukturen och fungera som en kommunikationsnod med uppgift att hantera och fördela inkommande information. Soldatstödsystem, med inslag av AI, kan användas för att analysera och tolka situationen och därefter selektera och presentera/föreslå vilken information som för närvarande är viktigast för soldaten.

Förstärkt verklighet (Augmented Reality, AR) är teknik för att visa olika typer av information i användarens synfält. Informationen projiceras i regel nära ögat med hjälp av glasögon eller hjälmvisir, men det experimenteras även med teknik för att presentera informationen i omvärlden som hologram och i lins. Geografiskt korrekt överlagring och koordination med strukturer i omvärlden skapar

förutsättningar för ökad omvärldsuppfattning och ökat situationsmedvetande. Exempel på information är position på egna och motståndarens enheter, stöd för navigation, fusionerad information, mörkerförmåga, klassificering och identifikation av objekt, annotering av attribut, riskområden, begränsningslinjer, observationer, beräknade verkansavstånd och osäkerhetsindikering.

AR kan också användas för tyst kommunikation såsom att presentera meddelanden och ordrar. Genom att överföra information mellan olika noder, såsom soldater i en grupp, kommer det bli möjligt att ta del av det som andra ser och använda denna information vid planering och beslutsfattande. I dagsläget används AR bland annat för att förmedla instruktioner, ge stöd för att genomföra procedurer och tillgång till ytterligare information såsom från manualer.

15.3.7 Kommunikation och samverkan mellan människa och maskin

Förutom kommunikation mellan soldater och olika ledningsnivåer finns behov av data- och informationsöverföring såväl mellan burna system och sensorer som med mindre obemannade plattformar. Kraven på tillgänglighet, räckvidder och data-takter varierar över tiden. Adaptiva radiosystem som flexibelt kan välja mellan olika vågformer och frekvenser utgör viktiga möjliggörande tekniker för den önskade sömlösa kommunikationsförmågan. Dessa system kombinerar kompakta multiantennsystem med möjlighet till lobformning, diversitetsvinster eller spatiell multiplexing, med relänoder och multihoppfunktionalitet i självkonfigurerande och självläkande nät.

Utvecklingen av autonoma eller semiautonoma system som kan samverka med soldaten förväntas ha stor inverkan på soldatsystemets behov av förändring. Autonoma system kan assistera soldaten vid genomförande av olika uppgifter, till exempel som observatör eller bärare av vapenplattformar (mulor som kan röra sig i olika typer av terräng).

I framtiden kommer möjligheterna till nära samverkan mellan människa och maskin att öka. Detta kopplar tekniskt till utveckling av maskinintelligens och maskinlärande, det vill säga att datorer alltmer kan efterlikna ”mänskligt” beteende. Balansen mellan mänsklig kontroll och maskinell autonomi är en viktig fråga.

På lång sikt kan det också bli möjligt att integrera hjärna och dator, vilket möjliggör mental kontroll av utrustning (icke-fysisk växelverkan) och utbyte av in- och utdata mellan människa och maskin.

15.3.8 Hälsa och mänsklig förmåga

Teknikutvecklingen av biosensorer kommer göra det möjligt att övervaka soldatens hälsostatus genom att avläsa fysiologiska och psykofysiologiska parametrar. Ett syfte kan till exempel vara rekommendationer om när soldaten behöver vila eller få näringstillskott.

Soldatens kognitiva prestationsförmåga kan ökas med medicinska substanser, mental träning och stöd från olika typer av beslutsstödsystem (datorbaserade analysstödsystem, människa-maskin-samverkan etc.). En helhetssyn på soldaten med personligt anpassad träning och nutrition kan höja de grundläggande mänskliga förmågorna och samtidigt fungera som prevention.

För att underlätta den fysiska bördan av den burna utrustningen kommer olika former av exoskelett att bli vanligare inom soldatsystemet. Ett exoskelett är en yttre struktur som stöttar det mänskliga muskel-skelettsystemet i syfte att öka styrka och uthållighet. Redan idag finns passiva exoskelett som stöttar kroppen med stag och fjädrar i till exempel bärsystem eller runt högt belastade leder (knä, höft etc.). Syftet med dessa är framförallt att reducera skaderisken och öka uthålligheten. Framöver kan aktiva exoskelett, vilka tillför energi från inkorporerade motorer, bli tänkbara för att öka styrkan och möjliggöra ökad belastning än vad som är aktuellt idag. Detta kräver dock att två stora problem lösts, dels energiförsörjning för att driva systemet under en längre tid och dels att systemet inte påverkar rörelseförmågan (som att hoppa, klättra, krypa) negativt. Detta kräver integrering av kunskap inom områdena bioteknik, bio-mekatronik samt elektronik [6].

15.4 Koppling till andra teknikområden som samverkar med eller är förutsättande för området

Utvecklingen av soldatsystemet är i många fall beroende av tekniska framsteg inom ett antal olika teknikområden. Framsteg inom områden som materialteknik, sensorsystem, och informationsteknologi kommer, om de implementeras, ha potential att leda till stora förbättringar av soldatens förmåga att utföra sina uppdrag. Då människan är en viktig del av soldatsystemet förväntas utvecklingen inom områden som bioteknik, neurovetenskap, medicin och psykologi ha stor effekt på hur soldatsystemet utvecklas i framtiden. Exempel på områden som påverkar soldatsystemets utveckling är listade nedan.

- Utvecklingen på den civila sidan inom elektronik, datorer och display-lösningar inklusive lösningar kopplade till förstärkt verklighet kommer troligen att leda till nya funktioner även militärt. Böjbar elektronik skapar förutsättning för integration av bildskärmar i uniformen.

- Materialutvecklingen inom keramer och ballistiska fibrer är en förutsättning för att erhålla högre skyddsnivåer för lägre vikt och bulk på systemet.
- Miniaturisering av elektronik och sensorer möjliggör att elldlednings-system/sikteteknologier/sensorer och stödsystem för följning av mål och avfyrning som tidigare använts på stridsfordon kan kopieras i mindre storlek till soldatsystemet.
- Ljusemitterande komponenter, både traditionella halvledare och organiska lysdioder blir ständigt bättre, energisnålare, tunnare och lättare vilket inger hopp för framtida användning för kamouflagelösningar till avsuttna soldater
- Energiförsörjning (lagring och generering) behöver vidareutvecklas för att försörja de system som soldaten förväntas bära. En möjlighet är att utvinna energi ur närmiljön, så kallad energy harvesting, genom till exempel soldatens egen rörelse, solenergi, värmestrålning vid eldning/matlagning.
- Utvecklingen inom AI och maskininlärning kommer inom en snar framtid att ha en transformativ effekt inom många områden såsom identifikation, övervakning, analys, och robotik.
- Additiv tillverkning (3D-printing) möjliggör skraddarsydd tillverkning av tillbehör på begäran. Tekniken har börjat användas av amerikanska armén för att öka beredskapen och minska den logistiska bördan i fält och depå.
- Utvecklingen av biosensorer och mätande utrustning kommer ha stor inverkan på det framtida soldatsystemet. Smarta textilier utvecklas där kablage och sensorer integreras.

15.5 Beskrivning av hur teknikutvecklingen inom området kan påverka de grundläggande förmågorna ut till 2045

15.5.1 Potentiella militära tillämpningar

Det gemensamma för utvecklingen av soldatsystemet är strävan att förbättra systemets prestanda inom de grundläggande förmågorna tillgänglighet, under rättelse, rörlighet, verkan, ledning, uthållighet, skydd (TURVLUS). Detta kan ske genom dels förbättrad materiel, dels förbättrad fysisk och mental prestationsförmåga.

Verkan

Verkanseffekten fram till 2045 förändras till följd av ökad prestanda på vapensystemen där vi ser en trolig ökad genomslagsförmåga i skydd och högre precision tack vare riktmedel med inmätande sensorer. Verkan ökar också tack vare det förbättrade informationsläget som hjälper till att lokalisera och identifiera hoten. Detta leder till att den enskilde soldaten kan verka på längre avstånd än idag.

Rörlighet

Vikt och volym på utrustningen kommer troligtvis inte att minska i någon större utsträckning under perioden. Däremot kan rörligheten förbättras genom att soldaten endera förses med exoskelett eller avlastas av autonoma mulor som bär en större del av packningen.

Ledning

Den framtida soldaten kan, genom den teknikutveckling som förutses, bli en allt mer kompetent plattform för inhämtning och styrning av informationsinhämtning såväl som för stridsinsatser. I detta ingår förbättrad omvärldsuppfattning, situationsmedvetande, och möjlighet för soldaten att effektivt samverka med maskiner. Den enskilde soldaten alternativt gruppen kommer att med hjälp av dessa ökade förmågor kunna agera självständigt i fler situationer än idag. Samtidigt kommer ökade möjligheter till kommunikation mellan enheter och trupper öka vilket påverkar hur soldaten arbetar inom plutonen.

Underrättelse

Soldaten kan också genom de förmågor som tillförs bidra med underlag till beslut och stödja insatser med andra system/förband.

Skydd

Forskning inom materialteknik kan komma att möjliggöra såväl bättre skyddsnivå mot olika hot som lägre vikt för soldatens system och på sikt en alltmer effektiv signaturanpassning till omgivningen (minskad signatur).

Uthållighet

För att erhålla en ökad uthållighet krävs troligen en minskad buren börda liksom tillgänglighet av energi för försörjning av alla buren system. Alternativt kan ett exoskelett öka uthålligheten genom att stärka leder och avlasta känsliga delar av kroppen. Genom ökad möjlighet att generera energi på soldatnivå kan energiuthålligheten ökas.

Tillgänglighet

Ökad tillgänglighet kan uppnås genom implementation av portabla AI-baserade medicinska diagnossystem, i kombination med metoder som kan underlätta behandling av soldater som är sjuka eller skadade, antingen direkt på plats eller med hjälp av telemedicin.

15.5.2 Begränsande faktorer

Ett problem för den framtida soldaten kommer även fortsatt att vara den bruna vikten och volymen. Detta begränsar rörlighet och framförallt uthållighet varför tillförd utrustning måste begränsas.

Mängden tillförd materiel i form av framförallt elektronisk utrustning ställer höga krav på energiförsörjning vilket reducerar uthålligheten för systemet. Det krävs omfattande utveckling för att reducera energiförbrukningen alternativt förbättra möjligheter till att generera energi under uppdrag.

Liksom för andra system kommer den nya digitala tekniken vara känslig för störningar av till exempel GPS eller kommunikation mellan enheter.

Det som begränsar utvecklingen av soldatsystemet är som för andra militära system ekonomin, där en begränsad budget minskar villigheten att satsa på nya osäkra områden. Istället kommer en hel del av teknikutvecklingen ske inom den civila industrin inom till exempel dataspels-, hälsa-, idrotts- och friluftssektorerna.

En faktor som är avgörande för soldatsystemet är hur utvecklingen av förstärkt mänsklig förmåga påverkas av den allmänna opinionen och lagstiftningen runt forskning och utveckling avseende fysiska och kemiska ingrepp i kroppen.

15.6 Beskrivning av vilka aktörer som forskar eller utvecklar inom området, alternativt har system i tidsperioden

Flertalet större nationer tar fram egna koncept för soldatsystem. Utvecklingen drivs framförallt av länder som USA, Storbritannien, Ryssland och Kina. Andra länder med egna soldatsystem är till exempel Tyskland, Australien, Italien, Nederländerna och Norge [7].

Flera länder har under de senaste tio åren haft en sammanhållen soldatsystems-utveckling där integration och systemtänkande legat i fokus. Exempel på sådana utvecklingsprojekt är ryska RATNIK, tyska IdZ [7] och brittiska VIRTUS [8]. Materiel och systemarkitektur framtagen inom dessa program används redan idag men kommer troligen fortsatt vara huvudsystemet i dessa länder med vissa uppdateringar och modifieringar en lång tid framöver.

Då soldatsystemet inkluderar så många olika delsystem är det flera olika industrier som driver utvecklingen. Klassiska soldatdelar som verkan och skydd liksom integration och systemarkitektur drivs av försvarsrelaterad industri medan nya tekniker som förstärkt verklighet (AR) och biosensorer till stor del drivs av den civila sektorn.

EU/EDA driver en hel del forskning som syftar till att bland annat ta fram underlag för standardisering i syfte att effektivisera materielanskaffning och öka möjligheterna till utbytbart, energiförsörjning och interoperabilitet. Andra forskningsområden är arkitektur för elektronik, röst- och datakommunikation, mjukvara, människa-system-gränssnitt, sensorer, textila material, komponenter för adaptivt kamouflage samt soldatens energiförsörjning. Även NATO driver verksamhet som främst riktar sig mot standardisering av olika gränssnitt.

15.7 Referenser

1. Systemmålsättning Soldatsystemet 13FMV7175-83:1 2017-06-20
2. US Army Contracting Command, Prototype Opportunity Notice (PON) for Next Generation Squad Automatic Rifle (NGSAR), March 2018
3. US Army Contracting Command, Prototype Opportunity Notice (PPON) for Next Generation Squad Weapons - Fire Control (NGSW-FC).
4. Pohl, A., Fagerström, J., Kariis, H., Lindell, R., Hallberg, T., & Högström, H. (2016, October). Camouflage in thermal IR: spectral design. In Target and Background Signatures II (Vol. 9997, p. 99970C). International Society for Optics and Photonics.
5. Zhang, X. A., Yu, S., Xu, B., Li, M., Peng, Z., Wang, Y., ... & Wang, Y. (2019). Dynamic gating of infrared radiation in a textile. *Science*, 363(6427), 619-623.
6. Levin, B., Hedenstierna, S., Hagström, M., Svensson, J., Hermelin, J., Förstärkning av mänsklig förmåga: en framtidsvy, FOI-R--4716--SE, 2019.
7. NATO STO Overview of Dismounted Soldier Systems, TR-SET-206-Part-II, 2018
8. The Virtus programme, <https://des.mod.uk/what-we-do/army-procurement-support/virtus/>. (Besökt 2020-09-08).

16 Additiv tillverkning

Författare: Steven Savage

16.1 Inledande beskrivning av området

Additiv tillverkning (additive manufacturing, även 3D-printing och numera även 4D-printing⁹⁰) är en tillverkningsteknik där man lager för lager bygger upp en tredimensionell komponent eller struktur utifrån (i) pulver (av metaller, polymerer eller keramer) eller (ii) tråd (av metaller eller polymerer). Övriga varianter finns, till exempel extrudering av trögflytande ämnen som blandningar av energetiska material. Ett datorstyrt skrivhuvud eller till exempel en robotarm matar in och deponerar material enligt instruktioner från en datafil som beskriver komponentens geometri. Datafilen innehåller även instruktioner till maskinen om till exempel temperatur/energiflöde, inmatningshastighet och bygghastighet. Numera är det vanligt att logga en stor mängd parameter i realtid för att öka teknikens reproducerbarhet och för eventuell senare felsökning.

Additiv tillverkning har uppnått TRL 9 för ett antal komplexa komponenter. Siemens (Finspång) producerar till exempel ett brännarmunstycke till en kraftturbin. Det finns gott om exempel på enklare komponenter i serieproduktion eller under utveckling (TRL 6-7), men teknikens genombrott ligger i framtiden. Det förutspås djupgående optimering av komponenter, så kallad topologisk optimering, där mängden material vid en viss belastningspunkt exakt motsvarar belastningen.

Även om de flesta komponenter som tillverkas i dag består av ett enda material forskas det kring additiv tillverkning av komponenter i multimaterial, med olika sammansättningar i olika delar av komponenten, till exempel med gradienter i materialet.

Teknologin lämpar sig väl för automatisering och mångfaldigande av komponenter men särskilt för små serier och enstaka komponenter då det enda som i princip krävs är att en ny datafil laddas. Dock måste miljön (i maskinen) kontrolleras noga för att bland annat undvika korskontaminering. För tillverkning från pulver krävs dedikerade maskiner för olika legeringar, men för tillverkning från tråd (metall eller polymer) är risken för korskontaminering mindre.

Maskiner för additiv tillverkning utvecklas i hög takt, där målet är att höja produktkvalitet (reproducerbarhet, ytfinhet, färre defekter) och tillverkningshastighet genom bättre förståelse av och kontroll över processen, samt att dokumentera (logga) maskinparametrar för att dels kunna korrigera avvikelser i realtid

⁹⁰ 4D-printning innebär att komponenten kan ändra form över tid, så kallad morping.

alternativt avbryta ifall felet inte kan korrigeras, dels för framtida referens om brister upptäcks senare.

16.2 Övergripande trender samt exempel på system och teknik ut mot 2045

Additiv tillverkning utvecklas i hög takt och bör betraktas som en viktig drivkraft/möjliggörare (enabling technology) inom Industry 4.0.⁹¹ Som med alla nya teknologier finns det dock risk för överdrivna förväntningar, så kallad ”hype”. Tekniken har onekligen stor potential men det är osannolikt att additiv tillverkning helt eller till stor del kommer att ersätta befintliga tillverkningstekniker, vilka har utvecklats och förfinats under många år och där det har gjorts stora kapitalinvesteringar. Det krävs alltid en balans mellan teknisk prestanda och ekonomisk realism. Additiv tillverkning utgör dock ett värdefullt komplement till befintliga tillverkningstekniker och tack vare teknikens flexibilitet och lämplighet för tillverkning av små serier och komplexa komponenter förutspås den ha stor betydelse för existerande och kommande försvarssystem. Konceptet factory-in-a-box är mycket talande även om mobila (containerbaserade) additiva tillverkningssystem inte alltid är nödvändiga.

Framförallt möjliggör additiv tillverkning produktion av komponenter som i dag inte kan tillverkas, till exempel med interna hålrum, med gradienter i sammansättning, med inneslutna detaljer med mera, eller där tillverkning inte kan göras till rimliga kostnader. Det senare gäller till exempel komplexa komponenter som motordetaljer och värmeväxlare, komponenter gjorda av material som är svåra att bearbeta (till exempel titanlegeringar och superlegeringar) eller obsoleta komponenter där tillverkare saknas men förlagor som kan kopieras finns.

Övriga tillämpningar för additiv tillverkning kan finnas i utrustning som består av många (av tillverkningsmässiga skäl) hopmonterade komponenter där man genom additiv tillverkning kan tillverka allt i ett stycke och därmed undvika många fogar, packningar, fästelement med mera. Här krävs en noggrann analys av balansen mellan modularitet (det vill säga separata komponenter), som möjliggör byte vid utslitning/brott, och integration, där hela komponenten måste bytas om en del av komponenten slits ut.

Additiv tillverkning används redan idag för serieproduktion av kritiska komponenter till flygmotorer och för komponenter som används i krävande tillämpningar

⁹¹ Industry 4.0 är en samlande term för en rad teknologier och koncept inom automation, processindustriell IT och tillverkningsteknologier. Målet är produktion med kortare omställnings- och ledtider, färre fel, mer flexibilitet, etc. (källa: Wikipedia).

förknippade med stora ekonomiska risker om oväntade fel skulle inträffa. Fördelarna finns i sänkta tillverkningskostnader snarare än prestationsförbättringar, men även det senare kan mycket väl komma att vara möjligt i framtiden.

I dag kan man se att fokus skiftar från ”vad kan man tillverka med additiv tillverkning?” (i stort sett vad som helst) till mer nyanserade frågor som produktkvalitet, robust processteknik, långtidsegenskaper som korrosion och utmattning, högre produktionstakt, lägre kostnader, nya designverktyg, informationssäkerhet och juridiska frågor rörande äganderätt och rätt att tillverka.

Även om additiv tillverkning har visat sig utgöra ett värdefullt komplement till traditionella tillverkningsmetoder återstår många frågetecken kring vad som är tekniskt möjligt och samtidigt ekonomiskt realistiskt att tillverka med tekniken. Vid tillverkning i monolitiska material, till exempel metaller, kan det lätt uppstå förändringar i kornstorlek i olika delar av komponenten. Dessa är oftast icke fördelaktiga, och kan till exempel ge upphov till ojämna mekaniska egenskaper.

Då implementering av additiv tillverkning är tämligen nytt saknas det av naturliga skäl erfarenhet av långtidsegenskaper, och särskilt mekanisk och termisk utmattning och korrosionsbeständighet. Detta bör dock inte ses som hämmande i de många tillämpningar där sådana egenskaper saknar betydelse.

Additiv tillverkning av komponenter i keramiska material är fortfarande i sin linda. Detta behöver dock inte utgöra en begränsande faktor då antalet keramiska komponenter som används i militära produkter är förhållandevis få.

Inom överskådlig tid verkar det som om additiv tillverkning kommer att få, åtminstone i den militära sektorn, störst betydelse i följande materialgrupper: vanliga metaller såsom stål och nickellegeringar, lättmetaller såsom aluminium och titanlegeringar och polymerer där det troligtvis kommer att ske en omfattande utveckling av nya polymer/kompositerna anpassade för additiv tillverkning.

Intresset inom försvarssektorn ökar i hela världen. I Tyskland, Storbritannien, Italien, Norge och Nederländerna finns ett flertal projekt, inklusive utveckling av container-baserade system. Kina och USA visar upp meter-stora komponenter för flygfarkoster, och intresse finns från Storbritannien och Australien för fartygsburna lösningar, antingen container-baserade eller som en permanent del av plattformen. Lyckade fältförsök har gjorts i Afghanistan och Afrika (Mali, Sudan), i båda fallen med plast-baserade komponenter.

Sverige bör betraktas som ett ledande land inom additiv tillverkning med stora investeringar från till exempel Sandvik (med ett koncernövergripande forskningscenter i Sandviken), AMEXCI (i Karlskoga, ett utvecklingsföretag finansierat av ett tiotal företag inom Wallenbergfären), Höganäs, gemensamma FoU-projekt inom forskningsinstitutet SWERIM, och forskning på högskolenivå på bland annat KTH, CTH, Mittuniversitet och Högskolan Väst.

I Sverige tycks försvarsintressen spreta, med olika relativt små och icke samordnade projekt inom FMV och FOI samt Försvarsmaktens Tekniska Skola (Halmstad).

Inom Nato har ett antal aktiviteter, som bör betraktas som mycket lyckade, avslutats och en ny aktivitet är i uppstartsfasen. Här bör särskilt nämnas Future directions for the use of additive manufacturing in NATO operations⁹², ett treårigt projekt för att identifiera hur additiv tillverkning kan bidra till upprätthållande av logistikkedjan. Detta är ett viktigt steg bortom ”vad kan man göra med tekniken” mot ”hur kan tekniken bidra till militära förmågor i ett multilateralt scenario.”

16.3 Beskrivning av utveckling av specifika delområden/teknologier i tidshorisonten

Pulverkvalitet och sammansättning. I dag finns det ett stort intresse för additiv tillverkning från plasttråd och metallpulver. Dagens metallpulverlegeringar har utvecklats för konventionell tillverkning som ”press och sinter” eller hetisostatpressning.⁹³ Additiv tillverkning innebär höga temperaturer (pulvret smälts ihop) och vissa legeringsämnen kan förloras genom förångning. Därmed sker en ändring i sammansättning som påverkar produktens mekaniska egenskaper och övriga egenskaper som korrosionsbeständighet. För att motverka detta samt för att optimera övriga egenskaper utvecklas legeringar som är skraddarsyddas för additiv tillverkning⁹⁴. Även pulvrets storlek och storleksfördelning, sfäricitet (rundhet), och övriga parametrar behöver optimeras för additiv tillverkning. Man ser att maskinleverantörer samarbetar med pulvertillverkare för att kunna leverera maskiner tillsammans med pulver och datafiler som innehåller maskinparametrar optimerade för deras pulver. Inte sällan är datafilen en så kallad svart låda. Det är bra för robusta tillverkningsprocesser men försvårar utveckling varför det även finns öppna koder som kan användas. Utvecklingen går mot legeringar skraddarsyddas för additiv tillverkning.

Ett argument för additiv tillverkning är att överflödigt metallpulver lätt kan samlas in (tillverkning från metallpulver sker alltid i stängda system, inte minst av hälsoskäl) och föras tillbaka in i processen. Påståendet är inte helt korrekt även om korskontaminering undviks. Beroende på pulvret (aluminium, titan, stål, aluminium, etc.) sker en viss kontaminering från atmosfären, och en del pulverpartiklar degraderas för varje cykel. Forskning pågår för att förstå detta och hur man kan

⁹² AVT-342. Under 2020 pågår ett antal förberedande aktiviteter inför projektstart 2021

⁹³ Hetisostatpressning (eng. hot isostatic pressing) är en teknik för att pressa ihop metallpulver under högt tryck och hög temperatur.

⁹⁴ Till exempel Höganäs AB.

återvinna överflödigt pulver utan degradering. Arbete pågår för att utveckla nya standarder.

Komponenter med speciella magnetiska egenskaper utvecklas, till exempel för elektriska motorer. Det beräknas att med optimerade magnetiska och geometriska egenskaper (i dessa fall svårt/ekonomiskt att tillverka på annat sätt än genom additiv tillverkning) kan vikten av en elektrisk motor minskas med minst 30 %. Tillämpningar finns till exempel inom fordon och flyg [ref. Garibaldi].

Trådsammansättning. Många plastkomponenter tillverkas från tråd, antingen homogena sådana eller sådana som till exempel är dopade med fiber eller partiklar. Även här är sammansättningen inte alltid optimal för additiv tillverkning, och oftast saknas speciella sammansättningar, till exempel tråd för komponenter där viss elektriska/magnetiska egenskaper behövs (signaturanpassning är ett sådant tillämpningsområde). Vissa företag (bland annat i Sverige) utvecklar egen tråd med speciella tillsatser, men det börjar finnas företag som fokuserar på utveckling av speciella trådar. Även tråd av termoplast med hög smältpunkt önskas, för tillämpningar i varma områden.

Mobila lösningar. Flera företag⁹⁵ utvecklar mobila (container-baserade) lösningar för additiv tillverkning, vilka kan transporteras med lastbil eller flyg, i första hand för plastkomponenter men även för metallkomponenter. Det senare är betydligt svårare då det ställs högre krav på pulverhantering (pulvret kan vara giftigt och/eller brandfarligt och oxidationskänsligt) och all hantering måste utföras i stängda system. I en fältmässig mobil lösning är det orealistiskt att använda flera olika legeringar på grund av att varje legering kräver en dedikerad maskin, varför det är mer sannolikt att man siktar på två generiska legeringar – en stålbaserad och en aluminiumbaserad – om man beslutar att tillverka metalliska komponenter i fält. Det är betydligt lättare att tillverka plastkomponenter i fält. Utrustningen är mer flexibel, det är förhållandevis enkelt att byta från en plast till en annan, och materialet (plasttråd) är lätthanterligt.

Energetiska material. Det finns stort intresse för att undersöka potentialen för tillverkning av komponenter av energetiska material med hjälp av additiv tillverkning. Detta av samma anledning som för metaller och polymerer – att kunna bygga laddningar med skraddarsydda och varierande tvärsnitt, med hålrum, med gradienter, eller till och med inneslutna delar, tros öppna för en mängd idag omöjliga sätt att bygga stridsdelar eller raketmotorer.

⁹⁵ Till exempel FieldMade AS, Norge, <http://fieldmade.no/>

16.4 Koppling till andra teknikområden som samverkar med eller är förutsättande för området

Designkunnande och verktyg. En av den additiva tillverkningens främsta styrkor är designfrihet – att till exempel kunna tillverka komplexa komponenter optimerade för extrema belastningsscenarier med minsta möjliga vikt i ett stycke. För att nyttja denna frihet ställs det nya krav: på själva designpersonalen som måste tänka i nya banor, på designverktyg (mjukvaror) och på testmetoder för att validera/certifiera att komponenten har de önskade egenskaperna. Det finns få utbildningar tillgängliga (kurser erbjuds av Chalmers Tekniska Högskola och Högskolan Väst) men det mesta sker genom learning-by-doing på plats. I Sverige anlitas många utländska experter inom de företag som utvecklar additiv tillverkning.

Kvalitetskontroll och certifiering. I additiv tillverkning – i likhet med till exempel tillverkning av kolfiberkompositer – tillverkas både material och komponenter i en enda process och det är besvärligt att kvalitetssäkra tredimensionella komponenter med dagens ickeförstörande testmetoder. Detta är särskilt viktigt då det saknas erfarenhet av långtidsegenskaper som till exempel utmattningshållfasthet och korrosionsbeständighet för additivt tillverkad komponenter.

Icke-förstörande provning. En fördel med additiv tillverkning är att komponenter med komplexa geometrier kan tillverkas, men det innebär även att etablerade ickeförstörande provmetoder är svåra att tillämpa.

16.5 Beskrivning av hur teknikutvecklingen inom området kan påverka de grundläggande förmågorna ut till 2045

Ledning. Det är osannolikt att tekniken kommer att påverka ledningsförmågan i någon större utsträckning, med för undantag logistikledning (inklusive ledning av teknisk tjänst).

Underrättelse. Indirekt kan underrättelseförmågan påverkas i positiv riktning genom förbättrade systemprestanda, till exempel med hjälp av relativt ny materiel som obemannade system och ökad tillgänglighet. Se nedan.

Verkan. Det är högst sannolikt att verkan kommer att påverkas i positiv riktning genom förbättrad stridsdelsfunktion (eventuellt styrbarhet) och framdrivning (fastbränsle för missilmotorer och krutladdningar för större vapen). Forskningen är dock i sin linda och med tanke på säkerhetskraven återstår mycket forskning,

utveckling och testning. Det är troligt att de första demonstrationerna genomförs inom 10 år, men större påverkan dröjer till efter 2035.

Skydd. Det är oklart om skydd kommer att påverkas i någon större utsträckning, men med möjligheten att skräddarsy viss materiel på individnivå kan en positiv påverkan förväntas på längre sikt (bortom 2035).

Rörlighet. Det är osannolikt att tekniken kommer att påverka rörlighet i någon större utsträckning utom då tillgänglighet hos transportmedel ökas och reservdelsbehovet (lager/transport) skulle kunna minska. Dock tillkommer nya behov förknippade med själva den additiva tillverknings-tekniken. Se tillgänglighet nedan.

Uthållighet. Det är högst sannolikt att uthållighet kommer att påverkas i positiv riktning tack vare möjligheten att kunna bli mer självförsörjande när det gäller underhåll och reparation (även i fält) och genom snabbare tillgång till reservdelar genom just-in-time-tillverkning, eventuellt även av komponenter som kanske inte har samma livslängd som originalkomponenter men som är bra nog för tillfälligt bruk. Om bara teknikens utvecklingstakt är begränsande bör uthållighet kunna börja ökas inom en relativ snar framtid (<10 år).

Tillgänglighet. Det är högst sannolikt att tekniken kommer att öka tillgängligheten hos materiel genom ökade möjligheter till och högre flexibilitet för underhåll och reparation, antingen i fält eller i verkstäder, samt ökad tillgång till reservdelar. Om bara teknikens utvecklingstakt är begränsande bör tillgänglighet kunna börja ökas inom en relativ snar framtid (<10 år).

16.5.1 Potentiella militära tillämpningar

De potentiella militära tillämpningarna är många och det är därför en stor utmaning att identifiera hur, var och när man bäst utnyttjar teknikens potential. Bara att det är möjligt att producera något genom additiv tillverkning är inte en tillräcklig anledning för att göra det. Det måste finnas tydliga förmågemässiga eller ekonomiska vinster att uppnå.

Åtminstone inledningsvis bör man prioritera tillämpningar som idag är extremt svåra eller omöjliga att åstadkomma på annat sätt. Utvalda exempel (utan inbördes prioritering) ges nedan.

Obsoleta komponenter. Det saknas reservdelar och det saknas tillverkare som kan producera komponenten men det finns ritningar eller förlagor (trasiga eller utslitna komponenter) som kan kopieras. Systemet kan då hållas tillgängligt en längre tid. Denna tillämpning implementeras redan civilt.

Komponenter eller (del)system som är svåra att tillverka på grund av att materialet är svårbearbetat och/eller har en komplex geometri. Ett bra exempel är Siemens brännarmunstycke, en relativt liten komponent (ca 2 dm hög) med många interna hålrum och gjord i en nickel-baserad superlegering. Både nytillverkning

och reparation av slitna komponenter är i produktion. Även turbinblad tillverkas av samma anledning.

Komponenter med komplexa geometrier där stora volymer av dyrbart material går till spillo. Exempel är komponenter av titan för flygtillämpningar där så mycket som 90 % av materialet fräses bort. Motsvarande komponenter kan tillverkas från metalltråd eller pulver med minimalt spill. Ett antennfäste för en satellit tillverkas och en fullskalig balk till stridsflygplan har demonstrerats. GKN Aerospace har demonstrerat möjligheten att göra meterstora cylindriska delar till flygmotorer med hjälp av tråd-baserad additiv tillverkning.

Reservdelar enligt just-in-time-princip. Det är oekonomiskt att lagerhålla dyra reservdelar som sällan behövs och detta kan leda till långa leveranstider då varje del kräver att tillverkningsprocessen startas på nytt. Om maskinkapacitet finns tillgänglig är uppstartstiden för additiv tillverkning i princip begränsad till tiden för att ladda datafilen. Dessutom kan i princip vilken certifierad tillverkare som helst anlitas.

Tillfälliga reparationer. I fall där behovet är akut kan det räcka med en tillfällig komponent som inte nödvändigtvis håller samma kvalitet som originaldelen, men som funktionsmässigt är bra nog. Fall där detta har tillämpats finns från operationer i Afghanistan och Mali.

Fälttillverkning. Att kunna tillverka på plats vid omedelbart behov förutspås avsevärt kunna korta ner leveranstid från månader till timmar. Vid multinationella uppdrag är det troligt att olika styrkor kan dela på en mobil lösning. Dock måste man ha i åtanke att en mobil lösning innebär att ytterligare utrustning måste tas med ifall att behovet skulle uppstå. Det kommer även att kräva personal och träning, säkra kommunikationslänkar och att lämpligt utgångsmaterial finns tillgänglig.

US Rapid Equipping Force (REF), det vill säga mobil tillverkning i fält, rapporteras (oktober 2019⁹⁶) ha åtgärdat 400 operativa förmågebrister i fält med hjälp av additiv tillverkning.

Stora/komplexa sammansatta system bestående av många olika delar. Bra exempel är dysor till raketmotorer med inbyggda kylkanaler eller en Stirlingmotor där antalet subdelar har minskats radikalt. Detta minskar behovet av fästelement och packningar och sänker risken för läckage.

⁹⁶ Judson, J., Still in service: 'Ex Lab' is the US Army's problem-solving MacGyver, 2019-10-14, <https://www.defensenews.com/digital-show-dailies/ausa/2019/10/14/still-in-service-ex-lab-is-the-us-armys-problem-solving-macgyver/>. (Besökt 2020-09-08).

Komplexa komponenter omöjliga att tillverka med konventionella tekniker.

Ett bra exempel är värmeväxlare med många små och komplexa hålrum. Sådant är i stort sett omöjligt att tillverka med konventionella tekniker.

Sällan-behövda verktyg. Det är fullt möjligt att tillverka inte bara reservdelar men även verktyg som behövs för att utföra underhåll eller reparation. Detta minskar behovet av att ha tillgång till verktyg som i normalfall inte behövs. Detsamma gäller till exempel tillfälliga skyddskåpor som behövs för att skydda känsliga ytor/delar vid demontering.

Individualisering. Viss materiel (vapengrepp, mask, hjälm, hörselskydd, med mera) tillverkas i standardstorlekar trots att människor sällan är av exakt samma mått. Det är fullt möjligt att additivt tillverka komponenter skräddarsydda för olika individer utan extra kostnad. Det har visat sig att komforten ökar om detta görs.

Medicinska verktyg och hjälpmedel. Additiv tillverkning kan användas för tillverkning av speciella medicinska verktyg vid behov, eller till exempel stöd för skadade kroppsdelar inför transport.

Fartygsbruk. Additiv tillverkning har framgångsrikt testats på fartyg ute på havet. Då det är osannolikt att det finns snabba leveranser kan det vara värdefullt att kunna vara mer självförsörjande. Ju större fartyg och avstånd till en bas desto större är värdet av tillgång till en egen reservdelsfabrik och ett fartyg kan lätt serva flera övriga. Vissa amerikanska hangarfartyg tros redan ha additiv tillverkning ombord.

Exempel på förvarstillämpningar och tänkbara motiveringar ges nedan. Listan är inte uttömmande.

Tabell 2. Några exempel på möjliga tillämpningar av additiv tillverkning.

Exempel på tillämpning	Motivering	Status
Nyttillverkning av komponenter som inte längre finns	Återanvändning av arvet	Raketmotorn från NASAs Saturn V-raket, som senast tillverkades för ca 40 år sedan, har nyttillverkats för ett nytt uppskjutningssystem från gamla ritningar
Viktbesparing genom bättre design	Högre systemprestanda	Demonstrerat i en vägledare [Shang et al. 2016]
Reservdelstillverkning i fält	Högre systemtillgänglighet och enklare logistik	Demonstrerat av US Army
Korta leveranstider	Högre tillgänglighet	British Army tillverkade plastkomponenter som behövdes för färdigställande av ett sjukhus i Sudan
Tillfälliga lösningar	Måste ha nu-komponenter för att lösa pågående uppdrag	Demonstrerat i test [Norberg et al. 2016]
Reservdelar just-in-time	Lägre kapitalinvestering i reservdelar och logistik	Tillämpning som studeras
Individualisering av personlig utrustning, till exempel pistolgrepp, ansiktsskydd	Bättre komfort för soldaten	Demonstrerat i testmiljöer
Omdesign av befintliga komponenter	Lägre vikt, färre fogar, lägre kostnad	Serietillverkning, till exempel bränslemunstycke till flygmotor [GE, 2017]
Omdesign av befintliga komponenter	Mer komplexa geometrier, bättre kylning	Demonstrerat i flygplan [US-GAO 2015]
Förbättringar	Högre prestanda	Motorcylindern för en UAV har byggts med bättre kylning och lägre vikt [Renishaw]
Reparation av slitna flyg- och vapensystem-komponenter	Underhåll och livtidsförlängning	Demonstrerat [Liu et al. 2016]

Det kan noteras att svenska militära styrkor även tilldelas fredsbevarande uppdrag i miljöer med dåliga kommunikationer. Där är logistikkedjan också svår att upprätthålla. I en färsk studie diskuterar Walej et al. hur additiv tillverkning kan bidra till humanitära insatser.

16.5.2 Begränsande faktorer

Det finns en mängd osäkerheter avseende hur, var och när det lönar sig (ekonomiskt eller förmågemässigt) att utnyttja additiv tillverkning för militära tillämpningar. Tekniken implementeras redan civilt och blir därigenom även tillgänglig för tillverkning av militära detaljer. Det förutsätts att de materialtekniska och tillverkningsmässiga begränsningarna kommer att studeras och lösas av civila aktörer där drivkraften är störst. Lösningen bli därmed tillgänglig för militära beställare.

Under normala förhållanden används militär materiel för träning eller lagerhålls för framtida bruk. Underhåll och reparationer görs enligt plan och rutin och utförs av företag alternativt av militär personal. Additiv tillverkning kan implementeras i verkstad enligt en tidtabell som styrs av civil utveckling, det vill säga det kan implementeras i en snar framtid. Sett ur ett militärt perspektiv har tillverknings-tekniken ingen teknisk betydelse då det är funktion som gäller. Däremot kan additiv tillverkning påverka kostnaden och leveranstiden.

I kris/krig kan man förvänta sig att (i) behovet är akut, (ii) normala leveranskedjor kan bli störda och (iii) kostnaden har mindre betydelse. Det är inte osannolikt att man kommer att operera tillsammans med andra länders militära styrkor (det vill säga multinationellt) och delning av materiel/reservdelar kan vara aktuell, men man måste även kunna agera oberoende.

Detta leder till slutsatsen att det krävs en strategi för additiv tillverkning i kris/krig. Observera att det inte nödvändigtvis innebär mobila lösningar. Sådana skulle vara fördelaktiga bara om det finns risk för att vara avskuren/utan försörjning under en längre tid.

Det är värt att påpeka att i kris/krig kan det finnas akuta civila behov av reservdelar, och additiv tillverkning kan vara en lika värdefull resurs för tillverkning för civila behov.

Viktiga faktorer som kan begränsa eller fördröja införandet av tekniken är inte alltid förknippade med tekniken. Till exempel kan det handla om vem som äger rätten att tillverka en viss komponent då det i framtiden kan finnas flera likvärdiga leverantörer som kan legotillverka? Det är även viktigt att diskutera ansvarsfrågan ifall en komponent som inte nödvändigtvis tillverkats av originaltillverkaren brister.

I närtid ligger de tekniska begränsningarna inom områden som förknippas med normal utveckling av nya teknologier och inkluderar uppskalning, förfining av produktionsutrustning, utveckling av robusta och tillförlitliga processer och parametrar, etc. Särskilt finns det utmaningar inom området icke-förstörande testning då det redan idag är svårt att validera färdiga komponenter. Det saknas erfarenhet av långtidsegenskaper som mekanisk och termisk utmattning, samt korrosionsbeständighet hos komponenter producerade med additiv tillverkning.

I ett längre tidsperspektiv kan det vara aktuellt att tillverka mer komplexa komponenter eller delsystem. Det har redan demonstrerats additiv tillverkning i multi-material, där komponentens materialsammansättning ändras utan att avbryta processen. I sin enklaste form kan detta utgöra en gradient i sammansättning, i metaller eller polymerer, för att åstadkomma till exempel olika funktionella egenskaper såsom nötningsbeständighet eller korrosionsbeständighet i olika delar av komponenten.

Det har demonstrerats möjligheten att konstruera enklare elektroniska komponenter inuti en komponent genom additiv tillverkning. Detta är tekniskt sett utmanande och skulle man vilja skapa mer komplexa delsystem med inneslutna komponenter återstår många utmaningar då det skulle innebära många materialbyten. Det ter sig tveksamt om detta skulle löna sig utom i fall där det ställs extrema krav på volym- eller viktbegränsningar.

16.6 Beskrivning av vilka aktörer som forskar eller utvecklar inom området, alternativt har systemen i tidsperioden

I Sverige finns omfattande forskning och utveckling inom additiv tillverkning och även produktion förekommer. Detta gäller hela värdekedjan och inkluderar (i) maskinutveckling och tillverkning, (ii) utveckling av utgångsmaterial (framförallt metallpulver och i mindre utsträckning polymertråd), (iii) utforskning av själva tekniken och teknikens möjligheter och avgränsningar och (iv) produktion. Listan nedan är inte heltäckande.

Chalmers Tekniska högskola: Bedriver forskning inom processmodellering.

Kungliga Tekniska högskolan: Bedriver forskning inom laserbaserad additiv tillverkning och studier av faktorer som påverkar pulverkvalitet och standarder inklusive återbruk av överflödiga metallpulver samt biologiska stödstrukturer, så kallade scaffolds.

Linköpings Universitet: Bedriver forskning inom additiv tillverkning avseende hur processen påverkar utmattnings- och skadetoleranser. Målet är att öka industriell acceptans för att kunna tillämpa additiv tillverkning för kritiska flygtillämpningar.

Uppsala Universitet: Bedriver forskning inom additiv tillverkning som produktionsteknik.

Mittuniversitet: Bedriver forskning inom bland annat additiv tillverkning av amorfa metaller.

Högskolan väst: Bedriver distansundervisning inom tekniken samt forskning i Produktionstekniskt centrum i samarbete med industri.

Swerim: Additiv tillverkning i flera olika metaller inklusive magnesiumbaserade legeringar (för medicinska ändamål).

Sandvik: Har sedan 2014 drivit ett dedikerat och koncernövergripande forskningscenter för att forska om och utveckla metalliska komponenter av höglegerade metaller. Sandvik har nyligen investerat i nya produktionsanläggningar för nickel- och titanlegeringar för additiv tillverkning, samt förvärvat del av ett italienskt företag med kompetens och relevanta kvalitetscertifikat inom krävande tillämpningar för energi, fordon och flyg.

Arcam: Var ett av de tidigaste företagen att inse teknikens potential och har sedan mer än 20 år utvecklat och byggt maskiner för additiv tillverkning. Arcam köptes 2018 av amerikanska General Electric.

Siemens: Utvecklar tekniken samt utvecklar, reparerar och serieproducerar komponenter för elkraftsindustrin.

Höganäs: Utvecklar metallpulver optimerade för additiv tillverkning. Deras forskning berör legeringsutveckling, pulverstorlek, storleksfördelning, partikelgeometrier med mera. Höganäs förvärvade 2018 ett tyskt företag inom pulvertillverkning för additiv tillverkning. Höganäs dotterbolag Digital Metal äger egen processteknik och tillverkar maskiner för additiv tillverkning i två steg. Höganäs siktar på att vara en helleverantör.

AMEXCI: Ett företag som inrättats och finansieras till 100 % av företag inom Wallenbergssfären för att utveckla tekniken, demonstrera möjliga tillämpningar och tillverka prototyper för att demonstrera teknikens möjliga tillämpningar.

Saab Aero: Forskning med additiv tillverkning av flygdetaljer inklusive värmväxlare för elektronik (som närmar sig produktion) och 3D-radarabsorbenter (låg TRL-nivå).

FOI: Forskning inom energetiska material genom additiv tillverkning. Detta görs delvis inom ett europeiskt samarbetsprojekt. Även små studier inom ramen för övrig verksamhet för att följa teknikens utveckling.

RISE: Forskning inom höghållfasta aluminiumlegeringar och design.

Försvarsmaktens Tekniska Skola Halmstad: Empiriska studier om värdet av tekniken utifrån soldatens synvinkel.

Utanför Sverige finns omfattande forskning och utveckling inom additiv tillverkning och även produktion förekommer. Ett kort urval av exempel ges nedan.

US Army Research Laboratory (combat capabilities development command) rapporterar om beställning av "the world's largest, fastest and most precise metal 3D printer" som kommer att användas för ammunition, stridsfordon, helikoptrar,

flyg-aerospace och missiltillämpningar. Komponenter med storlek 1 x 1 x 0,6 m kommer att kunna byggas i ett stycke med en väggjocklek ner till 100 µm.

I Norge utvecklar FieldMade, ett spin-off företag från Forsvarets forskningsinstitut (FFI), container-baserade mobila lösningar.

Renishaw, ett stort multinationellt företag som utvecklar additiv tillverkning för en mängd olika tillämpningar, inte minst för försvarssektorn.

Storbritannien har en tydlig national strategi som inkluderar försvarssektorn.⁹⁷ Däri listas även ett antal övriga nationella satsningar.

16.7 Referenser

Additive Manufacturing UK, National Strategy 2018-25, http://am-uk.org/wp-content/uploads/2017/11/AM-UK_Strategy_Publication_Amendments_November_Digital.pdf. (Besökt 2020-09-08).

Garibaldi, M. 2018. *Laser additive manufacturing of soft magnetic cores for rotating electrical machinery: materials development and part design*, PhD Thesis, University of Nottingham, UK

General Electric, *The Heirs Of Gutenberg: GE Is Adding The Next Chapter Of Its 3D-Printing Push In Germany*, 2017, <https://www.ge.com/news/reports/heirs-gutenberg-ge-adding-next-chapter-3d-printing-push-germany>. (Besökt 2020-10-22).

Liu, Q., Walker, K.F., Djugum, R., Sharp, P.K. *Repair of Australian Military Aircraft Components by Additive Manufacturing Technology*. NATO-AVT-258-04, 2016

Metal additive manufacturing for UAV engine design optimization, Renishaw, <https://www.renishaw.com/en/metal-additive-manufacturing-for-uav-engine-design-optimisation--44869>. (Besökt 2020-09-08).

Norberg, C.D., Flathagen, J., Østereng, T. *Small Nation Perspective on Deployed Military Additive Manufacturing*. NATO-AVT-258-02, 2016

Proceedings från NATO Research Specialist Meeting AVT-258: *Additive manufacturing for military hardware*, Tallin, Estonia, 28-29 April 2016.

⁹⁷ Additive Manufacturing National Strategy sets out to establish the UK as a world leader, 2017-09-26, <http://am-uk.org/additive-manufacturing-national-strategy-sets-establish-uk-world-leader/>. (Besökt 2020-09-08).

Proceedings från NATO Workshop AVT-267: *Future of manufacturing for military applications*, Torino, Italy, 19-20 April 2018.

Proceedings från Specialist team AVT-ST-006: *Exploitation of additive manufacturing in NATO* – under utgivning.

Thornton, A., Saad, J., Clayton, J. *Measuring the critical attributes of AM powders*, Metal Powder Report 74 (2020) 314-319

Waleij, A., Tjäder, Z., Liljedahl, L., Brännström, N. *Can additive manufacturing revamp supply chains for humanitarian aid or peace operations?*
FOI Memo 5568, 2015

Xiobang Shang et al. 2016. *A compact Ka-band waveguide orthomode transducer fabricated by 3-D printing*, European Microwave Conference 4-6 Oct, London, UK

17 Plattformer

17.1 Markplattformer

Författare: Martin Hagström och Ekaterina Fedina

17.1.1 Inledande beskrivning av området

Majoriteten av Försvarsmaktens förband använder sig av markplattformer, såväl i strid som för understöd. Några utvecklingstrender kommer att vara gemensamma för många, som automation av olika funktioner, medan andra är förbehållet specialiserade plattformer, som avancerade skyddslösningar mot kvalificerade hot. De militärt mest intressanta trenderna och teknikutvecklingsområdena är de som riktas mot pansarskyttefordon och stridsvagnar. Teknik som är tillämplig för andra plattformstillämpningar kommer naturligt användas där de utgör kostnads-effektiva lösningar på liknande problem, till exempel vikeffektiva skydds-lösningar i logistik- eller ledningsfordon.

17.1.2 Övergripande trender samt exempel på teknik och system ut mot 2045

En tydlig trend är aktiva skyddssystem, vilka ökar skyddet mot vissa hot utan att öka vikten dramatiskt. Likaså har kvalificerade skyddsmaterial som keramer, för att dämpa den allt ökande massan hos stridsfordon, åter fått uppmärksamhet. Elektriskt pansar kan komma att utnyttjas i framtiden, teorin är känd och flera länder har sannolikt utvecklingsprogram. En annan tydlig trend är införandet av, i fordons-sammanhang avancerad, elektronik för stöd till omvärldsuppfattning, förar-, skytt- och operatörsstöd. Tekniken ger också möjlighet till högre automation av många funktioner, från styrning av fordon till automatisk avfyring. Redan idag görs experiment med obemannade markfarkoster men i vilka taktiska situationer sådana är bättre lämpade än bemannade är en fråga som återstår att besvara. Några potentiella tillämpningar nämns i kapitel 3.

Samverkan mellan olika plattformer, sensor- och vapensystem förväntas öka inom alla vapenslag. Detta innebär att även markplattformarna ska kunna agera i samverkan med andra plattformer. I vilken utsträckning sådana systemlösningar kommer att ge önskad effekt till rimliga kostnader är ännu för tidigt att avgöra. Både material, aktiva skyddssystem och avancerade operatörsstödsystem förväntas utvecklas modulärt, ungefär som i den moderna fordons- och lastbils-industrin, för att hålla nere livscykelkostnaden.

Flera länder står inför flera vägval vad gäller framtida tunga markplattformer. Valen handlar om flera lättare fordon eller färre tyngre, beväpning med kanon och/eller pansarvärnsrobot, införande av en ny större kaliber och eller satsning på

elektromagnetiska vapen samt valet mellan bemannat eller obemannat torn. En tydlig drivkraft för aktörer med ambitionen att kunna agera internationellt är krav på strategisk rörlighet, vilket tenderar att leda till lättare fordon för luftlandsättning eller åtminstone flygtransport. Typiskt är det skyddet som offras för att uppnå önskad rörlighet medan verkanssystemen ofta är jämförbara med tyngre system.

En annan drivkraft som också tenderar att leda till lättare stridsfordon, inte minst för Sverige, är kravet på förmåga till framkomlighet i svår terräng (till exempel djup snö och myrmark i övre Norrland). För många aktörer kommer troligen flera system utvecklas, där vissa av plattformarna kan tillåtas vara tyngre för användning i regioner med lägre framkomlighetsutmaningar medan särskilda system utvecklas avsedda för till exempel subarktisk miljö eller strategisk rörlighet.

Förutsättning för ökad rörlighet med bibehållen stridseffekt är att de aktiva skyddssystemen kan kompensera för en minskad grundpansarvikt och därmed bibehålla och möjligen även öka skyddsförmågan.

Elektromagnetiska vapen (directed energy weapons, laser- och HPM-vapen) fortsätter att utvecklas och kan i framtiden komma att integreras på markplattformar, i första hand som självskyddssystem. Införande av dessa hänger ihop med graden av elektrifiering av fordonet (se avsnitt 17.1.3).

Vägval som inte är teknikutvecklingskritiska, men ändå aktuella för många nationer som nu är inne i uppgradering av sina stridsfordon, innefattar beväpningsalternativ, eller kombinationen av olika beväpningsssystem. Exempelvis kan kanonen kombineras med pansarvärnsvapen eller en vapenstation. Vägvalen kommer bero på motståndares förmågor samt förmåga till att modulärt kunna integrera nya vapensystem på befintliga plattformar.

Frågan om bemannat, obemannat torn eller valbart bemannat fordon (förmåga till fjärrstyrning) påverkas av prioritering mellan minskad besättningsstorlek och konsekvenser av detta, minskat behov av skydd (i tornet) och därmed ökad rörlighet mot mognadsgraden av automation och sensorer som krävs för att kunna framföra fordonet med obemannat torn.

En annan aspekt av obemannade torn eller valbart bemannade fordon skulle kunna vara att kostnaden för allt utom verkanssystemen minimeras varvid ett större antal plattformar kan anskaffas även om det inte är en självklarhet.

Hur de vägvalen kommer att göras är idag för tidigt att säga.

17.1.3 Beskrivning av utveckling av specifika delområden/ teknologier i tidshorisonten

Sedan länge har en ökad elektrifiering av många funktioner, inklusive hybridframdrift, så kallade all electric vehicles funnits som målbild hos markplatt-

formsutvecklarna. Vissa deltekniker som hybriddrift utvecklas för civila tillämpningar och är etablerad teknologi medan andra är specifika för militära tillämpningar där kraven på effektuttag och tillgänglig integrationsvolym kan skilja sig från motsvarande civil användning. Med tillgång till stora energimängder och effekter kan både framdrivning och skyddssystem, och kanske även vissa vapensystem, drivas av samma energikälla med flera fördelar. För att realisera detta krävs utveckling av effektiva högeffekttekniker för lagring, uppladdning och urladdning som kan rymmas inom volymen av ett fordon. Detta är, liksom avancerade skyddslösningar, integritetskritisk kunskap omgärdad av stor sekretess.

17.1.4 Koppling till andra teknikområden som samverkar med eller är förutsättande för området

Många andra deltekniker som sensorer, elektronik och UAV:er (för lokal spaning och lägesbild), är i sammanhanget väl utvecklade men när dessa ska integreras i en markplattform uppstår nya krav. Telekrigsutrustning utvecklad för marint bruk uppstår ofta större volymer än vad som kan tillåtas i markplattformar. Utrustning som utvecklats för flygtillämpningar har utformats med krav på låg vikt och extrem tillförlitlighet, men utan stor tålighet mot de påfrestningar som uppstår i en markplattform. Integrationen av nya tekniker på markplattformarna kommer att ställa krav på andra teknikområden vilket initialt kan vara kostnadsdrivande.

17.1.5 Beskrivning av hur teknikutvecklingen inom området kan påverka de grundläggande förmågorna ut till 2045

Här sammanfattas de ovanstående avsnitten i TURVLUS-termer. Det kan tänkas att skyddsförmågan stärks med införande av nya skyddslösningar så som elektriskt pansar, aktivt kamouflag samt aktiva skyddssystem.

Införandet av nya skyddssystem kommer att även påverka rörligheten positivt då fordon kan göras lättare men bibehålla skyddsförmågan. Även hybriddrift kan ha inverkan på rörlighets- samt uthållighetsförmågan.

Obemannat torn, valbart bemannat fordon eller minskad besättningsstorlek kan tänkas påverka både rörlighet, skydd samt tillgänglighet.

Verkansförmågan kan förstärkas med införandet av elektromagnetiska vapen i kombination med kanon, vilket kan tänkas bredda förmågan att verka effektivt mot flera typer av hot.

Avancerade sensorer och automation kommer att påverka förmågorna ledning, underrättelse och uthållighet genom ökat operatörsstöd, förbättrad omvärldsuppfattning samt modulära (open architecture) tekniklösningar.

17.1.6 Beskrivning av vilka aktörer som forskar eller utvecklar inom området, alternativt har system i tidsperioden

Anskaffning av nya stridsfordonsflottor har ofta varit utvecklingsdrivande för stridsfordonskoncept och integrationen av nya teknikområden i militära plattformar. USA:s program Optionally Manned Fighting Vehicle (OMFV) och Israels program Carmel är exempel på pågående verksamhet inom stridsfordonsområdet där man dessutom har ambitionen att värdera vilka teknikområden som är mogna och kan integreras på befintliga fordon. De krav som ställs på framtida stridsfordon i dessa program kan ge en fingervisning till vilka teknologier och förmågor som bedöms vara viktiga i den framtida striden.

De förmågor som är i fokus vid utveckling av nästa generations stridsfordon är överlevnad (skydd och uthållighet) och rörlighet. Att kunna vara överlägsen i strid i bebyggelse är fortfarande viktigt och återspeglas i kraven som listas nedan. Kraven är likartade från båda länder.

- Stridsfordonet ska kunna vara bemannat eller kunna köras fjärrstyrt med besättningen avsuttet
- Fordonet ska kunna framföras med besättning på två medlemmar
- Stöd av AI och autonoma system för beslutsstöd och förstärkt omvärlds-uppfattning, ruttplanering och måluttag
- Transporterbar med flyg
- Förmåga att verka i övergrader (elevation > 50°) samt verka mot flera mål samtidigt med oberoende vapensystem
- Uthållighet vad gäller aktionssträcka, tyst gång och förutsättningar för kostnadseffektivt underhåll samt modulärt byte av komponenter
- Förmågan att hålla samma takt som stridsvagn och kunna ha verkan för att bekämpa andra stridsfordon och stridsvagnar
- Möjlighet att kunna utrustas med reaktivt skydd, aktivt skydd, elektromagnetiska vapen och avancerade sensorer med AI
- Hybriddrift
- Aktiv kamouflage
- Möjlighet till att kunna strida samverkande med andra mark- och luftsystem.

17.1.7 Referenser

- Feickert, A., *The Army's Optionally Manned Fighting Vehicle (OMFV) Program: Background and Issues for Congress*, Congressional Research Service, R45519, uppdaterad 2020-07-13, <https://fas.org/sgp/crs/weapons/R45519.pdf> (Besökt 2020-09-08).
- Gouré, D., Lexington Institute, *Why the US military can't forget about ground combat vehicles*, Business Insider, Military & Defence, 2016-04-21, <http://www.businessinsider.com/why-the-us-military-cant-forget-about-ground-combat-vehicles-2016-4?r=US&IR=T&IR=T> (Besökt 2020-09-08).
- Gross, J.H., *Defense Ministry unveils 3 prototypes for Israel's tanks of the future*, The Times of Israel, 2019-08-04, <https://www.timesofisrael.com/defense-ministry-unveils-3-prototypes-for-israels-tanks-of-the-future/> (Besökt 2020-09-08).
- Judson, J., *Combat Vehicle Modernization Strategy: One Year Later*, Defence News, 2016-10-04. <http://www.defensenews.com/articles/combat-vehicle-modernization-strategy-one-year-later>, (Besökt 2020-09-08).
- Lye, H. *Next-Generation Combat Vehicles "all about the soldier": US General*, Army Technology 2020-01-30 (uppdaterad 2020-07-08), <https://www.army-technology.com/features/next-generation-combat-vehicles/> (Besökt 2020-09-08).
- The Ground Combat Vehicle (GCV) programme*, Army Technology, <http://www.army-technology.com/projects/ground-combat-vehicle-gcv/> (Besökt 2020-09-08).

17.2 Marina plattformar

Författare: Linus Fast och Mats Nordin

Den fria internationella sjötrafiken (Sealine of communications, SLOC) är avgörande för den globala, sociala och ekonomiska utvecklingen. Denna sjötrafik passerar olika typer av flaskhalsar för att nå sina mål. Det är där, i flaskhalsarna mellan de stora haven, som delar av framtidens konflikter kan komma att utkämpas. Flaskhalsarna karakteriseras av trängsel, passage genom internationella och territoriella vatten, bestridande, osäkerhet, med mera, jämför beteckningen C5 (Congested, Cluttered, Contested, Connected, Constrained). Denna beteckning kan även gälla randhav och dess passager så som Östersjön, Svarta havet, Panama-kanalen, Malaccasundet och Hormuzsundet med flera.

Utvecklingen av marina stridskrafter i vårt närområde⁹⁸ är beroende av den ekonomiska utvecklingen. Generellt kan marinstridskrafternas övergripande roll i flera länder förenklat beskrivas som defensiv och stabiliserande. Utvecklingstrenden går mot strid med system i samverkan och det finns ett fokus på nya sensorer, vapensystem och bredbandig informationsöverföring samt motmedel i vid mening. Parallellt sker en utveckling av obemannade och autonoma system som komplement till fartyg och helikoptrar eller som mer självständiga plattformar.

Ubåtarnas karakteristik baserat på det dolda uppträdet ger en väsentlig tröskel-effekt och bidrar därmed med en stor del av denna stabilitet. Marina system som ubåtar är per enhet några av de dyraste komponenterna i ett lands försvar men ger också stora bidrag till tröskel- och systemeffekt. Utvecklingen av marina stridskrafter i vårt närområde är därför beroende av den ekonomiska utvecklingen.

17.2.1 Sjöplattformar

Författare: Linus Fast

17.2.1.1 Inledande beskrivning av området

I detta avsnitt hanteras ytgående plattformar – främst ytstridsfartyg men även plattformar för sjöminröjning och sjörörlig logistik samt USV/UUV. Plattformarna utgör element för att kontinuerligt över tid, inom ramen för hela konflikt-skalan, möta skilda behov avseende territoriell integritet (TI) och väpnat angrepp (VA). I korthet handlar det om marina plattformar avsedda för de militära uppgifterna sjöövervakning, sjöfartsskydd, kustförsvarsoperationer samt direkta sjöoperationer.

Generellt sett är fartygsmateriel mycket investeringstung avseende såväl anskaffning, tekniskt vidmakthållande som bemanning över tid. Detta gör att många länder har hamnat eller riskerar att hamna i ett otillfredsställande läge av kombinerad fåtalighetsproblematik och gradvis markant föråldring och förslitning av materielen med allt mer utdragna omsättningstakter.

Ett stort antal nationer opererar med sjöstridskrafter med en ryggrad baserad på ett förhållandevis ålderstiget fartygsbestånd som inom en 10-20-årsperiod kommer att behöva omsättas. Hur denna omsättning kommer att ske lär skilja mellan olika nationer.

De utdragna omsättningstakterna påverkar möjligheter och förutsättningar till att införa nya önskade systemförmågor negativt även om erforderliga nya teknologier och systemlösningar är kända och tillgängliga.

⁹⁸ Med närområde avses Östersjön, Västerhavet, Nordsjön, Atlanten längs med norska kusten samt Barents hav gränsande mot Norge och Ryssland,

I tidsperspektivet 2045 kan det konstateras att det stora omsättningsbehov av sjöplattformar som föreligger inom närmast liggande 10-20-årsperiod, innebär att möjliga förmågelyft och tekniksprång förmodligen bara kommer att kunna tas inom ram för någon enstaka generation av omsättning. Utöver detta kan vissa förmågelyft och tekniksprång omhändertas genom tillförsel och/eller uppgradering/modernisering avseende tekniska system och delsystem ombord på redan idag eller snart befintliga system.

Benägenheten att i relativ närtid ta tekniska och ekonomiska risker kommer således fram till 2045 ha stor påverkan på möjligheterna att operativt införa redan idag kända och tillgängliga utvecklingsmöjligheter. Med låg benägenhet till risktagning kan valet bli att omsätta en plattform med en ny liknande plattform, att vara evolutionär snarare än revolutionär. Detta kan skapa ett relativt underläge gentemot en kvalificerad motståndare som satsat på mer revolutionära system/plattformar.

En avsevärd utmaning för hangarfartygsstyrkor utgörs av framtida förutsättningar för dessa att, med bas i nuvarande utformning och operativa koncept, upprätthålla sin operativa relevans i förhållande till det kraftigt ökade hotet från långräckviddiga (även hypersoniska) system för exempelvis avregling av allt större havsområden. En bedömning är att styrkorna alltså finns kvar under kommande 20-årsperiod.

En vägvalsfråga för ett flertal nationer kommer under perioden mot 2045 troligen bli införande av moderskepp med mindre obemannade eller autonoma farkoster, inklusive flygande system. Internationellt har de första beställningarna avseende autonoma system för sjöminröjning redan lagts.⁹⁹

17.2.1.2 Övergripande trender samt exempel på teknik och system ut mot 2045

Oaktat svårigheterna att över tid vidmakthålla och utveckla grundplattan av fartyg med tillhörande system sker kontinuerligt militärteknisk utveckling inom områden som påverkar plattformarnas potentiella systemeffekt, främst kopplat mot höga konfliktnivåer och marin väpnad strid.

⁹⁹ Några exempel på detta beskrivs i:

- Royal Navy to begin unmanned minehunting operations, <https://www.naval-technology.com/news/royal-navy-to-begin-unmanned-minehunting-operations/>. (Besökt 2020-09-08).
- France to Order Four Unmanned Systems for Mine Warfare This Year, <https://www.navalnews.com/naval-news/2020/06/france-to-order-four-unmanned-systems-for-mine-warfare-this-year/>. (Besökt 2020-09-08).
- Naval Group-led team gets \$2 billion mine-hunter contract for Belgian, Dutch navies, <https://www.defensenews.com/global/europe/2019/05/22/naval-group-led-team-gets-2-billion-mine-hunter-contract-for-belgian-dutch-navies/>. (Besökt 2020-09-08).

Ytstrid - inkluderande eskort och luftförsvaret

En övergripande internationell trend som tros fortgå hos de mariner där numerär minskat alltför mycket, är utvecklingen av två skilda kategorier av fartygsmateriel – arbetshästar och fullblod.

Bakgrunden till denna trend ges på ett tydligt sätt i en artikel¹⁰⁰ om hur man inom Royal Navy (RN) försöker vidmakthålla operativt krav på antal fartygsplattformar genom att ersätta gamla system med en mix av dyra, kvalificerade fartyg (fullblod, exemplifierad av Type 26) och billigare fartyg (arbetshäst, exemplifierad av Type 31) med lägre operativ förmåga.¹⁰¹ Utvecklingen är en konsekvens av att det inledande förslaget om att enbart anskaffa T26 inte var ekonomiskt genomförbart.

Med begreppet arbetshäst avses stabila sjösäkra fartyg som verksamhetsmässigt, driftprofilmässigt och ekonomiskt är optimerade för höga gångtidsuttag i låg konfliktnivå, för mötande av behov inom främst sjöövervakning men till del även sjöfartsskydd. Denna kategori utgörs av mindre fregatter och korvetter, patrullfartyg, vedettbåtar eller motsvarande (till exempel SIGMA-fregatter (från Nederländerna) och korvetter med flera till en stor del av världsmarknaden).

I militär utformning utgörs beväpning huvudsakligen av artilleri och kulspjut. Fartygen har i regel ingen förmåga att verka mot undervattensmål och har endast ett starkt begränsat skydd mot kvalificerade luft- och ythot. En internationell trend är att beväpningen och skyddet ökar för dessa typer av fartyg, men den faktiska förmågan mot en kvalificerad motståndare kanske övervärderas¹⁰². Ur ett strikt ekonomiskt perspektiv finns fördelar med att fartygsmaterielen blir standardiserad och samutnyttjad av olika nationella aktörer såsom, i det svenska fallet, Marinen och Kustbevakningen. Det är dock i grunden olika typer av fartygsmateriel varför möjligheterna är begränsade.

Med fullblod avses kvalificerade örlogsfartyg såsom jagare, fregatter och korvetter, som tilldelas kvalificerade systemförmågor för verkan och överlevnad, exempelvis avseende eget luftförsvaret. Sammantaget ger detta kapacitet att fullt ut delta i den framtida alltmer integrerade luft-/sjöstriden mot en tekniskt kvalificerad motståndare.

¹⁰⁰ COMMENT: The Dilemma Behind The Navy's Type 26 And Type 31 Frigates, 2018-09-05, <https://www.forces.net/stories/comment-dilemma-behind-navys-type-26-and-type-31-frigates>. (Besökt 2020-09-04).

¹⁰¹ Se även:

- Offshore Patrol Vessel Missions in Wartime, <http://cimsec.org/opv-missions-wartime/8741>. (Besökt 2020-09-08).
- 'Ungunned' OPVs are still only constabulary vessels, <https://www.defenceconnect.com.au/maritime-antisub/6208-even-upgunned-the-opvs-are-still-only-constabulary-vessel>. (Besökt 2020-09-08)

¹⁰² COMMENT: The Dilemma Behind The Navy's Type 26 And Type 31 Frigates, 2018-09-05, <https://www.forces.net/stories/comment-dilemma-behind-navys-type-26-and-type-31-frigates>. (Besökt 2020-09-04).

En annan övergripande internationell trend, kopplad till fullbloden, är kraftigt utvecklad samverkan eller till och med hård integration mellan luft- och sjöstridskrafter. Drivkrafter för detta är bland annat fåtalighetsproblematik avseende kvalificerade plattformar (luft och sjö) och utvecklingen av system i samverkan där vapenplattformar verkar med långräckviddiga robotsystem. Måldata genereras genom realtidssensordatafusion mellan aktiva och passiva spaningsnoder (av vilka vapenplattformarna kan vara en av fler ingående noder), vartefter måldatan överförs till robot via datalänk.

Med måldata från extern sensor, exempelvis flygburen spaningsradar eller andra sensorer som befinner sig på hög höjd, medges insats mot mål som ligger långt bortom den enskilda fartygsplattformens begränsande radarhorisont.

Måldataförsörjning från sammankopplade externa sensorer är en förutsättning för att på allt större avstånd bortom horisonten kunna nyttja långräckviddiga robotsystem mot rörliga mål. Den integrerade förmågan är under operativt införande inom stormakterna redan idag och bedöms vara möjlig att införa på bredden hitom 2045 även för andra nationer.

Denna utvecklingstrend kan ses som en direkt parallell till utveckling av landbaserad A2/AD¹⁰³ och kan exemplifieras med USA:s CEC- och NIFC-CA-koncept.¹⁰⁴ Systemeffekten blir att kvalificerade fartyg med CEC- och NIFC-CA-förmåga utgör sjörörliga A2/AD-bubblor som helt kan stänga stora sjö- och luftområden för aktörer som inte har motsvarande förmågor eller som på något annat asymmetriskt sätt kan kringgå förmågan. I kustnära områden kan även en utökad systemsamverkan med kustrobotbatterier förväntas, sannolikt med måldataförsörjning från extern, eleverad/flygburen sensor till såväl sjöplattformarna som kustrobotbatterierna och samverkande flygsystem.

Denna utveckling gör att fartyg med kvalificerad verkans- och luftförsvarsförmåga, i ökad omfattning och vid sidan av det rent sjöoperativa perspektivet kan utgöra strategiska, rörliga, komponenter inom ram för nationell luftförsvarsförmåga.

En bedömning är att det i princip bara är USA, Kina och Storbritannien samt möjligen Frankrike, Indien och Ryssland som fortsätter med hangarfartyg och kryssare för världshaven, baserat på principen power projection där system för att upprätthålla A2/AD krävs för sjöstyrkans överlevnad. Långräckviddiga vapen, under-vattenshotet från moderna ubåtar och UV-vapen är redan nu en reell utmaning för dessa plattformar.

¹⁰³ Anti Access/Area Denial handlar om att ta kontroll över operationsområdet och att förneka motparten både access till och möjlighet att verka i detta område. Det amerikanska intresset för A2/AD kopplas bland annat till den kinesiska förmågan till detta inom sin intressesfär.

¹⁰⁴ CEC står för Cooperative Engagement Capability, det vill säga med svenska ord strid med system i samverkan. NIFC-CA står för Naval Integrated Fire Control – Counter Air.

I praktiken förekommer hybrider av arbetshästar och fullblod då man på den internationella exportmarknaden för ytstridsfartyg kan finna plattformar med tillhörande system som för en lekman kan se välförsedda ut avseende systemförmågor, men som i praktiken inte har förmåga att stå sig i en systemduell mot en kvalificerad motståndare.¹⁰⁵ Ofta ligger då tillkortakommandena inom integritets-känsliga områden såsom eldledningsförmåga, signaturer och komplementär telekrigsförmåga. Detta samtidigt som framförallt Kina producerar helt nya fullblod i relativt stora serier.¹⁰⁶ I väst försöker flera länder gå samman för att dela på såväl utvecklingskostnader som serieeffekter med längre serier (till exempel Nederländerna och Belgien). USA, Storbritannien, Frankrike och Tyskland försöker samtidigt möta utvecklingen med i första hand egen utveckling (till exempel Tysklands K130 Serie 2).

Sverige har under större delen av kalla kriget och fram till idag har utvecklat mindre fartygssystem än de fregatter och jagare som traditionellt förekommer i flottor som opererar på öppet hav. Särkrav kopplade till den operativa miljön i Östersjön, det där förekommande dimensionerande hotet samt försvarsekonomi har gjort att vi har utvecklat ett fåtal anpassade fartygssystem. Varje enskilt kvalificerat fartyg har utformats att kunna verka i höga konfliktnivåer och hantera en bred palett av förmågekrav i form av sjömålsbekämpning, luftförsvar, ubåtsjakt och, i viss utsträckning, minjakt.

Hur fartyg i en liten flotta likt den svenska framöver kan/bör materielförsörjas med olika fartygssystem är en särskild utmaning där teknikutveckling, men nödvändigtvis inte färdiga systemkoncept, kan hämtas och anpassas ur internationell utveckling.

Ubåtsjakt - inkluderande eskort och undervattensförsvar

I likhet med inom ytstrid, kan även inom ubåtsjakt, inkluderande eskort och undervattensförsvar, två typer av fartyg komma att behövas. Detta är dels arbetshästar för ubåtsjakt inom kustzonen, det vill säga innanför baslinjen och i skärgård, dels fullblod för ubåtsjakt fritt till sjöss och för eskort av sjöfart. Båda fartygstyperna kommer att bedriva ubåtsjakten tillsammans med helikoptrar och i framtiden möjligen även med USV och UUV samt undervattenssensornät.

¹⁰⁵Designing for the Gap: The space between the OPV and the Frigate, <http://dsei.bmt.org/media/6496774/BMTDSL-Designing-the-Gap-Whitepaper.pdf>. (Besökt 2020-09-08).

¹⁰⁶ Se till exempel:

- How is China Modernizing its Navy?, <https://chinapower.csis.org/china-naval-modernization/>. (Besökt 2020-09-08).
- China Naval Modernization: Implications for U.S. Navy Capabilities—Background and Issues for Congress, Congressional Research Service, Updated August 24, 2020, <https://fas.org/sgp/crs/row/RL33153.pdf>. (Besökt 2020-09-08).

Trots sensorutvecklingen bedöms undervattenplattformar mot 2045 fortsatt vara signurmässigt skyddade i undervattensläge.

Genomförda studier inom Försvarsmaktens studieverksamhet rörande vår framtida ubåtsjaktförmåga och pågående teknikutveckling visar på nya och förbättrade möjligheter att bedriva bunden eller fri ubåtsjakt, både inomskärs och utomskärs i tidsperspektivet 2045.

Internationell utveckling om ubåtsjakt behandlas inte då teknik och taktik skiljer sig stort jämfört med Sverige och Östersjöns specifika miljöbetingelser.

Sjöfartsskyddsoperationer och eskortföretag kan redan idag bli utsatta för både sjömålsrobot- och torpedanfall, samtidigt eller enskilt från en fientlig ubåt. Vi kan skydda oss med egen luftförsvarsförmåga i samverkan med nya plattformsbundna lågfrekventa aktiva sonarsystem (ATAS) anpassade för Östersjön och grunda vatten. Dessa medger större bevakningsyta mot ubåtar, även i hög fart. Detta medger ett effektivare skydd genom att ubåtsjakt- och luftförsvarsenheter kan vara längre från skyddsobjekten och kontrollera ett avsevärt större havsområde än med dagens system. Ubåtsjakthelikoptrar försedda med torpedvapen ingår i den beskrivna skyddsskärmen för att snabbt kunna bekämpa en fientlig ubåt. Torpedinsats från egna ytstridsfartyg är också möjlig.

Även obemannade mindre ytgående plattformar med ATAS samt utläggbara och fasta sensorsystem kommer att finnas och bidra till sjöövervakning genom att ge tidig varning mot inträngande ubåtar eller undervattensfarkoster. Utvecklingen inom AI och autonom signalbehandling blir här en nyckelteknologi som medger att stora mängder sensorer och data kan behandlas och ge nödvändig invisning till personal som kan genomföra en fördjupad analys. Den tidiga varningen medger sedan upprättande av taktiska sökområden som kan avreglas eller förtätas ytterligare med utläggbara sensorsystem eller snabba ytgående obemannade farkoster med sensor- och vapensystem. Vissa grunda och svåravsökta områden inomskärs kan snabbt avspanas med luftburen Lidar, vilket effektiviserar ubåtsjakten för enheter med aktiva spaningssonarer.

Nya raketburna undervattensstridsdelar som kan avfyras från lastbilar på land eller fartyg kan medge snabb vapeninsats mot kränkande undervattensfarkoster på invisning från fartygsbundna eller utlagda sensorsystem.

Sjöminröjning - inkluderande minering

Den kanske mest tydliga trenden inom området sjöminröjning är att befintliga minröjnings-/minjaktstfartyg i första hand kompletteras med obemannade system fram till 2045. Med tiden kommer vi bedömningsvis även se operativt införande av helt autonoma system. Tidpunkten för införande av sådana system kan komma att bli mer beroende av tillämplig lagstiftning snarare än av tekniska begränsningar.

Man kan se olika faser avseende denna utveckling. En första, till del genomförd, fas är att man opererar på distans med fjärrstyrda obemannade system från fartygsplattformar. Nästa steg, som här och var har börjat tillämpas, är att man använder autonoma/semiautonoma självgående (ytgående och/eller undervattensfarkoster) system för detektion, klassificering och eventuellt även röjning av sjöminor. Dessa är dock huvudsakligen baserade på moderfartyg av traditionell karaktär men obemannade farkoster kan också opereras från kajer längs med en kust.

De mer futuristiska stegen är utveckling av kvalificerade system av system där obemannade/autonoma farkoster i realtid samverkar med varandra, utläggbara sensornoder samt traditionella minröjningsfartyg. En drivande förutsättning för detta är operativt införande av länkar och nätverk för undervattenskommunikation. Ett väsentligt och effektgivande tekniksprång som kommer ha stor framtida påverkan är operativt införande av autodetektion och klassificering av minor och minliknande objekt på botten och nere i bottensediment med hjälp av autonoma system. CAD/CAC¹⁰⁷ är en förutsättning för sådan autonom förmåga och bedöms operativt realiseras i perioden fram till 2045.

När det gäller sjöminering kan konstateras att sjöminan, såväl utifrån ett historiskt som ett framtida perspektiv, utgör ett strategiskt vapensystem som i många delar även är tillgängligt för mindre sjönationer. Den psykologiska effekten av sjöminans (eventuella) förekomst inom större eller mindre havs-, kust- och skärgårdsområden gör att en avskräckande tröskeeffekt och avregling kan åstadkommas i grunda havsområden som lämpar sig för sjöminering. Hit räknas, i princip, hela det maritima svenska närområdet i form av Östersjön, Kattegatt, Skagerack och det vidare utloppet mot Nordsjön.

Sjömineringarna ställer en motståndare inför vägval som kan ha stor påverkan på operativa förlopp i stort, inte bara till sjöss, då motståndaren behöver avväga risker, tidsförluster och andra möjliga konsekvenser kopplade till alternativen att helt avstå sjöfart genom minerat område, röja/svepa minerat område eller att med hög risktagning segla igenom minerat område.

Minparken, sett ur ett globalt perspektiv, utgörs fortfarande – volymmässigt – av traditionella minor (förankrade kontaktminor samt förankrade eller bottenliggande avståndsverkande minor). Även äldre avståndsminor bedöms vara operativt relevanta fram till och bortom 2045 genom uppgradering av minsensorer och minalgoritmer. En av de största begränsningarna avseende sjöminering med dessa minsystem är tillgång till fartygstonnage (och skydd av dessa) som rent logistiskt kan lägga ut stora mängder minor.

¹⁰⁷ Computer Aided Detection/Computer Aided Classification

Vid sidan av vidmakthållande och utveckling av traditionella sjöminor sker utveckling av rörliga sjöminor med kvalificerad sensorfunktionalitet, som med allt större räckvidder, mer eller mindre autonomt, kan transportera sig fram till ett långt framskjutet läge, varvid det operativa djupet, tekniskt sett, kan föras ända in i motståndarens utskeppningshamnar.

Sjörörlig logistik

Varje nation med sjöstridskrafter utvecklar egna lösningar för marin logistik, inkluderande sjörörlig logistik, inom ram för ett sammanhållet stridskraftskoncept.

Vid en jämförelse mellan olika nationer kan vissa grunder, av interoperabilitets-skäl, vara standardiserade, men den konceptuella utformningen i sin helhet utgår från den enskilda nationens geostrategiska, geografiska och stridsmiljörelaterade behov.

Det är stor skillnad mellan sjögående logistiklösningar för global, oceangående/expeditionär förmåga och motsvarande lösningar för sjöstridskrafter som, liksom de svenska, huvudsakligen uppträder kustnära i rand- och innanhav med väsentligt mindre stridsplattformar med begränsad uthållighet.

I fallet med expeditionär förmåga, byggs de sjögående logistikkedjorna upp av mer eller mindre anpassade fartyg med civila handelsfartyg som grund (stykkegod, RoRo-fartyg, containerfartyg, tankerfartyg med mera). Dessa utgår från land-baserade logistiknav och terminalpunkter och försörjer stridsfartygen till havs under gång.

I det svenska fallet med kustnära och inom/i anslutning till eget territorium, gör nuvarande och framtida stridsavstånd till sjöss att större logistikfartyg utan dedikerade skyddslösningar blir väldigt sårbara – sitting duck till sjöss.

Befintliga svenska stödfartyg är kraftigt ålderstigna och kan endast, avseende skydd/egenskydd, utföra logistik till sjöss vid låga konfliktnivåer. De kan fungera som dimensionerande bulk för omfattande gångtider inom ramen för TI, men får nog anses bli lätta och kritiska mål i högre konfliktnivåer.

17.2.1.3 Beskrivning av utveckling av specifika delområden/teknologier i tidshorizonten

Hotutveckling och stridsekonomi kan på sikt kräva införande av okonventionella systemlösningar som baseras på all-electric-ship, det vill säga att energiförsörjning avseende såväl framdrivningsförmåga som verkansförmåga och motmedel

(EMRG¹⁰⁸/laser etc.) baseras på elproduktion och energilagring ombord. Ett införande av alternativa, elektriskt baserade, verkanssystem bedöms kunna få positiv påverkan i form av reducerade behov av ammunitionstransporter inom logistiken.

Avseende den kvalificerade ytstriden bedöms duellen mellan långräckviddiga robotsystem och skydd mot dessa att fortgå. Avseende robotutvecklingen ligger tyngdpunkt på att i allt högre utsträckning kunna dra operativ nytta av robotarnas utökade kinematiska porté, hastighet (överljud), störtåliga målsökarteknik av multifunktionstyp samt måldataförsörjning från externa sensorer till robot i bana.

Avseende skyddsfunktionen ligger utmaningen i att åstadkomma en kostnads-effektiv och förmågemässig balans mellan smygteknik (signaturanpassning och taktiskt uppträdande), motmedelssystem som matchar målsökarutvecklingen samt utvecklade luftvärnssystem som kan verka i olika lager/räckvidder och riktningar. Hotutveckling kopplat till införande av hypersoniska sjömålsrobotar kommer att bli en stor utmaning att hantera. Därför är utbyggnaden av den marina luftförsvars-förmågan väsentlig för att bibehålla den marina handlingsfriheten.

Operativt införande av mogna koncept för undervattenskommunikation är en grund för samverkande system inom bland annat sjöminröjning med fartyg och obemannade/autonoma system. Därtill autonom förmåga till detektion och klassificering (CAD/CAC) avseende minor och minliknande objekt. Införande av undervattenslänkar öppnar även upp för möjlighet till samordnad sjöstrid där torpedinsats från ubåt kan synkroniseras i tid med sjömålsrobotinsatser – ett taktiskt sätt att stressa motståndarens egenskyddsfunktioner.

En rimlig bedömning är att man fram mot 2045, i ett globalt perspektiv med det civila samhällets behov som primär drivkraft, har kommit långt i omställning från energi- och framdrivningssystem baserade på fossila drivmedel till alternativa drivmedel eller helt andra typer av system. Exempelvis har man inom civil sjöfart börjat studera en möjlig återgång till vindkraft som primär kraftkälla för lågfartsanpassad transit över stora avstånd.¹⁰⁹ Just denna typ av lösningar kommer dock inte att medge militär tillämpning av operativ relevans. Här är det snarare icke-fossila drivmedel som är en lösning. Antalet militära sjöplattformar är i förhållande till mängden civilt tonnage så pass marginell att man för de militära tillämpningarna kommer att bli hänvisad till att följa och anpassa sig till civil utveckling med potential att möta de militära behoven.

¹⁰⁸ *Electromagnetic railgun*, en elektromagnetisk kanon som kan avfira projektiler med extremt hög hastighet. Utveckling av en sådan sker inom den amerikanska marinen.

¹⁰⁹ Möjligt att frakta 7 000 bilar med segelfartyg – om farten sänks, Ny Teknik, 2020-01-15, sänks <https://www.nyteknik.se/premium/mojligt-att-frakta-7-000-bilar-med-segelfartyg-om-farten-sanks-6984198>. (Besökt 2020-09-08).

17.2.1.4 Koppling till andra teknikområden som samverkar med eller är förutsättande för området

Avseende kvalificerad ytstridsförmåga med fartyg föreligger starka kopplingar och beroenden mot (behov av integrerad) utveckling inom luftdomänen och ledningsfunktionen avseende sensorutveckling och länkar för generering och realtidsdistribution av luft- och sjölägesbild samt kvalificerad måldata över stora avstånd inom ramen för koncept liknande USN CEC och NIFC-CA. Avseende förmåga till samordnad strid med flygstridskrafter inom ramen för långräckviddig bekämpning (BVR-strid)^{110,111} indikerar studier att styrkorna är högre verkans-effekt men framförallt överlevnad och därigenom uthållighet. Detta är särskilt viktigt för fartyg som är smyganpassade och uppträder radar- och radiotyst.

Även i det fall man, utifrån perspektivet system-av-system, inte skulle välja att driva integrationen avseende lednings- och sambandssystem lika långt som inom de amerikanska koncepten (där man förenklat kan beskriva lednings- och sambandsfunktionerna som ett gemensamt, molnbaserat system för de enheter/plattformar som samverkar i lösande av den specifika taktiska uppgiften) kommer det ställas stora krav på utökad realtids-samverkan mellan de avgränsat plattformsbundna ledningssystemen. Detta förutsätter datalänkar med helt annan prestanda än vad nuvarande L16/L22 medger – särskilt i det fall man i tyst mod vill kunna skjuta på annans måldata.

Den ovan beskrivna förmågeutvecklingen avseende verkan, skydd och ledning kommer kraftigt att påverkas av generisk och riktad utveckling inom teknikområden såsom AI och autonoma system.

17.2.1.5 Beskrivning av hur teknikutvecklingen inom området kan påverka de grundläggande förmågorna ut till 2045

Potentiella militära tillämpningar

I allt väsentligt har tillämpningar beskrivits i den löpande texten ovan. Sammanfattningsvis kan konstateras att trenderna inom teknikutvecklingen medför/bedöms komma att medföra:

- Behov av kontinuerlig närvaro av sjöplattformar för att i alla konfliktlägen ha en uthållig förmåga att över ytan generera en sjölägesbild som utgångspunkt för att kunna verka.

¹¹⁰ Teknik för framtida stridsfältet, Projekt KV21, KKrVA, <http://kkrva.se/kv-21/> (Besökt 2020-09-08).
Samt CEC-/NIFC-CA, https://wikipedia.org/wiki/Cooperative_Engagement_Capability.
(Besökt 2020-09-08).

¹¹¹ The Cooperative Engagement Capability (CEC). Transforming Naval Anti-air Warfare. Case Studies in National Security Transformation. No 11. William D. O'Neil. 2007.

- De allt större sensor- och vapenräckvidderna gör att det operativa djupet i svenska närliggande havsområden blir väldigt litet avseende luft- och ytstrid.
- I tidsperioden fram till (och bortom) 2045 innebär detta, på aggregerad nivå ovanför enskilda plattformar, att det inom ram för väpnad konflikt blir enklare att etablera sea-denial än sea-control – det vill säga att aktuella havsområden stängs för såväl civil som militär sjöfart.
- Kvalificerade sjöplattformar, fullblod, kommer att ha möjlighet att lokalt upprätthålla förmåga till sea-control genom att etablera en egen, avgränsad avreglingsbubbla inom motståndarens större avreglingszon.
 - o Mindre kvalificerade plattformar, arbetshästar, kommer inte att ha förmåga att bidra i högre konfliktnivåer då de inte har adekvat överlevnadsförmåga mot det kommande vapenhotet.

Begränsande faktorer

De framtida kvalificerade sjömålsrobotarna bedöms vara så pass fysiskt stora att de kan vara svåra eller i värsta fall omöjliga att fysiskt integrera i de operativa sjöplattformar svenska marinen förfogar över idag.

Eventuellt införande av all-electric-ship-design innebär revolutionär påverkan på utformning av hela systemlösningen för plattformssystemet med dess effektgivande integrationssystem (energisystem, vapensystem, skyddssystem med mera), vilket ställer krav på tidig, välbalanserad totaldesign för helheten.

Ovan beskriven utveckling avseende kraftigt utvecklade samverkan eller till och med hård integration mellan luft- och sjöstridskrafter förutsätter att enskilda plattformssystem utgör noder i ett integrerat system-av-system där det egentligen inte är möjligt att särskilja sensorsystem från ledningssystem inkluderande kvalificerade länkar. I dag är det ett fåtal globala aktörer som har förmåga att utveckla och operativt införa dessa förmågor. Det finns en restriktivitet med att delge kritiska teknologier och produkter till andra än närmaste partners på bilateral nivå. Detta medför svårigheter att nå den högsta nivån av interoperabilitet, varför Sverige måste ha en kontinuerlig egen parallell utveckling.

Ett införande påverkar sannolikt stora delar av Försvarsmakten, dess doktrin, organisation, taktik med mera. Det bör i sammanhanget påpekas att:

- Tekniska lösningar och möjlig systemutveckling med associerad ökning av förmåga och effekt är något man antingen förfogar över och beslutar om att införa eller inte. Som dimensionerande grund får man dock utgå från att en kvalificerad motståndare på olika sätt kommer att nyttiggöra potentialen i de beskrivna utvecklingstrenderna.

- Det är inte givet att det nödvändigtvis blir billigt/billigare att möta fåtalighetsperspektivet med införande av obemannade/autonoma system i en integrerad kontext.

17.2.1.6 Beskrivning av vilka aktörer som forskar eller utvecklar inom området, alternativt har system i tidsperioden

I princip alla betydande maritima nationer har FoU och en varvs- och sjöfartsnäring samt en flotta. Det är grunden i de internationella maritima strategierna och ett medel att hantera internationell lagstiftning avseende sjöfart. Flera länder har dessutom fler än en FoU-organisation samt ett flertal branschorganisationer för utveckling.

USA i samarbete med de anglosaxiska länderna Storbritannien, Kanada, Australien och Nya Zeeland, samt Kina, Ryssland och Indien driver utvecklingen inom det marina området.

Alla större västliga marina nationer bedriver forskning och utveckling av marina system och plattformar exempelvis Frankrike, Tyskland och Holland. Därutöver sker verksamhet i Norge, Sverige, Danmark med flera nationer.

17.2.1.7 Referenser

An Assessment of U.S. Military Power: U.S. Navy, 2019-10-30, <https://www.heritage.org/military-strength/assessment-us-military-power/us-navy>. (Besökt 2020-09-08).

CEC-/NIFC-CA, https://wikipedia.org/wiki/Cooperative_Engagement_Capability (Besökt 2020-09-08).

China Naval Modernization: Implications for U.S. Navy Capabilities— Background and Issues for Congress, Congressional Research Service, Updated August 24, 2020, <https://fas.org/sgp/crs/row/RL33153.pdf>. (Besökt 2020-09-08).

Clark, B. och Walton, T. A., Taking Back the Seas: Transforming the U.S. Surface Fleet for Decision-Centric Warfare, 2019-12-31, <https://csbaonline.org/research/publications/taking-back-the-seas-transforming-the-u.s-surface-fleet-for-decision-centric-warfare/publication/1> (Besökt 2020-09-08).

COMMENT: The Dilemma Behind The Navy's Type 26 And Type 31 Frigates, 2018-09-05, <https://www.forces.net/stories/comment-dilemma-behind-navys-type-26-and-type-31-frigates>. (Besökt 2020-09-04).

- Designing for the Gap: The space between the OPV and the Frigate,
<http://dsei.bmt.org/media/6496774/BMTDSL-Designing-the-Gap-Whitepaper.pdf>. (Besökt 2020-09-08).
- Eckstein, M., Study Says Navy Logistics Fleet Would Fall Short in High-End Fight, 2019-05-17, <https://news.usni.org/2019/05/17/study-says-navy-logistics-fleet-would-fall-short-in-high-end-fight>. (Besökt 2020-09-08).
- France to Order Four Unmanned Systems for Mine Warfare This Year,
<https://www.navalnews.com/naval-news/2020/06/france-to-order-four-unmanned-systems-for-mine-warfare-this-year/>. (Besökt 2020-09-08).
- How is China Modernizing its Navy?, <https://chinapower.csis.org/china-naval-modernization/>. (Besökt 2020-09-08).
- Kimber, A. C., Designing for the Gap: The space between the OPV and the Frigate, <https://shipjournal.co/index.php/sst/article/view/118/368>. (Besökt 2020-09-08).
- Komulainen, A., Nilsson B., Nilsson, J., Sangfelt, E., Öberg, T.,
Undervattenskommunikation 2011-2014 Slutrapport,
FOI-R--4024--SE, 2014
- Kuper, S., Expert call for RAN corvettes presents an opportunity for ‘high-low’ force development, 2020-02-05,
<https://www.defenceconnect.com.au/maritime-antisub/5522-expert-call-for-ran-corvettes-presents-an-opportunity-for-high-low-force-development>. (Besökt 2020-09-08).
- Lange, H., Combes, B. Jermalavičius, T., och Lawrence, T., To the Seas Again: Maritime Defence and Deterrence in the Baltic Region, ICDS, april 2019,
https://icds.ee/wp-content/uploads/2019/04/ICDS_Report_To_the_Seas_Again_Lange_Combes_Jermalavicius_Lawrence_April_2019.pdf. (Besökt 2020-09-08).
- Larsson, A., Akyuz, M., Nyholm, S. E., Sjöqvist L., *Elektriska vapen på slagfältet – Litteraturoversikt rörande elektrifiering av plattformar, elektromagnetisk utskjutning och taktiska laservapen*,
FOI-R--3962--SE, 2014
- Marinens utvecklingsplan 2016, FM2015-20223:1, 2015-10-25
- Maritim samverkan – Betänkande av Maritimutredningen, SOU 2012:48,
ISBN 978-91-38-23771-7, 2012

Naval Group-led team gets \$2 billion mine-hunter contract for Belgian, Dutch navies, <https://www.defensenews.com/global/europe/2019/05/22/naval-group-led-team-gets-2-billion-mine-hunter-contract-for-belgian-dutch-navies/>. (Besökt 2020-09-08).

Offshore Patrol Vessel Missions in Wartime, <http://cimsec.org/opv-missions-wartime/8741>. (Besökt 2020-09-08).

Royal Navy to begin unmanned minehunting operations, <https://www.naval-technology.com/news/royal-navy-to-begin-unmanned-minehunting-operations/>. (Besökt 2020-09-08).

Slutrapport studie Minkrigssystemet 2025 (SJÖ 101205),
FM 21 120:10622, 2012-12-14

Studie nytt ytstridsfartyg, YSF 2030. FM/FMV/FOI 2018.

Teknik för framtida stridsfältet, Projekt KV21, KKrVA, <http://kkrva.se/kv-21/>
(Besökt 2020-09-08).

‘Upgunned’ OPVs are still only constabulary vessels,
<https://www.defenceconnect.com.au/maritime-antisub/6208-even-upgunned-the-opvs-are-still-only-constabulary-vessel>. (Besökt 2020-09-08).

Walton, T. A., Sustaining the Fight: Resilient Maritime Logistics for a New Era, 2019-04-23, <https://csbaonline.org/research/publications/sustaining-the-fight-resilient-maritime-logistics-for-a-new-era/publication/1>.
(Besökt 2020-09-08).

17.2.2 Undervattensplattformar

Författare: Mats Nordin

17.2.2.1 Inledande beskrivning av området

I detta underlag hanteras undervattensplattformar – det vill säga ubåtar. Plattformarna utgör basen för att kontinuerligt över tid, inom ramen för hela konflikt-skalan, möta skilda behov avseende TI och VA. Ubåtens utnyttjande baseras på dolt uppträdande under lång tid, i eget närområde såväl som framskjutet. Genom det dolda uppträdandet skapas osäkerhet, vilket binder ansevärla resurser hos en eventuell motståndare. Detta gör ubåten till ett strategiskt system.

Under de två världskrigen användes ubåten i huvudsak till sjöfartskrig. Under det kalla kriget utvecklades ubåten mot en mer utrerad underrättelse- och specialoperationsplattform för att numera omfatta de flesta företagstyper.

I korthet handlar det om ubåtar avsedda för följande företagstyper i hela konflikt-skalan från djupaste fred till fullskaligt krig:

- Spaningsföretag
- Underrättelseinhämningsföretag
- Specialföretag
- Undervattensinformationsföretag
- Undervattensarbetsföretag
- Minspaning/minröjning/minjaktföretag
- Minkrigsföretag
- Ubåtsjaktföretag
- Sjömålsföretag
- Markmålsföretag

Den sista företagstypen innefattar kryssningsrobotar från konventionella ubåtar såväl som från atomubåtar (SSG/SSGN), samt ballistiska robotar från strategiska atomubåtar (SSBN).

Utveckling, design och produktion av ubåtar är begränsat till ett mindre antal kvalificerade industriländer. Generellt sett är ubåtssystem investeringstunga avseende såväl utveckling, anskaffning och vidmakthållande som bemanning över tid. Detta gör att många länder har hamnat eller riskerar att hamna i ett otillfredsställande läge av kombinerad fåtalighetsproblematik och gradvis markant föråldring och förslitning av materielen med allt mer utdragna omsättningstakter.

Detta har gjort att ubåtar som plattformar har ökat sin tekniska livslängd från 20 år upp mot 35-40 år under den senaste 30-årsperioden internationellt. Det medför även att delsystemen ombord på ubåtarna omsätts fler gånger under ubåtens livstid än tidigare. Detta gäller även Sverige och sker normalt vid Generalöversyner (GÖ, var 6-8 år), Halvtidsöversyner (HTM, efter 12-16 år) och Livstidsförläggningar (LTF, efter 20-35 år).

Marinstridskrafternas övergripande roll i flera länder kan förenklat beskrivas som defensiv och stabiliserande samtidigt som ubåtarnas karaktäristik baserat på det dolda uppträdandet vilket ger en väsentlig tröskeleffekt och därmed stor del av denna stabilitet. Marina system som ubåtar är per enhet några av de dyraste komponenterna i ett lands försvar men ger också stora bidrag till tröskel- och systemeffekt. Utvecklingen av marina stridskrafter i vårt närområde är därför beroende av den ekonomiska utvecklingen.

Ubåtsutvecklingen förutsätter fortsatt förmåga till enskild strid men där förmågan till strid med system i samverkan (Cooperative engagement capability, CEC) har börjat få en väsentlig påverkan på delsysteminnehållet som plattformen bär med sig. Detta innebär ett större fokus på nya sensorer, vapensystem och bredbandig informationsöverföring, såväl för den egna plattformen som för snabbt utläggningsbara system (Rapid Deployable Systems, RDS) och obemannade undervattensfarkoster (UUV:er) – allt för att få en bättre system-effekt i ubåtens eller angränsande operationsområden. Parallellt sker därför en utveckling av obemannade och autonoma system som komplement till ubåtar, fartyg och helikoptrar eller som mer självständiga plattformar.

17.2.2.2 Övergripande trender samt exempel på teknik och system ut mot 2045

Både nationellt och internationellt finns svårigheter (teknologiska, industriella, kompetensmässiga och finansiella) med att över tid vidmakthålla och utveckla ubåtsplattformen. Trots dessa svårigheter sker kontinuerligt militärteknisk utveckling av medel och motmedel inom områden som påverkar plattformarnas potentiella systemeffekt kopplat mot höga konfliktnivåer och väpnad strid, med yttersta syfte att vinna duellen.

Fåtalighet – Integration av komplexa system – Utnyttjande av UUV:er

Den numera långt drivna fåtaligheten av antalet ubåtar och den tekniska utvecklingen mot alltmer integrerade och komplexa fartyg med många funktioner och uppgifter för olika konfliktnivåer och företagstyper, har ökat de konventionella ubåtarnas storlek från några hundra ton till 1000 ton och många ligger nu i intervallet 1800-2200 ton. En trend är därför att försöka hålla ubåtarnas storlek nere samtidigt som de kompletteras med obemannad teknik så som RDS:er och UUV:er, inkluderande slussystem på moderubåten (jämför A26). Specialdesignade mini- och kustubåtar på mindre än 100 respektive 400 ton har därför åter börjat utvecklas och anskaffas.

Enskilt uppträdande – Strid med system i samverkan (CEC)

En annan övergripande trend kopplad till ubåten är kraftigt utvecklad samverkan eller till och med hård integration mellan luft- och sjöstridskrafter. Drivkrafter för detta är bland annat fåtalighetsproblematiken avseende kvalificerade plattformar (luft och sjö) och utvecklingen av system i samverkan där vapenplattformar verkar med långräckviddiga torped- och robotsystem som avfyras och uppdateras på/med måldata som genereras genom realtidssensordatafusion mellan aktiva och passiva spaningsnoder (av vilka vapenplattformarna kan vara en typ av nod). Denna utvecklingstrend kan ses som en direkt parallell till utveckling av landbaserad

A2/AD¹¹² och kan exemplifieras med USAs CEC- och NIFC-CA-koncept.¹¹³ Systemeffekten blir att kvalificerade plattformar med CEC-/NIFC-CA-förmåga utgör sjörörliga ”A2/AD-bubblor” som helt kan förneka stora sjö- och luftområden för aktörer som inte har motsvarande förmågor eller som på något annat asymmetriskt sätt kan kringgå förmågan. Denna förmåga kräver dock att en stor mängd vapen kan medföras vilket blir svårt för mindre fartyg och ubåtar.

Dolt uppträdande – Luftberoende system och signaturer samt fjärrstridsmedel
Konventionella ubåtar har idag 20 till 50 dygns operativ uthållighet, det vill säga tiden till sjöss. Det innebär att ubåten bär med sig förråd i form av bränsle, mat och vatten för denna tid. Den operativa uthålligheten anger dock inte tiden under ytan (taktisk uthållighet). På grund av hotbildsutvecklingen är ubåtarnas fortsatta överlevnad än mer beroende av det dolda uppträdandet. Baserat på utvecklingen av luftberoende maskinsystem (LOM) som det svenska Stirlingsystemet och det tyska bränslecellsystemet kan ubåtarna nu vara under ytan i upp till en månad, vilket nästan är i paritet med den operativa uthålligheten. Även Ryssland, Frankrike och Japan utvecklar egna bränslecellsystem samtidigt som Sverige och Tyskland utvecklar nästa generations LOM-system. Samtliga länder följer eller driver även utveckling av Li-jon-batterier som komplement eller ersättning till LOM-systemen. Li-jon bedöms inom 10 år ersätta bly-syra-batterier (PB) på ubåtar. För att ubåten ska klara av de allt längre tiderna under vatten, från den batteribaserade uthålligheten på 2-4 dygn till 14-21 dygn och upp mot 30 dygn, måste även navigationssystem och livsuppehållande system såsom luftrening och syresättning klara av denna ökande uthållighet under vatten. Som en följd av dessa resultat har återigen lågeffektsreaktorer börjat studeras och testas för ubåtar och stora UUV:er.

Utvecklingen av ubåtars signaturer, i huvudsak akustiska, elektriska och magnetiska, fortsätter. Duellen mellan sensorer och signaturanpassning är i många fall nere på direkt kollisionavstånd mellan enheter då ubåten går långsamt och tyst. Svårigheten för framtiden ligger i att designa ubåtarna så att summan av alla signaturer ger en jämn och homogen nivå så att ingen signaturtyp sticker ut och drar till sig en motståndare. Signaturmålet för kvalificerade aktörer är att kunna passera över motståndarens snubbeltrådar på botten i kustzoner och randhav, oberoende av sensortyp, för att bibehålla sin handlingsfrihet.

Samtidigt försöker man att uppnå större skjutavstånd så att skjutmomentet, som i likhet med högre fart hos ubåten har en högre signatur, inte ska detekteras av exempelvis målfartyg eller dessas eskort. Detta ställer i sin tur större krav på

¹¹² Anti Access/Area Denial handlar om att ta kontroll över operationsområdet och att förneka motparten både access till och möjlighet att verka i detta område. Det amerikanska intresset för A2/AD kopplas bland annat till den kinesiska förmågan till detta inom sin intressesfär.

¹¹³ CEC står för Cooperative Engagement Capability, det vill säga med svenska ord strid med system i samverkan. NIFC-CA står för Naval Integrated Fire Control – Counter Air.

sensorer och målfaktorberäkningar då avståndet ökar bortom den optiska horisonten, varför det är naturligt att se bekämpningen som en del i en större bekämpningskedja enligt CEC. På detta sätt blir därför torpeders räckvidd och signatur tillsammans med andra fjärrstridsmedel och system (exempelvis UUV:er och AUV:er med global räckvidd) som kan verka på andra sidan horisonten viktiga. Detta är orsaken till att missiler skjutna från ubåtar har haft en begränsad nytta då deras korta porté möjliggjort tidig detektering av skjutande ubåt. Redan dagens moderna missiler har sådana skjutavstånd att det blir svårt att detektera den skjutande ubåten. I framtiden då CEC antas vara inkorporerat hos motståndaren blir detta än svårare, då autonoma skjutande system också blivit ett viktigt komplement till plattformarna.

Man kan se olika steg i utvecklingen. Ett första, till del genomfört, steg är att man opererar på distans med fjärrstyrda obemannade system från ubåtsplattformar. Nästa steg, som här och var har börjat tillämpas, är att man använder autonoma/semiautonoma självgående system för detektion och klassificering. De mer futuristiska stegen är utveckling av kvalificerade system av system där obemannade/ autonoma farkoster i realtid samverkar med varandra, lägger ut sensor- och kommunikationsnoder samt genomför direkta insatser. En drivande förutsättning för detta är operativt införande av nätverk för undervattenskommunikation sömlöst kopplade till kommunikationsnätverk ovan ytan.

Kostnadsutveckling för plattformen – delsystemen

Samtidigt som ubåtarna har blivit dyrare, bland annat på grund av fåtalighetsproblematik, kortare serier samt integrationen av allt fler komplexa system, har den direkta plattformskostnaden för produktion av skrov och skeppstekniska system minskat per ton, samtidigt som priset på fartygen/ubåtarna har ökat på grund av ökande krav och mer integrerad och komplex design. Det är i allt större omfattning de integrerade delsystemen och speciellt ubåtens sensorer, insatsystem och ledningssystem som står för en allt större del av den totala anskaffningskostnaden. Kostnadsreduktionerna för själva plattformen har drivits längre än för delsystemen. Samtidigt kommer den framtida konkurrensen mellan det större antalet delsystemleverantörer, i förhållande till antalet ubåtsvarv, att bli hårdare med möjliga effektiviseringar som följd.

17.2.2.3 Beskrivning av utveckling av specifika delområden/teknologier i tidshorisonten

Ovan har angivits några teknologier, funktioner, system och förmågor som kommer att utvecklas. I framtiden, mot 2045, bedöms ett starkt beroende finnas till autonoma system som enskilt eller i samverkan kommer att lösa uppgifter. Utöver detta kan följande även nämnas:

- Motståndarens utveckling avseende kvalificerade egenskyddskoncept (hårda och mjuka motmedel) för ubåtar och fartyg ställer stora krav på

framtida torpeder avseende räckvidder, hastigheter, signaturer, måldata-hantering direkt eller genom länkar och robust målsökarteknik mot motmedel.

- Operativt införande av mogna koncept för flerdimensionell kommunikation, speciellt undervattenskommunikation, är en grund för strid med system i samverkan (CEC) inom speciellt följande företagstyper; ubåtsjakt, sjömålsstrid, kartering/sjöminröjning vad avser ubåtar, fartyg och obemannade/autonoma system samt flygande system som JAS och UAV:er.
- System för att generera omvärldsuppfattning, syntetisera och filtrera sensorers kontakter samt distribuera en given omvärldsuppfattning är en grund för ledning och planering av insatser. Beroendet av GIS-data även för marina system kommer att öka drastiskt. Därtill utvecklas nya mer komplexa operatörsstödsystem som även behöver integreras för att exempelvis korta beslutstider.
- Utvecklingen av nya och nygamla energisystem som ger högre fart och framförallt väsentligt längre uthållighet, inkluderande felintensitet (MTBF), så som nya generationer LOM, batterier och reaktorer.

17.2.2.4 Koppling till andra teknikområden som samverkar med eller är förutsättande för området

Avseende kvalificerad sjömålsförmåga med ubåtar, fartyg och flyg föreligger starka kopplingar och beroenden mot integrerad utveckling inom luft- och ledningsarenan avseende sensorutveckling (AESA) och länkar för generering och realtidsdistribution av luft- och sjölägesbild (både för ytan och UV) samt kvalificerad måldata på stora avstånd.

17.2.2.5 Beskrivning av hur teknikutvecklingen inom området kan påverka de grundläggande förmågorna ut till 2045

Potentiella militära tillämpningar

I huvudsak inom de taktiska företagstyper som presenteras inledningsvis. Företagstyperna kan bedrivas i samtliga konfliktnivåer men med olika ambition.

Begränsande faktorer

Området genomgår en generationsväxling samtidigt som tillgången på kvalificerad personal med domänkunskap såväl som djup systemkunskap är begränsad. Det finns därför en risk för kompetensförlust i skarven under generationsväxlingen. Sedan murens fall och under de gångna 25 åren har utvecklingen av och tilltron till civila regleringar ökat markant vilket påverkat möjligheterna att

utveckla militära system för direkt strid. En viss återgång verkar dock vara på väg i syfte att återigen möta krigets krav.

17.2.2.6 Beskrivning av vilka aktörer som forskar eller utvecklar inom området, alternativt har system i tidsperioden

I princip alla betydande maritima nationer har FoU och en varvs- och sjöfartsnärning samt en flotta. Det är grunden i de internationella maritima strategierna och ett medel att hantera internationell lagstiftning avseende sjöfart. Flera länder har dessutom fler än en FoU-organisation samt ett flertal branschorganisationer för utveckling.

Se beskrivning under sjöplattformar.

17.2.2.7 Referenser

EDA Minröjningsstudie 2016-2018.

FM studie, SJÖ 151601S Ubåtsoperationer, 2015-2016.

FM studie, SJÖ 141602S Ubåtsjakt, 2014-2016.

FM Studie, Nytt Ytstridsfartyg YSF 2030, 2017-2018.

FM Studie, SJÖ 182001S – Minkrigsstudie 2035.

FM Temaområde Strid med system i samverkan 2017-2019.

https://wikipedia.org/wiki/Cooperative_Engagement_Capability
(Besökt 2020-09-08).

Komulainen, A., Nilsson B., Nilsson, J., Sangfelt, E., Öberg, T., *Undervattens-kommunikation 2011-2014 Slutrapport*, FOI-R--4024--SE, 2014.

17.3 Luftplattformar

Författare: Tomas Mårtensson

17.3.1 Inledande beskrivning av området

Militärt delas flygområdet traditionellt in i stridsflyg, transportflyg och helikopter-system. Fjärrstyrda och obemannade flygsystem betraktas fortfarande som en egen kategori där uppgifterna främst handlar om spaning och övervakning, men vissa större system har förmåga till markmålsbekämpning.

Frågan är hur väl denna uppdelning står sig i framtiden då de obemannade flygsystemen fortsätter att bredda sina tillämpningar till allt fler områden. Utvecklingen inom området är snabb och gränsdragningen mellan styrda vapen (till exempel kryssnings-, skenmåls- eller signalsökande robotar) och obemannade flygsystem är ibland oklar.

17.3.2 Övergripande trender samt exempel på teknik och system ut mot 2045

Nya typer av plattformar

Inom *stridsflygområdet* sker mycket forskning och utvecklingsarbete på koncept där en mix av bemannade och obemannade flygsystem ska kunna samverka för att ge stridsflygsystem ökad förmåga med lägre risk. Teknologikutvecklingen inom styrautomater, navigering och kommunikation ger möjligheter till både miniatyrisering och kostnadsreduktion.

Uttryck som loyal wingman, remote carrier eller loitering munition är engelska ord som ofta dyker upp i dessa tillämpningar. Ordet patrullrobot har föreslagits som svensk terminologi för vapensystem av typen loitering munition.¹¹⁴ Här avses främst vapen av engångstyp, om något svenskt begrepp uppstår som skiljer ut patrullrobotar från återanvändningsbara dito återstår att se.

Hela 2000-talet har användningen av obemannade flygsystem ökat dramatiskt. Inom stridsflyg har flera större UCAV-demonstratorer (Unmanned Combat Air Vehicle) flugit, ofta avancerade och smyganpassade. Inget system är dock i operativ drift. Idag studeras och demonstreras andra typer av plattformar, ofta mindre, med större produktionsvolym, fokus på lägre kostnad och olika nivåer av återanvändningsbarhet.

Det är fortfarande en öppen fråga hur och med vilka uppgifter dessa system kommer realiseras framöver.

Mycket högt flygande plattformar med uppgifter för främst spaning har varit operativa sedan länge (till exempel de bemannade U2 och SR-71). Utvecklingen av fjärrstyrda obemannade flygsystem under 2000-talet har satt många typer av så kallade HALE- och MALE-system¹¹⁵ i operativ drift. Global Hawk är det mest kända exemplet på ett HALE-system och kan operera på höjder upp mot 18000 meter, vilket är över all kommersiell flygtrafik. Uthålligheten är upp till ca 24 timmar för denna typ av HALE-system.

De nya typer av mycket högt flygande plattformar som nu studeras runt om i världen avses flyga ännu högre, på höjder mellan 20 och 40 km, och kunna vara

¹¹⁴ Teknisk Und informerar, nr 5, 2019, FMV.

¹¹⁵ MALE och HALE, Medium (High) Altitude Long Endurance.

uppe i veckor, månader eller år. Både plattformar som är lättare och tyngre än luft är föremål för de konceptstudier och demonstratorer som flyger. På engelska används ofta förkortningen **HAPS** som kan uttydas som High Altitude Platform Systems, ibland som High Altitude Pseudo Satellites.

De flesta systemen som utvecklas flyger mycket sakta och högt. Nya typer av framdrivning med stora inslag av eldrift (från solpaneler), batteri- och hybriddrift studeras. Farkosterna är känsliga för turbulens och kräver speciella förhållanden vid start och landning. Lastförmågan är också mycket begränsad.

Mycket av marknadsföringen runt dessa system lovar ”rymdförmåga” till betydligt lägre kostnad än traditionella rymdsystem. Givet den snabba utvecklingen som sker på rymdsidan med ökad kommersialisering och prispress är det idag svårt att bedöma framtiden i detta avseende. Oaktat kostnaden kan förmågan dessa system kan erbjuda vara mycket intressant för många länder. Det kan också bli ett reservalternativ för större länder (med egen rymdförmåga) till exempel om vissa satellitbanor skulle bli obrukbara på grund av blockerande rymdskrot efter kollisioner mellan satelliter.

En variant på mycket högt flygande farkoster är så kallade **hypersoniska glid-farkoster** som några större nationer satsar utvecklingsmedel på. Dessa startar och accelereras till hastigheter över Mach 5 och glidflyger sedan på höjder mellan 20 och 50 km. Kina har visat upp system som påstås vara just hypersoniska glid-farkoster.¹¹⁶ Hypersoniska system beskrivs i kapitel 12.

En av de tydligaste trenderna är utvecklingen av främst små och medelstora **obemannade rotorförsedda farkoster** där diversifieringen till nya tillämpningar stadigt ökar. Det gäller både traditionella rotorsystem men också en stark utveckling av vridbara framdrivningssystem är tydlig.

Vridbara framdrivningssystem är i sig inget nytt, det har funnits operativt sedan länge på bemannade system, till exempel Harrier (jet) och med propellersystem (tilt-rotor) på Boeings Osprey. Det nyutvecklade stridsflygplanet F-35 finns i en vertikalstartande version. Förmågan till vertikal start och landning är givetvis operativt mycket attraktiv. För stora system är detta fortsatt en kostsam lösning som innehåller komplexa tekniska delar och en del kompromisser måste göras vad gäller främst räckvidd (jet) jämfört med traditionell start och landning.

Vridbara rotorsystem växer starkt för mindre och medelstora obemannade system där tillverkarna försöker få bättre räckvidder och högre hastigheter relativt rena

¹¹⁶ Rogoway, T., China's High-Speed Drone Is Rocket-Powered And All About Doing What Satellites Can't , 2019-10-01, <https://www.thedrive.com/the-war-zone/30121/chinas-high-speed-recon-drone-is-rocket-powered-and-all-about-doing-what-satellites-cant>. (Besökt 2020-09-08).

rotorsystem. Några större system utvecklas också, exempelvis helikoptertillverkaren Bell:s demonstrator Nexus.¹¹⁷ Nexus är ett tiltrotorsystem med sex fläktar och marknadsförs som en förarlös taxi för kortare transporter, men det är inte svårt att se militära applikationer för en sådan farkost.

Fjättrade rotorsystem är också en mycket tydlig utvecklingstrend. Drönaren är förankrad vid marken (eller ett fordon som förflyttar sig) med en wire genom vilken ström och data flödar. På detta sätt kan bland annat sensorer, sändare och antenner lyftas upp till höjd på ett mycket enkelt sätt. Dessa drönarmaster är på plats så länge strömförsörjning från marken finns. Detta är ett område där regelverket inte riktigt hunnit med utvecklingen för hur dessa ska klassas och regleras.

Ökad automation – Pilotens roll och plats i systemet

Tydliga trender är ökad automation för både bemannade och obemannade flygsystem. Alltmer komplexa funktioner automatiseras. Automatlandning på hangarfartyg, lufttankning och formationsflygning är redan demonstrerade. System som är optionally piloted finns redan operativa och är en tänkbar utvecklingslinje för både stridsflyg och helikoptersystem.

Signaturanpassning

Det satsas fortfarande mycket forsknings- och utvecklingsresurser på signaturanpassning av flygfarkoster men utvecklingen av sensorer (hävdar en del) är ikapp och många av dagens signaturanpassade system kommer att bli synliga för moderna sensorsystem. Hur detta kommer att fortsätta utvecklas är en öppen fråga. Mindre (fysiskt) signaturanpassade flygsystem bedöms ändå förbli mycket svåra att upptäcka eller innebära mycket korta förvarnings- och reaktionstider för den som vill bekämpa denna typ av system. Signaturanpassningsteknik beskrivs i kapitel 10.

Stridsflyg

Kostnaderna för stridsflygsystem har fortsatt att öka brant och trots att utvecklingskostnaderna delas mellan flera länder är nu styckepriset så högt att antalet flygplan, som särskilt mindre länder kan köpa, blir väldigt lågt.

Om kostnadsutvecklingen för nästa generations stridsflygsystem fortsätter på samma sätt kommer många små och medelstora länder inte att kunna investera i dessa. Även om den sjätte generationens system (efter F22/F35) kan förväntas ha enastående prestanda kommer det mest sannolikt inte att kunna kompensera för behovet av en viss volym på flygplansflottan för att kunna vara närvarande i lufthavet över tid, och på flera platser samtidigt. Alternativet för många länder är

¹¹⁷ Bell Nexus, <https://www.bellflight.com/products/bell-nexus>. (Besökt 2020-09-08).

att den utveckling vi ser idag fortsätter, vilket innebär mindre eller större uppgraderingar av befintliga flygsystem med nya sensorer och bättre vapensystem.

För nästa generations bemannade eller obemannade stridsflygsystem kommer integreringen av sensorer och egenskydd att förbättras ytterligare. Aktiva motmedel som kan bekämpa inkommande luftvärns- och jaktrobotar är sannolikt under utveckling i de större länderna. Olika verkansprinciper studeras, till exempel precisionsbekämpning med laser eller manövrerande motmedelsmissiler. Även mer traditionella metoder som bygger på stora volymer av motmedel utvecklas för att kunna möta utvecklingen av bättre målsökningsalgoritmer som samtidigt sker i vapensystemen. Målsökarna förväntas framgent använda olika typer av AI-metoder för att bli robustare mot vilseledande motmedel. Utvecklingen mot skrovintegrering (signaturanpassning) för vapen och sensorer kommer också att fortsätta.

Även USA känner självklart av denna prisutveckling och det bedrivs studier avseende enkla och betydligt billigare (bemannade eller obemannade) flyg-system som ska fungera som vapenbärare, se inledningen till kapitlet om koncept av typen loyal wingman. Större enklare system som bär avancerade vapen, en AMRAAM-truck är andra konceptidéer som diskuteras.

US Air Force betonar att kostnadskurvan för stridsflygsystem bara kan brytas med en total digital omställning för hela anskaffningskedjan av flygsystem, allt från kravställning, design och validering till produktion.¹¹⁸ De hävdar att de lyckats med detta för det demonstrationsflygplan av nästa generations stridsflyg som enligt uppgifter provflugit under 2020.¹¹⁹

Frågan om nästa generations stridsflyg är bemannande, obemannade eller valbart bemannande lever fortfarande. Utvecklingen går mot ett ökat inslag av obemannade system generellt. En del hävdar dock att piloten kommer behöva finnas i luften även i framtiden, medan andra menar att stridspilotens dagar är räknade, bland annat sa Elon Musk detta i ett uppmärksammat uttalande inför US Air Force i november 2019.¹²⁰

Ytterligare en möjlig utvecklingslinje är att behovet av stridsflygplan med fenomenala prestanda inte blir lika uttalat i framtiden. Om robusta kommunikationssystem blir operativa på en större bredd finns möjligheten att strid med system

¹¹⁸ Roper, W., Take the Red Pill: The New Digital Acquisition Reality, US Air Force, 15 september 2020, https://www.af.mil/Portals/1/documents/7/Take_the_Red_Pill-Digital_Acquisition.pdf. Will Roper är USAF Assistant Secretary for Acquisition, Technology & Logistics.

¹¹⁹ Insinna, V., The US Air Force has built and flown a mysterious full-scale prototype of its future fighter jet, DefenseNews 15 september 2020, <https://www.defensenews.com/breaking-news/2020/09/15/the-us-air-force-has-built-and-flown-a-mysterious-full-scale-prototype-of-its-future-fighter-jet/>

¹²⁰ Reim, G., 'The fighter jet era has passed': Elon Musk, 2020-02-28, <https://www.flightglobal.com/fixing-wing/the-fighter-jet-era-has-passed-elon-musk/137017.article>. (Besökt 2020-09-08).

i samverkan verkligen blir ett reellt alternativ till de superenheter som ett stridsflygsystem utgör. Spaning, målinmätning och bekämpning sker då i samverkan mellan olika system och plattformar.

Helikoptersystem

Det finns flera större program som tittar på framtidens helikoptersystem (future vertical lift). Främst handlar det om att öka räckvidd, hastighet och lastförmåga jämfört dagens helikoptersystem. Många större operativa helikoptersystem är i sin grundkonstruktion idag närmare 50 år gamla, till exempel Black Hawk, Apache, Chinook och Mi-8. Det finns ett stort behov av att omsätta dessa. En av de tydligare utvecklingslinjerna är olika typer av tilt-rotorosystem som beskrivs under stycket om nya typer av plattformar.

Större fjärrstyrda eller optionally piloted helikoptersystem är också under utveckling där Kaman K-MAX är ett exempel på ett operativt system. Idag används systemen främst för spaning och mycket korta transporter av materiel. Större system för olika typer av sjukvårdstransporter, längre transporter, ubåtsjakt med mera kommer att utvecklas.

Användningen av mindre obemannade system för mark- och sjö tillämpningar är kanske det område där utvecklingen kommer att bli som störst, se inledningen.

Transportflyg och lufttankning

Flera militära transport- och lufttankningsflygplan är derivat av civila produkter och följer därför i stort sett civil utveckling. Det finns också renodlade militära transportflygplan. De har möjlighet till start och landning på korta och ej hårdgjorda rullbanor. Det senaste tillskottet på den marknaden är Airbus A400M (2009), i övrigt uppdateras övriga äldre system i denna kategori med nya motorer och ny avionik, till exempel C-130 och C-17.

En intressant utveckling för lufttankning är utvecklingen av obemannade tankflygplan, som Boeings MQ-25 Stingray som flög 2019 och planeras bli operativ från hangarfartyg i US Navy från 2024. Plattformen antas också kunna utföra vissa spanings- och kommunikationsuppgifter. Systemet kommer att öka flexibiliteten och förmågan hos både F-35 och framtida obemannade eller bemannade system som kommer operera från hangarfartyg.

17.3.3 Beskrivning av utveckling av specifika delområden/teknologier i tidshorisonten

De klassiska flygtekniska disciplinerna aerodynamik, flygmekanik och flyg-signaturer utgör fortsatt grunden för att ha förmågan att studera och värdera flygsystem i traditionella och nya tillämpningar.

17.3.4 Koppling till andra teknikområden som samverkar med eller är förutsättande för området

Området luftplattformar har kopplingar bland annat till områdena automation, beslutsstöd, flygträning, systemintegration och system i samverkan. Utvecklingen inom dessa områden är av stor betydelse för utvecklingen av framtidens luftplattformar.

17.3.5 Beskrivning av hur teknikutvecklingen inom området kan påverka de grundläggande förmågorna ut till 2045

17.3.5.1 Potentiella militära tillämpningar

Flygstridskrafternas samlade förmågor har fortsatt en mycket stor betydelse på hela skalan från fred över till väpnade konflikter. Det finns också en viktig politisk-strategisk dimension kopplat till luftförsvar generellt.

17.3.5.2 Begränsande faktorer

ICAO¹²¹ arbetar med ett civilt regelverk med målsättningen att fjärrkontrollerade och bemannade system ska uppträda blandat och på lika villkor. Detta bedöms ligga ca 10-15 år bort. En viktig fråga för att detta ska bli verklighet är att fjärrstyrda system på ett säkert sätt klarar att upptäcka och undvika andra föremål i luften. Mycket forskning och utvecklingsarbete har lagts ner på detta område under 2000-talet. Då piloten styr från marken kommer det ställas särskilda krav på länkarna som används avseende data och cyberintrång. Den svåraste frågan att lösa är hur plattformsfel vid länkbortfall ska hanteras. Nödchecklistor, procedurer och metoder måste automatiseras till en sådan grad att flygsäkerheten kan bevisas vara på minst samma nivå som för bemannade system.

Regler för uppträdande finns även i militär användning i kris och krig. Hittills är erfarenheterna från användning av större UAV-system från områden med luft-herravälde. Det har utvecklats nationella militära (och civila) särlösningar i vissa länder för att kunna använda systemen mer flexibelt i väntan på att det internationella regelverket finns på plats.

Det ska noteras att regelutvecklingen ovan helt riktar in sig på antagandet en pilot – en plattform. Själva flygningen (spakandet) är i stort sett helt automatiserad för fjärrstyrda system, något som också gäller för stora delar av dagens bemannade trafikflygplan.

Många av de nya tillämpningarna sker med små (eller mycket små) obemannade system där regler och metoder för att möta denna utveckling inte alltid är i takt med utvecklingen. Resultatet är att den tekniska potentialen inte kan utnyttjas fullt

¹²¹ International Civil Aviation Organization.

ut, detta gäller särskilt den civila användningen. Trycket från den civila sektorn är mycket stort och användandet ökar stadigt världen över.

Den stora begränsande faktorn är fortfarande att flygning utom synhåll normalt inte medges för kommersiella aktörer. För myndighetsutövning (till exempel polis, kustbevakning och räddningstjänst) görs i många länder undantag vid behov. I mycket gleset befolkade områden finns exempel på kommersiella aktörer som flyger utom synhåll.¹²² Riskerna vid flygning utom synhåll är att farkosten kan krocka med andra flygfarkoster eller haverera okontrollerat och skada människor.

Det finns också starka drivkrafter för att tillåta att en operatör kan hantera flera farkoster eller att systemet helt automatiseras. Mycket arbete återstår innan detta kommer bli verklighet och kan certifieras för operativ drift.

Mycket forskning bedrivs inom detta område, de största programmen bedrivs av USA:s luftfartsmyndighet (FAA) och NASA. Samlingsbegreppet UTM (Unmanned Traffic Management) används för att karakterisera detta område.

En av knäckfrågorna för att överhuvudtaget kunna öppna upp regelverken för flygning utom synhåll är att det måste utvecklas ett identifikationssystem (remote id) som i realtid beskriver farkostens fysiska förehavanden men också vem som flyger (ansvarar) för den. Tillverkarna av drönare är generellt för denna utveckling då deras system skulle kunna användas mer. Detta ses också som en viktig komponent i att omhänderta det allt ökande problemet med oaktsam och vårdslös flygning med drönare.

Även militärt är det en stor fråga hur fritt obemannade system ska kunna operera i framtida konflikter, där luftherravälde saknas. Många av de tekniker som utvecklas (exempelvis störtålig navigering) syftar just till att farkosten ska kunna lösa sina uppgifter utan kontakt med operatören.

17.3.6 Beskrivning av vilka aktörer som forskar eller utvecklar inom området, alternativt har system i tidsperioden

Främst USA, Ryssland och Kina står fortsatt för utvecklingen av nya typer av förmågor för större komplexa militära flygsystem. Givet Coronakrisens mycket stora påverkan på civilt flyg är det i skrivande stund svårt att förutspå hur snabbt och till vilka nivåer efterfrågan på civil flygtrafik kommer att återhämta sig. Militärt flyg är beroende av de civila motor- och flygplanstillverkarna som i sin tur är beroende av efterfrågan på flygplan.

I Europa är grundkompetensen inom flygforskning god, det pågår dock positionering inför utvecklingen av nästa generations stridsflygplan.

¹²² <https://flyzipline.com/>. (Besökt 2020-09-08).

17.3.7 Referenser

- Axell, E., Jändel, M. Lindahl, D. Linder, S., Rodhe, I. Westerdahl, L., (2013)
Robust kommunikation cybersäkerhet och artificiell intelligens för säkerhet i RPAS, FOI-R--3825--SE.
- Hultgren, K. Mårtensson, T. Rensfeldt, A. Stensbäck, N. Woltijer, R., (2013)
Flygsäkerhet för obemannade system, FOI-R--3788--SE.
- Insinna, V., The US Air Force has built and flown a mysterious full-scale prototype of its future fighter jet, DefenseNews 15 september 2020, <https://www.defensenews.com/breaking-news/2020/09/15/the-us-air-force-has-built-and-flown-a-mysterious-full-scale-prototype-of-its-future-fighter-jet/>. (Besökt 2020-10-20).
- Melin, T. (2019) *Obemannade flygsystem i samverkan med stridsflyg*, FOI Memo 6596.
- Rantakokko, J. (2018), *Tekniköversikt autonoma och obemannade system* FOI-R--4680--SE
- Rantakokko, J. (2018), *Standarder och gemensamma användargränssnitt som möjliggörare för effektiv MUM-T*, FOI Memo 6594
- Roper, W., Take the Red Pill: The New Digital Acquisition Reality, US Air Force, 15 september 2020, https://www.af.mil/Portals/1/documents/7/Take_the_Red_Pill-Digital_Acquisition.pdf. (Besökt 2020-10-20). Will Roper är USAF Assistant Secretary for Acquisition, Technology & Logistics.
- Scharre, P., Robotics on the Battlefield - Part I: *Range, Persistence and Daring*, 2014, CNAS.
- Scharre, P., Robotics on the Battlefield Part II. *The Coming Swarm*. 2014, CNAS.
- Teknisk Und informerar, nr 5, 2019, FMV.
- US Air Force (2019), *Science and technology strategy*. <https://www.af.mil/Portals/1/documents/2019%20SAF%20story%20attachments/Air%20Force%20Science%20and%20Technology%20Strategy.pdf>. (Besökt 2020-09-08).
- Weaver, L., "Between Air and Space - Zephyr and the Future of High Altitude Pseudo-Satellites within Defence", Air and Space Power Review, vol. 22, no. 2, pp. 58-74, 2019.

18 Diskussion

Författare: Anna Lindberg och Göran Kindvall

18.1 Inledning

I rapporten beskrivs utvecklingen inom ett antal olika teknikområden¹²³ och tekniktillämpningar med relevans för försvar och säkerhet mot år 2045. Detta kapitel syftar till att sammanfatta, relatera och diskutera de underlag som redovisas tidigare i rapporten, samt även till att resonera kring konsekvenser för militär förmåga.

Områdena utgör ett urval av den tekniska utvecklingen med relevans för framtiden. De har mycket olika karaktär och har olika beroenden till annan teknik- och samhällsutveckling. Beskrivningarna av områdenas tekniska utveckling och hur det kan påverka Försvarmaktens förmågor skiljer sig därför åt.

Teknik- och systemutveckling är en heterogen, komplex och föränderlig verksamhet där både teknikutvecklingen och militära samt civila aktörer måste beaktas. Vissa utvecklingar är tämligen säkra inom längre tidsrymder, medan andra är fulla med osäkerhet.

Kapiteln beskriver utveckling mot 2045 och just året 2045 ska tas med en stor nypa salt. För flera av teknikområdena såsom laser och HPM är det möjligt att göra teknisk framsyn och beskriva möjliga utvecklingar på sikt. För ett fåtal teknikområden kan till och med relativt säkra prognoser göras även på längre sikt, såsom kärnvapen. Områden som utvecklas dynamiskt, med stor komplexitet och många interaktioner är utmanande och svåra att bedöma ur ett tjugoförårigt perspektiv. För områden som cyber, AI, kvant, distribuerade liggare och delar av mänsklig förstärkning är det svårt att bedriva utforskande framsyn på mer än ett par års sikt. Tillförlitlighet, typer och grad av osäkerhet skiljer sig därför väsentligt åt mellan områdena i rapporten. Detta gör att Försvarmakten i sitt långsiktiga förmågeutvecklande arbete måste hantera underlagen på olika sätt. Det som populärt kallas svarta svanar och helt oväntade, disruptiva, utvecklingar har vi inte beaktat i rapporten.

Vissa tillämpningar, som hypersoniska system och kärnvapen, drivs framförallt av statliga militära intressen och utgör exempel på system som finns idag eller kommer att införas i tidsperioden. Andra områden som informationsteknologi, autonoma system och additiv tillverkning utvecklas och införs inkrementellt i

¹²³ Additiv tillverkning, Cyber- och informationssäkerhet, Distribuerade liggare, HPM (High Power Microwave), Hypersoniska system, Informationsteknologi, Kvantteknologi, Kärnvapen, Laser, Mänsklig förstärkning, Obemannat/Autonoma system, Plattformar (mark, sjö, luft), Rymden, Signaturanpassningsteknik (SAT), Soldatsystemet.

samhället och försvaret. Inom dessa områden drivs utvecklingen i stor omfattning av civila och privata intressen. Domänen rymd genomgår stora förändringar. Forskning och utveckling som historiskt varit statsbunden verkar nu alltmer drivas i samverkan mellan privata och statliga aktörer, men ibland även helt av kompetenta icke-statliga aktörer som utvecklar och skjuter upp exempelvis mikrosatelliter och rymdfarkoster. Detta skapar en ny komplexitet i rymddomänen, tillgång till domänen och de förmågor som ryms däri.

Utvecklingen av tekniska system som kan stödja människan och förbättra förmågan fortsätter. Vad som är en mänsklig uppgift respektive överläts till ett tekniskt system kommer att förändras i tidsperioden. Automatiskt avfyrade motmedel är ett sedan länge infört system liksom mörkersikte. I det civila används dagligen bilar med stöd för väghållning, avstånd till framförvarande fordon och talbar assistans. Tekniska system ger mot 2045 möjlighet till ytterligare stöd till (autonoma) beslut, även för verkan. Vilket stöd som behövs och som kan accepteras i tidskritiska situationer är något som kommer att ytterligare aktualiseras och kanske även måste hanteras i perioden mot 2045. Interaktionen och utformningen av gränssnittet mellan människa och teknik är fortsatt aktuellt och beroende på applikation. Inom området mänsklig förstärkning kan teknikutvecklingen reversibelt eller irreversibelt förändra eller förbättra människans medfödda förmåga. Förstärkning kan bestå av ett yttre stöd, till exempel ett exoskelett, eller integreras till att vara en för åskådaren osynlig del av människan.

Vissa av de humanetiska och legala frågor som framkommer från underlagen, exempelvis avseende mänsklig förstärkning och autonoma system, sträcker sig utanför politikområdet försvar och säkerhet och diskuteras till del redan i internationella fora. En vedertagen utmaning för snabb teknikutveckling med stora möjliga positiva och negativa konsekvenser är att ha diskuterat och reglerat nyttjande innan applikationen införs. Efter det kan den vara svår att stoppa.

Globalt råder olika uppfattningar om vad som är etiskt acceptabelt i relation till varför och hur teknik används hos såväl stater som den enskilde. Automation, artificiell intelligens, mänsklig förstärkning och syntetisk biologi är några exempel på teknik som idag och troligen än mer på sikt kan komma att ställa oss inför svåra etiska dilemman.

Tekniken finns inte i ett vakuum och människans roll i systemen ställs på sin spets genom diskussioner om ickemänskliga (automatiska) beslut inom viktiga områden. Vissa skyddskoncept är redan idag autonoma, såsom motmedel. De autonoma systemen är då del av exempelvis ledningssystem eller del av en bemannad plattform. Frågan om människan hinner fatta beslut och agera är inte ny. Men vad ska egentligen krävas av de system som utvecklas? Redan frågan om semiautonoma bilar och ansvarsutkrävande är svår och fylld av en rad etiska ställningstaganden. Exempelvis måste respons för vissa situationer sättas på pränt

(förbestämmas) i systemen. Dessutom måste autonoma beslutssystem vara störnings- och påverkanståliga.

Det är inte enbart tekniken som utvecklas. Även organisationer och samhället förändras. Inom de flesta förmågeområden finns ett stort beroende av kvalificerad personal. Ett dagsaktuellt exempel är cyberförmåga, där tillgång till personal med specifik kompetens krävs för att utveckla cybertillämpningar i de tekniska systemen över tid. Funktionalitet som tillskrivs teknik beror i dagsläget stort av människan och behovet av kvalificerad personal bedöms inte bli mindre utan snarare större.

De konsekvenser och tekniker som diskuteras i texterna har en stor spännvidd. De täcker de grundläggande förmågorna tillgänglighet, underrättelse, rörlighet, verkan, ledning, uthållighet och skydd (TURVLUS). De påverkar allt från sub-stridsteknisk nivå till strategisk nivå (bland annat kärnvapen och cyber) samt påverkar hela organisationen eller delar därav. Genom rapporten ges exempel på teknik och tillämpningar hos funktioner och stridskrafter. Vissa exempel återkommer och visar att teknikområden och system bidrar till förmåga hos flera stridskrafter och domäner, eller på olika sätt bidrar till sådan förmåga. Utvecklingen som beskrivs skulle i en nätverkskarta få många korskopplingar och interna beroenden. Dessa interaktioner har vi inte analyserat men de bör omhändertas i andra arbeten.

Ledningssystemet, inkluderande den teknik och de system som ingår i detta, är en återkommande nod för flera av de teknikområden som beskrivs i rapporten, men utgör inget eget kapitel. Exempelvis ges i rapporten exempel på ”smarta” soldater där energi-, sensor- och IT-utveckling gör att fler soldater i framtiden skulle kunna agera sensor eller motta och sända information på lokal eller upp till högre nivå. Ett sådant koncept bygger på ledningssystem som anpassats för detta. Obemänskade och autonoma farkoster, oavsett storlek beror av system-av-systemutformningen och av ledningssystemet. Förutom den nya funktionaliteten är det förmodat stora mängder data som ska hanteras på ett säkert sätt inom ledningssystemet. Utvecklingen av informationsbearbetnings- och beslutsstödsystem beskrivs i kapitlet om IT, där även (utmaningar) med validering och tillförlitlighet beskrivs. Frågeställningar avseende det framtida ledningssystemet behöver omhändertas inom ramen för Forsvarsmaktens vidare arbete, där de tekniska delarna av ledningssystemet behöver kombineras med de organisatoriska, personella och metodmässiga konsekvenserna.

I föregående Perspektivstudie 2016-2018 redogörs för att räckvidder blir längre, hastigheter ökar och att det geografiska operationsområdet därmed blir större och att tider för förvarning minskar. Beyond Visual Range och system som kan täcka stora avstånd med mycket höga hastigheter redovisas bland annat i kapitlet om hypersoniska system. Krav på lägesbilder och situationsförståelse för att kunna använda sådana system eller hur sådana system kan upptäckas och – vilket är

viktigt – motverkas, har vi däremot inte redovisat. Flera av teknikområdena bidrar dock till sådana förmågor och vissa resonemang finns i rapportens kapitel. Vi föreslår ett fortsatt arbete för att analysera dessa frågeställningar och visa på behov av utveckling inom ledning och situationsförståelse.

Kapiteln som redogör för teknik lämnar många frågeställningar öppna och obesvarade. Frågeställningar som Försvarsmaktens studier bör inkludera i eget arbete är exempelvis vilka fönster för förändring som är öppna. Det vill säga, i en organisation med långa ledtider och långa livscyklar, vilka materiel- och systemlösningar kan förändras mot 2035 respektive 2045. Denna typ av underlag, planerad ekonomi och produktion, omhändertas bland annat i Perspektivstudiens arbete med att analysera egen organisation, möjligheter och behov av förändring mot framtiden i något som ibland kallas för Nulägesanalys. I en snabb och dynamisk utveckling är den egna organisationens behov av eventuell förstärkt eller ny förmåga viktiga ingångsvärden i utformning av koncept, analyser av och vid prioritering för teknikomsättning och införande av nya system.

Möjliga frågeställningar att beakta är hur en systemtillämpning skulle påverka Doktrin, Organisation, Träning, Materiel, Ledarskap, Personal, Anläggningar, Interoperabilitet (DOTMLPFI), kostnader för systemtillämpningen av tekniken, samt behov av andra och förutsättande system.

Vissa av de tekniska utvecklingar och system som beskrivs i rapporten är troligen inte aktuella för Sverige att införa i perioden mot 2045. Andra aktörer förväntas dock införa systemen vilket föranleder att Försvarsmakten måste studera konsekvenser av en sådan utveckling för att anpassa den egna organisationen och förmågorna så att Försvarsmakten fortsatt kan hantera kvalificerade aktörer och situationer i perioden mot 2045.

I kapitel 2 redovisar vi övergripande hur länder såsom USA, Ryssland, Kina och Europa satsar på teknik för militära ändamål mot framtiden. I samtliga teknikkapitel redovisas länder och aktörer som bedriver forskning och utveckling för de specifika teknikområdena. De länder och aktörer som beskrivs i kapitel 2 återkommer genom rapporten. Sett ur perspektivet militära utgifter är detta inte överraskande. Enligt Statista.com var år 2019 länderna med störst militära utgifter i amerikanska dollar: USA (732 miljarder US dollar årligen), Kina (261 (estimat)), Indien (71,1), Ryssland (65,1), Saudiarabien (61,9). Därefter Frankrike (50,1), Tyskland (49,3), Storbritannien (48,7), Japan (47,6) och Sydkorea (43,9) följer i listan.¹²⁴

¹²⁴ <https://www.statista.com/statistics/262742/countries-with-the-highest-military-spending/>, hämtad 20200825.

Listan över hur mycket länder spenderar ur perspektivet GDP ser något annorlunda ut även om länderna återkommer. Länder som samtliga lade mer pengar på militär än det globala genomsnittet (2,2% av GDP) är: Saudiarabien (8%), Israel (5,3%), Ryssland (3,9%), USA (3,4%), Sydkorea (2,7%)

Teknikutveckling är idag en drivande kraft inom försvar och säkerhet och länder kan sägas tävla om att förbättra och utveckla nya förmågor. En stor del av den teknik som utgör grunden för denna utveckling, såsom tillämpningar av informationsteknologi, autonomi, hypersoniska system med mera, redovisas i denna rapport. De nationer som idag bedöms ha förutsättningar att på bredden nyttiggöra den civila och militära teknikutvecklingens möjligheter är USA och Kina. Andra länder, såsom Ryssland, bedöms ha möjlighet att utveckla kvalificerade lösningar inom vissa teknikområden.

Vi beskriver också att civil teknikutveckling och civila tillämpningar kan användas i nationella och politiska syften och tror att denna utveckling kan fortsätta. Både synsätt på vad som är nationell och militär verksamhet skiljer mellan länder, liksom syn på legala och etiska hänsyn och civilbefolkningens acceptans för hur teknik tillämpas. Ett exempel från år 2020 är nyttjandet av appar för insamling av data om rörelsemönster samt användning för kontroll av individer under utbrottet av COVID-19. Appars användning och insamling av data rapporteras återkommande om i media. Under 2020 har appen TikTok diskuteras och även förbjudits i vissa länder¹²⁵, liksom appen WeChat som kommer att förbjudas i USA.¹²⁶ Liknande resonemang om insamling, användning och delning av individers data finns för västerländska tjänster såsom LinkedIn, Facebook¹²⁷ med flera. Utbyggnad av 5G-nätet och den multinationella argumentationen och konflikterna kring kinesiska Huawei och dess tillgång till 5G-nätet¹²⁸ är också mycket uppmärksammat i media. Flera av dessa exempel har även lett till uttalanden om restriktioner i handel mellan länder.¹²⁹ Vi bedömer att denna utveckling kan fortsätta vilket gör att även det som till synes är civil teknik och tillämpningar används för säkerhetspolitiska och underrättelsesyften av stater.

och Indien (2,4%). Länderna som följer är Frankrike (1,9%), Australien (1,9%), Kina (1,9% (estimat)), Storbritannien (1,7%) och Brasilien (1,5%). Referens:

<https://www.statista.com/statistics/266892/military-expenditure-as-percentage-of-gdp-in-highest-spending-countries/>, hämtad 20200825.

¹²⁵ Tidy, J., TikTok: What is the app and how much data does it collect?, 2020-08-03, <https://www.bbc.com/news/technology-53476117>, hämtad 20200825.

¹²⁶ Executive Order on Addressing the Threat Posed by WeChat, 2020-08-06, <https://www.whitehouse.gov/presidential-actions/executive-order-addressing-threat-posed-wechat/>, Jung, C., The Logic of a US WeChat Ban, 2020-08-10, <https://thediplomat.com/2020/08/the-logic-of-a-us-wechat-ban/>, hämtad 20200825.

¹²⁷ Facebook's data-sharing deals exposed, 2018-12-19, <https://www.bbc.com/news/technology-46618582>, hämtad 20200825.

¹²⁸ The Huawei dispute is only one part of a wider UK-China struggle, <https://www.theguardian.com/technology/2020/jul/14/the-huawei-dispute-is-only-one-part-of-a-wider-uk-china-struggle>, hämtat 20200825.

¹²⁹ China cautious on hitting back at US companies after Huawei, [sanctionshttps://www.ft.com/content/9b19785b-86fc-449b-b079-5ee5bd72e4f3](https://www.ft.com/content/9b19785b-86fc-449b-b079-5ee5bd72e4f3), hämtad 20200825.

Det finns områden med en konstant relevans för försvar och säkerhet, bland annat beroende av hotaspekter och som av integritetsskäl behöver vara en del av försvarsforskningen såväl idag som i framtiden. Dessa har vi inte redovisat i rapporten och de bör omhändertas på särskilt sätt. Viss teknisk utveckling som påverkar exempelvis telekrig och CBR samt N i form av kärnvapen, finns dock beskriven. Utvecklingen och möjliga nya kvalificerade hot måste vi kunna förstå, upptäcka och motverka.

18.2 Sammanfattning och diskussion av teknikområden

Försvarsmakten har ett stort intresse för teknikutveckling inom de områden som beskrivs inledningsvis i rapporten, det vill säga inom cyber, autonoma system och informationsteknik (inkluderande AI). Dessa områden har, är och kommer fortsatt att vara centrala områden för Försvarsmakten att bevaka, utveckla och införa. Områdena, som till stor del drivs av civila och icke-militära aktörer, utvecklas snabbt men ofta inkrementellt.

Informationsteknik och förbättrade sensorer används i samtliga domäner och påverkar tillgång till, bearbetning av och tolkning av informationen. Den för militära operationer så kritiska variabeln tid är fortsatt högst relevant. Behov av effektiv ledningsförmåga, snabb framtagning av beslutsunderlag och beslut i tid visas i flera kapitel och är en konsekvens av utvecklingen av vapensystem, informationsteknik, sensorer med flera områden.

Informationstekniken, där allt fler system kopplas samman och förbättrade metoder ger snabbare tillgång till beslutsunderlag och lägesbilder, påverkar som helhet hur Försvarsmakten och andra länder kan bedriva verksamhet och genomföra operationer. Människans roll i systemet kommer att kvarstå men troligen förändras, exempelvis i relation till tidskritiska moment.

Kunskap och tillämpningar inom informationsteknikområdet, inklusive AI och cyber, utvecklas mycket snabbt. Olika förmågor inom cyber bidrar till verkan, skydd och underrättelse liksom de traditionella stridskrafterna och funktionerna. De stora sårbarheterna i civila informationstekniksystem, standardisering av hård- och mjukvara samt IoT innebär att cyberförmåga är fortsatt central för totalförsvaret. En fråga är vilka tillämpningar Försvarsmakten och totalförsvaret har behov av och som innebär större systemskiften och förändringar avseende informationsteknik. Sådana inriktningar torde påverka exempelvis funktionen Ledning; för stab, teknisk hantering av sensordata, informationsdelning med mera.

Kvantteknik, som diskuterats så länge, är kanske till slut på väg att få sitt stora genombrott. Konsekvenserna kan inte ses som annat än disruptiva och radikala, åtminstone för vissa tillämpningar. Att försvars- och säkerhetssystem kommer att

påverkas av kvantdatorer står klart, men hur de påverkas har vi i rapporten enbart berört mycket kort. Avkrypteringshoten blir antagligen inte så stora som många befarat, förutsatt att de hanteras på rätt sätt. Det är snarare områden såsom optimering och framtagande av nya material som förmodas påverkas av utveckling inom kvantteknologi. Kvantteknologi kan också ha intressanta tillämpningar inom sensorområdet, som tids- och positioneringssystem och för kommunikation.

Uppenbart är att säkerheten i civila system är sämre och sårbarheten större jämfört med militära system. Detta uppmärksammas bland annat i kapitlet om cyber och informationsteknik men även i kapitlet om distribuerade liggare, en teknik där olika former av applikationer nu utvecklas. Mest känd torde tillämpningen av blockkedjor för bitcoin vara. Det återstår att se hur tekniken implementeras, men den kan bidra till att säkra tillgång till information och dess validitet exempelvis för civila applikationer.

Duellen mellan sensor (informationsteknik/AI) och signaturanpassning är fortsatt aktuell. Signaturanpassningen och skyddets betydelse för försvar framkommer i flera av texterna. En förväntad trend är att mängden och typer av sensorer, också multispektrala sådana, ställer allt högre krav på såväl signaturanpassning som andra delar i förbandens och systemens skydd. Dagens smygteknik kan motverkas med sensorsystem som spanar inom flera frekvensområden kombinerade med avancerad databehandling. Samtidigt kan nya material till exempel minska IR-signaturen hos plattformar. Duellen mellan medel och motmedel är intensiv i denna teknikdomän, driven av utveckling inom flera olika teknikområden. Så hur är egentligen möjligheten att vara dold och i skydd mot 2045? Dolt uppträdande, uthållighet och rörlighet är centrala aspekter för Försvarsmakten. Kommer rörlighet mot 2045 innebära ett ställningstagande mellan (mycket) snabb rörlighet eller ett mer stillsamt och dolt uppträdande? Och vad skulle det i så fall innebära för uthållighet, snabba förlopp och uppträdande i ett avlångt och smalt land som Sverige med en lång kustremsa, en spännvidd av åker till träsk med och utan snö, flankerat av smala hav och andra långsmala länder?

Additiv tillverkning används redan idag och möjliggör för innovativa lösningar. Området kopplar an till såväl materialutveckling och informationsteknologi. I kapitlet redogörs framförallt för metalliska och polymera material, men faktum är att även organiska och cellulära material 3D-printas. Additiv tillverkning kan påverka såväl maskinell reservdelstillverkning till att i framtiden även ge möjlighet till mänsklig reservdelstillverkning. Flera av exemplen i rapporten visar på en individualisering eller anpassning och förbättring av materiel för organisationens egna förutsättningar. Dessa innovativa möjligheter och vidareutveckling av materiel i TRL cirka 5 och uppåt rimmar inte helt med nuvarande materiel-försörjningsstrategi. En fråga är hur Försvarsmakten bäst kan omhänderta möjligheterna som kommer med additiv tillverkning.

Under tiden fram till 2045 ser vi att rymden kommer att växa i betydelse både för samhället och för försvarstillämpningar. Antalet aktörer i rymden förväntas bli många fler liksom antalet system i omloppsbana runt jorden, vilket kan ge ökad tillgänglighet till rymdtjänster. Ett ökat nyttjande – och beroende – av rymden för kommunikation, spaning och övervakning, satellitnavigering etc. ökar också riskerna för att rymddomänen också dras in i framtida väpnade konflikter. Därmed finns en risk för en utveckling av vapen och verktyg för att slå mot rymdtillgångar från marken eller luften/rymden, alternativt mot rymdsystemens marksegment. Sådana hot kan tvinga fram en ökad skyddsnivå för rymddomänens system oavsett placering i rymd, luft eller på mark.

Flertalet av teknikområdena kan såväl Sverige som andra stater nyttja. Två teknikområden som Försvarsmakten och Sverige bör studera ur ett hotperspektiv är hypersoniska vapen och kärnvapen. Bägge hoten ligger gott och väl inom ram för tidsperspektivet 2045 och kärnvapen har varit ett hot ända sedan kalla kriget. Men vad innebär dessa verkansmedel för militärt och civilt försvar idag? Kärnvapen har sedan andra världskrigets slut varit ett hot att beakta medan hypersoniska vapen är under förmodat intåg. I kapitlet om kärnvapen konstateras att kärnvapenstaterna vidmakthåller kärnvapen med olika ambition. Utvecklingstider är långa (även om utveckling inte ska ske) och beror i mångt och mycket på utveckling av bärare, precision och vapensystem. Hotet idag i form av vapensystemet är inte desamma som förr. Därutöver är en angripares tänkta nyttjande (doktrin), det storpolitiska läget och vår möjlighet till varning faktorer som har förändrats sedan kalla kriget slut. Tid för insats, verkan i mål och precision är något som bör beaktas vid studier om system för varning och skydd mot både kärnvapen och hypersoniska vapen, som del i en totalförsvarsfråga.

I kapitlet om HPM beskrivs att telekrigförmåga och EMP tros bli allt viktigare mot 2045. Resonemanget grundas på utvecklingen av såväl verkanssystem för HPM som gamla och nya sårbarheter att slå mot. Sårbarheter finns hos små och ej skyddade sensorer, till exempel mobiltelefoner och civilt IoT, i otillräckligt skärmade målsökarsystem, i trådlös kommunikation samt i annan civil infrastruktur. Tillämpningar är redan så pass utvecklade att nya system bör krävas för att klara olika typer av EMP/HPM-hot. I flera av rapportens kapitel beskrivs exempelvis beroenden av och möjligheter med att genom radiokommunikation skapa nätverk av kommunicerande enheter. De två mest uppenbara är soldaten samt obemannade och autonoma system. Utvecklingen av det tysta verkansmedlet HPM och möjligheter till skydd mot detta bör beaktas i den fortsatta utvecklingen av dessa system.

Laser har länge setts som en intressant teknik inte bara för stödjande tillämpningar som spaning (laserradar) och avståndsmätning utan även för vapentillämpningar. Idag har tillämpningsfokus för laservapen skiftat från strategiska till mer taktiska tillämpningar som mark- eller fartygsbaserat luftförsvar med verkan mot mål som

granater, raketer och mindre UAV:er. Verkan mot sådana mål har demonstrerats vid flera tillfällen och i framtiden kan allt fler kvalificerade fartyg och markmål förväntas få ett luftförsvaret som förstärkts med laservapen. Det finns även program för att ta fram lasersystem som kan användas för montering på flygande plattformar.

Det utvecklas kontinuerligt obemannade eller mot 2045 (delvis) autonoma plattformar/materiel. Obemannade och autonoma materiel diskuteras ofta för dirty, dull och dangerous uppdrag samt för bidrag till lägesbilder. Utvecklingen kommer att fortsätta och ett för närvarande studerat område är hur obemannade farkoster kan användas för logistik i olika domäner. Vi nöjer oss med att konstatera att en mängd olika arbeten avseende obemannade och autonoma system mest troligt kommer att bedrivas mot 2045. En viktig fråga är dock hur systemen kan användas i skarpa miljöer och hur de passar in i organisationen.

Människan är en del av systemet och i kapitlet om mänsklig förstärkning visas hur en människas naturliga förmåga reversibelt och irreversibelt kan förstärkas eller utvecklas till att bli så förändrad att den kanske kan anses som icke-mänsklig. I mänsklig förstärkning redovisas en rad olika tekniker och tillämpningar. Tidpunkter för införande och grad av osäkerhet varierar enormt mellan teknikområden och möjliga förstärkningar. Tillämpningarna skiljer sig också åt med avseende på hur problematiska de är rent humanetiskt. Vissa är relativt oproblematiska medan andra kräver ställningstaganden med etiska, moraliska och legala hänsyn.

Människan står i centrum för soldatsystemet som påverkas av i princip alla i rapporten redovisade teknikområden. Dessutom finns beroenden till områden som inte redovisas i rapporten såsom tillgång till energi och materialutveckling. Mot 2045 ses att soldaten både är en länk och aktör i ett nätverk. Soldaten får större och bättre tillgång till rätt information och kommunikationsverktyg. Återigen kräver dessa förslag mer övergripande systemlösningar. Vikt och last, som är en utmaning för soldatsystemet kan exempelvis hitta nya lösningar i och med exoskelett och obemannade mulor eller modulära system där skydd och verkan anpassas efter situation. Inom verkan, paret vapen och skydd, fortsätter utvecklingen och vilken vågskål som väger tyngst beror av verkanssystem och typen av (kvalificerad) motståndare. Kombinationer av teknik såsom sensorer och informationsteknik bidrar till förbättrade sikten, materialutveckling och informationsteknik till signaturanpassning med mera. Soldatsystemet rymmer en stor komplexitet och hur framtidens olika soldater är rustade och tränade återstår att se. Därutöver påverkar de teknikområden som redovisas i rapporten inte bara den operativa soldaten, utan även möjligheter till träning och utbildning av densamme.

Teknikutvecklingen är central för framtida plattformar. Elektrifiering, framdrivningssystem (flyg och marin), stora och små autonoma system, samverkande system, en diversifiering där mycket kvalificerade plattformar kombineras med

inte fullt så kvalificerade system med mera tas upp i avsnitten om mark-, sjö- och luftplattformar.

Det kan vara lätt att tankemässigt fastna i att en framtida plattform är en nästintill likadan men bättre plattform än dagens. Materielsystemet snarare än dess roll och bidrag till stridskraftens förmåga blir i fokus. De marina avsnittens beskrivningar av hur kvalificerade plattformar för krig och enklare plattformar används framförallt i fred kan utvecklas mot framtiden. Den svenska marinens system är anpassade till Östersjöns karaktäristik och de allt större sensor- och vapenräckvidderna gör att det operativa djupet i svenska närliggande havsområden blir väldigt litet avseende luft- och ytstrid. Det bedöms i framtiden bli lättare att skapa och upprätthålla sea denial snarare än sea control. Världshaven ställer andra krav på system och även om mycket i kapitlet om marin utveckling är generellt så finns internationell utveckling som skiljer sig från den svenska. Exempel på detta är ubåtsutveckling och utmaningar från exempelvis hypersoniska vapen för hangarfartygsstyrkor.

Elektrifiering, automatisering och obemannade farkoster, vapens räckvidder och hastigheter, sensorkedjan, signaturanpassning samt kostnader för att omhänderta teknikutvecklingen är exempel på relevanta frågor för framtida marina plattformar. Den fåtalighetsproblematik som kanske främst utmärker marinen gör att utvecklingen kan behöva söka sig nya vägar. En möjlighet är att omhänderta de möjligheter som erbjuds av obemannade och autonoma system. En sjöstridsförmåga som bygger på samverkande plattformar, där merparten är obemannade, skulle vara något helt annat än den vi har idag. Den taktiska och militära nyttan av, samt kostnaden för, autonoma system är liksom för mark och till del luft relativt oklar även om utvecklingen går framåt.

Utveckling som påverkar markplattformar gäller bland annat aktiva skyddssystem och material som ger bättre skydd, men även teknik som ger bättre omvärlds-uppfattning och som medger automation. I tidsperioden mot 2045 står ett flertal länder inför vägvalet om framtida markplattformar ska vara flera, lättare och rörliga eller färre, tyngre och med större skydd. I valet utgör förmåga till rörlighet en viktig komponent även för Sverige.

I ett obemannat eller autonomt markstridsfordon behöver ingen besättning skyddas och då kan fordonet göras mindre och lättare. En obemannad eller autonom farkost på luft- eller sjöarenorna behöver inte begränsas av de krafter en människa kan hantera och kan färdas i farter och mönster som inte är möjliga för en bemannad farkost. Plattformens utformning och kapacitet förändras. Det är också möjligt att kombinera bemannade och obemannade farkoster.

På flygsidan diskuteras konceptet loyal wingman där ett bemannat flygplan styr ett antal obemannade plattformar. Liknande koncept är även möjliga att införa på mark- och sjöarenorna. Man kan också tänka sig plattformar som både kan vara

bemannade och obemannade (så kallade optionally manned). Högt flygande system med hybrid- eller elektrisk drift antas införas under perioden och även helikoptersystemet utvecklas. Antalet såväl som diversiteten av obemannade och autonoma plattformar och system är, och kommer att vara, stor och sträcker sig från små, enkla och billiga till kvalificerade och dyra. Komplexiteten ökar när vapensystem med olika prestanda kan sättas på olika bärande plattformar.

Framtidens plattformar kan förväntas vara exempel på hur kombinationer av teknik skapar möjligheter – genom att konstrueras med nya material och utvecklade tillverkningsmetoder, som ger lägre vikt, bättre skydd, bättre signaturegenskaper med mera och utrustas med sensorer som lättare kan upptäcka mål. Och kanske med vapen som bygger på nya verkansprinciper.

Men samtidigt som vi ser dessa nya möjligheter säger verkligheten att en del av de plattformar vi har idag, eller som håller på att utvecklas idag, kommer att finnas också 2045. Gripens utveckling började i början av 1980-talet, de första planen levererades under första halvan av 1990-talet, men de sista Gripen-planen kommer sannolikt att vara en del av vår försvarsförmåga även 2045 och då samverka med system som bygger på den teknikutveckling vi ser idag och framåt.

18.3 Civil och militär utveckling bidrar till militär förmåga

Utvecklingen inom det civila och militära sker inom vissa områden gemensamt eller parallellt, medan det i andra sker separat eller till följd av den andres utveckling. Ibland sägs att civil teknikutveckling direkt borde kunna tillämpas för militära ändamål, en slags off-the-shelf. I rapporten ges exempel på hur system och teknik skulle kunna användas inom Försvarsmaktens förmågeutveckling, det vill säga produktion av förband, utveckling av ny materiel, utbildning med mera. Majoriteten av exempel ges dock för förmågenyttjande operativ verksamhet.

Det finns utmaningar med att utnyttja lösningar skapade för fredstida civilt bruk för militära ändamål. Redan i dagens militära off-the-shelf modifieras militära produkter till nationers egna krav. Civila applikationer kan behöva ytterligare anpassning till militär verksamhet. Vidareutveckling kan vara ett mer rättvisande ordval på vad som krävs för kvalificerade system. Tekniken och de system tekniken bidrar till måste sättas i sin kontext: den organisation, personal, doktrin med mera som ska använda systemet.

Vi tror dock att vissa civila system och viss teknik antagligen kan användas med mindre grad av modifieringar i förmågeutvecklande arbete än om systemen ska användas operativt. Exempelvis kan civila applikationer troligen med viss anpassning användas för att effektivisera och förbättra resultat för utbildning och träning.

När materiel används i militär operativ verksamhet finns dock särskilda krav. En majoritet av de militära systemen ska fungera dygnet runt, i alla väder, robust och redundant även under omständigheter med yttre mänsklig och avsiktlig påverkan såsom störning eller vid skydd mot vapenverkan. Dessa säkerhetskritiska krav omhändertas sällan av aktörer vars produkter inte är utformade specifikt för militära extrema förhållandena. Länder eller organisationer som kan göra avkall på dessa krav och i högre grad använda civila produkter kan genom det få ett teknikförsprång samtidigt som de också kan få stora problem med tillförlitlighet och driftsäkerhet hos sina system. Å andra sidan kan system där vissa eller samtliga faller bort under en insats, det vill säga riskerar att bli ett slags engångssystem, vara acceptabelt i vissa sammanhang.

Flera av de tekniker som beskrivs i rapporten rymmer stora möjligheter, men också redan kända sårbarheter och en mängd osäkerheter avseende validitet och stabilitet. Personal med specifik kompetens är fortsatt en central komponent i den framtida organisationen där alltmer kvalificerad teknologi och system införs.

19 Avslutning och förslag på fortsatt arbete

Författare: Anna Lindberg och Göran Kindvall

Denna teknikrapport informerar om framtida teknikutveckling och utgör ett framsynsunderlag, framförallt till stöd för Perspektivstudiens omvärldsanalys. Underlagen beskriver kända områden med relevans för Försvarmakten. De utgör ett urval av teknisk utveckling om ca 200 sidor där tonvikten för beskrivningarna ligger på teknik och forskning snarare än redovisning av möjlig förmåga och effekt. I rapporten har vi inte tagit hänsyn till kända gap eller förmågebehov inom Försvarmakten utan underlagen utgår rent från den tekniska utvecklingen och möjligheter denna för med sig.

Rapporten kan användas för att identifiera viktiga frågeställningar för Försvarmaktens utveckling mot framtiden. Fortsatta och fördjupade teknikunderlag behöver tas fram till Perspektivstudiens strategiska arbete med att utveckla koncept och strukturella alternativ givet de bedömda och prioriterade gapen och behoven.

Texterna ger exempel på hur teknikutvecklingen skulle kunna påverka försvar och säkerhet, hot och möjligheter utvecklingen för med sig samt osäkerheter. Vi uppmanar till att fortsätta denna typ av arbete där tekniska experter och militära experter (officerare) tillsammans diskuterar frågeställningar. Dessa diskussioner kan utgå från teknikunderlag, materielomsättning, doktrinutveckling eller anpassning till förändrad hotbild. De tekniska experterna har god kompetens kring teknisk utveckling och officerare har sin tyngd mot militär förmåga och effekt. De slutsatser som tekniska experter drar är inte nödvändigtvis desamma som officerare skulle göra. Därutöver krävs militär expertis för att bedöma nya alternativ där fönster för utveckling finns inom den egna organisationen.

Det finns många kopplingar mellan teknikområdena. Underlagen är framtagna oberoende av varandra och vi har inte genomfört någon gemensam eller övergripande analys med författarna. Däremot finns hänvisningar mellan kapitel. Dessa har framförallt införts av rapportens redaktörer för att tydliggöra kopplingar mellan områden. För att diskutera dynamik i utvecklingen och konsekvenser för exempelvis materieförsörjning vore arbete med att studera kopplingar mellan teknikområden värdefullt.

De konsekvenser och tekniker som diskuteras i texterna har en stor spännvidd. De täcker över TURVLUS, går från strategisk ner till sub-stridsteknisk nivå, påverkar hela organisationen eller delar därav, är utvecklingar som är tämligen säkra till sådana som är fyllda med genuina osäkerheter. Fortsatt arbete med att omhänderta

teknikens möjligheter och utmaningar är således en fråga för studieorganisationen som helhet, där ett första steg skulle kunna vara att strukturera underlagen i relation till militära nivåer, organisatoriska enheter och tidshorisonter samt att sätta detta i relation till Försvarsmaktens kända utvecklingsbehov mot framtiden.

Teknik- och systemutveckling är en heterogen, komplex och föränderlig verksamhet där både teknikutvecklingen och militära samt civila aktörer måste beaktas. Vissa utvecklingar är tämligen säkra inom längre tidsrymder, medan andra är till bredden fyllda med osäkerhet. Hur teknikutveckling inkluderas i de förslag till framtida alternativ för Försvarsmakt som Perspektivstudien tar fram, beror därför på teknikområdenas och systemens karaktär.

Ibland upplever vi att intresset för utveckling inom områden där större kunskap finns, såsom för hypersoniska system, EMP/HPM och inom sensorer och signaturanpassning är mindre än för de viktiga men mycket mer osäkra och svårförutsägbara AI, cyber, kvant med flera. Vi rekommenderar att Försvarsmakten fortsatt studerar hur förmåga och effekter förändras av de tekniker och system som kan införas i perioden mot 2045.

Som vi tidigare diskuterat kommer ett antal nationer med stora investeringar i försvar att leda utvecklingen. Viss materiel kanske enbart införskaffas av dessa länder mot 2045. Sådana system kan Perspektivstudien analysera genom scenarionanalyser och teknikspel. De tekniska lösningar som kan bli aktuella för Sverige att införskaffa måste studeras i relation till hur lösningarna kan passa in i försvaret som helhet och vad som eventuellt måste utgå när nya system införs.

De alternativa strukturer som tas fram bör hantera teknikområden där nya konkreta system och tillämpningar finns mot 2045. För att undvika alltför spekulativa resonemang inom de områden där teknikutveckling på lång sikt är svår att bedöma, är ett förslag att identifiera konkreta frågeställningar som kan leda till materielutveckling eller införande av nya koncept. Realiserbara system kan beaktas vid strukturutformning, medan teknik fylld med stor osäkerhet är något som organisationen ska kunna följa, omhänderta eller hantera när det bedöms relevant.

Ett sätt att angripa vilka teknikområden som kan tas vidare till fortsatta arbeten är att sätta underlaget i relation till den egna organisationens fönster för förändring. Vad måste förändras, vad kan förändras och vad kan inte förändras, exempelvis i relation till befintlig materiel och organisation.

För FOI och projektet Stöd till Militärstrategisk Inriktning (SMI) fortgår arbetet med att ta fram ytterligare underlag om framtida teknikutveckling. Arbetet avser omhänderta såväl nya områden till stöd för omvärldsanalys som fördjupade studier inom områden där ytterligare kunskap krävs eller som stöd för koncept- och strukturutformning.

FOI är en huvudsakligen uppdragsfinansierad myndighet under Försvarsdepartementet. Kärnverksamheten är forskning, metod- och teknikutveckling till nytta för försvar och säkerhet. Organisationen har cirka 1000 anställda varav ungefär 800 är forskare. Detta gör organisationen till Sveriges största forskningsinstitut. FOI ger kunderna tillgång till ledande expertis inom ett stort antal tillämpningsområden såsom säkerhetspolitiska studier och analyser inom försvar och säkerhet, bedömning av olika typer av hot, system för ledning och hantering av kriser, skydd mot och hantering av farliga ämnen, IT-säkerhet och nya sensorers möjligheter.



FOI
Totalförsvarets forskningsinstitut
164 90 Stockholm

Tel: 08-55 50 30 00
Fax: 08-55 50 31 00

www.foi.se