

AI och digitalisering i framtida flygsystem

Ett komplement till

NRIA Flyg 2020



INNEHÅLL

Inledning	3
1 Bakgrund	4
2 Flygteknik som del i svensk FoU och industriutveckling	6
3 Relevanta huvudområden och begrepp	8
4 Lämpliga områden för AI som metod och verktyg	11
Produktionsteknik, med syfte att optimera processer från design till tillverkning	12
Kvalitetskontroller, både i tillverknings- och driftsfasen	13
Logistik	15
Obemannade flygande farkoster/system (UAV/UAS)	16
Kvalificerad radar- och sensorteknologi	18
Beslutsstöd för piloter och taktiskt ledningspersonal	20
Optimering av flygvägar och blandade miljöer mellan flyg och drönare	22
5 Möjligheter och risker med AI i flygtekniska tillämpningar	23
6 Militära applikationer	25
7 Forskning och utbildning	26
8 Slutsatser	28
Referenser	30

OM DETTA DOKUMENT

Text: Denna rapport är producerad av Innovair, det strategiska innovationsprogrammet för flygteknik, som ett led i – och finansierad av – Vinnovas satsning på strategiska studier om hur digitalisering, AI och big data kan stärka förutsättningarna för internationell konkurrenskraft inom de svenska strategiska innovationsområdena (SIP). Rapporten utgör ett komplement till den strategiska forsknings- och innovationsagendan för flygteknik NRIA Flyg 2020. Innehållet får gärna citeras om källan uppges tydligt.

Textproduktion, redaktion: Mats Olofsson, Innovair

Foto/rendering: **1, 32** Serg64/Shutterstock.com, SkillUp/Shutterstock.com **2–3** DamienVectors/Shutterstock.com **4–5** muratart/Shutterstock.com **5** whiteMocca/Shutterstock.com **6–7** Saab **8** everything possible/Shutterstock.com **10** kc look/Shutterstock.com **11** Kjpargeter/Shutterstock.com **12–13** MarinaGrigorivna/Shutterstock.com **13, 14** Olivier Le Moal/Shutterstock.com **15** Connect world/Shutterstock.com **16** Keith Tarrier/Shutterstock.com **18–19** SergeyBitos/Shutterstock.com **20–21** DR MANAGER/Shutterstock.com **22** Naypong Studio/Shutterstock.com **23** WHYFRAME/Shutterstock.com **25** Isuaneye/Shutterstock.com, N E O 6 i A M/Shutterstock.com **26** Flotsam/Shutterstock.com **28** Monster Ztudio/Shutterstock.com **30–31** Frannyanne/Shutterstock.com

Form, layout: Gunnar Linn, Linnkonsult linnkonsult.se

Tryck: Åtta.45 Tryckeri AB, Järfälla, 2020. Denna trycksak är klimatkompenserad i enlighet med ClimateCalc.

Kontakt: info@innovair.org

Inledning

Denna rapport beskriver flygteknikområdets syn på hur digitalisering, AI och big data kan stärka förutsättningarna för internationell konkurrenskraft genom ett starkt flygtekniskt innovationsområde – och via teknikspridning även andra stärkta områden.

Rapporten har inte ambitionen att beskriva AI avseende begreppsdefinitioner eller som generellt kunskaps- och satsningsområde i Sverige. Detta görs på ett bra sätt i exempelvis Vinnovas rapport *Artificiell intelligens i svenskt näringsliv och samhälle – Analys av utveckling och potential* utgiven i maj 2018. Där görs också en internationell utblick, med beskrivning av den mycket omfattande satsning som görs sedan flera år i framförallt Kina och USA. Vi förutsätter att läsaren av föreliggande rapport redan har tagit del av regeringens mål för AI-utvecklingen i Sverige och Vinnovas analys enligt ovan nämnda rapport.

Det flygtekniska området representerar av naturliga skäl bara en delmängd av samhällets ambitioner, men den av regeringen angivna målsättningen "att ta tillvara möjligheterna

som användning av AI kan ge, med syftet att **stärka både den svenska välfärden och den svenska konkurrenskraften**" är i **högsta grad relevant för flygområdet.**

För tydlighetens skull noterar vi i alla fall att Vinnova i sin rapport anger följande definition:

.....
Artificiell Intelligens, AI: Förmågan hos en maskin att efterlikna intelligent mänskligt beteende. Det vill säga den förmåga hos maskiner som möjliggör för dessa att fungera på meningsfulla sätt i relation till de specifika uppgifter och situationer de avses utföra och agera inom. Artificiell intelligens är också det vetenskaps- och teknikområde som syftar till att studera, förstå och utveckla maskiner med intelligent beteende.
.....

För att uppnå regeringens målsättningar måste kunskapsutvecklingen genom statliga såväl som privata satsningar matcha de utmaningar som den högteknologiska industrin står inför.

I den här rapporten beskriver vi Innovairs syn på hur den kunskapsutvecklingen bör gå till.



Bakgrund

AI SOM KONKURRENSFÖRDEL

Artificiell Intelligens, AI, är ett begrepp som funnits i mångas medvetande i decennier, omgärdat med förväntan på stora omvälvande förändringar, men under lång tid med väldigt liten påverkan på samhällets processer. Först på senare år har datorprestanda och tillgången till stora datamängder blivit tillräckliga för att styrkan i AI kan börja utnyttjas. En kombination av snabba processorer, billiga och snabba minnen, effektiv kommunikation och kostnadseffektiva sensorer har tillsammans skapat helt nya förutsättningar.

Det har lett till att det på alla nivåer – stater, forskningsetablissemang, etablerade företag och små ”uppstick-

arbolag” – har initierats aktiviteter för att studera och implementera AI i syfte att nå konkurrensfördelar.

Sverige, som under decennier har legat i topp i olika index avseende mest innovativa nation, med en imponerande statistik vad gäller patentansökningar och med många starka industri-företag, har dock hittills inte utmärkt sig som en framstående AI-nation. När detta blev uppenbart runt 2017 påbörjades ett antal satsningar för att snabbt stärka kompetensbasen och det akademiska anseendet inom området. Såväl statliga som privata initiativ av anseelig ekonomisk omfattning har initierats och en strukturerad kartläggning av kunskaps- och satsningsläget görs nu.

Denna rapport, som utgör flygteknikområdets syn på saken, utgör ett led i det arbetet. Det är ett faktum att den svenska flygindustrin, trots sin med globala mått mätt relativa litenhet, har en teknologisk spetskompetens och kan leverera systemlösningar i världsklass. Därför finns redan i dag en medvetenhet om AI som en väsentlig del av framtida utveckling och inom flera områden tillämpas det redan med stor framgång. Inom akademien har AI och automation också redan fått en framträdande plats. Industrin som avnämare av de kompetenser som ”levereras” från universitet och högskolor behöver dock utvecklas i harmoni med det svenska forsknings- och utbildningssystemet.



AI OCH DIGITALISERING

En förutsättning i flertalet tillämpningar av AI är att den berörda verksamheten har digitaliserats, så att data kan lagras, struktureras, sökas, jämföras och bearbetas. Med digitalisering menas i allmänhet att man omvandlar analog information och analoga beskrivningar och processer till digital representation. Det ger möjlighet att samla in stora mängder data, lagra och göra meningsfull information av sådana data och därefter tillgängliggöra informationen till de som har behov.

Medvetna digitaliseringssatsningar

inom samhället i stort är en hörnsten i den svenska regeringens uttalade ambition att ”Sverige ska vara bäst i världen på att använda digitaliseringens möjligheter”. Det digitaliserade samhället brukar i dag ofta benämnas som en grund för Industri 4.0, en annat populärt begrepp som speglar vägen mot ökad automation och ”självorganiserande produktion”. Men det är lika viktigt att beakta digitaliseringens påverkan på transformationen inom andra samhällsfunktioner, som sjukvård, arbetsförmedling, skola, brottsbekämpning och liknande.

I den förändringsprocess som krävs

för att en ledande position ska nås blir AI en viktig delmängd. Verksamheter där man vill introducera AI-satsningar måste då vara mogna sett ur aspekten digitalisering. Innovair vågar påstå att flyg redan är en föregångsbransch vad gäller digitalisering. Ett modernt flygplan är snudd på ett mästerverk av datorisering, mjukvarustyrda funktioner och kvalificerad systemintegration. Därför finns goda förutsättningar för ett systematiskt införande av AI där så är lämpligt. En SWOT¹-analys för ett system eller delsystem, med fokus på potentialen att utnyttja AI, är därvid en utmärkt första åtgärd.

¹ SWOT står för *strengths, weaknesses, opportunities and threats* (styrkor, svagheter, hot och möjligheter) och en sådan analys framställs ofta som en fyrfältsmatris där man värderar olika egenskaper hos en företeelse.





Flygteknik som del i svensk FoU och industriutveckling

NATIONELL FÖRMÅGA ...

Sverige har sedan 1950-talet byggt upp en mycket kvalificerad flygindustri. För att kompetensförsörja denna har man skapat kvalificerade forskningsenheter vid ett flertal universitet och inom några institut. Ända fram till början av 2000-talet var det de militära satsningarna som ledde utvecklingen – motiverat av tidigare strävan att baserat på neutralitet och alliansfrihet kunna ha en nationell produktion och underhåll av kvalificerat stridsflyg. Saab och dåvarande Volvo Aero (nu GKN Aerospace) utgjorde de centrala spelarna och Försvarsmakten satsade årligen

omfattande belopp på forskning och teknikutveckling. Dåvarande FOA och FFA var centrala aktörer (sammanslogs till FOI år 2001), tillsammans med några av de större universiteten. Etableringen av det nationella flygtekniska forskningsprogrammet NNFP år 1994 blev en viktig faktor i ”produktionen” av disputerade forskare som kunde garantera teknisk innovationskraft på spetsnivå.

Några viktiga förändringar som skett under de senaste decennierna är att tidigare specifik teknik för militärt bruk avseende sensorer, elektronik, datorkraft med mera kommit att övergå till att även lösa uppgifter med mer

generella civila krav. Därför har flygindustrin i hög grad fokuserat på systemintegration och specialtillämpningar av civilt driven teknologi. Digitalisering, nya produktionsmetoder och nu också artificiell intelligens är exempel på områden där konsumentteknologin blivit kravställare och trappan från låg till hög TRL² blivit mycket brantare (går snabbare) än förr.

... KRÄVER NUMERA SAMVERKAN ...

För att klara detta har moderna flygplan i allt högre grad kommit att bygga på modularisering av komponenter och

² TRL står för *technology readiness level* och beskriver en teknologis mognadsgrad på en skala 1–9 från grundläggande forskning (1–2) via demonstration (5–6) till industriellt utvecklade beprövade produkter på marknaden (9). Läs mer på innovair.org/trl.



delsystem, så att enstaka moduler kan bytas/uppgraderas utan krav på nya tester och utvärdering av hela systemet.

Moderna flygsystem, och även rymdsystem, representerar bland de mest komplexa system-av-system som förekommer i industrisammanhang. Inom militära flygsystem som Gripen har kombinationen av exempelvis miniatyrisering, MEMS (mikroelektromekaniska system), vågformshantering, materialval för verkligt tuffa temperatur- och belastningsprofiler avseende motorer och flygkropp samt människa-maskin-samverkan inneburit behov av att fortlöpande driva utvecklingen till spetsnivå.

Men med allt högre komplexitet kan inte små nationer självständigt hantera flödet av nya krav, vilket leder

till att samverkan på internationell nivå blir en nödvändig lösning. För militära applikationer (och även civila vad avser marknadsledande produkter) måste dock en avvägning hela tiden göras mot formella och affärsmässiga sekretesskrav och immaterialrätt där tekniska lösningar skyddas med patent med mera.

Steget till AI innebär även andra utmaningar för flygande plattformar, kopplat till certifiering och luftvärdighetsgodkännande, där ansvariga myndigheter ställer krav på att kunna förstå vad systemen gör i varje läge. Idealet är att då bara utnyttja helt förutsägbara (deterministiska) systemlösningar.

... OCH AI SKAPAR MÖJLIGHETER

En viktig slutsats redan efter denna introduktion blir:

En ökad användning av AI-metoder i flygindustriell utveckling kan exempelvis ge möjlighet för företagen att rationalisera produktionen av olika komponenter, utveckla ny metodik för signalbehandling och ge stöd vid säkerhetsbedömningar. AI kan också vara ett kraftfullt stöd vid utvärdering av design- och tekniklösningar och vid inspektioner, genom förmågan att bearbeta stora mängder data på kort tid.

Relevanta huvudområden och begrepp

TEKNIKOMRÅDEN

Innovairs ansvarsområde innehåller teknikutveckling för flyg i en bred skala. Inom ramen för den nationella strategin för flygteknik, NRIA Flyg, beskrivs ett antal överenskomna prioriterade teknikområden som inrymmer den strategiskt viktiga flygteknikforskningen. De är områden där Sverige redan etablerat en stark position, mycket baserat på ett strukturerat tänkande för det nationella flygtekniska forskningsprogrammet NFFP. Områdena kan sammanfattas med följande huvudrubriker.

- modellering och simulering – digitala tvillingar;
- flygteknik och farkostdelsystem;
- flygsystemteknik;
- produktionsteknik;
- material och hållfasthetsteknik;
- framdrivning, kraftgenerering och integration.

På innovair.org/teknikomraden kan du läsa mer om ovanstående.

När vi nu ska bedöma hur AI kan påverka dessa områden har vi skurit helheten på ett lite annorlunda sätt. Områden där vi ser att AI kommer att påverka framtidens flyg i hög grad är:

- **produktionsteknik**, med syfte att optimera processerna från design till tillverkning;
- **kvalitetskontroller**, både i tillverknings- och driftsfasen;
- **logistik** i många sammanhang, för optimering av flöden, lagerhantering med mera;
- **obemannade flygande system (UAS)**, såväl autonoma som fjärrstyrda (RPAS);
- kvalificerad **radar- och annan sensorteknologi** och anpassning av dessa i realtid;
- **beslutsstöd** för militära piloter och taktisk ledningspersonal, bland annat grundat på mönsterigenkänning

och avvikelседetektering;

- **optimering av flygvägar**, dels för att minimera klimatavtrycket, dels som del av ”detect and avoid” för Air Traffic Management (ATM). I detta ingår begreppet Urban Air Mobility (UAM).

Läs mer ingående om dessa områden i kapitel 4.

BEGREPP

När vi beskriver **AI, Artificiell Intelligens**, för flygsystem, måste vi först klarlägga förutsättningarna för en relevant AI-satsning. I botten ligger att verksamheten genomfört en strukturerad **digitalisering** (se kapitel 1), så att data blir tillgängliggjord att bearbetas vidare. För många typer av AI krävs stora mängder data, ofta beskriven med termen **big data**, vilket i sig utgör ett första krav på en systemägare som vill tillämpa AI som metod och verktyg. Ju större datamängder av kvalitetssäkrad karaktär som man kan strukturera och lagra, desto bättre grund för att kunna utveckla och dra nytta av relevanta algoritmer. Det leder till insikten att samarbete och utbyte av data från mer än en källa ger större urval och normalt större konfidens. Men kravet är inte bara att ha mycket data, utan data som är rätt strukturerad och anpassad för ändamålet. Detta är, vilket diskuteras senare, minst lika påtagligt i flygsammanhang som inom andra sektorer.

I beskrivningar av AI handlar det ofta om olika varianter av **maskinlärning**, *machine learning*, som ligger till grund för merparten av den satsning på självkörande fordon som pågår inom fordonsindustrin. Mycket kraft läggs därvid ner på att skapa pålitlig och robust varseblivning (perception) som underlag för beslut, vilket utgör en

mycket viktig faktor även i flygrelaterade sammanhang. En annan gren, som ofta lyfts fram i media, är utvecklingen av det som kallas humanoider (mänskliknande robotar) som förväntas få ett stort genomslag inom olika service-närings. Inom flygområdet tillämpas redan maskininlärning i varierande omfattning, främst för utveckling av olika typer av stödsystem samt i tillämpningar för obemannade farkoster. Maskininlärning innebär att en dator lär sig (tränas) för en uppgift, antingen utifrån stora mängder data (se *supervised* eller *unsupervised learning* nedan) eller genom att successivt förändra sitt beteende för att efterhand optimera det mot angivna mål, där systemet ”belönas” utifrån värderingar baserade på kostnadseffektivitet (se *reinforcement learning* nedan).

När vi talar om maskininlärning avser vi oftast processer som optimerar (tränar) algoritmer, med hjälp av strukturerade lager av stora datamängder, för att utföra olika uppgifter. Det handlar således om att få datorer att lära sig, agera och utvecklas genom att utnyttja tidigare erfarenhet. Ett viktigt begrepp i sammanhanget är då **neuronal nätverk**, som efterliknar den mänskliga hjärnans nät av neuroner (nervceller) och dess kommunikation via synapser. Det kan vara processer där systemet självt upptäcker brister och anpassar sina algoritmer för att förbättra processen, mot mål som har definierats av ägaren. Vilken lösningsmodell som ska användas varierar – alternativt kan vara **övervakad** (*supervised*) eller **oövervakad** (*unsupervised*) maskininlärning. Andra modeller är **återkopplings-** eller **förstärknings-** (*reinforcement*) eller **överförd** (*transfer*) inlärning. Några exempel ges senare i rapporttexten. I vissa fall kan det även vara bäst att använda en sofistikerad kombination av maskininlärning, regelbaserad hantering och

statistiska modeller.

I *reinforcement learning* krävs inte stora datamängder; modellen bygger oftare på simuleringar av omvärldsutvecklingar baserat på förskjutning av använda ingångsvärden. Idén är att uppmuntra det som är bra och att det finns någon form av konsekvens av det man vill undvika. Systemet kan successivt pröva olika utfall och förfina det efter klassisk *cost/benefit*-modell, där optimering av resultatet (benefit) styr det önskvärda beteendet åt rätt håll.

Maskininlärning finns redan i dag i varierande grad implementerad inom sektorer med långt driven digitalisering. En variant som dominerar inom neurala nätverk är **djupinlärning**, *deep learning*, där flera lager av noder sammankopplas i algoritmerna, grundat på neuronät. Med tillgång till stora set av träningsdata, kraftfull beräkningskapacitet och alltmer avancerade algoritmer kan systemet med hjälp av djupinlärning erbjuda verktyg för att förfina, förbättra och vidareutveckla processteg, pröva nya angreppssätt och därmed medverka till en ökning av systemprestanda och kostnadseffektivitet. Självklart ligger sådana mål högt för industriföretag även inom flygsektorn, men här har det hittills inte funnits så många tydliga applikationer som har integrerats i utvecklingsprocessen eller kommit att påverka slutprodukterna till kund. Som framgår av diskussionen i kapitel 5 finns det också skäl att vara försiktig avseende djupinlärning som verktyg för utveckling av säkerhetskritiska delar av flygburna system. Motivet kan enkelt uttryckas som att ”brist på förutsägbarhet” inte passar ihop med de hårda certifieringskraven i flygbranschen.

En uppseendeväckande form av maskininlärning, av typen återkopplings- eller förstärkningsinlärning, demonstrerades år 2016 av Googles dator



AlphaGo, som besegrade världsmästaren i den kinesiska spelet Go. Detta spel anses betydligt mer avancerat än schack och kräver inte bara strukturerad intelligens av sin spelare – Google själva beskriver det som att man lyckats emulera även det som brukar kallas mänsklig intuition. Vi såg då (och kan förvänta oss flera och ännu mer avancerade exempel i framtiden) en demonstration inte bara av artificiell intelligens utan även ”artificiell intuition”, vilket skulle kunna vara en alternativ tolkning av förkortningen AI.

AI beskrivs ofta i termer som fokuserar på inlärning. Sådan AI motsvarar dock bara en del av den mänskliga tänkandeprocessen. För att lyckas med inlärningen krävs att systemet, med eller utan neurala nätverk, kan skaffa erfarenhet – från data eller från modellsimuleringar med självlärande successiva steg. Därifrån är det ännu långt till en generell artificiell intelligens som kan efterlikna kombinationen av människans intuitiva och analytiska tänkande. För att kunna angripa problemen mera lösningsinriktat behövs modellbaserade beräkningsmetoder, som kommer runt en del av de begränsningar som finns i lärandemetoderna. Sådan utveckling pågår och vi måste ödmjukt konstatera att AI som område kan förväntas genomgå många utvecklingssteg och att vi ännu vet väldigt lite om hur flygteknik som strategiskt innovationsområde kommer att påverkas i framtiden.

HÅRDVARA OCH MJUKVARA FÖR AI

Globalt sker den mest påtagliga AI-satsningen i Kina och USA, där man också investerar stora medel i extremt kraftfulla beräkningscentra och datalager, vilka är en förutsättning för kvalificerad djupinlärning. Grafikprocessorer (GPU) har befunnits vara

särskilt lämpliga för AI, men numera utvecklas också andra processorer med design och tillverkning för speciella ändamål eller tillämpningar. En kretstyp som fått ökad användning i och med AI är FPGA, *field-programmable gate array*. En annan, ännu mer anpassad typ, benämns ASIC, *application-specific integrated circuits*. De stora IT-jättarna som Google har tagit fram egna ASIC-kretsar som är mycket lämpliga för att köra deras *open source*-mjukvara (öppen källkod, fritt tillgänglig) för maskininlärning.

Sådan open source-mjukvara har, i de fall den uppfyller användarens kvalitetskrav, blivit en avgörande tillgång för företag och akademi med tekniska spetsapplikationer. Där inräknar vi flygrelaterad forskning och teknikutveckling. För vidareutvecklingen av Gripen och dess stödsystem kommer möjligheten att använda sådana verktyg fortsättningsvis vara av central betydelse.

Genom att man med fritt tillgänglig källkod kan skapa väldigt avancerade AI-tillämpningar förekommer i flera sammanhang diskussioner om huruvida sådan kod ska förbjudas i utveckling av militära system. Debatten om vad man kallar ”*killer robots*” har varit omfattande i delar av västvärlden. Den bistra verkligheten är att även mindre nogräknade organisationer och grupperingar kan dra nytta av sådan kod och bygga kvalificerade system. De kan användas för militära syften, men också för att genom massiva och mycket komplexa IT-attacker skapa oreda i finansvärlden eller i känslig infrastruktur, som ett led i att destabilisera ett land eller en region.

4 Lämpliga områden för AI som metod och verktyg




På sidorna 8–9 listar vi sju områden som Innovair bedömer särskilt lämpliga och troliga för utökade satsningar på AI. Eftersom strategin i NRIA Flyg sträcker sig flera decennier framåt och AI-utvecklingen förväntas accelerera blir bedömningarna av naturliga skäl

osäkra. Nya val och inriktningar för exempelvis helt autonoma farkoster, elektrisk framdrivning och andra företeelser som förändrar normalbilden, samt nya innovationer som i dag inte ens är påtänkta, kan komma att medföra disruptiva utvecklingssteg. Men

den osäkerheten finns i varje framtidsspaning och är inte unik för AI.

På de följande sidorna ger vi en närmare beskrivning av vilka delområden, inom vart och ett av dessa, som vi i dag ser som primära för utveckling med stöd av AI.



**OMRÅDE: PRODUKTIONSTEKNIK,
MED SYFTE ATT OPTIMERA
PROCESSERNA FRÅN DESIGN
TILL TILLVERKNING**

PRODUKTION AV flygplansdelar och flygmotorer bygger fortfarande till stor del på metoder från den traditionella processindustrin. Liksom i andra likande branscher, inte minst inom fordonsindustrin, sker tillverkningen i en serie väl kontrollerade och sekventiella steg, där delar tillverkas och monteras efter mycket detaljerade ritningar och specifikationer. Och liksom i andra branscher har det successivt införts robotar för borrar, svetsning, slipning, fräsning, nitning med mera. En tydlig förändring på senare år är digitaliseringen av ritningar, som nu nästan helt och hållet ligger i datorer, kan projiceras i glasögon, visas i 3D, vridas och vändas och zoomas.

Denna digitalisering utgör grunden för automatiserade produktionssteg, med ovan nämnda robotar. I grunden handlar det fortfarande mest om traditionell reglerteknik, men AI har börjat tillämpas i form av maskininläring som efterhand förbättrar detaljutförandet, minskar felutfall med mera. Det finns stora utvecklingsmöjligheter, men nuvarande robotar är även utan AI väl anpassade till sin uppgift.

Processerna kan kontrolleras genom uppföljning med hjälp

av en mängd olika sensorer, inklusive kameraövervakning med bildigenkänning, där systemet spårar minsta avvikelser. **Genom att registrera stora mängder sådana data kan man efterhand skapa relevanta datalager som blir träningsdata för systemets AI-funktioner, med målet att successivt förbättra produktions- och minimera förluster i tid och kvalitet. Detta ser vi som ett viktigt utvecklingsområde för AI.** Det går också att med hjälp av AI optimera design på komponent- såväl som systemnivå, vilket visat sig kunna ge bättre egenskaper än traditionella metoder.

Ett annat exempel på nya metoder som erbjuds genom branschens digitalisering är det snabbt ökande användandet av additiv tillverkning, ofta benämnt 3D-printning, som markant minskar materialåtgången och exempelvis ger möjlighet till precisionsuppbyggnad av komplicerade komponenter. Inte minst inom tillverkningen av motordelar har denna teknik på kort tid introducerats, nu även för delar upp till flera meters storlek. Processen utgår från tredimensionella digitala produktbeskrivningar, där (vanligast) lasersmältning av

metalltråd stegvis bygger upp även intrikata produktdelar med en minimal materialförlust vid efterföljande slipning och putsning. Genom att mäta och lagra produktionsdata kommer systemet med tillämpning av AI-metoder efterhand självt kunna förfina de algoritmer som styr processen. **För att införa additiv tillverkning av primärstrukturer (där brott leder till haveri) bedömer vi att AI kommer att vara nödvändigt för certifiering, genom processkontroll under tillverkningen.**

Men AI kan tillämpas redan i tidiga faser, som vid designen av olika komponenter eller hela slutprodukter. Genom insamling av data från en mängd initiala designförslag och tidiga prototyper kan olika designsteg optimeras mot minimering av luftmotstånd, minskad bränsleförbrukning, slittållighet, vikt kontra hållfasthet med flera egenskaper. **I sådana utvecklingssteg är modellering och simulering mycket användbara verktyg, som kan kombineras med AI för att successivt pröva många olika varianter.** Så kallade Monte Carlo-simuleringar, där ett stort antal utfall registreras utgående från små förändringar i utgångsdata och en simulerad process av gångtid, slitage eller

dylikt är då ett effektivt arbets-sätt, också för att underlätta kravnedbrytning. **Tillgång till kraftfull beräkningskapacitet, mycket data och AI-verktyg blir redskap för att optimera den slutliga designen. Samarbete mellan olika företag där man skapar och delar gemensamma datalager skulle därvid ur AI-synpunkt vara önskvärt.** Det gäller då att hitta affärsmodeller där sådan nytta inte behöver erhållas på bekostnad av möjligheten att freda respektive företags immaterialrätt.

En utmaning i produktionssegmentet är kopplad till begreppet agil tillverkning (*agile manufacturing*), som enklast kan beskrivas som "förmågan att snabbt svara mot kundkrav och marknadsförändringar men fortfarande behålla kontrollen över kostnad och kvalitet". **Genom att införa "smarta robotar" som med AI-stöd kan utföra tillverkningsmomenten mera dynamiskt, finns förutsättningar för att införa mindre förändringar utan att behöva stoppa produktionen och ställa om hela systemet. Detta är ett område som vi bedömer kommer bli föremål för både industriella satsningar och ny FoU.**



OMRÅDE: KVALITETSKONTROLLER, BÅDE I TILLVERKNINGS- OCH DRIFTSFASEN

KOPPLAT TILL produktionssteknikaspekten finns nästa steg, nämligen kvalitetskontroller samt test och utvärdering (*test and evaluation*, T&E). Här handlar det åter om att samlas in, strukturera och lagra stora mängder data från ett ständigt ökande bibliotek av testkörningar och beräkningar.

Under tillverkningsfasen utgör sådana data, insamlade såväl som simulerade, ett mycket bra underlag för att identifiera detaljer som kan leda till störningar eller kan vara orsaken till ineffektiva driftförhållanden.

En förhoppning hos industrin är också att få tillgång till AI-baserade hjälpmedel redan i programmeringsfasen av mjukvara för produktionsstyrning och drift, för att kontrollera att programmeringen är korrekt och för att förhindra att det av misstag läm-

nas "bakdörrar" som senare kan användas för industrispionage eller sabotage.

Modern sensorteknologi, miniatyrisering av komponenter och effektiva kommunikationslösningar för samspel mellan komponenter, inte minst de IoT- (*internet of things*) och 5G-lösningar som är under utrullning, har gett nya möjligheter till kontinuerlig mätning på detaljnivå. Genom introduktionen av små sensorer, där vissa med additiva tillverkningsmetoder kan integreras i materialet, kan systemen leverera enorma mängder mätdata under utprovning och drift. Detta gäller såväl skrov, roder, landställ med mera, som motorer med sina olika delar, som är utsatta för extrema påfrestningar avseende temperatur och belastning.

Genom uppbyggnad av

välstrukturerade datalager med sådana mätdata skapas förutsättningar för att med AI-verktyg analysera driftprofiler och jämföra med felutfall för stora serier av en produkt.

Analyserna skulle kunna leda till att sådana driftprofiler följs upp på enskild komponentnivå, att svagheter kan identifieras och att komponenter kan bytas ut i tid, helt kopplat till individuella driftdata samt identifierade materialsvagheter och liknande. En sådan underhållslösning kräver att systemen är modulariserade (jämför det i dag allmänt vedertagna begreppet *plug-and-play* för IT-system), så att utbyte kan ske av små individualiserade komponenter utan att certifieringen av större system måste göras om. Man talar i industrin även om partitionering inom modulerna, för att bryta ner det till ännu mindre, kontrollerbara, enheter.

Redan i dag finns ett sådant *life-tracking system* (LTS) hos exempelvis GKN Aerospace som stöd för att utarbeta underhållsplaner för motorindivider. **Med AI som metod finns möjlighet att utveckla detta vidare, genom att systemet utifrån en stor databas kan hitta samband, föreslå nya rutiner samt sett mot helheten optimera när varje komponent bör bytas ut.** Detta omfattar initialt komponenter med utpekad livslängd (så kallade LLP, *life-limited parts*), men med AI-stöd kan systemet förväntas klara av att följa upp samtliga motordelar på individbasis. Eftersom motorn i sin driftcykel samverkar med övriga delar av det komplexa system-av-system som ett flygplan utgör, finns det

stora vinster i att efterhand bygga AI-baserad uppföljning med ett "teknik-holistiskt" synsätt.

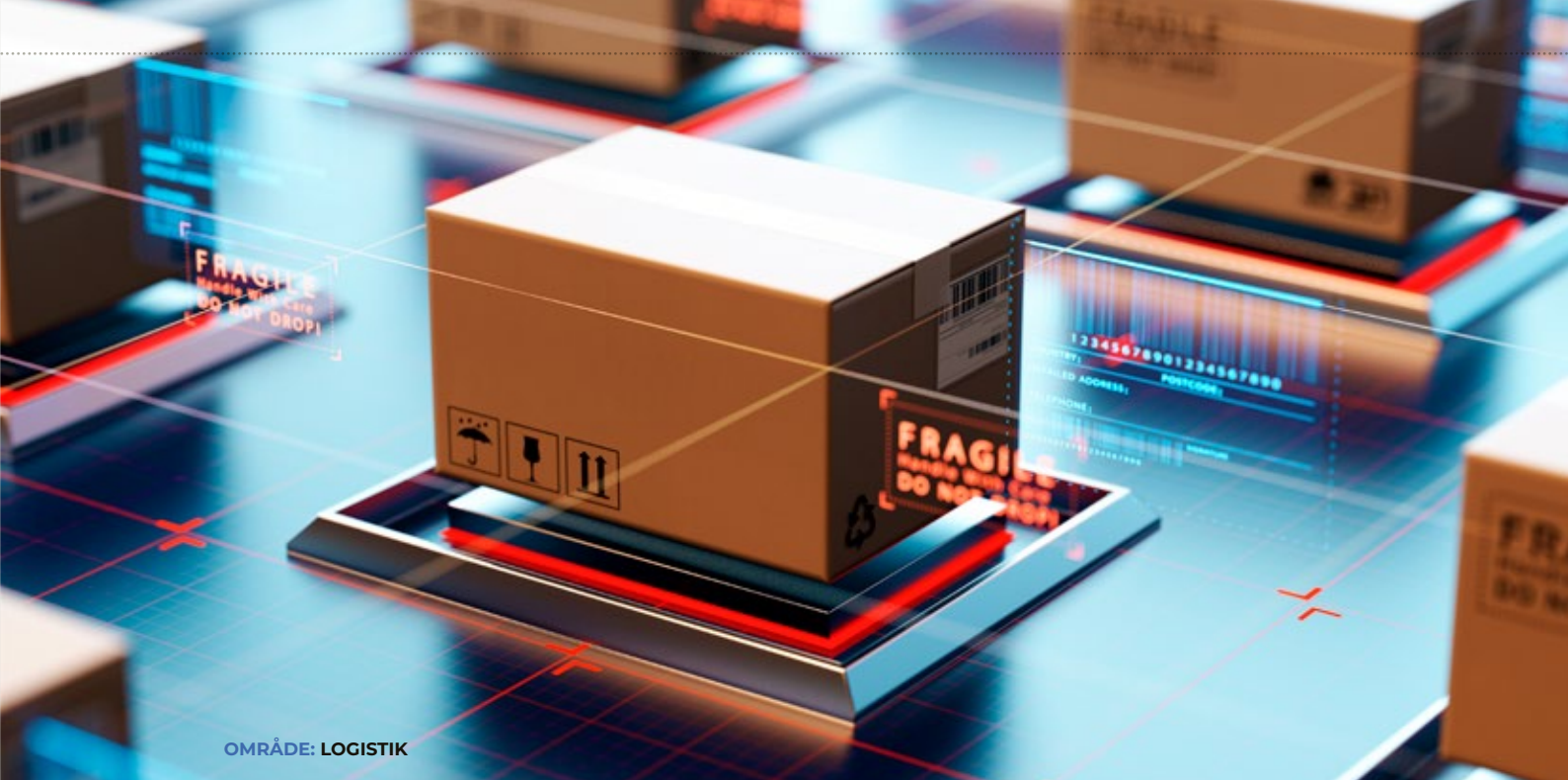
Rollen för AI i sammanhanget är alltså att hitta mönster med hjälp av de enorma databanker som efterhand byggs upp, ge underlag för rekommendationer avseende förändringar och anpassningar samt med hjälp av simuleringar kunna visa för de slutliga beslutsfattarna vad som är orsak och verkan. Under de närmaste decennierna bedöms LTS och liknande system komma att utvecklas och förfinas avsevärt, grundat på en ökad användning av AI/maskininlärning.

I detta sammanhang är det viktigt att framhålla vikten av att tidigt i planeringen av nya system ta med krav på robusthet och säkerhet för alla komponenter i digitaliserade och automatiserade industriprojekt, även för mätsystemen. Att införa mängder av sensorer i syfte att få bra data som underlag för beslut om åtgärd är inte kostnadseffektivt om några sensorer är undermåliga, indikerar fel och orsakar nedtagning av hela system. Luleå tekniska universitet är koordinator för ett europeiskt spetsamarbete för att skapa standarder och bidra till robusta verktyg för framtida industritillämpningar, *Arrowhead Tools*, med stor relevans även för flygindustriella tillämpningar. Färska exempel från Boeings haverier med modellen 737 Max, där man tycks ha undervärderat behovet av att ha flera oberoende sensorer/indikatorer, belyser både att detta är angeläget och att flygbranschens certifieringskrav är och måste vara mycket stringenta.

Hos Saab finns i dag inom Support Services mycket stora datamängder, uppbyggda genom årtal av supportverksamhet, som med lämpliga åtgärder kan bli grund för framtida AI-tillämpningar.

I flygsammanhang behöver människan i loopen fortsatt göra slutliga bedömningar och rimlighetsprövningar, eftersom ett avancerat AI-system inte är deterministiskt och vi därför inte kan få en så säker uppfattning av bakgrunden till förändringarna att vi kan låta driftsystemen modifiera sig själva. Luftvärdighets- och certifieringskraven kommer att vara styrande för om och när det kan bli möjligt att helt automatisera produktionen av färdiga flygplan och -motorer. **Vår bedömning i nuläget är att detta kommer att dröja länge, men åtgärder för att underlätta införande av ny teknik med bibehållen säkerhet och därvid förkorta certifieringsprocessen skulle betyda mycket för flygindustrins förutsättningar i framtiden.** Det bör i detta sammanhang framhållas att AI är väl lämpat och kommer kunna få stor inverkan på validering och verifiering (VoV) och den övergripande säkerhetsprocessen även inom flygområdet.

En annan lämplig uppgift för AI-tillämpningar kan vara att med koppling till en mängd särskilt anpassade sensorer ombord fortlöpande diagnosticera och kalkylera relevanta parametrar för vikt och balans inför och under flygning. Detta är ett nödvändigt och ofta tidskrävande arbete som ytterst är befälhavarens ansvar inför varje flygning.



OMRÅDE: LOGISTIK


I SAMLINGSRUBRIKEN logistik kan i flygsammanhang inräknas flödeshanteringen i samband med tillverkning/underhåll, för såväl stora produkter (för Saab stridsflygplan och delar till trafikflygplan; för GKN motordelar och hela motorer; för SMF mindre flygplan och UAV) som mindre komponenter, men också hanteringen av reservdelar och utbytesenheter, både nationellt och internationellt. För militära behov tillkommer logistiken i samband med utflyttade förband och enheter, till flygbaser i landet eller i samband med internationella insatser.

För att nå en ökad kostnadseffektivitet är det viktigt att optimera dessa flöden, så att det totala antalet förflyttningar och lagerstorlekar kan minimeras,

samtidigt som flaskhalsar elimineras. Detta ska dock beräknas mot troliga utfall av felhändelser, risk för produktionsstörningar och en rad andra faktorer. **AI ger goda förutsättningar att göra sådana beräkningar och successivt förfina dem, utgående från samlade datalager med mångåriga erfarenheter. Liknande metoder har använts sedan länge, men AI erbjuder möjligheter att mera dynamiskt dra slutsatser och initiera förändringar, samt konstruera bättre simuleringsmodeller, baserat på ett mycket större underlag än tidigare.** Som nämnts på flera ställen i denna rapport krävs det att tillgänglig information struktureras och lagras på ett smart sätt samt att lämpliga algoritmer utvecklas för uppbyggnadsskedet. Dessa

kan sedan förfinas med hjälp av neurala nätverk och lämpliga AI-relaterade tekniker och matematiska modeller.

Logistikrubriken passar även på följande åtgärd: genom märkning med RFID-taggar (*radio-frequency identification*) eller QR-koder (*quick response*) på alla komponenter och installation av scannrar i produktionslokalerna kan man generera omfattande datalager. **Sådana data kan utnyttjas för att träna AI-system till att initiera förändringar som leder till ökad kostnadseffektivitet och eliminering av kvalitetsbrister.** Detta är genom sin potential givetvis en generell branschtrend, men den inkluderar i hög grad även flygindustrin.



OMRÅDE: OBEMANNADE FLYGANDE FARKOSTER/SYSTEM (UAV/UAS)

OBEMANNADE SYSTEM har funnits i flygsammanhang i decennier och det finns i dag ett stort antal produkter på marknaden, med en kategoriindelning som främst bygger på storleken, vilken i sin tur styr flyghöjd, uthållighet och lastkapacitet. Förutom själva farkosten (UAV eller populärt ofta benämnt drönare) har systemen innehållit en externt placerad pilot och teknik/utrustning för fjärrstyrning. Sådana system kallas därför oftast för RPAS (*remotely piloted aircraft systems*). Precis som inom den i dag intensiva utvecklingen av autonoma fordon inom andra transportsektorer finns på flygområdet ett antal satsningar för att, med AI som verktygslåda, utveckla helt autonoma flygfarkoster i stor skala. Här kan naturligtvis också kommenteras den härfina skillnaden mellan militära UAV och avancerade kryssningsmissiler, som båda kan göras autonoma.

Liksom för självkörande bilar kräver autonomitet en svit av sensorer som kan identifiera och klassificera den närmaste omgivningen. Systemet måste sedan, utgående från hur det tränats att uppfatta händelser och bedöma olika objekts läge och förändring flera tidssteg framåt, kunna styra, göra undanmanövrar, utföra specifika uppdrag, starta, landa och vid behov taxa.

I och för sig är det ur många aspekter enklare att utan incidenter vistas i den tredimensionella luftmiljön än det är att framföra en bil i hårt trafikerad stadsmiljö. Men konsekvenserna vid en onormal händelse som leder till haveri kan vara mycket större.

Med hjälp av stora banker av träningsdata kommer autonoma system kunna läras hur de ska uppträda i flertalet upptänkliga situationer (det kommer dock alltid att kunna uppstå helt oförutsägbara händelser, varför systemet också måste kunna generalisera och/eller initiera nödprocedurer). Autonomt flygande taxifyg för 2–6 personer kan förväntas bli en verklighet när reservnivåer, säkerhetsfunktioner och trafikledningssystem nått en certifierbar mogenhet.

Inom den militära delen av flygsektorn sker en snabb utveckling mot autonoma farkoster. Dessa utgår ofta från ganska traditionella flygplanskonstruktioner med lång uthållighet men utan de begränsningar som skapas av en människas fysiska närvaro på plattformen. I form av fjärrstyrda luftfarkoster (RPAS) finns det redan många exempel, men nu finns också flera projekt i Kina och även USA som fokuserar på helt autonomt uppträdande. Syftet är att slippa de begränsningar, bland annat tidsmässiga, som människan och det av människan genererade beslutsfattandet innebär. **Utgående från bland annat djupinläring och neurala nätverk kan dessa system identifiera hot, kalkylera kring alternativa verkansmedel samt reagera med vapenverkan och omedelbart starta undanmanövrar, allt mycket snabbare än vad en mänskligt styrd plattform skulle klara.** Redan i dag finns ju för övrigt också kryssningsrobotar, som till sin funktion inte är så olika ett obemannat flygplan med vapenlast.

Det stora hindret ligger i den

etiska aspekten att överlåta beslut om vapenverkan till ett AI-styrt icke-deterministiskt system (se vidare i kapitel 5).

Alla varianter av UAV behöver innehålla någon typ av intelligenta funktioner för att vid bortfall av extern kommunikation kunna fortsätta operera. Ombord behöver därför finnas sensorer, datorkraft och programvara för att guida den för en säker fortsatt operation. De mycket kvalificerade kretsar som i dag levereras bland annat till små satelliter, kommer att medge att **även mindre drönare kommer kunna hantera komplexa beräkningar ombord, bära med sig stora datamängder (exempelvis referens-geodata) och även innehålla AI-verktyg för att göra egna omplaneringsberäkningar.**

Ett militärt utvecklingsområde kopplat till drönare är svärmteknologi, där en mängd drönare samverkar och kan lösa givna uppgifter som ett kollektiv. Om en drönare förloras kan andra ta över dennes uppgifter genom en form av självsynkronisering. En passande term här, ofta använd i samband med AI, är multiagent. Här krävs en komplex kombination av kommunikationslösningar, utbyte av sensordata inom gruppen, ständiga anpassningar och möjlighet till förändrat uppträdande hos varje individ, med målet att gruppen ska nå största möjliga effekt. **Sådana svärmar, med autonomt uppträdande baserat på djupinlärning eller andra kvalificerade tekniker, har blivit vanliga i filmvisioner om ett framtida robotiserat krig. Svärmteknologin för drönare bedöms få stor spridning även**

för civilt bruk – inom lantbruket, som hjälpmedel vid kartering, sökförfaranden efter katastrofer med flera tillämpningar.


Svärmen behöver inte uppträda autonomt, utan kan styras som en RPAS. Det gäller då att styra svärmen snarare än varje individ, där de individuellt håller fart och höjd, undviker kollisioner och liknande.

Här öppnar sig också möjligheter för exempelvis polis och räddningstjänst att utnyttja flera samordnade drönare för övervakning och snabb insatsledning vid olyckshändelser eller attentat. I texter om obemannade system i luften och på sjön används ofta begreppet svärm-teknologi. Rent tekniskt bedömer vi att framtida AI-lösningar kan leda till möjligheten att erbjuda sådana system som en tjänst (via så kallade service providers), att beställa inför särskilda evenemang eller för kontinuerlig övervakning av utpekade områden.

Ett intressant projekt som genomförs av företaget Microsoft är utvecklingen av ett autonomt obemannat segelflygplan, som med kameror och datorkraft ombord själv letar upp termik (uppvindar som håller segelflygplanet svävande utan motor), håller sig borta från kontrollerad luft och lär sig själv genom ombord placerade AI-kretsar med maskininlärning i form av belöningsbaserad förstärkningsinlärning, som innebär att systemet enkelt uttryckt belönar sig självt då det förbättrat sitt beteende och resultat. Denna typ av AI används i dag också i flera strategispel, exempelvis *AlphaStar*, som på senare tid blivit mycket uppmärksammade och

som definitivt är av intresse att studera för utveckling av samhällets framtida ledningssystem.

Ett användningsområde för drönare, inom kategorin övervakning, som redan nu växer och som vi bedömer kommer att nå en mycket stor marknad, är sektorerna för lantbruk och skogsbruk. Små sensorer som kan analysera multispektral information (data från sensorer i flera frekvensband) och inbyggd AI kan leverera detaljerade beskrivningar av exempelvis jordmån, fuktighet i markskiktet, status på olika grödor och behov av näringstillförsel. De kan beräkna storleken på skörd eller skogsbestånd för varje område samt spana efter skadedjur eller andra problem. Detta handlar om en integrerad utveckling av själva plattformen med styrsystem, framdrivning, sensorer och kommunikationssystem. Med solceller på vingarna, ny batteriteknik för eldrift samt optimering av flygningen i förhållande till vind och andra meteorologiska parametrar kommer systemen på sikt autonomt kunna bevaka, rapportera och initiera åtgärder och hålla sig i luften mycket länge. **Detta är ett utvecklingsområde för obemannat och autonomt som bedöms bli mycket stort globalt och som kan ge utrymme även för små företag med nischade produkter. Det kommer också ställa stora krav på nya regelverk för små flygande farkoster, med integritetsavvägningar vid flygning över tätorter med mera.**



**OMRÅDE: KVALIFICERAD
RADAR- OCH SENSORTEKNOLOGI**

EN MYCKET TYDLIG trend inom sensorområdet, inklusive radar, är fokus på mjukvara och att hårdvaran byggs upp av miniaturiserade standardkomponenter i lämpliga konfigurationer. **Utökning av räckvidd och prestanda erhöles tidigare genom smarta algoritmförändringar men nu finns en ny generation av såväl hårdvara som metoder, med AI som pådrivande faktor.** På radiosidan har mjukvarustyrd radio, vanligen skrivet som SDR (*software-defined radio*), blivit ett eftersträvarvärt sätt att öka flexibiliteten och möjligheten att kombinera lösningar för olika behov. Samma utveckling sker nu på radarområdet.

Inom området sensorteknologi räknar vi i detta sammanhang även in den militära tillämpningen telekrig. Där inryms såväl offensiva åtgärder som skydd genom störning, vilseledning, elektroniska skenmål, falsksignalering med mera. I grunden handlar det om att sända ut och/eller motta elektromagnetiska signaler i olika frekvensband, analysera, kombinera, manipulera och tolka. Programmeringstekniskt innebär det avancerade tillämpningar av matematik och detsamma gäller generellt för AI som verktygs-

låda. **Inte förvånande bedömer branschen att det inom detta teknologiområde finns en mycket stor potential för att påverka utvecklingen med hjälp av AI.** Här satsas redan nu mycket stora resurser, främst i Kina och USA, men även svensk försvarsforskning och -industri ligger långt framme. Ett teknologiområde inom AI som börjat få stor uppmärksamhet benämns GAN (*generative adversarial network*). Det innebär att AI-systemet lär sig av mängder av fotografier av människor, skapar modeller och sedan genererar nya, "påhitade", bilder med full fotorealism. Genom GAN kan man skapa realistiska foton av människor som inte finns, men också exempelvis skapa "fake news" genom att placera bilder av verkliga människor i miljöer där de aldrig vistats. Genom digitaliseringens verktyg är det inte bara foton, utan rörliga bilder (film), ljud (röstmeddelanden) och annat som kan manipuleras på detta sätt. Kopplingen till flygområdet är att detta även ger möjligheter att förfalska sensor/radar/radio-data så att man kan förledas att tro något helt annat än det som är verkligt, således falsksignalering av en ny, alltmer svåridentifierad karaktär.

Att ligga i framkant inom mjukvaruutveckling för radar och andra sensorer är en förutsättning för många företag inom flygområdet. Det ger möjligheter till flexibel anpassning till kundkrav och omsättning av nya forskningsrön, samt för att kunna möta nya disruptiva metoder eller tekniksprång. **Utöver den enskilda produktens/komponentens funktion beror styrka och överlägsenhet i luften på kvalificerad sensorfusion. Även där kommer algoritmstyrda AI-metoder att få en central betydelse.**

Genom att fokus flyttats från hårdvara till mjukvara finns också förutsättningar för små företag och startup-bolag att etablera sig med specialisering inom en nisch. Eftersom många AI-hjälpmiddel i dag utvecklas och tillgängliggörs i en öppen miljö, kan även små företag (under förutsättning att de har kvalificerad kompetens tillgänglig) snabbt förändra konkurrensförhållanden. **Därför är det av central betydelse också för etablerade företag att knyta till sig experter inom algoritm-utveckling och AI,** antingen genom strategiska allianser med universitet, högskolor och institut, eller (vilket dock är dyrare och



svårare avseende möjligheten att garantera kontinuitet) genom att anställa sådana experter och bygga upp egna spetsgruppe-ringar.

Neurala nätverk är ingen nyhet för försvarsindustrin, som arbetat med sådana i flera decennier. De möjligheter som nu öppnats genom större processorkraft och möjligheten att skapa träningsdata för självlärande system kommer dock accelerera tillgången på tillämpningar.

Inom radarområdet finns nu mycket intressanta tillämpningar av AI och neurala nätverk. En relativt ny gren benämns kognitiv radar. Det kan ses som ett autonomt intelligent radarsystem som dynamiskt kan agera på ett kreativt sätt (som en mänsklig hjärna, men snabbare), baserat på en ständigt ökande kunskap som lagras i en kunskapsdatabas i systemet.

Den kognitiva radarn arbetar inte med fasta radarmoder, utan anpassar sig och optimerar radarprestanda beroende på situationen. Radarn använder dynamisk information om situationen och kunskaper om målens beteende för att själv välja radarparametrar och riktning för radarenergin. De specifika algoritmerna kan

reglera det optimala förhållandet mellan signalen och störningen, så att signalen blir maximal och bruset minimalt. **Ett tecken på kognition är förmågan att förutsäga kommande händelser och därefter agera proaktivt, i stället för reaktivt. Vid ett första påseende kan detta kanske förstås som ett specifikt militärt behov, men vi bedömer att för ett framtida system av obemannat kommersiellt flyg blir radar-teknologi och sensorfusion helt centrala för en säker luftfart.**

Kognitiva metoder finns också introducerade i de senaste radio- och telekrigssystemen, med hjälp av AI och neurala nätverk. Det handlar även här om avancerad signalbehandling. Styrkan i att dynamiskt kunna anpassa sig, byta frekvenser och signalkaraktär med mera, ger stora möjligheter att kombinera åtgärder för skydd och verkan. Man talar också om agila metoder för radar och telekrig, med flexibelt utnyttjande av frekvensbanden, som underlättats av övergången till AESA-teknologi (*actively electronically scanned arrays*) med många individuella element. **Inom de närmaste decennierna kan vi förvänta oss en fortsatt snabb utveckling av sådana metoder,**

i vilken AI redan spelar och fortsatt kommer att spela en avgörande roll.

I en beskrivning av flygburen radar- och sensortechnologi är det också nödvändigt att belysa skydd av sådana system. Telekrig (EW eller *electronic warfare*) handlar ju om att störa/avlyssna/vilseleda. Därför blir det allt viktigare att övervaka de egna systemen, använda hoppande frekvensbyten, kryptering och liknande. Man anpassar vågformer efter behoven, på motsvarande sätt som i mjukvarustyrd radio. Detta område är kanske det tydligaste exemplet på spelet mellan medel och motmedel och där det internationellt kommer att investeras mycket avseende AI med djupinlärning, liksom inom sådana nya AI-metoder som kan förväntas komma att utvecklas. Det är också ett område där nationer, av naturliga skäl, inte delar med sig av sina FoU-resultat eller databanker.

En särskild utmaning blir därför att skapa träningsdata. Man får träna radar- och telekrigssystemen på stora mängder påhittade emitterdata, eftersom verkliga inte går att sampla i tillräcklig omfattning.



OMRÅDE: BESLUTSSTÖD FÖR PILOTER OCH TAKTISK LEDNINGSPERSONAL

ARTIFICIELL INTELLIGENS passar, genom sin karaktär, utmärkt att introducera i beslutsloopen för en pilot. Dagens cockpit är komplex, speciellt miljön för den militära stridspiloten som har tillgång till mängder av information avseende det egna flygplanets avionikparametrar, vapen, motståndare, hot, motmedel, egna förbandskamrater med mera. Information ska registreras, tolkas och slutsatser ska dras, ofta med tidspress, hög fart och under G-belastning. Information kan komma från ett stort antal sensorer ombord, men också över datalänk från andra enheter i luften, på marken, havet eller i rymden. **Att ha stöd av ett system som registrerar, bearbetar och fusionerar data (radar, satellit med mera) och i realtid jämför med en databas av egna och andras**

tidigare uppträdande, använder mönsterigenkänning och söker efter avvikelser, har förutsättningar att avlasta piloten och erbjuda bättre möjlighet att agera snabbt, kan bli helt avgörande för möjligheten att lösa ett uppdrag.

Sådana hjälpmedel för bemannat flyg och, på motsvarande sätt, för obemannat flyg, bedöms komma att bli ett centralt utvecklingsområde hos försvarsföretagen. Utöver för piloten i stridsflygplanet (eller drönarpiloten på marken) finns ett liknande behov för stridsledningsfunktionen, som har att leda flera enheter i samordnade insatser. Även där kommer AI-stöd innebära att beslutsloopen kan förkortas och åtgärder beräknas med stöd av realtidsdata, i kombination med tidigare kunskap hämtad från en

träningsdatabas, på ett matematiskt konsistent sätt.

AI i den taktiska loopen, som grund för pilotens beslut, bör kunna tillåtas även i ett verksamhetskritiskt system, så länge det är frikopplat från avioniken och flygplanets centrala styr- och vapenfunktioner. Att som pilot med extremt liten tidsfördröjning få förslag på undanmanövrar, baserat på hotidentifiering och AI-styrda simuleringar, och sedan själv initiera själva manövern, bör inte strida mot kraven för certifiering av systemet. AI som hjälpmedel för talsyntes är ett område som kan passa bra i en komplex cockpitmiljö, såväl civilt som militärt.

Ett särskilt område, som redan i dag snabbt växer, är navigering i områden utan tillgång till GNSS (GPS och motsvarande system).



Att jämföra terrängen runt flygplanet, avskannad med olika sensorer, med högupplösta 3D-databaser som lagras ombord ger möjlighet till precisionsnavigering. **Svensk industri har redan i dag en stark position inom detta område. Nya AI-verktyg bedöms kunna förbättra och förfina sådana system ytterligare.** Här krävs av förstäligena skäl enorma mängder geografiska data för att träna systemet. Ska ett företag erbjuda sina system på en global marknad krävs detaljupplösta databaser med väldigt många terabyte data från flygfoto och/eller satellit, med frekvent uppdatering och global täckning. Det innebär behov av samarbeten och skapar beroende av externa leverantörer. Utvecklingen av lämpliga affärsmodeller för sådana samarbeten bedöms

bli aktuellt för allt flera aktörer.

Rent principiellt kan AI också beräkna styrparametrar för vapenleverans, idealiska banprofiler och exakt tidpunkt för bästa chans till träff och liknande. Systemet skulle således, baserat på de algoritmer och instruktioner som människor tidigare har konstruerat och laddat ner, med djupinlärning eller med andra framtida metoder successivt anpassa och optimera alla sådana parametrar och avfira den kombination av vapen som ger mest effekt sett mot insatsens syfte och mål. Med det synsättet finns det många skäl att introducera helt autonoma stridsfarkoster, vilket också finns beskrivet i de kommunicerade planerna från vissa stater.

Men här ligger en av begränsningsfaktorerna när vi bedömer AI för flygområdet och särskilt AI för militära behov som inbegriper vapenverkan. Dels finns absolutkravet att undvika bekämpning av civila, dels att i varje situation ha kunskap om grunderna för ett beslut och det agerande som följer därav. **Den icke-deterministiska (ej förutsägbara) karaktären hos viss maskininlärning innebär att det inte går att i detalj förutsäga de beslut som systemet fattar. Därmed upphör möjligheten att ta ansvar enligt demokratiska principer, med etiska grunder för varje beslut om militär våldsutövning.** Vi återkommer till detta i kapitel 5.

Vi vet (vilket bland annat debatteras i FN, inom EU och i den amerikanska kongressen) att det i länder där demokratiska värderingar inte är så framträdande satsas på autonoma vapen, med beslutsfunktioner baserade på

neurala nätverk. Därför behöver Sverige ändå studera området och tillämpa operationsanalytiska metoder för att hitta motåtgärder. **Att använda AI i simulerings-system, och därigenom förstå principerna hos sådana vapen hos en angripare, är ett sätt att öka sin beredskap.**

I denna rapport berör vi inte AI för militärt beslutsstöd på central eller strategisk nivå inom försvaret, inte heller för utveckling av motsvarande system för civil luftfart. De påverkar visserligen flygområdet, men är av generell natur snarare än de är knutna till flygforskning eller flygindustrin³.

I alla dessa sammanhang gäller att det finns behov av att förstå och lita på beslutsstödsystemet, vilket gör det avgörande att systemet kan förklara sina prioriteringar och rekommendationer. Inom DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency, som bedriver och finansierar framtidsforskning i samarbete med ett flertal välrenommerade amerikanska universitet) finns en satsning benämnd Explainable AI, som strävar efter att klassificera händelser utifrån en mängd olika data, kopplat till hur beslut fattas hos autonoma farkoster. **Detta ser vi som ett forskningsområde av stor vikt för att skapa tillit till beslutssystem baserade på AI. Det finns på agendan även inom det svenska WASP-programmet, men bör ges ytterligare spridning.**

3 För en djupare beskrivning av militära tillämpningar, med mer tekniska förklaringar, rekommenderas FOI-rapporten *Artificiell Intelligens för Militärt Beslutsstöd*, FOI-rapport FOI-R--4552—SE från december 2017.



**OMRÅDE: OPTIMERING AV FLYGVÄGAR
OCH BLANDADE MILJÖER MELLAN
BEMANNAT FLYG OCH DRÖNARE**

TILL SKILLNAD FRÅN vägtrafiken är luftfarten redan mycket hårt reglerad, med ett omfattande internationellt samarbete, gemensamma regelverk och luftledsindelning, separerade flygnivåer och annat säkerhetsbaserat arbete. Stora satsningar har gjorts, inom exempelvis Single European Sky, för att effektivisera det kommersiella flyget, i syfte att minimera väntetider och tid i luften. Det är dock en gigantisk matris att samordna alla flygbolag, balansera mot affärsflyg och privat flyg och samtidigt ge möjlighet för det militära flygets speciella krav på övningsområden. Därtill kommer avsevärda svårigheter på det politiska planet.

Med nuvarande klimatdebatt och tidvis hårda kritik mot flyg som företeelse finns ett ökat fokus på att minimera utsläpp av växthusgaser, minska bildandet av kondensstrimmor och ändå bibehålla en säker luftburen transport. **AI har i sitt "koncept" möjlighet att användas i stor utsträckning för att optimera flygvägar, reducera de samlade utsläppen, tidigt beräkna och dynamiskt omplanera vid köbildningar och liknande.** Här syftar vi på ett mycket heltäck-

ande ATM-system (*air-traffic management*). En styrande förutsättning skulle vara en omfattande samverkan mellan alla aktörer, flygbolag, flygplatser och nationella organisationer, för att skapa den gigantiska databas av erfarenheter som skulle behövas för ett sådant system.

Redan i dag finns en del av flygsäkerhetssystemet med koppling till AI, i form av sense-and-avoid-system, där det inom EU under svensk ledning (Saab) stadfästas systemet MIDCAS (*Mid-air collision-avoidance system*) som varnar och vid behov initierar undanmanövrar vid kollisionsrisk. Detta kan även möjliggöra blandade miljöer med trafikerat flyg och drönare, om alla utrustas på samma sätt.

Inom något decennium kan vi förvänta oss att eldrivna, flygande taxifarkoster kommer att introduceras i stor skala. Visionerna pekar på autonoma sådana, men initialt ska vi nog räkna med pilot ombord, grundat på att regelverket för obemannad flygtrafik i urban miljö kan anses vara minst lika krångligt att få fastställt som för utbredd användning av självkörande bilar i vägtrafiken. Redan i dag finns små UAS driftsatta

(inom försöksområden i USA) för leverans av mindre varor, från företag som Amazon.

Sådan trafik av flygande taxi, leveranser med drönare av olika storlek samt efterhand även privatägda farkoster, finns inrymt i konceptet som kallas för UAM (*urban air mobility*). Många visioner finns skapade för hur stadsmiljön ska innehålla hubbar för hämtning och lämning av människor och gods, med tillgång till laddningsstationer och nödlandningsplatser. Det kräver ett luftrum med tydliga lagerindelningar för olika typer av farkoster, samordning med reguljära flygplatser samt nya säkerhetsföreskrifter för blandning av bemannat flyg och drönare med människor ombord.

En sådan blandad miljö med ett stort antal självstyrande flygtaxi som susar fram i urbana miljöer blir en logistisk utmaning, där AI kan förväntas spela en viktig roll. Men åter kommer då bedömningen att icke-deterministiska neurala nätverk sannolikt inte på länge kan godkännas att styra ett system av drönare med passagerartrafik, kanske inte heller ett gods-transportsystem av svärmande drönare.



Möjligheter och risker med AI i flygtekniska tillämpningar

FLYGETS UNIKA FÖRUTSÄTTNINGAR

Som kommenteras på annan plats i denna rapport har AI förutsättningar att leda till omfattande förändringar inom nästan alla delar av samhället och dess verksamheter. AI kommer att förstärka förmågor inom många befintliga områden och bidra till skapandet av helt nya. Det strategiska innovationsområdet flyg är i många avseenden likt andra högteknologiska sektorer, men de produkter som kommer ut från flygindustrin är omgärdade med ett extra strikt regelverk för sin användning. Certifierings- och luftvärdighetsprocesserna ställer mycket höga krav på detaljbeskrivningar och rigorösa testförfaranden. Därför representerar trafikflyget i västvärlden en mycket säker transportsektor och moderna stridsflygplan drabbas, trots sin extrema komplexitet, oerhört sällan av tekniska fel.

Sådana regelverk gör att användningen av långtgående AI med

djupinlärningsmetodik primärt bedöms bli introducerad i väl avgränsade tillämpningar. Det behöver bibehållas tydliga avgränsningar mellan design och produktion av intrikata stödsystem, som utnyttjar kvalificerad signalbehandling, och verksamhetskritiska system där full förståelse för beteendet är ett absolutkrav för godkännande.

Det finns även andra risker men också möjligheter med införande av AI i större skala i flygindustriell verksamhet. Utvecklingen från TRL 1 till 9 är tidskrävande och det är ovanligt med snabba ändringar av design och teknik. Traditionellt flyger en ny innovation först ett tiotal år eller mera efter att forskningen påvisat möjligheterna. AI kräver omfattande processorkraft, stora mängder kvalitetssäkrade data och begåvade algoritmer. Sett mot IT-världens betydligt snabbare omsättningstakt innebär stora egna investeringar en inlåsning som kan bli begränsande. Detta talar för samarbete, där den svenska positiva synen på trippelhelix,

det vill säga samarbetet mellan akademi, industri och myndigheter, är en styrka som är vanligt förekommande i flygsektorn.

Kraven på förutsägbarhet som grund för att erhålla certifiering för nya produkter begränsar alltså lämpligheten att använda AI-metodik i vissa delar av utvecklingen. I produktionsprocessen passar fortfarande regler tekniskt styrda robotar utmärkt. Men nya typer av robotar (flexibla, ormliknande) utvecklas nu, bland annat som en del av flygtekniksamarbetet mellan Sverige och Brasilien, och dessa kan förses med AI-styrning. Sådana robotar kan göra helt andra typer av montering inifrån samt även leta fel vid service. Genom modellering och simulering bedöms AI också få en viktig roll för att påverka framtida design, materialval, signalbehandlingsmetoder, optimering av luftfrum och många andra styrande beslut där människan ändå finns med i kedjan.

Det militära perspektivet på teknik-

utveckling skiljer sig till viss del från civil utveckling, framförallt avseende när, var, hur och varför systemen används. Den militära operationsmiljön har mycket höga krav på tillförlitlighet i funktion och möjlighet till anpassad tillämpning vid användning. Som konsekvens av dessa krav har militär materiel traditionellt ofta betraktats som exempel på riktigt bra tekniska lösningar med god användbarhet. Det har gällt oavsett om det handlar om mekaniska konstruktioner eller enskilda elektriska komponenter, men har samtidigt inneburit en högre prisnivå. Den snabba utvecklingen inom IT har dock drivits främst av konsumentmarknaden, med fokus på aspekter som att vara först ut med nya lösningar för att nå kommersiell framgång. En konsekvens är att utvecklingen i hög grad drivs framåt av vad som är tekniskt möjligt. Även dagens AI-utveckling sker till stor del med ett sådant fokus, utan tillräcklig hänsyn till det militära perspektivet, etik/moralproblematik eller säkerhetsaspekter. Det militära perspektivets extrema krav är förmodligen mer relevant för många civila tillämpningar än vad som för närvarande återspeglas i utvecklingen.

UTMANINGAR OCH LÖSNINGAR

Inom maskininlärning talas det ibland om *adversarial machine learning* och *adversarial algorithmic camouflage*, det vill säga fientliga attacker mot ett system som utnyttjar AI-metoder, vilka båda är ganska nya begrepp som måste påverka framtida utveckling. Innebörden är att lura maskininlärningsprocessen genom införande av falska eller subjektiva data eller genom att identifiera och utnyttja svagheter i avkodningen. I ”normal” maskininlärning förutsätts träningsdata ha någon form av

normalfördelad statistisk representation. Genom att tvinga in anpassade falska data kan systemet manipuleras att utnyttja brister i algoritmerna och skapa felfunktioner. Även hos jättarna på marknaden, som Google, har det i flera fall upptäckts sådana brister som kunnat utnyttjas.

Lättbegripliga exempel kan vara när sökmotorer eller bildigenkänningsfunktioner luras med falska ord som kortsluter spamfilter respektive klassificerar objekt felaktigt. Mera avancerat kan vara att undvika smarta filter (som bygger på maskininlärning) genom att dölja textinformation i en bild.

Skydd mot den här typen av attacker eller manipulationer är, eller borde vara, en högt prioriterad utvecklingsgren hos både företag och myndigheter. Speciellt för verksamhetskritiska funktioner, som är vanliga i flygsektorn, är åtgärder för att skapa robusthet och motståndskraft (resiliens) helt avgörande för tilliten till systemen. Genom att ”boxa in” dessa kritiska applikationer och koppla in flera parallella kontrollsystem, blir sannolikheten för omärkliga attacker allt mindre. Här läggs, och kommer fortsatt läggas, omfattande resurser hos industrin.

En stor utmaning för framtiden, som gäller globalt, är att fastställa standardiserade normer och regler för mätning av att systemen har tillräcklig kvalitet. Hur definieras skalan, mätmetoderna och tolkningarna? Men det är en nödvändighet att komma fram till accepterade former, för att kunna nyttiggöra alla positiva aspekter som AI kan tillföra. Sådant standardisering är också en förutsättning för certifiering. Intressant är att USA i början av 2020 annonserade tio nya principer med syfte att förbättra transparens, tydlighet, säkerhet och tillit i såväl offentligt som privat ledd AI-utveckling.

En annan utmaning är att skapa

tillgång till tillräckligt med träningsdata för att maskininlärningen ska ge tillräckligt heltäckande resultat. Komplexa flygande situationer kan vara svåra att skapa för att samla sådana data. Där kan man överväga att använda självlärande system av typen förstärkningsinlärning (se kapitel 3). Men situationen är densamma för de flesta av marknadens aktörer, så i en ideal värld skulle det skapas stora databanker som är tillgängliga för alla. För att förfina systemen skulle man sedan kunna applicera företags-specifika, skyddade data. En lämplig teknik för detta inom AI kallas *transfer learning*, där resultaten från tidigare (i detta fall mera generella) applikationer utnyttjas som startvärde i ett annat, mera specifikt (och kanske sekretess-belagt) sammanhang. För en framtida tillräckligt avpassad tillgång till relevant data behövs dock även ny forskning om affärsmodeller, nya regelverk och överenskommelser.

Samarbete inom avgränsade grupper ger ofta bättre förutsättningar att ge resultat än det vi sett avseende samarbeten inom stora globala samman slutningar. Vi bedömer att det nordiska samarbete som finns etablerat, såväl politiskt som militärt, skulle kunna utvecklas mot att skapa gemensamma träningsdata inom relevanta områden. Goda exempel på ett bredare samarbete (som i någon form borde kunna upprepas i AI-sammanhang) har visat sig inom EU-programmet Clean Sky, där svensk industri haft tunga roller. Man kan även pröva samarbeten med aktörer utanför den egna sektorn, på motsvarande sätt som vi inom NFFP växlat upp från *dual use* (civilt och militärt flyg), via *triple use* (tillsammans med en annan sektor, exempelvis fordonsindustrin) till *multi use* (flera andra sektorer).



Militära applikationer

KUNSKAP SOM MOTMEDEL

Den svenska flygsektorns FoU är av historiska skäl tydligt knuten till utvecklingen av kvalificerade stridsflygplan och deras stödsystem. Samtidigt som det, vilket även berörts tidigare i denna rapport, finns starka motiv för att med AI bearbeta stora komplexa informationsmängder från många källor, förkorta beslutsloopen och dra slutsatser om bästa effekt, utgör etiska överväganden en viktig och tidvis begränsande faktor. Om man inte bryr sig om de etiska aspekterna på AI-användning i vapen (och således tillåter autonomi utan mänsklig inblandning) kan systemet bli snabbare än motståndarens. Eftersom möjligheterna finns och en motståndare inte kan förutsättas ha samma etiska spelregler som vi, behöver vi skaffa kunskap om

sådana system och skapa motmedel. Även i den processen kan AI erbjuda kraftfulla verktyg.

Det finns flera delsystem i ett stridsflygplan som inte självklart ses som flygteknik. Men eftersom de måste anpassas för den speciella miljö som ett sådant flygplan utgör och integreras i ett system-av-system, har vi sett det relevant att behandla även dem i denna rapport.

Ett modernt stridsflygplan som Gripen kan ses som ett mycket komplext system-av-system, sammansatt av en stor mängd komponenter från olika leverantörer, integrerat till en kvalificerad helhet av en huvudansvarig industri. Traditionellt säger vi system-av-system; med modern terminologi kan det ses som en multiagent. Det är en term som passar väl in i en digitaliserad miljö som utnyttjar AI-

metodik. Många delar är flygtekniskt generella, andra är anpassade till de krav som stridsmiljön representerar, medan många andra är unika för ett stridsflygplan. Till de senare hör vissa sensorer, telekrigsutrustning och vapen. Dessa kan alla karaktäriseras som AI-lämpliga och sådana satsningar sker redan nu. Vägformer, signalbehandling, datafusion och andra matematiskt baserade tillämpningar för bearbetning kommer att utvecklas vidare med olika AI-metodiker.

En militärt såväl som samhällsligt hot med flygkoppling är kombinationen av alltmer avancerade och samtidigt billiga små UAV och möjligheten att utrusta dessa med kvalificerad (AI-stödd) mjukvara. Med eller utan sprängämnen ombord kan sådana skapa kaos över flygplatser, folksamlingar, känslig infrastruktur med mera. Att ta fram motmedel mot olika typer av UAV, använda av hybridkrigare, terrorister och utpressare är en viktig uppgift inom vilken flygindustrin kan förväntas behöva agera.

Forskning och utbildning



INSIKT FINNS – OCH VISS VERKSTAD ...

Insikten att digitalisering och satsningar på AI är nödvändiga beståndsdelar för att bevara det svenska samhällets konkurrenskraft börjar bli alltmer spridd. Det finns politiskt fastställda ambitioner att Sverige ska ta en ledande ställning inom dessa områden. Vid tiden för denna rapportens tillblivelse ligger dock Sverige inte på någon tätplats. De satsningar som görs i framför allt Kina och USA är enorma och i Kina är dessa satsningar också en del i en tydlig statlig vision om att ligga främst.

I Sverige finns sedan några år ett par ambitiösa program som bidrar med avsevärda FoU-medel till kunskapsuppbyggnaden inom AI. Det finan-

siellt största är **WASP** med en mycket omfattande finansiering från Wallenbergstiftelserna. WASP har främst fokus på grundforskning, är kopplat till sju deltagande universitet och sysselsätter ett stort antal doktorander och etablerade forskare. Det andra är den statliga satsningen **AI Innovation of Sweden**, som etablerar nav på flera platser i landet (för närvarande Göteborg, Stockholm, Örebro, en sydlig hub med bas i Malmö/Lund och en nordlig hub med bas i Luleå) och som mer fokuserar på tillämpad forskning. Rekryteringen av forskare och andra medarbetare till dessa program sker såväl i landet som internationellt. Med de forskningsmedel som erbjuds och med den i Sverige relativt öppna dialog som kan föras mellan framför allt in-

dustri och akademi (enligt trippelhelix-modellen) finns mycket bra förutsättningar att rekrytera goda krafter för att leda denna utveckling.

... MEN MER BEHÖVS

Flygsektorn behöver noggrant följa internationell FoU inom AI och autonomi samt engagera sig i de svenska programmen. En övervägande del av den teknikutveckling som sker inom flygindustrin är uppbyggd med generella lösningar som kan hämtas från andra sektorer, varför samarbete med universitet och institut samt även med små startup-bolag är nödvändigt för att förstå trender och bibehålla relevans. Det gäller inte bara industrier

utan också regelsättande myndigheter, samordningsorgan och försvarsmyndigheter, som alla har att anpassa sitt utbud efter omvärldens förändringar. Kan vi dessutom, med grund i dokumenterad kompetens och begåvade innovationer, vara med och skapa nya standarder, är det naturligtvis en viktig framgångsfaktor.

En viktig del i att nå framgång är att inte stanna vid forskning på låga TRL, utan ge möjlighet att föra det vidare och utveckla teknikdemonstratorer på TRL 5–6. Satsningar på utvecklingen av sådana teknikdemonstratorer och deltagande i olika forskningsprogram är avgörande för personalens kompetensutveckling. Även demonstratorer kan med fördel drivas som internationella samarbeten.

Ett exempel på tidigare mycket framgångsrika internationellt samordnade demonstratorprojekt med svensk ledning är den på sidan 22 nämnda MIDCAS som visade hur obemannade farkoster på ett säkert sätt ska kunna flyga i samma luftrum som bemannade flygplan. Man tog fram och testade system för att förhindra kollision mellan luftfarkoster. MIDCAS-projektet sammanställde krav och genomförde simuleringar för att visa att utvecklade algoritmer och simuleringar fungerar för att prova samverkan med befintlig kontroll av civilt luftrum (*air-traffic control*, ATC). Med sin uppbyggnad utgör MIDCAS exempel på system som med ny AI-metodik kan utvecklas vidare och bli en nyckelfaktor i processen att kunna certifiera en omfattande kombination av bemannad och obemannad trafik i våra luftrum.

Vi ser det som viktigt att svenska staten initierar nya konstruktiva satsningar för att underlätta för företag och myndigheter att transformera verksamheten till en AI- och datadrivnen organisation. Detta kräver välut-

EXEMPEL PÅ FORSKNINGSMRÅDEN AV VIKT FÖR FLYGTEKNIK I SVERIGE

- AI-stödda metoder för **agil tillverkning** (*agile manufacturing*).
- Utveckling av AI som stöd vid **testning av system-av-system**.
- Studier av behovet av modeller för att **certifiera system** som innehåller funktioner som bygger på AI (avgränsning av icke-deterministiska faktorer).
- Nya metoder för att skapa **säkra system och komponenter från grunden** (lägg inte in säkerhet i efterskott).
- Skydd av säkerheten i verksamhetskritiska system mot **cyber-relaterade angrepp**.
- Utveckling av **snabb datafusion** från många källor i störda miljöer (speciellt militära system).
- Utveckling av lämpliga kombinationer av AI-metoder och modellbaserade metoder för mer **komplexa sammansatta problem**.
- Studier av hur **tillit** skapas till system som innehåller AI-baserade beslut (tvärvetenskapligt forskningsområde, där WASP-HS kan ses som en föregångare) – en utgångspunkt kan tas i internationella initiativ kring begreppet *explainable AI*.

bildade medarbetare, där fler än i dag behöver ha en kvalificerad matematisk och datalogisk bakgrund och där vi bedömer att efterfrågan kommer att öka på forskarutbildad personal som kan driva på utvecklingen. Värdefullt vore en analys av hur man bäst ska kunna nå målen. Överväg även nya typer av utbildningsinsatser, inte minst riktade mot management inom såväl privat som offentlig sektor. Att se över läroplanen redan för grundskole- och gymnasienivå, i syfte att förbättra förkunskaperna och motivera ungdomar att satsa på denna sektor, kan också vara en kritisk framgångsfaktor för den svenska regeringens ambition för Sverige att bli ledande inom området.

Införande av AI-stöd i stor skala är dock inte bara en fråga om tillgång till matematisk och datalogisk spetskompetens. Att förstå de olika aspekterna av AI och kunna bedöma hur det påverkar samhälle och användare inbegriper även sociologiska och psykologiska faktorer. Sådana aspekter borde i större omfattning än i dag inkluderas i framtida civilingenjörsutbildningar.

Erfarenheter finns från topputbildningar inom både högteknologi och management (exempelvis Singularity University) att inslag av tvärvetenskaplighet i kurskombinationen ger mycket god effekt.

I rutan här ovan listar vi exempel på forskningsområden som bedöms viktiga för en framgångsrik framtida flygsektor i Sverige. För att skapa utrymme för sådan forskning ser vi det nödvändigt att dessa och liknande frågeställningar finns med i utlysningar från Vetenskapsrådet, Vinnova och andra forskningsfinansiärer.

För att öka hastigheten i hur AI och autonomi inkluderas i flygsektorn bör det befintliga flygforskningsprogrammet NFFP ges ekonomisk möjlighet att ha utlysningar med fokus på högre TRL, inkluderande specifika demonstratorer med fokus på AI och autonomi. Resultatet från sådana satsningar kan med fördel föras ut via samverkan med andra strategiska innovationsprogram.

8 Slutsatser



I denna rapport har vi speglat pågående och bedömt viktiga framtida satsningar där AI utnyttjas för att öka produktiviteten, skapa bättre beslutsunderlag, medge kostnadseffektiva optimeringar i olika processer samt stödja andra forskningsinsatser och inte minst i simuleringar knutna till flygsektorn i Sverige.

Vi har genom intervjuer, samtal och studier av svenska och internationella publikationer samlat ett antal åsikter, av delvis generell och delvis specifik natur, för de flygrelaterade teknikområden som beskrivs i kapitel 4. Det framgår att branschen i dag har en något splittrad syn på AI som en väsentlig del av förändringsprocessen, samt mycket olika nuläge avseende aktivitetsnivå och användning av AI-metoder. Inte oväntat har i dag (2020) verksamheten nått längst för delsystem som inbegriper omfattande signalbehandling och/eller simuleringsverksamhet.

Givet generella utvecklingstrender i omvärlden och den satsning som nu sker för att snabbt föra Sverige uppåt på "AI-kartan" är det vår övertygelse att AI under den tid som NRIA Flyg 2020 omfattar kommer att få ett påtagligt inflytande över alla nämnda teknikområden. Vi anser det därför vara mycket viktigt att följa och delta i den allmänna utvecklingen av AI, för att förstå förutsättningarna för och aktivt bidra till flyg som ett efterfrågat strategiskt innovationsområde.

För att komma dit krävs ett strukturerat anpassningsarbete, precis som vi sett inom den tidvis mödosamma transformation av processer och affärsmodeller som den pågående digitaliseringen har inneburit. En kritisk framgångsfaktor inom såväl samhälle som företag är att genom väl avvägda beslut och åtgärder skapa tillit till AI som företeelse.

Här listar vi några tydliga slutsatser:

Triple Helix, som åtminstone utomlands ses som en "svensk modell", **utgör en utmärkt grund** för att få AI att skjuta fart. Detta kan vara en fördel gentemot andra länder, även om vi kommit igång sent med större AI-satsningar. **Väl fungerande samarbeten** inom FoU för flygsektorn är sedan länge etablerade i Sverige. För att växla upp inom AI bedömer vi dock att det krävs **ökade statliga satsningar**, både avseende forskningsmedel och infrastruktur (beräkningskapacitet, testanläggningar med mera). Sådana satsningar behövs på såväl låga TRL (forskning) som medelhöga TRL (demonstratorer).

Det är viktigt att djupare kunskap om **AI-metodik och -verktyg**, gärna på PhD-nivån, **kommer in i kravprofilerna** för åtminstone en del av de ingenjörer som rekryteras till flygsektorn.

En akademisk sanning är att genom att **dela med sig av data och modeller** kan man skapa högre kvalitet i slutresultatet. Avseende kvalificerade modeller för djupinlärning är det inte ens möjligt för små grupper att konkurrera. I nuläget finns det öppen källkod att tillgå. **Hur framtida regler ska utformas** avseende sådan delning av spetsteknologi och mjukvara är i dag oklart men ämne för en livlig debatt.

Det krävs ofta enorma datamängder för att utnyttja AI på ett effektivt sätt. Men för att vara relevant ur AI-synpunkt behöver sådana data vara **strukturerade efter väl genomtänkta principer**. Att ett företag har stora mängder mätdata eller produktionsdata innebär inte i sig att dessa kan utgöra grund för att stödja en ny maskininlärningsprocess. Här behövs **FoU och metodutveckling som stöd** till företagen. Andra AI-metoder som inte ställer krav på stora datamängder utan itererar sig fram, exempelvis via belöningsincitament (förstärkningsinlärning), ökar snabbt och bedöms bli allt viktigare, liksom sådana nya metoder som kan förväntas utvecklas inom tidsramen för NRIA Flyg 2020.

AI för flygsektorn har börjat tillämpas på marken, med maskininlärning som extraherar kunskap från data, men bandbreddsbehovet gör att **AI för flygbruk även måste finnas i flygplanet**. Ombordbearbetning och massiv inbyggd datalagring blir också krav för **autonomt flyg**, som måste kunna operera även vid tillfälliga kommunikationsstörningar och -bortfall.

Den militära flygsektorn blir alltmera en nyttjare av civil teknologi, där förädlingen består i specifika anpassningar och framför allt integrering av **komplexa system-av-system**. Men genom digitalisering och AI skapas fler möjligheter till **kognitiva multifunktionella system** (se kapitel 4), där sådana specialistkunskaper blir en allt viktigare del i ett företags immateriella tillgångar. Vi bedömer att samverkan mellan civila och militära teknologi- och integrationsprojekt kan ge stor effekt åt båda hållen.

Sverige kan inte konkurrera med Kina och USA (och deras företag – Google, Facebook, Amazon, Baidu och liknande) inom de områden som kräver mycket data. Däremot har vi våra **konkurrensfördelar** som:

- **digitaliseringsgraden i samhället** (mer uppkopplat än andra, genom 4G, fiber, och liknande);
- **digitaliseringsmognaden hos personalen** även på våra verkstadsgolv med mera, som är bekväma att använda digitala interface och verktyg;
- **historiska data inom offentlig sektor**, där Sverige har en av många länder avundad volym av mångårig och samordnad datainsamling;
- **svenska data** – det är inte säkert att träning på amerikanska eller kinesiska data ger relevanta system för att använda i vår region.

Från detta kan vi identifiera områden där vi faktiskt kan bli **världsledande**, exempelvis tillverkning, offentlig förvaltning, jord/skogsbruk, och liknande. **Kvalificerad flyg- och sensorteknologi** kan vara ett sådant område.

Referenser

INTERVJUER/SAMTAL

Kunskapsuppbyggnaden för denna rapport erhöles bland annat genom intervjuer/samtal med signifikanta personer inom svensk AI-utveckling samt med FoU-ansvariga inom svensk flygindustri. Samtal genomfördes med:

- **Daniel Rencrantz**, enhetschef Vinnova, sammanhållande för utvecklingsatsningar inom AI
- **Fredrik Heintz**, bitr professor LiU/IDA och engagerad i centrala AI-satsningar som WASP
- **Rego Granlund**, forskare vid RISE, med fokus på Human Factors-kopplingar till AI
- **Martin Svensson**, Co-director AI Innovation of Sweden
- **Mats Nordlund**, forskningschef Zenuity samt styrelsemedlem AI Innovation of Sweden
- **Patrik Stensson**, FoU-strateg Försvarsmakten
- **Henrik Runnemalm**, forskningschef GKN Aerospace Engine Systems
- **Pontus de Laval**, tidigare teknisk direktör Saab AB
- **Karolina Bergström**, strategichef Saab Aeronautics
- **Gunnar Holmberg**, FoU-specialist Saab och LiU, engagerad i WASP
- **Henrik Holter**, sensor- och AI-expert Saab Surveillance

DOKUMENT

Här listas inte alla dokument som utgör underlag för denna rapport, utan bara sådana som sammanfattar väsentlig bakgrundsinformation och basfakta om AI i svensk utveckling. I övrigt har rapportens författare tagit del av en mångfald expertrapporter och artiklar i svensk och internationell media med fokus på civil och militär flygteknik.

- **Artificiell intelligens i svenskt näringsliv och samhälle – Analys av utveckling och potential**, Vinnova Rapport VR 2018:08
- **AI-miljöer i Sverige**, Vinnova Rapport VR 2019:05
- **Technology Foresight 2018**, WASP (2018)
- **The Essential AI Handbook for Leaders**, Peltarion (2019)
- **Artificiell Intelligens för Militärt Beslutsstöd**, FOI rapport FOI-R--4552—SE (2017).





info@innovair.org