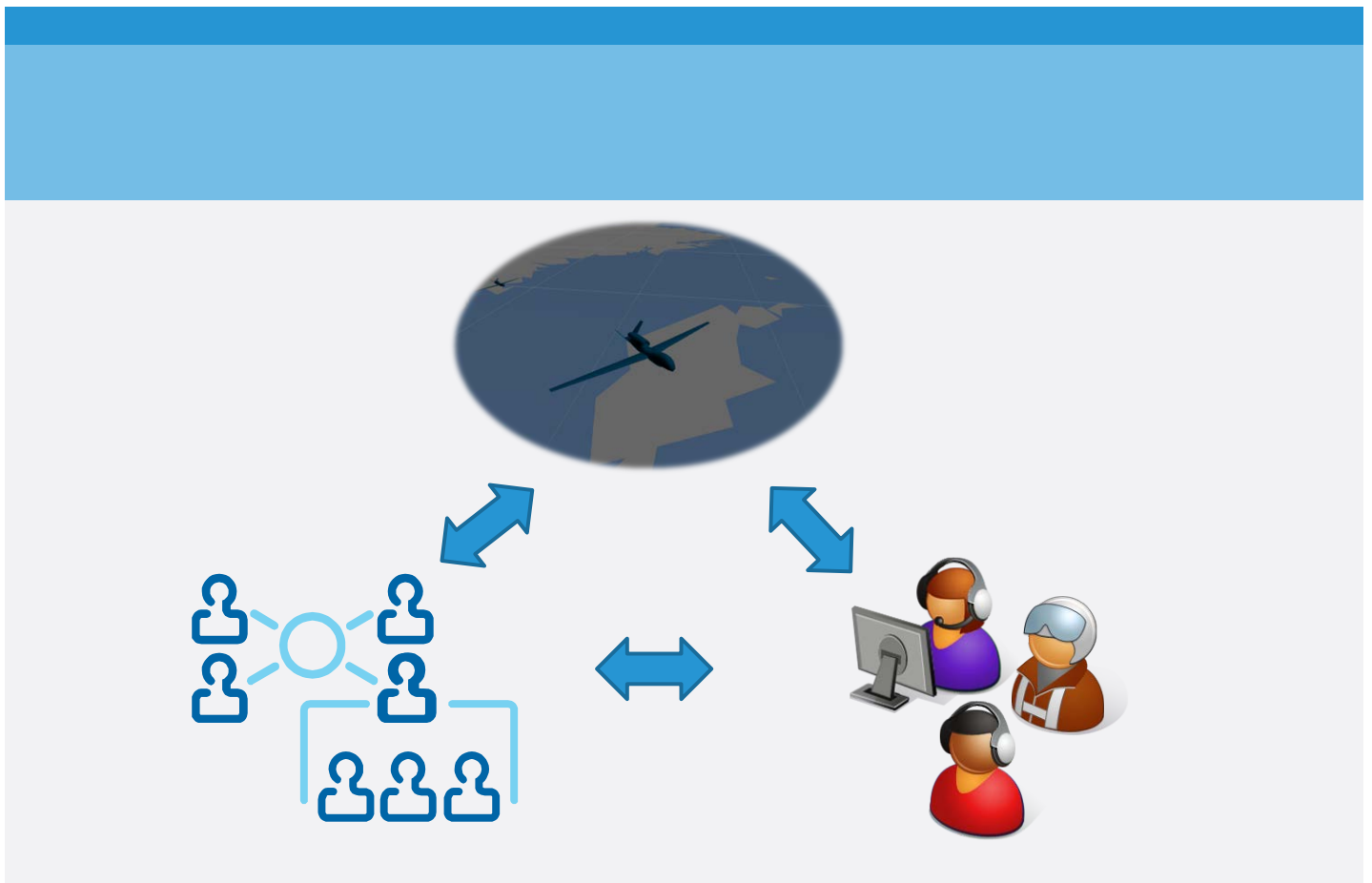


PETER SVENMARCK OCH ROGIER WOLTJER



Peter Svenmarck och Rogier Woltjer

RPAS för territorialövervakning 2030 - ledning och människa-teknik- organisation

Titel	RPAS för territorialövervakning 2030 - ledning och människa-teknik-organisation
Title	RPAS for territorial surveillance 2030 - command and control
Rapportnr/Report no	FOI-R--3981--SE
Månad/Month	December
Utgivningsår/Year	2014
Antal sidor/Pages	35 p
ISSN	1650-1942
Kund/Customer	Försvarsmakten
Forskningsområde	6. Metod- och utredningsstöd
FoT-område	Temaområde
Projektnr/Project no	E34530
Godkänd av/Approved by	Lars Høstbeck
Ansvarig avdelning	Informations- och aerosystem

Detta verk är skyddat enligt lagen (1960:729) om upphovsrätt till litterära och konstnärliga verk. All form av kopiering, översättning eller bearbetning utan medgivande är förbjuden.

This work is protected under the Act on Copyright in Literary and Artistic Works (SFS 1960:729). Any form of reproduction, translation or modification without permission is prohibited.

Sammanfattning

Försvarsmakten använder i dagsläget obemannade flygande farkoster (eng. *Remotely Piloted Aerial System*, RPAS) för framförallt taktisk och stridsteknisk spaning. Men fördelar som uthållighet, driftekonomi och skydd gör att RPAS även kan komplettera befintliga system för övervakning av Sveriges territorium och närområde. För att RPAS-burna sensorer ska förbättra lägesbilden på ett sätt som skapar fler handlingsalternativ så krävs anpassning av hela ledningskedjan med bl.a. sensorer, ledningscentral och avnämare.

Utifrån intervjuer och diskussionsmöten med Försvarsmaktens personal som arbetar med territorialövervakning och RPAS, samt internationell forskning om RPAS så har flera rekommendationer utarbetats för ledning och styrning av RPAS för territorialövervakning. Några av de viktigaste rekommendationerna är att Försvarsmakten

- analyserar hur varje del av ledningskedjan behöver anpassas för att skapa och utnyttja en väsentligt förbättrad luft- och sjölägesbild över lång tid; Det behövs t.ex. avvägningar mellan prestanda för sensorer, datalänk, plattformen, flygsäkerhet, bemanning och kommunikation med avnämare, i förhållande till systemegenskaper som robusthet och resiliens.
- använder en datalänk med hög kapacitet och uppdateringstakt för kommunikation med RPAS eftersom det är en förutsättning för att kunna utföra detaljerad flygstridsledning, dvs. en liknande funktion som ASC-890 har för flygstridsledning
- aktivt deltar i framtagningen av mandat och procedurer för användning av RPAS i civilt luftrum; Det finns luftrum med begränsad flygtrafik som är lämpligt för RPAS men regelverket för RPAS är ännu under utveckling.
- använder ramverket som utvecklades av *Defense Science Board Task Force on The Role of Autonomy in DoD Systems 2012* för att strukturera systemutvecklingen; Ramverket stödjer bl.a. kartläggning av dynamiken i funktioner och roller, mellan operatörer och mellan operatörer och farkoster.
- utreder hur RPAS-operatörer skapar och upprätthåller en gemensam situationsförståelse även vid oväntade händelser, samt utreder behovet av teknik- och procedurstöd för den teamprocessen
- följer forskningen inom justerbar autonomi i NATO-STO gruppen HFM-247 *Human-Autonomy Teaming*.

Nyckelord: RPAS, ledning, human factors, människa-teknik-organisation, autonomi, användargränssnitt

Summary

The Swedish Armed Forces currently use Remotely Piloted Aerial Systems (RPAS) for reconnaissance in support of ground troops. The advantages of RPAS, such as long endurance, lower costs, and low risk for personnel, also make them beneficial for territorial surveillance as a complement to existing systems. With appropriate sensors, RPAS can provide long-range surveillance for early warning and control. However, since the purpose of territorial surveillance is to enable more response options, the whole command chain needs to be adapted to take advantage of this RPAS capability.

Several recommendations are provided for command and control, as well as operator control of RPAS. The recommendations are based on interviews and discussions with personnel that have experience of territorial surveillance and RPAS. Complementary information was also derived from international research about RPAS. Some of the most important recommendations are that the Swedish Armed Forces:

- analyse how the whole command chain needs to be adapted to take advantage of the potential for improved aerial and maritime long-range surveillance; For example, trade-offs are necessary between capabilities of sensors, data link, RPAS performance, safety in air traffic control, staffing, and communication with end-users. These trade-offs also be considered in relation to their effect on system characteristics, such as robustness and resilience.
- use a data link with high capacity and update rate for communication with RPAS since it is necessary for the preferred close control of combat aircraft; Such functionality is similar to current systems for Airborne Early Warning and Control.
- participate actively in the development of mandate and procedures for using RPAS in controlled air space; There are areas with less air traffic that are suitable for RPAS, but the regulations for using RPAS in controlled air space are still in development.
- use the framework that the Defense Science Board Task Force on The Role of Autonomy in DoD Systems proposed in 2012 to improve the development of RPAS; The framework considers the dynamics of functions and roles, between operators, and between operators and RPAS.
- investigate how RPAS-operators create and maintain a shared understanding of the situation even when there are unexpected events, as well as potential support for this team process;
- follow the research about adjustable autonomy in the NATO-STO group HFM-247 Human-Autonomy Teaming.

Keywords: RPAS, command and control, human factors, sociotechnical system, autonomy, user interface

Innehållsförteckning

Exekutiv sammanfattning	7
1 Inledning	9
2 Metod	10
3 Resultat: Ledning	11
3.1 Sensorer.....	11
3.2 Ledningsorganisationen.....	12
3.3 Bemanning.....	13
3.4 Kommunikation till och från RPAS.....	13
3.5 Plattformsegenskaper.....	14
3.6 Autonoma funktioner.....	15
3.7 Kommunikation till informationsmottagare/avnämare.....	15
3.8 Flygsäkerhet.....	15
3.9 Systemegenskaper.....	16
3.10 Rekommendationer för ledning av RPAS.....	17
4 Resultat: Styrning av RPAS	18
4.1 Människa-teknik-organisation och autonomi.....	18
4.1.1 Skapande av systemtilltro.....	19
4.1.2 Problemet med autonomnivåer.....	19
4.1.3 Dynamisk förmåga hos obemannade farkoster.....	20
4.1.4 Tillämpning av DSB:s ramverk.....	21
4.2 Övervakningsuppgiften.....	21
4.3 Styrning av flera RPAS.....	21
4.4 Användargränssnitt för RPAS.....	24
4.4.1 Vanliga informationsbehov och informationspresentation.....	25
4.4.2 Interaktion med autonoma funktioner.....	25
4.5 Human-autonomy teaming, HFM-247.....	26
4.6 Urval och träning.....	27
4.7 Rekommendationer för styrning av RPAS.....	28
5 Slutsatser	30
6 Referenser	32

Exekutiv sammanfattning

Försvarsmakten använder i dagsläget obemannade flygande farkoster (eng. *Remotely Piloted Aerial System*, RPAS) för framförallt taktisk och stridsteknisk spaning. Men fördelar som uthållighet, driftekonomi och skydd gör att RPAS även kan komplettera befintliga system för övervakning av Sveriges territorium och närområde. För att RPAS-burna sensorer verkligen ska förbättra lägesbilden på ett sätt som skapar fler handlingsalternativ så krävs anpassning av hela ledningskedjan med bl.a. sensorer, ledningscentral och avnämare.

Utifrån intervjuer och diskussionsmöten med Försvarsmaktens personal som arbetar med territorialövervakning och RPAS, samt internationell forskning om RPAS så har flera rekommendationer utarbetats för ledning och styrning av RPAS för territorialövervakning. För effektiv ledning av RPAS så rekommenderas att Försvarsmakten

- analyserar hur varje del av ledningskedjan behöver anpassas för att skapa och utnyttja en väsentligt förbättrad luft- och sjölägesbild över lång tid; Det behövs t.ex. avvägningar mellan prestanda för sensorer, datalänk, plattformen, flygsäkerhet, bemanning och kommunikation med avnämare i förhållande till systemegenskaper som robusthet och resiliens.
- integrerar styrningen av RPAS i befintliga ledningscentraler för att få samordningsvinster och utnyttja befintlig infrastruktur
- gör analyser, utvärderingar och prognoser av de kompetenser som behövs för framtida insatser med obemannade farkoster; Analyserna bör baseras på en helhetssammanställning av möjliga variationer, uppdragsdynamik, arbetsuppgifter, verkansmiljö, teknisk prestanda, automatiska/autonoma funktioner och organisatoriska faktorer. Tidig anpassning av flygförarprogram för rekrytering, urval, utbildning och kompetensutveckling rekommenderas för att säkerställa personalförsörjningen.
- analyserar hur en förbättrad luft- och sjölägesbild kan ge samordningsvinster även för Luftvärnet, FRA och Marinen; För att minska risken för bekämpning så är det en fördel för många förband att minimera användningen av egna aktiva sensorer genom att istället använda en gemensam lägesbild.
- använder en datalänk med hög kapacitet och uppdateringstakt för kommunikation med RPAS eftersom det är en förutsättning för att kunna utföra detaljerad flygstridsledning, dvs. en liknande funktion som ASC-890 har för flygstridsledning
- utreder hur långa upptäcktsavstånd med signalspaning kan användas för att förbättra luft- och sjölägesbilden
- utreder potentiella hot mot och skydd av RPAS och ledningskedjan; RPAS måste kunna verka i en hotande miljö men genom att RPAS blir svårare att bekämpa så behöver även skyddet för andra delar i ledningskedjan förbättras som t.ex. marksegmentet så att det inte blir den svagaste länken.
- utreder behovet av reläkommunikation via RPAS; Genom att RPAS har en upphöjd framskjuten position så kan den ha bättre förutsättningar för kommunikation med många förband.
- aktivt deltar i framtagningen av mandat och procedurer för användning av RPAS i civilt luftrum; Det finns luftrum med begränsad flygtrafik som är lämpligt för RPAS men regelverket för RPAS är ännu under utveckling.
- använder forskning inom resiliens för att få en hög anpassningsförmåga; Utgångspunkten för den här forskningen är att förbättra förutsättningarna för att

göra rätt saker snarare än att fokusera på misstag som generellt sett förekommer mer sällan.

För styrning av RPAS så rekommenderas att Förvarsmakten:

- utvecklar autonoma funktioner som i samverkan med operatören utför uppgiften; Ett top-down perspektiv kan användas för att identifiera beroenden som indikerar informationsbehov.
- använder ramverket från *Defense Science Board Task Force on The Role of Autonomy in DoD Systems* (DSB, 2012) för att strukturera systemutvecklingen; Ramverket stödjer bl.a. kartläggning av dynamiken i funktioner och roller, mellan operatörer och mellan operatörer och farkoster.
- undviker att använda generella autonominivåer eftersom de bortser ifrån att autonoma funktioner är en del i ett sammansatt kognitivt system där de ska bidra med en dynamisk förmåga för flera funktioner och med olika grader av autonomi; Autonoma funktioner baserad på generella autonominivåer är därför inte tillräckligt anpassade för operatörens uppgift.
- följer forskningen inom justerbar autonomi i NATO-STO gruppen HFM-247 *Human-Autonomy Teaming*; Storbritannien arbetar t.ex. med att operationalisera koncept från ramverket enligt DSB (2012).
- utreder uppmärksamhetskraven för styrning av flera RPAS; För styrning av flera RPAS så uppstår bl.a. koordinationsproblem mellan farkostens och operatörens förmåga att hantera framtida uppgiftskrav.
- utreder användningen av multimodala användargränssnitt med kombinationer av visuell, taktill och auditiv informationspresentation för styrning av RPAS för att förbättra prestationen och minska reaktionstider; Multimodala användargränssnitt har många fördelar eftersom de kan avlasta den visuella informationsbehandlingen som redan är starkt belastad.
- utreder den dynamiska avvägningen mellan ett aktivt och passivt arbetssätt för styrning av RPAS med hög prestation
- följer forskningen om urval och träning av RPAS-operatörer; Även om urvalsinstrument för flygförare också fungerar bra för RPAS-operatörer så behöver de sällan en fullständig konventionell flygförarutbildning.
- utreder hur RPAS-operatörer skapar och upprätthåller en gemensam situationsförståelse även vid oväntade händelser, samt utreder behovet av teknik- och procedurstöd för den teamprocessen
- validerar arbetssätt och procedurer för att hantera RPAS i system- och träningssimulatorer för att minska risken för incidenter som ofta förekommer initialt för obemannade system.

1 Inledning

Försvarmakten använder i dagsläget obemannade flygande farkoster (eng. *Remotely Piloted Aerial System*, RPAS) framförallt för taktisk och stridsteknisk spaning. Men fördelar som uthållighet, driftekonomi och skydd gör att RPAS även studeras för andra uppgifter. En sådan uppgift är hur RPAS kan komplettera befintliga system för övervakning av Sveriges territorium och närområde (Bull m.fl., 2014). RPAS för territorialövervakning behöver bl.a. radar, elektrooptiska sensorer, kommunikationssystem och skydd. För att RPAS verkligen ska ge ytterligare information som skapar fler handlingsalternativ så måste de också ledas effektivt.

Sedan flera år tillbaka så har Sverige ett integrerat ledningssystem som sammanställer all information från mark- och luftburna sensorer till en auktoriserad luftlägesbild. Denna luftlägesbild distribueras sedan till flera mottagare för luftbevakning, flygstridsledning och underrättelseinhämtning. Ledningscentralen C2STRIC ansvarar dygnet runt för att utföra dessa funktioner med en personalstyrka som anpassas beroende på situationen. Ledning av RPAS för territorialövervakning måste därför utformas efter dessa förutsättningar. Först när det är gjort blir RPAS en flexibel resurs som ger en bättre lägesbild både vid kontinuerlig övervakning och vid förhöjda hotnivåer.

I ledning av RPAS så ingår bl.a. frågor om organisation, bemanning, styrning, användargränssnitt, autonoma funktioner och människors förmåga. För att få bättre kunskaper om Försvarmaktens krav på ledningen av RPAS så har bl.a. flera intervjuer och diskussionsmöten genomförts med Försvarmaktens personal som arbetar med territorialövervakning och RPAS. Nästa avsnitt beskriver dessa möten och andra källor som används för att erhålla kunskap om ledning av RPAS. Därefter beskrivs resultaten från ett ledningsperspektiv och utifrån ett människa-, teknik- och organisationsperspektiv (MTO). Ytterligare bakgrund till resultaten beskrivs i Forssell (2013).

2 Metod

Intervjuer och diskussionsmöten genomfördes med försvarsmaktspersonal som har erfarenheter av territorialövervakning och RPAS. De skolor, förband och enheter som besöktes var Luftstridsskolan (LSS), ASC-890 och TUAV-förbandet på K3. Skälet till att LSS kontaktades var att personalen tidigare har arbetat med luftbevakning och flygstridsledning och ofta genomför utredningsuppdrag inom förbättrad territorialövervakning. Vidare så kontaktades personal som arbetar med ASC-890 eftersom det är ett flygande radarsystem som har en liknande funktion som RPAS för territorialövervakning. Den största skillnaden är att ASC-890 har personal ombord för luftbevakning och flygstridsledning och därför kan ta över delar av C2STRIC:s uppgifter vid behov. Slutligen är TUAV-förbandet på K3 de som har mest erfarenhet att använda RPAS operativt för taktisk och stridsteknisk spaning.

För att få information om möjligheterna att kombinera territorialövervakning och signalspaning på samma RPAS-plattform så kontaktades även personal på FOI som arbetar med signalspaning. För att komplettera intervjuerna så gjordes även kunskapsöversikter från forskningslitteraturen för styrning av obemannade farkoster i komplexa miljöer.

Flera utmaningar inom flygsäkerhet för RPAS överlappar ledningsområdet – t.ex. ledningsstrategier för RPAS, användargränssnitt för navigation och kommunikation, processer för robust och anpassningsbar förmåga, undvikande av trafik och kollisioner, samt hantering av nödsituationer. En del MTO-aspekter kring att kunna använda RPAS i icke-segregerat luftrum diskuteras av Hultgren, Rensfelt, Stensbäck och Woltjer (2014). Även projektet *Mid Air Collision Avoidance System* (MIDCAS, 2013), där bl.a. Saab och FMV deltar, berör liknande frågeställningar. Ett besök genomfördes i november 2013 på en demonstrationsdag för MIDCAS.

För att följa den internationella utvecklingen inom styrning av autonoma funktioner så har projektet deltagit i NATO-STO gruppen HFM-247, *Human-Autonomy Teaming: Supporting Dynamically Adjustable Collaboration*. Gruppens arbete började 2014 och pågår till 2016. Gruppen HFM-247 studerar flexibel och adaptiv automation, operatörsmodeller för adaptiv automation, principer för delad auktoritet, samt riktlinjer för användargränssnitt som ger en bra situationsförståelse. FOI har under 2014 deltagit i gruppens två första möten. Deltagandet har gett information om aktuell forskning inom flexibel/justerbar autonomi och hur den kan tillämpas för att förbättra samverkan mellan operatörer och obemannade farkoster.

3 Resultat: Ledning

Ledning för territorialövervakning handlar om att skapa fler handlingsalternativ för insatser mot potentiella hot genom att sammanställa en luft- och sjölägesbild. Med bättre information om möjliga mål av olika storlek på olika höjd och avstånd så ökar förvarningstiden vilket gör att fler handlingsalternativ blir aktuella. Luftburna radarsensorer är därför en värdefull resurs för territorialövervakning genom att de från hög höjd och långa avstånd kan upptäcka lågflygande mål som annars är bortom radarhorisonten p.g.a. jordens krökning. Men för att få avsedd effekt från en luftburen radarsensor så måste hela ledningskedjan fungera från radar till avnämare via funktioner som datalänk, ledning, kommunikation och logistik. Först då ger den tidigare förvarningen fler handlingsalternativ. Detta avsnitt redovisar därför de funktioner och krav på funktioner i ledningskedjan som har framkommit under arbetet.

3.1 Sensorer

För tillfället kommer informationen om luftläget i fredstid från en fast radarkedja runt om Sverige där vissa stationer mäter in mål på hög höjd och andra mäter in mål på låg höjd, samt vid behov från spanings- och ledningsplanet ASC-890. ASC är en förkortning för *Airborne Surveillance and Control*. ASC-890 har en avancerad radar för att upptäcka mål på långa avstånd samt personal ombord som vid behov kan ta över luft- och sjölägesövervakning samt flygstridsledning från C2STRIC. Fördelen med en flygburen radar är att det går att även upptäcka lågflygande mål på långa avstånd eftersom avståndet till radarhorisonten ökar med höjden. Jämfört med en markbaserad låghöjdsradar så kan upptäcktsavståndet öka ungefär fyra gånger. Eftersom radarn dessutom kan ha en framskjuten placering så ökar upptäcktsavståndet betydligt.

Radarn på ASC-890 är Erieye som är en s.k. gruppantenn där energin från flera elektroniskt styrda fast monterade element samverkar för att fokusera radarenergien i en viss riktning. Radarn är optimerad för att ha längst upptäcktsavstånd i en smal kon i sidled. Den elektroniska styrningen av radarn gör att det snabbt går att växla mellan olika typer av radarlober. För utnyttja den höga kapaciteten så är detaljstyrningen av radarn helt automatiserad. Operatören styr istället på en högre nivå genom att t.ex. ange vilka geografiska områden som ska avsökas.

Eftersom utvecklingen gått mot en allt mer automatiserad signalbehandling av radarinformationen så arbetar operatörerna på ASC-890 inte med sensorinformationen direkt från radarn. Istället används en syntetisk behandlad bild med plottar som automatiskt genererar målspar med information om position, kurs, fart, höjd och radarmålarea. Operatörerna måste hela tiden övervaka radarsystemets följning av målsparerna eftersom systemet ibland i vissa situationer gör fel och blandar ihop målsparerna. Beroende på uppdraget så anpassar operatören radarsystemets arbetsuppgifter, avsökningsområden och upptäcktsavstånd i förhållande till målstorleken. Mycket av styrningen beror på operatörens erfarenhet och för en ny operatör så kan det ta upp till ett år att lära sig vad som är normalbilden. Uppgiften för ASC-890 kan vara att övervaka, varna, spana, inhämta underrättelser och leda. ASC-890 kan leda allt från stridsflyg och helikoptrar till fartyg.

En radar med liknande funktion som Erieye är även ett möjligt alternativ för territorialövervakning med RPAS. En sådan RPAS-buren radar liknar på många sätt föregångaren till ASC-890 som hette FSR-890 där FSR är en förkortning för flygburen spaningsradar. I FSR-890 fanns bara pilot och andrepilot ombord medan operatörerna satt på marken och styrde radarn via en högkapacitetslänk. Eftersom den här radartypen är optimerad för att ha längst upptäcktsavstånd i en smal kon i sidled så behövs flera system för att täcka in större områden och flera höjdsnitt samt för att ha en överlappande täckning om någon plattform snabbt behöver dras tillbaka.

Ett annat radaralternativ för en RPAS-buren radar är en s.k. bistatisk radar där radarenergien sänds ut från en plattform och radarekona tas emot av en annan. Att skilja på sändare och mottagare har både för- och nackdelar. Eftersom radarsändare är lätta att upptäcka och lokalisera så kan skyddet förbättras om sändaren är längre från potentiella hot samtidigt som mottagarna passivt tar emot radarekona från en annan plats. Genom att informationen från flera mottagarplattformar sammanställs så blir systemet också mindre sårbart för om en enskild plattform blir utslagen. Nackdelen med en bistatisk radar är att tekniken blir mer komplicerad för kommunikation och signalbehandling av information från varandra oberoende plattformar. Systemets prestanda blir också mer varierad eftersom förhållandet mellan sändare och mottagare hela tiden förändras utifrån plattformarnas rörelser.

En annan fördel med passiva mottagare är att systemet kan kompletteras med signalspaningsförmåga eftersom det ställer bredare krav på radarmottagaren än vad som behövs för radarspaning. Signalspaning handlar bl.a. om att upptäcka och följa emitterar från motståndarens kommunikations- och radarsystem. Signalspaningen kan även ge viktig information om vilka områden som behöver avspanas med radar.

Radarspaning ger oftast bra information om målens positioner men för sjölägesbilden är det också viktigt att kunna identifiera fartygen. Därför diskuteras möjligheten att även utrusta RPAS med elektrooptiska sensorer som på långa avstånd kan användas för att se fartygens utformning, externa påbyggnader, angivet namn, samt aktiviteter på och kring fartygen. Det här liknar delvis den taktiska spaning som görs med befintliga UAV-system.

Eventuellt behöver RPAS även ha telekrigsensorer och motmedel för att kunna uppträda i en hotande miljö.

3.2 Ledningsorganisationen

Ledningscentralen C2STRIC bemannas för incidentberedskap dygnet runt av ett arbetslag som består av funktioner för luftbevakning, flygstridsledning, samband och teknik. Själva territorialövervakningen görs av luftbevakningsoperatörer. Vid incidenter och förhöjd beredskap finns det extra personal att tillgå antingen inom ramen för planerad beredskap eller kan kallas in med kort varsel. Flygvapnet har också flera ledningscentraler runt om i Sverige som i vissa situationer ansvarar för en region eller ett område.

C2STRIC ensar och integrerar informationen från alla sensorer till en auktoriserad luftlägesbild där alla upptäckta mål följs som företag där information om företaget registreras efterhand som den blir tillgänglig. Den information som registreras för ett företag är företagsnummer, kurs, fart och höjd från den automatiska målföljningen, ett kvalitetsmått på målföljningen, flygplanstyp, antal flygplan, identitet, IFF-svar från flygplanens igenkänningsutrustning, samt aktivitet.

I fredstid så identifieras ofta företag med hjälp av information från den följda farkostens transponder och med en färdplan om den finns registrerad. Om transponderinformation och färdplan saknas startar en sekvens av processer för att identifiera målet och besluta om eventuella åtgärder. Först kontaktas civila flygledare som kan ha haft kontakt med flygplanet. Om det inte räcker så kontaktas andra myndigheter som kan ha tillgång till ytterligare spaningsinformation. Först därefter markeras målet som okänt vilket startar insatsberedskapens processer för hotvärdering och beslut om insats. Flygstridsledningen ansvarar för att leda beslutade insatser av militärt flyg. Beredskapen för att kunna göra insatser roterar mellan landets flygflottiljer.

Den här strukturen på ledningsorganisationen fungerar även för en RPAS-buren radar men den behöver anpassas. Det handlar t.ex. om att utöka C2STRIC med farkostoperatörer, sensoroperatörer och en datalänk till farkosten. Samordningsvinsterna gör att det är bättre om styrningen av RPAS utförs på samma ledningscentral som den övriga territorialövervakningen. Den bättre infrastrukturen på C2STRIC gör också att det är

lättare att informera samtliga beslutsfattare vilket annars upplevs som en begränsning på ASC-890.

3.3 Bemanning

En viktig fråga för bemanning av RPAS är hur många operatörer (farkostoperatörer, sensoroperatörer, bildtolkar, ledningsfunktioner, etc.) det krävs för att operativt använda en eller ett flertal RPAS. Problemet är att frågan ofta leder till en reaktiv design där operatörs- och teknikfunktioner utformas isolerat från varandra (Woods & Hollnagel, 2006). En bättre fråga är därför istället hur man ska designa det sammansatta kognitiva systemet (eller MTO-systemet) så att det kan känna igen och anpassa sig till föränderliga krav och behov, avvikelser från det förväntade, möjligheter, tempovariationer, kaskadeffekter, mm. Eftersom det inte varit möjligt att studera det kognitiva systemet för styrning av RPAS i detalj utifrån projektets scenarion så baseras diskussionen om bemanning på uppgifter som finns i RPAS-litteraturen.

Ett illustrativt exempel är den rapporterade bemanningen av farkostoperatörer och andra operatörer för RPAS Predator (MQ-1), Reaper (MQ-9) och Global Hawk (RQ-4) i US Air Force vid slutet av 2011. DoD (2012) beskriver både behovet per *Combat Air Patrol* (CAP) samt det totala behovet inom USAF för operativ användning, tester och träning. En CAP av typen MQ-1/9 uppgavs innefatta 4 flygplan och 10 besättningar av farkost- och sensoroperatör för kontrollstationen *Mission Control Element* (MCE) som används för uppdragsplanering, ledning, bildbehandling och informationsspridning. En CAP av typen RQ-4 uppgavs innefatta 3 flygplan, 15 farkostoperatörer för MCE, 5 farkostoperatörer för *Launch and Recovery Element* (LRE) som används för start och landning, samt 15 sensoroperatörer. Det här ger ett sammanlagt genomsnitt för operativ användning, tester och träning av ungefär 7 farkostoperatörer per MQ-1/9, 13 farkostoperatörer per RQ-4 och 5 sensoroperatörer per flygplan. Dessa siffror ska dock endast ses som exempel, i sin kontext för USAF vid slutet av 2011 och för de uppdrag och i de miljöer som dessa flygplan i sin dåvarande konfiguration användes. Rapporten (DoD, 2012) nämner dessutom en underbemanning på ungefär 20 %. Dessa siffror kan inte heller användas som prognostiserande för svenska förhållanden eftersom det övergripande MTO-systemets förmåga bör vara styrande (se avsnitt 4.1).

Ett problem för bemanningen inom USAF är att behovet av RPAS-besättningar växer snabbare än de hinner utbilda personalen (Hoagland, 2013). Dessutom är processen för att välja ut farkostoperatörer ineffektiv vilket leder till ett tre gånger högre bortfall under utbildningen än för traditionell flygförarutbildning. 13 % färre farkostoperatörer än övriga officerare klarar också utbildningen för befordran till major. För att förbättra rekryteringen så föreslår Hoagland (2013) bl.a. standardiserade urvalstester för flygförare, flygvapengenerella krav på flygförare för bemannade flygplan och farkostoperatörer för obemannade flygplan, återmatning av erfarenheter från industri och akademi, samt olika rekryteringsinsatser. Se avsnitt 4.6 för ytterligare information om problematiken kring urval och träning.

3.4 Kommunikation till och från RPAS

För att få informationen från RPAS och för att kunna styra plattformen och dess sensorer så behövs datalänkar. Datalänken från RPAS är ofta mest kritisk eftersom plattformens storlek begränsar antennstorleken och maximal uteffekt. På ASC-890 så används en datalänk (Länk-16) som ofta har låg uppdateringstakt. Den låga uppdateringstakten är tillräcklig eftersom personalen ombord kan ta över luftbevakning och flygstridledning från C2STRIC om så behövs. Eftersom länkkapaciteten är begränsad så skickas bara den information som är mest intressant för C2STRIC. Den maximala länkkapaciteten används bara när C2STRIC verkligen efterfrågar så mycket information som möjligt från radarsystemet.

För att informationen från RPAS ska kunna användas för flygstridledning så behövs en datalänk med hög kapacitet och hög uppdateringstakt. Det är nödvändigt för att flygstridledaren med s.k. *close control* ska kunna ge detaljerade instruktioner till flygförarna om hur de kan hantera potentiella hot. Förutom målspar så behöver datalänken även kunna skicka den obehandlade målplotten som radarn mäter in (sensorinformation på lägre nivå), teknisk identifiering från telekrigssystem, elektrooptisk information för identifiering av fartyg mm., information från signalspaning och reläkommunikation. Den obehandlade målplotten används sällan aktivt men personalen menar att det är en trygghet att ha den tillgänglig.

Behovet av högre dataakt och av störskydd gör förmodligen att riktade parabolantennor kommer att användas för kommunikation både till och från RPAS (Bull m.fl., 2014). Att hela tiden rikta parabolantennen på en rörlig RPAS mot markstationen ställer nya tekniska krav. Hittills har parabolantennor på RPAS bara använts för satellitkommunikation där riktningen är i stort sett oförändrad eftersom det är ett stort avstånd till satelliterna. För kommunikation med markstationen behöver antennen på RPAS ändra riktning oftare med större riktningförändringar. Eventuellt kan gruppantennen även användas för kommunikation men eftersom multifunktionsantennor är mer komplicerade och tar kapacitet från radarn så finns det i dagsläget bara ett fåtal sådana system. En annan fördel med en riktantenn på RPAS är att systemet blir mindre känsligt för störning, särskilt om en gruppantenn används. En rimlig förväntad dataakt är ca. 1 Gbit/s.

Kommunikationen är inte heller enbart begränsad till att vara mellan C2STRIC och RPAS. Genom att RPAS flyger på hög höjd i en framskjuten position så kan den också fungera som kommunikationsrelä med andra farkoster och enheter. Reläkommunikation kan genomföras samtidigt med radarspaningen. Reläkommunikation som använder rundstrålande antenner är förmodligen inte aktuell för en bistatisk radar eftersom kommunikationen kan röja plattformens position.

Från ett flygsäkerhetsperspektiv så kan det också finnas behov av att kunna anropa RPAS-operatören via plattformen precis som flygledare idag anropar vanligt flyg.

3.5 Plattformsegenskaper

Eftersom RPAS i huvudsak ska fungera som bärare av antenner och system för signalbehandling så behöver den inte ha några exceptionella flygprestanda. Förutom att kunna bära lasten så är den viktigaste egenskapen att plattformen har lång uthållighet. Samtidigt är det en fördel om hastigheten kan varieras från långsam flygning som är bra för att upprätthålla luftbevakning, till snabb flygning för att påskynda urdragning vid uppkomna hot. Det är dessutom en fördel om RPAS är smyganpassad för att försvåra upptäckt när den egna radarn är inaktiv, vilket förbättrar skyddet vid urdragning. Smyganpassning är kanske ännu mer aktuellt för mottagaren i en bistatisk radar där målet är att lyssna så passivt som möjligt.

I rapporten Bull m.fl. (2014) så diskuteras tre möjliga RPAS-alternativ för territorialövervakning. Två av dessa RPAS är mindre varav den ena är optimerad för ett brett hastighetsspektrum och den andra för lång uthållighet. Den tredje RPAS är större och optimerad för att kunna bära en tung last. Viktbegränsningarna på de mindre RPAS gör att de bara kan bära en mindre radar vilket minskar upptäcktsavståndet. Dessutom måste fler RPAS användas samtidigt för att upprätthålla luftbevakningen över en given sträcka jämfört med den större RPAS som kan bära en tyngre radar med ett längre upptäcktsavstånd. Ledning av många RPAS skapar mer komplexa koordinationsproblem men kan också öka flexibiliteten genom att fler RPAS finns tillgängliga. Men i praktiken är skillnader mellan RPAS-alternativen så stora att de lämpar sig för olika uppgifter. Den större RPAS passar för kontinuerlig övervakning medan de mindre RPAS passar bättre för punktinsatser som t.ex. att identifiera fartyg där ett brett hastighetsspektrum är särskilt användbart.

3.6 Autonoma funktioner

Utvecklingen går överlag mot mer automation för styrning av farkost, radar, signalspaning och hantering av nödåtgärder. Automation och delvis autonomt uppträdande är särskilt viktigt för RPAS vid tidskritiska förlopp som är svåra att hantera från marken. Det kan t.ex. handla om motorbortfall, konfigurering av störskydd och undanmanövrer. Delvis autonoma funktioner kompenserar också för operatörernas försämrade situationsuppfattning av att inte befinna sig på plats.

Vad som är en lämplig autonomnivå beror även på vilken anpassningsförmåga som behövs. Operatörer är ofta utbildade för att hantera oförutsedda händelser medan autonomi ofta är bättre på att hantera kända situationer. Eftersom territorialövervakning sannolikt kräver hög anpassningsförmåga så begränsas automationen till mer grundläggande funktioner. Många av dagens RPAS har t.ex. funktioner för att följa brytpunktsbanor, avsökningsmönster, bevaka ett visst område, samt flyga till en förvald plats vid förlorad kontakt. En annan autonom funktion som diskuteras är t.ex. hur en plattform som förlorar kontakten med markstationen på grund av telekristörning snabbast ska förflytta sig till ett läge där kontakten kan återupprättas och samtidigt rapportera relevant spaningsinformation. Precis som inom många andra tillämpningar vill operatörerna ha en förvarning om när funktionen degraderas så att de inte överraskas av att systemfunktioner plötsligt försvinner.

3.7 Kommunikation till informationsmottagare/avnämare

Även om luftlägesbilden i först hand används av C2STRIC för luftbevakning och flygstridsledning så sprids den även till andra plattformar som t.ex. flygplan och fartyg via Länk-16. Luftlägesbilden är därför en central resurs som ger möjlighet att skapa en gemensam lägesuppfattning för att kunna genomföra uppdrag på ett effektivt sätt.

Genom att en RPAS-buren radar har lång uthållighet och kan upptäcka mål på långa avstånd så blir luftlägesbilden betydligt mer omfattande, vilket skapar nya möjligheter att använda plattformarna i nätverket. En annan fördel med en RPAS-buren radar är att kvaliteten på luftlägesbilden förbättras så mycket att den även kan användas för nya typer av funktioner. Det kan t.ex. handla om att ge flygplan, fartyg och luftvärn större möjligheter att agera passivt så att de inte behöver använda egna aktiva sensorer vilket ökar risken för upptäckt och röjning av den egna positionen. Med en tillräckligt hög kvalitet så kan lägesbilden även användas för vapeninsats. Förutsättningen är naturligtvis att kommunikationsnätverken har tillräcklig uppdateringstakt och tillräckligt korta fördröjningar, vilket kan bli kostsamt att åstadkomma.

3.8 Flygsäkerhet

Säkerhetsforskningen har länge dominerats av en linjär syn där olyckor uppstår p.g.a. en eller flera oberoende orsaker och en syn på säkerhet som en jakt på tekniska komponentfel och den mänskliga faktorn. Denna syn har visserligen förbättrat säkerheten, men för att förstå den komplicerade karaktär av samtida olyckor och industriella system samt förbättra säkerheten ytterligare så är det nödvändigt med mer systemiska modeller av olyckor och säkerhet.

För att ytterligare förbättra säkerheten så har forskare under det senaste årtiondet utvecklat ett nytt systemiskt perspektiv på ultrasäkra MTO-system som kallas för *Resilience Engineering* (Hollnagel, Pariès, Woods, & Wreathall, 2011; Hollnagel, Woods, & Leveson, 2006; Nemeth & Hollnagel, 2014) eller *Safety-II* (Hollnagel, 2013, 2014). De första tillämpningarna inom flygtrafikledning (Woltjer, Pinska-Chauvin, Laursen, & Josefsson, 2013) samt civilflyg (Moriarty & Jarvis, 2014; Rankin, Woltjer, Field, &

Woods, 2013) har tagits emot med stort intresse. Dessa perspektiv är även relevanta för obemannat flyg med tanke på den positiva utvecklingen av flygsäkerheten hos obemannade system, samt kravet att vara minst lika säkert som flygledning och civilflyg för att RPAS ska kunna integreras med det övriga flygsystemet (se även Hultgren, Rensfelt, Stensbäck, & Woltjer, 2014).

Resiliens (eng. *resilience*) har definierats som den ”inneboende förmågan hos ett system att anpassa sin verksamhet före, under eller efter förändringar och störningar, så att det kan upprätthålla den efterfrågade verksamheten under både förväntade och oförväntade omständigheter” (Hollnagel, 2011b, s. xxxvi). Resiliens syftar därmed på anpassningsförmåga till skillnad från robusthet som syftar på motståndskraft. Resiliens kräver integrerade förmågor för förutseende, övervakning, respons och lärande (Hollnagel, 2011a). *Resilience Engineering* och perspektivet *Safety-II* syftar till att förstå varför den dagliga verksamheten som utförs lyckas (i princip hela tiden). Eftersom relativt få fall av incidenter och olyckor inträffar så kan säkerheten istället förbättras mer genom att framförallt lära sig av den dagliga driften i ultrasäkra system.

Woods (2006) förslag för att förbättra säkerheten är att *Resilience Engineering* fokuserar på systembegreppen som buffertkapacitet (för att absorbera eller anpassa sig till störningar), flexibilitet (för att omstrukturera som svar på förändringar eller tryck), marginal (för att upprätthålla prestativen i förhållande till en viss gräns) och tolerans (för hur prestationsförändringar betar sig nära eller över en gräns). Ett annat centralt begrepp inom *Resilience Engineering* är avvägningar eftersom igenkänningen av effekterna av att det finns multipla (konflikterande) mål i en verksamhet är avgörande för att förstå den variation som uppstår i den dagliga verksamheten (Hoffman & Woods, 2011; Hollnagel, 2009). En nyligen utvecklad metod baserat på *Resilience Engineering* använder dessa centrala begrepp för att förstå och utvärdera nuvarande och framtida MTO-system inom flygledning (Woltjer m.fl., 2013).

3.9 Systemegenskaper

Förutom tekniska prestanda så är det också viktigt att utvärdera tillgänglighet, robusthet, säkerhet och kostnader för olika alternativ. Tillgänglighet handlar t.ex. som systemets uthållighet och underhållsbehov. fördelarna med RPAS är att utan personal ombord så blir uthålligheten längre och det är mindre komplicerat att ta större risker genom att flyga närmare eventuella hot.

Robustheten och resiliensen hos RPAS beror på interaktionen mellan de olika delarna i ledningskedjan och hur den absorberar eller anpassar sig till olika störningar. Därför behövs utvärderingar av på vilka sätt delar av ledningskedjan kan degraderas eller slås ut. För att RPAS ska fungera i en hotande miljö så är det bra om den har minst samma robusthet som ASC-890. Precis som för ASC-890 så gör rörligheten att systemet blir mindre sårbart än fasta system. Med en bistatisk radar där mottagaren lyssnar passivt så blir sårbarheten ännu mindre. Tyvärr är nackdelen med RPAS jämfört med ASC-890 att systemet inte kan verka autonomt om marksegmentet är utslaget eftersom målsparen måste skickas till en ledningscentral för värdering. Dessutom kan både radarn och datalänken störas med telekrig, men med en bredbandig radar och riktad datalänk så behöver effekterna inte blir så stora. Om flera system används för att göra samtidiga mätningar så minskar sårbarheten ytterligare.

Vidare påverkas robustheten även av anpassningsförmåga vid oväntade händelser och därmed systemets autonomnivå. Ett system med för hög autonomnivå riskerar att minska robustheten om det inte utnyttjar operatörernas expertis. Robustheten omfattar dessutom hur hela organisationen försöker identifiera möjliga händelser och hur de ska hanteras. C2STRIC arbetar därför konsekvent med att förbättra rutiner och procedurer, men även hur fokus kan ändras inom normalbilden.

Slutligen måste kostnaderna för RPAS ses i förhållande till kostnaderna för markbundna radarstationer och deras utveckling. Dessutom kan även marksystemet bli kostsamt om det ska ha låga fördröjningar och hög uppdateringstakt som t.ex. Luftvärnet är intresserade av för att kunna genomföra vapeninsats utifrån informationen.

3.10 Rekommendationer för ledning av RPAS

För effektiv ledning av RPAS för territorialövervakning så rekommenderas att Försvarsmakten

- analyserar hur varje del av ledningskedjan behöver anpassas för att skapa och utnyttja en väsentligt förbättrad luft- och sjölägesbild över lång tid; Det behövs t.ex. avvägningar mellan prestanda för sensorer, datalänk, plattformen, flygsäkerhet, bemanning och kommunikation med avnämare i förhållande till systemegenskaper som robusthet och resiliens.
- integrerar styrningen av RPAS i befintliga ledningscentraler för att få samordningsvinster och utnyttja befintlig infrastruktur
- gör analyser, utvärderingar och prognoser av de kompetenser som behövs för framtida insatser med obemannade farkoster; Analyserna bör baseras på en helhetssammanställning av möjliga variationer, uppdragsdynamik, arbetsuppgifter, verkansmiljö, teknisk prestanda, automatiska/autonoma funktioner och organisatoriska faktorer. Tidig anpassning av flygförarprogram för rekrytering, urval, utbildning och kompetensutveckling rekommenderas för att säkerställa personalförsörjningen.
- analyserar hur en förbättrad luft- och sjölägesbild kan ge samordningsvinster även för Luftvärnet, FRA och Marinen; För att minska risken för bekämpning så är det en fördel för många förband att minimera användningen av egna aktiva sensorer genom att istället använda en gemensam lägesbild.
- använder en datalänk med hög kapacitet och uppdateringstakt för kommunikation med RPAS eftersom det är en förutsättning för att kunna utföra detaljerad flygstridsledning, dvs. en liknande funktion som ASC-890 har för flygstridsledning
- utreder hur långa upptäcktsavstånd med signalspaning kan användas för att förbättra luft- och sjölägesbilden
- utreder potentiella hot mot och skydd av RPAS och ledningskedjan; RPAS måste kunna verka i en hotande miljö men genom att RPAS blir svårare att bekämpa så behöver även skyddet för andra delar i ledningskedjan förbättras som t.ex. marksegmentet så att det inte blir den svagaste länken.
- utreder behovet av reläkommunikation via RPAS; Genom att RPAS har en upphöjd framskjuten position så kan den ha bättre förutsättningar för kommunikation med många förband.
- aktivt deltar i framtagningen av mandat och procedurer för användning av RPAS i civilt luftrum; Det finns luftrum med begränsad flygtrafik som är lämpligt för RPAS men regelverket för RPAS är ännu under utveckling.
- använder forskning inom resiliens för att få en höganpassningsförmåga; Utgångspunkten för den här forskningen är att förbättra förutsättningarna för att göra rätt saker snarare än att fokusera på misstag som generellt sett förekommer mer sällan.

4 Resultat: Styrning av RPAS

Resultatet från ledning av RPAS visar att territorialövervakning är ett komplext system som omfattar sensorer, kommunikationssystem, operatörer och organisatoriska processer. En RPAS-buren radar är bara en ytterligare sensor i detta system som genom längre förvarningstid skapar fler handlingsalternativ. Det befintliga ledningssystemet bedöms vara tillräckligt för att hantera en RPAS-buren radar men det behöver anpassas med kommunikationssystem och operatörer som kan styra farkosten och dess sensorer.

För styrning av RPAS så rekommenderas att hänsyn tas till MTO- och *human factors*-aspekter vid kravställning, beställning, utformning, utveckling och driftsättning av framtida system. Tre exempel på kategorier av MTO-problem som har dokumenterats utförligt för styrning av RPAS är svårigheter för farkostoperatörer att kontrollera flygrörelser på grund av bristfällig utformning av användargränssnitt, svårigheter med att styra automatiserad flygning, samt svårigheter med överlämning av styrningen från en kontrollstation till en annan (Williams, 2006). Dessa bedöms fortsatt viktiga på kort och lång sikt, framförallt eftersom räckvidd och automatiseringsgrad förväntas öka i framtiden.

I regel kräver styrning av RPAS två operatörer, en som manövrerar farkosten och en som styr och tolkar sensorerna. Även om både styrningen av farkosten och sensorerna blir mer automatiserat i framtiden så kommer förmodligen den här uppdelningen att bestå. För en effektiv användning av plattformens sensorer så behövs ett nära samarbete mellan farkost- och sensoroperatören. Farkostoperatören behöver t.ex. manövrera farkosten för att underlätta sensoroperatörens uppgift och även informera sensoroperatören om uppdragssituationer som påverkar styrningen. Båda operatörerna behöver därför upprätthålla en gemensam förståelse för uppdraget för att utnyttja plattformens förmåga. Samspelet mellan operatörerna utvecklas över tiden efterhand som de blir vana att arbeta tillsammans (jmf. Cooke, Gorman, Duran, & Taylor, 2007).

Eftersom flera RPAS behöver användas samtidigt för att täcka ett tillräckligt stort område så omfattar styrningen även hur farkosterna som helhet ökar upptäckssannolikheten. Om farkosterna uppträder synkroniserat, vilket kan vara en fördel för att minimera tiden som områden är obevakade (Bull m.fl., 2014), så behöver det gemensamma uppträdandet inte ha så stor effekt på operatören. Om det däremot finns underrättelser eller behov som gör att man vill anpassa både farkosternas och radarns beteende utifrån den momentana situationen så blir koordinationsproblemen större. För styrning av flera RPAS så används både sekventiell styrning där operatörerna växlar mellan olika RPAS och övergripande styrning av autonoma funktioner som hanterar flera RPAS samtidigt (se avsnitt 4.3).

Operatörens mandat för styrningen bestäms av regler, ramverk och befälhavarens intentioner. Här ingår även kommunikation och koordinering med civil luftfart för att upprätthålla det förtroende som krävs för att använda RPAS i integrerat luftrum (se avsnitt 3.8).

4.1 Människa-teknik-organisation och autonomi

Några av de övergripande funktioner som system för styrning av RPAS måste utföra är ledning, manövrering, sensorhantering, analys av sensordata och tekniskt stöd för att hålla systemet i drift. Hur effektivt ett system blir på att utföra dessa funktioner kan beskrivas som resultatet av de organisatoriska förutsättningarna, processer och samverkan med teknik. Funktionerna behöver därför utformas utifrån hur de samarbetar och kommunicerar i helhetsperspektivet av människa, teknik och organisation.

Detta helhetsperspektiv har ofta saknats vid utformning av RPAS-funktioner. Enligt *Defense Science Board Task Force on The Role of Autonomy in DoD Systems* (DSB, 2012) så hindrar det utveckling och effektivt användning av RPAS genom

1. bristfällig förståelse för samverkan mellan människa och system som leder till bristande förtroende för systemet
2. användandet av diskreta autonominivåer istället för ett kontinuum vilket leder till teknikfokus i stället för ett sociotekniskt systemfokus, dvs. samverkan människa-teknik-organisation
3. för kortvarig och hastig utvärdering pga. snabb driftsättning av autonoma system i verkliga konfliktsituationer, som leder till bristfälliga *Concept of Operations* och förståelse för dynamiken i den operativa miljön.

Följande avsnitt beskriver hur samverkan mellan människa och system ökar eller minskar systemtilltron, betydelsen av tekniskt- och sociotekniskt fokus för utformning av autonominivåer, hur RPAS kan bli mer anpassningsbara med en förståelse av dynamiken, samt några resultat från en initial kartläggning av lednings- och MTO-faktorer inom territorialövervakning med RPAS.

4.1.1 Skapande av systemtilltro

En förutsättning för operatörernas styrning av delvis autonoma RPAS är att de känner tilltro till systemet. Tilltron till automatiserade system byggs upp ungefär som tillit mellan människor med den skillnaden att automatiserade system saknar intentionalitet. Tilltron bör även vara kalibrerad efter RPAS tillförlighet så att operatörerna varken ingriper i onödan när systemet fungerar bra eller blir överraskade av systemets beteende när det inte fungerar som förväntat. Precis som för mänsklig tillit så har oväntade negativa upplevelser ofta en större effekt på tilltron än positiva upplevelser och det kan ta lång tid innan tilltron återhämtas efter en negativ upplevelse. Det är därför viktigt att operatörerna tidigt blir informerade om eventuella brister så att tilltron blir stabil.

När operatören blir överraskad så uppstår det så kallade *out-of-the-loop-performance-problem*, vilket innebär att operatören inte är med i beslutsloopen och att det därmed kan ta lång tid att ingripa (Endsley, 1996). Om operatören överraskas kan det också vara svårt att tolka beteendet hos automatiserade funktioner (Rankin m.fl., 2013; Sarter, Woods, & Billings, 1997). Orsaken till att det här problemet uppstår är ofta bristande koordination mellan operatör och automation som baseras på dels den egna förmågan men också autonomins förmåga att hantera framtida uppgiftskrav. För att lösa koordinationsproblemen så behöver operatören känna till farkostens tillstånd, dess förmåga och förväntade prestationsgränser. Men det är bara uppgifter med starka beroendet mellan operatören och automationen som ger svåra koordinationsproblem och kräver mycket av operatörens uppmärksamhet.

4.1.2 Problemet med autonominivåer

Forskningen om operatörens interaktion med autonoma funktioner har under lång tid varit inriktad på paradigmet automationsnivåer (eng. *Levels of Automation*) (Sheridan, 1992). Med det här paradigmet så interagerar operatören med farkosten på olika men fasta diskreta autonominivåer. Nivåerna kan t.ex. beskrivas som delar av beslutsfattandet för att generera förslag, utvärdera förslag och slutligen välja alternativ (Parasuraman, Sheridan, & Wickens, 2000; Sheridan, 1992). Men vilka nivåer som är meningsfulla beror mycket på tillämpningen. Inom trafikflyg används t.ex. nivåer för vilken information som behövs för manuell styrning, behålla planet i ett säkert tillstånd och delegering av beslutsrätt på olika abstraktionsnivåer (Billings, 1997). Autonoma och automatiska funktioner kan därför beröra alla delar av informationsbehandlingen (Parasuraman, Sheridan, & Wickens, 2000). Funktionerna hanterar specifika uppgifter med lämpliga auktoritetsnivåer men exakt hur nivåerna ser ut beror på tillämpningen.

Tyvärr är problemet med paradigmet med fasta autonominivåer att operatören får hela ansvaret för att anpassa systemet i svåra oförutsedda situationer. Nivåerna har också gett upphov till missriktad forskning om hur delvis autonoma funktioner direkt kan ersätta

operatören. Att ersätta operatören är en felaktig utgångspunkt eftersom det i själva verket handlar om att farkosterna utgör en del i ett sammansatt kognitivt system (eng. *Joint Cognitive System*, JCS) (Hollnagel & Woods, 1983, 2005; Woods & Hollnagel, 2006) där människor, teknik och organisation som helhet försöker leverera förmågor och uppnå mål på ett adaptivt sätt, i en kontinuerligt föränderlig omgivning. Automationsnivåer ger därför upphov till klassiska problem som myten om att kunna ersätta människor med maskiner (eng. *substitution myth*) (Dekker & Woods, 2002; Sarter, Woods, & Billings, 1997) och ironier där automation förenklar vissa uppgifter samtidigt som den försvårar andra (Bainbridge, 1983) och introducerar ny komplexitet (Woods, 1996).

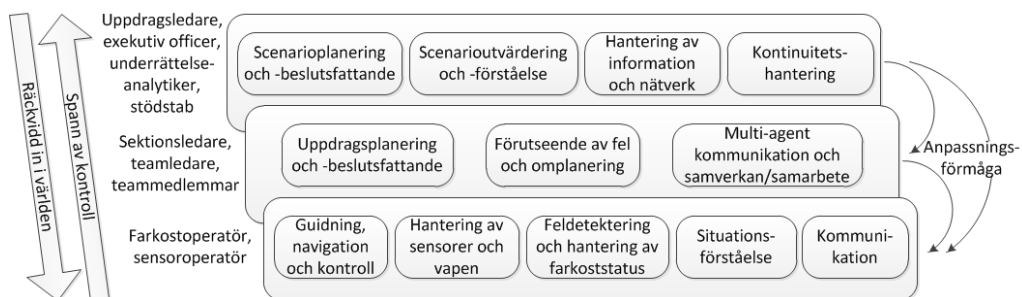
DSB (2012) menar därför att det är lönlöst att försöka ta fram generella autonomnivåer för obemannade system. Istället är det bättre att se autonomi som en dynamisk förmåga för att öka den totala systemeffektiviteten.

4.1.3 Dynamisk förmåga hos obemannade farkoster

För att obemannade farkoster ska bli effektivare och mer funktionella så har DSB (2012) utvecklat ett ramverk för att kartlägga viktiga aspekter som systemutformningen behöver ta hänsyn till. Några av de aspekter som ramverket beskriver är:

- typer av uppdrag, uppdragsfaser (t.ex. strategisk planering, taktisk planering, utförande)
- funktioner som utförs i varje fas (t.ex. inriktning, navigering, styrning, sensorhantering, feldetektering, planering, beslutsfattande, kommunikation, informationshantering, kontinuitetshantering)
- *echelons* eller roller som utför funktionerna (farkostoperatör, sensoroperatör, teamledare, uppdragsledare, etc.), samt kommunikationen mellan dem
- dynamiken i funktioner och roller, överlapp i funktionsutförande mellan roller men också mellan människor och delvis autonoma system, (eng. *human-autonomy-teaming*) som även omfattar koncepten justerbar autonomi (eng. *adjustable autonomy*) och befogenhetsdelning (eng. *authority sharing*)
- på vilket sätt autonoma funktioner kan bidra till att MTO-systemet som helhet på ett dynamiskt sätt hittar balansen mellan olika avvägningar inom uppdrag och tillhandahållande av förmågor (Hoffman & Woods, 2011)
- kommunikation och informationshantering (intressenter, informationsmottagare, beslutsfattare), samt hur dessa påverkar funktioners utförande.

Genom att ramverket stödjer kartläggning av dynamiken i funktioner och roller mellan operatörer och mellan operatörer och farkoster så är det lättare att se behovet av omallokeringen av funktioner över uppdraget och vid störningar. Genom att systemet utformas för att möjliggöra omallokeringar redan från början så blir det mer anpassningsbart och robust. Figur 1 visar spannet av funktioner och förmågor för styrning av obemannade farkoster som ingår i anpassningsförmågan (DSB, 2012).



Figur 1. *Spannet av funktioner och förmågor för styrning av obemannade farkoster (DSB, 2012).*

4.1.4 Tillämpning av DSB:s ramverk

Eftersom ramverket från DSB (2012) tar upp många väsentliga aspekter för att utforma obemannade farkosterna så användes det för att kartlägga lednings- och MTO-faktorer för styrning av RPAS inom territorialövervakning. Tabell 1 visar några av de aspekter som framkommit i mötena med Försvarmakten.

4.2 Övervakningsuppgiften

Uppgiften att övervaka RPAS kan antingen utformas som ett passivt arbetssätt där systemet informerar operatören när något behöver uppmärksammas eller som ett aktivt arbetssätt där operatören själv försöker upptäcka anomalier. Båda arbetssätten har för- och nackdelar och kombineras helst på ett dynamiskt sätt beroende på föränderliga förutsättningar och omständigheter under och mellan uppdrag.

Fördelen med ett passivt arbetssätt är det kräver mindre av operatörens uppmärksamhet vilket gör det lättare utföra fler uppgifter samtidigt. Nackdelen är i gengäld att operatören bara reagerar på systemets information vilket ofta innebär en sämre förståelse för vad systemet gör och det tar därför längre tid att bedöma informationen och initiera åtgärder. Med ett aktivt arbetssätt så är situationen den omvända eftersom operatören hela tiden är med i beslutsloopen och har goda förutsättningar att förstå vad systemet gör och att snabbt ingripa vid behov. Nackdelen är det aktiva arbetssättet är mentalt krävande och begränsar hur många övriga uppgifter som kan utföras samtidigt.

För- och nackdelarna gör att både passivt och aktivt arbetssätt behövs för att övervaka RPAS. En överdriven användning av ett passivt arbetssätt kan nämligen även ge vaksamhetsproblem som innebär att man inte kan upptäcka de situationer man har till uppgift att övervaka (Scerbo, 2001). Både för hög eller för låg mental arbetsbelastning leder till stress och försämrade prestation. Exakt var gränsen går för hög och låg mental arbetsbelastning är svårt att veta i förväg så därför är det viktigt att systemlösningar valideras med operatörer.

Vid passiv övervakning så uppmärksammas operatören ofta genom någon form av larm. Eftersom larm sällan är helt tillförlitliga så handlar det istället om att ställa in larmets känslighet. Fördelen med ett känsligt larm är att risken blir mindre för att någon kritisk situation missas men nackdelen är istället många falsklarm som operatören behöver granska (eng. *nuisance alarms*). Med ett mindre känsligt larm så är risken större att någon kritisk situation missas vilket operatören måste kompensera genom att i större utsträckning själv övervaka situationen. Larmets känslighet påverkar därför hur mycket uppmärksamhet övervakningen kräver av operatören. Larmets känslighet påverkar både operatörens reaktion på larmet (eng. *compliance*) förtroende för att larmet är korrekt (eng. *reliance*) (Meyer, 2004). Det är framförallt sämre förtroende för larmet som gör att operatören ägnar mer tid åt övervakningen. Studier visar att båda känslighetsnivåerna minskar operatörens förtroende för larmet, men känsliga larm försämrar även reaktionen på larmet och det tar lång tid att verifiera att larmet är korrekt (Dixon, Wickens, & McCarley, 2007).

4.3 Styrning av flera RPAS

För en framtida övervakning av Sveriges territorium och aktuellt närområde med RPAS så är det sannolikt att flera RPAS används samtidigt (Bull m.fl., 2014). Eftersom styrningen av RPAS blir mest effektivt om alla farkosterna styrs integrerat av en eller några operatörer så har forskningen fokuserat på hur automation kan användas för att förenkla styrningen av RPAS så att en sådan systemlösning blir möjlig.

Ett exempel på den här forskningen är Cummings, How, Whitten och Toupet (2012) som beskriver en arkitektur där operatörer interagerar med automatiserade planeringsalgoritmer för att kunna styra flera RPAS. Studien identifierar fördelen med att människor och automation arbetar tillsammans för att utföra funktioner och svårigheten med att få

Tabell 1. Exempel på ramverkscategorierna utifrån DSB (2012) inom FM.

Ramverkskoncept	Beskrivning	Exempel på frågor att besvara vid analys av befintliga eller framtida system	Exempel
Typer av uppdrag och uppdragsfaser	Beskrivning av uppdrag och faser i uppdragen.		Uppdrag: Upptäckt och klassificering av mål i luften eller på ytan, ledning av insats, spaning, signalspaning och havsövervakning (se Bull m.fl., 2014). Uppdragsfaser: Strategisk/taktisk planering, start, transport, spaning, överlämning av kontroll (farkostbyte, markstationspersonalbyte), hemfärd, mm.
Funktioner som utförs i varje fas	En funktion är en mängd handlingar som ett MTO-system utför eller används för vilka är värdefulla för att uppnå en mängd mål (Wolftjer, 2009, s. 23).	Vilka funktioner och aktiviteter (ofta verb) utförs av det sammansatta MTO-systemet, dvs. av människor och teknik eller grupper av människor och teknik på olika nivåer?	Inriktning, navigering, styrning, sensorhantering, feldetektering, planering, beslutsfattande, kommunikation, informationshantering och kontinuitetshandling (DSB, 2012).
Roller/echelons som utför funktionerna		Vilka roller och befattningar finns det i systemet och vilka funktioner utför dessa roller? Beskriv både mänskliga roller och roller som automationen (tekniken) har eller kan anta.	Farkostoperatör, sensoroperatör, bildtolk, inhämtningsledare, forward air controller, stabens underrättelsefunktion, mm. (TUAV-förbandet). Mönsterigenkänning och antecipering av flygrörelser i övervakningsuppgiften är en integrerad blandning av mänskliga förmågor och olika algoritmer och tekniska funktioner. Tidigare förväntades operatörer identifiera mål även i mycket klutter. Numera har tekniska funktioner blivit så pass bra på igenkänning att operatörerna stöttar systemet istället för tvärtom, även om man som operatör fortfarande kan hitta mönster. (LSS)
Dynamik i roller/echelons	Anpassningsförmåga mellan dessa echelons poängteras som en viktig del MTO-systemets framgång, funktioner bör kunna omallokeras och delas mellan olika roller och ranger för att kunna hantera oförutsedda situationer, händelser och operativa miljöer (DSB, 2012).	Vilken dynamik (möjliga förändringar över tid) och överlapp finns i roller på olika nivåer och mellan olika nivåer, för människor och automation?	RPAS kan tänkas bli som vilken sensor som helst som knyts in i målföljningssystemet (LSS). Manuell styrning och navigeringsuppgifter kan på vissa obemannade system tas över av automation, t.ex. hålla en viss höjd, flyga "hem", flyga till en viss punkt, cirkla runt en punkt (holding, loiter, racetrack, mm.) eller automatiskt upprätthålla den riktning som sensoroperatören anger (fly-by-footprint) (TUAV-förbandet). Pilotens och sensoroperatörens arbetsuppgifter kan i vissa fall beskrivas som två-pilots-samarbete eftersom sensoroperatören hjälper farkostoperatören med vissa uppgifter, t.ex. att ta fram en checklista (TUAV-förbandet). För bästa resultat så krävs ett koordinerat samspel mellan styrningen av farkost och sensor. Det kan t.ex. handla om att placera farkosten så att man kan upprätthålla en bra sensorbild för flera möjliga händelseutvecklingar. Det här samspelet mellan operatörerna utvecklas över tiden efterhand som de blir vana att arbeta tillsammans, vilket gör att samspelta operatörer oftast inte kontinuerligt behöver kommunicera verbalt (TUAV-förbandet).

Tabell 1. Fortis.

Ramverkskoncept	Beskrivning	Exempel
<p>Balansen mellan optimering och anpassningsförmåga</p> <p>Optimera mot ett mål leder till bräcklighet för andra mål och mindre resiliens med hänsyn till oförutsedda eller mindre välförstådda eller välmodellade situationer eller omgivningar. MTO-system är aldrig perfekt anpassade till sin föränderliga omgivning (DSB, 2012).</p>	<p>Vilka mål optimeras inom funktionen?</p> <p>Vilka anpassningar behövs till oförväntade händelser?</p> <p>Vilka typer av osäkerhet förekommer?</p> <p>Hur hanteras "interna störningar" (t.ex. tekniska fel) och "externa störningar" (t.ex. väder, skydd, hot, motmedel)?</p>	<p>Vid målet så instruerar inhämtningsledaren operatörerna om hur inhämtningen ska genomföras. Detaljnivån på instruktionerna varierar. Ibland är instruktionerna utförliga och ibland får sensoroperatören själv bestämma hur uppgiften ska genomföras. Kommunikationen mellan hytterna sker för det mesta med ett kommunikationssystem men ibland sätter sig en bildtolk bredvid sensoroperatören (TUAV-förbandet).</p> <p>Kompetenserna som radaroperatör, länkopertatör, flygstridsledare och chef återfinns ofta i samma person. Detta möjliggör för personalen att under uppdraget ta en annan roll eller flera samtidiga roller vid behov (ASC-890).</p> <p>Taktiska och tekniska what-if-scenarier används för riskidentifiering och riskhantering (ASC-890).</p> <p>Vid ett ökat antal sensorer i framtiden kan antalet bildtolkar och kommunikationen mellan dessa bildtolkar och operatörerna förväntas öka. Prioritering av mål och att hela tiden som operatör tänka till helheten i uppdraget blir sannolikt viktigare vid mer komplexa uppdrag och ändringar i uppdrag i realtid. (TUAV-förbandet)</p> <p>Eftersom farkostens drift förutsätter vissa minimum och maximum-värden för flera olika väderomständigheter är det operatörernas uppgift att kontinuerligt övervaka vädret och tidigt upptäcka väderförändringar (TUAV-förbandet).</p>
<p>Balansen centraliserat/distribuerat</p> <p>MTO-systems handlingsutrymme, autonomi, beroendeförhållanden, effektivitet, koordinering, synkronisering, är olika för centraliserade/distribuerade MTO-system (DSB, 2012).</p>	<p>Vilka funktioner kan utföras av olika roller, av teknisk utrustning, samt av mänskliga maskin-team, ombord och/eller på marken?</p> <p>Hur sker kommunikation och koordinering av distribuerat arbete och vilka avvägningar görs för att en funktion utförs centraliserat eller distribuerat?</p> <p>Om "överlapp" finns, hur koordineras tilldelning av uppgifter, distribuerat arbete, samt parallellt utförande?</p>	<p>Vid <i>close control</i> utför flygstridsledaren detaljerad styrning av flygplanet eller roten. Vid <i>loose control</i> så beskriver flygstridsledaren situationen men förarna bestämmer i större utsträckning själva hur de ska genomföra uppdraget (LSS).</p> <p>Operatörerna drar aldrig slutsatser från sensorbilderna själva utan levererar till bildtolkar som samlar in ett underlag med annoterade bilder och förklaringar. RPAS är en av fler sensorer som kombineras med ett antal andra distribuerade informationskällor som används till ett mer centraliserat beslutsfattande (TUAV-förbandet).</p>

automation att förstå mänskliga aktörers operationella behov och att välja ”tillräckligt bra” planer (eng. *satisficing*) (Goodrich, Stirling, & Boer, 2000; Simon, 1955). Automationen utformas ofta för att enspårigt och kontinuerligt uppdatera planen till den mest optimala, vilket kan skapa konflikter med det mänskliga sättet att leda en insats eller tillhandahålla en förmåga över tid.

Det finns i princip två sätt att styra flera RPAS. Det första är det centraliserade tillvägagångssättet, även känd som fordonsbaserad styrning, där en operatör styr flera obemannade farkoster sekventiellt genom att växla uppmärksamheten från den ena farkosten till någon annan. Det andra är det uppgiftsbaserade tillvägagångssättet, där operatörerna interagerar med en övergripande automatiserad agent. Den här agenten hanterar både uppdrag och sensorer samt samordnar ett flertal uppgifter för en grupp obemannade farkoster som kommunicerar med varandra på ett decentraliserat sätt (Cummings, Bertucelli, Macbeth, & Surana, 2014). Operatörer förmedlar mål på hög nivå till automationen (t.ex. övervaka ett område) som dynamiskt allokerar uppgifter till farkosterna. Initiala utvärderingar indikerar att arkitekturen har stor betydelse, framförallt vad gäller styrning av uppmärksamhet, interaktion med andra uppgifter, samt mental arbetsbelastning (Cummings m.fl., 2014).

För att styrningen av flera RPAS ska bli anpassningsbar så beskriver (Hughes, 2012) hur det behövs mekanismer för att stödja uppmärksamhetshantering och sömlös övergång mellan uppgifter, strategier för allokering av uppgifter till operatörer som minimerar samordningskrav, samt stöd till operatören för att enkelt växla mellan autonomnivåer och perspektiv som t.ex. informationsabstraktion och synfält. *Playbooks* (se avsnitt 4.5) är en av de tekniker som har använts för att utforma användargränssnitt baserat på s.k. *mixed initiative* för att styra flera RPAS (Miller, Funk, Dorneich, & Whitlow, 2002).

Sammanfattningsvis verkar situationen där en operatör styr flera RPAS förstärka problematiken kring MTO-aspekter som redan har beskrivits för en operatörs styrning av en RPAS. Framförallt problematiken kring oväntade händelser framstår som ännu svårare med flera farkoster som t.ex. att kunna ta över med en mer manuell interaktionsform när tekniken inte fungerar eller inte är anpassat till rådande uppgift. Styrning genom övervakning av autonoma system är också svårare eftersom operatören måste fördela sin uppmärksamhet över flera parametrar för flera farkoster. Arkitekturerna kan göra systemet som helhet mer beroende av automatiserade/autonoma funktioner vilket ger upphov till mer komplexitet, nya risker och sårbarheter och en förstärkning av problemen med interaktion med automation (se t.ex. Bainbridge, 1983; Sarter m.fl., 1997; Woods, 1996).

4.4 Användargränssnitt för RPAS

För att kunna styra RPAS och dess sensorer så måste informationen om farkosten presenteras på ett sätt som är anpassat för operatörernas uppgift. Det handlar t.ex. om presentation av positionsdata för var farkosten är och avståndet till målet, farkostens status, insamlad information, samt övrigt information som påverkar uppgiften som t.ex. väderförhållanden.

Många informationsbehov återkommer oberoende av vilken RPAS som ska styras men för att identifiera mer specifika informationsbehov så är det ofta bra att börja med ett *top-down* perspektiv för vilken styrning operatörerna och RPAS ska göra gemensamt. Styrningen kan t.ex. delas in i fyra hierarkiska nivåer där följning behåller systemet inom prestationsgränserna, reglering genomför kortsiktiga mål som specifika manövrer, övervakning anpassar systemet till omgivningen, och målinriktning styr hur uppdraget ska genomföras (Hollnagel & Woods, 2005). Det viktiga med den här funktionella beskrivningen är framförallt att identifiera beroenden mellan styρνivåerna som indikerar informationsbehov. Beroende går både nedåt och uppåt där t.ex. följningen kan ge information om situationen som behövs för målinvisningen.

Användargränssnitten behöver inte heller vara begränsade till att enbart presentera information utan kan ta en aktiv del i operatörernas informationshantering. På så sätt kan operatörerna bli mer effektiva samtidigt som risken minskar för överbelastning av information.

Följande avsnitt beskriver vanliga informationsbehov, informationspresentation, olika principer för interaktion med autonoma funktioner, samt internationell forskning om bättre samverkan mellan operatörer och delvis autonoma farkoster.

4.4.1 Vanliga informationsbehov och informationspresentation

STANAG 4586 (NATO, 2012) och Turpin (2007) delar upp informationsbehoven för styrning av RPAS enligt:

- konfiguration av RPAS kontrollstation med bl.a. uppdragsinformation
- uppdragsplanering med bl.a. brytpunkter, manövrer och åtgärder vid länkbortfall
- farkoststyrning och övervakning med bl.a. position, orientering, status och styrmod
- sensorstyrning och övervakning med bl.a. riktning och täckningsområde
- kommunikationssystem med bl.a. radio, datalänk och reläfunktion
- varningar och larm med bl.a. prioritering och färgkodning av typ.

Eftersom styrning av RPAS är en övervägande visuell uppgift så kan multimodala användargränssnitt vara användbara genom att i kombination med visuella displayer använda auditiv och taktil information. Prewett, Johnson, Saboe, Elliott och Coovert (2010) beskriver t.ex. hur taktil information är lämplig för orientering och navigering medan auditiv information är särskilt bra för att öka situationsmedvetenheten och fånga uppmärksamheten. Reaktionstiden för larm förbättras därför om de presenteras auditivt jämför med om de enbart presenteras visuellt. Prestationen förbättras också om informationen presenteras samtidigt i flera modaliteter.

Informationsbehoven är inte statiska utan varierar efterhand som uppgiften förändras. Operatörerna växlar bl.a. mellan hantering av farkosten och sensorerna, felsökning/feldetektion, upprätthållande av situationsmedvetenheten, samt koordination med både farkosten och andra operatörer/roller i organisationen. Uppgifternas prioritering beror på situationen.

De flesta RPAS-kontrollstationer använder bara en vanlig 2D-display och tangentbord/mus. Andra användbara interaktionstekniker är t.ex. touch-gränssnitt, spelkontroller och röststyrning.

4.4.2 Interaktion med autonoma funktioner

Många ansatser diskuteras för att minska koordinationsproblemen med delvis autonoma och automatiska funktioner. Det kan handla om att med

1. flexibel autonomi använda de autonoma funktioner som behövs för stunden
2. adaptiv eller justerbar automation använda information om situationen och operatörens prestation för att konfigurera systemet så att den totala prestationen blir så bra som möjligt
3. växlingsvisa initiativ (eng. *mixed initiative*) göra det möjligt för både operatören och autonoma funktioner att sköta de uppgifter som behövs för en bra prestation.

Alla ansatserna har olika principer för omfattningen på auktoritet och skyldigheter. Vilken ansats som passar bäst beror på situationen. Tanken med adaptiv autonomi är att minska operatörens arbetsbelastning, men det är viktigt att hitta rätt nivå för när systemet ska ta

över så att operatörens kapacitet utnyttjas så mycket som möjligt. Nyare forskning om operatörens interaktion med autonoma funktioner föreslår att automatisering och "autonoma system" ska bete sig som lagspelare i en sammansatt människa-maskin-aktivitet (Bradshaw, Hoffman, Johnson, & Woods, 2013; Klein, Woods, Bradshaw, Hoffman, & Feltovich, 2004).

Autonomi ska enligt DSB (2012) ses som en funktion som det övergripande människa-maskin-systemet använder för att utföra en uppgift. Utvecklingen av autonoma funktioner måste därför fokusera på hur tekniken i samspel med människor och organisation försöker leverera förmågor. För att sampelet ska fungera så är det viktigt att de autonoma funktionerna är förutsägbara, genomför uppgifter inom ramen för övergripande mål och bidrar till den gemensamma situationsförståelsen.

4.5 Human-autonomy teaming, HFM-247

Eftersom det finns ett stort behov av underlag för koncept, tekniker och metoder att utforma interaktionen med delvis autonoma farkoster så har NATO-STO initierat en arbetsgrupp under 2014 som heter HFM-247 *Human-Autonomy Teaming*. Gruppens arbete pågår till 2016 med forskare från bl.a. USA, Storbritannien, Tyskland, Frankrike, Nederländerna och Sverige. Gruppen är en fortsättning på de två tidigare samarbetena *Uninhabited Military Vehicles (UMVs): Human Factors Issues in Augmenting the Force* och *Supervisory Control of Multiple Uninhabited Systems*.

HFM-247 arbetar med hur flexibel/justerbar autonomi kan förbättra operatörernas samverkan med delvis autonoma system. Fördelen med flexibel/justerbar autonomi är att den inte använder fördefinierade fixa autonominivåer och kan därför dynamiskt anpassa sig till att i samverkan lösa en gemensam uppgift. Flexibel/justerbar autonomi förbättrar på så sätt förmågan att hantera uppdragsdynamik.

Målsättningen med HFM-247 är att

- identifiera mänskliga krav/behov som inte är tillgodosedda i dagens system
- organisera möten och tillhörande teknikdemonstrationer som behandlar kritiska människa-teknik-organisation aspekter inom *human-autonomy-teaming*
- utveckla detaljerad förståelse för ansatser inom *human-autonomy-teaming*, justerbar autonomi (eng. *adjustable autonomy*) och befogenhetsdelning (eng. *authority sharing*)
- identifiera och utveckla de mest lovande hjälpmedlen för situationsförståelse, beslutsstöd och förmedling av intentioner
- etablera kontakter inom NATO som med t.ex. *Joint Capability Group on UAV (JCGUAV)*
- genomföra en gedigen *human factors* utvärdering av de föreslagna användargränssnitten.

Resultaten dokumenteras i en teknisk rapport som omfattar sammanfattningar av relevant forskning, ett ramverk för samverkan mellan operatörer och autonomi, teknikdemonstrationer och tekniker för användargränssnitt.

Även om gruppen är i ett tidigt skede så kan ett antal specifika forskningsintressen urskiljas som presenterades och diskuterades på uppstartsmötet i april 2014 och på det första tekniska mötet i november 2014. I Tyskland så fortsätter Universität der Bundeswehr att utveckla ett ramverk för "kognitiv automation" där artificiella kognitiva enheter tillsammans med mänskliga operatörer bildar ett *team* för styrning av RPAS (Schulte, Meitinger, & Onken, 2008; Schulte, 2002). I Frankrike bedrivs vid Telecom Bretagne fortsatt forskning kring interaktionstekniker för att styra svärmar av RPAS (Coppin & Legras, 2012). I USA så forskas det bl.a. inom utformning av MTO-system

enligt *playbooks* för *human-autonomy teaming*. Tidigare forskning har visat hur team av obemannade system kan styras av mänskliga operatörer genom att sätta mål enligt *plays* liksom i förutbestämda taktiska sekvenser inom lagidrotter så som t.ex. amerikansk fotboll (Musliner, Goldman, Hamell, & Miller, 2011). Slutligen så arbetar Storbritannien med att operationalisera konceptet anpassningsbarhet från ramverket enligt DSB (2012) kombinerat med *goals-means task analysis* (e.g. Hollnagel, 1993) för identifiering och hantering av målkonflikter. Flera framtida möjligheter för informationsutbyte och samarbete har identifierats.

4.6 Urval och träning

Flera personalkategorier behövs för att hantera RPAS som t.ex. farkostoperatör, sensoroperatör, befälhavare, inhämtningsledare och bildtolkar. Men även om många roller behövs för att hantera RPAS så är studier om urval och träning ofta inriktade på farkostoperatören eftersom den uppgiften förändras mest jämfört med flygförarens uppgift i traditionella flygplan.

För att bli utvald till farkostoperatör så var flygförarutbildning tidigare ett krav för flera RPAS. Men kostnaderna och tiden för flygförarutbildningen kan vara ett problem för att utbilda tillräckligt många operatörer för alla RPAS som används som t.ex. i USA. Den mer automatiserade och förenklade styrningen av RPAS gör också att uppgiften för farkostoperatören ställer andra krav och mindre fysiska krav jämfört med att flyga traditionella flygplan. Dessutom kan flygförarutbildningen initialt försämra prestationen genom att uppfattningen om farkostens läge och beteende inte går att skapa på samma sätt för en farkostoperatör som flygförarna lär sig att göra i ett flygplan. Studier visar också att farkostoperatörer med flygförarutbildning oftare är inblandade i olyckor och incidenter än farkostoperatörer med en annan bakgrund (Widfeldt, 2013).

Den nuvarande trenden är istället att kravet på flygförarutbildning för farkostoperatörer begränsas till de RPAS där flygförarens färdigheter verkligen är nödvändiga. Men för att ändå hitta lämpliga personer så är erfarna datorspelare en möjlighet eftersom styrning av RPAS utifrån en videobild delvis liknar ett datorspel. McKinley, McIntire och Funke (2011) jämförde därför datorspelares och flygförarens färdigheter vad gäller situationsuppfattning, timing, bedömningar, motorik, visuell informationshantering, minne, simultankapacitet och rumsuppfattning. Resultaten visade att de var lika bra på att landa en simulerad RPAS, datorspelare var bättre än flygförare på att hitta, identifiera och följa flera mål, samt att flygförare var bättre än datorspelare på att hantera flera samtidiga uppgifter. Flygförarutbildning är därför inte nödvändig för farkostoperatörer bara träningen anpassas till personalens bakgrund. Datorspelares förmåga att hantera flera mål gör också att de är ännu bättre lämpade som sensoroperatörer. Chappelle, Tran, Thompson, Goodman och Hyde (2012) beskriver även att personal som klarade RPAS-träningen utan flygförarutbildning hade bättre spatial, visuell och kognitiv förmåga än personal med flygförarutbildning. Men trots de här skillnaderna mellan flygförare och personal med annan bakgrund så beskriver Rose (2014) hur likheterna mellan att styra RPAS och flyga traditionella flygplan gör att instrumenten för att välja ut flygförare fungerar lika bra för att välja ut farkostoperatörer.

Vidare så har det gjorts flera försök att identifiera farkostoperatörens färdigheter genom att gå igenom utbildningsmaterial och intervjua personal som arbetar med RPAS (t.ex. Howse, 2011; Ison, Terwilliger, & Vincenzi, 2013; Mangos & Shrader, 2014). Tyvärr har det visat sig svårt att strukturera området och sammanställningarna av färdigheter är därför bara delvis likartade med varierande terminologi och uppdelning. Mangos och Shrader (2014) är en av de mer ambitiösa och beskriver 67 kunskaper, färdigheter, förmågor och andra personliga egenskaper för farkostoperatörer. Allt sammanfattas i 17 kategorier som t.ex. kommunikationsförmåga, samvetsgrannhet och stresshantering. Författarna beskriver också färdighetsprofiler för farkostoperatör, sensoroperatör och befälhavare för fem olika RPAS.

Träningen för farkostoperatörer skiljer sig i olika länder beroende på bl.a. om luftfartsmyndigheterna kräver en pilotlicens, vilket ofta är fallet för större RPAS. USA som har stort behov av farkostoperatörer har till och med ett särskilt träningsprogram för personal utan flygförarutbildning som ger tillräckliga flygkunskaper för att kunna gå vidare till mer specialiserad RPAS-träning för specifika plattformar. Carretta (2013) beskriver hur träningsprogrammet som kallas *Undergraduate RPA Training* (URT) består av tre delar för att lära sig (1) grundläggande flygkunskaper med mer flygtid än vad som behövs för utbildade flygförare, (2) instrumentflygning med RPAS och (3) grunder inom taktik, omfattande militära insatser, sensorer, vapen och hot. Typutbildningen för varje specifik RPAS kan därefter inriktas på procedurer, handhavande och interaktion med användargränssnitt. Eftersom RPAS personalen arbetar som ett team så är det också viktigt att lära sig att arbeta effektivt tillsammans, s.k. *crew resource management* (Pavlas, m.fl. 2008).

Några exempel på träningsmetoder för att ge de färdigheter som behövs är scenario- och simulatorbaserad träning för att skapa nödvändig dynamik i uppdragslika situationer (Ison m.fl., 2013), uppgiftsprioritering för att förstå hur uppmärksamheten ska fördelas på uppgifterna (Boot m.fl., 2010), demonstrationer med instruktioner (Rosen m.fl., 2010), sekvenser för att hantera kritiska händelser (Dietz, Keebler, Lyons, Salas, & Ramesh, 2013), teamträning, kommunikationsträning, stressträning, samt träning av systemtilltro. Träningsmetoderna väljs och utformas för att motsvara specifika kärnkompetenser, träningsmål och färdigheter. Det är särskilt viktigt med omfattande träning av beslut som har stora konsekvenser och fattas under tidspress som t.ex. avvägningen mellan att fortsätta eller avbryta uppdraget när tekniska fel inträffar. För den här typen av situationer och andra mer ovanliga och stressande situationer är det viktigt med mängdträning så att operatörer utvecklar ett ”ryggmärgsbeteende” och vana att använda checklistorna.

4.7 Rekommendationer för styrning av RPAS

För styrning av RPAS för territorialövervakning så rekommenderas att Förvarsmakten

- utvecklar autonoma funktioner som i samverkan med operatören utför uppgiften; Ett top-down perspektiv kan användas för att identifiera beroenden som indikerar informationsbehov.
- använder ramverket från DSB (2012) för att strukturera systemutvecklingen; Ramverket stödjer bl.a. kartläggning av dynamiken i funktioner och roller, mellan operatörer och mellan operatörer och farkoster.
- undviker att använda generella autonominivåer eftersom de bortser ifrån att autonoma funktioner är en del i ett sammansatt kognitivt system där de ska bidra med en dynamisk förmåga för flera funktioner och med olika grader av autonomi; Autonoma funktioner baserade på generella autonominivåer är därför inte tillräckligt anpassade för operatörens uppgift.
- följer forskningen inom justerbar autonomi i NATO-STO gruppen HFM-247 *Human-Autonomy Teaming*; Storbritannien arbetar t.ex. med att operationalisera koncept från ramverket enligt DSB (2012).
- utreder uppmärksamhetskraven för styrning av flera RPAS; För styrning av flera RPAS så uppstår bl.a. koordinationsproblem mellan farkostens och operatörens förmåga att hantera framtida uppgiftskrav.
- utreder användningen av multimodala användargränssnitt med kombinationer av visuell, taktil och auditiv informationspresentation för styrning av RPAS för att förbättra prestationen och minska reaktionstider; Multimodala användargränssnitt har många fördelar eftersom de kan avlasta den visuella informationsbehandlingen som redan är starkt belastad.

- utreder den dynamiska avvägningen mellan ett aktivt och passivt arbetssätt för styrning av RPAS med hög prestation
- följer forskningen om urval och träning av RPAS-operatörer; Även om urvalsinstrument för flygförare också fungerar bra för RPAS-operatörer så behöver de sällan en fullständig konventionell flygförarutbildning.
- utreder hur RPAS-operatörer skapar och upprätthåller en gemensam situationsförståelse även vid oväntade händelser, samt utreder behovet av teknik- och procedurstöd för den teamprocessen
- validerar arbetssätt och procedurer för att hantera RPAS i system- och träningsimulatorer för att minska risken för incidenter som ofta förekommer initialt för obemannade system.

5 Slutsatser

Överlag så har internationell forskning i kombination med Försvarens kunskaper och erfarenheter inom territorialövervakning och användning av RPAS gett en rik förståelse av vilka frågeställningar som behöver hanteras för ledning och styrning av RPAS.

En viktig slutsats från detta arbete är att territorialövervakning är en integrerad förmåga som omfattar sensorer, kommunikationssystem, ledningsorganisation och avnämare. Det egentliga måttet på hela systemets effektivitet är därför hur hela ledningskedjan ger avnämarna fler handlingsalternativ. Hur RPAS tekniska prestanda förbättrar luft- och sjölägesbilden är en väsentlig del i ledningskedjan men hela den integrerade förmågan måste fungera för att RPAS-burna sensorer ska ge avsedd effekt. Förutom luftbevakning och flygstridsledning så finns det också många andra avnämare som t.ex. Luftvärnet och Marinen. För att få en helhetsbild av effektiviteten behöver förändringar av handlingsalternativen utvärderas för alla dessa avnämare. Dessutom behövs utvärderingar av tillgänglighet, robusthet, resiliens, säkerhet och kostnader för olika alternativ.

För styrning av RPAS så går det att dra nytta av den omfattande internationella forskning som bedrivs för att RPAS ska bli mer effektiva och funktionella. Från att tidigare varit inriktad på att dela upp autonoma funktioner mellan RPAS och operatör så är fokus nu istället på hur operatören och farkosten tillsammans skapar en förmåga inom ramen för det övergripande MTO-systemet. Det ramverk som DSB (2012) har utvecklat för att kartlägga lednings- och MTO-faktorer utifrån det här perspektivet visade sig också fungera väl för att sammanställa många viktiga aspekter som framkom vid mötena med Försvarensmakten. En konsekvens av det här perspektivet är också att forskningen om autonoma funktioner förändrats från att handla om fördefinierade nivåer där operatören ansvar för mycket av anpassningsförmågan till att istället handla om utformning av autonoma funktioner med inbyggd anpassningsförmåga till operatörens behov.

Inom ledning och styrning av så har totalt 20 rekommendationer tagits fram som beskrivs i avsnitt 3.10 och 4.6. Några av de viktigaste är att Försvarensmakten

- analyserar hur varje del av ledningskedjan behöver anpassas för att skapa och utnyttja en väsentligt förbättrad luft- och sjölägesbild över lång tid; Det behövs t.ex. avvägningar mellan prestanda för sensorer, datalänk, plattformen, flygsäkerhet, bemanning och kommunikation med avnämare i förhållande till systemegenskaper som robusthet och resiliens.
- använder en datalänk med hög kapacitet och uppdateringstakt för kommunikation med RPAS eftersom det är en förutsättning för att kunna utföra detaljerad flygstridsledning
- aktivt deltar i framtagningen av mandat och procedurer för användning av RPAS i civilt luftrum; Det finns luftrum med begränsad flygtrafik som är lämpligt för RPAS men regelverket för RPAS är ännu under utveckling.
- använder ramverket från DSB (2012) för att strukturera systemutvecklingen; Ramverket stödjer bl.a. kartläggning av dynamiken i funktioner och roller, mellan operatörer och mellan operatörer och farkoster.
- utreder hur RPAS-operatörer skapar och upprätthåller en gemensam situationsförståelse även vid oväntade händelser, samt utreder behovet av teknik- och procedurstöd för den teamprocessen
- följer forskningen inom justerbar autonomi i NATO-STO gruppen HFM-247 *Human-Autonomy Teaming*; Storbritannien arbetar t.ex. med att operationalisera ramverket i DSB (2012).

Slutligen så skulle ett första steg för att bygga vidare på resultaten i denna studie vara att utifrån förväntade tekniska prestanda skapa spelkort som kan användas på LSS för taktiska scenariostudier. Sådana studier kan ge en initial uppfattning om hur tekniska prestanda

påverkar taktiskt uppträdande och systemegenskaper som robusthet och resiliens. Intressanta alternativ kan sedan studeras i mer detalj med systemsimuleringar för att utvärdera alternativa RPAS och funktioner som planering av flygbanor för att maximera upptäcktsavstånd och höjdtäckning, olika radaralternativ, alternativa sätt att styra radarn, effekter av fördröjningar, taktiska möjligheter och egna sårbarheter vid t.ex. överlämning och telekrig.

6 Referenser

- Bainbridge, L. (1983). Ironies of automation. *Automatica*, 19(6), 775–779.
- Billings, C. E. (1997). *Aviation automation: The search for a human-centered approach*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Boot, W. R., Basak, C., Erickson, K. I., Neider, M., Simons, D. J., Fabiani, M., Gratton, G., Voss, M. W., Prakash, R., Lee, H., Low, K. A., & Kramer, A. F. (2010). Transfer of skill engendered by complex task training under conditions of variable priority. *Acta Psychologica*, 135(3), 349–357.
- Bradshaw, J. M., Hoffman, R. R., Johnson, M., & Woods, D. D. (2013). The seven deadly myths of ‘autonomous systems’. *IEEE Intelligent Systems*, 28(3), 54–61.
- Bull, P., Grahn, P., Linder, S., Hultgren, K., Mårtensson, T., Persson, B., Stensbäck, N., & Thorell, H. (2014). *RPAS för territorialövervakning 2030 - värdering av några alternativ*. FOI-R--3987--SE. Stockholm: Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Carretta, T. R. (2013). Predictive validity of pilot selection instruments for remotely piloted aircraft training outcome. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 84, 1–7.
- Chappelle, W., Tran, N. V. T., Thompson, W., Goodman, T., & Hyde, K. (2012). *Intelligence and Neuropsychological Aptitude Testing of U.S. Air Force MQ-1 Predator Pilot Training Candidates*. Final Technical Report AFRL-SA-WP-TR-2013-0003. Wright-Patterson AFB, OH: Air Force Research Laboratory.
- Cooke, N. J., Gorman, J. C., Duran, J. L., & Taylor, A. R. (2007). Team cognition in experienced command-and-control teams. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 13(3), 146–157.
- Coppin, G., & Legras, F. (2012). Autonomy Spectrum and Performance Perception Issues in Swarm Supervisory Control. *Proceedings of the IEEE*, 100(3), 590–603.
- Cummings, M. L., Bertucelli, L. F., Macbeth, J., & Surana, A. (2014). Task Versus Vehicle-Based Control Paradigms in Multiple Unmanned Vehicle Supervision by a Single Operator. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, 44(3), 353–361.
- Cummings, M. L., How, J. P., Whitten, A., & Toupet, O. (2012). The Impact of Human – Automation Collaboration in Decentralized Multiple Unmanned Vehicle Control. *Proceedings of the IEEE*, 100(3), 660–671.
- Dekker, S. W. A., & Woods, D. D. (2002). MABA-MABA or abracadabra? Progress on human automation coordination. *Cognition, Technology, and Work*, 4, 240–244.
- Dixon, S. R., Wickens, C. D., & McCarley, J. (2007). On the independence of compliance and reliance: Are automation false alarms worse than misses? *Human Factors*, 49, 564–572.
- Dietz, A. S., Keebler, J. R., Lyons, R., Salas, E., & Ramesh, V. C. (2013). Developing unmanned aerial system training: An event-based approach. I *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 57th Annual Meeting* (s. 1259-1262), San Diego, CA.
- DoD. (2012). *Department of Defense Report to Congress on Future Unmanned Aircraft Systems Training, Operations, and Sustainability*. Report No. 7-3C47E5F. Washington, DC: US Department of Defense, Under Secretary of Defense for Acquisition, Technology and Logistics.
- DSB. (2012). *Defense Science Board Task Force Report: The Role of Autonomy in DoD Systems*. Washington, DC: US Department of Defense, Defense Science Board.
- Endsley, M. R. (1996). Automation and human performance: Theory and applications. In R. Parasuraman & M. Mouloua (Red.), *Automation and situation awareness* (s. 163-181). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.

- Forssell, L. (2013). *Obemannade luftfarkoster för territorialövervakning: Tekniktrend 2030*. FOI-R--3663--SE. Stockholm: Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Goodrich, M. A., Stirling, W. C., & Boer, E. R. (2000). Satisficing Revisited. *Minds and Machines*, 10(1), 79–109.
- Hoagland, B. T. (2013). *Manning the Next Unmanned Air Force. Developing RPA Pilots of the Future*. Center for 21st Century Security and Intelligence. Policy Paper, Foreign Policy at Brookings. Washington, DC: Brookings Institute.
- Hoffman, R. R., & Woods, D. D. (2011). Beyond Simon's Slice: Five Fundamental Trade-Offs that Bound the Performance of Macrocognitive Work Systems. *IEEE Intelligent Systems*, 26(6), 67–71.
- Hollnagel, E. (1993). *Human reliability analysis: context and control*. San Diego, CA: Academic Press.
- Hollnagel, E. (2009). *The ETTO Principle: Efficiency-Thoroughness Trade-Off: Why Things that Go Right Sometimes Go Wrong*. Farnham, UK: Ashgate.
- Hollnagel, E. (2011a). Epilogue: RAG – The Resilience Analysis Grid. In *Resilience Engineering in Practice: A Guidebook* (s. 275–296). Aldershot, UK: Ashgate.
- Hollnagel, E. (2011b). Prologue: The scope of resilience engineering. In *Resilience Engineering in Practice: A Guidebook* (s. xxix–xxxix). Aldershot, UK: Ashgate.
- Hollnagel, E. (2013). A tale of two safeties. *Nuclear Safety and Simulation*, 4(1), 1–9.
- Hollnagel, E. (2014). Is safety a subject for science? *Safety Science*, 67, 21–24.
- Hollnagel, E., Pariès, J., Woods, D. D., & Wreathall, J. (Eds.). (2011). *Resilience Engineering in Practice: A Guidebook*. Aldershot, UK: Ashgate.
- Hollnagel, E., & Woods, D. D. (1983). Cognitive Systems Engineering: New wine in new bottles. *International Journal of Man-Machine Studies*, 18, 583–600.
- Hollnagel, E., & Woods, D. D. (2005). *Joint cognitive systems: Foundations of cognitive systems engineering*. Boca Raton, FL: CRC Press/Taylor & Francis.
- Hollnagel, E., Woods, D. D., & Leveson, N. (Eds.). (2006). *Resilience engineering: Concepts and precepts*. Aldershot, UK: Ashgate.
- Howse, W. R. (2011). *Knowledge, skills, abilities, and other characteristics for remotely piloted aircraft pilots and operators* (Rep. No. AFCAPS-FR-2011-0006). Randolph AFB, TX: HQ AFPC/DSYX Strategic Research and Assessment Branch.
- Hughes, T. C. (2012). *Sources of Adaptive Capacity during Multi-Unmanned Aerial Vehicle Operations*. Unpublished PhD Thesis. Columbus, OH: Ohio State University.
- Hultgren, K., Rensfelt, A., Stensbäck, N., & Woltjer, R. (2014). *Flygsäkerhet för obemannade system*. FOI-R--3788--SE. Stockholm: Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Klein, G., Woods, D. D., Bradshaw, J. M., Hoffman, R. R., & Feltovich, P. J. (2004). Ten challenges for making automation a team player in joint human-agent activity. *IEEE Intelligent Systems*, 19(6), 91–95.
- Ison, D. C., Terwilliger, B. A., & Vincenzi, D. A. (2013). Designing simulation to meet UAS training needs. I S. Yamamoto (Red.), *Human Interface and the Management of Information. Information and Interaction for Health, Safety, Mobility and Complex Environments*. Lecture Notes in Computer Science Volume 8017 (s. 585-595). Berlin: Springer.
- Mangos, V., & Shrader, W. A. (2014). *UAS Cross Platform JTA Final Report*. NAMRU-D Report Number 14-44. Dayton, OH: Naval Medicine Research Unit.

- McKinley, R. A., McIntire, L. K., & Funke, M. A. (2011). Operator selection for unmanned aerial systems: Comparing video game players and pilots. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 82(6), 635–642.
- Meyer, J. (2004). Conceptual issues in the study of dynamic hazard warnings. *Human Factors*, 46(2), 196-204.
- MIDCAS (2013). *Mid air collision avoidance system*. <http://www.midcas.org/>, Besökt 2014-01-21.
- Miller, C. A., Funk, H. B., Dorneich, M., & Whitlow, S. D. (2002). A playbook interface for mixed initiative control of multiple unmanned vehicle teams. In *Proceedings of the 21st Digital Avionics Systems Conference*, vol. 2 (s. 7E4-1 - 7E4-13). IEEE.
- Moriarty, D., & Jarvis, S. (2014). A systems perspective on the unstable approach in commercial aviation. *Reliability Engineering & System Safety*, 131, 197–202.
- Musliner, D. J., Goldman, R. P., Hamell, J., & Miller, C. (2011). Priority-Based Playbook TM Tasking for Unmanned System Teams. I *Proceedings of Infotech@Aerospace*. AIAA.
- NATO (2012). *STANAG 4586 (Edition 3) - Standard Interfaces of UAV Control System (UCS) for NATO UAV Interoperability*. Bryssel: NATO Standardization Agency.
- Nemeth, C. P., & Hollnagel, E. (Eds.). (2014). *Resilience Engineering in Practice, Volume 2: Becoming Resilient*. Aldershot, UK: Ashgate.
- Parasuraman, R., Sheridan, T. B., & Wickens, C. D. (2000). A model for types and levels of human interaction with automation. *IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics Part A Systems and Humans*, 30(3), 286–297.
- Pavlas, D., Burke, C. S., Fiore, S. M., Salas, E., Jensen, R., & Fu, D. (2009). Enhancing Unmanned Aerial System Training: A Taxonomy of Knowledge, Skills, Attitudes, and Methods. I *Proceedings of the Human Factors and Ergonomic Society 53rd Annual Meeting* (s. 1903-1907), San Antonio, TX.
- Prewett, M., Johnson, R., Saboe, K., Elliott, L., & Covert, M. (2010). Managing workload in human-robot interaction: a review of empirical studies. *Computers in Human Behavior*, 26(5), 840-856.
- Rankin, A., Woltjer, R., Field, J., & Woods, D. (2013). “Staying ahead of the aircraft” and Managing Surprise in Modern Airliners. I I. Herrera, J. M. Schraagen, J. Van der Vorm, & D. Woods (Eds.), *Proceedings of the 5th Resilience Engineering Association Symposium* (s. 209–214). Soesterberg, NL: Resilience Engineering Association.
- Rosen, M. A., Salas, E., Pavlas, D., Jensen, R., Fu, D., & Lampton, D. (2010). Demonstration-based training: a review of instructional features. *Human Factors*, 52(5), 596-609.
- Sarter, N. B., Woods, D. D., & Billings, C. E. (1997). Automation surprises. I G. Salvendy (Ed.), *Handbook of human factors and ergonomics* (Second edition, Vol. 2, s. 1926–1943). Wiley.
- Scerbo, M. W. (2001). Stress, workload, and fatigue. I P. A. Hancock & P. A. Desmond (Red.), *Stress, Workload, and Boredom in Vigilance: A Problem and an Answer* (s. 267–278). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Schulte, A. (2002). Cognitive Automation for Tactical Mission Management: Concept and Prototype Evaluation in Flight Simulator Trials. *Cognition, Technology & Work*, 4(3), 146–159.
- Schulte, A., Meitinger, C., & Onken, R. (2008). Human factors in the guidance of uninhabited vehicles: oxymoron or tautology? The potential of cognitive and co-operative automation. *Cognition, Technology & Work*, 11(1), 71–86.

Sheridan, T. B. (1992). *Telerobotics, automation, human supervisory control*. Cambridge, MA: MIT Press.

Simon, H. A. (1955). A Behavioral Model of Rational Choice. *The Quarterly Journal of Economics*, 69(1), 99–118.

Turpin Technologies (2007). *Human Systems Interface Design Guide for Control of Single and Multiple Unmanned Aerial Systems (UASs)*. Contract Rep. NNA07BB01C. Redstone Arsenal, AL: U.S. Army Aeroflightdynamics Directorate (AFDD).

Widfeldt, M. (2013). Personlig kommunikation.

Williams, K. W. (2006). *Human Factors Implications of Unmanned Aircraft Accidents : Flight-Control Problems* (DOT/FAA/AM-06/8). Oklahoma City, OK.

Woltjer, R., Pinska-Chauvin, E., Laursen, T., & Josefsson, B. (2013). Resilience Engineering in Air Traffic Management: Increasing Resilience through Safety Assessment in SESAR. I D. Schaefer (Ed.), *Proceedings of the Third SESAR Innovation Days*. EUROCONTROL.

Woods, D. D. (1996). Decomposing Automation: Apparent Simplicity, Real Complexity. I R. Parasuraman & M. Mouloua (Eds.), *Automation and Human Performance: Theory and Applications* (s. 3–17). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.

Woods, D. D. (2006). Essential characteristics of resilience. I E. Hollnagel, D. D. Woods, & N. Leveson (Eds.), *Resilience engineering: Concepts and precepts* (s. 21–34). Aldershot, UK: Ashgate.

Woods, D. D., & Hollnagel, E. (2006). *Joint cognitive systems: Patterns in cognitive systems engineering*. Boca Raton, FL: CRC Press/Taylor & Francis.

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