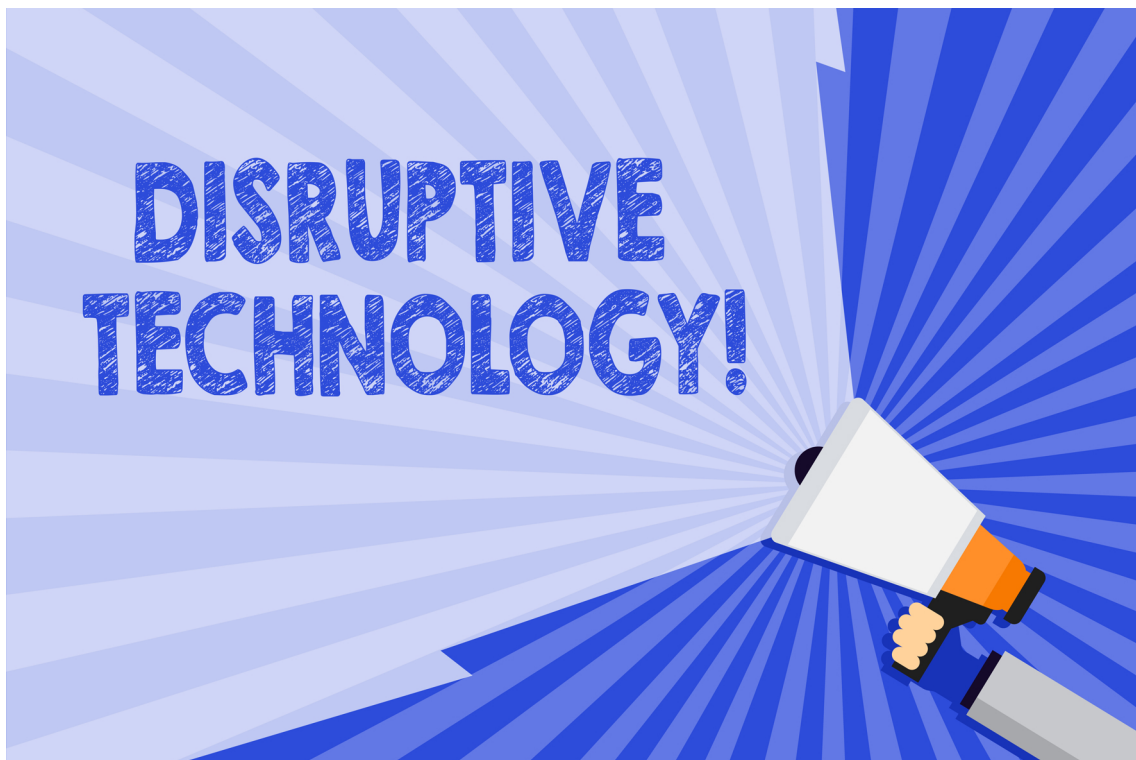


GÖRAN KINDVALL OCH BO TARRAS-WAHLBERG



Göran Kindvall och Bo Tarras-Wahlberg

Det framtida tekniklandskapet

En översikt

Titel	Det framtida tekniklandskapet
Title	The future technology landscape
Rapportnr/Report no	FOI-R--5049--SE
Månad/Month	April
Utgivningsår/Year	2021
Antal sidor/Pages	153
ISSN	1650-1942
Kund/Customer	Försvarsmakten
Forskningsområde	Operationsanalys och strategisk planering
FoT-område	Inget FoT-område
Projektnr/Project no	E13652
Godkänd av/Approved by	Malek Finn Khan
Ansvarig avdelning	Försvarsanalys

Bild/Cover: Shutterstock

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

Denna rapport ger en översiktlig beskrivning av teknikutvecklingen ur främst ett militärt perspektiv ut mot 2050, men lyfter också civil teknikutveckling där så är relevant. Rapporten fokuserar på de teknikområden som i en genomgång av litteraturen identifierats som de militärt mest intressanta och med potential att kunna ha försvarsrelevanta tillämpningar av stor betydelse.

I rapporten analyseras, på en relativt översiktlig nivå, vilken påverkan teknikutvecklingen kan ge inom den militära sektorn. Det finns till exempel stora utmaningar vad gäller försvarets hela utvecklings- och produktionsprocess. Andra aspekter som tas upp är bland annat vad de militära kraven på tillförlitlighet, robusthet och säkerhet innebär för möjligheterna att implementera civil teknik i militära tillämpningar, de traditionella plattformarnas vara eller inte vara, den framtida operationsmiljön och krigets natur.

En central del av rapporten är hur vi ska förhålla oss till teknikutvecklingen. Vad behöver vi göra – verksamhet, processer – för att nyttiggöra möjligheter och möta hot som teknikutvecklingen kan ge upphov till.

Nyckelord: Teknikutveckling, framsyn, disruptiv

Summary

This report provides a general description of the technological development from a primarily military perspective towards 2050, but also highlights civil technology development where relevant. The focus of the report is technology areas that have been identified through a literature study as being the most interesting from a military perspective and have potential to have important defence relevant applications.

The report also analyses, at a relatively general level, what impact the technological development can have in the military sector. There are, for example, major challenges regarding the entire defence development and production process. Other aspects that are addressed include what military requirements for reliability, robustness and security mean for the opportunities to implement civilian technology in military applications, the future for traditional platforms, the future operational environment and whether the nature of war itself survives the future.

A central part of the report is how we should relate to technology development. What do we need to do – business, processes – to exploit opportunities and meet threats that technology development can create.

Keywords: Technology development, foresight, disruptive

Innehåll

1	Inledning.....	7
2	Teknikutveckling och försvar.....	13
3	Intressanta teknikområden.....	23
4	Omslagspunkter	27
5	Vad kan teknikutvecklingen innebära?	37
6	Hur spana på tekniken?	59
7	Sammanfattning	73
	Bilaga 1 – Viktiga teknikområden ur olika aktörers perspektiv	77
	Bilaga 2 – Beskrivning av teknikområden	97
	Bilaga 3 – Technology Readiness Level (TRL).....	129
	Bilaga 4 – Referenser	131
	Bilaga 5 – Intervjufrågor	153

1 Inledning

Försvarets planering har traditionellt behövt vara långsiktig för att ge utrymme för att utveckla nya system och förmågor för att möta framtida utmaningar. Utveckling av sådana system/förmåga tar ofta ett eller flera decennier och de system som resulterat har sedan, med successiva uppgraderingar, stannat kvar i organisationen i flera decennier. JAS-systemet är ett nutida sådant exempel med en tidsrymd på mer än 50 år från startad utveckling till förväntad avveckling.

De långa tidsperspektiven innebär också att det är viktigt att spana framåt för att försöka förstå vad teknikutvecklingen kan komma att innebära för försvaret på 30 års sikt. Vad kommer artificiell intelligens, autonoma system, förstärkning av mänsklig förmåga och andra teknikområden att innebära i form av hot och möjligheter som Försvarmakten kommer att behöva förhålla sig till? Det finns många böcker, rapporter och artiklar som beskriver teknikutvecklingen och den påverkan den kan ha såväl civilt som militärt. Samtidigt, som till exempel framhölls vid en konferens om AI och autonomi i USA 2019, finns det utmaningar när det gäller att få ut den fullständiga potentialen ur tekniken.¹ Det kan handla både om tekniska utmaningar som att kunna verifiera och validera systemen (förstå vad de gör och varför) och om begränsningar till följd av etiska och legala ramverk.²

I ett under hösten 2019 publicerat dokument presenterar Samsung tankar kring hur samhället kan se ut och fungera år 2069.³ Bland förändringar man ser är direkt koppling mellan hjärna och dator, nya snabba transport-system och 3D-matskrivare som det ultimata köksverktyget. Samtidigt har vi ju redan tidigare sett den typen av visionära idéer. Under 1960-talet, som kröntes av månlandningen 1969, såg man kolonisering av rymden som en möjlighet i den framtid som är idag. Så varför ska vi se dessa visioner som trovärdigare idag? Är det kanske bara så att vi är på väg in i en ny era av teknikoptimism?

Det är många som likt oss försöker identifiera vilka hot och möjligheter som kan resultera av teknikutvecklingen. Speciellt är det den disruptiva teknikutvecklingen alla försöker finna, sådant som genom sina egenskaper

¹ Kindvall, G. och Brändström S., Sammanfattning av MORS-konferens om AI och autonomi, FOI Memo 6714, 2019-05-07.

² Se till exempel Welfare surveillance system violates human rights, Dutch court rules, <https://www.theguardian.com/technology/2020/feb/05/welfare-surveillance-system-violates-human-rights-dutch-court-rules>, The Guardian, 5 februari 2020. (Besökt 2021-02-26)

³ Samsung KX50: The Future in Focus, https://images.samsung.com/is/content/samsung/p5/uk/explore/kings-cross/discover/SamsungKX50-The_Future_in_Focus_-_report.pdf. (Besökt 2021-02-26)

förändrar spelplanen och spelreglerna i konflikter. ”Game-changers” är också ett vanligt engelskt begrepp för sådana teknologier. Den som är först med sådant kan få fördelar.⁴

Att försöka uttala sig om framtiden är dock svårt, om inte omöjligt, men för att citera en av president Trumps nationella säkerhetsrådgivare, H.R. McMaster:

What is certain about the future is that even the best efforts to predict the conditions of future war will prove erroneous. What is important, however, is to not be so far off the mark that visions of the future run counter to the very nature of war and render forces unable to adapt to unforeseen challenges.⁵

1.1 Mål och syfte

LEDS INRI vid Försvarmaktens högkvarter har som ambition att under perspektivstudien 2018-2022 öka inslaget av teknik, dess utveckling och konsekvenser för Försvarmakten i olika skeden av en konflikt. En del i detta är ett uppdrag till FOI att genomföra uppdraget Vision 2050.

Resultaten från uppdraget Vision 2050 ska utgöra ett underlag för perspektivstudiens arbete med koncept och strukturer, samt utgöra underlag till framtida inriktning av forskning och teknikutveckling. Uppdraget syftar också till att bidra med kunskap om hur teknikutvecklingen kan påverka den framtida operationsmiljön.

I uppdraget ingår att beskriva intressanta framtida teknikområden i tidsperspektivet fram till 2050 och analysera om teknikutvecklingen innebär att uppgifter kan lösas på nya eller alternativa sätt, hur förmågor förändras samt synergier mellan olika tekniker/materiel.

Projektets viktigaste leveranser är:

- En beskrivning av teknikområden som bedöms vara viktiga för försvarets utveckling och därvid bör bli föremål för forskningsinsatser eller analyser inom försvarssektorn.
- Idékoncept som bygger på teknikutvecklingen och kan vara ett underlag för perspektivstudiens arbete med koncept och strukturer.

⁴ I ett reportage i Dagens Nyheter beskrivs jakten på en fungerande kvantdator under rubriken ”Vem vinner kapplöpningen om teknologiskt världsherravälde?”, <https://www.dn.se/nyheter/vetenskap/forsta-kvantdatom-vem-vinner-kampen-om-varldsherravalde/>, Dagens Nyheter, 8 februari 2020. (Besökt 2021-02-26)

⁵ Se https://www.brainyquote.com/quotes/h_r_mcmaster_813292. H.R. McMaster var Trumps nationella säkerhetsrådgivare från februari 2017 fram till mars 2018. (Besökt 2021-02-26)

Denna rapport är en av leveranserna inom uppdraget Vision 2050 och ger en översiktlig beskrivning av teknikutvecklingen ur främst ett militärt perspektiv ut mot 2050, men lyfter också civil teknikutveckling där så är relevant. Rapporten tittar också bortom de mest uppmärksammade teknikområdena som AI och autonomi, och diskuterar vad som i övrigt kan erbjudas.

En central del av rapporten är hur vi ska förhålla oss till teknikutvecklingen. Vad behöver vi göra – verksamhet, processer – för att nyttiggöra möjligheter och möta hot som teknikutvecklingen kan ge upphov till.

1.2 Metod

Arbetet med att beskriva och analysera teknikutvecklingen har i huvudsak bedrivits genom litteraturstudier, intervjuer och deltagande i konferenser och andra aktiviteter.

Använd litteratur framgår av bilaga 4. Utgångspunkten är underlag från nationella organisationer och från EU och Nato. Dessa, och de teknikområden som lyfts fram, har utgjort en utgångspunkt för valet av vilka teknikområden som beskrivs i rapporten. För en ytterligare diskussion om detta, se bilaga 1.

Utöver dessa underlag har ett antal uppmärksammade böcker också ingått i den utvalda litteraturen liksom relevanta FOI-rapporter. Utvecklingen inom de utvalda teknikområdena har därutöver följts genom dokument som finns tillgängliga via internet.

Materialet har breddats genom intervjuer med forskningsområdesföreträdare som företräder de forskningsområden inom vilka FOI bedriver forskning.⁶ Intervjuerna utgick från ett gemensamt frågeformulär som skickades ut i förväg och framgår i bilaga 5.

Författarna har också, såväl före som under arbetet med uppdraget, deltagit i konferenser och andra möten. Detta omfattar arbete med Natos framåtblickande arbete Strategic Foresight Analysis (SFA), Natos OA-konferenser, en amerikansk konferens om AI och autonomi med mera. Dokumentation från dessa aktiviteter finns också med som referenser i arbetet.

Den analys av teknikutvecklingens potentiella påverkan, som presenteras i kapitel 5 och 6 utgår i viss mån från litteraturen, men innefattar också slutsatser från egen analys.

⁶ Företrädare för forskningsområdena Cyber, Flygsystem, Ledning och MSI, Sensorer och, signaturanpassningsteknik, Vapen och skydd och Undervattensteknik intervjuades tidigt under arbetet.

1.3 Avgränsningar

Ämnet är så stort att alla försök att ta ett helhetsgrepp på det kommer att misslyckas. Här görs heller inget försök att täcka allt, bara så mycket som möjligt av det som kan vara intressant och relevant. Härvid har teknikområden som har betydande militär tillämpbarhet har prioriterats. Rent civila tillämpningar inom till exempel hälso- och sjukvård eller tillverkning berörs inte eller i mycket liten utsträckning.

Ett större djup inom enskilda teknikområden finns tillgängligt i en del av de referenser som ges.

När det gäller källor så har det naturligen varit enklast att utgå från material på svenska och engelska och antalet källor på andra språk är begränsat. Särskilt saknas originalkällor avseende verksamhet och prioriteringar i Ryssland och Kina. Ryssland och Kina diskuteras ändå i ett kapitel då de kan ha stor påverkan både globalt och i vårt närområde. I Rysslands fall handlar det om att de är nära oss geografiskt och har stora, men kanske inte ekonomiskt genomförbara, ambitioner att nyttiggöra teknikutvecklingens möjligheter. I Kinas fall handlar det om att de satsar stora resurser på teknikutveckling inom bland annat AI och autonomi (men också inom andra teknikområden) med en ambition att globalt utmana även USA.

1.4 Läsanvisningar

I kapitel 1 presenteras syfte, metod och avgränsningar. Kapitel 2 ger en övergripande inledning till teknikutvecklingen idag och framåt och tar också upp satsningar hos några globalt viktiga aktörer. Kapitel 3 tar kortfattat upp vilka teknikområden som bedömts intressanta ur ett militärt perspektiv.

Kapitel 4 beskriver några möjliga ytterskott, sådant som kan förändra spelplanen och spelreglerna, det vill säga orsaka det som brukar kallas disruptivitet.

Kapitel 5 diskuterar vad teknikutvecklingen kan innebära för försvaret i framtiden. Kapitel 6 analyserar hur vi ska kunna följa med i teknikutvecklingen. Inom vilka områden behöver vi till exempel satsa militära forskningsmedel för att kunna möta framtidens militära utmaningar? Och hur upprätthåller vi tillräcklig kompetens inom områden där vi inte bedriver egen forskning?

Kapitel 7 sammanfattar rapporten.

I bilaga 1 görs en genomgång av vilka teknikområden som har lyfts fram av olika aktörer och i olika sammanhang och bilagan utgör ett underlag särskilt för kapitel 3.

Bilaga 2 beskriver den möjliga utvecklingen inom de teknikområden som bedömts som militärt intressanta i perspektivet från nu och 30 år framåt.

Bilaga 3 visar ramverket för ”Technology Readiness Level” (TRL), det vill säga den modell för tekniks mognadsgrad som används för att beskriva olika steg inom forskning och teknikutveckling.

Bilaga 4 listar referenser och bilaga 5, slutligen, listar de intervjufrågor som användes vid intervjuer med forskningsområdesföreträdare på FOI.

2 Teknikutveckling och försvar

Vi befinner oss i en tid där digitalisering och automatisering blir ett allt viktigare inslag såväl i samhället som för militära aktörer. Civilt är ett uttryck för detta det som brukar kallas den fjärde industriella revolutionen, det vill säga tillämpningar av digital teknik och robotar inom industrin. Vi ser också stora genombrott inom områden som energi-, material- och bioteknik. Den utveckling vi ser idag kan på sikt leda till ganska stora förändringar av hur vi lever. Detta kommer också att påverka försvaret, vilket är fokus i denna rapport. Innan vi i detta kapitel blickar utåt mot de satsningar som görs av stora internationella aktörer görs en liten tillbakablick.

2.1 Tillbakablick

Ett tidigare populärt uttryck för brott i den evolutionära och inkrementella utvecklingen av militär förmåga var *Revolution in Military Affairs* (RMA). Detta var bland annat populärt för ett 20-tal år sedan. I detta tidsperspektiv tog amerikanska *Science Applications International Corporation* (SAIC) fram ett koncept kallat DBA (*Dominant Battlespace Awareness*) åt den svenska Försvarsmakten. Detta genomfördes mot bakgrund av bedömningen att:

Future military effectiveness will be determined in large part by the ability to know and understand the battlespace, its occupants, their capabilities, and their disposition better than the enemy does.⁷

Konceptets principer var kontinuerlig övervakning, reaktiv spaning, överlappande täckning, nätverksbaserade system, användning av kommersiell teknologi, automatiserade system och inhemsk tillverkning. Konceptet bedömdes vara genomförbart till 2020, alltså till idag. Värt att notera i citatet ovan är också att det betonar betydelsen av att känna till och förstå, något som är viktigt idag men kommer att vara än mer så i framtiden. Det bedömdes dock bli mycket dyrt att uppnå den förmåga som beskrivs i konceptet. Dessutom fokuserades mycket av uppmärksamheten – och kritiken – mot de sensorbärande aerostater som ingick i konceptet.

En av de tekniktrender vi ser nu och framgent är alltmer sofistikerade system för övervakning (sensorer inom många (alla) frekvensområden och i alla domäner, även rymden och cyberdomänen).

Som ett officiellt uttryck för det stora militära intresset för teknologier som artificiell intelligens (AI), autonomi och förstärkning av den mänskliga prestationsförmågan kan en startpunkt vara när USA i november 2014

⁷ Perspective Study Dominant Battlespace Awareness 2020 Final Report, september 1998, SAIC.

presenterade vad som kallades *The Defense Innovation Initiative*, även benämnd den tredje offsetstrategin.⁸ I maj 2016 beskrev 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.⁹

Fem komponenter som lyftes fram i den tredje offsetstrategin var autonoma inlärningssystem ("deep learning"), samverkan mellan människa och maskin i beslutsfattande, förstärkning av den mänskliga prestationsförmågan, avancerad samverkan mellan människa och maskin i strid (exempelvis samverkan mellan människor och obemannade system) samt semi-autonoma 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 överlevde Trump-administrationen,¹⁰ men satsningar på artificiell intelligens och autonoma system har fortsatt med nya initiativ.¹¹

2.2 Internationella satsningar

Många stater, inte minst USA, Kina och Ryssland, satsar stort på att förstå vilka militära tillämpningar teknikutvecklingen kan komma att möjliggöra, både i form av egna möjligheter och som hot mot den egna försvarsförmågan. Det handlar om AI för att påskynda och förbättra ledningsförmågan, autonoma system för att säkerställa spaning och vapenverkan utan att behöva sätta soldater i fara, hypersoniska vapen för att snabbt kunna

⁸ 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).

⁹ Atlantic Council, 2 Maj 2016. Trumpadministrationen använder inte begreppet den tredje offsetstrategin, men har fortsatt satsningarna på försvarsinnovation för att USA skall kunna verka avskräckande på andra aktörer.

¹⁰ McLeary, P, The Pentagon's third offset strategy may be dead, but no one knows what comes next, Foreign Policy, 18 december 2017, <https://foreignpolicy.com/2017/12/18/the-pentagons-third-offset-may-be-dead-but-no-one-knows-what-comes-next/>. (Besökt 2021-02-26)

¹¹ Ett *Joint Artificial Intelligence Center* (JAIC) inrättades i USA 2018, för information om detta se <https://www.ai.mil/index.html>. (Besökt 2021-02-26). I februari 2019 skrev president Trump på ett beslut om att inrätta ett *American AI Initiative*, se <https://trumpwhitehouse.archives.gov/ai/executive-order-ai/>. (Besökt 2021-02-26) I februari 2020 presenterades en rapport över vad som gjorts inom detta initiativ under dess första år, <https://trumpwhitehouse.archives.gov/wp-content/uploads/2020/02/American-AI-Initiative-One-Year-Annual-Report.pdf>. (Besökt 2021-02-26). I februari 2019 släpptes Pentagons AI-strategi, <https://www.defense.gov/Explore/News/Article/Article/1755942/dod-unveils-its-artificial-intelligence-strategy/>. (Besökt 2021-02-26)

leverera verkan över stora avstånd, nya sensortekniker som försvarar möjligheter för smygfarkoster att förbli dolda med mera.

Kina satsar till exempel stort och målmedvetet på artificiell intelligens med ambitionen att bli ledande inom området.^{12,13} Ryssland bedöms ha en relativt välutbildad arbetskraft och har också en tradition av hög kompetens på universitet inom områden som matematik och fysik att bygga på, något som kan vara en fördel nu när de försöker etablera satsningar inom AI och andra teknikområden.^{14,15}

USA är ännu ledande inom de flesta områden och satsar också stort på en stor bredd av forskning. Vilka områden som prioriteras diskuteras i bilaga 1.¹⁶ Vad man också kan se är att det i den amerikanska försvarsbudgeten för 2021 görs stora satsningar på fyra teknikområden: 5G, inhemsk produktion av avancerad mikroelektronik, AI samt övervakningssystem för hyperoniska missiler.¹⁷

USA utmanas särskilt av Kina som satsar brett på att bli världsledande inom forskning och teknikutveckling. Ryssland satsar också på vissa områden, men bedöms inte ha samma förutsättningar som Kina att nå fronten inom merparten av de både för civila och militära tillämpningar viktigaste teknikområdena. Även EU satsar på att profilera unionen både inom civil och militär teknikutveckling.

En frågeställning är här också spridningen av kvalificerad teknik. Många tror att vi i framtiden kommer ha en situation där det blir allt svårare att

¹² Allen, G. och Kania, E.B., China Is Using America's Own Plan to Dominate the Future of Artificial Intelligence, Foreign Policy, 2017-09-08, <https://foreignpolicy.com/2017/09/08/china-is-using-americas-own-plan-to-dominate-the-future-of-artificial-intelligence/>. (Besökt 2021-02-26)

¹³ A next generation artificial intelligence plan, <https://chinacopyrightandmedia.wordpress.com/2017/07/20/a-next-generation-artificial-intelligence-development-plan/>, publicerad 20 juli 2017. (Besökt 2021-02-26). I denna plan anges ambitionen vara att Kina ska vara dominerande avseende AI-baserad innovation till 2030.

¹⁴ 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", CNN, 2 september 2017, <https://edition.cnn.com/2017/09/01/world/putin-artificial-intelligence-will-rule-world/index.html>. (Besökt 2021-02-26)

¹⁵ Kindvall, G. och Brändström, S., Sammanfattning av MORS-konferens om AI och autonomi, FOI Memo 6714, 2019-05-07.

¹⁶ I USA finns många av de dominerande företag som driver mycket av den globala utvecklingen inom informations- och kommunikationsteknologi och därigenom digitaliseringen. Inom försvarssektorn finns också företagsdriven innovation inom till exempel *Boeing Phantom Works* med ambitionen att generera morgondagens försvarslösningar, se <http://www.boeing.com/defense/phantom-works/index.page#/overview>. (Besökt 2021-02-26). Utöver det finns många ledande universitet och en väl utbyggd forskningsverksamhet inom försvarssektorn (försvarsgrensvisa forskningsinstitut med mera).

¹⁷ Samtal med Bengt-Göran Bergstrand om den senaste amerikanska försvarsbudgeten/FY 2021, våren 2020.

begränsa denna spridning och att vi kommer att se andra än statsaktörer som kan få tillgång till och utnyttja teknik som även har militärt offensiva tillämpningar.

Ur svenskt perspektiv kanske det mest intressanta är utvecklingen i Kina och Ryssland. För Kina är den stora frågan om landet kommer att gå om USA och bli världsledande inom de nya teknikområdena och vad det i så fall kan innebära för världen, för Ryssland är det istället vad rysk militär teknikutveckling kan innebära för styrkebalansen i Sveriges närområde. Nedan diskuteras kort satsningar i Kina, Ryssland och EU.

2.3 Kina

Accelerating the development of a new generation of AI is an important strategic handhold for China to gain the initiative in global science and technology competition

Politburo Study session, October 2018

Vid en konferens om AI och autonomi i USA i februari 2019, anordnad av *Military Operations Research Society* (MORS), beskrev Elsa Kania från *Center of New American Security* (CNAS) Kinas satsningar på strategiska teknologier, speciellt AI.¹⁸ Målet för de kinesiska satsningarna är att bli världens starkaste innovationscentrum inom AI. Utgående från antalet publicerade forskningsartiklar och patent är man på god väg. När AlphaGo slog en mästare i det gamla kinesiska strategispelet Go var det en viktig händelse för Kina, en ögonöppnare för vad som var möjligt att åstadkomma med den nya tekniken.

Den kinesiska armén befinner sig i en fas av ”intelligentisering” (”intelligentization”). Kina har tagit fram en plan för högteknologiska vapen. Fokus ligger på förmåga att utnyttja USA:s svagheter. Samtidigt sker också en organisatorisk utveckling. I Kina ser man intelligentisering som en tredje RMA (*Revolution in Military Affairs*) efter mekanisering och ”informationisering”, det vill säga att vi står vid randen av ett nytt militärt paradigmskifte som bygger på AI. Kina vill leda detta paradigmskifte och satsar därför bland annat på ISR, logistik, informationsoperationer, C3/beslutsfattande (implementering av AI) och autonoma system. Man satsar också på operationsanalys, bland annat krigsspel, och ser detta som ett sätt att lära sig utan att utkämpa verkliga strider.

Kina agerar också för att integrera och koordinera verksamhet vid universitet, forskningsinstitut, kommersiella företag, försvarsföretag och inom

¹⁸ Innehållet är till del hämtat från Kindvall, G. och Brändström, S., Sammanfattning av MORS-konferens om AI och autonomi, FOI Memo 6714, 2019-05-07.

försvaret i en militär-civil fusion av satsningar.¹⁹ Man har ambitionen att bygga nya forskningsinstitut, höja klassen på universitet med mera. En viktig del av den kinesiska satsningen på AI är just att satsa på utbildningssystemet och på att hitta och utveckla talanger inom området. Man plockar ut särskilt duktiga studenter och låter dem arbeta i försvarsprojekt. Det råder dock stora skillnader i utbildningskvalitet i Kina, till exempel mellan större städer och landsbygden. Begränsningar i utbildningssystemet tillsammans med svagheter i det kinesiska innovationssystemet bedöms vara bromsande.

Kina bygger smarta städer med smarta bilar och social kontroll. Kina har ett annat sätt än Västvärlden att tänka kring hur AI kan användas för social kontroll. Det finns dock en begynnande etisk debatt i företag som Baidu och Tencent. Kina har sagt sig vara positiva till förbud för fullt autonoma vapen, men samtidigt går man vidare med sin utveckling. Kina är också ett av de länder som använde tekniska lösningar för att spåra smittspridning av Covid-19.²⁰

Kina kan komma att utmana USA i att leda den globala strategiska teknikutvecklingen. Kina kan också komma att samverka med Ryssland, bland annat för att säkerställa tillgång till data för upplärande av system som bygger på maskininlärning. I USA följer man noga utvecklingen i Kina.^{21,22}

Skillnader i synen på hur man kan använda den nya tekniken mellan Kina och Västvärlden diskuteras också ofta, med hänvisningar till sådant som det "Safe-city-koncept"²³ som Huawei utvecklat och det "Social credit system"²⁴ som fått stor uppmärksamhet i västliga media. Det förra bygger på att koppla ihop sensorer för att snabbare kunna agera mot brottslighet, kravaller med mera, det senare på att medborgare får "poäng" utifrån om de gör positiva eller negativa saker utifrån statens värderingar. Höga poäng ger fördelar, låga nackdelar.

¹⁹ Hellström, J., Kinas politiska prioriteringar: militär-civil fusion och konsekvenser för Sverige, FOI-memo 6649, januari 2019.

²⁰ Klimburg, A., Faesen, L., Verhagen, P. och Mirtl, P., Pandemic Mitigation in the Digital Age – Digital Epidemiological Measures to Combat the Coronavirus Pandemic, Hague Centre for Strategic Studies, mars 2020, <https://hcss.nl/report/pandemic-mitigation-digital-age>. (Besökt 2021-02-27)

²¹ Military and security developments involving the People's Republic of China 2019, Annual report to congress, Office of the Secretary of Defense, USA.

²² Artificial Intelligence and Natural Security, Congressional research service, 21 november 2019.

²³ Användandet av Safe city-konceptet har analyserats av Center for Strategic and International Studies (CSIS), se Hillman, J. E. och McCalpin, M., Watching Huaweis "Safe Cities", CSIS, 4 november 2019, <https://www.csis.org/analysis/watching-huaweis-safe-cities>. (Besökt 2021-02-26)

²⁴ Donnelly, D., An Introduction to China's Social Corporate Credit System, New Horizons, senast uppdaterad 28 januari 2021, <https://nhglobalpartners.com/chinas-social-credit-system-explained/>. (Besökt 2021-02-26)

Kina investerar också globalt, bland annat genom bolagsförvärv utanför det egna landet.²⁵ Kina genomför såväl cyberspionage som cyberattacker syftande till att främja sina egna politiska, strategiska och ekonomiska intressen.²⁶

När nu USA drabbats hårt av Covid-19, spekuleras det flitigt i att vinnaren kan bli det land där pandemin började – Kina. Man ska heller inte glömma att det nära året 2050 kommer att utspela sig ett par viktiga händelser i Kina – 2047 upphör Hongkongs autonomi och 2049 fyller folkrepubliken 100 år.

2.4 Ryssland

Vid en konferens om AI och autonomi i USA i februari 2019 anordnad av Military Operations Research Society (MORS), beskrev Samuel Bendett från *Center for Naval Analyses* (CNA) ryska satsningar på AI och autonomi.²⁷

Bendett nämnde inledningsvis president Putins kända uttalande om att den som dominerar AI dominerar världen. Han betonade också att nyheterna från Ryssland är blandade och att det är svårt att se någon tydlig riktning vad gäller ryska satsningar på AI och andra områden. Ryssland bedöms ligga efter USA och Kina både vad det gäller pengar och infrastruktur. Även om Ryssland inte har kunnat satsa lika stora resurser som USA och Kina anstränger man sig dock för att hänga med dessa i teknikutvecklingen åtminstone inom vissa områden.²⁸

Regeringen är också villig att experimentera och pröva olika angreppssätt. Det finns emellertid brister i den ryska infrastrukturen. De har inte en kultur för start-up-företag som är jämförbar till exempel med den i USA. Civilt har framgångar nåtts inom bild- och taligenkänning.

Ryssland har etablerat flera stora forskningsinitiativ, till exempel det nationella teknikinitiativet. Inom ramen för detta försöker man skapa en forskningsgemenskap. Ryssland har en relativt välutbildad arbetskraft och

²⁵ Hellström, J., Almén, O. och Englund, J., Kinesiska bolagsförvärv i Sverige: en kartläggning, FOI Memo 6903, november 2019.

²⁶ Englund, J., Kinas industriella cyberspionage, FOI Memo 6698, mars 2019.

²⁷ Innehållet är till del hämtat från Kindvall, G. och Brändström, S., Sammanfattning av MORS-konferens om AI och autonomi, FOI Memo 6714, 2019-05-07.

²⁸ Tonin, M., Artificial Intelligence: Implications for NATO's Armed Forces, Science and technology committee, Sub-Committee on Technology Trends and Security (STCTTS), NATO Parliamentary Assembly, oktober 2019, <https://www.nato-pa.int/download-file?filename=sites/default/files/2019-10/REPORT%20149%20STCTTS%2019%20E%20rev.%201%20fin-%20ARTIFICIAL%20INTELLIGENCE.pdf>. (Besökt 2021-02-27)

har också en tradition av hög kompetens på universitet inom områden som matematik och fysik att bygga på. Man har tävlingar där skolelever får tävla i att bygga robotar. Samsung har etablerat ett AI-center i Moskva²⁹ och det finns också tecken på att Ryssland och Kina kommer att samverka om AI.

Det ryska försvarsdepartementet försöker också skapa en infrastruktur för utveckling av AI och har tagit ledningen i detta tillsammans med delar av försvarsindustrin. I mars 2018 arrangerade försvarsdepartementet en konferens om AI, vilken ledde fram till en plan för utveckling av AI för militära tillämpningar. Även i övrigt försöker Ryssland satsa på högteknologi, genom särskilda högteknologizoner och andra initiativ. Det finns också intresse för att etablera samarbeten mellan statliga och privata aktörer för att utveckla AI.

Den ryska militärindustriella kommittén har som ambition att 30% av den militära materielen ska vara fjärrstyrd 2025.³⁰ Som en del i detta har Ryssland skapat ett sorts DARPA, en stiftelse som ska arbeta med att stödja utveckling av teknik. I mars 2018 föreslog man fyra utvecklingsspår – bildigenkänning, taligenkänning, kontroll av autonoma militära system och livscykelstöd för vapensystem.

Det ryska försvaret har hävdat att man redan implementerat AI i telekrigssystem och luftförsvarssystem. Det är dock oklart vad som i detta sammanhang menas med AI. Klart är dock att Ryssland ser möjligheter med AI i tillämpningar för radarsystem, undervattensfarkoster, informationskrigföring, för att hantera data från rymdsystem, för att modellera mänskligt beslutsfattande med mera.

I en artikel från *Changing Character of War Centre* vid universitetet i Oxford lyfts ett antal nya ryska system fram under rubriken "Russia's 'Invincible' Weapons: An Update".³¹ Bland system som nämns finns roboten Kinzjal, den hypersoniska glidfarkosten Avangard, den interkontinentala ballistiska missilen Sarmat, laservapnet Peresvet, den autonoma undervattensfarkosten Poseidon och kryssningsroboten Burevestnik. I artikeln diskuteras också potentiella ryska antisatellitvapen, attack-UAV:er samt nya mark-, sjö- och luftplattformar. Författaren bedömer det inte som troligt att alla nämnda system kan bli operativa i signifikanta volymer, på

²⁹ Se <https://research.samsung.com/aicenter>. (Besökt 2021-02-27)

³⁰ Tonin, M., Artificial Intelligence: Implications for NATO's Armed Forces, Science and technology committee, Sub-Committee on Technology Trends and Security (STCTTS), NATO Parliamentary Assembly, oktober 2019, <https://www.nato-pa.int/download-file?filename=sites/default/files/2019-10/REPORT%20149%20STCTTS%2019%20E%20rev.%201%20fin-%20ARTIFICIAL%20INTELLIGENCE.pdf>. (Besökt 2021-02-27)

³¹ Cooper, J., Russia's 'Invincible' Weapons: An Update, Changing Character of War Centre, Pembroke College, University of Oxford, with Axel and Margaret Ax:son Johnson Foundation, mars 2019.

grund av höga kostnader och begränsade möjliga tillämpningar. Det kan istället vara så att utvecklingsinsatserna till del görs för att visa styrka och kanske verka avskräckande på USA.

Ryssland har också haft möjlighet att testa vissa system i de konflikter man deltagit i. Till exempel ska man i Syrien ha bekämpat motståndares drönare med hjälp av telekrigföring.³² Ett system som testats i Syrien, och som befanns ha en del problem, var det obemannade stridsfordonet Uran-9.³³ Sedan dess ska systemet ha uppdaterats och Ryssland ska också arbeta med framtagning av koncept för strid med obemannade system

Ryssland satsar också mycket på cyber- och telekrigföring, vilket också var viktiga förmågor vid insatsen i Ukraina.³⁴

2.5 EU

Inom EU diskuteras hur Europa kan ha en ledande roll i användningen av AI, med betoning på etik och pålitlighet. I ett ”White Paper” från EU-kommissionen står det att:

The European approach for AI aims to promote Europe’s innovation capacity in the area of AI while supporting the development and uptake of ethical and trustworthy AI across the EU economy. AI should work for people and be a force for good in society.³⁵

En EU-lagstiftning om AI kan få konsekvenser för användningen av tekniken även utanför unionen och också påverka industrin.

EU satsar resurser på att profilera sig inom både civil och militär teknikutveckling. En del i detta är de säkerhetsforskningsprogram som pågått under många år, senast i form av *Horizon 2020*.³⁶ Den europeiska försvarsfonden

³² Russian Electronic Warfare System Brings Down Hostile Drones in Syria, Defenseworld, 3 februari 2020, https://www.defenseworld.net/news/26265/Russian_Electronic_Warfare_System_Brings_Down_Hostile_Drones_in_Syria#.Xs49hJpvk2w. (Besökt 2021-02-27)

³³ Mizokami, K., Russia’s Tank Drone Performed Poorly in Syria, Popular Mechanics, 18 juni 2018, <https://www.popularmechanics.com/military/weapons/a21602657/russias-tank-drone-performed-poorly-in-syria/>. (Besökt 2021-02-27)

³⁴ Linder, S. och Alexandersson, M., Användning av störsändning i konflikten i Ukraina - en sammanställning från öppna källor, FOI Memo 5626, 2016-01-29

³⁵ White Paper on Artificial Intelligence - A European approach to excellence and trust, COM (2020) 65, EU-kommissionen 19 februari 2020, https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/commission-white-paper-artificial-intelligence-feb2020_en.pdf. (Besökt 2021-02-27)

³⁶ Se <https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en>. (Besökt 2021-02-27)

(*European Defence Fund*, EDF) kommer nu också att dra igång och leda till en motsvarande satsning på försvarsforskning.³⁷

EU har också satsat på så kallade *Flagship projects* inom viktiga tekniska framtidsområden som grafen och kvantteknologi.³⁸ Ett sådant projekt ska typiskt pågå under 10 år och ha en total budget på cirka 1 miljard euro. EU satsar också på att göra unionen ledande inom etisk och pålitlig AI.³⁹

Utöver det görs andra försök att göra Europa (och då framför allt EU) mer konkurrenskraftigt gentemot USA och Kina. *Joint European Disruptive Initiative* (JEDI) är ett sådant försök.⁴⁰ Frankrike och Tyskland är mest drivande i dessa satsningar. JEDI kommer att utlysa så kallade *Grand-challenges* inom ett antal områden för att, som de skriver, "*push the frontiers of innovation*". Inspirationen till dessa utlysningar kommer bland annat från amerikanska DARPA (*Defense Advanced Research Projects Agency*), som just genomför sådana utmaningar inom olika teknikområden.

³⁷ Se https://www.welcomeurope.com/european-funds/edf-european-defence-fund-2021-2027-1104+1004.html#tab=onglet_details. (Besökt 2021-02-27)

³⁸ <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/fet-flagships>. (Besökt 2021-02-27)

³⁹ White Paper on Artificial Intelligence - A European approach to excellence and trust, COM (2020) 65, EU-kommissionen 19 februari 2020, https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/commission-white-paper-artificial-intelligence-feb2020_en.pdf. (Besökt 2021-02-27)

⁴⁰ Joint European Disruptive Initiative (JEDI), The European moonshot factory, <https://www.jedi.foundation/>. (Besökt 2021-02-27)

3 Intressanta teknikområden

3.1 Inledning

Det finns många böcker, rapporter, konferenser och workshops som under de senaste åren försökt behandla teknikutvecklingen för att försöka förstå vilka teknikområden som kan tänkas generera intressanta och disruptiva tillämpningar i närtid eller i någon anad framtid. Områden som artificiell intelligens (AI) och autonomi nämns nästan alltid, men det finns också andra teknikområden som har potentiella tillämpningar både civilt och militärt.

I bilaga 1 diskuteras underlag från ett antal olika källor. Syftet med denna diskussion är att dra slutsatser om vad inom teknikutvecklingen som den svenska försvarssektorn kan behöva satsa egna forskningsmedel på eller behöver följa den civila utvecklingen av.

En realitet är att försvarssektorn på intet sätt kan konkurrera med den civila forskningen inom hajpade områden som AI, autonomi och bioteknologi utom inom mycket specifika delområden som inte är av civilt intresse. Det handlar alltså mer än någonsin om att satsa sina pengar rätt.

I bilaga 1 görs först en kort genomgång av det svenska försvarets forskning. Därefter sker en översiktlig genomgång av forskningen och verksamheten inom EU – med fokus särskilt på den europeiska försvarsbyrån (*European Defence Agency*, EDA) – och NATO – främst verksamheten inom Natos forskningsorganisation (*Science & Technology Organization*, STO), *Office of the Chief Scientist* och *Allied Command Transformation* (ACT). Efter detta sker en genomgång av andra dokument som tar upp viktiga teknikområden. Bland annat tas dokument från USA, Kanada, Australien, Italien och Norge upp.

3.2 Teknikområden

På en övergripande nivå finns det stora likheter mellan de teknikområden som lyfts fram i både civilt och militärt inriktade teknikanalyser. Det går också att referera till många andra dokument som lyfter fram ungefär samma områden som de som tas upp i bilaga 1. Detta ligger också i linje med att vi kan förvänta oss att vi i högre grad kommer att behöva utnyttja civil teknik även i militära system. I många dokument lyfts följande teknikområden fram som de som anses vara de viktigaste och de med störst potential att vara disruptiva:

- Informations- och kommunikationsteknologi (inkluderar AI, autonomi, IoT, distribuerade liggare, cyber med flera)
- 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 detta, och som specifikt för försvarsområdet, lägga även utvecklingen av nya vapenteknologier som laser, HPM och hypersoniska vapen. De senare är egentligen inte nya, men förutsättningarna för att uppnå en del av de sedan tidigare uppskrivna förväntningarna förbättras nu snabbt.

Utvecklingen inom de ovan identifierade teknikområdena och militära tillämpningar av dessa presenteras och diskuteras i bilaga 2.

Det kan invändas att detta i hög grad fokuserar på de områden som just nu bedöms ”heta” och att man därmed tappar de områden som av tradition, hotaspekter eller integritetsskäl behöver vara en del av försvarsforskningen såväl idag som i framtiden. Sådana områden är till exempel telekrigföring och CBRN. För CBRN-området kommer utvecklingen inom bioteknikområdet att möjliggöra nya kvalificerade hot som vi behöver kunna förstå, upptäcka och motverka. Kärnvapen kommer också att kvarstå i de stora kärnvapennationernas arsenaler och kanske också bli ett alternativ för andra aktörer. Det måste därför hanteras som ett fortsatt möjligt hot.

Det kan också invändas att förslaget på sju områden ovan tappar bort motmedelsaspekten. Försvarsteknologi är en ständig duell mellan medel och motmedel, vilket till exempel är skälet till att telekrigföring är både viktigt och integritetskritiskt. Å andra sidan kan man se områdena ovan som inkluderande både medels- och motmedelsaspekter inom sina respektive domäner.

Dessa teknikområden beskriver också den teknologiska basen för de ”plattformsinriktade” områdena soldat, rymd, mark, sjö och luft.

Det är viktigt att notera 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 eller autonoma system. Det kan vara just i kombinationen mellan flera teknikområden som de sant disruptiva utvecklingsstegen kommer att tas.

Framtida försvarsforskning måste därför bedrivas på ett sätt som gör att teknikområdena möts och forskning kring tillämpningar som kombinerar forskningsgenombrott inom flera forskningsområden uppmuntras. Detta ställer krav på en organisation som är tillåtande mot utbyte och samverkan men inte mot stuprörstänkande.

Nedan presenteras några sammanfattande slutsatser från teknikbeskrivningarna i bilaga 2.

3.3 Slutsatser från bilaga 2

I bilaga 2 beskrivs ett antal teknikområden som kan förväntas komma att bli viktiga för försvarets framtida förmåga och som därutöver kan förväntas ha stor påverkan på det framtida samhället. Dessa teknikområden kan potentiellt innebära stora förändringar av hur konflikter utkämpas och hur vi lever.

Mycket talar också för att det är när dessa teknikområden samverkar med varandra eller andra teknikområden som effekterna blir särskilt stora. Informations- och kommunikationsteknologi kommer att genomsyra allt och maskininlärning och AI kommer att innebära att beslut kan tas automatiskt och mycket snabbare än vad som är möjligt för en människa. När – och om – automation i beslutsfattande kan tillåtas är något som troligen kommer att diskuteras mycket.

Framtidens plattformar kommer att byggas i nya material, som ger lägre vikt, bättre skydd och bättre signaturgenskaper och utrustas med sensorer som lättare kan upptäcka mål. De kanske även utrustas med vapen som bygger på nya verkansprinciper. Miniaturisering, AI och utvecklingen inom energi- och sensorområdena kommer att möjliggöra små autonoma plattformar med längre uthållighet som kan spana i alla domäner.

Sedan har vi biotekniken som kan möjliggöra förstärkning av soldatens förmåga och sensorer som håller reda på soldatens hälsotillstånd.

Detta är en del av vad tekniken kan erbjuda. Militära produkter har också särskilda behov. De måste kunna fungera i många olika miljöer, vara pålitliga utöver de krav som normalt kan ställas på civila produkter och (helst) kunna motstå olika sorters motverkan. Försvarskontexten innebär också att det kommer att utvecklas motmedel mot nya tekniska tillämpningar. Medels-/motmedelsutvecklingen kommer att innebära att teknikutvecklingens fulla potential kanske inte kommer att kunna uppnås och att vissa tillämpningar inte blir möjliga eller kostnadseffektiva.

4 Omslagspunkter

4.1 Inledning

Mycket av intresset när det gäller teknikutveckling riktar sig mot det som kallas disruptiv teknik. Ett annat ord som används är "game-changers". Med bägge dessa begrepp kan man förstå teknikutveckling som innebär att etablerade beteenden och förutsättningar förändras. I försvarssammanhang kan det till exempel vara något som gör att existerande förmågor och system inte längre kan hantera de nya hoten.

Vid det så kallade *Mad Scientist Laboratory*, som den amerikanska armén driver vid sitt *Training and Doctrine Command* (TRADOC)⁴¹, testas nya angreppssätt för att identifiera vad som är möjligt och lovande inför framtiden och vad som kan bli hot som behöver kunna hanteras i den framtida operationsmiljön. De uppdaterar också regelbundet en lista på en uppsättning "game-changers", dels i tidsperspektivet 2035 (vad de kallar för "The era of accelerated human progress"), dels i tidsperspektivet 2050 (vad de kallar "The era of contested equality").⁴² Inom denna satsning utlyser man också science fiction-novelltävlingar och har både en blogg och en podcast. Även NATO *Allied Command Transformation* (ACT) har använt science fiction som metod för att beskriva framtida möjligheter, i detta fall genom att låta ett antal science fiction-skribenter få inledande information om syfte med mera och sedan frihet att formulera sina visioner.⁴³

Frågan är om det finns omslagspunkter där teknikutvecklingen innebär att gamla metoder och system blir verkningslösa. Det är en fråga vi ställt oss i projektet Vision 2050. Vi har försökt förena två synsätt på disruptiv teknik. Det ena är det traditionella, det vill säga att utgå från den teknikutveckling vi ser omkring oss och som skulle kunna leda till disruptiva tillämpningar i framtiden. Exempel på sådana områden är kvantdatorer, nanoteknologi och prestationshöjande medicin. Dessa områden kan möjliggöra tillämpningar och förmågor som kan förändra förutsättningarna i konflikter. De beskrivs i avsnitt 4.2.

Det andra sättet är att identifiera ett antal tillämpningar som verkligen skulle kunna förändra förutsättningarna för konflikter. Det kan vara förmågan att vara osynlig på stridsfältet ("osynlighetsmantel"), att havsmiljön

⁴¹ Mad scientist laboratory – Exploring the operational environment, <https://madsciblog.tradoc.army.mil/>. (Besökt 2021-02-27)

⁴² Den senaste versionen finns på <https://community.apan.org/wg/tradoc-g2/mad-scientist/b/weblog/posts/potential-game-changers-636015157>. (Besökt 2021-02-27)

⁴³ Visions of Warfare 2036, november 2016.

blir helt genomskinlig för spaning ("transparent ocean") eller artificiell superintelligens. Dessa beskrivs i avsnitt 4.3.

Syftet med detta kapitel är att lyfta fram några särskilt intressanta områden med disruptiv potential och några särskilt intressanta utmaningar som verkligen skulle kunna utgöra sådana omslagspunkter och förändra förutsättningarna på stridsfältet. Därför sker även en viss dubblering med bilaga 2, som också beskriver en del av den teknik som lyfts fram i detta kapitel.

Vi hoppas att detta sätt att tänka också ska inspirera läsarna att tänka vidare i dessa banor.

4.2 Teknikområden som sannolikt medger disruptiva tillämpningar

4.2.1 Kvantdatorer⁴⁴

Kvantdatorer skiljer sig primärt från dagens datorer genom att minneslagring och beräkningar sker genom kvantmekaniska egenskaper. En kvantdators minnesbit (kvantbit eller qbit) kan befinna sig i flera olika tillstånd samtidigt till skillnad från en vanlig dator vars minnesbit antingen är 0 eller 1. Detta medför att både minnesdel och beräkningstider i en kvantdator ökar exponentiellt med antalet kvantbitar medan den bara ökar linjärt i en ordinär dator.

Relaterat till begreppet kvantdator är begreppet kvantkrypton som bland annat har egenskapen att om någon obehörig avlyssnar trafiken så kommer den att påverkas och därmed får man ett kvitto på att signalen är röjd. Kvantkrypton finns redan idag på laboratorienivå och kommer förmodligen vara fullt realiserade inom en tioårsperiod.

Sedan början av 1980-talet har flera forskningsgrupper världen över försökt att realisera en kvantdator. Man kan urskilja tre principiellt olika konstruktionsprinciper. Gemensamt för alla tre principerna är problemet att skapa ett antal kvantbitar kopplade till varandra och helt isolerade från omvärlden ("entanglement" på engelska). I dagsläget har man uppnått kvantdatorer med cirka 20 kvantbitar. För att erhålla en kvantdator med extremt mycket bättre prestanda än en i dag existerande bästa dator krävs åtminstone 100 kvantbitar. I slutet av september 2019 rapporterades om att några forskare från Google med hjälp av kvantdatorn Sycamore, som har 53 kvantbitar, kunnat lösa ett problem på tre minuter och 20 sekunder, vilket för dagens mest kraftfulla konventionella datorer skulle ta 10 000 år att

⁴⁴ Se vidare Bilaga 2 med referenser.

lösa.⁴⁵ IBM hävdar dock att deras konventionella dator ”Summit” skulle klara av att lösa problemet på mindre än 2,5 dagar.⁴⁶

Ett stort problem vid realisering av en kvantdator är det termiska bruset. Det ökar såväl med ökat antal kvantbitar som med kretsstorleken. Mycket arbete läggs idag ner på att med olika metoder reducera detta brus. En möjlighet som både Google och IBM studerar är att ha en annan kvantdator som arbetar parallellt och som fungerar som en bruskorrigering, en så kallad NISQ (*Noise Intermediate-Scale Quantum Computer*).

Google har offentligt visat att de med en kvantdator på 12 kvantbitar kan bestämma elektronstrukturen på en molekyl av diazen. Det kan kanske uppfattas som en mindre bedrift men är det första lyckade resultatet från en kvantdator som direkt har varit till nytta för forskningen.

Vad gäller kvantdatorer har man kommit mycket längre inom programvara än inom hårdvara. Ett flertal program för styrning och beräkning har redan utvecklats.

Det finns idag en stor spännvidd vad gäller bedömningen av när riktigt kvalificerade kvantdatorer kommer att kunna realiseras. De mest optimistiska talar om tio år medan en mer trovärdig tid förmodligen är 30 år eller mer. Detta under förutsättning att det över huvud taget går, vilket en del forskare betvivlar.

Om en komplett kvantdator kommer att kunna realiseras kommer den i princip att kunna knäcka all nu existerande kryptering. Detta kommer naturligtvis helt omkullkasta vår syn på kryptering som säker form av informationsöverföring. Här kommer förmodligen kvantkrypton att spela en viktig roll.

Kvantdatorer är bäst lämpade för problem av mer matematisk karaktär (printalsfaktorisering, DNA-syntes, komplexa vägvalsproblem, optimeringsproblem).

Framtida kvantdatorer kommer förmodligen vara konstruerade för att lösa vissa mycket specifika problem. En rimlig bedömning är att konventionella datorer även framledes kommer att användas och utgöra grunden för beräkningar och att kvantdatorer utnyttjas för att lösa vissa mycket avgränsade delproblem.

⁴⁵ Se till exempel Googles kvantdator slår världen med häpnad: ”Väldigt viktigt”, Ny Teknik 28/10 2019, <https://www.nyteknik.se/digitalisering/googles-kvantdator-slar-varlden-med-hapnad-valdigt-viktigt-6976543>. (Besökt 2021-02-27)

⁴⁶ Pednault, E., Gunnels, J., Maslov, D. och Gambetta, J., On “Quantum Supremacy”, IBM Research Blog, 21 oktober 2019, <https://www.ibm.com/blogs/research/2019/10/on-quantum-supremacy/>. (Besökt 2021-02-27)

Idag bedrivs en omfattande forskning om kvantdatorer med tyngdpunkt i USA men ett flertal andra länder som Ryssland, Kina, Indien, Japan, Syd- och Nordkorea lägger stora resurser inom detta område. I Sverige är Chalmers Tekniska Högskola i Göteborg ledande med en stor finansiering från Knut och Alice Wallenbergs stiftelse.⁴⁷

4.2.2 Nanoteknik – materialteknik⁴⁸

Utvecklingen inom materialområdet – och då speciellt inom nanotekniken – sker idag närmast explosionsartat. Med goda modeller och simuleringsverktyg kan man idag designa material med specifika önskade egenskaper, något som man tidigare fick göra experimentellt. Exempel på områden där nanotekniken bedöms få stor inverkan på sikt är:

- Framtagning av material med extremt låga signaturer. För närvarande sker forskningen främst inom mikrovågsområdet för att kraftigt reducera radarsignaturer men den teoretiska förståelsen sträcker sig även ner i det synliga området, vilket gör att det i framtiden inte är omöjligt att göra sig mer eller mindre osynlig för ögat. Tillämpningsområdena är här oräkneliga både civilt som militärt.
- Material (keramer) som tål extremt höga temperaturer (för att till exempel öka effekten i motorer).
- Lätta material som tål extrema drag- och skjuvbelastningar (för att till exempel göra flygfarkoster lätta och samtidigt mer tåliga och med lägre bränsleförbrukning).
- Adaptiva material som anpassar sig till omgivningen (kamouflage, vingprofiler som kan ändras under flygning beroende på uppdragstyp, samma typ av kläder för både kallt och varmt väder med mera).
- Självlagande material.
- Medicinska nanomaterial för reparation av kroppsliga funktioner eller transport av läkemedel i kroppen så att de hamnar på rätt ställe.

⁴⁷ Chalmers kvantdator bryter ny mark – lockar Googles avhoppare till Göteborg, Dagens Nyheter, 20 januari 2021, <https://www.dn.se/sverige/chalmers-quantdator-bryter-ny-mark-lockar-googles-avhoppare-till-goteborg/>. (Besökt 2021-03-04). I artikeln nämns bland annat att Chalmers löst ett ruttoptimeringsproblem för flyg i en kvantdator.

⁴⁸ Se vidare SOU 2014:88 Luftförsvarsutredningen 2040 Slutbetänkande, sida 127, <https://www.regeringen.se/rattsliga-dokument/statens-offentliga-utredningar/2015/01/sou-201488/>. (Besökt 2021-02-27)

4.2.3 Prestandahöjande ämnen – kognition

Att man med hjälp av medicinering kan förbättra sin förmåga (fysiskt och/eller psykiskt) har varit känt länge. Den snabba utvecklingen inom biokemi och biomedicin har dock skapat helt nya möjligheter inom detta område. En ökad förståelse av det mänskliga genomet och dess betydelse för hur kroppen fungerar, tillsammans med sätt att studera ämnens interaktion i kroppen på molekylär nivå, har gett oss en större förståelse för hur mediciner verkar. I framtiden blir det kanske möjligt att individanpassa mediciner med extremt speciella egenskaper. Här möter man både etiska och moraliska problem som om de inte bemöts och diskuteras såväl nationellt som internationellt kan skapa oöverskådliga problem.

Under ett 10-tal år lades mycket tid och arbete ned på att hitta metoder för att identifiera byggstenarnas sammansättning i DNA-molekylen, vilket resulterade i den av Watson och Crick beskrivna spiralstrukturen hos DNA. Ett genombrott skedde för cirka 20 år sedan då man i det så kallade HUGO-projektet⁴⁹ för första gången kunde beskriva den mänskliga arvs-massan. Detta har fört med sig att det nu finns betydligt bättre möjligheter att diagnostisera (genetiska) sjukdomar och i förlängningen att kunna behandla eller förebygga dessa.

På samma sätt pågår idag en omfattande kartläggning av den mänskliga hjärnan i det så kallade *Human Brain Project*. Detta kan på sikt kraftigt omvärdera vår nuvarande syn på kognition och mänskligt beslutsfattande. Möjligen kan nya kunskaper om hjärnan förändra vår uppfattning om beslutsfattande och gruppbetenden. Projektet har kraftigt försenats men bedöms kunna slutföras under 2020-talet.

I och med att framtida system för beslut och ledning – inte minst inom försvaret – allt mer kommer att integreras med tekniska system kommer frågor som kognition och prestandahöjande mediciner att få större betydelse. Speciellt kommer det finnas ökat intresse för förståelse för hur beslut fattas i grupp och under påverkan. Forskning inom områden som har till syfte att replikera hjärnans beteenden eller analyser av dessa pågår. Detta kan påverka områden som analys, simulering och beslutsfattande. Området har också koppling till AI där maskiners beteenden kommer att mer eller mindre kunna imitera den mänskliga hjärnan. Vad gäller mänsklig kognition kan den förstärkas genom olika former av specialdesignade bio-mediciner eller genom ”proteser” för att förbättra till exempel syn, hörsel, tal och muskelstyrka.

⁴⁹ Human Genome Project, https://sv.wikipedia.org/wiki/Human_Genome_Project. (Besökt 2021-02-27)

4.3 Genuint disruptiva tillämpningar

4.3.1 Osynlighetsmantel

Med kraftigt ökade prestanda hos datorer och en ökad förståelse för hur materialegenskaper är kopplade till materialens molekylära utseende har det under de senaste 10 åren varit möjligt att på ett helt nytt sätt kunna skapa material med önskade egenskaper. Detta har bland annat fört med sig att man kan skapa material som är närmast osynliga inom mikrovågsområdet. I dag går det att konstruera flygplan med en fysisk yta på 10-tals kvadratmeter men som inom mikrovågsområdet bara syns som knappt en kvadratcentimeter stort. Det har – åtminstone för stormakterna – varit högt prioriterat att ta fram sådana smyganpassade flygplan.

Samma princip som man utnyttjat inom mikrovågsområdet är även tillämpbar inom det synliga området. Dock medger inte dagens teknik att konstruera en sådan ”osynlighetsmantel”, på grund av det synliga ljusets korta våglängd och de därmed mycket stränga precisionskrav som ställs på materialen.

Med bättre kunskap om vissa materials negativa brytningsindex i kombination med den forskning som idag bedrivs inom ”ljushastighetsreducering” (Lene Westergaard vid Harvard har lyckats reducera ljushastigheten till normal cykelhastighet)⁵⁰ är det inte omöjligt att i framtiden tänka sig en ”osynlighetsmantel” av den typ som används av Harry Potter i J.K. Rowlings böcker. Att göra sig helt osynlig är kanske inte möjligt men en mycket kraftig reduktion av reflekterat ljus är förmodligen möjlig att erhålla på sikt. Allt detta kommer naturligtvis inte att ske imorgon men kan vara tekniskt möjligt på kanske 30-50 års sikt.

Konsekvenserna av en sådan ”mantel” kan bli enorma. Bara fantasin sätter gränser för vad detta kan innebära militärt, kriminellt, för den personliga integriteten, för upprätthållande av sekretess, för ickedemokratiska länders agerande med mera.

4.3.2 Genomskinligt hav (”transparent ocean”)

Vad skulle det innebära om alla hav blev transparenta i den betydelsen att allt gick att upptäcka och att i princip ingenting gick att gömma. Sensorer, minor, ubåtar, bemannade och obemannade undervattensfarkoster skulle enkelt kunna lägesbestämmas på samma sätt som det idag är möjligt att göra det för farkoster i luft och på mark.

⁵⁰ Energi i nytt ljus under årets Celsius-Linné föreläsningar, 12 februari 2016, <https://uppsalauniversitet.se/press/pressmeddelande/?id=3114&typ=pm>. (Besökt 2021-02-27)

En konsekvens skulle bli att det inte längre går att verka dolt under havsytan. Egenskyddsförmågan hos undervattensfarkoster kommer att behöva förstärkas, liksom egen bekämpningsförmåga mot olika typer av hot såväl som egen telekrigföringsförmåga. Man kan fråga sig om de strategiska ubåtarna (med andraslagsförmåga) i så fall ens kommer att kunna finnas kvar och ha en roll.⁵¹

Är det då möjligt att göra haven transparenta?

Under de senaste 10-15 åren har det gjorts stora satsningar på att ta fram olika typer av obemannade undervattensfarkoster. Dessa kan göras förhållandevis billiga och finns redan i dag i ett stort antal. Med hjälp av sina optiska, magnetiska och hydroakustiska sensorer kan de skapa sig en mycket god lägesbild lokalt. Dessutom kan de exploatera havsbotten genom att mäta dess topografi såväl optiskt, hydroakustiskt och magnetiskt. All den information som på detta sätt erhålls via svärmar av undervattensfarkoster kan sammanställas och lagras digitalt. Med stöd av AI-system kan – åtminstone i teorin – alla eventuella förändringar i topografin detekteras i realtid. Det innebär att alla förändringar avseende farkoster och föremål i havet och på havsbotten omedelbart skulle kunna detekteras. Mer avancerad signalbehandling hos sensorerna kommer att förstärka denna möjlighet att skapa ett ”transparent hav”.

Man skall dock vara medveten om att alla tekniska och taktiska innovationer kan komma att motverkas genom olika typer av motmedel eller helt nya innovationer. Dessutom krävs förmodligen ett väl utvecklat och säkert kommunikationssystem under vatten för att kunna realisera denna förmåga. Och ett transparent hav ligger definitivt flera decennier in i framtiden om det ens blir möjligt.

Att man i framtiden med hjälp av kvantsensorer skulle kunna detektera små skillnader i gravitation och på så sätt kunna upptäcka undervattensfarkoster har också lyfts fram som en möjlighet. Jordklotet består till stor del av magma som roterar på ett mycket komplext sätt, vilket kan göra att gravitationen från till exempel en ubåt helt försvinner i gravitationsförändringen orsakad av magmarörelserna.

4.3.3 Superintelligens (ASI)

I bilaga 2 ges en översiktlig beskrivning av utvecklingen inom området artificiell intelligens. Den yttersta tillämpningen är den artificiella superintelligensen (ASI), med vilket man brukar mena system (datorer) med en

⁵¹ Se vidare If the ocean was transparent: The see-through sea, The Economist, 7 juni 2016, <https://worldif.economist.com/article/12151/see-tough-sea>. (Besökt 2021-02-27)

sådan intelligens att de klart överträffar människans förmåga inom de allra flesta områden.⁵²

Det är av naturliga skäl mycket svårt att bedöma om och när en ASI kommer att vara möjlig. De allra flesta forskarna anser dock att det kommer att ske, men det finns en stor variation om när.⁵³

När ASI är en realitet kommer det att påverka i princip alla delar av mänskligheten. Hur kommer världen att se ut om alla vet hur de optimala strategierna ser ut när man gör affärer eller handlar på börsen. Ska fakta över huvud taget läras ut i skolorna när man hur enkelt som helst kan skaffa sig informationen och dessutom vet hur man ska använda den. Kommer ett framtida ASI bara gå efter optimala och logiska resonemang? Vårt samhälle bygger ju på att moraliska, etiska och sociala hänsyn ofta är viktigare än rent optimala beslut.

Olika religioner och skilda politiska uppfattningar, men även kulturella skillnader, är kännetecknande för människan. Många beslut tas idag med utgångspunkt från olika uppfattningar i dessa frågor. Hur kommer ett framtida ASI-system se på detta – som egentligen är ett rent mänskligt problem. Kommer ett ASI-system att tänka på samma sätt om sig själv? Kommer det att prioritera andra ASI-system framför människor? Kommer ASI-systemen ta över? Vissa forskare som Steven Hawking och den svensk-amerikanske forskaren Max Tegmark har uttryckt oro för detta.⁵⁴ Det finns ett otal frågor av denna typ som ingen kan besvara idag.

Hur kommer ASI-system på vardera sidan i en militär konflikt att agera? Kommer de att driva konflikten utanför mänsklig fattningsförmåga. Kommer olika ASI-system att ha olika moraliska, etniska, religiösa och kulturella värderingar?

Hur kommer dessa ASI-system att regleras internationellt? Kommer det att finnas restriktioner för användningen på samma sätt som vi har restriktioner för användningen av kärnvapen, biologiska vapen och kemiska vapen? Hur kommer dessa att efterlevas? Kommer det vara möjligt att överhuvudtaget genomdriva och kontrollera detta?

⁵² Bostrom, N., *Superintelligens: Vägar, faror, strategier*, Fri Tanke förlag 2017. Den engelska versionen *Superintelligence: The coming machine intelligence* publicerades 2014.

⁵³ Nick Bostrom redovisar i sin bok *Superintelligens* expertenkäter om när en artificiell intelligens på mänsklig nivå (AGI) kan vara möjlig och hur lång tid det sedan kan ta innan en superintelligens (ASI) blir möjlig. Ungefär 50% av de tillfrågade bedömer att en AGI kan finnas 2040-2050. Toby Walsh beskriver i boken *2062: The world that AI made* (La Trobe University Press in conjunction with Black Inc, 2018) hur framtiden kan se ut när maskinerna är lika intelligenta som vi, vilket han antar är ca 2062.

⁵⁴ Tegmark, M., *Liv 3.0: Att vara människa i den artificiella intelligensens tid*, Volante 2017. Originalalets titel är *Life 3.0: Being human in the age of artificial intelligence*.

Vi går mot en framtid där vi gör oss mer och mer beroende av datorer. Vill vi och är det i så fall möjligt att begränsa denna utveckling? Kan någon nation välja att inte följa med i utvecklingen? Vad skulle det i så fall innebära för nackdelar att stå utanför?

4.4 Sammanfattning/slutsatser

Det är omöjligt att idag veta vilken framtida teknikutveckling som kommer att ge upphov till omslagspunkter där nya saker kan göras, gamla saker kan göras på nya sätt och barriärer kan passeras. Dock finns det många teknikområden som kan ge upphov till sådana tillämpningar. Artificiell intelligens och kvantteknologi är självklara sådana kandidater. Den förra kan på sikt ge en förmåga i klass med eller överlägsen den mänskliga intelligensen, den senare kan genom att använda kvantfysikens paradigms ge upphov till många tillämpningar bortom vad som är möjligt idag.

Även materialteknik och bioteknik har potential att ge upphov till revolutionerande tillämpningar. Några möjliga tillämpningar av nanoteknologi och sätt att förstärka den mänskliga prestationsförmågan har nämnts ovan. Kombinationer av teknik kan också ta utvecklingen vidare, till exempel kan kvantdatorer ge möjlighet att förstå (och räkna på) materien mycket bättre än vad som annars är möjligt, vilket på sikt kan understödja utvecklingen av nya material.

I detta kapitel har också några exempel på sann disruptivitet, eller revolutionära omslagspunkter, diskuterats. Det handlar om möjligheten att göra fysiska föremål i praktiken osynliga, om att även havet i framtiden kanske blir ”genomskinligt” och att det därför blir svårt för undervattenssystem att undgå upptäckt, och att en artificiell superintelligens skulle skapa helt nya förutsättningar genom att i princip kunna lösa alla sorters problem betydligt bättre än en människa.

En värld där de innovationer som beskrivits i detta kapitel finns tillgängliga skulle vara något helt annat än dagens, men vad är svårt att föreställa sig.

5 Vad kan teknikutvecklingen innebära?

5.1 Inledning

I de tidigare kapitlen och i bilagorna redovisas teknikutveckling, olika aktörer och möjliga tillämpningar. Vissa möjliga konsekvenser har diskuterats. I detta kapitel fördjupas diskussionen om vad teknikutvecklingen kan innebära. Det är troligt att teknikutvecklingen (artificiell intelligens, autonomi, bioteknologi med mera) kommer att innebära stora förändringar såväl i samhället som inom den militära sektorn. I detta kapitel försöker vi dra ett antal slutsatser om vilka dessa förändringar kan vara och vad de kan innebära. Till del hänvisar vi till andra analyser, till del är det författarnas egna uppfattningar om vad som kan vara troligt eller möjligt. I det bygger vi på vad som i övrigt redovisas i denna rapport och då särskilt i bilaga 2.

I kapitlet diskuteras ett antal potentiella konsekvenser av teknikutvecklingen utifrån ett försvarsperspektiv. Det rör sig till exempel om hur teknikutvecklingen påverkar materielförsörjningsprocessen, vad militära krav på tillförlitlighet, robusthet och säkerhet innebär för möjligheterna att implementera civil teknik i militära tillämpningar, konsekvenserna av en fortsatt medels-/motmedelsduell och om motmedlen i framtiden kan matcha medlen, soldaten i framtiden, om konflikter kommer att utkämpas på nya arenor och om själva krigets natur överlever framtiden.

Samtidigt är det lätt att ha alltför uppskruvade förväntningar på vad teknikutvecklingen kan möjliggöra. Vissa möjliga tillämpningar kanske inte kan, eller ska, implementeras. Vi vet inte vad av detta som kommer att vara tekniskt eller ekonomiskt möjligt, relevant eller tillåtet. Vi kan dock förvänta oss att det kommer att finnas gammalt och nytt sida vid sida fortfarande år 2050.⁵⁵ Hur skall det nya och fantastiska fungera sida vid sida med arvet?

Detta kapitel försöker väcka ett antal frågeställningar, men strävar varken efter att ta dessa i mål eller att vara heltäckande. Snarare ska de områden som tas upp ses som potentiellt värda ytterligare analys.

Det är också värt att tänka på att utveckling av militära system/förmågor ofta tar ett eller flera decennier och att de system som resulterat sedan, med successiva uppgraderingar, har stannat kvar i organisationen i flera decennier. För att titta på livslängden hos militär materiel kan vi se på exemplet

⁵⁵ Detta betonade också Peter W. Singer vid Natos OA-konferens hösten 2019. Se Kindvall, G., 13th Annual Operations Research & Analysis Conference, FOI Memo 6894, 2019-11-14.

JAS 39 Gripen. Det första utvecklingsavtalet mellan Försvarets Materielverk (FMV) och Industrigruppen JAS (IG JAS) tecknades 1982. Då hade studier av ersättare till Viggen redan pågått under hela 1970-talet. De första Gripen-flygplanen levererades 1993.⁵⁶ Gripen har senare uppdaterats i nya versioner och kommer att finnas kvar i ytterligare två eller tre decennier, det vill säga potentiellt ännu framåt 2050 (eller till och med ännu längre). Ett exempel på ett system med ännu längre livslängd är de amerikanska B-52-bombarna. Tanken är nu att förse dessa plan, som togs i tjänst i början av 1960-talet, med nya motorer som kommer att öka planens räckvidd och möjliggöra att de finns kvar i organisationen till 2050 eller till och med längre.⁵⁷

5.2 Teknik och samhälle

Innan vi går in på hur försvaret kan påverkas av teknikutvecklingen är det viktigt att begrunda hur relationen mellan teknik och samhälle kan bli i framtiden. Hur kan teknikutvecklingen komma att påverka eller driva samhällsutvecklingen och tvärtom? Och vilka stater eller grupper kommer att ha inflytande över detta? Och vilka av alla de möjligheter teknikutvecklingen erbjuder kommer att förverkligas?

Samhället kan införa begränsningar vad avser användning av ny teknik. Inom EU föreslås begränsningar vad gäller ansiktsgenkänning och andra AI-baserade förmågor och EU strävar också efter att utveckla etisk och pålitlig AI. Vad händer om synsättet på ny teknik påtagligt varierar mellan olika delar av världen, det vill säga att vissa kan tänka sig tillämpningar av både civil och militär natur som av andra bedöms strida mot den humanitära rätten eller andra regelverk? Vad tekniken kan användas till i kontrollsammanhang har ju blivit uppenbart i bland annat Kina under försöken att begränsa effekterna av Covid-19.⁵⁸ Även i andra länder har system för att spåra eventuellt smittade via mobilen använts. Innebär det att ribban för att använda teknik i sammanhang som tidigare skulle ha setts som integritetskränkande har sänkts? Det är ännu för tidigt att bedöma det.

⁵⁶ Ahlgren, J., Christofferson, L., Jansson, L. och Linnér, A., Faktaboken om Gripen, Utgåva 4, utgiven av Industrigruppen JAS AB, 1998.

⁵⁷ Motorbytet låter flygplanet B-52 fira hundra år i luften, Ny Teknik 5 maj 2020, <https://www.nyteknik.se/premium/motorbytet-later-flygplanet-b-52-fira-hundra-ar-i-luften-6994788>. (Besökt 2021-02-27)

⁵⁸ Klimburg, A., Faesen, L., Verhagen, P. och Mirtl, P., Pandemic Mitigation in the Digital Age – Digital Epidemiological Measures to Combat the Coronavirus Pandemic, Hague Centre for Strategic Studies, mars 2020, <https://hcss.nl/report/pandemic-mitigation-digital-age>. (Besökt 2021-02-27)

Nya potentiella teknologier som offensiv cyberförmåga, artificiell intelligens, fullt autonoma system och förstärkning av den mänskliga prestationsförmågan kan verkligen komma att tydliggöra skillnader i betraktelsesätt när det gäller etik och lagstiftning. Här skall vi heller inte glömma att drivkrafterna bakom en vilja att reglera ny teknologi kan vara en helt annan än etik och folkrätt i vissa stater. Rädslan för stora grupper människor utan sysselsättning i automatiseringens spår kan skrämna många regimer och få dem att ge sitt stöd till, eller till och med driva, kraven på regleringar.

Vilka begränsningar utifrån etiska och andra perspektiv kan då komma att läggas på ny teknik som fullt ut autonoma vapen och teknik med syfte att förstärka den mänskliga prestationsförmågan? Många hävdar att det finns starka argument för att förbjuda vapentillämpningar av fullt autonom typ. Men hur skall detta åstadkommas, särskilt mot bakgrund av att fullt autonoma system – till exempel bilar – med stor sannolikhet kommer att finnas i framtidens samhälle. Är det möjligt att på ett trovärdigt och verkningsfullt sätt förbjuda militära tillämpningar av teknologier som civilt finns ”överallt”? Och vilka kommer att respektera respektive inte respektera sådana begränsningar? Och hur och av vem ska brott mot förbuden beivras?

Det pågår arbete med att förhålla sig till och ta fram riktlinjer för tillämpning av ny teknik. EU har tagit fram etiska riktlinjer för tillförlitlig AI.⁵⁹

5.3 Etik och folkrätt

På senare tid har allt fler farhågor rests om att en del av de möjligheter som teknikutvecklingen kan erbjuda kommer att innebära problem av etisk och folkrättslig natur och därför behöver omfattas av regleringar.

Ett sådant område är möjligheterna att göra vapen helt autonoma från upptäckt av ett mål till bekämpningen av detsamma. En vanlig invändning mot fullt autonoma system är att alla system behöver lyda under meningsfull mänsklig kontroll (”meaningful human control”), det vill säga att någon människa bör vara den som tar de slutgiltiga besluten, i synnerhet då dessa beslut handlar om liv och död – till exempel bekämpning av ett militärt mål.

Inom ramen för 1980 års konvention om vissa konventionella vapen – *Convention on Certain Conventional Weapons*, CCW – har frågan om autonoma vapen diskuterats vid flera tillfällen. Huruvida detta så småningom leder fram till förslag på begränsningar eller regleringar är ännu oklart.

⁵⁹ Etiska riktlinjer för tillförlitlig AI, <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/d3988569-0434-11ea-8c1f-01aa75ed71a1/language-sv/format-PDF>. (Besökt 2021-02-27)

Det finns dock redan i befintliga folkrättsavtal text om att nya vapentechniker ska utvärderas utifrån folkrättens regler (I. Genèveprotokollet, artikel 36),

Vid studium, utveckling, anskaffning eller val av ett nytt vapen eller stridsmedel eller en ny stridsmetod är en hög fördragsslutande part skyldig att avgöra huruvida dess användning under vissa eller alla omständigheter skulle vara förbjuden enligt detta protokoll eller någon annan av folkrättens regler, tillämpliga på denna höga fördragsslutande part.⁶⁰

Det har publicerats flera rapporter som tar upp de potentiella etiska och rättsliga aspekterna om meningsfull mänsklig kontroll inte kan upprätthållas.⁶¹ *Human Rights Watch* menar att fullt autonoma vapen skulle ha en negativ inverkan på skyddet av civila i krig. De går igenom exempel på system som redan idag i någon mening kan agera automatiskt.⁶² Exempel är här till exempel system som detekterar en inkommande missil eller stridsdel och sedan bekämpar denna. Teknikutvecklingen kommer att möjliggöra allt mer kvalificerade system med allt högre grad av autonomi. Slutsatsen de drar är att fullt autonoma vapensystem borde förbjudas.

I sin argumentation tar man sitt avstamp i ovan nämnda artikel 36 ur det första tilläggsprotokollet till Genèvekonventionerna, men hänvisar också till de, inom den humanitära rätten, grundläggande principerna om distinktion, proportionalitet och försiktighet. Med distinktion menas här att alla krigförande parter måste skilja mellan kombattanter och civilbefolkning och att anfall endast får riktas mot militära mål. Med proportionalitet menas att den militära betydelsen av ett anfall måste stå i proportion till de risker som civilbefolkningen och civil egendom utsätts för. Försiktighetsprincipen uttrycker att allt som är möjligt skall göras för att kontrollera att anfall endast riktas mot militära mål.

⁶⁰ Krigets lagar, SOU 2010:22, <https://www.regeringen.se/49bb46/contentassets/7db8b68842114a88a0b4f46de5f579df/krigets-lagar-sou-201022-del-2>. (Besökt 2021-02-27)

⁶¹ Se till exempel

- Human Rights Watch, *Losing Humanity – The Case against Killer Robots*, 2012, <https://www.hrw.org/report/2012/11/19/losing-humanity/case-against-killer-robots>. (Besökt 2021-02-27)
- Human Rights Watch, *Mind the Gap – The Lack of Accountability for Killer Robots*, 2015, https://www.hrw.org/sites/default/files/reports/arms0415_ForUpload_0.pdf. (Besökt 2021-02-27)
- Sparrow, R., *Robots and Respect: Assessing the Case against Autonomous Weapon Systems*, *Ethics & International Affairs*, Volume 30, Issue 1, Spring 2016, pp. 93-116 <https://www.cambridge.org/core/journals/ethics-and-international-affairs/article/robots-and-respect-assessing-the-case-against-autonomous-weapon-systems/D3FBB27E12F68AAF399EAE966A4EC827>. (Besökt 2021-02-27)

⁶² Human Rights Watch, *Losing Humanity – The Case against Killer Robots*, 2012, <https://www.hrw.org/report/2012/11/19/losing-humanity/case-against-killer-robots>. (Besökt 2021-02-27)

Human Rights Watch hänvisar därtill till Martensklausulen, vilken stipulerar att stater, även i situationer när det inte finns några direkta folkrättsliga regler, likväl skall beakta humanitetens krav.

Redan dagens obemannade system bedöms här innebära en fysisk och känslomässig distans till slagfältet, vilket kan göra det enklare att döda. Istället för att vara närvarande på slagfältet sitter operatörer framför sina skärmar. Man pekar också på problemen med att utkräva ansvar för brott mot folkrätten. Vem bär skulden – det autonoma vapnet, befälhavaren, tillverkaren eller den som programmerat det? Detta område diskuteras ytterligare i en uppföljande rapport.⁶³ Det finns dock också forskning som visar på att belastningen på piloter som dödar med autonoma system är i stort jämförbar (enligt vissa studier något mindre) än för piloter i bemannade flygplan och generellt lägre än för markförband som verkat inom samma område.⁶⁴

I *US DoD Directive 3000.09* från 2012 om autonoma vapensystem anges följande policy:

Autonomous and semi-autonomous weapon systems shall be designed to allow commanders and operators to exercise appropriate levels of human judgment over the use of force.⁶⁵

Även om det finns vissa specifika situationer där den mänskliga kontrollen kan släppas, till exempel vid självförsvar eller där målet för insatsen inte är en människa, är grundregeln att den mänskliga kontrollen ska upprätthållas.

Det amerikanska försvarsdepartementet har infört ett antal etiska principer för utveckling av artificiell intelligens.⁶⁶

Den teknikutveckling vi ser nu, med bland annat AI, autonomi och förstärkning av den mänskliga prestationsförmågan på olika sätt kan i sin

⁶³ Human Rights Watch, *Mind the Gap – The Lack of Accountability for Killer Robots*, 2015, https://www.hrw.org/sites/default/files/reports/arms0415_ForUpload_0.pdf. (Besökt 2021-02-27)

⁶⁴ Bergman, D., *Om stridens psykologi – Del 8: Autonoma vapensystem: Drönare, distribuerat dödande & obehagens dal*, 26 november 2019, Kungliga Krigsvetenskapsakademien, <https://kkrva.se/om-stridens-psykologi-del-8-autonoma-vapensystem-dronare-distribuerat-dodande-obe-hagens-dal/>. (Besökt 2021-02-27)

⁶⁵ Department of Defense Directive number 3000.09, *Autonomy in weapon systems*, 21 november 2012, inkluderande förändring nr 1, 8 maj 2017, <https://www.esd.whs.mil/Portals/54/Documents/DD/issuances/dodd/300009p.pdf>. (Besökt 2021-02-27)

⁶⁶ DoD Adopts Ethical Principles for Artificial Intelligence, U.S. Department of Defense, 24 februari 2020, <https://www.defense.gov/Newsroom/Releases/Release/Article/2091996/dod-adopts-ethical-principles-for-artificial-intelligence/>. Ledorden är responsible, equitable, traceable, reliable och governable. (Besökt 2021-02-27)

ytterlighet te sig skrämmande. I boken *Future war* skriver Robert H. Latiff i den avslutande sammanfattningen att:

If we delay much longer in debating and proscribing the use of radically new weapons, however, we may find there is no turning back once these systems get out of control. We're not talking about fantasy and science fiction here. We're talking about real problems generated by flawed or indecipherable software in billions of devices, of long-distance weapons that make violence too easy, of soldiers bred for combat, and of possibly unknown and uncontrollable pathogens. An arms race using all of the advanced technologies I've described will not be like anything we've seen, and the ethical implications are frightening.⁶⁷

En viktig poäng i detta citat är att det är viktigt att inte vänta för länge, att det är lättare att styra utvecklingen genom att vara proaktiv än genom att försöka påföra regleringar i efterhand. Som vi såg ovan i *US DoD Directive 3000.09* finns det underlag att bygga på i fallet autonoma vapensystem.

5.4 Framtidens materielförsörjning

Vid Natos OA-konferens hösten 2019 sa konteramiral Jeffery Zwick (*Chief of Force Development for the Canadian Armed Forces*), att

We cannot do procurement the old way⁶⁸

Han hänvisade här till den långa tid det tar att utveckla till exempel ett fartyg och hur länge det sedan förväntas stanna i organisationen. Zwick menade också att den snabba teknikutvecklingen gör det svårt att bestämma på vad och när man ska satsa för att det ska bli rätt. Det blir här viktigt att ha en bra och långsiktig relation till försvarsindustrin, menade han. Ett annat exempel på hur lång tid det kan ta från utvecklingens start till avveckling av ett system togs upp i avsnitt 5.1 ovan, nämligen den potentiella tiden mellan startad utveckling och utfasning ur organisationen för JAS Gripen.

Så hur påverkas försvarets materielförsörjningsprocess av en snabb teknikutveckling? Vad blir det nya materielparadigmet? Kommer modularitet att få en ökad betydelse i en tid där uppdateringar av såväl mjuk- som hårdvara

⁶⁷ Latiff, R. H., *Future war: Preparing for the new global battlefield*, Vintage books, 2018.

⁶⁸ Kindvall, G., 13th Annual Operations Research & Analysis Conference, FOI Memo 6894, 2019-11-14.

måste ske allt oftare för att inte systemen snabbt och oåterkalleligt ska bli omoderna?⁶⁹

Det finns utmaningar både avseende systems livslängd och avseende själva utvecklings- och anskaffningsprocessen. Vad gäller den förra är successiva, och frekventa, uppdateringar av mjuk- och hårdvara och möjlighet att byta ut delar (modularitet) över livslängden sannolikt nödvändiga delar. Vad gäller den senare är utmaningarna kanske än större då förutsättningarna kan ändras dramatiskt under utvecklingsprocessen och tvinga fram nya ställningstaganden och lösningar för att inte det som produceras skall vara omodernt redan när det levereras. Vi måste antagligen tänka anskaffning på ett nytt och snabbare sätt, med än mer användning av civil teknik. Om nu ens detta räcker för att hänga med.⁷⁰ Dessutom kan teknikutvecklingen utgöra en utmaning för förutsättningarna att nå interoperabilitet mellan stater. Detta torde dock kräva en egen utredning.

En konsekvens av att framtida militära system kommer att bli allt mer beroende av mjukvara är att risken för att bli utsatt för olika former av virus- och cyberangrepp kommer att öka. Detta gäller kanske speciellt i konstruktionsfasen och vid uppdateringar av mjukvara. Det kommer förmodligen att innebära att man blir mer angelägen att få kontroll över utvecklingen av programvaran. Kanske det till och med tvingar fram mer nationella lösningar och att internationella samarbeten gällande försvarsprodukter bara kommer att ske inom den ”närmaste kretsen”, det vill säga där man har god kontroll över utvecklingsprocessen.

Många viktiga teknikområden, som energi, material, autonomi, AI med flera, kommer att i stor utsträckning drivas av den kommersiella sektorn och av den civila forskningen.

En intressant fråga är om militära organisationer i framtiden i tillräcklig grad kommer att kunna konkurrera med kommersiella aktörer om de skarpaste hjärnorna inom naturvetenskap och teknik?⁷¹ Och om man inte kan det, kommer det att innebära en nedgång i militärspecifik forskning? Och

⁶⁹ Modularitet har diskuterats tidigare. Se t.ex. “Insatsmoduler – ett förslag till marin tillämpning”, SwAF KK J Lund, SSS bet 21 120:80774. Gabriella Nilsson från FOI gav också en presentation med titeln *Is a modular structure the most flexible?* vid *2nd Nordic Military Operational Analysis Symposium*, 17-18 november 2008, Stockholm. Presentationen hade sin utgångspunkt i arbete i två marina studier under 2007 och 2008 – SJÖ070701S respektive SJÖ080801S.

⁷⁰ Se till exempel 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 2021-02-27).

⁷¹ Cummings, M.L., *Artificial Intelligence and the Future of Warfare*, Chatham House, International Security Department and US and the Americas Programme, januari 2017, <https://www.chathamhouse.org/sites/default/files/publications/research/2017-01-26-artificial-intelligence-future-warfare-cummings-final.pdf>. (Besökt 2021-02-27)

vad innebär det för möjligheterna till kvalitetskontroll och testning av avancerad teknologi? Om denna utveckling blir en realitet försvåras kompetensförsörjning både avseende forskning och utveckling inom försvarssektorn. Detta torde leda till ett än större beroende av civil teknik alternativt att man får lita till teknik som utvecklingsmässigt ligger en eller flera generationer efter den civila.

En annan fråga är hur relationen (maktbalansen) blir mellan stater och de dominerande storföretagen i framtiden? Det förekommer redan idag situationer där stora företag prioriterar ner (eller bort) militär användning av deras teknik. Google bestämde sig till exempel för att inte förnya avtalet med det amerikanska försvaret avseende det så kallade *Project Maven*, där maskininlärning utnyttjas för att kunna tolka bilder från drönare.⁷² Skälet uppgavs vara att personalen protesterat och många hotat att sluta om projektet fortgick. Anställda på Microsoft ska också ha protesterat mot ett kontrakt till USA:s armé på ett headset som använder förstärkt verklighet (*HoloLens*) i avsikt att öka effekten av förbanden på stridsfältet.⁷³

Det är viktigt att identifiera de teknikområden som är särskilt prioriterade, till exempel genom att de ställer sådana tekniska krav i försvarstillämpningar att de inte kan teknologiförsörjas med civil teknik, att det saknas drivkrafter för utveckling utanför försvars- och säkerhetsområdena eller att de är av särskild nationell betydelse och omfattas av hög sekretess. Inom sådana områden kan staten komma att behöva vara drivande för forskning och utveckling och därmed också behöva ta de kostnader detta innebär. Det kan komma att behövas riktade forsknings- och utvecklingsansatser för att hålla liv i den försvarsindustriella basen.

Ett sätt att förbättra situationen är att samla den nationella förmågan, det vill säga att utnyttja nationell kompetens som finns inom myndigheter, industri och universitet och högskolor för att försöka upprätthålla kompetens inom nationellt viktiga teknikområden. I kapitel 6 diskuteras förslag på hur försvarssektorns aktörer kan agera för att på ett så bra sätt som möjligt säkra kompetensbehovet för utveckling av framtida försvarsförmåga.

Ett ökat militärt behov av civil teknik går också hand i hand med en ökad infrastrukturell sammankoppling och att totalförsvaret i stor utsträckning måste förlita sig på privata aktörer för information och kommunikation,

⁷² Amazon, Microsoft, 'putting world at risk of killer AI': study, International Business Times, augusti 2019, <https://www.ibtimes.com/amazon-microsoft-putting-world-risk-killer-ai-study-2816391>. (Besökt 2021-02-27)

⁷³ 'We won't be war profiteers': Microsoft workers protest \$480m army contract, The Guardian, 22 februari 2019, <https://www.theguardian.com/technology/2019/feb/22/microsoft-protest-us-army-augmented-reality-headsets>. (Besökt 2021-02-27)

energigenerering och -distribution, infrastruktur för olja och gas, transporter, vatten med mera. Här blir det viktigt att utreda vilka sårbarheter detta leder till och hur dessa kan hanteras.

För att militära operationer ska kunna genomföras med andra förutsätts interoperabilitet. Detta kan gälla såväl mellan olika militära system och förband som mellan militära och civila organisationer. Interoperabilitet omfattar bland annat tekniska system, data/informationsmodeller, organisation, arbetsmetod, människor, regler och kultur. Detta är något som behöver tas hänsyn till tidigt till exempel i utvecklingen av ledningssystem.

5.5 Kvantitet eller kvalitet

En vision av det framtida kriget är horder av enkla (kommersiella) drönare som agerar samordnat i stora svärmar. Med detta skulle vi avlägsna oss från den klassiska utvecklingen där militär materiel blir allt dyrare för varje generation. I en klassisk jämförelse 1984 hävdade till exempel Norman Ralph Augustine att USA med kostnadsutvecklingen inom flygområdet år 2054 bara skulle ha råd med ett enda flygplan.⁷⁴

Men är det så? Svärmförespråkare hävdar att det blir orimligt dyrt att använda dyra bekämpningssystem som luftvärnsrobotar för att skjuta ner små och billiga drönare, det vill säga att de kvalificerade vapensystem som utvecklade stater investerar i inte skulle vara kostnadseffektiva om de ställs mot enkla vapensystem i stort antal. De mer skeptiska lyfter fram att enkla drönare, och andra enkla och billiga system, är sårbara för relativt enkla vapen som eldrörsartilleri, som här skulle kunna få en ny roll, och att drönare som vill överleva behöver anpassas till den militära hotmiljön.⁷⁵ Detta innebär då att de inte är billiga längre och att svärmarna i bästa fall blir mindre och i sämsta fall inte blir några svärmar alls. Teknikutvecklingen kan således ge upphov till en kvalitets- och kvantitetsdiskussion som rör både andelen nytt och gammalt (militär kvalitet och kvantitet) men även kvalitet och kvantitet i relation till den civila teknikutvecklingen och hur denna omhändertas för militära ändamål.

I en studie i Natos forskningsorganisation (NATO STO) som nyligen rapporterats har ett ramverk för att jämföra kostnader för autonoma och

⁷⁴ Augustines 16:e lag lyder "In the year 2054, the entire defense budget will purchase just one aircraft. This aircraft will have to be shared by the Air Force and Navy 3-1/2 days each per week except for leap year, when it will be made available to the Marines for the extra day", https://en.wikipedia.org/wiki/Augustine%27s_laws#Law_16. (Besökt 2021-02-27)

⁷⁵ Shmuel, S., The coming swarm might be dead on arrival, War on the rocks, 10 september 2018, <https://warontherocks.com/2018/09/the-coming-swarm-might-be-dead-on-arrival/>. (Besökt 2021-02-27)

traditionella lösningar tagits fram.⁷⁶ Ännu finns för lite data för att bedöma om och hur autonoma lösningar kan bli kostnadseffektiva.

Commercial-off-the-shelf (COTS) har länge setts som en realistisk framtid för allt mer av den materiel som försvaret behöver. Med de möjliga framtidsvisioner som beskrivits tidigare i denna rapport – att försvarssektorn kan få allt svårare att värva teknisk spetskompetens och att stora globala företag kan välja bort försvarskunder – skulle beroendet av civila produkter å ena sidan bli större och å andra sidan kanske inte ge försvaret tillgång till de bästa kommersiella produkterna.

Men – och det är nästintill ett ovedersägligt faktum – militära produkter har särskilda behov. De måste kunna fungera i många olika miljöer, vara pålitliga utöver de krav som normalt kan ställas på civila produkter och (helst) kunna motstå olika sorters motverkan.

Så hur skall vi lösa detta dilemma? Sannolikt kommer inslaget av civila produkter i militär materiel att behöva bli större, men behovet av flexibilitet och att lätt kunna byta och uppdatera moduler i dessa system kommer sannolikt också att bli allt viktigare. Och det kommer alltid (eller åtminstone under så lång tid framåt som vi vågar sia om) att finnas områden inom vilka det behöver finnas militär specialkompetens och förmåga att ta fram specifika lösningar för militära behov. Det kan gälla vissa plattformssystem som ubåtar men det kan i ännu högre grad gälla områden som CBRN⁷⁷, tele- och cyberkrigföring. Med andra ord behöver det fortsatt finnas kompetens inom områden med höga sekretesskrav.

Precis som vad gäller hela materielförsörjningsprocessen kommer detta att bli en utmaning och kanske kommer stater att behöva samverka med utvalda partners i högre utsträckning än vad man gör idag. Och mycket av den framtida försvarsmaterielen kommer med stor sannolikhet att fortsätta att vara dyr. Att ha det bästa i tillräcklig mängd kanske blir förunnat stormakterna, och då framförallt USA och Kina.

5.6 Medels-/motmedelsduellen

Vi kommer nog inte att, inom den närmaste framtiden, se en vinnare av medels-/motmedelsduellen. Genomskeinligt hav ("transparent ocean") och andra koncept som implicerar att medlen – sensorerna – kommer att göra att allt blir synligt på det framtida stridsfältet, kommer sannolikt att mötas

⁷⁶ Understanding the cost-related implications of autonomy – A system of systems perspective, NATO AC/323(SAS-146)TP/977, december 2020. Detta är slutrapporten från Natogruppen SAS-146 som genomförts inom System Analysis and Studies Panel (SAS-panelen) inom Natos forskningsorganisation STO (Science and Technology Organization).

⁷⁷ CBRN står för kemisk, biologisk, radiologisk och nukleär.

av motåtgärder för att störa/påverka sensorerna och/eller dölja plattformar och andra system.

En del i denna ständiga sensortäckning är rymdbaserade sensorer. Även om dessa förväntas öka kraftigt fram till 2050 är det inte sannolikt att en motståndare kan använda rymdbaserade sensorer för att se allt hela tiden, ens om dessa sensorer inte utsätts för störning eller bekämpning. Användning av så kallade pseudosatelliter, som kan operera på cirka 20 kilometers höjd och vara uppe i flera veckor, kan dock öka förutsättningarna för att upprätthålla konstant övervakning över ett operationsområde. Dessa pseudosatelliter skulle i framtiden kunna komplettera befintliga fasta radarstationer som idag oftast är inmätta och mycket sårbara för precisionsvapen. Möjligen kan pseudosatelliter på längre sikt helt ersätta radar som luftläggsensor.

Nya material kommer att möjliggöra ett allt effektivare kamouflage, som kan möta allt mer kvalificerade multispektrala sensorsystem. Smygteknik bygger på att man försöker undgå upptäckt genom att kombinera olika former av design med absorberande material. Dessutom försöker man begränsa all form av egen emitterande strålning. En viktig fråga i det sammanhanget är om den framtida sensorutvecklingen kan minska eller till och med eliminera fördelarna med smygtekniken. Det finns inget entydigt svar på denna fråga men en hel del faktorer tyder på att så är fallet. Det finns ett antal områden där smygtekniken har brister och dessa kan användas för att öka chanserna till upptäckt av dessa. Ett sensornätverk med flera geografiskt åtskilda sensorer kan kraftigt förbättra möjligheterna till upptäckt eftersom smygfarkosterna är optimerade för låga signaturer bara i vissa riktningar. Vid låga frekvenser (100-tal MHz) hos spaningssystemen tappas smygfarkoster det mesta av sin smygförmåga.

Även om det i framtiden förmodligen kommer att finnas större möjligheter till upptäckt av smygfarkoster så betyder det inte att alla problem är lösta. Smygfarkosterna upptäcks trots allt sent och det behövs en snabb beslutskedja från upptäckt till verkan i målet. Om man bara upptäcker smygfarkoster men inte kan bekämpa dessa är ju inte mycket vunnet. Dessutom får telekrigsinsatser bättre effekt om farkosterna har en mycket låg signatur.

Om det i framtiden visar sig att sensorutvecklingen får ett försprång relativt smygtekniken kommer det att inte bara kraftigt förändra stridsflygutvecklingen utan även stormakternas möjlighet till luftherravälde.

Vapensystem med högre hastighet, till exempel hypersoniska missiler, innebär att tiden för att upptäcka och bekämpa vapensystemen blir mycket kortare än för dagens system. Därigenom minskar också möjligheten att hinna bekämpa hotet, om vi inte utnyttjar AI-teknikens möjligheter fullt ut

och automatiserar motverkan. Men då tvingas vi ta människan ut ur beslutskedjan, vilket väcker frågor av etisk och moralisk natur.

Även andra system baserade på de möjligheter som teknikutvecklingen kan ge kommer att utsättas för motmedel. Till exempel kan enkla drönare skjutas ner med relativt okvalificerat eldrörsartilleri, effekten av laservapen minskas om målen kan fås att rotera så att laserstrålens effekt sprids ut över en större yta, effekten av mikrovågsvapen minskas genom skärmning av fler system med mera. Samtidigt driver detta upp kostnaderna.

Sammantaget bedöms att medels-/motmedelsduellen för militära system kommer att fortsätta och att teknikutvecklingen kommer att bidra till utvecklingen av såväl medel som motmedel. Vilken sida som har försteg kommer med stor sannolikhet att fortsätta att variera.

5.7 Framtidens plattformar

Är de idag förekommande traditionella bemannade plattformarna – till exempel stridsflygplan, korvetter och stridsvagnar – framtidssäkra? Det är en fråga som kommer att behöva diskuteras i samband med analyser av de möjligheter som teknikutvecklingen ger.

Framtidens plattformar kan vara bemannade, obemannade eller fullt autonoma. Nya material, nya metoder för energigenerering och -lagring, små samverkande sensorer som kombinerar olika frekvensområden med mera, gör att framtidens plattformar kan ha ett utseende och en funktionalitet som skiljer sig markant från dagens.

I ett obemannat eller autonomt markstridsfordon behöver till exempel inte besättningen skyddas och då kan fordonet både göras mindre och lättare, vilket kan förbättra rörligheten avsevärt. En obemannad eller autonom farkost i luften eller till sjöss behöver inte begränsas av de krafter en människa kan utstå och kan därför framföras i farter och rörelsemönster som inte är möjliga för en bemannad farkost.

Vi har också möjligheten att kombinera bemannade och obemannade farkoster, till exempel som konceptet ”loyal wingman” där ett bemannat flygplan styr ett antal obemannade plattformar som kan användas både för spaning och för vapenleverans. Liknande koncept är även möjliga att införa på mark- och sjöarenorna. System som både kan vara bemannade och obemannade, så kallade ”optionally manned”, är också en möjlighet. Ett införande av sådana system kommer att ställa nya krav på ledningssystemet.

Amerikanska DARPA studerar i sitt program LongShot drönare som kan användas för att avfyra jaktstridsvapen och möjliggöra för bemannade flygplan att befinna sig långt från motståndarens luftplattformar.⁷⁸

Vissa funktioner, som logistik, kan i framtiden sannolikt i ganska hög grad lösas genom obemannade, semi-autonoma och autonoma plattformar. Sådana tankar lyfts också bland annat i koncept som det brittiska ”the last mile”, vilket syftar till att med obemannade/autonoma plattformar hantera delar av den främre logistiken.

Fåtalighetsproblematiken lyfts ofta för de mest kvalificerade plattformarna som ytstridsfartyg och ubåtar. Finns det en gräns där kvantitet är en kvalitet i sig och några få högkvalificerade plattformar är ett betydligt sämre alternativ än ett större antal mindre kvalificerade sådana?

Samtidigt kan just ubåten genom att vara kvalificerad och kunna vistas i undervattensläge länge – om vi antar att havet inte heller 2050 är genomskinligt för sensorer – utgöra en viktig komponent i en avskräckande förmåga. Undervattensdomänen kanske är ”the final frontier” för stora och kvalificerade bemannade plattformar?

En väg framåt för att analysera de idag traditionella plattformarnas framtid kan vara att utmana alla plattformar och titta på alternativa sätt att leverera de förmågor de idag levererar, och även bedöma om alla dessa förmågor verkligen behövs i en framtid där både världen och våra potentiella motståndare kommer att se ut och agera på andra sätt än idag.

5.8 Människans roll i försvar och samhälle

Med den så kallade fjärde industriella revolutionen kommer digitalisering och robotar på bred front in i industrisektorn.⁷⁹ Detta ändrar förutsättningarna, bland annat genom att produktionen kan gå snabbare och med mindre insats av mänsklig personal.

Som nämnts redan har det gjorts flera försök att bedöma vad digitalisering och automatisering i samhället har för konsekvenser för hur mycket mänsklig arbetskraft som behövs – och för konceptet arbete som sådant. Vissa hävdar att hälften av dagens arbeten är försvunna om cirka 20 år och att

⁷⁸ Osborn, K., What might DARPA’s longshot fighter drone be armed with?, The National Interest, 14 februari 2021, <https://nationalinterest.org/blog/buzz/what-might-darpa%E2%80%99s-longshot-fighter-drone-be-armed-178113>. (Besökt 2021-03-04)

⁷⁹ Schwab, Klaus, (2016), The Fourth Industrial Revolution, World Economic Forum.

takten i införandet av nya arbeten inte kan matcha detta, andra att artificiell intelligens redan inom några år kommer att skapa ”nettoarbeten”.⁸⁰

I MetaScan 3 från Policy Horizons Canada från 2013 skriver man att teknikutvecklingen kommer att befria människor från rutinjobb, öka säkerheten för arbetskraften, höja produktiviteten, förändra utvecklingsprocesser, innebära att allt fler arbetar på uppdrags- eller deltidbasis, att fler kommer att arbeta virtuellt (från var som helst i världen) och möjliggöra nya organisationsstrukturer (till exempel en liten kärna som lägger ut jobb på andra).⁸¹ Man ser här utmaningar vad gäller sociala frågor, behov av förändringar vad gäller infrastruktur, institutioner och policy samt hur detta skall hanteras av staten (regleringar med mera).

Blir förändringarna så påtagliga som det ibland hävdas kommer detta också att påverka försvarsföretag och försvarsorganisationer. Vilka behov som teknikutvecklingen kan ställa på den framtida personalförsörjningen studeras i forskningsprojektet Teknikutvecklingens påverkan på långsiktig personalförsörjning 2018-2020.⁸² Samma krafter i form av digitalisering och automatisering som finns inom den civila sektorn kommer att slå igenom också inom den militära sektorn och innebära att rutinmässiga uppdrag inte behöver hanteras av människor. Dessutom kan beslut behövas så snabbt i vissa sammanhang (till exempel om en hypersonisk robot kommer mot dig) att en människa inte har någon möjlighet att ta beslutet i tid utan kan komma att tvingas lämna över detta till en ”automatiserad beslutsfattare” för att kunna överleva.

Vi kommer också att se helt nya möjligheter att utveckla soldatsystemet. Förstärkning eller optimering av den mänskliga prestationsförmågan (så

⁸⁰ Vartannat jobb automatiseras inom 20 år, Stiftelsen för strategisk forskning, 2014. Denna studie, som hävdar att 53% av dagens anställda i Sverige kan komma att ersättas av digital teknik inom 20 år, bygger till stor del på en studie vid Oxford University som analyserar den amerikanska arbetsmarknaden i samma tidsperspektiv och kommer till slutsatsen att 47% av de anställda i USA kommer att ersättas av digital teknik (Frey, C.B. och Osborne, M.A., *The Future of Employment: How Susceptible are Jobs to Computerisation?*, 17 september 2013, University of Oxford). Studierna listar effekterna yrke för yrke. En annan bedömning är att en tredjedel av de amerikanska männen mellan 25 och 54 års ålder kommer att sakna sysselsättning vid mitten av seklet, se Allen, G. och Kania, E. B., *Foreign Policy*, 2017-09-08, <https://foreignpolicy.com/2017/09/08/china-is-using-americas-own-plan-to-dominate-the-future-of-artificial-intelligence/>. (Besökt 2021-02-26). Andra analyser har dock hävdat att antalet jobb som försvinner är betydligt mindre eller att det till och med skapas fler jobb än vad som försvinner. Analysföretaget Gartner menar till exempel att AI från och med 2020 skapar fler jobb än vad som försvinner och att det till 2025 ger ett plusnetto på 2 miljoner jobb.

⁸¹ Meta-scan 3 – Emerging technologies, 2013, Policy Horizons Canada, https://horizons.gc.ca/wp-content/uploads/2018/12/pdf_version_0239_6698kb-45pages.pdf, (Besökt 2021-02-27)

⁸² Johansson, M., *Teknikutvecklingens påverkan på militär personalförsörjning*, FOI-R--5089--SE, februari 2021.

kallad ”human performance enhancement”, HPE, respektive ”human performance optimisation”, HPO) blir möjlig både genom fysiska insatser (exoskelett med mera) och genetiska modifieringar. Sensorer som kan känna av soldatens allmäntillstånd och avgöra när vila är nödvändig kan inkluderas i uniformer som i sig kan vara av nya textilier med egenskaper som att vara lätta, starka och vädertåliga. Soldaten blir också ständigt uppkopplad med tillgång till mängder av sensordata som hanteras av portabla beslutsstödsystem och visualiseras genom förstärkt verklighet. Systemen kan energiförsörjas med nya lätta batterier som laddas av solceller. Soldaten kan även ha en robot som har med sig utrustning.

Vid *The Mad Scientist Conference* i mars 2018 diskuterades ämnet ”Bio Convergence and Soldier 2050” under två dagar. Bland sådant som lyftes fram i rapporteringen från konferensen är bland annat att syntetisk biologi kan förstärka soldatens prestationsförmåga men också kan innebära nya faror, att särskilt designade virus och sjukdomar kan vara ett nytt hot som blir svårhanterbart för sjukvårdsfunktionen, att den kommersiella sidans dominans inom forskningen ställer krav på ”agile prototyping and experimentation” i försvarssektorn inom viktiga nischer, att nya icke-statliga aktörer kan erbjudas nya möjligheter och att utvecklingen inom området kommer att ge upphov till många etiska och legala utmaningar.⁸³

Var gränsen går är svårt att säga. Följande framtidsskildring finns i en av de noveller som skrivits inom de scifi-novelltävlingar som utlysts av det amerikanska Mad Scientist Laboratory:

United Russia was on the march again after its successes in Georgia in 2035, Ukraine in 2038, and Moldova in 2040. It appeared that Turkey was next after a recent coordinated attack in Ankara using a combination of sleeper agents, its Patriotic Cyberfront (FKP), and Oboroten.... Moldova was the first time he had faced Obos in combat and he found them to be simply amazing in every regard. Genetically modified humans created to provide superhuman performance in strength, pain threshold, dexterity, and reaction time – the Obos were fearsome. He watched one kill four Moldovan bodyguards with his bare hands and soak up gunshots like mosquito bites....although the U.S. refused to conduct similar experiments, they did provide him with an impressive array of biosystems giving him a technological edge that put him close to par with these freaks....the nanochip he had surgically implanted enabled a neuro-user interface (NUI) that provided him with thought

⁸³ Slutrapporten från konferensen Bio Convergence and Soldier 2050 publicerades den 16 juli 2018 och finns tillgänglig på <https://community.apan.org/wg/tradoc-g2/mad-scientist/m/bio-convergence-and-the-changing-character-of-war/237556>. (Besökt 2021-02-27)

messaging, targeting data, threat indicators, intelligence feeds and reachback capability – all simply by thinking about it. The NUI also enabled a retinal up display, or RUD, which provided all of the NUI feeds...⁸⁴

Många militära beslut – till exempel om vapeninsatser – handlar påtagligt om liv och död. Detta väcker den fråga som togs upp i avsnitt 5.3 rörande bland annat autonoma system. Om vi ser ett behov av att upprätthålla ”meningsfull mänsklig kontroll” måste vi kanske inskränka fullt automatiska beslut om insatser till situationer där till exempel plattform står mot plattform och den ena avlossat ett vapen medan den andra då automatiskt svarar med en motmedelsinsats.

Även om vi har mänsklig kontroll, det vill säga inte fullt beslutsmässiga autonoma system, kommer människan allt oftare att vara utanför systemet. En människa behöver inte sitta i fordonet och sköta framdrivning och vapen om det kan göras lika bra på säker distans och fordonet då kan göras mindre, lättare och rörligare.

5.9 Massförstörelsevapen

Ingenting tyder på att hotet från massförstörelsevapen kommer att försvinna i framtiden. Det finns inga tecken på att kärnvapen kommer att försvinna och det finns dessutom uppenbara risker att fler stater kan bli kärnvapenstater. Dessutom kan teknikutvecklingen innebära nya möjligheter att leverera kärnvapen – till exempel med hypersoniska missiler eller från autonoma undervattensfarkoster.⁸⁵

Ingenting tyder heller på att hotet från biologiska och kemiska stridsmedel kommer att minska. Istället kan bioteknologin potentiellt ge upphov till många skrämmande tillämpningar för den skrupelfria användaren – till exempel genetiska vapen.

Kombinationer av cyber- och telekrigföringsförmåga skulle också kunna vara ett massförstörelsevapen mot det kvalificerade samhället genom att kunna störa och/eller förstöra informations- och kommunikationssystem och därigenom stänga ner många samhällsfunktioner – med oöverblickbara konsekvenser. Vi talar i detta fall om vad som ibland kallas för ”weapons

⁸⁴ Science Fiction: Visioning the Future of Warfare 2030-2050, juli 2017, <https://www.armyupress.army.mil/Portals/7/Future-Warfare-Writing-Program/Documents/Compendium.pdf>. (Besökt 2021-02-27). Detta är en antologi med ett antal utvalda science fiction-noveller om potentiell karaktär hos framtida krigföring. Novelltävlingen var organiserad av US Army TRADOC (Training and Doctrine Command) Mad Scientist Initiative. Citatet är ur novellen The Turkish Emergency of 2042: Of werewolves, horseflies and armadillos, skriven av Jeff J. Tlapa. TRADOC har organiserat flera sådana novelltävlingar.

⁸⁵ Kindvall, G. och Lindberg, A. (red), Militärteknik 2045 – Ett underlag till Försvarsmaktens perspektivstudie, FOI-R--4985--SE, november 2020.

of mass disruption”. Vi har ju också sett exempel på hur ett samhälle kan påverkas på detta sätt under den ryska insatsen i Ukraina. För den som vill slå på bredden mot ett samhälle kommer teknikutvecklingen sannolikt att erbjuda nya verktyg att lägga till de redan existerande.

5.9 Nya konfliktarenor

Redan idag är det uppenbart att krig inte bara handlar om aktiviteter i de klassiska domänerna mark, sjö och luft. Både cyberdomänen och rymddomänen är redan påtagligt etablerade när vi analyserar hur framtidens konflikter kan komma att utkämpas och betydelsen av dem kommer att bli allt större. Ibland har det talats om en sjätte domän – den mänskliga hjärnan eller den kognitiva domänen – och att det ytterst handlar om att påverka den mänskliga viljan genom denna.

Kanske kan man i framtiden tänka sig konflikter som utkämpas helt i cyberdomänen eller kanske till och med i den virtuella världen som ett datorspel? Fast fortfarande med det yttersta syftet att påtvinga någon annan sin vilja.⁸⁶ Och vad kommer det i så fall att innebära för det framtida försvaret? Behöver det då ens ha fysiska resurser? Eller kommer mångfalden av hot att kräva förmåga av väldigt varierande art i alla domäner för att möta mångfalden av antagonister? Som kan vara av mycket olika typ och använda helt olika teknikgenerationer för att uppnå sina syften.

5.11 Framtidens operationsmiljö

Inom ramen för detta uppdrag har ett FOI Memo skrivits som diskuterar den potentiella framtida operationsmiljön.⁸⁷ Som utgångspunkt för denna analys används ett antal utvalda dokument som beskriver globala strategiska trender i ett längre tidsperspektiv.⁸⁸ Dessa kan ses som ett ramverk

⁸⁶ Banach, S. J., Virtual war – A revolution in human affairs, Small wars journal, februari 2018, <http://smallwarsjournal.com/jrnl/art/virtual-war-revolution-human-affairs>. (Besökt 2021-02-27). Virtual war beskrivs här som “a global systems approach to achieve social control”. De medel som kan användas är offensiv och defensiv cyberförmåga, sociala medier, informationsoperationer, artificiell intelligens, smygteknik och annan döljande teknik (cloaking techniques). Det yttersta syftet är att kontrollera och påverka viljan hos personer, grupper eller hela befolkningen och uppnå egna ideologiska syften.

⁸⁷ Kindvall, G., Hur kan den framtida operationsmiljön se ut?, FOI Memo 6844, 2019-09-23.

⁸⁸ Två av dessa är:

- Global Strategic Trends 6 (GST 6) från brittiska Development, Concept and Doctrine Centre (DCDC), <https://www.gov.uk/government/publications/global-strategic-trends>. (Besökt 2021-02-27). Dokumentet har tidsperspektivet 2050, precis som denna studie, och flera svenska officerare deltar i arbetet på plats i Storbritannien. Det gavs ut i oktober 2018.
- Strategic Foresight Analysis (SFA), Nato, oktober 2017, <http://www.act.nato.int/futures-work>. (Besökt 2021-02-27)

för det centrala i memot, att diskutera hur den framtida operationsmiljön kan te sig.⁸⁹

Memot sammanfattar diskussionen med texten:

Det görs många försök att förstå hur framtiden kan se ut och några av dessa studier beskrivs i detta Memo. De utmaningar som identifieras i de mer långsiktiga av dessa aktiviteter är relativt samstämmiga. Klimatförändringar, demografi, politiska makt-förskjutningar etc. lyfts fram. Av teknikområden är det framförallt artificiell intelligens som lyfts fram, men bioteknik och konsekvenser av att den mänskliga förmågan kan komma att förstärkas på olika sätt nämns också ofta.

Operationsmiljön kommer att påverkas såväl av de stora globala utvecklingstrenderna som av teknikutvecklingen och de möjligheter och hot denna ger upphov till. Om en aktör med hjälp av teknikutvecklingen utvecklar mer kvalificerade förmågor påverkar det operationsmiljön. Man kan t.ex. fråga sig vad som kan döljas på det framtida stridsfältet och hur detta ska göras när det finns allt fler sensorer av allt fler typer och databearbetningstakten successivt ökar, eller hur cyberaktiviteter påverkar krigets karaktär idag och hur de kan påverka den i framtiden.

Vi kan också se att de typer av konflikter försvaret designas för att hantera kan växla över åren. Om vi går tillbaka lite drygt 30 år ser vi t.ex. för det svenska försvaret en prioritering som gått från nationellt försvar till internationella fredsfrämjande insatser och tillbaka till nationellt försvar. Kommer denna typ av svängningar i prioriteringen att fortsätta även under de kommande 30 åren, då vi kanske kan få se konflikter orsakade av råvarubrist, migrationsströmmar och klimatförändringar.

Generellt finns det många möjliga utvecklingsvägar och mycket är potentiellt möjligt i ett 30-årigt tidsperspektiv. Osäkerheterna är också stora. Det kräver en bred ansats där olika alternativ diskuteras och analyseras och sedan översätts till slutsatser som är relevanta för Sverige och de konfliktområden där vi kan komma att behöva agera.

⁸⁹ De dokument som denna analys utgår från är:

- The operational environment and the changing character of future warfare, US Army TRADOC Mad Scientist Initiative, 2017, <https://community.apan.org/wg/tradoc-g2/mad-scientist/m/visualizing-multi-domain-battle-2030-2050/200203?pi353719=30>. (Besökt 2021-02-27)
- Future Operating Environment 2035 (FOE 2035), United Kingdom, Ministry of Defense (U.K. MOD), Development, Concepts and Doctrine Centre's (DCDC) Strategic Trends Programme, (Shrivenham: Crown Publications, 2015), https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/646821/20151203-FOE_35_final_v29_web.pdf. (Besökt 2021-02-27)
- Framework for Future Alliance Operations (FFAO), Nato 2018, <https://www.act.nato.int/futures-work>. (Besökt 2021-02-27)
- The Joint Operating Environment (JOE) 2035 - The Joint Force in a Contested and Disordered World, US Joint Chiefs of Staff, 14 July 2016, <https://fas.org/man/eprint/joe2035.pdf>. (Besökt 2021-02-27)
- Amerson, K. and Meredith III, S. B., The future operating environment 2050: Chaos, complexity and competition, Small wars journal, juli 2016, <https://smallwarsjournal.com/jrnl/art/the-future-operating-environment-2050-chaos-complexity-and-competition>. (Besökt 2021-02-27)

Sammantaget kommer vi att behöva ha beredskap för att hantera allt mer komplexa operationer i komplexa och föränderliga miljöer och detta behöver också återspeglas i planering och beslut inför val av framtida förband och förmågor.⁹⁰

The Hague Centre for Strategic Studies (HCSS) har presenterat resultat från ett symposium sommaren 2020 om Natos nya *Warfighting Capstone Concept*.⁹¹ Några resultat från denna är behov av kognitiv överlägsenhet, utnyttjandet av en kombination av militära och icke-militära instrument för att nå sina mål och flexibilitet i att anpassa medel för att hantera alla de typer av utmaningar som kan komma att uppstå.

Natos *Allied Command Transformation* (ACT) har ägnat mycket arbete åt att analysera hur konflikter i städer skulle kunna utkämpas och även modellerat detta.⁹² Skälen till denna prioritering är dels bedömningen att allt fler människor kommer att bo i stora städer i framtiden, dels att städer genom sin struktur innebär speciella utmaningar som stridsmiljö.

En särskild utmaning för Sverige är att landet är avlångt och med relativt stor yta att täcka med – i dagsläget – relativt begränsade resurser. En utmaning är här att skydda strategiskt viktiga områden – större städer, hamnar, större flygplatser – men samtidigt kunna upprätthålla närvaro över ytan. Det senare kan i framtiden komma att kräva eldkraft som snabbt kan nå hela ytan.

Teknikutvecklingens konsekvenser för den framtida operationsmiljön tas också upp i en Nato-studie som startat våren 2020.⁹³ Denna studie kommer att identifiera särskilt intressanta teknikområden, värdera dessa i utvalda scenarier och dra slutsatser om vad denna utveckling innebär för nationer och Nato. Studien skall leverera sin slutrapport våren 2023.

5.12 Krigets natur i framtiden

Någonting som anses som statistiskt medan allt annat förändras är krigets ”natur”. Ofta hänvisas i detta sammanhang till Carl von Clausewitz och

⁹⁰ Kindvall, G., Hur kan den framtida operationsmiljön se ut?, FOI Memo 6844, 2019-09-23.

⁹¹ The NATO Warfighting Capstone Concept: Key Insights from the Global Expert Symposium Summer 2020, The Hague Centre of Strategic Studies.

⁹² NATO Urbanisation Project 2035, <https://www.act.nato.int/activities/nato-urbanisation-project>. (Besökt 2021-02-27). I december 2018 levererades ett Urbanisation Capstone Concept.

⁹³ Studiens namn är How could technology development transform the future operational environment, (SAS-159) och genomförs som en av aktiviteterna inom System Analysis and Studies Panel (SAS-panelen) inom Natos forskningsorganisation STO (Science and Technology Organization). Studien leds i samverkan mellan Sverige och Storbritannien och med medverkan också av Norge, Finland, Nederländerna, Italien, Tyskland, Tjeckien, Turkiet, Australien, Kanada och NATO ACT (Allied Command Information). Studien slutrapporterar 2023.

kriget som en våldsakt för att påtvinga motståndaren vår vilja.⁹⁴ Faktorer som brukar lyftas fram som styrande för krigets natur är dynamiken i mänsklig växelverkan, komplexiteten, den ständiga närvaron av osäkerhet, förekomsten av friktioner och tiden som viktig faktor.

Men vad händer om det mänskliga inslaget minskar genom allt mer automatiserat beslutsfattande? Det leder även till att många av de andra faktorerna påverkas – den allt mer ökande beräknings- och informationsbearbetningsförmågan hos en artificiell intelligens kan upplösa många av osäkerheterna och även minska komplexitet och friktioner. Samtidigt leder detta till att människan tappar kontroll över beslut och händelsekedjor. Då har definitivt mycket av krigets natur förändrats om än inte det ultimata syftet att påtvinga någon sin vilja. Och man befinner sig också långt från den verklighet på vilken Clausewitz baserade sina teorier om kriget.

Detta kan vara ett intressant ämne för en djupare teoretisk analys, men det är ett forskningsämne i sig självt och kommer inte att fördjupas vidare här.

5.13 Har vi råd att stärka försvaret?

Hur kommer de ekonomiska satsningarna på försvaret att utvecklas globalt och i Sverige? Vi har nu sett en period av ökande försvarsbudgetar i bland annat Sverige och inom Nato ställs från USA:s sida allt mer uttalade krav på att alla Natos medlemsstater skall lägga minst 2% av sin BNP på försvaret, något som långt ifrån alla når upp till idag.

Samtidigt kan framtiden innebära en allt större konkurrens om budgetmedlen, beroende på ökade resursbehov inom andra sektorer. Detta beror bland annat på en åldrande befolkning i många stater, vilket kan förväntas komma att ställa större krav på vård och omsorg.

Den vid skrivandet av denna rapport pågående Covid-19-pandemin har också visat vilka brister ett ”just-in-time”-tänkande kan ha när omedelbara behov av medicinsk utrustning som respiratorer och skyddsdräkter uppstår, men lagren är tomma. Att alla stater får samma behov samtidigt, och att många ser till sig själva först innan man exporterar till andra, bidrar till brist på nödvändig utrustning. Kanske kommer en av slutsatserna efter pandemin att bli att vi behöver bygga upp lager av kritisk materiel igen och att vi behöver ha en större (och dyrare) grundberedskap inom sjukvården.

Dessutom kommer de, som det verkar, stora och sannolikt under flera år bestående ekonomiska effekterna av Covid-19-pandemin att innebära att

⁹⁴ von Clausewitz, C., Om kriget, Bonniers. Originalet Vom kriege utkom i sin första upplaga 1832.

samhällets resurser blir mindre när skatteintäkterna minskar och nya under-skott ska hanteras (och helst minskas).

Att sedan klimatförändringarna kan påverka levnadsbetingelserna på vår planet kommer inte att förbättra situationen. Även om utsläppen från igen-stängda samhällen minskade inledningsvis under pandemin finns det inget som tyder på att detta består när samhällena öppnas upp igen.

Totalt sett skulle detta på sikt kunna innebära att försvarsutgifterna av tvång kommer att minska i många stater, åtminstone de stater som är demokrater och där ledarna ställs till ansvar av sina medborgare i fria och regel-bundna val. Såvida inte allvarliga hot uppstår som måste hanteras, kosta vad det kosta vill. Som ju har varit fallet när det gäller Covid-19.

Om de öknningar i försvarsutgifterna som förväntats fryser inne på grund av viktigare kortsiktiga behov i samhället kommer det att påverka hur mycket innovation och ny teknik som ryms i det framtida försvaret. En sak vi kan vara säkra på är nämligen att ett försvar i teknikens front inte kommer att vara billigt!

5.14 Diskussion

Som framgår ovan finns det mycket som den teknikutveckling vi ser idag skulle kunna leda till på sikt. Mycket kan förändras, både i samhället som sådant och för militära organisationer. För de senare handlar det både om påverkan på egna system och egen organisation och om påverkan på den omgivning man behöver verka inom (operationsmiljön).

En viktig fråga är också om militära organisationer i framtiden kommer att kunna konkurrera om de bästa hjärnorna inom naturvetenskap och teknik? Och om man inte kan det, hur ska man då agera för att det inte ska ske en nedgång i volym och kvalitet inom militärspecifik forskning?⁹⁵ Detta kan till exempel innebära att kompetensförsörjningen avseende forskning och utveckling inom försvarssektorn försvaras och beroendet av civil teknik – och civila utförare av forskning och teknikutveckling – kan bli större.

För teknikområden med viktiga militära tillämpningar eller där sådana ställer påtagligt högre krav än andra tillämpningar kan det visa sig omöjligt att hantera teknologiförsörjningen med civilt tillgänglig teknik och det kan krävas riktade forsknings- och utvecklingsåtgärder inom dessa områden.

⁹⁵ Detta tas bland annat upp i Cummings, M.L., *Artificial Intelligence and the Future of Warfare*, Chatham House, International Security Department and US and the Americas Programme, januari 2017, <https://www.chathamhouse.org/sites/default/files/publications/research/2017-01-26-artificial-intelligence-future-warfare-cummings-final.pdf>. (Besökt 2021-02-27)

Utöver de tekniska utmaningarna är de etiska och legala aspekterna av ny teknik viktiga. Exempelvis diskuteras regelverk för såväl obemannade flygande plattformar som förarlösa bilar globalt. På sikt kan teknikutvecklingen inom områden som artificiell intelligens och syntetisk biologi ställa oss inför än svårare etiska dilemman.⁹⁶ Dessutom kan den tekniska utvecklingen skapa stora sårbarheter för cyberangrepp, till exempel genom utvecklingen av det så kallade ”*internet-of-things*” (IoT), det vill säga att allt fler ”saker” är uppkopplade mot nätet. Dessa uppkopplade produkter kan i allmänhet inte förväntas ha samma skyddsnivå mot cyberangrepp som mer kvalificerade system.⁹⁷

⁹⁶ I september 2016 bildades Partnership on AI to benefit people and society av Amazon, Google, Facebook, IBM och Microsoft med syfte att “advance public understanding of artificial intelligence technologies (AI) and formulate best practices on the challenges and opportunities within the field.” Se <https://www.partnershiponai.org/>. (Besökt 2021-02-27). Idag har initiativet 100 partners i 13 länder.

⁹⁷ Cuthbertson, A., Hackers can hijack your house through your light bulb, researchers discover, 5 februari 2020, <https://www.independent.co.uk/life-style/gadgets-and-tech/news/philips-hue-smart-light-bulb-hack-cyber-security-a9317456.html>. (Besökt 2021-02-27)

6 Hur spana på tekniken?

6.1 Inledning

I brittiska försvarsdepartementets forskningsstrategi från 2017 skriver man

There is a sense of urgency in Defence and Security S&T. The world is changing and evolving in ever larger and faster technical leaps and bounds. The commercial sector is the big investor and leader in many technical areas and many companies in the information age have research budgets much bigger than that of UK Defence and Security. Our adversaries, both new and old, are learning to close the technology gap more rapidly and with more agility than we had anticipated.⁹⁸

Här betonas således såväl teknikutvecklingens snabba landvinningar som kommersiella aktörers större forskningsresurser och det faktum att potentiella motståndare allt mer förmår utnyttja de möjligheter som teknikutvecklingen ger.

Den brittiska försvarsforskningsstrategin betonar också vikten av att stärka arbetet med att nyttja de innovativa möjligheter som erbjuds såväl inom universitetsvärlden som inom den kommersiella sektorn – såväl större företag som små innovativa *start-ups*. Forskningsstrategin nämner också vikten av att samverka över departementsgränserna för att få maximal effekt av statliga satsningar på forskning och innovation.

FOI:s motsvarighet i Storbritannien, Dstl (*Defence Science and Technology Laboratory*), har också en viktig roll som länk till andra innovationsaktörer.

Working in partnership, Dstl invests approximately 40% of its income in a broad supply chain spanning academia, small and medium enterprises, industry and international partners.⁹⁹

Teknikutvecklingens betydelse lyfts också fram i det amerikanska flygvapnets (United States Air Force, USAF) forskningsstrategi.¹⁰⁰ Den vision man har är:

⁹⁸ Science and Technology Strategy 2017, UK Ministry of Defence, oktober 2017, https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/655514/Science_and_Technology_Strategy_lowres.pdf. (Besökt 2021-02-27)

⁹⁹ Science and Technology Strategy 2017, UK Ministry of Defence, oktober 2017, https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/655514/Science_and_Technology_Strategy_lowres.pdf. (Besökt 2021-02-27)

¹⁰⁰ Science and technology strategy: Strengthening USAF science and technology for 2030 and beyond, United States Air Force (USAF), april 2019, <https://cdn.afresearchlab.com/wp-content/uploads/2019/01/13192817/Air-Force-Science-and-Technology-Strategy.pdf>. (Besökt 2021-02-27)

[...] an Air Force that dominates time, space, and complexity in future conflict across all operating domains to project power and defend the homeland.

USAF:s forskningsstrategi lyfter också behovet av att ge forskning och utveckling en mer framträdande roll inom organisationen.

Den 2 mars 2020 genomfördes en workshop om teknikspaning hos den europeiska försvarsbyrån (*European Defence Agency*, EDA) i Bryssel. Under dagen berättade EU själva om de initiativ som finns inom unionen för att följa, förstå och exploatera teknikutvecklingen och företrädare från Sverige, Tyskland, Schweiz, Nederländerna, Irland och Österrike beskrev hur de arbetar för att utforska teknikutvecklingen. Processer och olika IT-verktyg för att spana av forskningsfronten genom sökning i vetenskapliga databaser presenterades. Tretton av EU:s medlemsstater deltog vid mötet.

I den sammanfattning som publicerades av EDA lyftes bl.a. att:

- Det finns en hel del olika IT-verktyg och metoder för att analysera stora mängder information som finns i civila (vetenskapliga) databaser och det går inte att identifiera en ”bästa lösning”
- Teknikspaning (technology foresight) är fortfarande expert-driven då det inte ännu finns någon algoritm som kan ersätta experters indata. De möjligheter som AI-lösningar kan erbjuda behöver utforskas ytterligare.

Intresset för att identifiera och exploatera teknikutvecklingen, och metoder och verktyg för att göra detta, finns hos många fler än de som presenterade på den årliga EDA-workshopen. Och även utanför Europa. För några år sedan diskuterades detta i rapporten ”Exploring future technology development”. Där presenteras ett förslag på hur man kan utforska den framtida teknikutvecklingen och där IT-verktyg för att söka i databaser bara är ett steg i en process från problemformulering över datainsamling, analys, värdering, slutsatser och rekommendationer.¹⁰¹

Sedan dess har arbetet fortsatt med att beskriva en FOI-metod för ”Horizon scanning”. Tanken med denna metod är att stödja arbetet med att gå från en teknikidé eller ett intressant teknikområde till ett analyserat underlag som kan rapporteras in till uppdragsgivare eller bli ett underlag i andra processer. En fullständig teknikspanande process behöver bestå av stegen idé (på teknik/teknikområde som ska studeras och varför), avskanning (av tekniken/teknikområdet), analys av skanningresultaten (förståelse, insikt) och resultatrapportering.

¹⁰¹ Kindvall, G., Lindberg, A., Trané, C. och Westman, J., Exploring future technology development, FOI-R--4196--SE, juni 2017.

Att hitta dessa intressanta tekniska idéer att fördjupa förståelsen om är det kanske mest utmanande inslaget i en sådan process, i konkurrens med vad man gör med de resultat som kommer fram. Just frågan vad vi ska göra med resultaten från teknikspaning diskuteras vidare i avsnitt 6.2.

Försöken att bättre förstå teknikutvecklingen och dess framtida militära potential innebär också ett antal andra utmaningar. En av dessa är att bedöma hur vi ska förhålla oss till olika teknikområden. Var ska försvaret bedriva egen forskning, var är det nödvändigt eller rimligt att förlita sig på att civila aktörer – universitet och högskolor, kommersiella företag – hantlar förädlingen från idé till intressant komponent eller delsystem, det vill säga utvecklar tekniken mot en högre TRL-nivå, se bilaga 3.¹⁰² Det diskuteras i avsnitt 6.3, med fokus på den forskning och teknikutveckling som försvarssektorn själv behöver driva.

En annan utmaning är hur försvarssektorn ska förhålla sig till de teknikområden där man inte leder utvecklingen och där man som mest kan forska inom vissa begränsade nischer. I huvudsak kommer det dock inom dessa områden att handla om att besitta den kompetens och de nätverk som krävs för att fånga upp, och vid behov anpassa, teknik som i grunden är resultatet av civil teknikutveckling men som kan ha intressanta försvarstillämpningar. Detta diskuteras ytterligare i avsnitt 6.4.

Som framgår i detta kapitel behöver det ställas krav på kompetens och nätverk för att kunna optimera den specifika försvarsforskningen och samtidigt ha känslspröten ute för att hitta de civila innovationer som kan ha en försvarstillämpning. Detta kommer att kräva både organisation, kompetens och ekonomi.

Ett sätt att få nya idéer är internationell samverkan. FOI har under de senaste åren genomfört ett trilateralt samarbete med forskningsinstitutet TNO i Nederländerna och DRDC (*Defence Research and Development Centre*) i Kanada med fokus på att ta fram en metodik för att värdera teknik vid låga TRL-nivåer. Detta syftar till att möjliggöra identifiering av tekniska tillämpningar som ser lovande ut för att kunna nyttiggöras för militära syften. Det är svårt att värdera teknik så tidigt i utvecklingskedjan och osäkerheterna är stora, men det är ändå något vi behöver fortsätta att göra.

¹⁰² Technology Readiness Level (TRL) är en beteckning för en teknologis mognadsgrad, från grundforskning bevisad funktion i systemlösning under operativa förhållanden. TRL 1-2 är grundforskning medan TRL 2-5 är tillämpad forskning. Forskningen inom försvarssektorn är i huvudsak av tillämpad karaktär. TRL-skalan visas i bilaga 3.

6.2 Hur sprida resultat?

Alla former av teknikspaning, vare sig det handlar om att förutsättningslöst avspana forskningsfronten genom horisontspaning (horizon scanning), eller om att bedöma utvecklingen de kommande 10-20 åren inom ett väl-etablerat forskningsområde, kommer att generera resultat i form av möjliga teknologier eller tillämpningar. De verksamheter som genomförts på senare år inom FOI:s avskanningsverksamhet och FMV:s Teknisk Prognos har genererat ett stort antal rapporter och dokument som beskriver möjlig utveckling inom ett antal områden, utvalda utifrån intresse eller potential. En del av dessa dokument är skrivna av FOI:s forskare, medan annat är dokument erhållna från internationella samarbeten – till exempel från tyska *Fraunhofer INT* och från *Massachusetts Institute of Technology (MIT)*.

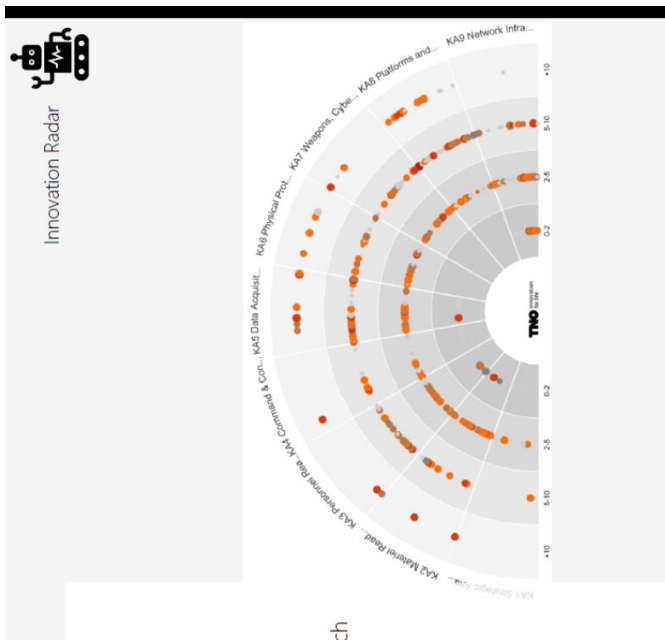
Sammantaget har vi redan mycket intressant underlag om möjlig framtida teknikutveckling och potentiella konsekvenser av denna. Det återstår dock att analysera materialet både enskilt och myndighetsgemensamt och att därefter finna ett sätt att lagra och sprida denna samlade kunskap så att den når de processer den bör påverka och görs tillgänglig för de intresserade användarna. Detta är en utmaning i sig och att göra det i samverkan mellan flera myndigheter gör utmaningen större. Dessutom kommer ny kunskap hela tiden och gör tidigare resultat om inte obsoleta så ofullständiga och i behov av uppdatering.

Vi är inte ensamma om att fundera i dessa banor. På TNO i Nederländerna har man till exempel på sitt interna nät samlat nya innovativa idéer genom projektet Innovation radar, se figur 1.

Bildens ”tårtbitar” är teknikområden, medan avståndet från centrum visar hur långt in i framtiden idén tros kunna bli realiserad. Fokus är här på innovationer (möjliga tillämpningar) snarare än på tekniken i sig. Minst cirka 300 sådana innovationer finns inlagda i verktyget. Innovationerna specificeras utifrån ett antal aspekter på ett ”spelkort” och värderas också utifrån ett antal kriterier. Metoden har använts sedan 2014 och baseras på indata från ett antal seniora teknikexperter.

TNO INNOVATION RADAR

- › Web based tool 'Itonics'
- › Entering / adjusting innovations online by content experts
- › Links to webpages and documents
- › Browsing for innovations, with various search and filter options such as
 - › Search by terms
 - › "Tech areas" (eg Artificial Intelligence, Sonar Technology)
 - › Online assessments (first round last year)
 - › Different 'radar plots'
- › Currently being implemented for MoD and National Police



Figur 1. TNO:s Innovation Radar. Källa: TNO-presentation vid möte på EDA 2 mars 2020.

Inom Natos forskningsorganisation STO (*Science and Technology Organization*) uppmanas forskningsaktiviteter att ta fram så kallade ”Tech Watch Cards” som beskriver olika tekniska möjligheter enligt en mall. För närvarande finns cirka 100 sådana kort.

Som en del i sitt teknikspanande arbete beskriver *DST Group* i Australien framtida teknik i så kallade förmågekort. Dessa innehåller en beskrivning av tekniken, vilka hinder som finns för realisering, vilka möjliga tillämpningar som finns, TRL-nivå och när i tiden tekniken kan få påverkan. På korten anges också vem som har tagit fram kortet och när det senast granskades. En annan och kompletterande produkt är en rapport på 4-6 sidor som beskriver en ny teknik i lite mer detaljer. De genomför även *Emerging Disruptive Technology Assessment Symposia (EDTAS)* för att bedöma genomslaget hos intressanta teknologier. EDTAS finns i två utföranden – *Technology Opportunities EDTAS* med cirka 80-100 deltagare och *Military Implications EDTAS* med cirka 50 deltagare.

Värdet hos underlag av de typer som presenterats här beror givetvis på tillgängligheten för användare och hur ofta underlaget uppdateras och kvalitetssäkras både vad avser beskrivningar och värderingsresultat. Vi bör noggrant överväga hur vi på bästa sätt ser till att allt underlag som har producerats och kommer att produceras inom ramen för den teknikspanande process som genomförs åt Försvarsmakten av FOI (forskningsskanning), FMV (teknisk prognos) och FHS (värdering), verkligen kan göras tillgänglig för de som skulle kunna nyttiggöra detta i sitt arbete. Här är det viktigt att hitta ett sätt som alla berörda myndigheter både kan använda och känna sig bekväma med. Att skapa och underhålla databaser av underlag kommer också att kosta pengar, både för de tekniska lösningarna och för de människor som behöver upprätta och regelbundet kvalitetssäkra underlaget. Detta behöver diskuteras mellan myndigheterna.

Det är också värt att nämna att det finns organisationer som regelbundet publicerar och diskuterar tekniktrender. Några sådana är:

- Schweiziska Armasuisse. Armasuisse, som väl närmast kan sägas vara det schweiziska försvarets materielverk, har sedan ett antal år presenterat sina Deftech Scans i samverkan med OTH Intelligence Group. De första av dessa var inte öppet tillgängliga via nätet, men det är de numera.¹⁰³ Ofta tar dessa rapporter upp flera teknikområden, men numret från maj 2020 fokuserar till exempel helt på samverkan mellan människa och maskin.
- SOFWERX TechWatch. Precis som Deftech byggde denna på en skanning av öppna publikationer. Sedan ett drygt år tillbaka verkar

¹⁰³ Deftech Scans finns tillgängliga via länken <https://deftech.ch/scans/>. (Besökt 2021-02-27)

man satsa på att facilitera samverkan för att lösa olika utmaningar istället för att publicera TechWatch-dokument.¹⁰⁴

- Mad scientist laboratory vid den amerikanska arméns Training and Doctrine Command (TRADOC). Fokus här är på att utforska den framtida operationsmiljön genom rapporter, workshops, bloggar, tävlingar i att skriva science fiction-noveller med mera.¹⁰⁵

Med start i september 2020 har FMV börjat ge ut ett månatligt nyhetsbrev om nya teknologier.¹⁰⁶

Det finns även mycket annat att ta del av, både helt öppet på internet och genom att ingå i mer avgränsade grupper. Sammantaget finns det väldigt mycket att hämta och risken att översvämmas av information och idéer är påtaglig.

6.3 Vad ska beforskas?

Det finns en historia av forskningsområden som Försvarmakten satsat resurser på. Bland dessa finns Ledning och MSI (Människa-System-Integration), Sensorer och signaturanpassning, Undervattensteknik, Vapen och skydd, Telekrig och Flygsystem. Under de senaste åren har strukturen på forskningsportföljen utvecklats med satsningar på bland annat cyberdomänen, rymdsystem, artificiell intelligens och autonoma system. Dessutom håller mark- och sjösystem på att etableras som forskningsområden. Således pågår en utveckling som både tar in domänerna och de mest uppmärksammade teknikområdena. Det är en utveckling som går i rätt riktning, men som behöver fortsätta.

Samtidigt gäller för områden som artificiell intelligens, autonoma system, kvantteknologi, energi, material och bioteknologi att civila satsningar kommer att driva utvecklingen. Försvarsforskning är endast rimlig inom smala och mycket försvarsspecifika nischer och det är därför viktigt att identifiera de forskningsnicher där tekniken kan ha tillämpningar inom försvar och säkerhet. För dessa nischer bör eventuell grundforskning genomföras tillsammans med Universitet och högskolor (UoH) och civila forskningsinstitut medan den tillämpade forskningen helt bör genomföras inom försvarsmyndigheterna.

¹⁰⁴ På hemsidan beskrivs att "SOFWERX was created under a Partnership Intermediary Agreement, established in September of 2015, between DEFENSEWERX and the United States Special Operations Command (USSOCOM)", <https://sofwerx.org/>. (Besökt 2021-02-27)

¹⁰⁵ Mad scientist laboratory – Exploring the operational environment, <https://madsciblog.tradoc.army.mil/>. (Besökt 2021-02-27)

¹⁰⁶ Framtid – Nyhetsbrevet om framtida tekniker och material, Försvarets Materielverk.

En viktig aspekt vid val av vilken forskning som ska bedrivas inom ramen för försvarsmyndigheterna är vilka teknikområden som är integritetskritiska. Detta innebär att ett område som telekrig, med en hög sekretessnivå, kommer att fortsätta att kräva betydande forskningsinsatser, inte minst som den samlade teknikutvecklingen både innebär utmaningar och möjligheter för telekrigsområdet. Här kan man inte förlita sig på kommersiella krafter för att driva forskning om hot och möjligheter i gråzon, kris och krig. CBRN är ett annat sådant område, där det krävs statliga insatser för att analysera och motverka hotet från dessa stridsmedel. Inom flyg- och undervattensområdena har vi en nationell tradition av kunskap från forskning till systembygge, med involvering av försvarsmyndigheter och försvarsindustri. Detta nationella nätverk av kunskap och systemförståelse är unikt för en liten nation och inget man avvecklar utan noggranna överväganden. Vi ser således att forskning och utveckling inom dessa områden kommer att behöva finnas kvar åtminstone inom den överblickbara framtiden.

Vapen och skydd är också specifikt försvarsrelaterat och ingenting där civila kommersiella krafter kommer att driva utvecklingen. Givetvis kommer det att bli möjligt att dra nytta av civil forskning inom till exempel materialområdet för att utveckla nya och bättre skyddslösningar, men integration och anpassning av tekniken till en militär skyddslösning behöver drivas inom försvarssektorn.

Inom de forskningsområden som utnyttjar tekniska landvinningar inom informations- och kommunikationsteknologin kommer försvarssektorn aldrig att kunna konkurrera med civilt driven forskning och teknikutveckling. Uppgiften blir istället att hitta de nischer som främst kan intressera försvarssektorn och att ha kunskap för att kunna anpassa och integrera tekniken för försvarssystem och försvarstillämpningar. Detta innebär lika fullt att kompetens behöver finnas inom försvarssektorn, med fokus på utveckling och integration snarare än forskning.

Inom forskningsområdet sensorer och signaturanpassning kommer det också i hög grad att handla om att ta om hand civila landvinningar och anpassa dem till militära tillämpningar. Här är det fullt möjligt att vissa tillämpningar och tekniker, för att till exempel upptäcka undervattensfarkoster, kan ha specifika militära tillämpningar och därför kan kräva specifik hantering inom försvarssektorn.

Forskningsområdena mark-, sjö- och flygsystem kommer att behöva ta om hand kunskap och tekniska underlag från andra forskningsområden såväl som från forskning inom den civila sektorn – till exempel inom energi- och

materialområdena.¹⁰⁷ Utöver sådana påtagliga behov av samverkan över forskningsområdesgränser kommer detta att behövas även i övrigt. Det kommer att bli viktigt att etablera fora för denna överbrygging, till exempel etableringen av tema- eller fokusgrupper som arbetar över forskningsområdesgränser. I Natos senaste tekniktrendsrapport lyfts också just aspekten att teknikområden samverkar och stödjer varandra fram.¹⁰⁸

6.4 Hur hitta russen i teknikkakan?

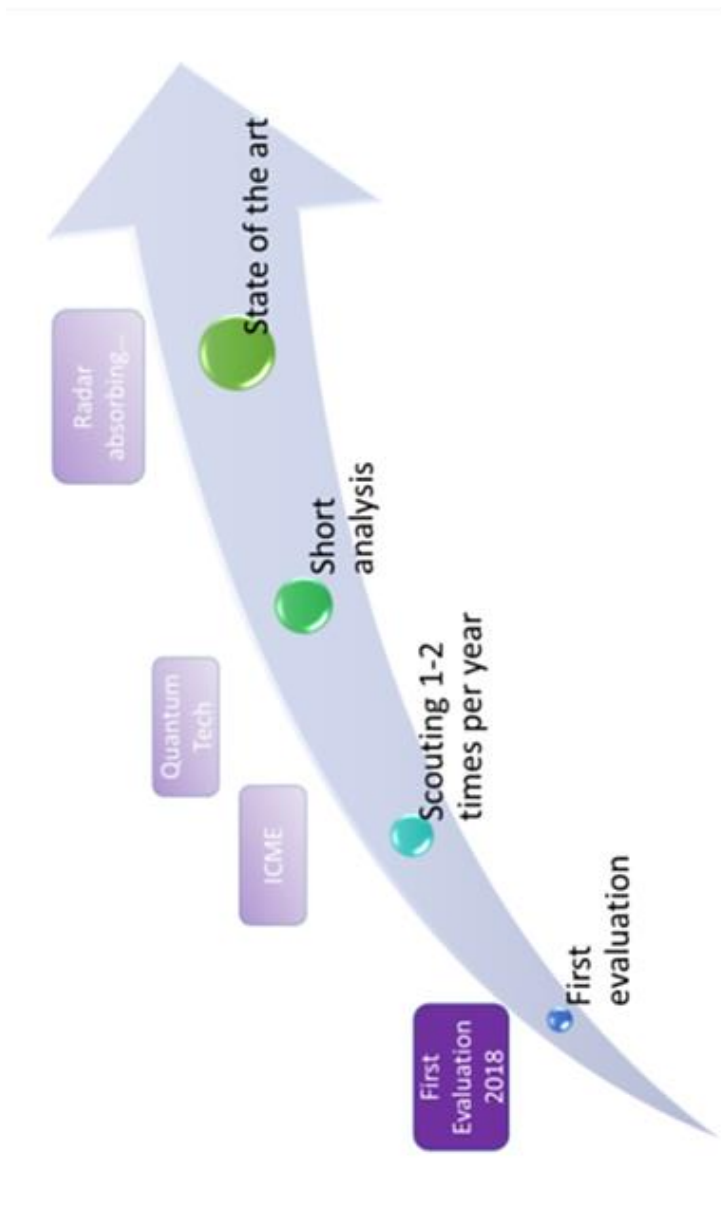
Inom områden där civila och kommersiella intressen kommer att driva utvecklingen, men där försvarssektorn behöver kunna förstå och tillämpa delar av denna utveckling, behöver det byggas upp en process och organisation för detta. Två exempel på sådana områden är energi- och materialteknologi. Försvarsmakten kommer till exempel att påverkas av de energilösningar och drivmedel som utvecklas för civila tillämpningar. Försvarsmakten behöver också ha kunskap om material vid utveckling av nya system/förmågor.

I ett arbete som genomförts av Chalmers Industriteknik på uppdrag av FOI och med syftet att både beskriva en metod för att följa utvecklingen inom materialområdet och genomföra ett mindre antal fördjupade analyser, föreslås följande metod, se figur 2.¹⁰⁹

¹⁰⁷ Detta skulle potentiellt bli ett problem då vi knappast har möjlighet att förse alla domänrelaterade forskningsområden med öronmärkt kompetens inom samtliga teknikområdesinriktade forskningsområden. Det är varken ekonomiskt rimligt eller effektivt och det krävs andra lösningar.

¹⁰⁸ Science & Technology Trends 2020-2040 – Exploring the S&T Edge, Nato, mars 2020, https://www.nato.int/nato_static_fl2014/assets/pdf/2020/4/pdf/190422-ST_Tech_Trends_Report_2020-2040.pdf. (Besökt 2021-02-27)

¹⁰⁹ Johansson, C., Charpentier, S., Ek Weis, J., Chukharkin, M. och Theander, H., Material 2050, FOI-2018-708.



Figur 2. De olika stegen i en process för att identifiera och analysera materialteknik. Det underlag som tas fram behöver sedan värderas ur ett försvarsperspektiv.

.De olika stegen i processen har följande syfte:

- First evaluation. Detta steg handlar om att följa utvecklingen inom området och samla informationen i en databas, där varje område kort beskrivs i termer av TRL-nivå, egenskaper, hur snabbt utvecklingen går, försvarstillämpningar med mera.
- Scouting. En eller två gånger per år kan sökningar göras på internet för utvalda söksträngar, detta för att identifiera vad som händer inom dessa områden.
- Short analysis. En studie av ett särskilt utvalt område om vilket mer information önskas. Genomförs som litteraturstudie, intervjuer av forskare med mera.
- State of the art. En mer omfattande studie än ovan, med litteraturstudier, intervjuer och en genomgång av patent inom området.

Denna process kan rulla år efter år, med en successivt utvidgad databas över materialområdet och analyser av allt fler delområden. Uppföljningar av områden kan bestämmas utifrån specifika behov, till exempel hur dynamisk utvecklingen är inom ett specifikt delområde.

I ett fortsatt arbete har en enkel metod för att bedriva teknikspaning inom materialområdet beskrivits och analyserats av FOI.^{110, 111}

Metoden består av 3 steg:

1. Kartlägga källor, identifiera söktermer och ta fram relevant information såsom artiklar
2. Analysera resultat från steg 1)
3. Matcha resultat från steg 2) med det militära behovet

Ambitionen är nu att FOI ska börja implementera denna process. Ett viktigt steg är att involvera forskare och experter såväl inom FOI och FMV som utanför försvarsmyndighetssfären vid analys och matchning av resultaten. Om denna process fungerar kan den – direkt eller med någon modifiering – även tillämpas på andra områden där vi inte rimligen kan bedriva forskning på bredden inom försvarssektorn, men där vi behöver skapa bredd och djup i beskrivningen av teknikutvecklingen och dennas konsekvenser.

För att dessa externa underlag ska ha ett värde måste det också inom försvarssektorn finnas kompetens för att värdera resultaten ur ett försvarsperspektiv. Detta kräver kompetens och kontaktnät inom de aktuella områdena

¹¹⁰ Savage, S., Materialteknik 2050: A green paper, FOI Memo 6972, 2019-11-20.

¹¹¹ Karlsson, L. H., Metodstudie av FOI Memo 6972 – Materialteknik 2050: A green paper, FOI Memo 7015, 2019-11-18.

samt förståelse för Försvarmaktens behov och processer. Då det handlar om forskning bör FOI rimligen ha en viktig roll i detta, med stöd av militär expertis.

Det finns goda skäl för Sverige att etablera ett försvarsinnovationssystem, riktat mot akademi och industri. Det kan till exempel innefatta möjlighet att växelverka med forskningssamhället utanför den traditionella försvarsinnovations- och -industrisfären. Detta kan skapa förutsättningar för att försvarsforskningsverksamheten kan nå, bidra till och nyttiggöra den kompetens som finns utanför de traditionella nationella och internationella samarbetsparterna. En försvarsforskningsorganisation som FOI skulle här, i likhet med till exempel sin systerorganisation Dstl i Storbritannien, kunna få en roll som länk mellan de statliga försvars- och säkerhetssektorerna och det civila akademiska systemet och näringslivet. I detta ingår att vara en kompetent beställare av forskning och teknikutveckling mot akademi och näringsliv å den ena sidan, och ha en stor förståelse för försvars- och säkerhetssektorns förmågebehov å den andra sidan. Detta ger också en förmåga att värdera och bedöma de resultat som genereras inom beställningarna.

Här kan också en jämförelse göras med den modell som beskrivs i den brittiska försvarsforskningsstrategin från 2017, där man beskriver ett ”ekosystem” där olika aktörer (försvarsmyndigheter, små och stora företag, universitet) ses som delar i ett nätverk. Exempelvis används FOI:s brittiska motsvarighet Dstl (*Defence science and technology laboratory*) till del för att lägga ut uppdrag på andra aktörer och sedan värdera resultatens nytta för försvaret. En lösning liknande denna kan vara nödvändig för att upprätthålla en högteknologisk profil inom det svenska försvaret. Behovet av samverkan mellan staten, företag och universitet och högskolor framhölls också av flera talare på Natos OA-konferens 2020.¹¹²

6.5 Slutsatser

I ett tidigare FOI Memo konstaterades det att vi sannolikt redan idag har god förståelse för merparten av de teknikområden som kan bidra till operativa tillämpningar år 2050, men däremot inte för i vilken takt de kommer att kunna införas eller vilken påverkan de kommer att ha.¹¹³ Vi behöver således försöka förstå hur, om och när de teknikidéer som finns beskrivna i diverse framsynsdokument kan ha militär nytta, samt hur, när och om de kan kombineras med varandra för att ge upphov till nya och kanske rent

¹¹² Kindvall, G., Frelin, J. och Lindberg, A., Natos OA-konferens 2020. Kommande FOI Memo.

¹¹³ Kindvall, G., Hur bra kan man förutsäga teknikutveckling?, FOI Memo 6728, 2019-05-21.

disruptiva tillämpningar. För det är sannolikt i väntade eller oväntade kombinationer av teknik som de verkligt omvälvande tillämpningarna kommer att uppträda.

Trots de svårigheter som finns är det viktigt att följa och analysera teknikutvecklingen för att kunna finna, förstå och anpassa teknik för att hjälpa Försvarmakten att hantera den framtida operationsmiljön. Detta kräver förutom forskning också att vi har förmåga att bedriva en långsiktig, kontinuerlig och kvalificerad framsynsverksamhet. En sådan framsynsverksamhet kräver inte bara metoder och verktyg, den kräver också ett nätverk av aktörer i och utanför försvarssektorn för att både kunna följa teknikutvecklingen och förstå dels vilka militära tillämpningar som potentiellt skulle kunna bli möjliga, dels vilken anpassning av den civila tekniken som behövs för att nå dithän.

Vilken nivå på verksamhet (forskning, analys) behöver vi ha inom försvarssektorn och vad kan tillföras från andra aktörer? Det finns erfarenheter från andra länder, till exempel Storbritannien, av att externa aktörer genomför verksamhet på uppdrag av försvaret, men att den slutliga värderingen av operativ nytta är en uppgift för försvarssektorn. En sådan struktur vore möjlig även i Sverige, åtminstone inom vissa teknikområden, givet att det finns kompetenta aktörer som kan leverera relevant underlag för kvalitets-säkring och fortsatt analys. FOI torde här rimligen vara rätt instans för att ansvara för den tekniska kvalitetssäkringen och för metodutveckling med syfte att värdera teknologiernas bidrag till operativ förmåga.

Inom ett antal teknikområden av särskilt strategisk militär betydelse kommer det även i framtiden att vara önskvärt att bibehålla forskningsverksamhet inom försvarsfamiljen. Det kan långsiktigt handla om områden som telekrigföring, undervattensförmåga, flygteknik, vapenspecifik forskning med flera.

För vissa teknikområden kommer det att bli viktigt att analysera hur civil teknik kan anpassas för militära tillämpningar. Hur denna verksamhet ska organiseras behöver analyseras ytterligare, men sannolikt behövs en verksamhet inom försvarssektorn med förmåga att förstå tekniska och andra utmaningar vid anpassning av tekniken till framtidens operationsmiljö och därutöver kontaktytor mot universitet och högskolor, företag och andra utvecklingsmiljöer.

Enligt ovan handlar det om att finna, förstå och anpassa teknikutvecklingen till Försvarmaktens operativa behov. Att förstå både tekniken och den operativa miljön är den centrala kompetensen inom försvarsfamiljen som dels kräver fortsatt forskning inom vissa centrala områden, dels innebär att det behöver finnas kompetens för att ta till sig information om ny teknikutveckling och vad som krävs för att utnyttja civil teknikutveckling för

militära ändamål. Och att göra detta kommer att kräva både ekonomiska och personella resurser.

Ett steg på vägen kan vara att identifiera områden där studieförsöks- eller demonstratorverksamhet kan vara en väg framåt för att bättre förstå vilka möjligheter teknikutvecklingen kan innebära. Studien ”Teknikutveckling logistik” rekommenderade i sin slutrapport 2019 att prov och försök bör genomföras med bland annat additiv tillverkning och bränsleceller.¹¹⁴

Andra områden där det skulle kunna finnas skäl att börja genomföra prov och försök är soldatsystemet, till exempel vad fysisk förstärkning eller tillförsel av robotar (”mulor”) för att avlasta soldaten kan innebära. Det skulle då handla om teknik, stridsteknik och humanfaktorer. När det gäller virtuell och förstärkt verklighet (VR/AR) finns det skäl att undersöka hur nyttjandet av sådan teknik kan användas såväl i övningsverksamhet som operativt.

Förslagen på potentiella områden för demonstratorverksamhet ovan är bara några exempel och inte någon komplett lista. Inför val av områden att satsa på behöver såväl dessa som andra områden diskuteras och prioriteras.

Som avslutning är det viktigt att komma ihåg att om vi strävar efter att kunna möta (eller hellre avskräcka) en kvalificerad motståndare så tävlar vi på den yttersta tekniknivån. Då behövs kvalificerad kunskap och förståelse och det blir viktigt att hela tiden fylla på sitt kunnande genom egen forskning. För att befinna sig vid teknikfronten krävs en kvalificerad och relativt omfattande forsknings- och teknikutvecklingsverksamhet. Och vi behöver satsa pengarna rätt.

¹¹⁴ Studie LOG191904S Teknikutveckling logistik – Slutrapport, FM2019-5574:2, 2019-12-16.

7 Sammanfattning

Det är en utmaning att försöka uttala sig om framtiden. Det går att bedöma vad som skulle kunna ske och vilken påverkan det skulle kunna ha, men att veta att det kommer att ske är inte möjligt. I 2020 års *Global Risks Report* från *World Economic Forum* anges visserligen en relativt hög påverkan ("impact") för "Infectious diseases", om någon sådan skulle inträffa. När det gäller sannolikheten att det skulle inträffa någon sådan bedöms denna vara bland de lägsta av de risker som tas upp.¹¹⁵

Denna rapport ger en översiktlig beskrivning av teknikutvecklingen ur främst ett militärt perspektiv ut mot 2050, men lyfter också civil teknikutveckling där så är relevant.

Potentialen för ny informations- och kommunikationsteknologi är enorm och ligger till grund för områden som artificiell intelligens, autonoma plattformar och cyberkrigföring. Möjligheter här inkluderar förmåga att sammanställa stora mängder data snabbt, identifiera avvikelser och föreslå handlingsalternativ, och att separera människan från system (som i allt högre utsträckning kan vara obemannade eller autonoma). Tillämpningar av informations- och kommunikationsteknologi kommer att finnas i och stödja i princip alla framtida försvarssystem. Maskininlärning och AI kommer att innebära att beslut kan tas automatiskt och mycket snabbare än vad som är möjligt för en människa. När – och om – automation i beslutsfattande kan tillåtas är något som kommer att fortsätta vara en stor fråga i framtiden. Utgången av en sådan diskussion är idag svår att förutsäga.

Framtidens plattformar kommer att byggas i nya material, 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. Kanske blir framtidens plattformar i stor utsträckning obemannade och agerar i samverkan med varandra. "Loyal wingman" är ett koncept längs denna väg, innebärande att en bemannad plattform även styr ett antal obemannade sådana. Det diskuteras främst för luftdomänen, men kan vara lika relevant för mark- och sjödomänerna.

Miniatyrisering, AI och utvecklingen inom energi- och sensorområdena kommer att möjliggöra små autonoma plattformar med längre uthållighet som kan spana i alla domäner.

Biotekniken kan möjliggöra förstärkning av soldatens förmåga, sensorer som håller reda på soldatens hälsotillstånd med mera. Just olika metoder för förstärkning av den mänskliga förmågan kommer sannolikt att bli ett

¹¹⁵ The Global Risks Report 2020, World Economic Forum, 15 januari 2020, http://www3.weforum.org/docs/WEF_Global_Risk_Report_2020.pdf. (Besökt 2021-02-27)

omdiskuterat område utifrån bland annat etiska perspektiv både civilt och militärt.

I rapporten diskuterar vi också några potentiellt mycket betydelsefulla – till och med revolutionära – konsekvenser av teknikutvecklingen och om de kan vara möjliga att nå. Det handlar om möjligheten att göra fysiska föremål i praktiken osynliga, om att även havet i framtiden kanske blir ”genomskinligt” och att det därför blir svårt för undervattenssystem att undgå upptäckt, och att en artificiell superintelligens skulle skapa helt nya förutsättningar genom att i princip kunna lösa alla sorters problem betydligt bättre än en människa.

Men ny teknik är inte allt. Försvaret kommer att bestå av materiel från flera olika teknikgenerationer. Samtidigt som nya system som bygger på den senaste teknikutvecklingen blir operativa kommer mycket av det gamla att finnas kvar. Vi måste därför noga tänka igenom hur vi bygger en försvarsorganisation som på bästa sätt kombinerar nya system och arvet för att lösa framtidens utmaningar. Samtidigt som vi försöker minska ledtiderna för ny materiel, skapa bättre förutsättningar för uppgradering med mera.

Bland de konsekvenser som teknikutvecklingen kan innebära är bland annat att människan kan få en mer tillbakadragen roll till följd av den ökande automatiseringen, att det blir allt svårare att undgå upptäckt genom ett ökande antal sensorer av många olika typer och att verkan kan ges över stor yta.

Sannolikt kommer inslaget av civila produkter i militära materielsystem att öka samtidigt som behovet av flexibilitet och att lätt kunna byta och uppdatera moduler i dessa system sannolikt också kommer att bli allt viktigare. Och det kommer alltid (eller åtminstone under så lång tid framåt som vi vågar sia om) att finnas områden inom vilka det behöver finnas militär specialkompetens och förmåga att ta fram specifika lösningar för militära behov. Det kan gälla vissa plattformssystem som ubåtar men det kan i ännu högre grad gälla system för tele- eller cyberkrigföring och system som kan vara sårbara för attacker från sådana. Med andra ord behöver det fortsatt finnas militärspecifik kompetens inom områden med höga sekretesskrav.

Militära produkter har ofta särskilda krav på tillförlitlighet, robusthet och säkerhet. De måste kunna fungera i många olika miljöer, vara pålitliga utöver de krav som normalt kan ställas på civila produkter och (helst) kunna motstå olika sorters motverkan. Hur löses detta på en i huvudsak civil marknad? Det kommer sannolikt att kräva kunskap och innovationsförmåga inom försvarssektorn, för att finna de lovande tillämpningarna och anpassa dem för de militärspecifika behoven.

Mycket talar också för att det är när teknikområden samverkar med varandra som effekterna blir särskilt stora, det vill säga det kan vara då som de disruptiva tillämpningarna blir verklighet.

Teknikutvecklingen kan också innebära nya geostrategiska balanser. I dagsläget är USA dominerande inom merparten av de nya teknikområden till vilka intresse knyts, som AI, autonomi, hypersoniska system, kvantteknologi och bioteknologi, men framförallt Kina utmanar och satsar stort och brett med ambition att bli världsledande inom många områden. Ryssland har också ambitioner och satsar inom områden som AI, autonomi och hypersoniska system samtidigt som man fortsätter satsningar på till exempel telekrigföring och mikrosvågsvapen. Det kan också bli svårt att begränsa spridningen av sådan ny teknik som inte kräver en stor aktörs resurser. Vi ser redan idag att obemannade flygande plattformar av olika typ (drönare) används av alla typer av aktörer i dagens konflikter, må det vara stater eller rebellgrupper.

I rapporten analyseras också, på en relativt översiktlig nivå, vilken påverkan teknikutvecklingen kan få inom den militära sektorn. Det finns till exempel stora utmaningar vad gäller försvarets hela utvecklings- och produktionsprocess. Andra aspekter som tas upp är bland annat de traditionella plattformarnas vara eller inte vara, den framtida operationsmiljön och om själva krigets natur överlever framtiden.

En faktor som här också måste övervägas är om etiska och folkrättsliga aspekter av en del av de nya teknikområdena kommer att vara så dramatiska att det kommer att resas allt större krav på begränsningar, regleringar och förbud och kanske inte bara för militära tillämpningar. Kommer detta i så fall att vara något som omfattar alla aktörer eller kommer olika etiska ramverk skapa obalanser där vissa aktörer kan tillåta det andra inte kan tillåta, till exempel autonomt beslutsfattande utanför områden som egen-skydd för plattformar.

En central del av rapporten är hur vi ska förhålla oss till teknikutvecklingen. Vad behöver vi göra – verksamhet, processer – för att nyttiggöra möjligheter och möta hot som teknikutvecklingen kan ge upphov till.

För att kunna leverera bästa möjliga försvarsförmåga behöver den svenska försvarssektorn bygga nätverk med civila aktörer inom forsknings- och utvecklingsverksamhet (FoU) – företag, universitet och högskolor. Försvarssektorn behöver ha förutsättningar för att följa utvecklingen inom viktiga teknikområden där man inte kommer att kunna bedriva en konkurrenskraftig forskning. Detta kommer bland annat att innebära stora delar av material-, energi- och bioteknologiområdena. Syftet är här att ha tillräcklig förståelse för att ta till sig och analysera den forskning och utveckling som sker, det vill säga bedöma vad som kan vara relevant för

försvaret, och att kunna vara en kompetent beställare av materiel till försvaret.

Vad kommer då teknikutvecklingen att innebära för det framtida samhället. Det finns risker, men också en stor positiv potential för mänskligheten. Eller, som Andrew McAfee och Erik Brynjolfsson skriver om vår digitala framtid:

Ultimately, we have an optimistic vision for the future. The next few decades could and should be better than any other that humans have witnessed so far. This is not a prediction; it's a possibility and a goal. No single future is predetermined. Just as individuals can chart their own courses, so can companies, and so can a society.¹¹⁶

¹¹⁶ McAfee, A. och Brynjolfsson, E., Machine, Platform, Crowd: Harnessing our digital future, W.W. Norton & Company Ltd, 2017.

Bilaga 1 – Viktiga teknikområden ur olika aktörers perspektiv

Inledning

I denna bilaga kommer underlag från olika källor att diskuteras. Det finns mycket sådant underlag då det under senare tid gjorts många försök att förstå vad teknikutvecklingen kan innebära både civilt och militärt i framtiden och vilka teknikområden som kommer att vara särskilt intressanta utifrån de tillämpningar de möjliggör. Syftet med denna diskussion är att dra slutsatser om vad inom teknikutvecklingen som den svenska försvarssektorn kan behöva satsa egna forskningsmedel på eller behöver följa den civila utvecklingen av.

En realitet är att försvarssektorn på intet sätt kan konkurrera med den civila forskningen inom hajpade områden som AI, autonomi och bioteknologi utom inom mycket specifika delområden som inte är av civilt intresse. Det handlar alltså mer än någonsin om att satsa sina pengar rätt.

Först kommer en kort genomgång av den av Försvarsmakten finansierade forskningen att göras, med en diskussion av de satsningar som gjorts på nya områden på senare år. Därefter sker en översiktlig genomgång av forskningen och verksamheten inom EU – med fokus särskilt på den europeiska försvarsbyrån (*European Defence Agency*, EDA) och den planerade europeiska försvarsfonden (*European Defence Fund*, EDF) – och NATO – främst verksamheten inom Natos forskningsorganisation (*Science & Technology Organization*, STO), *Office of the Chief Scientist* (OCS) och *Allied Command Transformation* (ACT). Efter detta sker en genomgång av andra dokument som tar upp viktiga teknikområden. Bland annat tas dokument från USA, Kanada, Australien, Italien och Norge upp.

Sverige

Försvarsmaktens forskningsverksamhet är indelad i så kallade FoT-områden, där F står för forskning och T för teknikutveckling. Forskningsdelen utförs i huvudsak av Totalförsvarets forskningsinstitut (FOI), medan T-delen i huvudsak hanteras av Försvarets materielverk (FMV). Delar av FoT-verksamheten ligger dock på utförare som Förvarshögskolan (FHS) och Karolinska institutet (KI).

FoT-verksamheten delas in i följande områden¹¹⁷:

- Militära professionen
- Försvarsmedicin
- Samverkansprogrammet (innehåller bland annat militär elektronikutveckling, material- och produktionsteknik och autonomi och obemannade system)
- Program för forskningsskanning och teknisk prognos
- Ledning och MSI
- Sensorer och signaturanpassning
- Undervattensteknik
- Vapen och skydd
- Telekrig
- Flygsystem
- Rymdsystem
- Marksystem
- Sjösystem
- Operationer i cybermiljön
- Program för underrättelse- och säkerhetstjänst
- Temaområden (bland annat specialoperationer)
- Forsknings- och teknologitransfer

Operationer i cyberdomänen och programmet för underrättelse- och säkerhetstjänst är relativt nystartade för att ta om hand forskningsbehov inom dessa områden. Områdena rymdsystem, marksystem och sjösystem är under initiering.

Under senare år har även ny verksamhet startats inom ramen för befintliga FoT-områden, bland annat inom expansiva områden som AI och autonomi. Så även om organisationen av forskningen på ytan kan se relativt oförändrad ut sker det hela tiden förändringar i det faktiska innehållet.

¹¹⁷ Listan är baserad på ”Inriktning av Försvarsmaktens forskning och utveckling 2021-2025 (IFoU 21)”, FM2019-15634:2, 2020-01-27. Därigenom är även de tre områdena rymdsystem, marksystem och sjösystem, vilka för närvarande är under initiering, med på listan. Innehållet inom de existerande områdena utvecklas givetvis också med tiden.

Inom programmet forskningsskanning och teknisk prognos tas underlag om teknikutvecklingen fram av FOI (forskningsskanning) och FMV (teknisk prognos). Därutöver genomför FHS inom detta program värdering av den tekniska utvecklingens bidrag till militär förmåga.

FoT-strukturen håller på att ses över och som framgår ovan planeras områden för rymdsystem, marksystem och sjösystem. Utöver de områden som nämns ovan har även ett FoT-område för militär operationsanalys inrättats.

Här behöver det också framhållas att två viktiga forskningsområden – CBRN och säkerhetspolitik – till sina huvuddelar finansieras av anslag från regeringskansliet istället för via Försvarmaktens FoT-beställningar.

Det bör också noteras att verksamhet kan initieras som enskilda beställningar utanför FoT-strukturen, till exempel för att påbörja verksamhet inom nya områden.

I en FOI-rapport från 2017 diskuteras följande teknikområden¹¹⁸:

- Additiv tillverkning
- Cyber
- HPM (High Power Microwave)
- Hypersoniska system
- Informationsteknologi
- Laser
- Obemannat/Autonoma system
- Plattformer (mark, sjö, luft)
- Rymden
- Signaturanpassningsteknik (SAT)
- Soldatsystemet

Denna rapport syftade inte till att vara heltäckande utan tog upp ett antal områden viktiga för Försvarmakten. Under 2020 utgavs en uppdaterad och utvecklad version av denna där teknikbeskrivningarna breddats och

¹¹⁸ Kindvall, G. och Wiss. Å. (red.), Militärteknik i ett tjugoförårigt perspektiv – Underlag till Försvarmaktens Perspektivstudie 2017, FOI-R--4462--SE, november 2017.

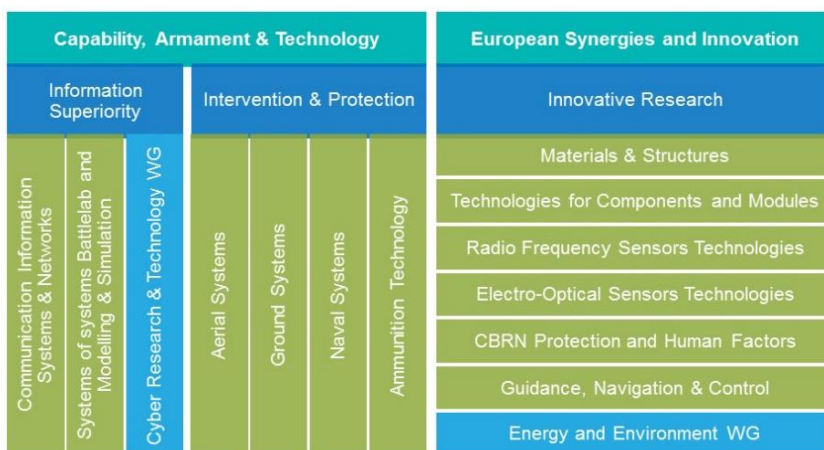
fördjupats och följande nya områden har tillförts¹¹⁹:

- Kvantteknologi
- Mänsklig förstärkning
- Distribuerade liggare
- Kärnvapen

Beskrivningar och analyser av teknikutvecklingen genomförs som en kontinuerlig verksamhet till stöd för Försvarmaktens långsiktiga planering.

EU

Inom Europeiska försvarsbyrån (*European Defence Agency*, EDA) finns en struktur för forskningssamarbete inom så kallade *Capability Technology Areas* (CapTech-områden). Figur 3 nedan visar vilka områden som finns.



Figur 3. CapTech-områden. Källa: <https://www.eda.europa.eu/what-we-do/our-current-priorities/research-technology>. De bägge grupper som hanterar *Energy and environment* respektive *Cyber research & technology* är formellt *working groups* (WG) och inte CapTech-grupper.

Här kan särskilt noteras att indelningen i figur 3 tydligt ger plats för de klassiska plattformsområdena (*Ground Systems*, *Naval Systems*, *Aerial Systems*). Enligt ovan kommer nu även dessa områden tydligare att återspelas i den av Försvarmakten finansierade svenska försvarsforskningen.

¹¹⁹ Kindvall, G. och Lindberg, A. (red), *Militärteknik 2045 – Ett underlag till Försvarmaktens perspektivstudie*, FOI-R--4985--SE, november 2020.

I övrigt kommer det dock att kvarstå tydliga skillnader i skärning mellan den svenska strukturen och den hos EDA.

Under 2016-2017 genomfördes projektet OSRA (*Overarching Strategic Research Agenda and CapTech SRAs Harmonisation*) av ett europeiskt konsortium under ledning av FOI, där även nederländska TNO, tyska Fraunhofer INT och spanska Isdefe ingick. Projektet syftade till att skapa en likartad process för framtagning av CapTech-områdenas interna forskningsstrategier och även till att ta fram en metod för att identifiera och beskriva så kallade *Technology Building Blocks* (TBB:er). Dessa TBB:er är teknikpaket som kan bidra till en eller flera militära förmågor. Varje CapTech fick i uppdrag att beskriva cirka 10 TBB:er och dessa skulle sedan värderas av medlemsländerna med en metod och kriterier beskrivna av OSRA-projektet.

Ett av de motiv EDA hade för att utlysa detta uppdrag var att dessa TBB:er skulle kunna vara lämpliga förslag på utlysningar inom det stora försvarsforskningsprogram (*European Defence Fund*, EDF), som enligt plan ska starta 2021.¹²⁰ Ett annat motiv var att skapa likartad struktur och arbetssätt för de olika CapTech-områdena, vilkas forskningsstrategier tidigare var mycket varierande både i omfattning och i kvalitet. Sedan dess har arbete genomförts med att uppdatera både CapTech-områdenas forskningsstrategier och de föreslagna TBB:erna med den av OSRA-projektet föreslagna metoden.

Utöver arbetet ovan genomförde OSRA-projektet också en omfattande genomgång av dokument som beskriver framtida teknikutveckling, bland annat med syfte att uppdatera EDA:s forskningstaxonomi.¹²¹

En av de aktiviteter som genomfördes av projektet var en intern enkät som skickades till tekniska experter i de fyra deltagande organisationerna och följdes upp i en workshop. Efter workshopen fanns en lista med nästan 200 intressanta teknologier. Detta material klustrades och från detta identifierades 10 intressanta teknikkluster. Dessa var:

- Soldatsystemet
- Obemannade/autonoma system
- Material

¹²⁰ I någon utsträckning har det redan startat genom de förberedande utlysningar som genomförts inom det så kallade *Preparatory Action for Defence Research* (PADR) under de senaste åren.

¹²¹ Bland de källor som utnyttjades var CapTech-gruppernas egna underlag, en intern enkät till tekniska experter hos de deltagande organisationerna (FOI, TNO, Fraunhofer INT och Isdefe), nationella behov uttryckta i nationella inriktningsdokument (från bland annat Frankrike och Spanien) och ett antal andra dokument från de senare åren som fanns tillgängliga för de deltagande organisationerna eller EU eller via internet.

- Samverkande system
- CBR/försvarsmedicin
- Smygteknik ("stealth") och motmedel mot detta
- Data
- Rymd
- Cyber
- Energi

I samband med uppdateringen 2018 av den långsiktiga delen av EU:s för-
mågeutvecklingsplan (*Capability Development Plan*, CDP) identifierades
följande tolv nyckelteknologier i tidsperspektivet 2035:¹²²

- Artificiell intelligens
- Mänsklig förbättring ("human enhancement technologies")
- Sensorer
- Autonoma system ("autonomous systems, including manned-
unmanned teaming")
- Nanoteknologi
- Syntetiska miljöer ("synthetic environments, virtual reality and
augmented reality")
- Smarta/komplexa material
- Satelliter och pseudosatelliter
- Additiv och avancerad tillverkning
- Elektromagnetiska vapen och telekrigföring
- Kommunikationssystem
- Energigenerering och -lagring

I ett dokument utgivet av Europeiska försvarsbyrån (EDA) i juni 2019
presenteras tankar om möjliga kluster av kritiska försvarsteknologier.¹²³
Bland dessa finns autonomi, nya kommunikationssystem, försvarsrele-
vanta aspekter av "big data" och molntjänster, nya material och strukturer,

¹²² Dokumenterat i "Exploring Europe's capability requirements for 2035 and beyond: Insights from the 2018 update of the long-term strand of the Capability Development Plan", RAND Europe, juni 2018.

¹²³ Food for thought paper in view of a scoping paper for the research dimension of the European Defence Fund (R-EDF), EDA201906015, 7 juni 2019.

avancerade sensorer, signaturanpassningsteknik, energiteknik med flera. Dokumentet tar också upp kluster av potentiella framtida disruptiva teknologier, till exempel sensorer och data; samverkan människa-maskin och AI; påverkan och kampen om narrativet; globalisering av teknologi och modularisering av system; förstärkning av mänsklig förmåga.

Det europeiska centret för hantering av hybridhot (Hybrid CoE, *the European Centre of Excellence for Countering Hybrid Threats*) har genomfört en serie workshopar med inriktning *Hybrid Warfare: Future and Technology* (HYFUTEC). I ett dokument publicerat den 12 september 2019 tas följande teknologier upp¹²⁴:

- 5G
- Additiv tillverkning
- Artificiell intelligens
- Autonoma system
- Bioteknologi
- Molntjänster ("cloud computing")
- Kommunikationsteknik
- Cyberförmåga
- Laservapen
- Distribuerade liggare
- Utökad verklighet ("Extended reality", XR)
- Hypersoniska system
- Sakernas internet ("Internet-of-things", IoT)
- Mikroelektronik
- Nanomaterial
- Nukleär modernisering
- Kvantteknologi
- Rymdteknik
- Sensorer överallt ("ubiquitous sensors")

¹²⁴ Thiele, Ralph, *Hybrid Warfare – Future & Technologies Horizon Scan & Assessment*, Inspiration Paper No. 2, 12 September 2019, Helsinki

Nato

Inom ramen för Nato finns en struktur för samverkan inom forskning och teknikutveckling – *NATO Science and Technology Organization (STO)*. Syftet är att stödja och genomföra forskning och informationsutbyte, samt i övrigt sammanhålla frågeställningar avseende forskning och teknikutveckling. Aktiviteterna inom NATO STO är uppdelade i sex paneler och en grupp. Dessa är:

- Tillämpad fordonsteknik (*Applied Vehicle Technology Panel, AVT*)
- Humanfaktorer och medicin (*Human Factors and Medicine Panel, HFM*)
- Informationssystem (*Information Systems Technology Panel, IST*)
- Systemanalys och studier (*System Analysis and Studies Panel, SAS*)
- Systemkoncept och integration (*Systems Concepts and Integration Panel, SCI*)
- Sensorer och elektronik (*Sensors and Electronics Technology Panel, SET*)
- Modellering och simulering (*NATO Modelling and Simulation Group, NMSG*).

Det praktiska arbetet genomförs av arbetsgrupper inom ramen för någon av dessa paneler/grupper ovan för att lösa specifika uppgifter under en begränsad tid.

Under senare år har det satsats alltmer resurser på att förstå konsekvenserna av teknikutvecklingen för militär förmåga, det vill säga om ny teknik kan möjliggöra nya och bättre sätt att generera militär förmåga och lösa militära uppgifter. Många av de tekniskt inriktade aktiviteterna inom Natos forskningsorganisation har under de senaste åren handlat om NATO STO:s tre temaområden: AI och ”big data”, autonomi, samt strid i urban terräng. Att förstå teknikens inverkan, särskilt i komplexa framtida miljöer, är ett uttalat fokus för Natos analytikersamfund.

Utöver verksamheten inom Natos forskningsverksamhet ovan så genomförs arbete såväl för att förstå omvärldsutvecklingen – *Strategic Future Analysis (SFA)*¹²⁵ och *Framework for Future Alliance Operations (FFAO)*¹²⁶, bägge sammanhållna av *Allied Command Transformation*

¹²⁵ Strategic Foresight Analysis (SFA), Nato, oktober 2017, <http://www.act.nato.int/futures-work>. (Besökt 2021-02-27)

¹²⁶ Framework for Future Alliance Operations (FFAO), Nato 2018, <https://www.act.nato.int/futures-work>. (Besökt 2021-02-27)

(ACT) – som arbete med att identifiera teknikutvecklingstrender av intresse för Nato.^{127,128} I den rapport om tekniktrender som utgavs 2017 lyftes områdena i tabell 1 fram. Som synes av tabellen har de placerats i tre olika tidsperspektiv efter när de bedöms kunna ge disruptiv förmåga på militära operationer eller förmåga. För varje område listas trender, möjligheter, utmaningar, möjliga tillämpningar inom försvar och säkerhet och referenser.

Tabell 1. Lista över teknikområden indelade efter det tidsperspektiv då de kan förväntas ge disruptiva tillämpningar för militära operationer eller förmåga.

Kort sikt (<6 år)	Medellång sikt (6-20 år)	Lång sikt (>20 år)
Additiv tillverkning	Avancerade material	Artificiell intelligens
Everywhere computing	Blandad verklighet (mixed reality)	Elektromagnetisk dominans
Prediktiv analys	Sensorer överallt	Hypersoniska fordon
Sociala medier		Soldatsystem
UAV:er		

En workshop som genomfördes inom ramen för Natos arbete med tekniktrender 2018 resulterade i följande teknikkluster¹²⁹:

- Autonoma system och motmedel mot dessa
- Förstärkning av den mänskliga förmågan
- Datorutveckling
- Tillämpningar av AI
- Säker kommunikation
- Sensorer
- Material och tillverkning

¹²⁷ Tech Trends Report 2017: Empowering the Alliance's Technological Edge, NATO Science and Technology Organization (STO), https://www.nato.int/nato_static_fl2014/assets/pdf/pdf_topics/20180522_TTR_Public_release_final.pdf. (Besökt 2021-02-27)

¹²⁸ Science & Technology Trends 2020-2040 – Exploring the S&T Edge, Nato, mars 2020, https://www.nato.int/nato_static_fl2014/assets/pdf/2020/4/pdf/190422-ST_Tech_Trends_Report_2020-2040.pdf. (Besökt 2021-02-27)

¹²⁹ Kindvall, G. och Savage, S., Att plantera ett träd – Erfarenheter från Natos Tech Trends Workshop 27-28 februari 2018, FOI Memo 6376, 2018-03-27. Utöver dessa fanns kluster som beskrev kultur och etik. Med kultur avsågs här hur samhället ser på tekniken, dess användning och effekter.

- Energi
- Rymd
- Nya vapentechniker
- Miljö
- Etik
- Kultur

För de 10 översta av dessa områden (alla utom miljö, etik och kultur) framställdes sedan så kallade *ability cards* som kort beskriver möjliga applikationer av teknik inom respektive område. Dessa applikationsbeskrivningar användes sedan i en andra workshop i Mons i Belgien i maj 2018, vilken syftade till att bedöma hur ny teknik kan påverka framtida militära operationer.¹³⁰

Natos senaste tekniktrendsrapport utgavs våren 2020.¹³¹ I rapporten listas följande ”Emerging and Disruptive Technologies”:

- Big Data and Advanced Analytics
- Artificial Intelligence
- Autonomous Systems
- Quantum Technologies
- Space Technologies
- Hypersonic Weapons
- Biotechnology & Human Enhancement
- Novel Materials and Manufacturing

En intressant aspekt i rapporten är analyser av synergien som uppstår när två eller flera områden samverkar. Det är just när olika teknologier möts eller samverkar som de kanske bästa förutsättningarna för disruptiva tillämpningar skapas. Det är en intressant och viktig aspekt som måste genomsyra forskningssamfundet, det vill säga vi behöver skapa förutsättningar för

¹³⁰ För vart och ett av teknikområdena skapades nio *ability cards*. Dessa diskuterades sedan inom ramen för två scenarier. Upplägget var att en Blå och en Röd grupp först separat analyserade hur de kunde dra nytta av de nya förmågorna och vilka begränsningar dessa hade i situationen, varpå en konfrontation mellan de bägge gruppernas analyser genomfördes. Några resultat från workshopen finns ännu inte tillgängliga.

¹³¹ Science & Technology Trends 2020-2040 – Exploring the S&T Edge, Nato, mars 2020, https://www.nato.int/nato_static_fl2014/assets/pdf/2020/4/pdf/190422-ST_Tech_Trends_Report_2020-2040.pdf. (Besökt 2021-02-27). Denna ersätter och kompletterar den tekniktrendsrapport som gavs ut 2017.

olika forskningsområden att mötas och utforska gränser, överlapp med mera.

I september 2018 rapporterade *NATO Allied Command Transformation* (ACT) ett arbete som syftade till att öka förståelsen för möjligheter och utmaningar för långsiktig förmågeutveckling.¹³² Arbetet genomfördes tillsammans med USA, Storbritannien, Tyskland och Frankrike. Rapporteringen identifierar viktiga teman som påverkar förmågeutvecklingen, bland dem att kunna exploatera och motverka disruptiv teknik, att infoga AI i en struktur av sensorer, beslutsfattare och vapen, att nyttiggöra kombinationer av människor och ”maskiner” och att koppla ihop system för att kunna dela data.

Bland utmaningar för förmågeutvecklingen lyfts att uppnå ”mass effect”, att bygga adaptiva markförband som både kan uppträda utspritt med låg signatur och samlas för att ge koncentrerad effekt, att nyttiggöra robotik och autonoma system, att bygga ett flexibelt ledningssystem, att behöva verka över större avstånd, förstärkning av mänsklig förmåga och verksamhet i cyber- och rymddomänerna.

USA

I november 2017 publicerade *Office of the Deputy Assistant Secretary of the Army (Research & Technology)* i USA rapporten “*Emerging Science and Technology Trends: 2017-2047 – A Synthesis of Leading Forecasts*”.¹³³ De rapporter som denna rapport bygger på är från perioden 2012-2017. I rapporten identifieras 10 särskilt intressanta teknikområden som bedöms påverka den amerikanska armén under de kommande 30 åren. Dessa är:

- Robotik, artificiell intelligens och automation
- Avancerade material och tillverkning
- Energiproduktion, -skörd, -lagring och -distribution
- Biomedicinsk vetenskap och mänsklig förstärkning
- Kvantdatorer
- Blandad verklighet och digital efterapning (till exempel AR, VR, röstsyntes)

¹³² Future Capability Development Initiative, 5000/TSC-FPP0010/TT-0069/Ser:0576, 10 September 2018.

¹³³ Emerging Science and Technology Trends: 2017-2047. A Synthesis of Leading Forecasts, Office of the Deputy Assistant Secretary of the Army (Research & Technology), November 2017, <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/AD1043071.pdf>. (Besökt 2021-02-27)

- Teknik för mat- och vattensäkerhet
- Syntetisk biologi
- Rymdteknik (till exempel kommersiella rymdresor och antisatelitvapen)
- Teknologier för anpassning till klimatförändringar (till exempel geoengineering)

För vart och ett av dessa områden presenteras bland annat möjliggörande forskning och teknikutveckling, signaler på framsteg samt potentiell påverkan området kan ha på olika sektorer (socialt, politik, ekonomi, miljö, försvar).

Sammantaget är detta en intressant sammanställning där de inte bara fokuserar på sådan teknologi som direkt kan bidra till de övergripande operativa förmågorna utan också på sådant som på ett mer indirekt sätt kan förebygga konflikter (tillgång till mat och vatten, teknik för att hantera klimatförändringarna).

Följande tio teknikområden prioriterades i USA:s nationella försvarsstrategi 2018:

- Hypersoniska system
- Riktad energi
- Ledning och kommunikation
- Rymd – offensiv och defensiv förmåga
- Cybersäkerhet
- AI/maskininlärning
- Missilförsvar
- Kvantvetenskap
- Mikroelektronik
- Autonomi¹³⁴

¹³⁴ Mitre, Acquisition in the digital age, <https://aida.mitre.org/top-10-technology-areas/>. (Besökt 2021-02-27)

Samma områden presenterades också som prioriterade av USA vid en av den amerikanska OA-organisationen MORS (*Military Operations Research Society*)¹³⁵ anordnad konferens om AI och autonomi vid *Johns Hopkins Applied Physics Laboratory* i Laurel utanför Washington D.C. den 12-14 februari 2019.¹³⁶

I mars 2019 skickade DARPA ut en inbjudan till innovativa småföretag inom 10 teknikområden som i huvudsak är desamma som ovan. Detta genomfördes inom ramen för de program som går under namnet *Small business innovation transfer* (SBIR) och *Small business technology transfer* (STTR).¹³⁷ Skillnaden mot områdena ovan var att ledning inte nämndes utan bara kommunikation, att missilförsvar inte fanns med och att modernisering av kärnvapenförmågan istället ingick.¹³⁸

En nyare lista som publiceras på hemsidan för amerikanska försvarsdepartementets *Chief Technology Officer* (som också är *Under Secretary of Defense for Research and Engineering*) har med 9 av de 10 listade områdena ovan. Det som saknas är även här missilförsvar. Listan kompletteras med bioteknologi och 5G och innehåller således 11 områden.¹³⁹

Ett sista exempel från USA är den lista på *Potential Game Changers* född ur det *Mad Scientist Laboratory* som drivs av den amerikanska armén.¹⁴⁰ Den finns i två tidsperspektiv, se tabell 2.

¹³⁵ MORS (Military Operations Research Society) är en amerikansk organisation för operationsanalytiker. Den grundades 1966 och organiserar symposier och andra möten, ibland med mer än tusen deltagare. MORS ger även ut tidskrifterna PHALANX och Military Operations Research, se <https://www.mors.org>. (Besökt 2021-02-27)

¹³⁶ Kindvall, G. och Brändström, S., Sammanfattning av MORS-konferens om AI och autonomi, FOI Memo 6714, 2019-05-07. Listan på teknologier presenterades av Ms. Mary J. Miller, Principal Deputy to the Director of Defense Research and Engineering for Research and Technology, Office of the Undersecretary of Defense for Research & Engineering (OUSD R&E).

¹³⁷ Dessa program beskrivs på följande sätt: "The United States Congress created the SBIR program in 1982 and the STTR program in 1992. These programs congressionally require eligible governmental agencies to set aside a percentage of their extramural budget so that domestic small businesses can engage in R&D that has a strong potential for technology commercialization." Mer om dessa program finns på <https://sbir.nih.gov/about/what-is-sbir-sttr>. (Besökt 2021-02-27)

¹³⁸ Mitre, Acquisition in the digital age, <https://aida.mitre.org/top-10-technology-areas/>. (Besökt 2021-02-27)

¹³⁹ Office of the Under Secretary of Defense for Research and Engineering, <https://www.cto.mil/modernization-priorities/>. (Besökt 2021-02-27)

¹⁴⁰ Den senaste versionen finns på <https://community.apan.org/wg/tradoc-g2/mad-scientist/b/weblog/posts/potential-game-changers-636015157>. (Besökt 2021-02-27)

Tabell 2. Potentiella spelförändrande teknologier enligt den amerikanska arméns Mad Scientist Laboratory i tidsperspektiven 2035 och 2050.

2035	2050
Swarms/Semi-autonomous	Rail guns
Computing	Directed energy weapons
Cyber	Energetics
Logistics/additive manufacturing	Power
Electronic warfare	Synthetic biology
Advanced ATGM & MANPADS	Information environment
Chemical weapons	
Artificial intelligence	
Internet of things	
Camouflage, cover, concealment, denial, deception	
Space	
Cannon/rocket artillery	
Missiles	

Denna lista uppdateras regelbundet och den ovan återgivna listan är daterad 25 juli 2019.

I den amerikanska försvarsbudgeten för 2021 görs stora satsningar på fyra teknikområden: 5G, inhemsk produktion av avancerad mikroelektronik, AI samt övervakningssystem för hypersoniska missiler.¹⁴¹

¹⁴¹ Samtal med Bengt-Göran Bergstrand om den senaste amerikanska försvarsbudgeten/FY 2021, våren 2020.

Övrigt

I en presentation från kanadensiska DRDC vid ett Nato-möte i Paris i mars 2020 angavs följande nyckelteknologier för försvar och nationell säkerhet:

- Digital disruption
- Sensorteknologier
- 5G och därefter
- Kvantteknologi
- Rymdteknik
- Nya plattformar
- Robotik och autonoma plattformar
- Avancerade material och tillverkning
- Nya energetiska material
- Hypersoniska vapen och fordon
- Riktade energivapen
- Avancerade kraft- och energilösningar
- Förstärkta människor

För vart och ett av dessa områden listas möjliggörande teknologier, tillämpningar/konsekvenser och potentiella problem eller begränsningar. För digital disruption är till exempel maskininlärning, blockkedjor, VR, IoT med flera möjliggörande teknologier medan algoritmkrigföring, påverkansaktiviteter, molnbaserade tjänster med flera är tillämpningar/ konsekvenser. Problem/begränsningar är till exempel lag och etik, brist på standardiserade dataformat och tillgången till pålitliga datakällor.

Som synes finns visst överlapp mellan dessa teknikområden. Kvantssensorer är till exempel både sensorteknologier och kvantteknologi, autonoma plattformar både nya ("emerging") plattformar och autonoma plattformar och så vidare.

Australiens försvarsdepartement lyfter följande teknologiområden¹⁴²:

- Rymdförmågor
- Integrerad ISR
- Förstärkt mänsklig förmåga

¹⁴² Presentation vid Nato-möte i Paris i mars 2020.

- Avancerade sensorer, hypersoniskt och riktade energiförmågor
- Kvantteknologi
- Multi-disciplinär materialvetenskap
- Pålitliga autonoma system
- Medicinska motmedel
- Cyber

Detta bedöms vara områden inom vilka man behöver satsa resurser på forskning och utveckling.

I ett dokument från det italienska försvarsdepartementet 2018 lyfts följande områden¹⁴³:

- Artificiell intelligens
- Framtidens soldatsystem
- Autonoma system
- C4I
- Nanoteknologi
- Energiteknik
- Industri 4.0 och nya tillverkningsparadigm
- Kvantteknologi
- Utveckling av cybernetik (evoluzione delle capacità cibernetiche)
- Medicintekniska innovationer
- Flyg- och rymdteknik

På en övergripande nivå är strategin att kombinera Natos ”credible”, ”networked”, ”aware”, ”agile” och ”resilient” med de egna ”efficaci”, ”efficienti”, ”economicamente sostenibili”, ”eticamente allineate” och ”energeticamente neutre” (”5E strategico”). Här kan särskilt noteras att ekonomi, etik och hållbarhetstänkande inom energi är tre av de fem bärande principerna.

I en rapport från norska *Forsvarets forskningsinstitutt* (FFI) från våren 2020 presenteras tekniktrender som kan ge disruptiv påverkan på kort,

¹⁴³ ”Duplice uso e Resilienza”, Documento, di integrazione concettuale, delle linee programmatiche del dicastero, Edizione 2018, Ministero della difesa.

medellång respektive lång sikt.¹⁴⁴ På kort sikt lyfter rapporten fram additiv tillverkning, *everywhere computing*, prediktiv analys och stora datamängder samt obemannade flygande plattformar. På medellång sikt bedöms följande teknikområden kunna ge disruptiv påverkan: autonoma system och team av bemannade och obemannade system, avancerade/smarta material, syntetiska miljöer och immersiv teknik (VR/AR/XR), sensorer överallt, portabel teknik för gensekventiering för fältbruk, syntetisk biologi, satelliter och pseudosatelliter, energigenerering och -lagring samt hypersoniska system. I det långa perspektivet tillkommer följande teknikområden: artificiell intelligens, kvantteknologier och kvantdatorer, elektromagnetisk dominans samt teknik för förstärkning av soldatens förmåga. I en annan nyligen publicerad rapport från FFI om samhällssäkerhet finns också ett kapitel om teknikutveckling, vilket tar upp följande teknikområden¹⁴⁵:

- Kommunikationsteknologi (5G)
- Informationsteknologi och molnbaserade tjänster
- Artificiell intelligens och stora datamängder
- Sakernas internet (IoT)
- Robotar och autonoma system
- Rymdteknik och rymdbaserade tjänster
- Kvantteknologi
- Syntetisk biologi

Utifrån detta diskuteras sedan vad en djup digital transformation av samhället kan innebära ur ett säkerhetsperspektiv.

Sammanfattande slutsatser

På en övergripande nivå finns det stora likheter mellan de teknikområden som lyfts fram i både civilt och militärt inriktade teknikanalyser. Det går också att referera till många andra dokument som lyfter fram ungefär samma områden som de som tagits upp i denna bilaga. Detta ligger också i linje med att vi kan förvänta oss att vi i högre grad kommer att behöva

¹⁴⁴ Andås, H., Emerging technology trends for defence and security, FFI-rapport 20/01050, 7 april 2020.

¹⁴⁵ Sellevåg, S. R. m.fl., Samfunnssikkerhet mot 2030 – utviklingstrekk, FFI-rapport 20/00530, <https://publications.ffi.no/nb/item/asset/dspace:6641/20-00530.pdf>. (Besökt 2021-03-04)

utnyttja civil teknik även i militära system. I många dokument lyfts följande teknikområden fram som de som anses vara de viktigaste och de med störst potential att vara disruptiva:

- Informations- och kommunikationsteknologi (inkluderar AI, autonomi, IoT, distribuerade liggare, cyber med flera)
- 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 detta, och som specifikt för försvarsområdet, lägga även utvecklingen av nya vapenteknologier som laser, HPM och hypersoniska vapen. De senare är egentligen inte nya, men förutsättningarna för att uppnå en del av de sedan tidigare uppskrivna förväntningarna förbättras nu snabbt.

Det kan invändas att detta i hög grad fokuserar på de områden som just nu bedöms ”heta” och att man därmed tappar de områden som av tradition, hotaspekter eller integritetsskäl behöver vara en del av försvarsforskningen såväl idag som i framtiden. Sådana områden är till exempel telekrigföring och CBRN. För CBRN-området kommer utvecklingen inom bioteknikområdet att möjliggöra nya kvalificerade hot som vi behöver kunna förstå, upptäcka och motverka. Kärnvapen kommer också att kvarstå i de stora kärnvapennationernas arsenaler och kanske också bli ett alternativ för andra aktörer. Det måste därför hanteras som ett fortsatt möjligt hot.

Det kan också invändas att förslaget på sju områden ovan tappar bort motmedelsaspekten. Försvarsteknologi är en ständig duell mellan medel och motmedel, vilket till exempel är skälet till att telekrigföring är både viktigt och integritetskritiskt. Å andra sidan kan man se områdena ovan som inkluderande både medels- och motmedelsaspekter inom sina respektive domäner.

Dessa teknikområden beskriver också den teknologiska basen för de ”plattformsinriktade” områdena soldat, rymd, mark, sjö och luft.

Det är viktigt att notera 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 eller autonoma system. Det kan vara just i kombinationen mellan

flera teknikområden som de sant disruptiva utvecklingsstegen kommer att tas. Framtida försvarsforskning måste därför bedrivas på ett sätt som gör att teknikområdena möts och forskning kring tillämpningar som kombinerar forskningsgenombrott inom flera forskningsområden uppmuntras. Detta ställer krav på en organisation som är tillåtande mot utbyte och samverkan men inte mot stuprörstänkande.

Bilaga 2 – Beskrivning av teknikområden

Inledning

Det är viktigt att följa teknikutvecklingen för att se var möjligheter och hot uppstår. Samtidigt finns det ett antal teknikområden som vi vet kommer att få stor påverkan i framtiden och som vi behöver förstå, förhålla oss till och sannolikt implementera i försvaret. Det är också viktigt att förstå att det kanske inte är i enskilda teknologier utan i kombinationer av dessa som de mest intressanta operativa tillämpningarna kan uppstå. Utifrån litteraturnomgången som görs i bilaga 1 identifierades ett antal sådana teknikområden som enskilt eller i kombinationer med andra områden kommer att få tillämpningar inom de närmaste decennierna. Dessa är:

- Informations- och kommunikationsteknologi (inkluderar AI, autonomi, IoT, distribuerade liggare, cyber)¹⁴⁶
- Materialteknologi (inkluderar additiv tillverkning)
- Bioteknologi (inkluderar förstärkning av den mänskliga förmågan på allehanda sätt, syntetisk biologi, medicinsk teknologi med mera)
- Energiteknologi
- Sensorteknologi
- Kvantteknologi
- Nya vapentechniker (inkluderar laser, HPM, hypersoniska vapen med flera)

Dessa teknikområden presenteras nedan. Valet av dessa områden baseras dels på att det är teknikområden som, om de fortsätter att utvecklas, kommer att påverka Försvarmakten som helhet eller vissa funktioner påtagligt, dels på att Försvarmakten i sin långsiktiga planering bedömt dem som intressanta. Detta intresse delas, som både kapitel 2 och bilaga 1 visar, av andra stater och organisationer.

Syftet här är inte att ge fördjupade tekniska beskrivningar av alla dessa områden utan snarare att ge en översiktlig bild av hur de utvecklas och

¹⁴⁶ Till exempel autonoma system är givetvis beroende också av annan teknikutveckling, men informations- och kommunikationsteknologi kommer att vara en central möjliggörare för dessa system.

vilken betydelse de kan få i framtiden. I detta ingår också att diskutera möjliga tillämpningar de kan få inom främst det militära försvaret. De flesta av dessa områden är också beskrivna i andra rapporter.¹⁴⁷

Informations- och kommunikations- teknologi

Informations- och kommunikationsteknologi är ett gigantiskt område som i dessa tider utgör grunden för den digitalisering som tar nya steg hela tiden. Drivande i detta är utvecklingen av alltmer kvalificerade system – datorer kommunikationssystem, informationssystem med mera – och med tiden blir alltmer kvalificerade systemlösningar möjliga genom maskininläring och ytterst artificiell intelligens (AI). Samtidigt innebär utvecklingen att allt större mängder data kommer att samlas in och behöva lagras. Data krävs också för träning av maskininlärande system och AI. Utvecklingen av 5G, och under tiden fram till 2050 säkert några ytterligare generationer nät, möjliggör överföring av alltmer data snabbare.

När det gäller de allt större datamängder som samlas in börjar även energi-behovet för de datacenter som lagrar data att diskuteras. Alltmer energi går åt till detta. Dessutom ökar den volym som behövs för lagringen snabbt. Det senare gör att man letar efter nya sätt att lagra data. En intressant metod vore att kunna använda syntetisk DNA, vilket teoretiskt skulle kunna packa större mängder data i mindre volymer. Ett första test i mycket liten skala har beskrivits, men eventuella tillämpningar ligger långt fram i tiden.¹⁴⁸

Artificiell intelligens (AI)

Sedan 1950-talet har mycket stora resurser satsats på datorutveckling, såväl statligt som kommersiellt. Stora genombrott har skett inom både hård- och mjukvara. Som en följd av dessa satsningar har utvecklingen inom informations- och kommunikationsteknologiområdet (IKT) gått mycket snabbt under de senaste decennierna, till exempel fördubblades datorkapaciteten under lång tid i snitt var 18:e-24:e månad, det som brukar kallas för ”Moore’s lag”. Nu är uppfattningen att Moore’s lag snart kan ha spelat ut sin roll i och med att miniaturiseringen har gått så långt att nya icke önskvärda kvantmekaniska egenskaper börjar göra sig gällande.

¹⁴⁷ Se till exempel Kindvall, G. och Lindberg, A. (red), Militärteknik 2045 – Ett underlag till Försvarsmaktens perspektivstudie, FOI-R--4985--SE, november 2020.

¹⁴⁸ Takahashi, C. N., Nguyen, B. H., Strauss, K. och Ceze, L., Demonstration of end-to-end automation of DNA data storage, Scientific reports 9, 21 mars 2019, <https://www.nature.com/articles/s41598-019-41228-8>. (Besökt 2021-02-27)

Det finns dock många nya innovativa idéer för framtidens datorer – bland annat användning av elektronens spinn som informationsbärare, kvanttransistorer/kvantdatorer, nya material som grafen eller system som bygger på biologiska principer.¹⁴⁹ Troligen kommer det att krävas något av ett paradigmskifte för att fortsätta den snabba ökningen av datorkapaciteten.^{150,151}

Något som redan finns och som tros få ett stort genomslag i en nära framtid är så kallade digitala assistenter, det vill säga att vi kan tala med datorer, mobiltelefoner och andra uppkopplade system. Detta kommer med all sannolikhet att öka användbarheten av dessa system i vardagen och kanske göra tekniken tillgänglig för fler människor. Vid Googles utvecklar-konferens I/O våren 2018 demonstrerades digitala assistenter som kunde genomföra bokningar av frisör- och restaurangbesök och därvid föra samtal med människor och anpassa sina svar till det människorna säger.¹⁵² Bakom detta ligger mycket forskning inom maskininlärning, röstigenkänning och datalingsvistik.¹⁵³

Under de senaste åren har datorer klarat av alltmer kvalificerade uppgifter, genom att allt bättre inlärningsalgoritmer utvecklats. Under 2016 uppmärksammades det till exempel stort att Googles mjukvara AlphaGo lyckades vinna över en världsmästare i Go. Utvecklingen av inlärningsmetoder som ”deep learning” möjliggör system som blir alltmer kompetenta och kommer allt närmare en fullt utvecklad artificiell intelligens (AI). Vi ser en utveckling från maskiner som utför rutinmässiga uppgifter till maskiner som kan lära sig uppgifter allt bättre och hitta nya sätt att utföra dem. Även

¹⁴⁹ MIT-forskare har byggt en fungerande processor av kolnanorör, Ny Teknik 2 september 2019, <https://www.nyteknik.se/premium/mit-forskare-har-byggt-en-fungerande-processor-av-kolnanoror-6970052>. (Besökt 2021-02-27). Artikeln beskriver att forskare vid MIT byggt en 16-bitars mikroprocessor med 14 000 transistorer som tillverkats av kolnanorör i stället för kisel.

¹⁵⁰ Technology Quarterly, After Moore’s law, The Economist, mars 2016, <http://www.economist.com/technology-quarterly/2016-03-12/after-moores-law>. (Besökt 2021-02-27)

¹⁵¹ Rotman, D., We’re not prepared for the end of Moore’s Law – It has fueled prosperity of the last 50 years. But the end is now in sight, MIT Technology Review, februari 2020, <https://www.technologyreview.com/2020/02/24/905789/were-not-prepared-for-the-end-of-moores-law/>. (Besökt 2021-02-27)

¹⁵² Smith, D., 15 mind-blowing announcements Google made at its biggest conference of the year, 9 maj 2018, <https://www.businessinsider.com/google-io-announcements-highlights-2018-5?r=US&IR=T>. (Besökt 2021-02-27)

¹⁵³ ”De har knäckt Turing-testet – är vi körda nu?”, Ny Teknik, 29 maj 2018, <https://www.nyteknik.se/kronikor/de-har-knackt-turing-testet-ar-vi-korda-nu-6917206>. (Besökt 2021-02-27)

ett spel som poker, där det förekommer dold information och där bluffar är en del av strategin, har dagens AI lärt sig hantera.¹⁵⁴

Fortfarande är dock människan överlägsen datorerna vad gäller förmåga till abstrakt tänkande, att lösa helt nya typer av problem, att känna empati och att fatta känslomässiga moraliska beslut som inte alla gånger behöver vara logiska.

Forskning inom neurala nätverk har visat på kraftigt förbättrade möjligheter till inlärning, mönsterigenkänning och beslutsfattande. Vi ser idag tillämpningar av AI inom ett flertal områden: förarlösa fordon, röntgen-diagnostik, finansmarknader, med mera.¹⁵⁵

AI-baserade system blir allt bättre på att identifiera bildobjekt. Dock har det också visats hur system baserade på djupinlärning med bara en enkel störning av en bild (som inte ger någon skillnad för det mänskliga ögat) kan fås att tro till exempel att en skolbuss är en struts.¹⁵⁶ En central fråga här är att lösa problemen med validering och verifiering, att till exempel förstå varför AI-systemet feltolkar en bild. Där finns fortfarande mycket att göra och det är också centralt för att bygga tillit till systemen.¹⁵⁷ Man talar här om behovet av så kallad ”explainable AI”, det vill säga en AI som kan förklara vad den ser eller föreslår. Detta är viktigt för att kunna verifiera, validera och ackreditera AI-baserade system.

Det finns mycket skrivet om AI och maskininlärning, men för en inledande översikt kan hänvisas till en skrift från brittiska *Defence Science and Technology Laboratory* (Dstl)¹⁵⁸, en presentation av Dr. Tim Sweijs för *The Committee on Foreign Affairs and the subcommittee on Security and Defence of the European Parliament*¹⁵⁹ och en presentation vid en workshop om militär användning av AI, automation och robotik inom ramen för det multinationella samarbetet *Multinational Capability Development*

¹⁵⁴ Se till exempel Brown, N. och Sandholm, T., Superhuman AI for heads-up no-limit poker: Libratus beats top professionals, *Science*, vol 359, sid 418-424, 26 januari 2018, <https://science.sciencemag.org/content/359/6374/418.full>. (Besökt 2021-02-27)

¹⁵⁵ Vad AI kan innebära för samhället beskrivs i *Livet med AI*, Stiftelsen för strategisk forskning, SSF-rapport nr 29, 2018, <https://strategiska.se/app/uploads/livet-med-ai.pdf>. (Besökt 2021-02-27)

¹⁵⁶ Gershgorn, D., Fooling The Machine – The Byzantine science of deceiving artificial intelligence, *Popular Science* 30 mars 2016, <https://www.popsoci.com/byzantine-science-deceiving-artificial-intelligence>. (Besökt 2021-02-27)

¹⁵⁷ Detta diskuterades under en konferens i om AI och autonomi i USA i februari 2019. Se Kindvall, G. och Brändström, S., Sammanfattning av MORS-konferens om AI och autonomi, FOI Memo 6714, 2019-05-07.

¹⁵⁸ Defence Science and Technology Laboratory, UK MOD, 2019, *The Dstl Biscuit Book – Artificial Intelligence, Data Science and (mostly) Machine Learning*, <https://www.gov.uk/government/publications/the-dstl-biscuit-book>. (Besökt 2021-02-28)

¹⁵⁹ Sweijs, T., *Artificial Intelligence and its Future Impact on Security*, Bruxelles, 10 October 2018, <https://hcss.nl/report/testimony-tim-sweijs-artificial-intelligence-and-its-future-impact-security>. (Besökt 2021-02-28)

Campaign (MCDC).¹⁶⁰ Intressant kan också vara den rapport från *US Congressional Research Service* som beskriver möjliga användningsområden och utmaningar för AI såväl som de internationella konkurrenter som finns till USA inom området.¹⁶¹

Artificiell intelligens brukar delas in i tre klasser:

- Smal AI (*Artificial Narrow Intelligence, ANI*): Maskiner med en förmåga att inom ett specifikt område vara bättre (snabbare, effektivare, noggrannare) än en människa. Exempel är datorer avsedda för att spela schack eller go, eller för att klara specifika komplexa vägval.
- Generell AI (*Artificial General Intelligence, AGI*): Maskiner som är jämbördiga med människan i att förstå, analysera och lösa allmänna problem.
- Super-AI (*Artificial Super Intelligence, ASI*): Maskiner som övertrumfar människan inom de flesta områden.

Vi befinner oss idag i ANI men omfattande forskning världen över strävar mot att komma till AGI. Den allmänna uppfattningen var tidigare (10-20 år tillbaka) att vi redan idag skulle vara i AGI men det har visat sig svårt att realisera maskiner med den ”medvetandegrad” som förmodligen behövs.

En generell AI ligger således sannolikt fortfarande minst några årtionden in i framtiden.¹⁶² Många ser också stora risker förknippade med denna utveckling.¹⁶³ Det skapas initiativ för att göra att tillämpningar av AI blir till nytta för mänskligheten. Ett antal forskare inom AI-området skrev till exempel i ett öppet brev 2015 att:

Starting a military AI arms race is a bad idea, and should be prevented by a ban on offensive autonomous weapons beyond meaningful human control.¹⁶⁴

¹⁶⁰ Boury-Brisset, A-C., *Military Uses of Artificial Intelligence – AI Techniques and Technologies, Military AI Applications, AI Governance and Management Principles, Multinational Capability Development Campaign (MCDC), Workshop on Military ses of AI, Automation and Robotics*, 30-31 October 2019.

¹⁶¹ *Artificial Intelligence and National Security*, uppdaterad 10 november 2020, Congressional Research Service, R45178, <https://crsreports.congress.gov/product/pdf/R/R45178>. (Besökt 2021-02-28)

¹⁶² Se till exempel Tegmark, M. *Liv 3.0: Att vara människa i den artificiella intelligensens tid*, Volante, 2017.

¹⁶³ Se till exempel Bostrom, N., *Superintelligens: Vägar, faror, strategier*, Fri Tanke förlag 2017, och *World Economic Forums Global Risks Report 2017*, http://www3.weforum.org/docs/GRR17_Report_web.pdf. (Besökt 2021-02-28). Detta är också ett viktigt skäl till att ett antal stora aktörer grundade *Partnership on AI*.

¹⁶⁴ *Future of life institute*, <https://futureoflife.org/open-letter-autonomous-weapons/>. (Besökt 2021-02-28). Bland undertecknarna finns Stephen Hawking, Steve Wozniak, Elon Musk och Max Tegmark.

Detta visar på en oro inom forskarkretsar om vad AI-tekniken kan möjliggöra.

Om och när vi uppnår ASI är det närmast omöjligt att svara på men en ASI-nivå skulle innebära enorma möjligheter både civilt som militärt. Vissa forskare varnar till och med för riskerna att datorerna ”tar över”.

När det gäller tillämpningar av AI finns det mängder av potentiella sådana. Bildigenkänning har redan nämnts och en av de frågor som ofta lyfts är ansiktsgenkänning. ”Microsoft will never sell facial recognition for surveillance” sa till exempel Microsoftchefen Brad Smith 2019.¹⁶⁵ Sådana system har dock börjat implementeras i bland annat Kina och Ryssland.¹⁶⁶ Kina har kanske gått längst inom detta område, med sådant som Huawei’s ”Safe city-koncept”¹⁶⁷ och det mycket omdebatterade poängsystemet (”social credit system”).¹⁶⁸ AI för att ställa diagnoser inom sjukvården är också ett intressant område, både utifrån förmågan att analysera bilder (till exempel röntgenbilder) och att sammanställa och analysera samlade data. I Estland tittar man till och med på möjligheterna att låta en AI döma i mindre mål i domstolarna.¹⁶⁹

¹⁶⁵ Reuters, 13 september 2019, <https://www.reuters.com/article/microsoft-smith/microsoft-will-never-sell-facial-recognition-for-surveillance-president-says-idUSL2N2640EX>. (Besökt 2021-02-28)

¹⁶⁶ Bendett, S., Moscow to Weave AI Face Recognition into Its Urban Surveillance Net, 14 maj 2019, <https://www.defenseone.com/technology/2019/05/moscow-weave-ai-face-recognition-its-urban-surveillance-net/156994/>. (Besökt 2021-02-28).

¹⁶⁷ Användandet av Safe city-konceptet har analyserats av Center for Strategic and International Studies (CSIS), se Hillman, J. E. och McCalpin, M., Watching Huawei’s ”Safe Cities”, CSIS, 4 november 2019, <https://www.csis.org/analysis/watching-huawei-safe-cities>. (Besökt 2021-02-26). CSIS identifierade 73 avtal från 52 länder. Majoriteten av länderna kunde karakteriseras som icke-liberala och mer än hälften av länderna var i Asien eller Afrika söder om Sahara.

¹⁶⁸ Donnelly, D., An Introduction to China’s Social Corporate Credit System, New Horizons, senast uppdaterad 28 januari 2021, <https://nhglobalpartners.com/chinas-social-credit-system-explained/>. (Besökt 2021-02-26). Systemet syftar till att ”ranka” människor och företag utifrån deras beteende och bedöma deras pålitlighet. Höga värden ger fördelar, medan låga värden ger nackdelar.

¹⁶⁹ Niiler, E., Can AI be a fair judge in court? Estonia thinks so, Wired, 25 mars 2019, <https://www.wired.com/story/can-ai-be-fair-judge-court-estonia-thinks-so/>. (Besökt 2021-02-28)

Tillämpningar av AI har även inkluderat att komponera musik¹⁷⁰, skriva text¹⁷¹, måla tavlor¹⁷², skriva pjäser¹⁷³ med mera. Det ses av många som skrämmande att AI även kan ”ta över” kulturutövning. Ännu mer skrämmande är nog dock generering av så kallade ”deep fakes”, det vill säga användning av teknik för djupinlärning (”deep learning”) för att generera falska händelser och budskap. Exempel är videor med politiker som säger oväntade saker.^{174,175}

Hur nätens positionsdata kan användas för att spåra personer eller visa på hur människor rör sig har visats under Covid-19-utbrottet våren 2020. I en tidig studie beskrivs hur detta genomförts i ett antal länder, bland annat Sydkorea, Kina och Israel.¹⁷⁶ En intressant fråga i detta sammanhang är hur nyttan i att kunna begränsa smittspridningen ska vägas mot integritetsaspekter, en annan om Covid-19 kan ha inneburit att gränserna för demokratiers användning av tekniska system för övervakning av sina medborgare har flyttats.

Möjliga militära tillämpningar av AI

Det finns mycket skrivet om möjliga försvarstillämpningar av artificiell intelligens. Till exempel skrivs i en FOI-rapport att

[...] AI-metodik med fördel skulle kunna implementeras i olika typer av tekniska stödsystem för användning av väpnade styrkor för att tillhandahålla stöd dels då

¹⁷⁰ Warner musik blev det första större bolaget att skriva ett avtal med en algoritm, se Warner Music signs first ever record deal with an algorithm, The Guardian, 22 mars 2019, <https://www.theguardian.com/music/2019/mar/22/algorithm-endel-signs-warner-music-first-ever-record-deal>. (Besökt 2021-02-28)

¹⁷¹ Vincent, J., OpenAI has published the text-generating AI it said was too dangerous to share, The Verge, 7 november 2019, <https://www.theverge.com/2019/11/7/20953040/openai-text-generation-ai-gpt-2-full-model-release-1-5b-parameters>. (Besökt 2021-02-28). Under sommaren 2020 släppte OpenAI en ny version av sin AI (GPT-3), se till exempel A robot wrote this entire article. Are you scared yet, human, The Guardian, 8 september 2020, <https://www.theguardian.com/commentisfree/2020/sep/08/robot-wrote-this-article-gpt-3>. (Besökt 2021-02-28)

¹⁷² En AI-genererad tavla såldes på auktion för 432500 USD i oktober 2018, se Is artificial intelligence set to become art’s next medium?, <https://www.christies.com/features/A-collaboration-between-two-artists-one-human-one-a-machine-9332-1.aspx>. (Besökt 2021-02-28)

¹⁷³ Artificiell intelligens har skrivit en pjäs helt på egen hand, Dagens Nyheter, 12 januari 2020, <https://www.dn.se/kultur-noje/artificiell-intelligens-har-skrivit-en-pjas-helt-pa-egen-hand/>. (Besökt 2021-02-28). Här använde man en programvara från OpenAI.

¹⁷⁴ Sample, I., What are deepfakes – and how can you spot them?, The Guardian, 13 januari 2020, <https://www.theguardian.com/technology/2020/jan/13/what-are-deepfakes-and-how-can-you-spot-them>. (Besökt 2021-02-28)

¹⁷⁵ Creative Bloq, 10 februari 2021, 12 deepfake examples that terrified and amused the internet, <https://www.creativebloq.com/features/deepfake-examples>. (Besökt 2021-02-28)

¹⁷⁶ Klimburg, A., Faesen, L., Verhagen, P. och Mirtl, P., Pandemic Mitigation in the Digital Age – Digital Epidemiological Measures to Combat the Coronavirus Pandemic, Hague Centre for Strategic Studies, mars 2020, <https://hcsc.nl/report/pandemic-mitigation-digital-age>. (Besökt 2021-02-27)

tiden är begränsad, dels då antalet valmöjligheter är alltför många för att människor ska kunna analysera alla alternativ.¹⁷⁷

De tillämpningar man studerade var etablering av gemensam lägesbild, förutsägelser av fiendens intentioner och analys av egna styrkors handlingsalternativ. I en annan rapport presenteras också idéer på användningsområden för AI. Dessa inkluderar bland annat målklassificering, avvikelsetekning, stöd för insatsplanering på taktisk och operativ nivå, intrångsdetekning, digitala assistenter för administrativt stöd till stabspersonal och autonomt marksensorsystem för spaning och övervakning.¹⁷⁸ I rapporten lyfts också ett antal utmaningar för genomförbarheten av förslagen. En sådan utmaning är bristen på data för träning av maskinlärningsalgoritmer, en annan kraven på prestanda, transparens och pålitlighet vid användning.

The European Centre of Excellence for Countering Hybrid Threats (Hybrid CoE) beskriver AI som en möjliggörare även för hybridkrigföring.¹⁷⁹ AI-teknik kan bland annat optimera användningen av begränsade resurser, i förväg analysera indikationer på framgång och hjälpa mänskliga analytiker att förstå motståndaren. Här lyfts också att den kommersiella sektorn leder utvecklingen och att försvaret därför till stor del kommer att vara beroende av den civila utvecklingen inom området och måste kunna anpassa den till sina egna behov.

En studie från nederländska *Hague Centre for Strategic Studies* (HCSS) analyserar hur AI utvecklats över tiden och vad AI kan innebära för det nederländska försvaret i framtiden.¹⁸⁰ Man lyfter också ett antal potentiella användarfall för AI – bland annat automatiska cyberoperationer¹⁸¹, måligenkänning, lägesbild, automatisk planering och resursallokering, erfarenhetsanalys och analys av alternativa möjligheter tidigt under förmågeutvecklingen.

¹⁷⁷ Brynielsson, J., Nilsson, M., Schubert, J. och Svenmarck, P., Artificiell intelligens för beslutsstöd i ledningssystem, FOI-R--4678--SE, december 2018, sida 3.

¹⁷⁸ Gustavi, T. et al., Försvarsnära tillämpningar av artificiell intelligens, FOI-R--4707--SE, januari 2019.

¹⁷⁹ Thiele, R., Hybrid CoE Working Paper 6, Artificial Intelligence – A Key Enabler of Hybrid Warfare, Hybrid CoE, 6 mars 2020, <https://www.hybridcoe.fi/publications/hybrid-coe-working-paper-6-artificial-intelligence-a-key-enabler-of-hybrid-warfare/>. (Besökt 2021-02-28)

¹⁸⁰ De Spiegeleire, S., Maas, M. och Sweijs, T., Artificial Intelligence and the Future of Defense – Strategic Implications for Small and Mediumsized Force Providers, The Hague Centre for Strategic Studies (HCSS), maj 2017, https://www.researchgate.net/publication/316983844_Artificial_Intelligence_and_the_Future_of_Defense. (Besökt 2021-02-28)

¹⁸¹ Användningen av AI inom ett dataangrepps olika faser diskuteras också i Zouave, E., Bruce, M., Colde, K., Jaitner, M., Rodhe, I. och Gustafsson, T., Artificially intelligent cyberattacks, FOI-R--4947--SE.

I en fransk rapport från 2019 betonar man i inledningen att AI inte är ett mål i sig utan istället ett medel för att hjälpa det militära försvaret att genomföra sina uppdrag.¹⁸² Man menar också att AI inte ännu hotar maktförhållanden och krigets natur. En förväntad snabb utveckling kan dock skapa situationer där en aktör kan använda AI för att upptäcka planerade överraskande attacker, paralysera ledningsförmågan och genomföra kvalificerade påverkans-/cyberoperationer mot en annan aktör. I dokumentet ges också ett antal förslag på hur man organisatoriskt ska hantera AI inom försvaret – inrätta en kommitté som särskilt ska hantera etiska aspekter avseende tillämpningar av AI inom den militära sektorn, bygga upp en pool av experter inom försvarsdepartementet, ta fram en tidplan för införande av AI inom försvaret, etablera en koordinationsenhet för AI inom det franska försvarets innovationsbyrå, bygga strategiska partnerskap med aktörer som bedriver spetsforskning inom AI och öka det internationella samarbetet inom området (särskilt inom Europa).

NATO Parliamentary Assembly publicerade i oktober 2019 en rapport om vad AI kan betyda för Natos väpnade styrkor.¹⁸³ Man beskriver att AI möjliggör snabbare beslut och aktioner och även kan öka kvaliteten i beslutsfattandet. Tillämpningar finns inom många försvarsrelevanta områden, till exempel C4ISR, cybersäkerhet/-försvar, telekrigföring, personalhantering, information och beslutsstöd, underrättelser, logistik, robotik/autonoma system och utbildning/övning. I dokumentet diskuteras också de osäkerheter som fortfarande finns om hur stor påverkan AI kan få i försvarstillämpningar. Vissa menar att AI kommer att ha en revolutionär inverkan genom att AI-baserade system konkurrerar ut system utan AI och de som har kvalificerade AI-system får stora fördelar gentemot andra; med människor längre från stridsfältet och många AI-baserade system kan den död och förstörelse som följer med militära konflikter bli mindre påtaglig och specifikt så för civilsamhället, vilket kan sänka tröskeln för krig; AI kan leda till obalans mellan potentiella motståndare och leda till ett "AI arms race"; vi kan hamna i en situation där det strategiska tänkandet görs av maskiner istället för människor. Andra är mer skeptiska till vad AI kan innebära och ser AI som en evolutionär fortsättning på informationsåldern och AI blir då ett sätt att hantera det som människor inte hinner eller kan göra, eller gör dåligt.

¹⁸² Artificial Intelligence in Support of Defence, Report of the AI Task Force, september 2019. Ministère des Armées,

¹⁸³ Tonin, M., Artificial Intelligence: Implications for NATO's Armed Forces, Science and technology committee, Sub-Committee on Technology Trends and Security (STCTTS), NATO Parliamentary Assembly, oktober 2019, <https://www.nato-pa.int/download-file?filename=sites/default/files/2019-10/REPORT%20149%20STCTTS%2019%20E%20rev.%201%20fin-%20ARTIFICIAL%20INTELLIGENCE.pdf>. (Besökt 2021-02-27)

I ett FOI Memo som beskriver möjligheter och utmaningar för Sveriges nationella säkerhet som kan resultera från AI skriver författarna att:

AI kan bli ett kraftfullt verktyg för att förbättra och utveckla förmågan hos en rad funktioner inom totalförsvaret. För Försvarmakten kan AI erbjuda kvalitets- och effektivitetsförbättringar gällande både analys av sensordata och hanteringen av komplexa lednings- och underrättelseoperationer.¹⁸⁴

Författarna diskuterar också de osäkerheter som finns med AI – till exempel transparensen hos systemen, att de kan fås att uppfylla målen utan bieffekter samt robusthet och stabilitet vid ändrade förutsättningar.

Kanske kan man se implementeringen av AI i flera steg. Det första kan då vara automatisering av övervakning och anomalidetektion. Nästa steg kan vara automatisering för ledning, till exempel genom informationsfusion, lägesbild och beslutsstöd. Därefter kan tekniken utnyttjas mer fullt ut i autonoma farkoster, för samverkan mellan människa och maskin med mera.

AI-system behöver tränas med data för att lära sig att utföra uppgifter. Tillgången till sådana träningsdata blir därför viktig. Parallellt pågår forskning kring hur och om AI kan tränas med mindre mängder data eller med en blandning av verkliga och syntetiska data. Ett system som behöver data för att tränas att göra rätt kan också riskera att utsättas för att ”omtränas” med falska eller ofullständiga data.

Autonoma system/robotar

Artificiell intelligens/maskininlärning är även en viktig grund för utvecklingen av obemannade och autonoma plattformar. Dessa kommer att kunna ha sensorer, system som kan bearbeta och tolka stora mängder data i realtid och förmåga att kommunicera med andra plattformar, men kan också vara utrustade med system för att störa och bekämpa mål. Potentiellt kan obemannade och autonoma plattformar utföra uppdrag på alla fysiska arenor.

Utvecklingen av fullt autonoma plattformar begränsas kanske främst av behovet av regelverk och av hur mycket kontroll människan kan släppa till dessa plattformar. Det är således kanske inte främst en teknisk fråga vilka militära tillämpningar autonoma plattformar kan få i framtiden. Lagar och etiska frågeställningar kan komma att ha stort inflytande på detta. Internationellt diskuteras begränsningar och flera stater har deklarerat att de alltid kommer att ha en människa med i loopen åtminstone vid vapeninsatser.

¹⁸⁴ Andersson, C., Gustavi, T. och Karasalo, M., Artificiell intelligens – möjligheter och utmaningar för Sveriges nationella säkerhet, FOI Memo 6749, augusti 2019, sida 2.

Civilt förväntas antalet obemannade och i förlängningen fullt autonoma fordon öka snabbt och ha potential att användas för många olika tillämpningar och, menar många, potentiellt till exempel kunna bidra till att färre människor behöver dö i trafikolyckor. Vid en konferens om AI och autonomi i USA våren 2019 diskuterades bland annat autonoma fordon och en åsikt som uttrycktes var att en uppmärksam mänsklig förare fortfarande är det säkraste och att en sådan kunnat undvika de olyckor som skett med autonoma fordon. De menade att det effektivaste, för att minska antalet trafikolyckor, är att få bort alkohol och användning av mobiltelefoner från trafiken.¹⁸⁵ En bil som kan ingripa om föraren inte är uppmärksam kan därför kanske vara ett intressant första steg i en utveckling som på sikt (kanske) kan leda till fullt autonoma fordon. Om denna utveckling sker civilt kommer liknande lösningar med stor sannolikhet även att införas i militära system. Kina har en plan för införande av självkörande bilar där målet är att hälften av alla nya bilar som säljs 2025 delvis ska ha självkörande teknik och att bilarna 2035 ska vara självkörande, kunna detektera hinder på en kilometers avstånd och ha en beslutskapacitet som överstiger människors.¹⁸⁶

Autonoma flygande plattformar – drönare – bedöms komma att ha många olika tillämpningar, även kommersiella sådana.¹⁸⁷ Detta skyndar också på behovet av regelverk.¹⁸⁸

Tyskland införde 2017 som första EU-land ett regelverk för autonoma fordon.¹⁸⁹ Utvecklingen av lagstiftning går framåt men i till exempel USA

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

¹⁸⁶186 Frick, A., Här är Kinas storslagna planer för självkörande bilar, Ny Teknik, 29 januari 2021, <https://www.nyteknik.se/premium/har-ar-kinas-storslagna-planer-for-sjalvkorande-bilar-7008758>. (Besökt 2021-03-04)

¹⁸⁷187 Kommersiella drönare kan till exempel få roller inom jordbruket, för byggnadsbranschen, för inspektioner av byggnader och annan infrastruktur m.m. De har även prövats för att leverera medicin till avlägsna områden. Se Technology Quarterly: Taking Flight, The Economist, 8 juni 2017, <http://www.economist.com/technology-quarterly/2017-06-08/civilian-drones>. (Besökt 2021-02-28). Andra potentiella tillämpningar kan vara leveranser, som kommunikationsreläer eller för att transportera människor.

¹⁸⁸188 USA:s Federal Aviation Administration (FAA) införde ett regelverk för drönare i augusti 2016 och arbetar med regler för trafikövervakning av drönare, se Technology Quarterly: Taking Flight, The Economist, 8 juni 2017, <http://www.economist.com/technology-quarterly/2017-06-08/civilian-drones>. (Besökt 2021-02-28). EU avsåg att införa gemensamma regler för drönare den 1 juli 2020. Detta har dock försenats av Covid-19-pandemin.

¹⁸⁹189 Enligt de regler som godkändes i Tyskland i juni 2017 måste det finnas en förare som vid behov kan ta över kontrollen från bilen, som dessutom måste utrustas med en svart låda som vid en olycka till exempel kan påvisa om det var föraren eller bilen som hade kontrollen. Se Burianski, M. och Theissen, C. M., Germany Permits Automated Vehicles, White & Case, 23 juni 2017, <https://www.whitecase.com/publications/article/germany-permits-automated-vehicles>. (Besökt 2021-02-28)

saknas fortfarande tydliga federala regler, medan många delstater har egna regelverk för den testverksamhet som pågår.¹⁹⁰

Robotar används redan idag för allt fler uppgifter. Förutom industrirobotar finns det robotar för att klippa gräs, dammsuga, putsa fönster med mera. Artificiell intelligens och robotik är grunder i den så kallade fjärde industriella revolutionen, där fabriken blir alltmer digitaliserade.¹⁹¹

Generellt har också ”humanoidliknande” robotars förmåga att klara hinder med mera utvecklats mycket på senare år. Ett exempel på ett sådant system är Atlas från Boston Dynamics.¹⁹² Vid tillverkning av denna används också additiv tillverkning, det vill säga 3D-utskrivna delar, för att hålla nere storlek och vikt.

Militärt finns det många möjliga tillämpningar av obemannade och autonoma plattformar i alla fysiska domäner och de används redan i dagens konflikter.¹⁹³

Exempel på militära uppgifter för obemannade och autonoma plattformar skulle kunna vara:¹⁹⁴

- ISTAR (Intelligence, Surveillance, Target Attack, Reconnaissance), till exempel som bärare av sensorer eller kommunikationslänkar.
- Som vapenbärare, antingen som ett av flera typer av uppdrag eller genom att utnyttja specifika plattformar avsedda för väpnad strid (exempelvis UCAV:er,¹⁹⁵ som kan bekämpa markmål).
- För telekrigföring, till exempel för att störa motståndarens kommunikationssystem och sensorer.

¹⁹⁰ Bayern, M., Autonomous vehicles: How 7 countries are handling the regulatory landscape, TechRepublic, 5 februari 2020, <https://www.techrepublic.com/article/autonomous-vehicles-how-7-countries-are-handling-the-regulatory-landscape/>. (Besökt 2021-02-28)

¹⁹¹ För en genomgång av drivkrafter bakom den fjärde industriella revolutionen och dess potentiella konsekvenser, se Schwab, Klaus, (2016), The Fourth Industrial Revolution, World Economic Forum.

¹⁹² Boston Dynamics, <https://www.bostondynamics.com/atlas>. (Besökt 2021-02-28). På <https://www.youtube.com/watch?v=QQni8Uz3Q0I> visas vad roboten klarar av att göra.

¹⁹³ Evolution of UAVs employed by Houthi forces in Yemen, Conflict Armament Research Ltd., London, februari 2020, <https://www.conflictarm.com/dispatches/evolution-of-uavs-employed-by-houthi-forces-in-yemen/>. (Besökt 2021-02-28)

¹⁹⁴ Kindvall, G. och Lindberg, A. (red), Militärteknik 2045 – Ett underlag till Forsvarsmaktens perspektivstudie, FOI-R--4985--SE, november 2020. I kapitlet om obemannade och autonoma plattformar i denna rapport finns fler exempel och en fylligare genomgång av områdets militära potential fram till 2045.

¹⁹⁵ Unmanned Combat Air Vehicle.

- För underhåll och logistik. Teoretiskt skulle stora delar av logistikkedjan kunna automatiseras. Obemannad Medevac (Medical Evacuation) är också en möjlighet.
- För röjning av minor och improviserade sprängladdningar, på land (UGV:er) eller i havsmiljö (USV:er eller UUV:er/AUV:er).¹⁹⁶

Vid den ovan nämnda amerikanska konferensen om AI och autonomi diskuterades också samverkan mellan människa och maskin. Den tidslinje som presenterades visade en satsning på maskinassisterade operationer i tidsperspektivet 2020-2030, medan team av bemannade och obemannade system ligger i perspektivet efter 2030. En stor utmaning var här att få stridskrafterna att nyttja tekniken och få fördelar av den.¹⁹⁷

En fråga är också sårbarheten hos framförallt autonoma system. AI är sårbara och kan både bli lurade och hackas. Enklare system i militära tillämpningar bedöms också vara sårbara för motverkan från såväl traditionella vapen (till exempel automatkanoner) som nyare vapentechnologier som laser och mikrovågsvapen (*High Power Microwave*, HPM).^{198,199} Ett skäl till det ökade intresset för vapentillämpningar av lasersystem och mikrovågsvapen är just att dessa bedöms ha potential för att till exempel bekämpa enkla drönarsvärmar. Se även avsnittet om nya vapentechniker nedan.

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.²⁰⁰ Striderna

¹⁹⁶ Unmanned Ground Vehicle (UGV), Unmanned Surface Vehicle (USV), Unmanned Underwater Vehicle (UUV), Autonomous Underwater Vehicle (AUV).

¹⁹⁷ Kindvall, G. och Brändström, S., Sammanfattning av MORS-konferens om AI och autonomi, FOI Memo 6714, 2019-05-07.

¹⁹⁸ Shmuel, S., The coming swarm might be dead on arrival, War on the rocks, 10 september 2018, <https://warontherocks.com/2018/09/the-coming-swarm-might-be-dead-on-arrival/>. (Besökt 2021-02-27)

¹⁹⁹ Pappalardo, J., The Air Force Is Deploying Its First Drone-Killing Microwave Weapon, Popular Mechanics, 24 september 2019, <https://www.popularmechanics.com/military/weapons/a29198555/phaser-weapon-air-force/>. (Besökt 2021-02-28). Mikrovågssystemet PHASER är tänkt att testas ett år (till december 2020) och det är tänkt att det ska kunna bekämpa drönare med en vikt på upp till ca 25 kg och en flyghöjd upp till ca 350-1000 meter.

²⁰⁰ Michaels, J., Iraqi forces now attacking ISIS militants with drones in Mosul, USA Today, 25 april 2017, <https://eu.usatoday.com/story/news/world/2017/04/25/united-states-technology-isis-drones-iraqi-forces-mosul/100851612/>. (Besökt 2021-02-28)

mellan olika fraktioner i Libyen har beskrivits som historiens största drö-narkrig.²⁰¹ Även i Jemen har obemannade plattformar använts.²⁰²

En osäkerhet vad gäller autonoma och obemannade system är de faktiska kostnaderna, se avsnitt 5.5.

Digitalisering

Samhället blir alltmer digitaliserat och allt fler ”saker” blir uppkopplade. Det så kallade sakernas internet (*Internet-of-things*, IoT) håller snabbt på att realiseras.²⁰³ Den globala mängden lagrad information nästan dubblas på två år och det är en utveckling som förväntas fortsätta. Det finns stora förväntningar på att antalet IoT-enheter kommer att växa snabbt, till kanske 50 miljarder eller fler 2030.²⁰⁴ Det är därigenom möjligt, eller kanske till och med sannolikt, att vi får en utveckling av IoT-funktioner även inom det militära området.

Många IoT-enheter kommer att ha sensorer som kan användas för analyser av till exempel flöden av varor och människor. Med allt fler uppkopplade enheter ökar också risken för cyberangrepp, speciellt som IoT-enheter kan förväntas innehålla enkla processorer och sensorer och därmed sakna kvalificerade skydd mot attacker. Sådana attacker har redan skett och fler kan förväntas ske.²⁰⁵

²⁰¹ Ohlsson, E., Toppmötet i Berlin ska förhindra att Libyen blir slagfält för stormakter, DN 18 januari 2020, <https://www.dn.se/nyheter/varlden/erik-ohlsson-nytt-toppmote-for-att-undvika-att-libyen-blir-slagfalt-for-stormakter/>. (Besökt 2021-02-28)

²⁰² Evolution of UAVs employed by Houthi forces in Yemen, Conflict Armament Research Ltd., London, februari 2020, <https://www.conflictarm.com/dispatches/evolution-of-uavs-employed-by-houthi-forces-in-yemen/>. (Besökt 2021-02-28)

²⁰³ Utvecklingen analyseras i Hedtjärn Swaling, V. och Malmberg Andersson, F., NCS3 Förstudie – Bortom sakernas internet, FOI-R--4643--SE, november 2018.

²⁰⁴ Number of internet of things (IoT) connected devices worldwide in 2018, 2025 and 2030, Statista, <https://www.statista.com/statistics/802690/worldwide-connected-devices-by-access-technology/>. (Besökt 2021-02-28). Det finns dock många olika prognoser om detta, till exempel att varje individ kommer att ha i genomsnitt 15 uppkopplade enheter 2030. Se Heslop, B., By 2030, Each Person Will Own 15 Connected Devices — Here's What That Means for Your Business and Content, 4 mars 2019, <https://www.martechadvisor.com/articles/iot-by-2030-each-person-will-own-15-connected-devices-heres-what-that-means-for-your-business-and-content/>. (Besökt 2021-02-28)

²⁰⁵ Den 21 oktober 2016 upplevde USA sin dittills största attack, som hade sitt ursprung i IoT-produkter, se Woolf, N., DDoS attack that disrupted internet was largest of its kind in history, experts say, TheGuardian, 26 oktober 2016, <https://www.theguardian.com/technology/2016/oct/26/ddos-attack-dyn-mirai-botnet>. (Besökt 2021-02-28)

Ett sätt att öka säkerheten kan vara genom blockkedjor, vilka kan komma att få betydelse för både cybersäkerhet och säkerheten vid digitala transaktioner. Blockkedjor är distribuerade databaser, där varje nod automatiskt verifierar ändringar och tillägg som görs på någon av de andra noderna.²⁰⁶

Digitaliseringen är en stor förändring av samhället och kommer att förändra förutsättningarna även för försvaret. Det amerikanska flygvapnet har reflekterat kring förutsättningarna för den militära materielförsörjningen i den digitala eran.²⁰⁷

Kommunikation

Kännetecknande för framtida (militär) kommunikation är att den kommer att behöva fungera i en bred, komplex och mycket dynamisk miljö. I och med att man med låga signalnivåer vill undgå upptäckt skapas också problem med interferenser och möjligheter till detektion av signaler. I en dynamisk miljö med snabba och rörliga förband behöver man snabbt kunna konfigurera om nät och säkerställa kommunikationsvägar. En utmaning här är också en effektiv undervattenskommunikation, nödvändig för att få ut full effekt av strid med system i samverkan i alla domäner.

Kommunikationsmöjligheter är kritiskt för förmågan att utöva ledning i en miljö med förband och resurser spridda över stora ytor. Kommunikation kommer att behöva ske mellan många noder, till exempel sensorer. Autonoma system kommer också att samla in, analysera och kommunicera stora mängder information.

Vi ser redan idag en utveckling mot snabba dynamiska kommunikationsnät som använder sig av små obemannade – och i vissa fall helt autonoma – drönare. Denna utveckling kommer med största sannolikhet att fortsätta och på sikt utgöra grunderna för framtida kommunikation åtminstone på taktisk nivå. Sådana system tas för närvarande fram av ett flertal länder, bland annat USA, Ryssland och Israel.

²⁰⁶ Dao, D. Q., How Emerging Blockchain Is Revolutionizing Cybersecurity, Tech Funnel, 12 april 2018, <https://www.techfunnel.com/information-technology/how-emerging-blockchain-is-revolutionizing-cybersecurity/#:~:text=%20How%20Emerging%20Blockchain%20Is%20Revolutionizing%20Cybersecurity%20,With%20blockchain%2C%20users%20can%20trace%20every...%20More%20>. (Besökt 2021-02-28). Se även Iansati, M. och Lakhani, K.R., The Truth About Blockchain, Harvard Business Review, Jan-Feb 2017, <https://hbr.org/2017/01/the-truth-about-blockchain>. (Besökt 2021-02-28). Ämnet behandlas även i kapitlet ”Distribuerade liggare” i Kindvall, G. och Lindberg, A. (red), Militärteknik 2045 – Ett underlag till Försvarsmaktens perspektivstudie, FOI-R--4985--SE, november 2020.

²⁰⁷Roper, 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 2021-02-27)

Laserkommunikation kan – under gynnsamma väderförhållanden och över begränsade avstånd – erbjuda mycket hög bandbredd och låg sannolikhet för upptäckt. Vid mycket långa avstånd kan laserkommunikation utnyttjas för länkning via satelliter. Laserkommunikation kombinerad med kvantnyckelteknik kan vara en väg att uppnå säker kommunikation.

Civilt knyts intresset till utveckling och införande av 5G och de möjligheter till snabbare och mindre störkänslig kommunikation detta kan innebära. Fram till 2050 bör ytterligare någon ny teknikgeneration passera inom kommunikationsområdet. Tekniken i 5G kan ge upphov vissa militära tillämpningar inom radiokommunikation och telekrigföring. I en FOI-rapport betonas att 5G kommer att bidra till mera redundans och ökad flexibilitet, till exempel kan snabba omkonfigureringar av nät bidra till ökad robusthet mot störning. Bland tekniker av militärt intresse nämns mjukvarudefinierade nät (*software defined networking*, SDN) och nya sätt att åstadkomma interferensundertryckning.²⁰⁸

Även om den civila kommersiella teknikutvecklingen avseende kommunikationssystem kommer att kunna nyttiggöras i militära tillämpningar, kommer det för vissa tjänster att behövas dedikerade militära kommunikationssystem. Krav och prestanda kommer även fortsättningsvis att vara markant olika för civila och militära system. För att en civil mobiltelefon skall kunna få kontakt med en basstation sänder den (åtminstone inledningsvis) med en relativt hög uteffekt och på frekvenser som är ungefärligen kända. Det är egenskaper som man vid militär kommunikation till varje pris vill undvika. Med den höga konkurrens som finns idag mellan mobiltelefonstillverkare och operatörer är det inte troligt att man i större omfattning satsar på civila mobiltelefoner med militära prestanda. Detta förväntas gälla även på längre sikt.

Ur telekrigssynpunkt skapar drönare goda möjligheter till kommunikationsstörning även på större avstånd på grund av längre avstånd till horisonten. Nackdelar med dessa sändande drönare är att de är lätta att upptäcka/detektera och att de har en begränsad uthållighet.

Artilleriutskjutna markstörsändare finns redan idag och kommer förmodligen att utgöra en viktig komponent i den framtida stormiljön mot telekommunikation. Dessa störsändare kan vara vilande under en längre tid och bara aktivt störa då så behövs. De är så pass små och lätta att även drönare kan användas för att distribuera dem.

Framtida militära operationer kan komma att involvera spridda grupper, robotar och mjukvara i en komplex och dynamisk miljö, till exempel i en

²⁰⁸ Asp, B., Axell, E., Eliardsson, P., Lindgren, T. och Nilsson, J., 5G-tekniker i militära tillämpningar – En skanning av området, FOI-R--4711--SE, december 2018. Se också Omvärld, Teknisk Prognos 2019, Försvarets Materielverk, 19FMV2507-9, november 2019.

större stad. För att kunna hantera denna miljö under korta tidsförhållanden kommer framtidens soldat att behöva ett taktiskt nätverk som är enkelt att använda, självorganiserande och självläkande.²⁰⁹

Människa/maskin

Gränssnittet mellan människa och maskin är ett område under snabb utveckling. Förstärkt verklighet (*Augmented Reality*, AR), virtuell verklighet (*Virtual Reality*, VR) och glasögon som bildskärmar är möjligt idag, projicering av bilder direkt på näthinnan och hjärna-dator-interface finns runt hörnet.

Utvecklingen inom VR/AR kommer att få stor betydelse för möjligheterna att tillsammans uppleva någonting utan att vara på plats fysiskt, till exempel i samband med utbildning och övning inför uppdrag. I Storbritannien håller man till exempel på att införa en VR-baserad träningsplattform.²¹⁰

På sikt kan maskiner och människor komma att bli i stort likvärdiga medlemmar i team. Här finns utmaningar exempelvis avseende uppgiftsfördelningen mellan människor och teknik. Det krävs också väl utformade och smarta gränssnitt för att människan ska kunna nyttiggöra och utöva kontroll över tekniken. På sikt kan samverkan bli alltmer integrerad.²¹¹

Cyberkrigföring och cybersäkerhet

Samtidigt som informations- och kommunikationsteknologi blir allt mer avancerad kommer också metoder och verktyg för cyber- och telekrigföring att utvecklas för att möta denna utveckling. Enklare teknik, som kommersiella drönare och IoT-system, kommer att vara sårbara för angrepp och därför ganska enkla att störa eller på annat sätt motverka. Även andra, mer kvalificerade, system kommer att kunna påverkas av cyber- eller telekrigangrepp.

Överhuvudtaget kan vi förvänta oss att de allt mer kvalificerade funktionaliteter som utvecklas inom området informationsteknologi också kommer att utnyttjas av antagonister som har ambitionen att påverka (störa eller förstöra) system som är väsentliga för samhället och/eller Försvarsmakten. Samtidigt måste vi kunna skydda egna system och vara säkra på att de

²⁰⁹ Potential Science and Technology Game Changers for the Ground Warfare of 2050: Selected Projections Made in 2017, US Army Research Laboratory, ARL-TR-8283, februari 2018, <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/1048402.pdf>. (Besökt 2021-02-28)

²¹⁰ Gaming technology trialled in training UK Armed Forces, UK MoD, 6 mars 2020, <https://www.gov.uk/government/news/gaming-technology-trialled-in-training-uk-armed-forces>. (Besökt 2021-02-28). Det testade systemet bygger på samma spelmotor som onlinespelet Fortnite.

²¹¹ Kindvall, G. och Brändström S., Sammanfattning av MORS-konferens om AI och autonomi, FOI Memo 6714, 2019-05-07.

fungerar. Detta är en förutsättning för att upprätthålla egen ledningsförmåga.

Utvecklingen inom cyberområdet kan också förväntas ske snabbt och i viss mån oväntat, där en trend kan gå från idé till fullt operativ lösning på mycket kort tid.²¹²

Cyberdomänen kommer sannolikt att bli än viktigare i framtiden och en domän där såväl stater och enskilda individer/grupper som helt autonoma system agerar. Kvalificerade och helt autonoma ”cyberterrorister” som agerar dygnet runt/året runt och som utnyttjar AI- eller maskininlärningsfunktionalitet är här en trolig hotbild.^{213, 214} Om motståndaren automatiserar angreppen måste vi automatisera försvaret.

Cyberkrigföring kan vara ett sätt för små aktörer att utmana även stater. Internet och sociala medier gör det också möjligt att uttrycka åsikter och hitta meningsfränder utan geografiska hinder, vilket kan bidra till ökad ”fraktionering”. Detta kan ge upphov till konflikter grundade i ideologiska eller andra motsättningar. Det är också möjligt att stater, för att undvika de risker det kan innebära att koppla upp sig globalt (och/eller för att begränsa informationsflödet för sina medborgare), bygger nationella nät istället för att använda Internet. Ett sådant exempel är Ryssland. En annan möjlighet är att EU eller andra inför regleringar (till exempel om certifiering av mjukvara) som kan påverka säkerheten positivt men innebär att det kan ta lång tid till exempel att certifiera ny mjukvara.²¹⁵

Då militära organisationer i de flesta fall till del kommer att behöva förlita sig på funktionen hos samhällets infrastruktur blir ett hot som slår mot relativt sett sämre skyddade system än de egna ett hot även mot Försvarsmakten. Cyberförsvar och cybersäkerhet blir därför en fråga för hela totalförsvaret och egen aktiv förmåga kan vara ett verktyg för att skydda den egna infrastrukturen.

Slutkommentarer

Det finns en enorm potential för användning av ny informations- och kommunikationsteknologi i försvarstillämpningar, till exempel för beslutsstöd,

²¹² Intervju med FOI forskningsområdesföreträdare för cyber (Teodor Sommestad), 13 december 2018.

²¹³ The Malicious Use of Artificial Intelligence: Forecasting, Prevention, and Mitigation, February 2018, <https://static.rasset.ie/documents/news/2018/02/ai-report.pdf>. (Besökt 2021-02-28). Rapporten är framtagen av Future of Humanity Institute, University of Oxford, Centre for the Study of Existential Risk, University of Cambridge, Center for a New American Security, Electronic Frontier Foundation och OpenAI.

²¹⁴ Zouave, E., Bruce, M., Colde, K., Jaitner, M., Rodhe, I. och Gustafsson, T., Artificially intelligent cyberattacks, FOI-R--4947--SE.

²¹⁵ Intervju med FOI forskningsområdesföreträdare för cyber (Teodor Sommestad), 13 december 2018.

i obemannade eller autonoma plattformar, i cybertillämpningar och i nya kommunikationssystemlösningar. Tillämpningar av informations- och kommunikationsteknologi kommer att finnas i och stödja i princip alla framtida försvarssystem.

AI-system kommer i närtid att kunna bistå människor i hantering av stora datamängder ("big data") och till exempel vid identifiering av avvikelser i dessa. Tillämpningar av AI kommer att finnas i de flesta framtida system och AI kommer att kunna stödja beslutsfattare med förslag och analyser av handlingsalternativ. I en mer avlägsen framtid kommer vi kanske inte ens att reflektera kring att systemet (genom artificiell intelligens och tillgång till för människan oöverblickbara mängder av data) ger oss genomtänkta beslut med handlingsalternativ och risker.

Materialteknologi

Det finns stora förväntningar på betydande genombrott inom materialteknologin under de närmaste decennierna. Utvecklingen kan komma att möjliggöra material med ökad hållfasthet, minskad vikt, ökad förmåga till nedbrytbarhet, nya egenskaper (optiska, termiska, elektriska), minskad korrosion, möjlighet att upptäcka defekter eller som till och med kan vara "självläkande".

Ett område som det talas en hel del om är så kallade "smarta material", där man via ingenjörskonst skapar kontrollerade egenskaper hos ett specifikt material. Ett exempel skulle kunna vara att bygga in larmfunktioner hos ett material så att det larmar vid ökad fuktighet eller tryck. Med sådana material skulle det i framtiden kunna vara möjligt att skapa kläder som kan larma om personal befinner sig i en riskfylld miljö.

Ett annat intressant område är så kallade metamaterial. Dessa kan böja (manipulera) ljus, ljud och annat som utbreder sig i vågform. De baseras på principen att vara konstruerade så att de är mindre än våglängden för den vågform de påverkar.²¹⁶

Ett av de områden som det finns stora förväntningar på är nanoteknologi. Utvecklingen inom detta område kan få stor påverkan, till exempel ökar möjligheten att manipulera material på atom- och molekylnivå förutsättningarna att åstadkomma de eftersträvade egenskaper som nämns ovan, exempelvis ökad hållfasthet. Nanoteknologin kan också vara en väg mot

²¹⁶ Metamaterials: A whole new world, Material District, 9 april 2014, <https://materialdistrict.com/article/metamaterials-new-world/#moved>. (Besökt 2021-02-28)

att fortsätta utvecklingen mot allt bättre datorprestanda.²¹⁷ Nanoteknologin förväntas även få stora konsekvenser inom bioteknik- och energiområdena, inom det senare exempelvis genom att möjliggöra effektivare solceller och att öka kapaciteten för superkondensatorer.²¹⁸

Det finns även många andra intressanta materialtekniska utvecklingar, som biomimetiska material (efterliknar naturen), grafen²¹⁹ och nya och smarta textilier. Framtidens textilier kan till exempel komma att kunna värma eller kyla sin bärare efter behov.²²⁰

I slutrapporten från FOI-projektet ”Signaturmaterial 2017-2019” presenteras en översyn av utvecklingen inom materialtekniken och den potentiella militära nyttan denna kan ge vad gäller signaturanpassning.²²¹ Bland områden som tas upp är spektral design, biomimetik och radarabsorberande material.

Den svenska försvarssektorn bedriver i dagsläget bara forskning inom vissa nischer inom materialområdet, men områdets enorma framtidspotential innebär att en bredare förståelse för civilt driven forskning behöver byggas upp samtidigt som en spaning efter sådana innovationer som kan ha militär tillämpning, till exempel genom att minska signatur eller ge samma skydd för mindre vikt, behöver bedrivas. I ett sådant syfte genomförde Chalmers Industriteknik ett arbete där man identifierade ett antal materialområden med möjlig framtida potential inom försvarssektorn.²²² De föreslog även en process för att följa utvecklingen inom materialområdet. Tanken med denna process är att den ska kunna rulla år efter år, med en successivt utvidgad databas över materialområdet och analyser av allt fler delområden. Detta, och det fortsatta arbete som startats inom området, diskuteras i mer detalj i avsnitt 6.4.

²¹⁷ Technology Quarterly, After Moore’s law, The Economist, mars 2016, <http://www.economist.com/technology-quarterly/2016-03-12/after-moores-law>. (Besökt 2021-02-27)

²¹⁸ Demming, A., Supercapacitors empower sustainable energy storage, Nanotechnology, vol. 27, nr. 25, maj 2016, <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/0957-4484/27/25/250201>. (Besökt 2021-02-28)

²¹⁹ Karlsson, L. H., Resesammanställning: Grafen-relaterade workshops och konferenser under 2019, FOI Memo 7011, 2020-01-29. Grafen är ett av de material som det finns stora förväntningar på, se till exempel Obminska, A., Grafen blir en nyckel till nästa generations batterier, Ny Teknik, 10 september 2019, <https://www.nyteknik.se/premium/grafen-blir-en-nyckel-till-nasta-generations-batterier-6970924>. (Besökt 2021-03-03)

²²⁰ Obminska, A., Ny textil avgör själv om du behöver värme eller kyla, Ny Teknik, 7 februari 2019, <https://www.nyteknik.se/innovation/ny-textil-avgor-sjalv-om-du-behoover-varme-eller-kyla-6947267>. (Besökt 2021-02-28)

²²¹ Karlsson, L. H. (red.), Signaturmaterial 2017-19: Slutrapport, FOI-R--4852--SE, december 2019.

²²² Johansson, C., Charpentier, S., Ek Weis, J., Chukharkin, M. och Theander, H., Material 2050, FOI-2018-708, Version 2.0, 19 mars 2019.

Additiv tillverkning (3D-skrivare) är en teknologi som har koppling till materialteknologi.²²³ 3D-skrivare ger möjlighet att enkelt och i princip var som helst producera komponenter från olika typer av pulvermaterial. Denna teknik förväntas få tillämpningar bland annat inom försvarslogistiken, innebärande exempelvis att det går att spara in på lagerhållning och transporter av reservdelar (men att man istället behöver föra med sig 3D-skrivare och pulver). Dessutom kan tekniken, när den mognat, komma att innebära snabbare utveckling från prototyp till operativt system och bättre ekonomi i produktion av små serier av produkter. Tekniken kan också förenkla justeringar mot hotbilden under en produktionsserie. Denna teknik kan även komma att nyttjas av små och irreguljära aktörer.

För närvarande studeras möjligheterna med additiv tillverkning i försvaret i fred, kris och krig såväl av enskilda nationer som inom organisationer som Nato och EU. USA, Norge och EDA har till exempel tagit fram containerbaserade system för additiv tillverkning.

System för additiv tillverkning finns redan idag och används inom tillverkningsindustrin, bland annat för framställning av mänskliga proteser och för delar inom flygindustrin, men också allt mer allmänt inom produktutveckling. Utvecklingen av tekniken drivs av civila tillämpningar inom den så kallade fjärde industriella revolutionen.²²⁴

3D-printning utvecklas också mot så kallad 4D-printning. Med 4D-printning menas att de material som skrivs ut har möjlighet att förändra sina egenskaper över tiden eller som ett svar på viss yttre stimulans.²²⁵

Nya material kan göra det möjligt att förse plattformar med lätta och tåliga material som dessutom kan sänka signaturen inom vissa våglängdsområden, soldater kan utrustas med uniformer av smarta textilier, reservdelar kan skrivas ut vid behov med hjälp av 3D-skrivare med mera.

²²³ Kindvall, G. och Lindberg, A. (red), Militärteknik 2045 – Ett underlag till Försvarsmaktens perspektivstudie, FOI-R--4985--SE, november 2020. I kapitlet om additiv tillverkning presenteras området översiktligt, tillämpningar av tekniken diskuteras, aktörer listas och påverkan på Försvarsmaktens grundläggande förmågor diskuteras.

²²⁴ Schwab, Klaus, (2016), The Fourth Industrial Revolution, World Economic Forum.

²²⁵ Se till exempel Fredriksson, J., Världens första 4D-Printer för keramiskt material, 27 augusti 2018, <https://alla3dskrivare.se/varldens-forsta-4d-printer-for-keramiskt-material/>. (Besökt 2021-02-28)

Bioteknologi

I Nato-rapporten *Science & Technology Trends 2020-2040* ingår bioteknologi & mänsklig förstärkning som ett av åtta teknikområden.²²⁶ Detta ska ses mot bakgrund av den snabba och omvälvande utveckling som väntas ske inom detta område och som kan påverka inte bara människors liv utan också försvaret. I rapporten delas området in i fyra delområden:

- Bioinformatik och biosensorer
- Mänsklig förstärkning
- Medicinska motmedel och biomedicinska teknologier
- Syntetisk biologi

Förstärkning eller optimering av den mänskliga förmågan (*Human Performance Enhancement*, HPE, respektive *Human Performance Optimization*, HPO) bedöms bli en möjlighet i framtiden i den utsträckning vi låter den bli det. I en FOI-rapport presenteras exempel på vad detta skulle kunna vara – exoskelett, bioniska proteser, farmaka, anpassade dräkter och skydd, anpassad träning och nutrition, sensorisk förstärkning, hjärnimplantat, genmodifikation med mera.²²⁷ Ett kapitel om mänsklig förstärkning finns också i en FOI-rapport med teknikunderlag till Försvarmaktens perspektivstudie.²²⁸ Området tas också upp i en rapport från det brittiska försvarsdepartementet.²²⁹ Detta är ett område där de etiska frågeställningarna är många och där vägvalet kan komma att bero av samhällskulturen. Som framgår av texten ovan är mänsklig förstärkning endast till del ett område som överlappar med bioteknologin. En del av de möjliga åtgärder som listas hänför sig även till utvecklingen inom robotik (till exempel exoskelett) eller material (skydd, uniformer). De delar som hänför sig till bioteknologi kan dock för många upplevas som mer skrämmande då de potentiellt skulle kunna innebära tillförsel av främmande ämnen till människor för att till exempel öka den kognitiva förmågan eller genmanipulation för att få fram den ”perfekta soldaten”.

Även på många andra sätt kommer utvecklingen inom bioteknikområdet att ha en avgörande betydelse i framtiden, bland annat för förmågan att

²²⁶ *Science & Technology Trends 2020-2040 – Exploring the S&T Edge*, Nato, mars 2020, https://www.nato.int/nato_static_fl2014/assets/pdf/2020/4/pdf/190422-ST_Tech_Trends_Report_2020-2040.pdf. (Besökt 2021-02-27)

²²⁷ Levin, B., Hedenstierna, S., Hagström, M., Svensson, J. och Hermelin, J., Förstärkning av mänsklig förmåga – En framtidsvy, FOI-R--4716--SE, december 2018.

²²⁸ Kindvall, G. och Lindberg, A. (red), *Militärteknik 2045 – Ett underlag till Försvarmaktens perspektivstudie*, FOI-R--4985--SE, november 2020.

²²⁹ *Human Augmentation – The Dawn of a New Paradigm*, Development, Concepts and Doctrine Centre (DCDC), UK Ministry of Defence, december 2020. Arbetet har genomförts i samverkan med Bundeswehr Office of Defence Planning i Tyskland.

diagnostisera och behandla sjukdomar. Det kan i framtiden till exempel komma att bli allt vanligare att människor genomgår analyser av hela sitt genom för att kunna förutse och förebygga sjukdomar.²³⁰

Google har till exempel tagit fram en metod där man genom att skanna ögonbotten kan få fram data som bedömer risken för en hjärtattack lika bra som andra existerande metoder.²³¹

Genetiska data kommer i allt högre grad att användas i utvecklingen och testningen av läkemedel, vilket gör specialanpassade mediciner möjliga. Hälso- och sjukvård kommer överhuvudtaget sannolikt att bli mer individuellt anpassad, där man med hjälp av nya typer av diagnostik, till exempel genetisk sådan, kan ställa snabbare och säkrare diagnoser till ett lägre pris.²³² Användningen av bioteknik för behandling av sjukdomar förväntas också bli allt viktigare. Det finns stora förhoppningar om att på sikt allt effektivare kunna behandla allvarliga sjukdomar som cancer.

Med syntetisk biologi skapas nya gener, biologiska och syntetiska delar och system. Det kan handla om att ”bygga om” organismer eller att skapa helt nya.²³³ Syntetisk biologi kan använda tekniker som CRISPR/Cas9^{234,235}.

Ett annat område inom biotekniken är så kallad regenerativ medicin, vilket handlar om tekniker för att reparera eller återskapa organ eller vävnader som förstörts genom sjukdom eller skada.²³⁶

På sikt kommer också odlade organ att vara möjliga. Det kommer även att bli möjligt att producera vävnader och organ med hjälp av 3D-skrivare (*bioprintning*). Neuroimplantat kommer att göra det möjligt för personer med funktionsnedsättning att kontrollera proteser och kan göra gränsen mellan människa och maskin alltmer flytande. I förlängningen kan hjärna

²³⁰ Helgenomsekvensering, Statens medicinsk-etiska råd, <https://smer.se/teman/genetiska-analyser/helgenomsekvensering/>. (Besökt 2021-03-09)

²³¹ Vincent, J., Google's new AI algorithm predicts heart disease by looking at your eyes, *The Verge*, 19 februari 2018, <https://www.theverge.com/2018/2/19/17027902/google-verity-ai-algorithm-eye-scan-heart-disease-cardiovascular-risk>. (Besökt 2021-03-09)

²³² Lehrach, H. och Ionescu, A., *The Future of Health Care: deep data, smart sensors, virtual patients and the Internet-of-Humans*, 29 april 2016, <https://ec.europa.eu/futurium/en/content/future-health-care-deep-data-smart-sensors-virtual-patients-and-internet-humans>. (besökt 2021-03-09)

²³³ *Technology Quarterly: Synthetic Biology*, *Newsweek*, 6-12 april 2019.

²³⁴ Morgan, K., *CRISPR Meets Synthetic Biology: A Conversation with MIT's Christopher Voigt*, 22 april 2015, <http://blog.addgene.org/crispr-meets-synthetic-biology-a-conversation-with-mits-christopher-voigt>. (Besökt 2021-03-09)

²³⁵ Pressmeddelande: Nobelpriset i Kemi 2020, Kungliga Vetenskapsakademien, 7 oktober 2020, <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/2020/161307-press-release-swedish/>. (Besökt 2021-03-09)

²³⁶ Regenerativ medicin, Linköpings universitet, <https://liu.se/forskningsomrade/regenerativ-medicin>. (Besökt 2021-03-09)

och dator kommunicera direkt med varandra (*brain-computer interface*, BCI), genom att koppla ihop nervsignaler i hjärnan med en dator.²³⁷

Biodata har en allt större betydelse för hälso- och sjukvård och för eget användande. Med nya tekniska lösningar kan mer biodata inhämtas och analyseras. Små sensorer och mobila applikationer kommer att medge insamling och analys av diverse kroppsparametrar i realtid, vilket gör det möjligt att följa en individs hälsotillstånd.²³⁸

Bioteknologi kan komma att nyttiggöras bland annat inom försvarets sjukvårdsfunktion. Framtidens soldater kan också komma att vara förstärkta eller optimerade på olika sätt och utrustade med system för att övervaka allmäntillståndet. På sikt kan genetiska modifikationer vara möjliga, men då är vi inne på områden som kommer att diskuteras mycket utifrån etiska och andra aspekter.²³⁹ Redan idag görs experiment med att styra drönare med hjärnan.²⁴⁰ I USA studerar man om man kan använda genetiskt modifierade bakterier för att till exempel detektera ubåtar.²⁴¹

Energiteknologi

Den framtida energitekniken har stor betydelse för samhällets utveckling, inte minst i strävandena att minska utsläppen av växthusgaser för att därigenom minska klimatpåverkan av dessa. Fossila bränslen förväntas under den närmare framtiden fortsätta att vara dominerande och för att minska användningen av dessa krävs stora satsningar på andra energislag. Förnybar energi – särskilt sol- och vindenergi – bedöms vara det energislag som kommer att växa snabbast och 2050 stå för cirka 30 procent av energi-behovet.²⁴²

²³⁷ Breakthrough Technology for the Brain, <https://neuralink.com/>. (Besökt 2021-03-09). Entreprenören Elon Musk startade Neuralink 2017.

²³⁸ Alpman, M., Kroppen kan själv ställa diagnos och ge medicin, Ny Teknik, 17 juni 2016, <https://www.nyteknik.se/digitalisering/kroppen-kan-sjalv-stalla-diagnos-och-ge-medicin-6579519>. (Besökt 2021-03-09)

²³⁹ En genomgång av olika möjliga vägar att stärka soldatens prestationsförmåga görs i Harrison, R. M., Beyond super soldiers and battle suits, Defense Dossier, American Foreign Policy Council, Issue 20, november 2017. Där diskuteras olika varianter av exoskelett, elektrisk stimulans av hjärnan, sammankoppling av hjärna och maskin och genetiska modifieringar vilka kan bli möjliga i framtiden.

²⁴⁰ 'Pure thought': Edmonton graduates using brain waves to fly drones, CTV News, 20 mars 2019, <https://www.ctvnews.ca/sci-tech/pure-thought-edmonton-graduates-using-brain-waves-to-fly-drones-1.4343715>. (Besökt 2021-03-09)

²⁴¹ Tucker, P., The US Military Is Genetically Engineering New Life Forms To Detect Enemy Subs, Defense One, 1 december 2018, <https://www.defenseone.com/technology/2018/12/us-military-genetically-engineering-new-life-forms-detect-enemy-subs/153200/>. (Besökt 2021-03-09)

²⁴² US Energy Information Administration, International Energy Outlook 2019 with projections to 2050, september 2019, <https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/ieo2019.pdf>. (Besökt 2021-02-28)

Åtgärder som lyfts fram för att minska klimatpåverkan är minskad bränsleförbrukning och minskad körsträcka för bilar, energieffektivisering i bostäder och kommersiella lokaler, ökad effektivitet i kolkraftverk, avskiljning och lagring av koldioxid (*Carbon Capture and Storage, CCS*)²⁴³, ökad användning av naturgas och kärnkraft och förnybara bränslen (vindkraft, solkraft, biobränslen).²⁴⁴ En kanske något mer extrem åtgärd, men kanske den sista möjligheten om andra metoder misslyckas, är att med teknikens möjligheter manipulera klimatet, så kallad *geoengineering*.

Förnybar energi som solenergi gynnas av den pågående teknikutvecklingen mot alltmer effektiva solceller.²⁴⁵ Alla former av förnybar energi gynnas också av utvecklingen mot allt bättre batterier för lagring av energi. Det senare är en nödvändig utveckling för att förnybar energi ska få ett större genombrott. Utöver detta förväntas även fordon i högre grad drivas av el eller bränsleceller i framtiden.²⁴⁶ Även här är utvecklingen inom batteritekniken en drivande faktor. Batteritekniken beror i sig av utvecklingen inom materialforskningen, ett exempel på beroenden mellan olika teknikområden.

Den teknikutveckling som sker civilt inom energiområdet kommer också att påverka försvaret genom behov av anpassning till de val som görs i samhället i övrigt, till exempel om fossila bränslen ska fasas ut vid en viss tidpunkt. Nya metoder för energigenerering och energilagring, till exempel genom bränsleceller eller utvecklade batteritekniker, kan också vara möjlig-hetsskapande för alla typer av plattformar och möjliggöra miniatyrisering, ökad uthållighet, med mera. Soldatens energiförsörjning skulle till exempel potentiellt kunna lösas med en kombination av solceller och batterier.

²⁴³ Världens första koldioxidhotell byggs på norska västkusten, Ny Teknik, 27 mars 2019, <https://www.nyteknik.se/premium/varldens-forsta-koldioxidhotell-byggs-pa-norska-vastkusten-6952758>. (Besökt 2021-02-28)

²⁴⁴ I Kina testade man i juni 2017 att driva en region (Qinghaiprovinsen) med mer än fem miljoner invånare med förnybar energi under sju dagar, se Cassella, C., China Just Ran an Entire Region on 100% Renewable Energy For 7 Days, Science Alert, 27 juni 2017, <https://www.sciencealert.com/a-chinese-province-just-ran-on-100-renewable-energy-for-7-days>. (Besökt 2021-02-28). Merparten av denna energi kom från vattenkraft.

²⁴⁵ Solceller har minskat i kostnad med 80 procent de senaste fem åren enligt Deftech Update, Federal Department of Defence, Civil Protection and Sports, Schweiz, februari 2017. Se också Farmer, J. Doyne och Lafond, François, (2016), How predictable is technological progress?, Research Policy 45 sid 647–665, där de nämner att fotovoltaiska solceller har blivit cirka 10 procent billigare per år ända sedan 1980-talet.

²⁴⁶ Björklund, F., BMW bekräftar satsning på bränsleceller, Ny Teknik 1 april 2020, <https://www.nyteknik.se/forдон/bmw-bekraftar-satsning-pa-bransleceller-drivs-av-vatgas-6992426>. (Besökt 2021-02-28)

Även inom flygområdet genomförs forskning och försöksverksamhet med syfte att minska flygets klimatpåverkan. Ett exempel på en teknik som testas är bränsleceller.²⁴⁷

Energy harvesting ("energiskörd") är också en intressant teknik för sol-dater och mindre plattformar. Tekniken innebär att utnyttja energi som finns potentiellt tillgänglig och förvandla den till elektrisk energi för att exempelvis försörja portabla och trådlösa elektroniska system.²⁴⁸ Allt från temperaturskillnader till vibrationer kan utnyttjas för att utvinna energi med denna metod.

Samtidigt kan en omställning till mindre oljeberoende av klimatskäl också ha ekonomiska konsekvenser för de stater som idag producerar olja. En omställning av energisystemet kan således potentiellt ha betydande geopolitiska konsekvenser och därigenom påverka maktbalansen i världen och därför kanske även utgöra en grogrund för konflikter.

Sensorteknologi

Det hävdas ibland att utvecklingen inom sensortekniken, användningen av många olika sensorer parallellt, effektivare fusionering av data och en enorm spridning av sensorer globalt kommer att innebära att det blir praktiskt taget omöjligt att undgå upptäckt i framtiden oavsett i vilket medium man rör sig. Huawei's koncept *Safe city* är ett exempel på ett försök att skapa ett övervakningssystem för att utvinna information om till exempel vem som har avfyrat ett vapen.²⁴⁹ Med allt bättre algoritmer för ansiktsgen-känning blir det enklare att identifiera enskilda individer.

Genomskinligt hav ("transparent ocean") är ett begrepp för att beskriva att inte ens ubåtar kommer att kunna hålla sig dolda. Detta kommer sannolikt inte att kunna realiseras under de närmaste decennierna, men med utvecklingen inom kvantteknologi kan det till exempel kanske bli möjligt att detektera undervattensobjekt med sensorer som kan mäta gravitation.²⁵⁰

²⁴⁷ Kristensson, J., Första vätgasdrivna passagerarflyget har svenska bränsleceller, Ny Teknik 25 september 2020, <https://www.nyteknik.se/fordon/forsta-vatgasdrivna-passagerarflyget-har-svenska-bransleceller-7001857>. (Besökt 2021-02-28). Bränslecellerna levererades av svenska Powercell. Det är dock långt kvar innan detta blir ett alternativ för kommersiell flygtrafik.

²⁴⁸ Technology Forecast (TF) for Energy Harvesting, FMV 50142/2009, 2009-11-09. Dokumentet bygger på underlag från Fraunhofer INT och publicerades som en del av Teknisk Prognos 2010.

²⁴⁹ Användandet av Safe city-konceptet har analyserats av Center for Strategic and International Studies (CSIS), se Hillman, J. E. och McCalpin, M., Watching Huawei's "Safe Cities", CSIS, 4 november 2019, <https://www.csis.org/analysis/watching-huawei-safe-cities>. (Besökt 2021-02-26)

²⁵⁰ Kjäll, J. och Jonsson, P., Kvantteknologier 2019, FOI Memo 7034, 2020-02-21.

Mjukvarustyrning, där varje sensorelement kan styras, är centralt för utvecklingen av nya radarsystem. De tekniska problemen avseende passiva, bi- och multistatiska radarsystem håller också på att lösas och operativa system kan förväntas framöver. Den radar som själv inte behöver sända utan kan använda andra signaler blir svår att upptäcka och bekämpa.²⁵¹

Vi kommer också att se allt fler multi- och hyperspektrala sensorer, vilket kommer att ställa större krav på skydd. Nya sensortyper, som polarisationskänsliga sensorer, blir också aktuella. Att undgå upptäckt, identifiering och klassificering blir en allt större utmaning. För detta krävs det att man har kontroll inte bara på sig själv och sitt system utan även på sina aktiviteter och sin omgivning.

Andra utvecklingstrender är utnyttjande av kvantteknikens möjligheter i kvantoptik och kvantradar, samt kognitiva sensorer som kan anpassa sig (och optimera sin funktion) utifrån miljön.

Sensorer kommer också i allt högre grad att finnas i rymden, vilket bidrar till svårigheterna att hålla sig dold. Så kallade pseudosatelliter, höghöjdsplattformar som kan spana från höjder på cirka 20 km, kan också ligga kvar och bedriva spaning över ett område kontinuerligt under lång tid.

Nya sensorer måste också kunna hantera de allt mer kvalificerade motåtgärder som också blir möjliga. Klassiska metoder i form av störning och signaturanpassning kommer även framgent att användas och kommer att fortsätta utvecklas i takt med att medlen (sensorerna) blir allt mer kvalificerade. Skenmål kan till exempel förväntas bli allt bättre i allt fler frekvensområden. Smyganpassning kommer i framtiden inte endast att vara aktuellt för större plattformar genom att nya material medger sådan funktionalitet även för den enskilda soldaten. I USA ser man till exempel behov av att utveckla soldatuniformer med lägre radarsignaturer.²⁵² I framtiden kan man även tänka sig biomimetiska och andra material som kan bidra till anpassning till bakgrunden. Att ha låg signatur innebär, även om man inte kan göra sig osynlig, att räckvidden för motståndarens spaningssystem minskar.²⁵³

En del i signaturanpassningen är också signaturmodellering, bland annat för att bygga bättre kunskap om signaturer. Signaturanpassning och signa-

²⁵¹ Intervju med FOI forskningsområdesföreträdare för sensorer och signaturanpassningsteknik (Lars Bohman och Christina Grönwall), 13 december 2018.

²⁵² South, T., Forget 'pinks and greens': The Army is looking to make radar-stopping stealth cammies, Army Times, 16 maj 2018, <https://www.armytimes.com/news/your-army/2018/05/16/forget-pinks-and-greens-the-army-is-looking-to-make-radar-stopping-stealth-cammies/>. (Besökt 2021-02-28)

²⁵³ Intervju med FOI forskningsområdesföreträdare för sensorer och signaturanpassningsteknik (Lars Bohman och Christina Grönwall), 13 december 2018.

turkontroll kommer att vara särskilt viktigt i de fall man inte har luftherravälde och kan hindra motståndaren att utnyttja många olika sensorbärande plattformar.

I en rapport från *US Army Research Laboratory* skriver man att framsteg inom bland annat avbildningsteknik, optisk teknik och signalbehandling 2050 kan göra det möjligt att ha så kallade ”seeing skins” som kan täcka in- och utsidor på byggnader och utsidor på rörliga plattformar. Dessa kan ge högupplöst avbildning inom det visuella bandet och IR-bandet.²⁵⁴

Sensorer som kan se genom väggar, svärmar av sensorer som sammantaget kan ge en bättre uppfattning om omvärlden med mera är andra exempel på möjliga framtida lösningar. I framtiden kan IR-sensorer som är mindre, billigare och har mycket hög känslighet möjliggöras av utvecklingen inom områden som halvledarfysik och kvantoptik.²⁵⁵

Miniaturiseringen gör att sensorer kan placeras även på mycket små plattformar. Medan den kommersiella sidan driver utvecklingen inom miniaturisering behöver det dock ofta ske en anpassning av tekniken för att klara de krav som ställs för militära tillämpningar.

Det är viktigt att ta fram alternativ till GPS i störda GPS-miljöer för system som är beroende av korrekta positions-, navigerings- och tidsdata.²⁵⁶ Även här kan utvecklingen inom kvantteknologi erbjuda lösningar.

Utvecklingen när det gäller visualiseringen av sensorinformation för operatörer går också snabbt med utvecklingen av förstärkt verklighet (AR), där en bild kompletteras med ytterligare information.

I militära sammanhang kommer sensorutvecklingen att innebära att stora mängder data kan insamlas och behandlas och allt eftersom kapaciteten för informationsbearbetning utökas kommer en allt bättre bild av verkligheten (operationsområdet) att kunna erhållas.

Samtidigt kommer sensorarenan att bli en kamp mellan medel och motmedel, mellan allt bättre sensorer inom allt fler frekvensområden och i alla domäner (mark, sjö, luft, rymd och cyber) på den ena sidan och åtgärder för att dölja, störa eller förstöra med hjälp av cyberattacker, telekrigföring och smyganpassningsåtgärder på den andra sidan.

²⁵⁴ Potential Science and Technology Game Changers for the Ground Warfare of 2050: Selected Projections Made in 2017, US Army Research Laboratory, ARL-TR-8283, februari 2018, <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/1048402.pdf>. (Besökt 2021-02-28)

²⁵⁵ Potential Science and Technology Game Changers for the Ground Warfare of 2050: Selected Projections Made in 2017, US Army Research Laboratory, ARL-TR-8283, februari 2018, <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/1048402.pdf>. (Besökt 2021-02-28)

²⁵⁶ Erwin, S., Congress demands additional security, backup for military GPS signal, Space News, 15 december 2017, <https://spacenews.com/congress-demands-additional-security-backup-for-military-gps-signal/>. (Besökt 2021-02-28)

Kvantteknologi

Kvantteknologier är teknologier som använder ett eller flera kvantfysikaliska fenomen för att skapa nya tillämpningar och tekniker. En sammanfattning av tekniken och vilka militära tillämpningar som kan komma att bli möjliga fram mot 2045 presenteras i ett kapitel i en underlagsrapport till Försvarsmaktens perspektivstudie.²⁵⁷

Utvecklingen inom kvantteknologin kan erbjuda många intressanta tillämpningar även i försvarssammanhang, bland annat inom följande områden:

- Positionering, navigering och tid (till exempel minska beroendet av GPS)
- Mätning och sensorer (till exempel möjliggöra upptäckt av nedgrävda minor och större undervattensobjekt)²⁵⁸
- Kvantkommunikation och kryptering
- Kvantavbildning (upptäckt av enstaka fotoner möjligt, till exempel i LiDAR-system)
- Kvantdatorer (kommer kanske att visa sig ha störst potential militärt för optimeringsproblem inom till exempel logistik).²⁵⁹

En följd av en förväntan på allt fler tillämpningar av kvantteknologi under de kommande decennierna är att vi redan idag behöver kvantsäkra krypton för att skydda den information vi inte vill ha avslöjad i framtiden, när kvantdatorer kan ge förmåga att knäcka dagens vanliga krypton.

EU påbörjade under 2018 ett forskningsprogram om kvantteknologi.²⁶⁰ Även på andra håll görs stora satsningar, till exempel inom industrin. Kvantteknologin kan med rätta komma att erbjuda disruptiva tillämpningar.²⁶¹

²⁵⁷ Kindvall, G. och Lindberg, A. (red), Militärteknik 2045 – Ett underlag till Försvarsmaktens perspektivstudie, FOI-R--4985--SE, november 2020.

²⁵⁸ I en FOI-rapport ges en översikt av utvecklingen av kvantradar. Se Højjer, M. Hult, T. och Jonsson, P., Quantum Radar – A survey of the science, technology and literature, FOI-R--4854--SE, december 2019.

²⁵⁹ I rapporten Quantum computing: Defence implications från Innovation and Research InSight Unit (IRIS) vid brittiska försvarsdepartementet, december 2017, beskrivs såväl möjliga tillämpningar av kvantdatorer som pågående forsknings- och utvecklingsinsatser.

²⁶⁰ Quantum Technologies Flagship, <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/quantum-technologies-flagship>. (Besökt 2021-02-28)

²⁶¹ Thiele, R., Hybrid CoE Working Paper 7, Quantum Sciences – Disruptive Innovation in Hybrid Warfare, Hybrid CoE, mars 2020, https://www.hybridcoe.fi/wp-content/uploads/2020/03/Working-Paper-7_2020.pdf. (Besökt 2021-02-28)

Hösten 2019 presenterade Google en kvantdator med 53 så kallade kvantbitar som kunde lösa ett specifikt problem mycket snabbare än vad som är möjligt med dagens superdatorer.²⁶² Det intressanta med detta var att det var första gången det visades att kvantdatorer är bättre än vanliga datorer i vissa avseenden. Det är dock fortfarande många år kvar innan vi kan ha en användbar kvantdator. Det finns många utmaningar på vägen, bland annat felkorrektion. Se även avsnitt 4.2.1.

Nya vapentechniker

Under 1990-talet studerades laser- och mikrovågsvapen (så kallade *High Power Microwave*, HPM) med stort intresse. Stort upplagda studier genomfördes såväl för att studera hotaspekter som potentiella möjligheter dessa tekniker kunde erbjuda.²⁶³ Det fanns en optimism om att de svårigheter som fanns avseende effekt, energiförsörjning med mera skulle kunna lösas i en nära framtid och en tro att dessa vapentechniker skulle bli allvarliga hot mot såväl människor som materiel – för att till exempel blända eller förblinda soldater och bekämpa modern teknik.

Nu blev det inte så och kanske befann sig dessa teknikområden då, utifrån försvarsrelaterade tillämpningar, i det skede som i Gartner's *Hype Cycle* brukar benämnas "Peak of inflated expectations".²⁶⁴

På senare tid har dock laser- och HPM-vapen och skydd mot dessa åter blivit aktuellt. Laserluftvärn ses till exempel som en möjlig lösning för att skydda fasta anläggningar och fartyg mot hot som svärmar av drönare. Det görs även utvecklingsinsatser bland annat avseende flygburna lasersystem

²⁶² Google bekräftar genombrott av kvantöverlägsenhet, Ny Teknik, 23 oktober 2019, <https://www.nyteknik.se/innovation/google-bekraftar-genombrott-av-kvantoverlagsenhet-6976044>. (Besökt 2021-02-28). Se också Stort genombrott för kvantdatorer, Chalmers, publicerat 18 december 2019, <https://www.chalmers.se/sv/institutioner/mc2/nyheter/Sidor/Stort-genombrott-for-kvantdatorer.aspx>. (Besökt 2021-02-28)

²⁶³ Några exempel på sådana aktiviteter är:

- Försvarsmaktsstudien Skydd mot laser som genomfördes 1990-1992. Se Studiegrupp Skydd mot laser – öppen utgåva av rapport 1991/92, HKV 082:62932, 1992-10-05.
- Inom projektet Värdering inom forskningsområdet elektromagnetiska vapen och skydd (VEV) rapporterades flygburen laser mot jakt- och luftvärnsrobotar 1996.
- HPM studerades i två så kallade Teknisk-Strategiska Studier (TSS) under första halvan av 1990-talet
 - o Wikström P, Isacson T och Lindström H, "Teknisk-Strategisk Studie av Högeffekt Pulsad Mikrovågsstrålning, HPM", FOA DH 10056, 1992.
 - o "TSS/HPM fortsättningsstudie", FOA 94-H749/S, 1994-09-01.

²⁶⁴ För en beskrivning av metodiken som används vid framtagning av Hype Cycles, se Gartner Hype Cycle: Interpreting technology hype, Gartner, <https://www.gartner.com/en/research/methodologies/gartner-hype-cycle>. (Besökt 2021-02-28)

för egenskydd. Lasersystem kan också användas för att påverka optik på plattformar och missiler.²⁶⁵

När det gäller HPM är många kvalificerade militära system skärmdade och därmed svåra att få effekt mot annat än på mycket korta verkansavstånd. Civila system och enklare militära system som små drönare, styrda granater med flera kan dock inte förväntas ha den skärningen och därvid vara sårbarare för HPM-vapen. Framför allt möjligheten att påverka civil elektronik har inneburit att HPM ses som en teknik som kan användas av en angripare för att, under en gråzonfas, påverka olika samhällsfunktioner. Som nämndes i avsnittet om autonoma system/robotar ovan ser man tillämpningar för HPM (liksom för laser) också för att bekämpa mindre drönare.²⁶⁶ Mikrovågssystemet PHASER har till exempel testats under 2020 och det är tänkt att det ska kunna bekämpa drönare med en vikt på upp till cirka 25 kg och en flyghöjd upp till cirka 350-1000 meter.²⁶⁷

En annan vapentechnik med bedömd framtida potential är hypersoniska vapen. Med hypersonisk menas här system med hastigheter som är större än Mach 5. Utmaningarna för sådana system är framdrivning och uppvärmning, men utvecklingen inom nya motortyper (scramjet, detonationsmotor) och inom materialområdet (värmeståliga material) har ökat möjligheterna för militära tillämpningar av hypersoniska system. Potentialen är stor för snabba farkoster som snabbt kan nå vilket mål som helst. Robotar som flyger med hypersoniska hastigheter blir också mycket svåra att (hinna) motverka. Motverkan mot hypersoniska system kan ställa krav på autonomt beslutsfattande utan mänsklig inblandning. I bland annat Ryssland satsar man på att utveckla hypersoniska system.

Såväl laser, HPM som hypersoniska vapen beskrivs också både avseende teknik och tillämpningar i den tidigare nämnda underlagsrapporten för Perspektivstudien.²⁶⁸

²⁶⁵ Rogoway, T., Mysterious laser turret appears on US Navy Destroyer USS Dewey, The Drive, 9 november 2019, <https://www.thedrive.com/the-war-zone/30941/mysterious-laser-turret-appears-on-us-navy-destroyer-uss-dewey>. (Besökt 2021-02-28)

²⁶⁶ Pappalardo, J., The Air Force Is Deploying Its First Drone-Killing Microwave Weapon, Popular Mechanics, 24 september 2019, <https://www.popularmechanics.com/military/weapons/a29198555/phaser-weapon-air-force/>. (Besökt 2021-02-28)

²⁶⁷ Pappalardo, J., The Air Force Is Deploying Its First Drone-Killing Microwave Weapon, Popular Mechanics, 24 september 2019, <https://www.popularmechanics.com/military/weapons/a29198555/phaser-weapon-air-force/>. (Besökt 2021-02-28)

²⁶⁸ Kindvall, G. och Lindberg, A. (red), Militärteknik 2045 – Ett underlag till Försvarsmaktens perspektivstudie, FOI-R--4985--SE, november 2020.

Bilaga 3 – Technology Readiness Level (TRL)

Ramverket för Technology readiness level (TRL) enligt *US Government Accountability Office (GAO)*²⁶⁹ beskrivs i figur 4 nedan.

Technology readiness level (TRL)	Description
1 Basic principles observed and reported	Lowest level of technology readiness. Scientific research begins to be translated into applied research and development. Examples include paper studies of a technology's basic properties.
2 Technology concept and/or application formulated	Invention begins. Once basic principles are observed, practical applications can be invented. Applications are speculative, and there may be no proof or detailed analysis to support the assumptions. Examples are limited to analytic studies.
3 Analytical and experimental critical function and/or characteristic proof of concept	Active research and development is initiated. This includes analytical studies and laboratory studies to physically validate the analytical predictions of separate elements of the technology. Examples include components that are not yet integrated or representative.
4 Component and/or breadboard validation in laboratory environment	Basic technological components are integrated to establish that they will work together. This is relatively low fidelity compared with the eventual system. Examples include integration of ad hoc hardware in the laboratory.
5 Component and/or breadboard validation in relevant environment	Fidelity of breadboard technology increases significantly. The basic technological components are integrated with reasonably realistic supporting elements so they can be tested in a simulated environment. Examples include high fidelity laboratory integration of components.
6 System/subsystem model or prototype demonstration in a relevant environment	Representative model or prototype system, which is well beyond that of TRL 5, is tested in its relevant environment. Represents a major step up in a technology's demonstrated readiness. Examples include testing a prototype in a high-fidelity laboratory environment or in a simulated operational environment.
7 System prototype demonstration in an operational environment	Prototype near or at planned operational system. Represents a major step up from TRL 6 by requirement demonstration of an actual system prototype in an operational environment (e.g., in an aircraft, a vehicle, or space).
8 Actual system completed and qualified through test and demonstration	Technology has been proven to work in its final form and under expected conditions. In almost all cases, this TRL represents the end of true system development. Examples include developmental test and evaluation of the system in its intended weapon system to determine if it meets design specifications.
9 Actual system proven through successful mission operations	Actual application of the technology in its final form and under mission conditions, such as those encountered in operational test and evaluation. Examples include using the system under operational mission conditions.

Source: GAO simplification of agency documents. | GAO-16-410G

Figur 4. Ramverk för TRL enligt GAO.

²⁶⁹ US Government Accountability Office (GAO), "Technology readiness assessment guide. Best practice for evaluating the readiness of technology for use in acquisition programs and projects", sida 17, augusti 2016, GAO-16-410G. URL: <https://www.gao.gov/assets/680/679006.pdf>. (Besökt 2021-02-28)

Bilaga 4 – Referenser

Böcker

Ahlgren, J., Christofferson, L., Jansson, L. och Linnér, A., Faktaboken om Gripen, Utgåva 4, utgiven av Industrigruppen JAS AB, 1998.

Bostrom, N., Superintelligens: Vägar, faror, strategier, Fri Tanke förlag 2017.

von Clausewitz, C., Om kriget, Bonniers. Originalen Vom kriege utkom i sin första upplaga 1832.

Latiff, R. H., Future war: Preparing for the new global battlefield, Vintage books, 2018.

McAfee, A. och Brynjolfsson, E., Machine, Platform, Crowd: Harnessing our digital future, W.W. Norton & Company Ltd, 2017.

Schwab, Klaus, (2016), The Fourth Industrial Revolution, World Economic Forum.

Tegmark, M. Liv 3.0: Att vara människa i den artificiella intelligensens tid, Volante, 2017.

Walsh, T., 2062: The world that AI made, La Trobe University Press in conjunction with Black Inc, 2018.

FOI-rapporter

Andersson, C., Gustavi, T. och Karasalo, M., Artificiell intelligens – möjligheter och utmaningar för Sveriges nationella säkerhet, FOI Memo 6749, augusti 2019.

Asp, B., Axell, E., Eliardsson, P., Lindgren, T. och Nilsson, J., 5G-tekniker i militära tillämpningar – En skanning av området, FOI-R--4711--SE, december 2018.

Brynielsson, J., Nilsson, M., Schubert, J. och Svenmarck, P., Artificiell intelligens för beslutsstöd i ledningssystem, FOI-R--4678--SE, december 2018.

Englund, J., Kinas industriella cyberspionage, FOI Memo 6698, mars 2019.

Gustavi, T. et al, Försvarsnära tillämpningar av artificiell intelligens, FOI-R--4707--SE, januari 2019.

Hedtjärn Swaling, V. och Malmberg Andersson, F., NCS3 Förstudie – Bortom sakernas internet, FOI-R--4643--SE, november 2018.

Hellström, J., Kinas politiska prioriteringar: militär-civil fusion och konsekvenser för Sverige, FOI-memo 6649, januari 2019.

Hellström, J., Almén, O., och Englund, J., Kinesiska bolagsförvärv i Sverige: en kartläggning, FOI Memo 6903, november 2019.

Höijer, M. Hult, T. och Jonsson, P., Quantum Radar – A survey of the science, technology and literature, FOI-R--4854--SE, december 2019.

Johansson, C., Charpentier, S., Ek Weis, J., Chukharkin, M. och Theander, H., Material 2050, FOI-2018-708.

Johansson, M., Teknikutvecklingens påverkan på militär personalförsörjning, FOI-R--5089--SE, februari 2021.

Karlsson, L. H., Metodstudie av FOI Memo 6972 – Materialteknik 2050: A green paper, FOI Memo 7015, 2019-11-18.

Karlsson, L. H. (red.), Signaturmaterial 2017-19: Slutrapport, FOI-R--4852--SE, december 2019.

Karlsson, L. H., Resesammanställning: Grafen-relaterade workshops och konferenser under 2019, FOI Memo 7011, 2020-01-29.

Kindvall, G., Lindberg, A., Trané, C. och Westman, J., Exploring future technology development, FOI-R--4196--SE, juni 2017.

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

Kindvall, G. och Savage, S., Att plantera ett träd – Erfarenheter från Natos Tech Trends Workshop 27-28 februari 2018, FOI Memo 6376, 2018-03-27.

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

Kindvall, G., Hur bra kan man förutsäga teknikutveckling?, FOI Memo 6728, 2019-05-21.

Kindvall, G., Hur kan den framtida operationsmiljön se ut?,
FOI Memo 6844, 2019-09-23.

Kindvall, G., 13th Annual Operations Research & Analysis Conference,
FOI Memo 6894, 2019-11-14.

Kindvall, G. och Lindberg, A. (red), Militärteknik 2045 – Ett underlag till
Försvarsmaktens perspektivstudie, FOI-R--4985--SE, november 2020.

Kindvall, G., Frelin, J. och Lindberg, A., Natos OA-konferens 2020.
Kommande FOI Memo.

Kjäll, J. och Jonsson, P., Kvantteknologier 2019, FOI Memo 7034,
2020-02-21.

Levin, B., Hedenstierna, S., Hagström, M., Svensson, J. och Hermelin, J.,
Förstärkning av mänsklig förmåga – En framtidsvy, FOI-R--4716--SE,
december 2018.

Linder, S. och Alexandersson, M., Användning av störsändning i
konflikten i Ukraina - en sammanställning från öppna källor,
FOI Memo 5626, 2016-01-29

Savage, S., Materialteknik 2050: A green paper, FOI Memo 6972,
2019-11-20.

“TSS/HPM fortsättningsstudie“, FOA 94-H749/S, 1994-09-01.

Wikström P, Isacson T och Lindström H, “Teknisk-Strategisk Studie av
Högeffekt Pulsad Mikrovågsstrålning, HPM“, FOA DH 10056, 1992.

Zouave, E., Bruce, M., Colde, K., Jaitner, M., Rodhe, I. och Gustafsson,
T., Artificially intelligent cyberattacks, FOI-R--4947--SE.

Andra rapporter

American AI Initiative One Year Annual Report, februari 2020,
<https://trumpwhitehouse.archives.gov/wp-content/uploads/2020/02/American-AI-Initiative-One-Year-Annual-Report.pdf>. (Besökt 2021-02-26).

Andås, H., Emerging technology trends for defence and security, FFI-
rapport 20/01050, 7 april 2020.

Artificial Intelligence and National Security, uppdaterad 10 november 2020, Congressional Research Service, R45178, <https://crsreports.congress.gov/product/pdf/R/R45178>. (Besökt 2021-02-28)

Artificial Intelligence in Support of Defence, Report of the AI Task Force, september 2019. Ministère des Armées,

Bergman, D., Om stridens psykologi – Del 8: Autonoma vapensystem: Drönare, distribuerat dödande & obehagens dal, 26 november 2019, Kungliga Krigsvetenskapsakademien, <https://kkrva.se/om-stridens-psykologi-del-8-autonoma-vapensystem-dronare-distribuerat-dodande-obehagens-dal/>. (Besökt 2021-02-27)

Bio Convergence and Soldier 2050, 16 juli 2018, <https://community.apan.org/wg/tradoc-g2/mad-scientist/m/bio-convergence-and-the-changing-character-of-war/237556>. (Besökt 2021-02-27)

Cummings, M.L., Artificial Intelligence and the Future of Warfare, Chatham House, International Security Department and US and the Americas Programme, januari 2017, <https://www.chathamhouse.org/sites/default/files/publications/research/2017-01-26-artificial-intelligence-future-warfare-cummings-final.pdf>. (Besökt 2021-02-27)

“Duplice uso e Resilienza”, Documento, di integrazione concettuale, delle linee programmatiche del dicastero, Edizione 2018, Ministero della difesa.

Emerging Science and Technology Trends: 2017-2047. A Synthesis of Leading Forecasts, Office of the Deputy Assistant Secretary of the Army (Research & Technology), November 2017, <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/AD1043071.pdf>. (Besökt 2021-02-27)

Etiska riktlinjer för tillförlitlig AI, <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/d3988569-0434-11ea-8c1f-01aa75ed71a1/language-sv/format-PDF>. (Besökt 2021-02-27)

Evolution of UAVs employed by Houthi forces in Yemen, Conflict Armament Research Ltd., London, februari 2020, <https://www.conflictarm.com/dispatches/evolution-of-uavs-employed-by-houthi-forces-in-yemen/>. (Besökt 2021-02-28)

Exploring Europe's capability requirements for 2035 and beyond: Insights from the 2018 update of the long-term strand of the Capability Development Plan, RAND Europe, juni 2018.

Food for thought paper in view of a scoping paper for the research dimension of the European Defence Fund (R-EDF), EDA201906015, 7 juni 2019.

Framework for Future Alliance Operations (FFAO), Nato 2018, <https://www.act.nato.int/futures-work>. (Besökt 2021-02-27)

Frey, C.B. och Osborne, M.A., The Future of Employment: How Susceptible are Jobs to Computerisation? 17 september 2013, University of Oxford

Future Operating Environment 2035 (FOE 2035), United Kingdom, Ministry of Defense (U.K. MOD), Development, Concepts and Doctrine Centre's (DCDC) Strategic Trends Programme, (Shrivenham: Crown Publications, 2015), https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/646821/20151203-FOE_35_final_v29_web.pdf. (Besökt 2021-02-27)

Global Strategic Trends 6 (GST 6) från brittiska Development, Concept and Doctrine Centre (DCDC), <https://www.gov.uk/government/publications/global-strategic-trends>. (Besökt 2021-02-27).

Hillman, J. E. och McCalpin, M., Watching Huaweis "Safe Cities", CSIS, 4 november 2019, <https://www.csis.org/analysis/watching-huaweis-safe-cities>. (Besökt 2021-02-26)

Human Augmentation – The Dawn of a New Paradigm, Development, Concepts and Doctrine Centre (DCDC), UK Ministry of Defence, december 2020.

Human Rights Watch, Losing Humanity – The Case against Killer Robots, 2012, <https://www.hrw.org/report/2012/11/19/losing-humanity/case-against-killer-robots>. (Besökt 2021-02-27)

Human Rights Watch, Mind the Gap – The Lack of Accountability for Killer Robots, 2015, https://www.hrw.org/sites/default/files/reports/arms0415_ForUpload_0.pdf. (Besökt 2021-02-27)

Inriktning av Försvarsmaktens forskning och utveckling 2021-2025 (IFoU 21), FM2019-15634:2, 2020-01-27.

Klimburg, A., Faesen, L., Verhagen, P. och Mirtl, P., Pandemic Mitigation in the Digital Age – Digital Epidemiological Measures to Combat the Coronavirus Pandemic, Hague Centre for Strategic Studies, mars 2020, <https://hcss.nl/report/pandemic-mitigation-digital-age>. (Besökt 2021-02-27)

Krigets lagar, SOU 2010:22, <https://www.regeringen.se/49bb46/contentassets/7db8b68842114a88a0b4f46de5f579df/krigets-lagar-sou-201022-del-2>. (Besökt 2021-02-27)

Lehrach, H. och Ionescu, A., The Future of Health Care: deep data, smart sensors, virtual patients and the Internet-of-Humans, 29 april 2016, <https://ec.europa.eu/futurium/en/content/future-health-care-deep-data-smart-sensors-virtual-patients-and-internet-humans>. (Besökt 2021-03-09)

Livet med AI, Stiftelsen för strategisk forskning, SSF-rapport nr 29, 2018, <https://strategiska.se/app/uploads/livet-med-ai.pdf>. (Besökt 2021-02-27)

Luftförsvarsutredningen 2040 Slutbetänkande, SOU 2014:88, sida 127, <https://www.regeringen.se/rattsliga-dokument/statens-offentliga-utredningar/2015/01/sou-201488/>. (Besökt 2021-02-27)

Meta-scan 3 – Emerging technologies, 2013, Policy Horizons Canada, https://horizons.gc.ca/wp-content/uploads/2018/12/pdf_version_0239_6698kb-45pages.pdf, (Besökt 2021-02-27)

Omvärld, Teknisk Prognos 2019, Försvarets Materielverk, 19FMV2507-9, november 2019.

Perspective Study Dominant Battlespace Awareness 2020 Final Report, september 1998, SAIC.

Potential Science and Technology Game Changers for the Ground Warfare of 2050: Selected Projections Made in 2017, US Army Research Laboratory, ARL-TR-8283, februari 2018, <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/1048402.pdf>. (Besökt 2021-02-28)

Quantum computing: Defence implications från Innovation and Research InSight Unit (IRIS) vid brittiska försvarsdepartementet, december 2017.

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 2021-02-27).

Selleståg, S. R. m.fl., Samfunnssikkerhet mot 2030 – utviklingstrekk, FFI-rapport 20/00530,
<https://publications.ffi.no/nb/item/asset/dspace:6641/20-00530.pdf>.
(Besökt 2021-03-04)

Samsung KX50: The Future in Focus,
https://images.samsung.com/is/content/samsung/p5/uk/explore/kings-cross/discover/SamsungKX50-The_Future_in_Focus_-_report.pdf.
(Besökt 2021-02-26)

Science and Technology Strategy 2017, UK Ministry of Defence, oktober 2017,
https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/655514/Science_and_Technology_Strategy_lowres.pdf. (Besökt 2021-02-27)

Science and technology strategy: Strengthening USAF science and technology for 2030 and beyond, United States Air Force (USAF), april 2019, <https://cdn.afresearchlab.com/wp-content/uploads/2019/01/13192817/Air-Force-Science-and-Technology-Strategy.pdf>. (Besökt 2021-02-27)

Science & Technology Trends 2020-2040 – Exploring the S&T Edge, Nato, mars 2020,
https://www.nato.int/nato_static_fl2014/assets/pdf/2020/4/pdf/190422-ST_Tech_Trends_Report_2020-2040.pdf. (Besökt 2021-02-27)

Science Fiction: Visioning the Future of Warfare 2030-2050, juli 2017,
<https://www.armyupress.army.mil/Portals/7/Future-Warfare-Writing-Program/Documents/Compendium.pdf>. (Besökt 2021-02-27).

De Spiegeleire, S., Maas, M. och Sweijts, T., Artificial Intelligence and the Future of Defense – Strategic Implications for Small and Mediumsized Force Providers, The Hague Centre for Strategic Studies (HCSS), maj 2017,
https://www.researchgate.net/publication/316983844_Artificial_Intelligence_and_the_Future_of_Defense. (Besökt 2021-02-28)

Studiegrupp Skydd mot laser – öppen utgåva av rapport 1991/92, HKV 082:62932, 1992-10-05.

Strategic Foresight Analysis (SFA), Nato, oktober 2017,
<http://www.act.nato.int/futures-work>. (Besökt 2021-02-27)

Studie LOG191904S Teknikutveckling logistik – Slutrapport,
FM2019-5574:2, 2019-12-16.

Sweijts, T., Artificial Intelligence and its Future Impact on Security,
Bruxelles, 10 October 2018, <https://hcss.nl/report/testimony-tim-sweijts-artificial-intelligence-and-its-future-impact-security>. (Besökt 2021-02-28)

Technology Forecast (TF) for Energy Harvesting, FMV 50142/2009,
2009-11-09.

Tech Trends Report 2017: Empowering the Alliance's Technological
Edge, NATO Science and Technology Organization (STO),
https://www.nato.int/nato_static_fl2014/assets/pdf/pdf_topics/20180522_TTR_Public_release_final.pdf. (Besökt 2021-02-27)

The Dstl Biscuit Book – Artificial Intelligence, Data Science and (mostly)
Machine Learning, Defence Science and Technology Laboratory, UK
MOD, 2019, <https://www.gov.uk/government/publications/the-dstl-biscuit-book>. (Besökt 2021-02-28)

The Global Risks Report 2017, World Economic Forums,
http://www3.weforum.org/docs/GRR17_Report_web.pdf.
(Besökt 2021-02-28).

The Global Risks Report 2020, World Economic Forum, 15 januari 2020,
http://www3.weforum.org/docs/WEF_Global_Risk_Report_2020.pdf.
(Besökt 2021-02-27)

The Joint Operating Environment (JOE) 2035 - The Joint Force in a
Contested and Disordered World, US Joint Chiefs of Staff, 14 July 2016,
<https://fas.org/man/eprint/joe2035.pdf>. (Besökt 2021-02-27)

The Malicious Use of Artificial Intelligence: Forecasting, Prevention, and
Mitigation, February 2018,
<https://static.rasset.ie/documents/news/2018/02/ai-report.pdf>.
(Besökt 2021-02-28).

The NATO Warfighting Capstone Concept: Key Insights from the Global
Expert Symposium Summer 2020, The Hague Centre of Strategic
Studies.

The operational environment and the changing character of future warfare, US Army TRADOC Mad Scientist Initiative, 2017, <https://community.apan.org/wg/tradoc-g2/mad-scientist/m/visualizing-multi-domain-battle-2030-2050/200203?pi353719=30>. (Besökt 2021-02-27)

Thiele, Ralph, Hybrid Warfare – Future & Technologies Horizon Scan & Assessment, Inspiration Paper No. 2, 12 September 2019, Helsinki

Thiele, R., Hybrid CoE Working Paper 6, Artificial Intelligence – A Key Enabler of Hybrid Warfare, Hybrid CoE, 6 mars 2020, <https://www.hybridcoe.fi/publications/hybrid-coe-working-paper-6-artificial-intelligence-a-key-enabler-of-hybrid-warfare/>. (Besökt 2021-02-28)

Thiele, R., Hybrid CoE Working Paper 7, Quantum Sciences – Disruptive Innovation in Hybrid Warfare, Hybrid CoE, mars 2020, https://www.hybridcoe.fi/wp-content/uploads/2020/03/Working-Paper-7_2020.pdf. (Besökt 2021-02-28)

Tonin, M., Artificial Intelligence: Implications for NATO's Armed Forces, Science and technology committee, Sub-Committee on Technology Trends and Security (STCTTS), NATO Parliamentary Assembly, oktober 2019, <https://www.nato-pa.int/download-file?filename=sites/default/files/2019-10/REPORT%20149%20STCTTS%2019%20E%20rev.%201%20fin-%20ARTIFICIAL%20INTELLIGENCE.pdf>. (Besökt 2021-02-27)

Understanding the cost-related implications of autonomy – A system of systems perspective, NATO AC/323(SAS-146)TP/977, december 2020.

US Energy Information Administration, International Energy Outlook 2019 with projections to 2050, september 2019, <https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/ieo2019.pdf>. (Besökt 2021-02-28)

US Government Accountability Office (GAO), "Technology readiness assessment guide. Best practice for evaluating the readiness of technology for use in acquisition programs and projects", sida 17, augusti 2016, GAO-16-410G. URL: <https://www.gao.gov/assets/680/679006.pdf>. (Besökt 2021-02-28)

Visions of Warfare 2036, november 2016.

White Paper on Artificial Intelligence - A European approach to excellence and trust, COM (2020) 65, EU-kommissionen 19 februari 2020, https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/commission-white-paper-artificial-intelligence-feb2020_en.pdf. (Besökt 2021-02-27)

Wikström P, Isacson T och Lindström H, "Teknisk-Strategisk Studie av Högeffekt Pulsad Mikrovågsstrålning, HPM", FOA DH 10056, 1992.

Övriga referenser

Allen, G. och Kania, E.B., China Is Using America's Own Plan to Dominate the Future of Artificial Intelligence, Foreign Policy, 2017-09-08, <https://foreignpolicy.com/2017/09/08/china-is-using-americas-own-plan-to-dominate-the-future-of-artificial-intelligence/>. (Besökt 2021-02-26)

Alpman, M., Kroppen kan själv ställa diagnos och ge medicin, Ny Teknik, 17 juni 2016, <https://www.nyteknik.se/digitalisering/kroppen-kan-sjalv-stalla-diagnos-och-ge-medicin-6579519>. (Besökt 2021-03-09)

Amazon, Microsoft, 'putting world at risk of killer AI': study, International Business Times, augusti 2019, <https://www.ibtimes.com/amazon-microsoft-putting-world-risk-killer-ai-study-2816391>. (Besökt 2021-02-27)

American AI Initiative, februari 2019, <https://trumpwhitehouse.archives.gov/ai/executive-order-ai/>. (Besökt 2021-02-26)

Amerson, K. and Meredith III, S. B., The future operating environment 2050: Chaos, complexity and competition, Small wars journal, juli 2016, <https://smallwarsjournal.com/jrnl/art/the-future-operating-environment-2050-chaos-complexity-and-competition>. (Besökt 2021-02-27)

A next generation artificial intelligence plan, <https://chinacopyrightandmedia.wordpress.com/2017/07/20/a-next-generation-artificial-intelligence-development-plan/>, publicerad 20 juli 2017. (Besökt 2021-02-26).

A robot wrote this entire article. Are you scared yet, human, The Guardian, 8 september 2020, <https://www.theguardian.com/commentisfree/2020/sep/08/robot-wrote-this-article-gpt-3>. (Besökt 2021-02-28)

Artificiell intelligens har skrivit en pjäs helt på egen hand, Dagens Nyheter, 12 januari 2020, <https://www.dn.se/kultur-noje/artificiell-intelligens-har-skrivit-en-pjas-helt-pa-egen-hand/>. (Besökt 2021-02-28).

Augustines lagar,
https://en.wikipedia.org/wiki/Augustine%27s_laws#Law_16.
(Besökt 2021-02-27)

Banach, S. J., Virtual war – A revolution in human affairs, Small wars journal, februari 2018, <http://smallwarsjournal.com/jrnl/art/virtual-war-revolution-human-affairs>. (Besökt 2021-02-27).

Bayern, M., Autonomous vehicles: How 7 countries are handling the regulatory landscape, TechRepublic, 5 februari 2020, <https://www.techrepublic.com/article/autonomous-vehicles-how-7-countries-are-handling-the-regulatory-landscape/>. (Besökt 2021-02-28)

Bendett, S., Moscow to Weave AI Face Recognition into Its Urban Surveillance Net, 14 maj 2019, <https://www.defenseone.com/technology/2019/05/moscow-weave-ai-face-recognition-its-urban-surveillance-net/156994/>.
(Besökt 2021-02-28).

Björklund, F., BMW bekräftar satsning på bränsleceller, Ny Teknik 1 april 2020, <https://www.nyteknik.se/fordon/bmw-bekraftar-satsning-pa-bransleceller-drivs-av-vatgas-6992426>. (Besökt 2021-02-28)

Boeing Phantom Works, <http://www.boeing.com/defense/phantom-works/index.page#/overview>. (Besökt 2021-02-26).

Boston Dynamics, <https://www.bostondynamics.com/atlas>. (Besökt 2021-02-28). På <https://www.youtube.com/watch?v=QQni8Uz3QOI> visas vad roboten klarar av att göra.

Boury-Brisset, A-C., Military Uses of Artificial Intelligence – AI Techniques and Technologies, Military AI Applications, AI Governance and Management Principles, Multinational Capability Development Campaign (MCDC), Workshop on Military ses of AI, Automation and Robotics, 30-31 October 2019.

Breakthrough Technology for the Brain, <https://neuralink.com/>.
(Besökt 2021-03-09).

Brown, N. och Sandholm, T., Superhuman AI for heads-up no-limit poker: Libratus beats top professionals, *Science*, vol 359, sid 418-424, 26 januari 2018, <https://science.sciencemag.org/content/359/6374/418.full>. (Besökt 2021-02-27)

Burianski, M. och Theissen, C. M., Germany Permits Automated Vehicles, *White & Case*, 23 juni 2017, <https://www.whitecase.com/publications/article/germany-permits-automated-vehicles>. (Besökt 2021-02-28)

Cassella, C., China Just Ran an Entire Region on 100% Renewable Energy For 7 Days, *Science Alert*, 27 juni 2017, <https://www.sciencealert.com/a-chinese-province-just-ran-on-100-renewable-energy-for-7-days>. (Besökt 2021-02-28).

Chalmers kvantdator bryter ny mark – lockar Googles avhoppare till Göteborg, *Dagens Nyheter*, 20 januari 2021, <https://www.dn.se/sverige/chalmers-kvantdator-bryter-ny-mark-lockar-googles-avhoppare-till-goteborg/>. (Besökt 2021-03-04)

CNN, 2 september 2017, <https://edition.cnn.com/2017/09/01/world/putin-artificial-intelligence-will-rule-world/index.html>. (Besökt 2021-02-26)

Cooper, J., Russia's 'Invincible' Weapons: An Update, Changing Character of War Centre, Pembroke College, University of Oxford, with Axel and Margaret Ax:son Johnson Foundation, mars 2019.

Cuthbertson, A., Hackers can hijack your house through your light bulb, researchers discover, 5 februari 2020, <https://www.independent.co.uk/life-style/gadgets-and-tech/news/philips-hue-smart-light-bulb-hack-cyber-security-a9317456.html>. (Besökt 2021-02-27)

Dao, D. Q., How Emerging Blockchain Is Revolutionizing Cybersecurity, *Tech Funnel*, 12 april 2018, <https://www.techfunnel.com/information-technology/how-emerging-blockchain-is-revolutionizing-cybersecurity/#:~:text=%20How%20Emerging%20Blockchain%20Is%20Revolutionizing%20Cybersecurity%20,With%20blockchain%2C%20user%20can%20trace%20every...%20More%20>. (Besökt 2021-02-28).

Deftech Update, Federal Department of Defence, Civil Protection and Sports, Schweiz, februari 2017.

”De har knäckt Turing-testet – är vi körda nu?”, Ny Teknik, 29 maj 2018, <https://www.nyteknik.se/kronikor/de-har-knackt-turing-testet-ar-vi-korda-nu-6917206>. (Besökt 2021-02-27)

Demming, A., Supercapacitors empower sustainable energy storage, Nanotechnology, vol. 27, nr. 25, maj 2016, <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/0957-4484/27/25/250201>. (Besökt 2021-02-28)

Department of Defense Directive number 3000.09, Autonomy in weapon systems, 21 november 2012, inkluderande förändring nr 1, 8 maj 2017, <https://www.esd.whs.mil/Portals/54/Documents/DD/issuances/dodd/300009p.pdf>. (Besökt 2021-02-27)

DoD Adopts Ethical Principles for Artificial Intelligence, U.S. Department of Defense, 24 februari 2020, <https://www.defense.gov/Newsroom/Releases/Release/Article/2091996/dod-adopts-ethical-principles-for-artificial-intelligence/>. Ledorden är responsible, equitable, traceable, reliable och governable. (Besökt 2021-02-27)

Donnelly, D, An Introduction to China’s Social Corporate Credit System, New Horizons, senast uppdaterad 28 januari 2021, <https://nhglobalpartners.com/chinas-social-credit-system-explained/>. (Besökt 2021-02-26)

Energi i nytt ljus under årets Celsius-Linné föreläsningar, 12 februari 2016, <https://uppsalauniversitet.se/press/pressmeddelande/?id=3114&typ=pm>. (Besökt 2021-02-27)

Erwin, S., Congress demands additional security, backup for military GPS signal, Space News, 15 december 2017, <https://spacenews.com/congress-demands-additional-security-backup-for-military-gps-signal/>. (Besökt 2021-02-28)

European Defence Fund (EDF), https://www.welcomeurope.com/european-funds/edf-european-defence-fund-2021-2027-1104+1004.html#tab=onglet_details. (Besökt 2021-02-27)

Farmer, J. D. och Lafond, F., (2016), How predictable is technological progress?, Research Policy 45 sid 647–665.

FET Flagships, <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/fet-flagships>. (Besökt 2021-02-27)

Framtid – Nyhetsbrevet om framtida tekniker och material, Försvarets Materielverk.

Fredriksson, J., Världens första 4D-Printer för keramiskt material, 27 augusti 2018, <https://alla3dskrivare.se/varldens-forsta-4d-printer-for-keramiskt-material/>. (Besökt 2021-02-28)

Frick, A., Här är Kinas storslagna planer för självkörande bilar, Ny Teknik, 29 januari 2021, <https://www.nyteknik.se/premium/har-ar-kinas-storslagna-planer-for-sjalvkorande-bilar-7008758>. (Besökt 2021-03-04)

Future Capability Development Initiative, 5000/TSC-FPP0010/TT-0069/Ser:0576, 10 September 2018.

Future of life institute, <https://futureoflife.org/open-letter-autonomous-weapons/>. (Besökt 2021-02-28).

Gaming technology trialled in training UK Armed Forces, UK MoD, 6 mars 2020, <https://www.gov.uk/government/news/gaming-technology-trialled-in-training-uk-armed-forces>. (Besökt 2021-02-28).

Gartner Hype Cycle: Interpreting technology hype, Gartner, <https://www.gartner.com/en/research/methodologies/gartner-hype-cycle>. (Besökt 2021-02-28)

Gershgorn, D., Fooling The Machine – The Byzantine science of deceiving artificial intelligence, Popular Science 30 mars 2016, <https://www.popsci.com/byzantine-science-deceiving-artificial-intelligence>. (Besökt 2021-02-27)

Google bekräftar genombrott av kvantöverlägsenhet, Ny Teknik, 23 oktober 2019, <https://www.nyteknik.se/innovation/google-bekraftar-genombrott-av-quantoverlagsenhet-6976044>, (Besökt 2021-02-28).

Googles kvantdator slår världen med häpnad: ”Väldigt viktigt”, Ny Teknik 28/10 2019, <https://www.nyteknik.se/digitalisering/googles-quantdator-slar-varlden-med-hapnad-valdigt-viktigt-6976543>. (Besökt 2021-02-27)

Harrison, R. M., Beyond super soldiers and battle suits, Defense Dossier, American Foreign Policy Council, Issue 20, november 2017.

Helgenomsekvensering, Statens medicinsk-etiska råd,
<https://smer.se/teman/genetiska-analyser/helgenomsekvensering/>.
(Besökt 2021-03-09)

Heslop, B., By 2030, Each Person Will Own 15 Connected Devices — Here's What That Means for Your Business and Content, 4 mars 2019,
<https://www.martechadvisor.com/articles/iot/by-2030-each-person-will-own-15-connected-devices-heres-what-that-means-for-your-business-and-content/>. (Besökt 2021-02-28)

Horizon 2020, <https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en>.
(Besökt 2021-02-27)

Human Genome Project,
https://sv.wikipedia.org/wiki/Human_Genome_Project.
(Besökt 2021-02-27)

Iansati, M. och Lakhani, K.R., The Truth About Blockchain, Harvard Business Review, Jan-Feb 2017, <https://hbr.org/2017/01/the-truth-about-blockchain>. (Besökt 2021-02-28).

If the ocean was transparent: The see-through sea, The Economist, 7 juni 2016, <https://worldif.economist.com/article/12151/see-tough-sea>.
(Besökt 2021-02-27)

“Insatsmoduler – ett förslag till marin tillämpning”, SwAF Kk J Lund,
SSS bet 21 120:80774.

Is artificial intelligence set to become art's next medium?,
<https://www.christies.com/features/A-collaboration-between-two-artists-one-human-one-a-machine-9332-1.aspx>. (Besökt 2021-02-28)

Joint Artificial Intelligence Center (JAIC), <https://www.ai.mil/index.html>.
(Besökt 2021-02-26).

Joint European Disruptive Initiative (JEDI), The European moonshot factory, <https://www.jedi.foundation/>. (Besökt 2021-02-27)

Kristensson, J., Första vätgasdrivna passagerarflyget har svenska bränsleceller, Ny Teknik 25 september 2020,
<https://www.nyteknik.se/fordon/forsta-vatgasdrivna-passagerarflyget-har-svenska-bransleceller-7001857>. (Besökt 2021-02-28).

Mad scientist laboratory – Exploring the operational environment,
<https://madsciblog.tradoc.army.mil/>. (Besökt 2021-02-27)

McLeary, P, The Pentagon's third offset strategy may be dead, but no one knows what comes next, Foreign Policy, 18 december 2017, <https://foreignpolicy.com/2017/12/18/the-pentagons-third-offset-may-be-dead-but-no-one-knows-what-comes-next/>. (Besökt 2021-02-26)

Metamaterials: A whole new world, Material District, 9 april 2014, <https://materialdistrict.com/article/metamaterials-new-world/#moved>. (Besökt 2021-02-28)

Michaels, J., Iraqi forces now attacking ISIS militants with drones in Mosul, USA Today, 25 april 2017, <https://eu.usatoday.com/story/news/world/2017/04/25/united-states-technology-isis-drones-iraqi-forces-mosul/100851612/>. (Besökt 2021-02-28)

Military and security developments involving the People's Republic of China 2019, Annual report to congress, Office of the Secretary of Defense, USA.

MIT-forskare har byggt en fungerande processor av kolnanorör, Ny Teknik 2 september 2019, <https://www.nyteknik.se/premium/mit-forskare-har-byggt-en-fungerande-processor-av-kolnanoror-6970052>. (Besökt 2021-02-27).

Mitre, Acquisition in the digital age, <https://aida.mitre.org/top-10-technology-areas/>. (Besökt 2021-02-27)

Mizokami, K., Russia's Tank Drone Performed Poorly in Syria, Popular Mechanics, 18 juni 2018, <https://www.popularmechanics.com/military/weapons/a21602657/russias-tank-drone-performed-poorly-in-syria/>. (Besökt 2021-02-27)

Morgan, K., CRISPR Meets Synthetic Biology: A Conversation with MIT's Christopher Voigt, 22 april 2015, <http://blog.addgene.org/crispr-meets-synthetic-biology-a-conversation-with-mits-christopher-voigt>. (Besökt 2021-03-09)

MORS (Military Operations Research Society), <https://www.mors.org>. (Besökt 2021-02-27)

Motorbytet låter flygplanet B-52 fira hundra år i luften, Ny Teknik 5 maj 2020, <https://www.nyteknik.se/premium/motorbytet-later-flygplanet-b-52-fira-hundra-ar-i-luften-6994788>. (Besökt 2021-02-27)

NATO Urbanisation Project 2035,
<https://www.act.nato.int/activities/nato-urbanisation-project>. (Besökt 2021-02-27). I december 2018 levererades ett Urbanisation Capstone Concept.

Niiler, E., Can AI be a fair judge in court? Estonia thinks so, Wired, 25 mars 2019, <https://www.wired.com/story/can-ai-be-fair-judge-court-estonia-thinks-so/>. (Besökt 2021-02-28)

Nilsson, G., Is a modular structure the most flexible?, 2nd Nordic Military Operational Analysis Symposium, 17-18 november 2008, Stockholm.

Number of internet of things (IoT) connected devices worldwide in 2018, 2025 and 2030, Statista,
<https://www.statista.com/statistics/802690/worldwide-connected-devices-by-access-technology/>. (Besökt 2021-02-28).

Obminska, A., Ny textil avgör själv om du behöver värme eller kyla, Ny Teknik, 7 februari 2019, <https://www.nyteknik.se/innovation/ny-textil-avgor-sjalv-om-du-behoover-varme-eller-kyla-6947267>. (Besökt 2021-02-28)

Obminska, A., Grafen blir en nyckel till nästa generations batterier, Ny Teknik, 10 september 2019, <https://www.nyteknik.se/premium/grafen-blir-en-nyckel-till-nasta-generations-batterier-6970924>. (Besökt 2021-03-03)

Office of the Under Secretary of Defense for Research and Engineering,
<https://www.cto.mil/modernization-priorities/>. (Besökt 2021-02-27)

Ohlsson. E., Toppmötet i Berlin ska förhindra att Libyen blir slagfält för stormakter, DN 18 januari 2020, <https://www.dn.se/nyheter/varlden/erik-ohlsson-nytt-toppmote-for-att-undvika-att-libyen-blir-slagfalt-for-stormakter/>. (Besökt 2021-02-28)

Osborn, K., What might DARPA's longshot fighter drone be armed with?, The National Interest, 14 februari 2021, <https://nationalinterest.org/blog/buzz/what-might-darpa%E2%80%99s-longshot-fighter-drone-be-armed-178113>. (Besökt 2021-03-04)

Pappalardo, J., The Air Force Is Deploying Its First Drone-Killing Microwave Weapon, Popular Mechanics, 24 september 2019, <https://www.popularmechanics.com/military/weapons/a29198555/phaser-weapon-air-force/>. (Besökt 2021-02-28).

Partnership on AI, <https://www.partnershiponai.org/>.
(Besökt 2021-02-27). Idag har initiativet 100 partners i 13 länder.

Pednault, E., Gunnels, J., Maslov, D. och Gambetta, J., On “Quantum Supremacy”, IBM Research Blog, 21 oktober 2019, <https://www.ibm.com/blogs/research/2019/10/on-quantum-supremacy/>.
(Besökt 2021-02-27)

Pentagons AI-strategi, februari 2019, <https://www.defense.gov/Explore/News/Article/Article/1755942/dod-unveils-its-artificial-intelligence-strategy/>. (Besökt 2021-02-26)

Potential game-changers, <https://community.apan.org/wg/tradoc-g2/mad-scientist/b/weblog/posts/potential-game-changers-636015157>.
(Besökt 2021-02-27)

Pressmeddelande: Nobelpriset i Kemi 2020, Kungliga Vetenskapsakademien, 7 oktober 2020, <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/2020/161307-press-release-swedish/>. (Besökt 2021-03-09)

'Pure thought': Edmonton graduates using brain waves to fly drones, CTV News, 20 mars 2019, <https://www.ctvnews.ca/sci-tech/pure-thought-edmonton-graduates-using-brain-waves-to-fly-drones-1.4343715>.
(Besökt 2021-03-09)

Quantum Technologies Flagship, <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/quantum-technologies-flagship>. (Besökt 2021-02-28)

Regenerativ medicin, Linköpings universitet, <https://liu.se/forskningsomrade/regenerativ-medicin>. (Besökt 2021-03-09)

Reuters, 13 september 2019, <https://www.reuters.com/article/microsoft-smith/microsoft-will-never-sell-facial-recognition-for-surveillance-president-says-idUSL2N2640EX>. (Besökt 2021-02-28)

Rogoway, T., Mysterious laser turret appears on US Navy Destroyer USS Dewey, The Drive, 9 november 2019, <https://www.thedrive.com/the-war-zone/30941/mysterious-laser-turret-appears-on-us-navy-destroyer-uss-dewey>. (Besökt 2021-02-28)

Rotman, D., We're not prepared for the end of Moore's Law – It has fueled prosperity of the last 50 years. But the end is now in sight, MIT Technology Review, februari 2020, <https://www.technologyreview.com/2020/02/24/905789/were-not-prepared-for-the-end-of-moores-law/>. (Besökt 2021-02-27)

Russian Electronic Warfare System Brings Down Hostile Drones in Syria, Defenseworld, 3 februari 2020, https://www.defenseworld.net/news/26265/Russian_Electronic_Warfare_System_Brings_Down_Hostile_Drones_in_Syria#.Xs49hJpvk2w. (Besökt 2021-02-27)

Sample, I., What are deepfakes – and how can you spot them?, The Guardian, 13 januari 2020, <https://www.theguardian.com/technology/2020/jan/13/what-are-deepfakes-and-how-can-you-spot-them>. (Besökt 2021-02-28)

Shmuel, S., The coming swarm might be dead on arrival, War on the rocks, 10 september 2018, <https://warontherocks.com/2018/09/the-coming-swarm-might-be-dead-on-arrival/>. (Besökt 2021-02-27)

Smith, D., 15 mind-blowing announcements Google made at its biggest conference of the year, 9 maj 2018, <https://www.businessinsider.com/google-io-announcements-highlights-2018-5?r=US&IR=T>. (Besökt 2021-02-27)

South, T., Forget 'pinks and greens': The Army is looking to make radar-stopping stealth cammies, Army Times, 16 maj 2018, <https://www.armytimes.com/news/your-army/2018/05/16/forget-pinks-and-greens-the-army-is-looking-to-make-radar-stopping-stealth-cammies/>. (Besökt 2021-02-28)

Sparrow, R., Robots and Respect: Assessing the Case against Autonomous Weapon Systems, Ethics & International Affairs, Volume 30, Issue 1, Spring 2016, pp. 93-116 <https://www.cambridge.org/core/journals/ethics-and-international-affairs/article/robots-and-respect-assessing-the-case-against-autonomous-weapon-systems/D3FBB27E12F68AAF399EAE966A4EC827>. (Besökt 2021-02-27)

Stort genombrott för kvantdatorer, Chalmers, publicerat 18 december 2019, <https://www.chalmers.se/sv/institutioner/mc2/nyheter/Sidor/Stort-genombrott-for-quantdatorer.aspx>. (Besökt 2021-02-28)

Takahashi, C. N., Nguyen, B. H., Strauss, K. och Ceze, L., Demonstration of end-to-end automation of DNA data storage, Scientific reports 9, 21 mars 2019, <https://www.nature.com/articles/s41598-019-41228-8>. (Besökt 2021-02-27)

Technology Quarterly, After Moore's law, The Economist, mars 2016, <http://www.economist.com/technology-quarterly/2016-03-12/after-moores-law>. (Besökt 2021-02-27)

Technology Quarterly: Taking Flight, The Economist, 8 juni 2017, <http://www.economist.com/technology-quarterly/2017-06-08/civilian-drones>. (Besökt 2021-02-28).

Technology Quarterly: Synthetic Biology, Newsweek, 6-12 april 2019.

Tucker, P., The US Military Is Genetically Engineering New Life Forms To Detect Enemy Subs, Defense One, 1 december 2018, <https://www.defenseone.com/technology/2018/12/us-military-genetically-engineering-new-life-forms-detect-enemy-subs/153200/>. (Besökt 2021-03-09)

”Vem vinner kapploppningen om teknologiskt världsherravälde?”, <https://www.dn.se/nyheter/vetenskap/forsta-kvantdatorn-vem-vinner-kampen-om-varldsherravalde/>, Dagens Nyheter, 8 februari 2020. (Besökt 2021-02-26)

Vincent, J., Google's new AI algorithm predicts heart disease by looking at your eyes, The Verge, 19 februari 2018, <https://www.theverge.com/2018/2/19/17027902/google-verily-ai-algorithm-eye-scan-heart-disease-cardiovascular-risk>. (Besökt 2021-03-09)

Vincent, J., OpenAI has published the text-generating AI it said was too dangerous to share, The Verge, 7 november 2019, <https://www.theverge.com/2019/11/7/20953040/openai-text-generation-ai-gpt-2-full-model-release-1-5b-parameters>. (Besökt 2021-02-28).

Världens första koldioxidhotell byggs på norska västkusten, Ny Teknik, 27 mars 2019, <https://www.nyteknik.se/premium/varldens-forsta-koldioxidhotell-byggs-pa-norska-vastkusten-6952758>. (Besökt 2021-02-28)

Warner Music signs first ever record deal with an algorithm, The Guardian, 22 mars 2019, <https://www.theguardian.com/music/2019/mar/22/algorithm-endel-signs-warner-music-first-ever-record-deal>. (Besökt 2021-02-28)

Welfare surveillance system violates human rights, Dutch court rules, <https://www.theguardian.com/technology/2020/feb/05/welfare-surveillance-system-violates-human-rights-dutch-court-rules>, The Guardian, 5 februari 2020. (Besökt 2021-02-26)

'We won't be war profiteers': Microsoft workers protest \$480m army contract, The Guardian, 22 februari 2019, <https://www.theguardian.com/technology/2019/feb/22/microsoft-protest-us-army-augmented-reality-headsets>. (Besökt 2021-02-27)

Woolf, N., DDoS attack that disrupted internet was largest of its kind in history, experts say, The Guardian, 26 oktober 2016, <https://www.theguardian.com/technology/2016/oct/26/ddos-attack-dyn-mirai-botnet>. (Besökt 2021-02-28)

12 deepfake examples that terrified and amused the internet, Creative Bloq, 10 februari 2021, <https://www.creativebloq.com/features/deepfake-examples>. (Besökt 2021-02-28)

https://www.brainyquote.com/quotes/h_r_mcmaster_813292. H.R. McMaster var Trumps nationella säkerhetsrådgivare från februari 2017 fram till mars 2018. (Besökt 2021-02-26)

<https://research.samsung.com/aicenter>. (Besökt 2021-02-27)

Samtal med Bengt-Göran Bergstrand om den senaste amerikanska försvarsbudgeten/FY 2021, våren 2020.

Intervjuer med FOI forskningsområdesföreträdare (Fof)

Flygsystem (Tomas Mårtensson), 20 november 2018

Cyber (Teodor Sommestad), 13 december 2018

Ledning och MSI (Niklas Hallberg), 13 december 2018

Sensorer och signaturanpassningsteknik (Lars Bohman och Christina Grönwall), 13 december 2018

Vapen och skydd (Martin Hagström), 14 december 2018

Undervattensteknik (Erland Sangfelt, Ron Lennartsson, Lena Lund), 18 januari 2019.

Bilaga 5 – Intervjufrågor

- Vad ser du för utveckling inom ditt forskningsområde fram till 2050? Vilka är de stora trenderna?
- Finns det särskilda delområden du vill lyfta fram? Varför? Och vilka är nyckelteknologierna inom dessa delområden?
- Ser du något nytt vid horisonten, som kanske ligger utanför ditt forskningsområde eller överlappar med ett annat forskningsområde?
- Hur ser du på den potentiella motverkan som kan ske mot framtida teknik inom ditt forskningsområde? Ser du en potentiell vinnare i den framtida medels-/motmedelsduellen?
- Hur bedömer du att den framtida balansen mellan kommersiell och militär sektor kommer att utvecklas inom ditt forskningsområde?
- För vad ser du den största militära nyttan av tekniken? (scenarier, miljöer)
- Finns det andra inom ditt område som vi bör prata med?

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