

AI-understödda obemannade luftfartygssystem vid eftersök och lokalisering

5 mars 2024

Innehåll

Sammanfattning	7
1 Inledning	11
1.1 Syfte och mål	12
1.2 Forskningsfrågor	12
1.3 Avgränsningar	12
1.4 Arbetsmetodik	13
1.4.1 Projektmedlemmar, författare och finansiär	14
1.5 Läsanvisningar	14
2 Bakgrund	17
2.1 Sjö- och flygräddningstjänst i Sverige	17
2.1.1 Uppgift	17
2.1.2 Målsättning	17
2.1.3 Samverkan och organisation	18
2.1.4 Område svensk räddningsregion	19
2.1.5 Miljö	20
2.1.6 Ärenden inom sjöräddningstjänst	20
2.1.7 Ärenden inom flygräddningstjänst	22
2.2 Nuläges- och omvärldsanalys för UAS i sök- och räddningsinsatser	23
2.2.1 Sjö- och flygräddning nationellt	24
2.2.2 Sjö- och flygräddning internationellt	28
3 Teori	29
3.1 Rådande legala aspekter	29
3.1.1 Statlig luftfart	29
3.1.2 Luftrum	29
3.1.3 Informationshantering	30
3.1.4 Etiska bestämmelser	30
3.1.5 Övrig lagstiftning	31
3.2 Mänskliga faktorer	31
3.3 Obemannade luftfartygssystem	31
3.3.1 Varianter på obemannade luftfartyg	32
3.3.2 Delsystem	33
3.4 Artificiell intelligens (AI)	36
3.4.1 Maskininlärning	36
3.4.2 Djupinlärning	38

3.5	Modeller och förmågor	38
3.5.1	Sökmönster	38
3.5.2	Objektdetektion	40
3.5.3	Målföljning	42
3.5.4	Positionering	43
3.5.5	Semantisk segmentering	44
3.6	Utvärderingsmått	46
3.6.1	Utvärderingsmått för objektdetektion	46
3.6.2	Utvärderingsmått för positionering	48
4	Metod	49
4.1	Scenarier	49
4.1.1	Scenario A – Sökinsats efter person i statligt vatten	49
4.1.2	Scenario B – Sökinsats luftfartyg över land och vatten	50
4.2	Framtida läge för AI-understödd UAS	50
4.2.1	Uppgifter för UAS med AI-stöd	51
4.2.2	Lokal UAS med AI-stöd	51
4.2.3	Nationell UAS med AI-stöd	52
4.2.4	Design av UAS med AI-stöd	52
4.3	Metod för val av obemannat luftfartygssystem	53
4.3.1	Markstation	54
4.3.2	Länk/kommunikation	55
4.4	Metod för val och utvärdering av AI-modeller	56
4.4.1	Systematisk litteraturstudie	56
4.4.2	Objektdetektion	57
4.4.3	Positionering	58
4.5	Metod för utvärdering av förväntningar och teknisk mognadsgrad	59
4.5.1	Metod för datainsamling	60
4.5.2	Enkäter	60
4.5.3	Analysmetod	61
5	Experiment	63
5.1	Iscensättning av scenarier	63
5.2	Experiment med UAS	64
5.2.1	Valda UAV till flygprov	64
5.2.2	Flygprov med UAV	67
5.2.3	Planering och genomförande av flygprov	68
5.2.4	Automation	70
5.2.5	Länk/kommunikation	71
5.2.6	Miljöfaktorer	71
5.2.7	Miljöpåverkan	71
5.2.8	Flygsäkerhet och regelmässiga krav	72
5.2.9	Mänskliga faktorer	73
5.3	AI-modeller och algoritmer	73
5.3.1	Objektdetektion	73
5.3.2	Positionering	77
6	Resultat	79
6.1	Flygprov med UAS	79

6.1.1	UAS	80
6.1.2	Automation	80
6.1.3	Länk/kommunikation	81
6.1.4	Markstation	82
6.1.5	Miljöfaktorer	82
6.1.6	Flygsäkerhet och regelmässiga krav	83
6.1.7	Mänskliga faktorer	83
6.2	Experimentresultat för AI-modeller och algoritmer	84
6.2.1	Objektdetektion	84
6.2.2	Positionering	86
6.2.3	Dataöverföring	87
7	Analys	89
7.1	Nulägesbild	89
7.2	Önskat framtida läge	91
7.3	Vidtagna åtgärder	93
7.3.1	Analys av UAS	93
7.3.2	Analys av experimentresultat för AI-modeller och algoritmer	95
7.3.3	Analys av uppgifter för AI-understödd UAS i svensk SAR	97
7.4	Gap-analys	98
7.4.1	Kvarvarande gap	100
8	Diskussion	105
8.1	Diskussion	105
8.1.1	Flygsäkerhet	105
8.1.2	Miljöfaktorer	106
8.1.3	Regelmässiga krav	107
8.1.4	Mänskliga faktorer	107
8.2	Diskussion om AI-stödd UAS som SAR-resurs	108
8.2.1	Inbäddad eller extern bildanalys	108
8.2.2	Nyttjande av befintliga UAS med AI-stöd inom SAR	109
8.2.3	Anskaffning av nya UAS med AI-stöd inom SAR	109
8.3	Diskussion om framgångsfaktorer för användning	110
8.3.1	Utbildning av UAS-operatörer	110
8.3.2	Samverkansövningar	110
8.3.3	Metod för enskild UAS med AI-stöd	111
8.3.4	Metod i symbios med andra SAR-resurser	111
8.3.5	Ledning	111
8.4	Effekt med AI-understödd UAS inom sjö- och flygräddningstjänst	112
8.4.1	Säkerhet	112
8.4.2	Kostnad	112
8.4.3	Tid till lokalisering	112
8.4.4	Miljöpåverkan och bränsleförbrukning	113
9	Slutsatser och rekommendationer	115
9.1	Slutsatser	115
9.1.1	AI-modeller och algoritmer	115
9.1.2	Lokal UAS med AI-stöd i markstation eller centralt	116
9.1.3	Nationell UAS med AI-stöd ombord	116

9.1.4	Semi-autonom UAS med AI-stöd ombord	116
9.2	Rekommendation	117
A	Termer och definitioner	121
B	Workshop	127
B.1	Syfte	127
B.2	Metod och genomförande	127
B.3	Workshop	128
B.3.1	Resultat efter klustring	128
B.3.2	Organisation	131
B.3.3	Prioritet	134
B.4	Övriga reflektioner	134
B.5	Samtliga lappar	135
B.6	Fotografier	139
C	Mänskliga faktorer och legala aspekter	143
C.1	Mänskliga faktorer	143
C.1.1	Kommunikation	143
C.1.2	Ledarskap	143
C.1.3	Arbetsbelastning	144
C.1.4	Situationsmedvetenhet	144
C.1.5	Stress	144
C.1.6	Beslutsfattande och problemlösning	145
C.2	Rådande legala aspekter	145
C.2.1	Öppen kategori	145
C.2.2	Specifik kategori	146
C.2.3	Certifierad kategori	146
C.2.4	Statlig luftfart	147
C.2.5	Luftrum	147
C.2.6	Informationshantering	148
C.2.7	Etiska bestämmelser	149
C.2.8	Övrig lagstiftning	150
D	Integrering och tester för datainsamling	151
D.1	Integrering och tester för datainsamling	151
E	Utsläppsberäkningar för UAS inom SAR	155
F	Komplettering av nuläge- och omvärldsanalys	157
G	Förmågekrav för obemannade luftfartyg	159
H	Sammanfattning av tester i luftnät	161

Sammanfattning

SAR UAS är ett experimentellt demonstrationsprojekt som undersöker hur teknik som obemannade luftfartygssystem (UAS) och artificiell intelligens (AI) kan användas för att förbättra aktörsgemensamma eftersök och lokalisering av nödställda personer vid sjö- och flygräddningsinsatser (SAR).

Det övergripande målet är att föreslå hur det svenska SAR-systemet kan utformas och effektiviseras med hjälp av obemannade luftfartyg och AI för att snabbare lokalisera och rädda fler liv i enlighet med det transportpolitiska hänsynsmålet. Projektet har i huvudsak haft ett tekniskt fokus på obemannade luftfartyg med AI-stöd men även viktiga förutsättningar har identifierats och sammanfattas i rapporten. Projektet är avgränsat till eftersök och lokalisering av nödställd. Projektets syfte är att belysa förstärkningsmöjligheter inom sök- och räddningsinsatser för sjö- och flygräddningstjänst i svenska förhållanden. Genom att rädda fler liv, samtidigt som riskerna för personalen minimeras, kostnaderna för insatserna sänks och miljöpåverkan reduceras. Detta adresserar projektet genom att undersöka hur obemannade luftfartyg och AI kan användas för att stödja eftersök av nödställda personer vid sjö- och flygräddningsinsatser. Hypotesen har varit att obemannade luftfartyg med AI-baserad analys kan bidra till snabbare lokalisering, en förbättrad lägesbild och ökad säkerhet för alla inblandade. Tekniken bör också kunna fungera som ett komplement till olika räddningsenheter, särskilt när dessa inte är tillgängliga eller hinder uppstår, till exempel på grund av dåligt väder eller vid operationer som innebär alltför hög risk under insatser.

I projektet har en nuläges- och omvärldsanalys genomförts av AI och obemannade luftfartyg. Resultaten visar att när projektet initierades, ansåg verksamheterna inom svenskt SAR att obemannade luftfartyg var ett värdefullt verktyg och vissa organisationer hade börjat använda obemannade luftfartyg allt mer för att förstärka och komplettera befintlig resurs. Vid projektets start användes inga AI-stödda sensorer för bild- eller videoanalys inom svensk SAR. Trots ett tydligt behov och önskemål om nya tekniska lösningar hade ingen egen systemutveckling skett inom SAR-verksamheten, bortsett från de inköp av färdiga system som gjorts.

Under projektet har AI-modeller och obemannade luftfartyg utprovats och utvärderats vid experimentella tester baserat på två olika scenarion. Scenarierna är framtagna för att beskriva hur ett ärende kan se ut vid efterforskning och lokalisering. De två scenarierna är baserade på vanligt förekommande fall från historiskt data över sjö- och flygräddningsärenden. Scenarierna har används för att samla in data, beskriva den potentiella förmågan för obemannade luftfartyg med AI-stöd samt för praktiskt genomförande av scenarion vid experimentella tester och demonstration. De uppgifter som ett obemannat luftfartyg med AI-stöd skulle testa baserades på två kategorier, en lokal och en nationell resurs. Den lokala resursen syftar till att fungera som en förstärkning och ge ett flygperspektiv till befintlig SAR-resurs och består av en enklare

modell av UAS. Resursen bör vara lättanvänd även för en sällananvändare. Dessutom bör den lokala resursen vara robust nog att hantera relativt svåra väderförhållanden och ha måttliga krav på nyttolast, flygtid och hastighet. Bildanalysen behöver inte utföras ombord. Till skillnad från den lokala förmågan är den nationella resursen avsedd att operera i avlägsna sökområden, där analys av bildmaterial sker direkt ombord. Automation bidrar till avlastning genom att piloters arbetsbörda minskar och de kan använda sin kapacitet för att planera och genomföra uppdraget snarare än för själva flygningen. Denna resurs kräver en avsevärt högre kapacitet för att bära nyttolast och längre flygtider jämfört med den lokala resursen.

Obemannade luftfartygssystem (UAS) är en övergripande benämning som utöver luftfartyget innefattar kontrollstation, nyttolast, datalänkar, transportutrustning, start- och landningsutrustning samt underhållsutrustning. Det finns ett stort antal varianter på UAS, variationen av experiment var en avvägning mellan önskvärda förmågor, krav på teknik för att uppfylla förmågor för lokal och nationell resurs samt operativa krav från regelverket för flygning av UAS. Tre olika typer av farkoster för SAR har utprovats; multirotor, fastvinge och hybrid (som kombinerar vertikal start och landning följt av flygningen som en fastvinge). Under flygproven testades basering, start och anflygning, efterforskning och lokalisering samt återflygning och landning. I de experimentella testerna utfördes flygprover parallellt med tester av AI-modeller och algoritmer. Objekt-detektion och målföljning var de AI-modeller som projektet valde att fokusera på i syfte att utvärdera den tekniska mognadsgraden samt användbarheten för eftersök av nödställd person. Vidare undersöktes även en visionsbaserad metod för geografisk positionering av detekterade objekt.

Rapporten redogör för resultat, analyserar dessa och drar slutsatser om tekniska system som kan användas inom sjö- och flygräddningstjänsten. Genomförda experiment, testtillfällen och slutdemonstrationen visar att en UAS med AI-baserad analys kan vara effektivt i de utvecklade scenarierna. Bedömningen är att en UAS med AI-stöd kan nyttjas för flera olika uppgifter. Projektet har definierat ett antal uppgifter där AI kan utgöra en förstärkningsresurs inom sjö- och flygräddning. Utförande av dessa uppgifter har sedan undersökts genom experiment. Utifrån resultat från experiment inom projektet framgår det att AI-stödda UAS anses kunna genomföra de uppgifter som identifierats. Det innebär en avlastning och ökar förmågan för personal som deltar i ett eftersök. Genomförande på ett IT-säkert sätt samt i linje med nödvändiga flygsäkerhetskrav och rådande regelverk kräver dock en fortsatt metodutveckling.

Rapporten omfattar en gapanalys som har utförts för att kartlägga avståndet mellan det nuvarande tekniska stadiet och det eftersträfvade framtida läget. Baserat på detta har framtida behov identifierats, med fokus på de prioriterade tekniska förmågorna samt SAR-uppgifterna. Projektet har även presenterat lösningsförslag för majoriteten av dessa behov.

Det finns fortfarande uppgifter som ännu inte tillfredsställts, och dessa gäller utformningen av en enskilt AI-stött UAS som kan uppfylla alla behoven. Till exempel återstår arbete med att utveckla ett system som kan operera i de efterfrågade SAR-miljöerna under de aktuella väderförhållandena, som är tillräckligt användarvänligt för att påbörja eftersök med endast "en knapptryckning" och som klarar av att kontinuerligt överföra data i realtid och utföra analys för de objekt som eftersöks.

För att täcka de förmågebehov som framkommit under projektets gång kan rekommendationerna sammanfattas med att två olika system bör utvecklas. Det första är ett mindre UAV-system, liknande de som finns idag hos vissa SAR-aktörer, men att systemet även kompletteras med AI-stöd tex. objekt-detektionsförmåga. Det skulle motsvara vad som i rapporten kallas för en "lokal UAS". Det systemet har en begränsad räckvidd och lämpar sig bäst att användas kustnära eller inom

ett begränsat avstånd från en ytgående enhet där operatören befinner sig. Det andra systemet har längre räckvidd och kan från ett fåtal baseringar täcka en stor del av svensk räddningsregion. I rapporten kallas detta system för en "nationell UAS".

Introducering av lokala UAS kan göras med små medel och relativt liten insats då många mindre UAV-system redan finns idag hos några SAR-aktörer. Introducering av nationell UAS-förmåga kräver en relativt stor insats av resurser och bemanning för påbörjad användning men det systemet skulle kunna användas vid flera typer av insatser och under svårare förhållanden. Utifrån vad som presenteras i rapporten har flera rekommendationer och vidare arbete tagits fram. Arbetet kan ske i projekt eller i form av innovationsupphandling på initiativ av en aktör inom sjö- och flygräddningstjänst. Rekommendationerna är följande:

- Vidareutveckla AI-modeller för objektdektion som utvärderas på sök- och räddningsinsatser samt tillförs SAR-aktörer.
- Projekt startas för att undersöka lämpligast val av placering av beräkningskapacitet för AI-modell. Placering ombord UAS med mindre anpassade processorer. Alternativt en central placering av beräkningskapacitet för AI-modell vid räddningscentral dit bild strömmar in.
- Projekt startas för att undersöka möjligheten att utveckla och använda semi-autonoma UAS med integrerat AI-stöd för ruttplanering, sensoråterkoppling i realtid, kollaboration och kollisionundvikning.
- Sjöfartsverket bör i samverkan med andra myndigheter undersöka om en gemensam nationell UAS med AI-stöd bör anskaffas. Den ska kunna placeras ut vid behov och förstärka SAR förmågan.
- Sjöfartsverket bör undersöka vilket behov och förutsättningar som finns för ledningssystem där information och bilder kan delas mellan olika räddningscentraler, insatsledning och resurser.

I det vidare arbetet bör Sjöfartsverket tillsammans med övriga SAR-aktörer fortsätta dela erfarenheter och omvärldsbevaka området för UAS och AI. Det kan med fördel göras i operativ samverkan med aktörer inom svensk sjö- och flygräddningstjänst som har eller kommer att få UAS-förmåga eller i regional samverkan med angränsande länder till svensk räddningsregion.

- SAR-aktörer bör samverka avseende regelmässiga krav för UAS och AI för att säkerställa utvecklingen både på det regelmässiga- och teknikområdet. Det gäller även kommunikation, där en gemensam, robust och säker plattform bör utvecklas för att kunna dela information nationellt.
- Sjöfartsverket bör utvidga sitt program för sjö- och flygräddningstjänst, att också inkludera UAS som egen resurs.
- SAR-aktörer bör undersöka möjligheten att förstärka befintliga räddningsresurser genom att använda en lokal eller nationell UAS med AI-stöd.
- Sjöfartsverket bör dels utveckla metoder för UAS anpassade för sjö- och flygräddningstjänst och dels utveckla en ledningsmodell för hur samverkan och hur delning av luftrummet mellan UAS hos SAR-aktörer och andra bemannade luftfartyg bör ske. Metoderna kan handla om sökmönster för en enskild UAS-resurs, metod för användande av enskild UAS med AI-stöd. Även metod vad gäller rutiner för kommunikation mellan SAR-aktörer som deltar i en insats där UAS ingår, behöver tas fram.

- Sjöfartsverket bör påbörja utbildning inom SAR för UAS-operatörer hos relevanta organisationer och myndigheter samt genomföra SAR övningar med olika scenarion där UAS ingår.
- Sjöfartsverket och Transportstyrelsen bör inom FNs sjöfartsorganisation (IMO) verka för att passagerar- och handelsfartyg utrustas med en lokal UAS med AI-stöd.

Kapitel 1

Inledning

I Sverige är det fastställt som ett transportpolitiskt mål att fortlöpande minska antalet omkomna och allvarligt skadade inom sjöfart och luftfart [112]. En viktig del i detta arbete utgörs av en god beredskap inför hanteringen av olyckor inom sjö- och lufttransporter [55].

Genom studier har nyttan undersökts med artificiell intelligens (AI) i kombination med obemannade luftfartyg som visar att det kan bidra till viktig förstärkning vid räddningsaktioner i form av detektion av bland annat nödställda. Tekniken bedöms ha goda förutsättningar att exempelvis öka operatörers säkerhet, minska tid för lokalisering samt bidra till en minskad klimatpåverkan [60]. I en förstudie från Sjöfartsverket beskrivs behovet av att kombinera obemannade luftfartyg och AI som stöd till det svenska SAR-systemet¹. Förstudien betonar även vikten av samverkan inom SAR-systemet som avgörande vid en räddningsinsats. Ingående tekniska stödfunktioner behöver då ha rätt förutsättningar och att delning av data ska vara möjlig [81]. Informationsbearbetning kommer i allt högre grad baseras på metoder inom AI, såsom maskininlärning, exempelvis för att skapa en ändamålsenlig lägesbild med hjälp av obemannade luftfartyg [60]. Dessutom behöver obemannade luftfartygssystem mer automation för att bli praktiskt implementerbara och effektiva. Nyttan kommer att gagna lösningar för samhällsutmaningar i en mängd sektorer vilka alla kan dra nytta av autonoma obemannade luftfartygssystem med stöd av AI-teknologi [89].

Det finns idag flera mindre obemannade luftfartyg i drift hos aktörerna inom sjö- och flygräddningstjänst. Polismyndigheten står för huvuddelen av dessa och de kommunala räddningstjänsterna introducerar motsvarande system i hög takt. Även Kustbevakningen har infört obemannade luftfartyg och sedan lång tid använt sig av fjärrstyrda undervattensfarkoster. Men inga av dessa system är specialiserade för sjö- och flygräddningstjänst. Efterfrågan är stor där obemannade luftfartyg har implementerats i verksamheter och det har kunnat påvisas bland annat ökad säkerhet, tillgänglighet, tids- och miljöbesparingar samt avvägd resurshantering [89].

Sammanfattningsvis belyser flera myndigheter och forskningsinstitut möjligheterna med att kombinera obemannade luftfartyg med AI för att skapa ökad förmåga att bidra vid samhällsstörningar och räddningsinsatser [89].

Den kunskapslucka som blir uppenbar, är om obemannad flygfarkost med AI-stöd är tillämpbar för sjö- och flygräddningstjänst men även hur olika delsystem, obemannade och bemannade,

¹Sjö- och flygräddningstjänst som innefattar samtliga resurser från myndigheter och organisationer som genomför räddningsinsatser, dvs. sökinsats och undsättning av personer i nöd.

lättare och tyngre, ska samordnas till en helhet som, delvis autonomt och med hjälp av AI, genomför koordinerade sök- och räddningsinsatser utifrån en gemensam lägesbild [89].

1.1 Syfte och mål

Projektets syfte är att förbättra sök- och räddningsinsatser för sjö- och flygräddningstjänst i svenska förhållanden för att rädda fler liv och samtidigt minska risken för egen personal, sänka kostnaderna för insatserna samt minska miljöpåverkan. Detta uppnås genom att visa hur obemannade luftfartyg och AI kan användas för att förbättra aktörsgemensamma eftersök av nödställda personer vid sjö- och flygräddningsinsatser. Obemannad flygfarkost med AI-stöd förväntas leda till snabbare lokalisering, bättre lägesbild och ökad säkerhet för de inblandade. Tekniken ska även kunna användas som komplement till olika räddningsenheter när dessa inte finns tillgängliga, eller är förhindrade på grund av till exempel dålig väderlek eller vid en allt för riskfylld operation i samband med insatsen.

Det övergripande målet är att föreslå hur det svenska SAR-systemet kan utformas och effektiviseras med obemannade luftfartyg och AI för att snabbare lokalisera och rädda fler liv i enlighet med det transportpolitiska hänsynsmålet, som handlar om att minska omkomna och allvarligt skadade inom sjöfarten. Den nya tekniken bedöms ha goda förutsättningar att:

- öka säkerheten för deltagarna i en räddningsinsats samt minska kostnaderna för denna.
- minska tiden till lokalisering och därmed kunna rädda fler liv, och
- minska miljöpåverkan då räddningshelikopter och sjöburna enheter kan nyttjas effektivare och med minskad bränsleförbrukning.

Projektet har även som långsiktigt mål att verka vägledande för framtida anskaffning av obemannade luftfartyg till gagn för alla aktörer i SAR-systemet.

1.2 Forskningsfrågor

Projektets verksamhet syftar till att undersöka och besvara följande forskningsfråga:

Hur kan obemannade luftfartyg och AI användas för att förbättra aktörsgemensamma eftersök av nödställda personer vid sjö- och flygräddningsinsatser?

Med tillhörande underfrågor:

1. Vilka behov kan ett AI-stött obemannat luftfartygssystem vid eftersök av nödställda personer vid sjö- och flygräddningsinsatser uppfylla?
2. Till vilken grad kan olika obemannade luftfartyg hjälpa vid eftersök av nödställda personer vid sjö- och flygräddningsinsatser?
3. Till vilken grad kan olika AI-modeller hjälpa obemannade luftfartyg vid eftersök av nödställda personer vid sjö- och flygräddningsinsatser?

1.3 Avgränsningar

Det har funnits en bred förväntan på projektets omfattning i relation till rådande förutsättningar som gjort att projektet fått göra många avgränsningar.

Projektet är avgränsat till eftersök och lokalisering av nödställd. Det innebär att projektet inte kommer titta på larmbehandling, planering av insats, undsättning och transport av nödställd eller avslutning av insats som också är viktiga komponenter i processen för att rädda liv.

En annan avgränsning som behövde göras halvvägs in i projektet var förväntan och betydelsen av lägesbild. I vissa fall hade lägesbild tolkats som att projektet skulle demonstrera en delad digital vindruterappport in till ledningscentral och mellan samverkande SAR-aktörer där en videoström sänds i realtid. Det är viktigt att betona att lägesbild framgent innebär att kunna redogöra för hur situationen är på en skadeplats från en enskild SAR-resurs med stöd av teknik och operatör.

Projektet inte undersökt resurssamverkan av obemannade luftfartygssystem mellan SAR-aktörer. Det inkluderar även kommunikation och metodutveckling. Däremot har projektet samverkat med SAR-aktörer för att ta fram resultat om obemannade luftfartygssystem med AI-stöd, det vill säga en teknisk lösning för sjö- och flygräddningstjänst. Projektet har även inte undersökt organisatoriska frågor som personal och utbildning.

Avseende obemannade luftfartyg har grunden för avgränsning baserats på graden av relevans för projektet, tillgång på information och möjlighet till informationsspridning. Fokus har lagts på obemannade luftfartyg av liten till medelstor karaktär, där mindre luftfartyg anses vara en del av en lokal förmåga och de större syftar till att uppfylla ett nationellt behov. Aerostater som ballonger och militära system har ej beaktats i projektet. UAV-svärmar och AI-stöd för dessa har ej heller ingått i projektet. Initialt fanns en ambition om att göra en heltäckande, internationell studie av befintliga aktiva obemannade luftfartygssystem som används inom SAR-operationer. Då det fanns begränsat med material om internationell verksamhet som inte relaterade till militära system lades istället fokus på svenska behov.

1.4 Arbetsmetodik

Projekt SAR UAS består av fem arbetspaket som genomförts av följande samverkande organisationer; Sjöfartsverket, Lunds universitet, Totalförsvarets forskningsinstitut (FOI), RISE, Kommunal räddningstjänst i Västerviks kommun, Polismyndigheten och Kustbevakningen. Arbetspaketen är:

- AP0 – Projektledning och kommunikation,
- AP1 – Nuläges- och behovsanalys,
- AP2 – AI-utvärdering,
- AP3 – Utveckling, genomförande och utvärdering av scenarion samt demonstration, och
- AP4 – Gapanalys och rekommendationer.

Vardera organisation har till stor del arbetat självständigt med sin spetskompetens inom sitt område. Projektet har haft regelbundna online-möten veckovis samt projektmöten och styrgruppsmöten för att stämma av aktuell status. Under arbetets gång har de samverkande organisationerna mötts upp vid ett flertal tillfällen. Genomförda större samverkansträffar består av:

- Inledande kick-off i Ljungbyhed, 25-26 april 2022
- Workshop med brainstorming hos FOI, Stockholm, 15 september 2022
- Tester #1 – flygtester och UAV-baserad datainsamling, Arkö, 23-25 november 2022

- Workshop för att identifiera potentiella förmåga, SAR Systemledning, Göteborg, 30 januari 2023
- Workshop för att fastställa potentiella förmåga, SAR-aktörer, Norrköping, 5 april 2023
- Tester #2 – scenariobaserade tester av fastvinge och multirotor, Ljungbyhed, 23-25 maj 2023
- Tester #3 – scenariobaserade tester av fastvinge och multirotor, Arkö, 22-24 augusti 2023
- Demonstration av stora och små UAV för lokal och nationell resurs samt genomförande av enkät, Ljungbyhed, 27 september 2023
- Slutseminarium av projektet och rapport i Stockholm, 19 december 2023

Kunskap om SAR-systemet har samlats in genom workshops och genomförda intervjuer med SAR-aktörer inom sjö- och flygräddningstjänst för att undersöka behoven för obemannade luftfartyg med AI-stöd. Informationsbidraget genom intervjuer och deltagande i workshops från Polismyndigheten, Kustbevakningen, Kommunal räddningstjänst, Myndigheten för samhällsskydd och beredskap samt Sjöräddningssällskapet har varit till stor nytta för projektets genomförande. Stödet från andra SAR-aktörer och genomförda experiment, demonstration och gap-analys har gjort att projektet har kunnat identifiera användning och uppgifter för obemannade luftfartyg med AI-stöd inom sjö- och flygräddningstjänst.

Projektets kombination av att undersöka två nya tekniker samtidigt, för en verksamhet som opererar i en mycket varierande miljö har gjort projektet komplext. Projektorganisationen har arbetat iterativt och inkrementellt för att arbeta sig fram till resultat som demonstrerades under hösten 2023 för SAR-aktörer. Resultaten har sedan utvärderats och slutsatser har kunnat dras. Slutligen har projektet lämnat rekommendationer i samband med slutseminarium vid projektets slut.

1.4.1 Projektmedlemmar, författare och finansier

I projektet och vid framtagandet av denna rapport har följande personer medverkat: Mikael Wikh, Lars Widell, Alexander Lorentsson-Julin, Marcus Clemert, Sara Jönsson, Fredrik Kokacka, Emelie Persson Tingström, Carl-Johan Frödin, Tommy Skarpling, Anton Rosdahl, Alice Åkerlund, Magnus Eriksson, Lisa Berlin och Carina Eriksson vid Sjöfartsverket. Marianela García Lozano, Farzad Kamrani, Mathilde Jarlsbo, Johan Sabel, Magnus Pierrau, Iza Smedberg, Edward Tjörnhammar och Joel Brynielsson vid FOI, Totalförsvarets forskningsinstitut. Rikard Tyllström, Joel Sköld, Johan Eldh, Björn Wallinius och Rohith Prem Maben vid Lunds universitet. Anders Staffansson vid RISE. Roger Landelius vid räddningstjänsten i Västerviks kommun. Projektet har finansierats av Trafikverkets Sjöfartsportfölj.

1.5 Läsanvisningar

Kapitel 2 innehåller bakgrundsinformation om Sjö- och flygräddningstjänst i Sverige. Kapitlet innehåller även en nuläges- och omvärldsanalys, som beskriver hur olika organisationer och myndigheter använder obemannade luftfartyg i sin verksamhet.

Kapitel 3 beskriver de ramar inom vilka sjö- och flygräddningstjänst ska verka i Sverige. I kapitlet beskrivs även de tekniska förutsättningarna för obemannade luftfartygssystem och olika typer av AI-modeller, ur ett teoretiskt perspektiv.

Kapitel 4 beskriver de metoder som valts ut för att studera och analysera forskningsfrågan. De inom projektet framtagna scenarierna beskrivs även i detta kapitel och syftar till att ge en kontext till de behov som finns samt de experiment som behöver genomföras.

I kapitel 5 beskrivs de experiment som har genomförts gällande obemannade luftfartyg och AI-förmåga, samt hur dessa kan samverka.

Kapitel 6 redovisar resultaten från olika experiment som har presenterats i kapitel 5. Kapitlet omfattar både de kvantitativa och kvalitativa resultaten av genomförda flygprov samt resultat av utvärdering av AI-modeller för objekt-detektion, algoritmer för positionering och tekniska lösningar för dataöverföring.

I kapitel 7 analyseras resultaten som framkommit i projektet. Kapitlet innehåller även en gapanalys som mäter relationen mellan förväntningar och uppfattningar inom projektet genom att beräkna avståndet mellan tillfället då projektet initierades i förhållande till önskad framtida situation.

I kapitel 8 diskuteras projektets resultat utifrån föregående analys. Kapitlet innehåller diskussion kring förutsättningar, AI-understödd UAS som resurs, framgångsfaktorer för användning samt effekter med AI-understödda UAS inom sjö- och flygräddningstjänst.

Kapitel 9 presenterar slutsatser och rekommendationer.

Till rapporten finns även ett antal bilagor som innehåller kompletterande eller fördjupande information. Bilaga A anger termer och definitioner. Bilaga B är en sammanfattning av genomförd projektworkshop. Bilaga C ger mer detaljer om mänskliga faktorer och rådande legala aspekter som kan vara viktiga att ha i åtanke. Bilaga D förklarar hur integrering och tester för datainsamling har skett. I bilaga E jämförs och beräknas energieffektivitet ut för helikopterflygning och luftfartyg som kan starta och landa lodrätt (VTOL). Följande bilagor kan, efter sekretessprövning, begäras ut hos Sjöfartsverket; bilaga F - Komplettering av nuläge- och omvärldsanalys, bilaga G - Förmågekrav för obemannade luftfartyg och bilaga H - Sammanfattning av tester i luftnät.

Kapitel 2

Bakgrund

I detta kapitel beskrivs sjö- och flygräddningstjänst i Sverige samt vilka ärenden som förekommer, fördelat på de olika aktörerna som samverkar inom sjö- och flygräddningstjänst. Avslutningsvis finns en nuläges- och omvärldsanalys, som beskriver hur olika organisationer och myndigheter idag använder obemannade luftfartyg s.k. UAS, i sin verksamhet.

2.1 Sjö- och flygräddningstjänst i Sverige

I Sverige är Sjöfartsverket huvudman för sjö- och flygräddningstjänst. Nedan beskrivs hur sjö- och flygräddningstjänst är organiserad, vilka samverkanspartners som omfattas samt vilken uppgift Sjöfartsverket har. Ärenden inom sjö- och flygräddningstjänst samt statistik över olika räddningsärenden redovisas. Vidare beskrivs dagsläget för hur myndigheter och organisationer idag arbetar med utveckling av UAS-förmåga i sök- och räddningsinsats och sensorer som har stöd av artificiell intelligens.

2.1.1 Uppgift

Sjöfartsverket har i uppgift att tillhandahålla sjö- och flygräddningstjänst enligt lagen (2003:778) om skydd mot olyckor. Det gäller när någon är eller befaras vara i sjönöd, samt för sjuktransporter från fartyg. Sjöfartsverket ansvarar även för lokalisering av luftfartyg vid inträffat eller befarat haveri, eller då fara hotar lufttrafiken [105].

Uppgiften innebär till stor del operativt arbete under pågående sök- och räddningsinsatser men i tillägg innebär den även en omfattande administration för att följa upp och utveckla verksamheten [85]. Detta kan handla om att hantera policy- och myndighetsärenden samt operativa frågor. Arbetet kan även innebära att samverka och träffa avtal i sjö- och flygräddningstjänstfrågor med andra myndigheter och organisationer, på såväl nationell som internationell nivå. Sjöfartsverket utvärderar även sök- och räddningsinsatser av särskilt intresse och sammanställer årlig statistik över insatser kopplade till sjö- och flygräddningstjänst [82].

2.1.2 Målsättning

Sjöfartsverkets målsättning är att ha förmåga att kunna rädda nödställda inom svensk räddningsregion, SRR innefattande att leda och koordinera sjö- och flygräddningsinsatser 24 timmar

om dygnet, året runt. Enligt lagen om skydd mot olyckor ska Sjöfartsverket tillhandahålla en effektiv och behovsanpassad sjö- och flygräddningstjänst.

Målsättningen för sjöräddningstjänst är att på svenskt territorialvatten, efter det att enheten larmats av Sjöfartsverket, kunna undsätta en nödställd inom 60 minuter i 90 procent av alla fall med flyg- eller ytenhet då positionen är känd samt att vid efterforskning kunna påbörja en spaningsinsats i fastställt insatsområde. På internationellt vatten, inom den svenska sjöräddningsregionen, gäller 90 minuter.

Målsättningen inom flygräddningstjänst är att saknade luftfartyg med aktiverad ELT/PLB¹, ska vara lokaliserade inom 90 minuter och utan aktiverad ELT/PLB inom 24 timmar efter fastställt nödläge i 90 procent av alla fall. Ambitionsnivån för undsättning är att denna ska kunna påbörjas omgående efter lokalisering [83].

2.1.3 Samverkan och organisation

Svensk sjö- och flygräddningstjänst är en samverkansorganisation och det är en förutsättning att stat, kommun och andra aktörer arbetar tillsammans för en effektiv räddningsverksamhet, för att rädda liv [82].

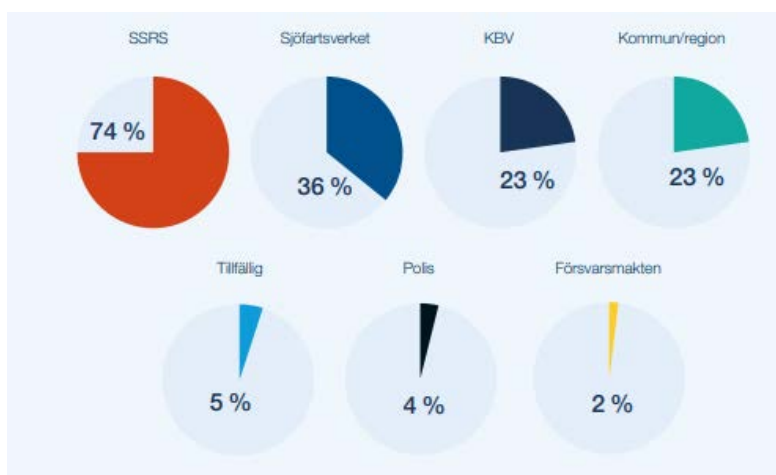
Genom den centrala samrådsgruppen för SAR, CSS, diskuteras övergripande policy-, utbildnings- och samordningsfrågor, internationella övningar samt erfarenheter från sjö- och flygräddningsärenden. I den centrala samordningsgruppen sker samverkan och kunskapsutbyte mellan SAR-systemets aktörer;

- Sjöfartsverket
- Sjöräddningssällskapet
- Kustbevakningen
- Försvarsmakten
- Polismyndigheten
- Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap
- Socialstyrelsen
- SOS Alarm
- Sveriges Kommuner och Regioner

Figur 2.1 visar registrerad medverkan från olika samverkansorganisationer i ärenden under ett år. Fördelningen för år 2022 är i stort sett densamma som genomsnittet för åren 2017–2021. Ofta samverkar flera organisationer i ett och samma ärende. Svenska sjöräddningssällskapet (SSRS) har medverkat i närmare 75 procent av sjöräddningsärendena. Motsvarande för Sjöfartsverket är drygt 35 procent, Kustbevakningen (KBV) 23 procent och kommuner och regioner 23 procent. Tillfällig resurs utgörs bland annat av privata båtar och handelsfartyg. Resursbehovet utgörs i normalfallen av en till tre SAR-enheter per ärende [87].

Vid Sjöfartsverket är sjö- och flygräddningstjänsten organiserad som en egen avdelning. Avdelningen är organiserad enligt IAMSAR [43] och består av tre enheter: SAR Systemledning vars uppgift syftar till att skapa förutsättningar för att bedriva verksamheten på kort och lång sikt

¹Emergency Locator Transmitter/Personal Locator Beacon. Nödsändare för luftfart och person som sänder nödmeddelande via COSPAS-SARSAT-systemet.



Figur 2.1: Raddningsaret 2022, samverkansorganisationers medverkan ar 2022, andel sjoraddningsaren den.

genom att bland annat forma krav, målsättning, organisera utbildning och regionala samverkansövningar med andra aktörer i SAR-systemet [43]. Sjö- och flygraddningscentralens, JRCC, uppgift är att leda och koordinera insatserna vid sjö- och flygraddning. Sjöfartsverkets helikopter verksamhet svarar för den primära delen av den luftburna sjö- och flygraddningstjänsten. I enlighet med Lag (2003:778) om skydd mot olyckor (LSO) har raddningsledarna vid JRCC möjlighet att rekvrirera tillgängliga lämpliga resurser som behövs för sök- och raddningsinsatser [107, 106].

Eftersom Sjöfartsverket disponerar samhällets samlade resurser för sjö- och flygraddning och endast har ett fåtal egna resurser är samverkan med andra aktörer avgörande. Övriga organisationers SAR-enheter beskrivs i svenskt program för sjö- och flygraddningstjänst [91]. Vid en sök- och raddningsinsats eller vid fler samtidigt pågående insatser finns möjligheten för raddningsledarna på JRCC att delegera uppgiften att leda engagerade raddningsresurser till en On Scene Coordinator (OSC). En OSC kan vara till exempel vara en skeppare på en raddningsenhet eller befälhavaren på ett handelsfartyg. Denne får en specifik uppgift att på plats, till exempel leda raddningsarbetet. Flygets motsvarighet kallas Aircraft Coordinator (ACO). Deras uppgift är att koordinera flera olika flygande enheter som deltar i sök efter eller evakuering av nödställda [84].

2.1.4 Område svensk raddningsregion

Ansvarsområdet för sjö- och flygraddningstjänst sträcker sig över hela Sveriges land- och sjöterritorium samt Vätern, Vättern och Mälaren. Utanför svenskt område leder Sjöfartsverket sjö- och flygraddningstjänsten över de delar av havet där Sverige förbundet sig genom överenskommelser med grannländer. Hela ansvarsområdet benämns som svensk raddningsregion, Search and Rescue Region (SRR), vilket sammanfaller med svensk Flight Information Region (FIR) med undantag för ett område kring Bornholm som ingår i dansk raddningsregion. Regionen gränsar till Finlands, Estlands, Lettlands, Litauens, Rysslands, Polens, Tysklands, Danmarks och Norges raddningsregioner [85].

2.1.5 Miljö

Platsen för en sjö- och flygräddningsinsats kan vara känd eller okänd och ske under olika väderförhållanden. Det kan ske under en varm solig sommardag, nattetid med hård vind eller till havs med hög sjö i saltvattenmiljö. Det innebär att ett obemannat luftfartyg behöver kunna verka i svenskt klimat som också bjuder på dimma, nederbörd och kyla. Variationen av sjö- och flygräddningsärenden ställer därmed olika krav på räddningsresursers förmåga att verka. Därför behöver lämpliga resurser väljas ut för att genomföra uppgiften i det enskilda ärendet [90].

Svensk räddningsregion består av allt från fjäll, tät skog, till hav och en skärgård med nästan 270 000 öar [79]. Det gör att obemannade luftfartyg måste kunna operera i en varierad och i vissa fall svåråtkomlig miljö. Även storleken på sökområdet kan variera beroende på det enskilda sjö- och flygräddningsärendet. Vid eftersök och lokalisering söks olika typer av objekt. Det kan vara ett specifikt objekt eller ett slumpmässigt objekt för att hitta olycksplatsen och nödställda [90].

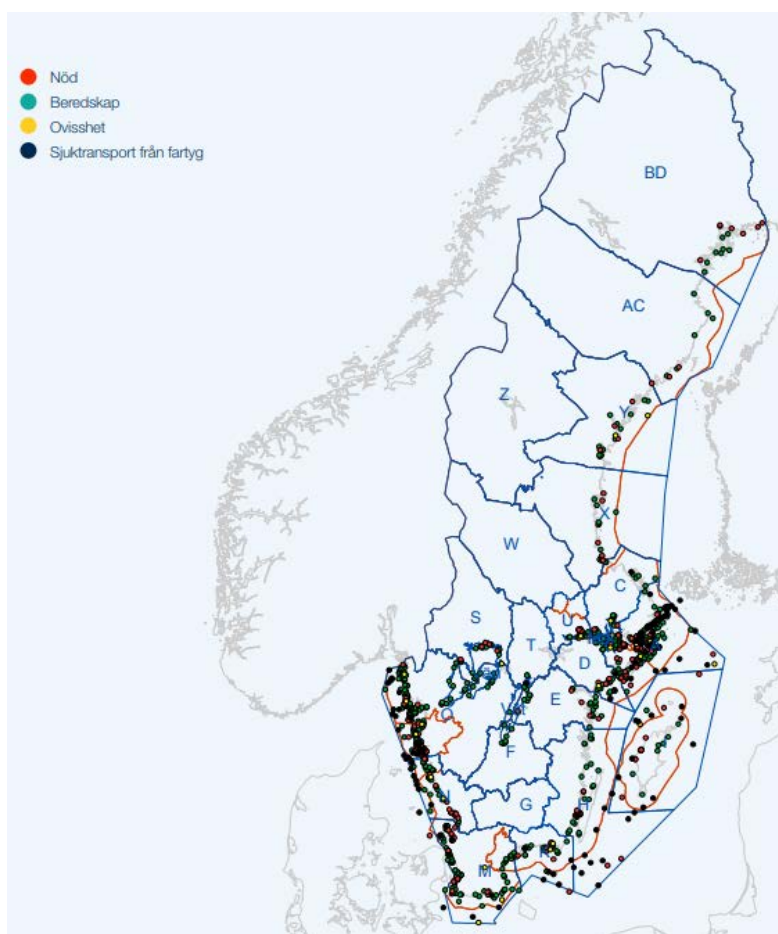
I takt med att samhället förändras, förändras även miljön där sjö- och flygräddningstjänst bedrivs. Det påverkar nuvarande räddningsresursers förmåga att verka inom svensk räddningsregion. Ett sådant exempel är den planerade utbyggnaden av havsbaserad vindkraft. Nuvarande flygande räddningsresursers möjlighet att genomföra eftersök på låg höjd för att systematisk söka av ett område kommer att påverkas i större utsträckning. Även möjligheten att använda större sjögående räddningsresurser kommer att påverkas [98].

Klimatförändringar till följd av ökad uppvärmning innebär också nya förutsättningar för sjö- och flygräddningen när natur, samhälle och människor påverkas. Klimatförändringarna ger bland annat mildare och blötare vintrar, stigande havsnivåer, samt fler tillfällen med extremt väder såsom skyfall och värmeböljor vilka också blir mer intensivt [101]. Det råder stor osäkerhet i forskningen om vind i ett förändrat klimat. Samtidigt har det framhållits som en av de större utmaningarna för verksamheten [95]. Vind påverkar nämligen både våghöjd och förmågan att navigera fartyg i vissa lägen [99]. Några identifierade risker för sjö- och flygräddningen till följd av förändrade klimatförhållanden är svagare och mer lömska isar, ökad algblomning som kan försvåra navigation samt att det kan väntas ske en mindre ökning i vindhastighet under vinterhalvåret vid öppet hav. Även ökad turism under sommartid med ökat båtliv och bad där människor kan förolyckas har identifierats som en risk. Sammantaget kan det leda till fler sjö- och flygräddningsinsatser [95]. Vilket i sin tur kan leda till ett större behov av räddningsresurser för att kunna möta upp och operera i befintliga och nya miljöer.

2.1.6 Ärenden inom sjöräddningstjänst

Sjöräddningstjänst sker relativt frekvent och har sin högsäsong under sommarmånaderna. Dock bör beaktas att vid denna tidpunkt på året är det mycket folk i rörelse, och förhållandevis varmt i luft och vatten. Utanför högsäsongen blir larmfrekvensen lägre men samtidigt blir larmen oftare av allvarigare karaktär. Med få eller inga människor i rörelse samt kallt i luft och vatten. Detta är viktigt att belysa då sök- och räddningsinsatsen utefter dessa förutsättningar är mer tidskritisk vintertid, då kyleffekten hos en nödställd är betydande samt eventuell hjälp från allmänheten ej är att räkna med. Däremot är de som uppehåller sig till sjöss vid denna tidpunkt generellt mer erfarna och bättre rustade [90]. Totalt över året är det ca 1200 sjöräddningsärenden där minst en räddningsenhet engageras varav 20 procent gäller sjuktransport från fartyg inom svensk räddningsregion. I snitt rör det sig om ca 1-7 ärenden med minst en engagerad enhet om dagen. De flesta ärenden sker kustnära ca 2 Nm från baslinjen [86].

Som figur 2.2 visar sker flest ärenden i tätbefolkade områden, det vill säga storstadsregioner som Västra Götalands län och Stockholms län samt turisttäta områden.



Figur 2.2: Karta över sjöräddningsärenden 2022

Huvuddelen av ärendena omfattar en fritidsbåt med grundstötning, maskin- eller propellerhaveri, samt observation av drivande båt eller föremål. Andra vanligt förekommande ärenden är fartyg i hårt väder eller i utsatt läge, observation av nödställd, samt sjukdomsfall på handelsfartyg eller passagerarfartyg med behov av Telemedical Assistans Service, TMAS². Men det kan även handla om en olycka med utmattad surfare eller person som gått igenom is [86].

Sjöräddningsfall med komplexa olyckor sker ca 5-10 gånger per år. Dessa olyckor omfattar ofta fler än 10 personer och sker inom hela den svenska räddningsregionen samt angränsande länders Search and Rescue Region (SRR). Belastningen på JRCC är initialt hög med stort samverkansbehov. Eventuellt behöver bemanningen utökas med intern och eller extern personal. Alla tillgängliga räddningsresurser larmas inom aktuellt område. Vädersituationen varierar och kan nå extremer. Några exempel på olyckor över tid är skolklass med ovana ungdomar eller kanotister, som befinner sig inomskärs och som hamnar i hårt väder och sprids ut över ett stort område. Det kan även vara skridskoåkare i utsatt läge inomskärs eller på de stora sjöarna när isarna bryts upp av olika orsaker. Fartyg som sjunker eller behöver evakueras på grund av lastförskjutning

²Medicinsk distansbaserad räddningstjänst till fartyg.

eller kollision som olyckan Scot Carrier/Karin Hoej 12 dec. 2021. Eller fartyget Marco Polo som den 22 okt. 2023, grundstötte utanför Karlshamn i Hanöbukten. Och som resulterade i en stor insats, Mass Rescue Operation, MRO med ett stort behov av samverkan med exempelvis KBV inom efterföljande miljöräddning. Det kan även handla om överfallsväder med vindstyrka som ökar från 10 till 30 m/s, med åska och hagel där sjöväderprognos ej förvarnat. Detta kan generera ett stort antal larm från fritidsbåtar som ofta befinner sig inomskärs. Det kan även handla om man över bord, man over board, MOB från fartyg utomskärs som exempelvis olyckan Nova Star 8 aug. 2021, Östersjön [58].

Sjöolyckor med mer än 100 nödställda händer mycket sällan inom svensk räddningsregion eller i anslutning till denna. Belastningen på insatsledningen är mycket hög. Vädersituationen varierar och kan nå extremer. Extra personalresurser måste tillföras för att upprätthålla ledningsfunktionen och för att kunna hantera parallella larm. Behovet av räddningsenheter är mycket stort där stöd från grannländer kan vara avgörande. Exempel på olyckor som inkluderar situationer där ett passagerarfartyg med fler än 100 nödställda sjunker eller behöver evakueras på grund av kollision, brand eller lastförskjutning. Ett exempel är Estonia oktober 1994, Östersjön, samt Stena Scandica 29 aug. 2022, Östersjön [58].

2.1.7 Ärenden inom flygräddningstjänst

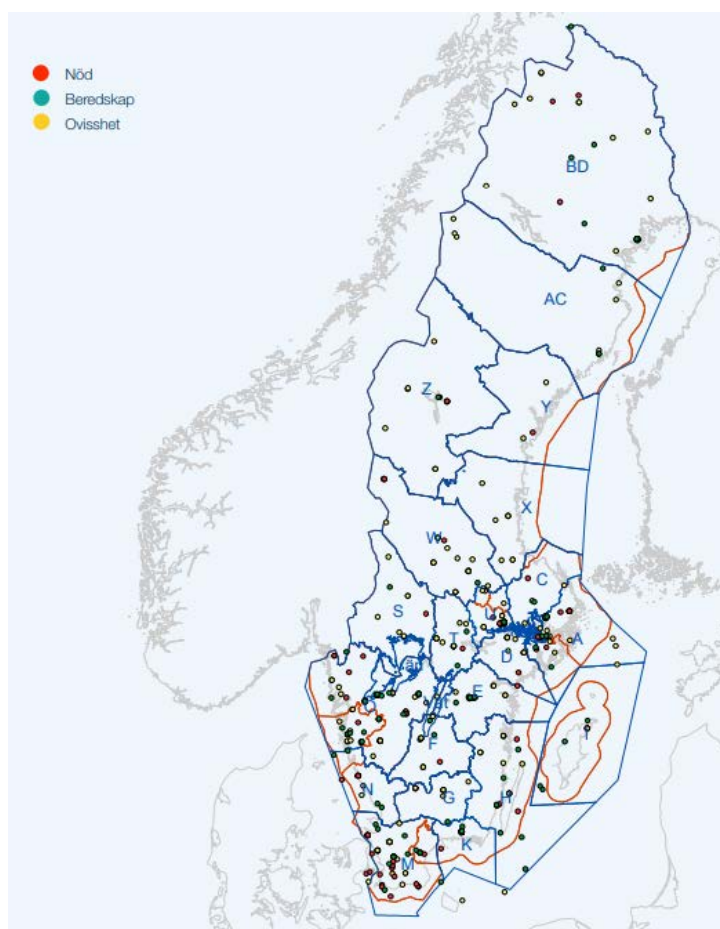
Precis som sjöräddningsärenden följer antalet flygräddningsärenden ett visst säsongsmönster, med en generell uppgång under maj–augusti då ca 40 procent av ärendena inträffar. Totalt uppgår antalet ärenden till cirka 650 fall per år med minst en engagerad enhet i 20 procent av fallen, se figur 2.3. I snitt rör det sig om en till tre flygräddningsärenden per dygn där 2-17 personer kan/är i fara. Ärendena är relativt geografiskt utspridda och gör att de kan uppstå på otillgängliga platser eller i svår terräng.

Huvuddelen av alla flygräddningsärenden avser flyg med ej avslutade färdplaner³, eller varningslarm och uppgår till cirka 520 fall per år. Merparten av de få olyckor som sker kan kopplas till start- och landningsfasen [86].

Flygräddningsärenden av komplexa olyckor är händelser som sker sällan, mindre än fem gånger per år och ärendena omfattar en till två nödställda personer. Vid dessa händelser larmas alla tillgängliga räddningsresurser inom aktuellt område. Olyckorna kan ske på otillgängliga platser och inleds med eftersök av saknat luftfartyg. Otillgängliga platser kan vara långt ut till havs, fjällmiljö eller i övrigt glest befolkade områden. Väderförhållandet kan försvåra lokalisering samt undsättning. Kallt och blött väder påverkar också överlevnadsmöjligheterna för de nödställda och möjligheten för en framgångsrik sök- och räddningsinsats minskar. Exempel på olycka kan nämnas Postflyget som havererade i fjällområde år 2016 och Herculesplanet som havererade i Kebnekaismassivet år 2012 [58].

Det sker mycket sällan flygolyckor med mer än 100 nödställda inom svensk räddningsregion eller i anslutning till denna. I de fallen är behovet av räddningsenheter ofta mycket initialt, där stöd från grannländer kan vara avgörande. Flygolyckor av detta slag kräver ofta en massiv sök- och räddningsinsats där många organisationer ingår. Är olycksplatsen okänd är det helt avgörande att platsen för olyckan kan lokaliseras snabbt då räddningsresurserna måste nå platsen så snart som möjligt. Exempelolyckor är SAS nödlandning, Gottröra år 1991, passagerarflygplan som nödlandar eller havererar på land i glesbefolkat område eller i vatten. Det kan även vara flygplan som havererar i tätbebyggelse där många personer på marken skadas eller påverkas [58].

³Begreppet innebär att ett landningsmeddelande för inlämnad färdplan inte meddelats och olycka kan därför inte uteslutas.



Figur 2.3: Karta över flygräddningsärenden 2022

2.2 Nuläges- och omvärldsanalys för UAS i sök- och räddningsinsatser

Intresset för ny teknik i utryckningsverksamhet växer och flera aktörer tittar på hur obemannade luftfartyg kan användas vid olika insatser. Både akademien och industrin undersöker frågan om artificiell intelligens, autonoma system och mjukvara för att skapa ny kunskap [121].

Även myndigheter undersöker och utvecklar sin förmåga att utföra sitt uppdrag med stöd av obemannade luftfartyg i allt större utsträckning. Intresset växer inte bara hos myndigheter och andra organisationer med utryckningsverksamhet (såsom Kustbevakningen, Polismyndigheten, kommunal räddningstjänst och Sjöräddningssällskapet) utan även andra myndigheter med andra verksamhetsområden. Ofta handlar det om att snabbt kunna ge en samlad lägesbild för att snabbare kunna fatta beslut för att hantera en olycka, ett tillbud eller en avvikelse. Utvecklingen av denna förmåga innefattar att titta på teknik som obemannade luftfartyg, sensorer och AI men även lagstiftning för att få en fungerande verksamhet.

2.2.1 Sjö- och flygräddning nationellt

Utryckningsverksamhet inom sjö- och flygräddningstjänst utgörs av aktörer i den centrala samrådsgruppen för sjö- och flygräddningstjänst. Dessa aktörer bedriver sin vanliga verksamhet inom ramen för sitt uppdrag. Inom dessa uppdrag förvaltar och utvecklar de nya förmågor för att utföra sin uppgift. Det kan handla om olyckor, brottsplatser, sökinsatser, bränder och bevakning med behov av kort inställetid. Det medför att krav på obemannat luftfartyg är tidskritisk där enkel funktion och pålitlighet efterfrågas [90].

Svenska myndigheter i kategorin utryckningsverksamhet har uppgifter som traditionellt sett tillgodosetts av bemannade fordon som inhandlas som färdiga produkter med tydliga manualer. Det finns ingen, eller liten, tradition av egen forskning och utveckling för att tillgodose UAS-behov [46].

Statliga myndigheter behöver inte söka tillstånd enligt EASA-regelverk utan kan flyga med tillstånd under särskilda villkor från Transportstyrelsen. Dock föreligger vissa undantag jämfört med ett civilt tillstånd [114].

För att ge en lägesbild till räddningscentralen krävs ett bildöverföringssystem samt tillstånd för spridning av information mellan myndigheter. Samverkansprojektet BEViS undersökte hur informationsdelningen mellan myndigheter ska kunna ske snabbare, enklare och på ett säkert sätt utifrån rådande lagstiftning [61].

För kompletterande uppgifter till detta kapitel se bilaga F Komplettering av nuläge- och omvärldsanalys

Sjöfartsverket

I framtidens sjö- och flygräddning ser Sjöfartsverket att det finns krav och förväntningar inifrån SAR-systemet att tillvarata möjligheterna som ny teknik ger. Ny teknik kan användas för att dela information och leda resurser effektivare och med högre kvalitet. För sjö- och flygräddningen handlar det främst om informationsdelning mellan räddningscentraler och räddningsenheter men även om utökat beslutsstöd. Effektiviseringskraven driver på att samhällets resurser inom räddningstjänst måste dela information så att de mest optimala enheterna används. När sedan en kombination av bemannade eller obemannade och flygande eller ytgående resurser kopplas ihop med ett beslutsstöd byggt på artificiell intelligens blir möjligheterna till en snabbare, bättre och effektivare sök- och räddningsinsats omfattande. En sådan förändring sker dock i symbios med övriga aktörer i systemet och Sjöfartsverket kommer därför förväntas möta de tekniska förutsättningar som övriga aktörer i samverkansorganisationen ställer [88].

Sedan ett par år tillbaka görs undersökningar på hur UAS kan implementeras och användas i olika avdelningar inom Sjöfartsverket och vilka tillstånd som skulle krävas. I nuläget har Sjöfartsverket enbart ett fåtal UAS-operatörer som genomför metodförsök inom sjögeografi med översikt och kontroll av prickar/bojar samt isrekognosering från isbrytare. Sjöfartsverket utforskar inte bara implementeringen av egna UAS, utan har vid ett par tillfällen i sjö- och flygräddningssyfte haft framgång i sök- och räddningsinsatser med hjälp av andra aktörers system. Användandet av UAS har då bidragit till en snabbare lokalisering och effektivare sök- och räddningsinsats eller identifierat att inget räddningsbehov föreligger. Ett par av de största utmaningarna med dagens mindre UAV som används av samverkande aktörer är uthållighet och väderkänslighet. Att inte ha tillstånd att flyga bortom synhåll är också ett problem då det ofta rör sig om ett större sökområde vid sjö- och flygräddning [46].

I dagsläget ser JRCC UAS som en värdefull resurs att komplettera och förstärka det befintliga

SAR systemet med. Däremot är teknik och regelverk inte moget för implementering i den grad att samverkan kan ske med Sjöfartsverkets räddningshelikopter på skadeplats. JRCC ser potentialen i att fortsätta integrera denna teknik inom sjö- och flygräddning och på så sätt stärka förmågan att rädda liv på ett effektivt och säkert sätt. Flera SAR-aktörer använder UAS i sin ordinarie verksamhet och systemet har därför redan nu utnyttjats inom SAR, när resursen har funnits tillgänglig. Användandet av UAS har på senare tid ökat och UAS används för att erhålla lägesbild men främst vid eftersök. UAS är inte definierad som egen SAR resurs utan används som en utökning eller förstärkning av en befintlig SAR resurs som t.ex en enhet från räddningstjänsten utrustad med en UAS [90].

Flygningar över vatten, vind, fukt och kyla är förhållanden som UAS behöver hantera när det gäller SAR. När dessa krav kombineras med krav på räckvidd halvvägs ut i Östersjön är det fastvinge system som övervägts. Även mindre system behövs sannolikt och då med en förmåga att starta/landa från en sjögående enhet efter som merparten av alla sjöräddningsärenden sker kustnära [46].

Samverkansorganisationer inom SAR systemet står för en stor del av alla insatser och Sjöfartsverkets egna resurser deltog i 35 procent av alla insatser 2022. Därför är samverkan med övriga organisationer stor och när det gäller användandet av UAS så är det främst Polismyndigheten och räddningstjänsten som har deltagit med sina UAS-resurser i SAR insatser [90]. Sjöfartsverket verkar för att utveckla isbrytningen för att i förlängningen kunna använda UAS istället för isbrytare för att kontrollera isläget och därmed bidra till omställningen mot ett klimatneutralt samhälle. Målet är att utveckla en drönarplattform som kan användas för is-rekognosering och datainsamling från isbrytare i arktisk miljö, samt testa denna i realistiska driftförhållanden i Bottenviken. Genom att använda UAS som har mindre miljöpåverkan istället för att undersöka isläget med helikopter eller använda isbrytaren så räknar Sjöfartsverket med att spara på miljön, både i Bottenviken men även i Arktis. I kombination med miljöanalysen har rekommendationer tagits fram för hur UAS kan implementeras i Sjöfartsverkets verksamhet för isbrytning [119].

Sjöräddningssällskapet

Sjöräddningssällskapet (SSRS), är en frivilligorganisation som utvecklar enklare fastvinge teknik med autonoma funktioner. Utvecklingen syftar till att prova effekten av att sända ut drönare omedelbart efter larm för att ge både räddningsledaren på JRCC och de frivilliga räddningsbesättningarna en överblick av en situation så tidigt som möjligt – helst redan innan besättningen hunnit gå ombord. Tesen är att dessa situationsbilder skulle göra sök- och räddningsinsatser säkrare och effektivare. SSRS avser vidareutveckla och integrera befintliga UAS och kringssystem, genomföra provverksamhet med både övningar och sök- och räddningsinsatser i samband med skarpa sjöräddningslarm, samt utvärdera både flygsäkerhet och vilken operativ effekt som uppnås [102].

Kustbevakningen

Flygövervakningen bedrivs idag med tre flygplan av typen Dash 8 Q-300. Flygplanen är utrustade med sensorer och radar för att underlätta arbetet med att t.ex. lokalisera oljeutsläpp.

Arbetet med att använda UAS inom Kustbevakningen (KBV) har påbörjats och system har testats. Här har KBV valt att gå samma väg som Polismyndigheten och köper befintliga system och inte utveckla egna. Tillståndsprocess med olika funktioner utreds för att se om UAS kan möta kraven kring räckvidd och väder som föreligger i kustnära områden [46].

Av dom nordiska länderna har Norska Kustverket kommit längre i sin användning av UAS [46]. Enligt Svenska KBV är funktionen som en UAS skall ha inte helt klart definierad än och frågetecken finns även angående vilken funktion den skall fylla inom myndigheten [46].

För kompletterande uppgifter till detta kapitel se bilaga F Komplettering av nuläge- och omvärldsanalys

Polismyndigheten

Redan 2013 påbörjades en förstudie inom myndigheten hur UAS kunde användas operativt. Det resulterade i att polismyndigheten började använda UAS och 2018 hade samtliga regioner en resursförstärkande metod genom UAS. Polismyndigheten är den myndighet i Sverige som var först med att implementera UAS i operativ verksamhet med metoder och utbildning. Därför har Polismyndigheten delat sina erfarenheter med andra organisationer, bland annat Kustbevakningen och räddningstjänsten i Stockholm, Stor Stockholms Brandförsvaret, SSBF. Polismyndigheten samverkar aktivt med andra organisationer även internationellt och är delaktig i en skandinavisk UAS-samarbetsgrupp. Upphandlingar har även skett i samarbete med t.ex. Norge.

Polismyndigheten har ett stort antal utbildade och aktiva fjärrpiloter och flera flygsystem indelat i olika klasser beroende på storlek och användningsområde. Nationellt finns en processledning som möjliggör för en flygande verksamhet genom att handha regelverk, upphandling med mera.

Polismyndigheten har sedan lång tid tillbaka traditionella bemannade helikoptrar, som är att betrakta som "dyr" och därmed en begränsad resurs. Genom att mer och mer använda obemannade UAV:er kan resurser frigöras och bemannade helikoptrar kan utnyttjas för annat som t.ex. sökkupdrag över stora områden eller då personer eller material behöver transporteras. UAS ses som ett komplement och nu mera används UAS regelbundet för att höja den operativa förmågan, särskilt i stadsmiljö där de kan observera utan att störa. Polismyndigheten har valt att inte utveckla egna UAS-system. Inköp av UAV sker enligt lagen om offentlig upphandling och inköpskriterierna är riktade mot på marknaden befintliga system.

Polismyndigheten har även genom finansiering från MSB och 2:4 Krisberedskap drivit ett samverkansprojekt under åren 2018-2021. Projektet BEViS, Bevakningsansvariga myndigheter i samverkan. Projektet syfte var att utveckla samverkansformer genom att med gemensamma grunder och metoder få möjlighet att från bevakningssensorer få en lägesbild som är väl anpassad till behoven. Genom detta skulle effektivitet och redundans för Sveriges krisberedskap kunna uppnås samt med förbättrad samordning. Delning av sensordata mellan olika aktörer för att erhålla en korrekt lägesbild är central särskilt när det gäller SAR händelse, där flera aktörer samverkar, bildades efter projektets slut en ny samverkansgrupp som kallas Sensorrådet [46].

Polismyndigheten ser mycket positivt på utnyttjande av UAS även om regelverk sätter vissa begränsningar relaterat till luftrum, flygning utom visuellt synhåll, Beyond Visual Line of Sight BVLOS, samt delning av sensordata. Polismyndigheten ser stora fördelar med UAS i samband med sök av försvunnen person eller ingripande mot farlig person samt vid allmänt brottsförebyggande verksamhet [46].

För kompletterande uppgifter till detta kapitel se bilaga F Komplettering av nuläge- och omvärldsanalys

Kommunal räddningstjänst

UAS har nyttjats i olika former sedan 2014 bland kommunala räddningstjänster. UAS används idag vid ett flertal sök- och räddningsinsatser och är där ett uppskattat verktyg då en lägesbild

från luften ofta är till stor hjälp, bland annat med hjälp av värmekamera.

UAS har fördelar som att inte orsaka lika mycket ljud som bemannat flyg och kan också flyga närmre målobjekt. Att uppfatta ljud som skrik kan vara avgörande vid till exempel eftersök av personer i nöd eller försvunna personer [46].

Ett stort antal kommunala räddningstjänster har idag UAS. Kommunala räddningstjänster flyger likt statliga myndigheter som Polismyndigheten och KBV på särskilda villkor och inte på civila tillstånd. I de särskilda villkoren beskriver organisationen själv sin organisation och hur den förvaltas. Baserat på Polismyndigheten utbildningsmaterial har StorStockholms Brandförsvär (SSBF) utvecklat ett eget utbildningsmaterial som användes och som ett antal andra räddningstjänster också utnyttjar efter egna lokala anpassningar.

SSBF utbildar idag andra organisationer, bland annat övriga kommunala räddningstjänster. Genom kunskaper och utbildningen kan dessa organisationer ansöka om särskilda villkor hos Transportstyrelsen. I dagsläget har ett 40-tal räddningstjänster utbildats och beviljats särskilda villkor hos Transportstyrelsen [46].

Då det vid användandet ofta föreligger en risk att bli av med en UAV väljer räddningstjänster ofta att ha en uppsättning som inkluderar enklare maskiner som kan offras vid akuta situationer.

Kommunal räddningstjänst är i stort tillfreds med tekniken och utvecklingen av den. Kommunal räddningstjänst ser utmaningar i nya regelverk som ännu inte är etablerade och att gällande regler inte respekteras fullt ut av privatpersoner och journalister som tyvärr därmed kan störa sök- och räddningsinsatser [76]. Kommunal Räddningstjänst har ett utvecklat samarbete med övriga myndigheter och organisationer som använder UAS i sin verksamhet. I Finland och Norge har räddningstjänsten kommit mycket längre kring luftrumsfrågorna, där sker också en tätare samverkan mellan motsvarigheterna till LfV och TS [76].

Polismyndigheten är en förebild för kommunala räddningstjänster då de kommit långt i ett helhetskoncept kring UAS, vilket kommit kommunala räddningstjänster till del via SSBF och ett nationellt nätverk, Swedish Bluelight UAS. Inställningen inom kommunal räddningstjänst är generellt positiv men som med all ny teknik krävs utbildning och information om nyttan av verktyget för att övertyga hela den egna organisationen [76].

För kompletterande uppgifter till detta kapitel se bilaga F Komplettering av nuläge- och omvärldsanalys

MSB

Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap, MSB, har av regeringen fått uppdraget som statlig myndighet att ansvara, inom sitt ansvarsområde, för att på en övergripande nivå redovisa samt stödja samhällets förmåga att hantera olyckor, kriser och civilt försvar i den utsträckning ingen annan myndighet har ansvaret. Detta avser åtgärder före, under och efter en olycka, kris, höjd beredskap eller krig. Utöver det är MSB samverkansmyndighet mot internationella myndigheter inom området och bistår med kunskap och resurser vid internationella krishändelser. MSB är sektorsansvarig myndighet för beredskapssektorn Räddningstjänst och skydd av civilbefolkningen [26].

En viktig del för samhällets förmågor utgör de förstärkningsresurser som MSB håller för händelser som oljeutsläpp, skogsbrand, kommunikationsproblem, ökat behov av ledningsstöd med mer. Dessa resurser är placerade för att kunna stötta hela landet och vid särskilda förhållanden kan

de även omplaceras. Ett exempel är de skogsbrandsflygresurser MSB tillhandahåller och där dessa omlokaliseras utefter var de högsta brandrisknivåerna finns just för tillfället [62].

Som aktör och operatör av UAS har MSB begränsat med egen UAS-verksamhet. MSB nyttjar främst UAS vid sina utbildningsanläggningar där visas på nyttan av UAS för personal som utbildas inom räddningstjänstområdet. MSB har identifierat behov och stöttat bland annat kommunala räddningstjänster i införandet av UAS genom att de gett ut en vägledning “Obemannade luftfartyg i kommunal räddningstjänst” [62].

MSB är delaktiga i olika samverkansforum för UAS men har inget klart mandat eller uppdrag även om det finns önskemål om detta från myndigheter som bedriver eller planerar att införa UAS-verksamhet inom räddningstjänstsektorn [46].

2.2.2 Sjö- och flygräddning internationellt

Sjö- och flygräddningstjänst internationellt är på många håll annorlunda organiserad mot hur det är i Sverige. Det kan konstateras att det i hög grad ligger på statliga myndigheter att inneha resurserna. I till exempel USA är deras Kustbevakning en viktig del av SAR till sjöss och arbetet leds av den myndigheten. I vissa fall, till exempel Storbritannien, köps även tjänsterna in av specialiserade företag som tillhandahåller resurser för SAR. Den av FN utsedda organisationen, *International Maritime Organisation* (IMO) organiserar arbetet inom Sjö- och flygräddning genom manualen *International Aeronautical and Maritime Search and Rescue* (IAMSAR) Manual. Här återfinns manualer och instruktioner för hur SAR skall organiseras nationellt och hur resurser inom SAR skall agera. IAMSAR är ett samarbete mellan IMO och *International Civil Aviation Organization* (ICAO). Dock saknas specifik manual för UAS, vilket kan bero på att IMO inväntar medlemsstaterna utveckling när det gäller att använda UAS i sjö- och flygräddningsärenden [43].

Internationellt används UAS som sjö- och flygräddningsresurser i olika omfattning. Till exempel används UAS som resurs till viss del i nationell kustbevakning och/eller inom nationell försvarsmakt i samband med SAR-uppdrag. Även nationell polismyndigheten och särskilda SAR-organisationer använder UAS i SAR-uppdrag.

I Storbritannien pågår försök sedan 2019 med större UAV av typen single-rotor som opereras parallellt med sjöräddningshelikoptrar. Sensorerna som används är en kombination av RGV, radar och värmekameror. År 2022 fattade *UK Maritime and Coastguard Agency* ett beslut om att förlänga kontraktet med Bristow i ytterligare 10 år, där dessa obemannade system ingår.

I USA är större obemannade system som klarar flygtider över 20 timmar, till vardags verksamma inom tull och gränskontroll, tillgängliga resurser i händelse av nöd. De använder en kombination av sensorer för att detektera, klassificera samt monitorera mot flera intressepunkter samtidigt. Systemen kräver en start- och landningsbana, en besättning med två personer, samt infrastruktur motsvarande ett passagerarflygplan.

Genom *European Maritime Safety Agency* (EMSA) [30] kan europeiska länder ansöka om att genomföra tester under en längre period i syfte att utreda för- och nackdelar. Ett exempel, under 2022, var då EMSA samarbetade med bland annat Danmarks försvar, tull och fiskerimyndighet. Flygoperationen hanterades av tillverkaren, som upphandlats av EMSA, efter önskemål från en ansvarig representant från danskt håll. Samtliga parter kunde titta på data från sensorerna, kommentera samt ta beslut, under pågående flygning. Flygningen genomfördes med en pilot och en sensoroperatör, minst en person hanterade därtill tekniska problem samt underhåll. Ett system bestod av en markstation, tre UAV:er för att säkerställa driften samt löpande- och längre underhåll. En flygning kunde pågå i omkring 5 timmar ut till 200 km från baseringen [30].

Kapitel 3

Teori

Detta kapitel beskriver de ramar och gränser inom vilka obemannade luftfartygssystem (UAS) i Sverige ska verka. Vidare redogörs för de tekniska förutsättningarna för olika sorters UAS och olika typer av AI-modeller, ur ett teoretiskt perspektiv.

3.1 Rådande legala aspekter

Inom EU regleras verksamhet med obemannade luftfartyg främst genom två EU-förordningar; EU 2019/947 och EU 2019/945. Bestämmelserna är riskbaserade med ökande krav beroende på risken som en viss flygning eller verksamhet innebär. EU:s regelverk gäller för all civil verksamhet med obemannade luftfartyg med undantag för s.k. statlig luftfart. UAS-verksamhet delas utifrån risknivå in i tre driftskategorier; öppen, specifik och certifierad [45]. I detta kapitel redogörs enkelt för några av de viktigare legala aspekterna för en tänkt SAR-UAS-verksamhet. En något mer omfattande beskrivning av legala aspekter finns i bilaga C.2.

3.1.1 Statlig luftfart

Till statlig luftfart hör till exempel militärt flyg och flygverksamhet som utförs av polis, tull och kustbevakning [14]. Verksamhet som räknas till statlig luftfart och som inte ska följa civila bestämmelser enligt Opt-In ska istället följa särskilda villkor som utfärdas av den aktuella medlemsstaten [24]. Ansökan om särskilda villkor görs hos Transportstyrelsen och utgångspunkten är att de utfärdade villkoren motsvarar de civila kategorierna, men anpassningar kan göras för att reglerna bättre ska passa den aktuella verksamheten [62].

3.1.2 Luftrum

För att möjliggöra BVLOS-flygningar krävs idag normalt sett att ett avgränsat luftrum (till exempel restriktionsområde (R-område)) upprättas [62]. För att möjliggöra mer integrerad användning av luftrum för UAS krävs att det finns fungerande system som kan detektera och undvika annan trafik (bemannad eller obemannad). Det pågår ett standardiseringsarbete för framtagande av internationella standarder som kan komplettera och ligga till grund för kommande reglering och tillståndsgivning [10].

För säkerheten under en flygning ansvarar en fjärrpilot. Detta förutsätter dock även att fjärrpiloten i alla lägen kan ingripa i flygningen för att avstyra säkerhetsrisker. Regelverket är idag inte helt anpassat för helt autonoma flygningar där flygningen utförs helt utan möjlighet för en fjärrpilot att ingripa. EU:s förordningar öppnar dock för denna möjlighet och ett utvecklingsarbete på området pågår [10].

För att genomföra flygningar över internationellt vatten krävs koordinering med den enhet som är ansvarig för lufterummet samt inlämning av färdplan. Detta krav gäller generellt för alla typer av luftfartyg och därigenom även för obemannade luftfartyg. Likaså krävs godkännande från annan stat om ett statligt förarlost luftfartyg ska flygas i dess lufterum [14]. Detta hänger samman med den generella skyldigheten för en statlig operatör att upprätthålla flygsäkerheten när ett obemannat luftfartyg förs fram där civil trafik är tillåten [10]. Vad detta faktiskt innebär i praktiken är dock inte tydligt definierat i varken Chicagokonventionen eller de rekommendationer (SARPs) som finns från ICAO (International Civil Aviation Organisation) idag. Det är inte heller klarlagt vilka tekniska krav som ska ställas på obemannade luftfartyg som genomför internationella flygningar och om de behöver vara certifierade. Fortsatt regelutveckling är nödvändig på området och tills vidare behöver stater samarbeta för att hitta bästa möjliga lösning under rådande förutsättningar [14].

3.1.3 Informationshantering

När sensorinformation inhämtats med luftfartyg krävs i många fall spridningstillstånd enligt lagen om skydd för geografisk information (SFS 2016:319). I enlighet med denna lag behöver tillstånd sökas hos Lantmäteriet för spridning av landgeografisk information och hos Sjöfartsverket för spridning av sjögeografisk information [104].

Det finns vissa undantag från kravet på spridning av landgeografisk information som innebär att tillstånd inte behöver sökas. Det finns även möjlighet att för till exempel räddningsverksamhet söka tillfälliga undantag från spridningstillstånd [62].

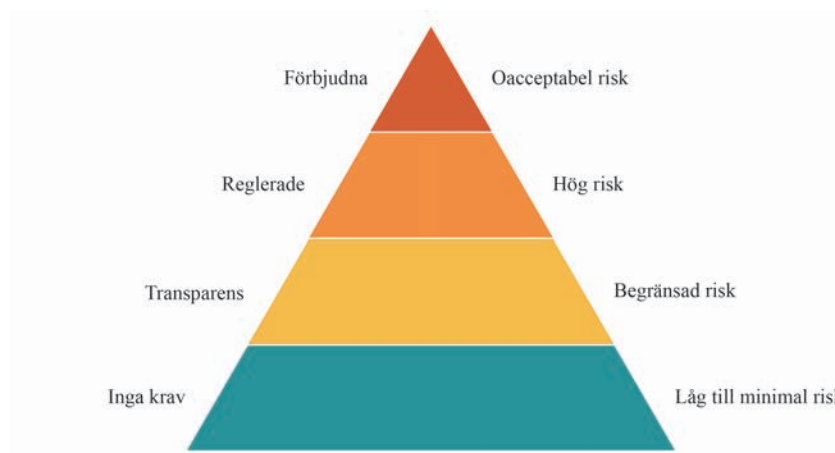
När sensorer burna med UAS fångar in data som innehåller bilder av personer eller annan information som kan kopplas till en person så kan Dataskyddsförordningen, GDPR, och Kamerabevakningslagen, KBL, vara nödvändiga att förhålla sig till.

Om ett sensorföret UAS används på en sådan flyghöjd att personer inte är identifierbara är Kamerabevakningslagen dock ej tillämplig. Kamerabevakning omfattar endast bildupptagning där personer är direkt identifierbara och förekommer i bild kontinuerligt eller vid upprepade tillfällen.

Det kan vara värt att notera att GDPR har ett bredare tillämpningsområde och ofta kan behöva följas även om Kamerabevakningslagen inte ska tillämpas [104].

3.1.4 Etiska bestämmelser

EU har relativt nyligen initierat ett arbete med att ta fram lagstiftning för AI-området, kallat AI Act. Det framtagna regelverksförslaget är riskbaserat och syftar till att ge ett legalt ramverk som främjar AI-innovation som är lagenlig, säker och pålitlig samt harmonierar med grundläggande fri- och rättigheter i övriga EU-lagstiftningen. AI-tillämpningar får utifrån risknivå krav och skyldigheter för att garantera att tillämpningen är säker och etisk. För tillämpningar med begränsad risk kan detta innebära krav på transparens och information medan tillämpningar med hög risk får tydliga krav för hur sådan AI får nyttjas eller utvecklas. Den högsta risknivån kallas för oacceptabel risk och AI-tillämpningar som hamnar inom denna kategori blir helt förbjuden.



Figur 3.1: Semantisk modell av Europeiska unionens (EU) bedömning av risknivåer för AI [52].

För användning av AI med hög risk föreslås bland annat att det ska krävas att den som tillhandahåller sådana AI-system påvisar att systemet är säkert och att systemet registreras i en EU-databas.

En viktig skiljelinje är AI-behandling av biometrisk data för identifiering av personer, vilket är något som föreslås att det ska räknas som hög risk. Eftersom regelverket ännu är på förslagsstadiet är det dock för tidigt att uttala sig om vad denna skiljelinje kan komma att innebära i praktiken. Utvecklingen av lagstiftning inom AI-området kommer vara viktig att noga bevaka framöver [52].

3.1.5 Övrig lagstiftning

Arbetet inom projektet har framför allt fokuserat på operativa tillstånd för flygning och legala aspekter kopplat till detta. Förutom vad som redogjorts för i detta kapitel finns även annan lagstiftning som kan behöva beaktas vid eventuell etablering och drift av en SAR UAS-resurs. Några viktiga områden är offentlighet och sekretess, frekvensanvändning, skyddslagstiftning och cybersäkerhet.

3.2 Mänskliga faktorer

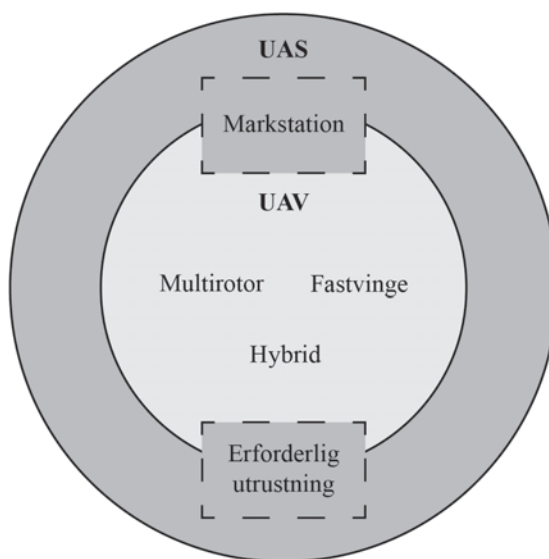
En viktig komponent i en flygoperation, oavsett om den är bemannad eller obemannad, är interaktionen mellan teknik och människa, samt mellan människor som på ett eller annat sätt är involverade. Det är eftersträvansvärt att det ska vara, lätt att göra rätt, för en individ eller besättning som genomför en så komplex uppgift som en flygoperation. Att flygningen genomförs av en fjärrpilot som befinner sig på en annan plats än själva luftfartyget innebär på många sätt att komplexiteten ökar utifrån perspektivet mänskliga faktorer. En genomgång av mänskliga faktorer, för den som önskar få en bättre teoretisk förståelse, finns i bilaga C.

3.3 Obemannade luftfartygssystem

Obemannade luftfartygssystem är en övergripande benämning som utöver luftfartyget (UAV) innefattar; kontrollstationen, start- och landningsutrustning, nyttolast, datalänkar, transport-

och underhållsutrustning. Alternativa benämningar till obemannat luftfartygssystem som syftar på samma sak är UAS (Unmanned/Uncrewed Aerial/Aircraft System) eller RPAS (Remotely Piloted Aircraft System) [116].

Ett obemannat luftfartygssystem (UAS) består generellt av ett eller flera obemannade luftfartyg som kontrolleras på distans från en markstation som kan vara belägen såväl nära som långt ifrån start- och landningsplats. Alternativa benämningar till obemannat luftfartyg som syftar på samma sak är UAV (Unmanned/Uncrewed Aerial/Aircraft Vehicle), RPA (Remotely Piloted Aircraft) eller drönare [116]. Ett obemannat luftfartyg är trådlöst sammanbundet med markstation via datalänkar för kontroll, överföring av sensordata och kommunikation. Luftfartyget har vanligen konstruerats för att även kunna bära en nyttolast som oftast är en eller flera sensorer, men det kan också vara i form av frakt eller annan last [117].



Figur 3.2: Diagram över förhållandet mellan UAS och UAV

3.3.1 Varianter på obemannade luftfartyg

Det finns ett stort antal varianter på obemannade luftfartyg och utifrån dess huvudsakliga flygegenskaper kan de delas in i huvudkategorierna multirotor, fastvinge samt hybrider med varierande förmågor som följd, se tabell 5.4.

Multirotor

En UAV med flera horisontellt placerade propellrar kallas med ett gemensamt namn för multirotor. Vanligt är fyra propellrar där diagonalparen roterar i samma riktning, de förekommer även med sex och åtta propellrar vilket möjliggör en kontrollerad landning även vid ett enskilt motorbortfall [117]. En UAV med enbart en större rotor benämns istället för single-rotor och påminner om en helikopter till utseendet [37]. Kontroll av en multirotor sker genom att styrsystemet kontinuerligt justerar varvtalet på varje enskild propeller utifrån fjärrpilotens önskemål vilket möjliggör flygning i alla riktningar. Dessa klarar av att lyfta och landa vertikalt [117].

Fastvinge

En UAV som i huvudsak genererar lyftkraft med hjälp av en vinge kallas med ett gemensamt namn för fastvinge. De kan se ut som traditionella flygplan med en vinge, kropp, stabilisator och fena. Därtill förekommer de som endast består av en vinge med vertikala fenor placerade på vingen, även kallade Elevation då rodeytorna är en kombination av ELEVator och ailerON [117]. För att skapa lyftkraft behöver fastvingen röra sig igenom luften, de kan ske genom glidflykt men också genom att en eller flera propellrar skapar en kraft längs flygbanan [63]. Dessa behöver generellt startas från en startbana alternativt via en katapult medan landning kan ske på en landningsbana alternativt genom användande av en fallskärm eller nät. Mindre Elevation kastas ofta för hand och landar på plan yta av tillräcklig storlek relaterat till hastighet.

VTOL

UAV som kombinerar vertikal start och landning som en multirotor följt av flygningen som en fastvinge kallas allmänt för VTOL eller hybrid. Dessa maskiner kan nyttja en kombination av framdrivning beroende på fas av flygning, såsom el- och turbinmotor. Dessa används för att uppnå en kombinerad förmåga som annars inte hade varit möjlig att åstadkomma i ett och samma obemannade luftfartyg. Dessa hybrider optimeras för önskvärda kombinationer av förmågor [117].

Indelning av UAV

UAV:er kan delas in i klasser, kategorier och grupper beroende på specifikationer som högsta startvikt, maximal flyghöjd, räckvidd, nivå av automation, se avsnitt 3.1.

Tabell 3.1: Generell indelning av UAV i klasser och kategorier [34].

Klass	Viktspann	Kategori	Vikt	Höjd	Räckvidd
1	<150 kg	Micro <2 kg	<2 kg	<60 m	<5 km LOS
		Mini 2-20 kg	2-20 kg	<914 m	<25 km LOS
		Liten >20 kg	>20 kg	<1524 m	<50 km LOS
2	150-600 kg	Taktisk		<3048 m	<200 km LOS
3	>600 kg	Mediumhöjd		<13716 m	BLOS
		Höghöjd		19812 m	BLOS

3.3.2 Delsystem

Utöver UAV:n består ett obemannat luftfartygssystem även av andra delar som har påverkan på dess förmåga. Dessa delar kan vara utrustning på marken eller en del av nyttolasten, exempelvis sensorer för datainsamling eller transportbil.

Markstation

Markstationen är den del av systemet där piloten eller operatören styr och kommunicerar med UAV:n. Markstationen är även ett verktyg för att planera rutter, begränsa flygvolymen i höjd och sida samt visa andra luftfartyg i närheten och hantera sensorer [11]. Markstationen visar data från UAV:n såsom höjd, kurs, flygläge samt bild och video. Mindre system består ofta av en

handkontroll med en inbyggd bildskärm. Piloten kan därmed styra UAV:n och hantera eventuella sensorer med en och samma handkontroll [117]. Det förekommer även att systemet kräver en pilot och en operatör där piloten styr UAV:n med en handkontroll där grad av automation kan variera medans övervakning, inställningar samt autonoma lägen av UAV:n hanteras via en separat laptop av en operatör [31].

Länkar/kommunikation

Länken mellan en UAV och en markstation kallas C2-länk (eng. *Command and Control*) eller C3-länk (eng. *Command, Control, and Communication*). C2 hanterar tre funktioner [1]:

- kontroll av UAV:n i form av styrkommandon,
- telemetridata som position, fart och riktning, och
- övrig kommunikation.

En C3-länk har tillägget att den kan hantera all övrig kommunikation såsom sensorinformation och verbal kommunikation. Systemet använder ofta flera olika frekvenser parallellt för tvåvägs-kommunikation med UAV:n. Båda länkarna kan vara krypterade med t.ex. 128-bit AES. Länken upp till UAV:n används för kontroll av UAV:n och eventuell nyttolast. Länken från UAV:n ner till markstationen tillhandahåller statusinformation från UAV:n. Statusinformationen innehåller information om själva flygningen, eventuella fel samt sensordata [32]. Frekvenserna 2.4GHz och 5.8GHz är vanliga vid flygning på avstånd inom synhåll. Då krav på ökad räckvidd föreligger används lägre frekvenser, för dessa behöver dock sökas tillstånd från PTS [68]. I de fall direkt-länkar inte kan nyttjas pga förutsättningar i omgivning eller behov av räckvidd är det nätet för mobiltelefoni eller satellit som kvarstår [40].

Automation

Obemannade luftfartyg kräver generellt någon form av automation om inte avsikten är att flyga UAV:n helt manuellt. Enligt en automations skala framtagen av NASA kan automationsnivåer för obemannade luftfartyg definieras från nivå 0 till 5 där nivå 0 innebär att fjärrpiloten manuellt styr luftfartyget hela tiden till nivå 5 som innebär att flera autonoma luftfartyg kan samverka för att utföra ett uppdrag utan mänsklig inblandning [124]. Ett styrsystem består av hårdvara samt en mjukvara i form av ett så kallat firmware [2]. Fullständig autonomi innebär att människan inte längre är en del av flygsystemet utan behov att ta över eller påverka flygningen, se avsnitt 3.3.2. Detta är idag svårt att testa men det är möjligt att genomföra flygningar med en väldigt hög grad av automatisering där fjärrpiloten endast tar beslut om påbörjande, avslutande och eventuellt avbrott av flygningen. En något lägre grad av automatisering kan innebära att fjärrpiloten även ger enkla kommandon som instruerar UAV:n att till exempel hålla befintlig position eller flyga till en angiven position på karta.

Som stöd för besättningen kan olika nivåer av automation användas för att exempelvis bibehålla höjd. I händelse av bruten kommunikation i systemet kan UAV:n fortsätta flygningen enligt plan, alternativt återvända till den senaste positionen som UAV:n kommunicerade med markstationen. Om UAV:n av någon anledning flyger utanför tillåten volym kan en funktion aktiveras för att automatiskt få luftfartyget att flyga tillbaka, direkt eller via en fördefinierad rutt, in i den definierade volymen igen [11].

Att operera och koordinera flera UAV:er momentant i samma volym kallas för svärm. I svärmen kan olika UAV:er med olika förmågor kombineras. Exempelvis kan i en svärm, en fastvinge användas med lång flygtid för att genomföra ett eftersök på hög höjd. Vid detektion kan en

FJÄRRSTYRD	ENKEL AUTOMATION	HÖG AUTOMATION	SEMI-AUTONOM	FULLT-AUTONOM	KOLLABORATIV
AUTOMATIONSNIVÅ 0	AUTOMATIONSNIVÅ 1	AUTOMATIONSNIVÅ 2	AUTOMATIONSNIVÅ 3	AUTOMATIONSNIVÅ 4	AUTOMATIONSNIVÅ 5
Fjärrstyrd UAV där operatören har ständig kontroll i realtid	Fjärrstyrd UAV med viss automatisering så som gyrostabilisering	Operatören tillåter systemet ombord att flyga farkosten	Systemet utför automatiskt komplexa uppgifter. Begränsad mänsklig övervakning	Systemet får uppdragsmål på hög nivå (t.ex. plats, tid) och översätter dem till uppgifter som utförs utan ytterligare mänskligt ingripande	Flera UAV som arbetar autonomt tillsammans som ett kollektivt intelligent system
100% mänsklig inblandning	80% mänsklig inblandning	50% mänsklig inblandning	20% mänsklig inblandning	Mindre än 5% mänsklig inblandning	Minimal mänsklig inblandning

Figur 3.3: Översikt av automationsnivåer för UAS

multirotor användas för att på närmare håll hantera klassificering. Svärmar kräver hög grad av automation då en ensam fjärrpilot inte manuellt kan hantera operationen [108].

Sensorer och nyttolast

Sensorer kallas den kategori av nyttolast som använd för att samla in någon form av data, exempelvis ett fotografi, eller en videostream från ett skeende. Datan kan lagras ombord eller länkas ner till markstationen. En elektrooptisk sensor (EO), motsvarande en stillbilds- eller videokamera avbildar verkligheten på sådant sätt att det mänskliga ögat lätt kan tolka datan. Det finns även sensorer som tittar på specifika våglängder av ljus, ett exempel är sensorer som uppfattar infraröd strålning (IR) och kan till exempel användas för att fånga upp den värme som en levande människa utstrålar [8]. Med en *Light Detection and Ranging-sensor* (LiDAR) kan data samlas in genom att låta ljusstrålar studsas mot objekt för att positionera dem i tre dimensioner. Under analysen av datan kan objekt lokaliseras såsom exempelvis flygplansvrak genom trädskronor eller som är skydda av snö [33]. En annan variant av sensor är en *Synthetic-aperture radar* (SAR) som sammanställer ett flertal radarbilder för att åstadkomma en högre upplösning på datan än en konventionell radar [123]. Data från olika sensorer och informationskällor kan sammanställas för att kunna dra ytterligare slutsatser [33]. Andra typer av nyttolast kan vara högtalare, mikrofoner, pejlrutrustning, belysning och så vidare. Viss nyttolast kan släppas för att exempelvis samla in information om strömmar, våghöjder, väder och vind för användning vid beräkningar av söksområden och lägesbild. De kan även markera fynd, lysa upp en yta, användas som flythjälpmiddel o.s.v.

Energilagring

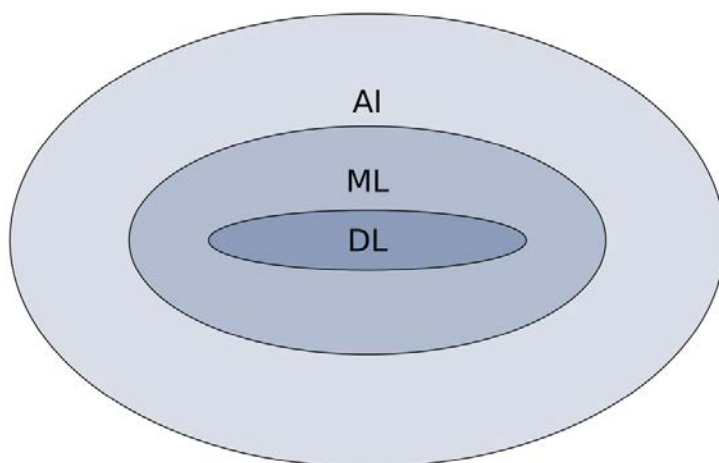
För att kunna skapa en kraft som får ett luftfartyg att uppnå en rörelse krävs energi i form av exempelvis elektricitet eller ett bränsle såsom vätgas eller bensin. Energin lagras ombord och omvandlas till en kraft för att åstadkomma en flygtid. Mer tillgänglig energi ombord ökar flygtiden fram till den punkt då ökad vikt för energilagring påverkar flygtid negativt [111].

IP-kodning

IP-kodning (eng. *Ingress Protection Code*) är ett standardiserat system för skydd av elektronik mot fukt, väta och damm. Standarden för IP definieras av *International Electrotechnical Commission* (IEC). IP-kodning har till syfte att ge mer objektiva produkttegenskaper än att bara ange "vattentät" [41]. Kodningen av IP sker utifrån två kategorier där den första siffran efter IP anger skydd mot fasta partiklar och dess nivå sätts mellan 0-6 eller X om data saknas. Den andra siffran efter anger skydd mot fukt/väta och anges i intervallet 0-8 eller X om data saknas. Högre värden anger större motstånd mot inträngning [41].

3.4 Artificiell intelligens (AI)

AI är ett koncept som har vuxit över tid och har gått igenom många faser, med varierande intresse både från allmänheten och akademien. AI består av flera olika underkategorier, men här intresserar vi oss främst för delmängden "maskininläring" i allmänhet, och "djupinläring" i synnerhet.



Figur 3.4: Diagram över förhållandet mellan begreppen artificiell intelligens (AI), maskininläring (ML) och djupinläring (DL). Bild anpassad från [75].

3.4.1 Maskininläring

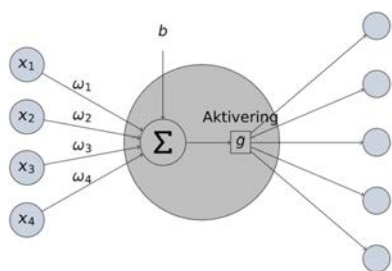
Maskininläring (eng. *machine learning*), förkortat ML, är ett större teknik- och forskningsområde som skördat stora framgångar i en uppsjö av olika applikationer under 2000-talet i allmänhet, och det senaste decenniet i synnerhet.

Exempel på områden där ML åstadkommit enorma framsteg är bl.a. datorseende (eng. *computer vision*, CV), språkprocessering (eng. *natural language processing*, NLP), bild- och ljudgeneration, rekommendationssystem, spel (eng. *reinforcement learning*), anomalidetektion, diagnostisering, väderprognosering, med flera.

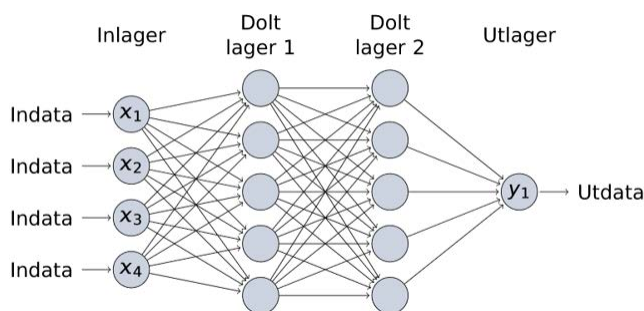
Maskininläring är ett vitt begrepp som står med ena benet i datavetenskap och programmering, och det andra i matematisk statistik och optimeringslära. I grova drag kan maskininlärningsfältet

delas upp i traditionella och inlärningsbaserade metoder. De förstnämnda metoderna är sådana där forskare och ingenjörer, ofta med djup kompetens inom ett specifikt område, utformat de särdrag (eng. *features*) som tros vara beskrivande av data för en specifik uppgift, medan de modernare inlärningsbaserade metoderna tillåter någon typ av inlärningsmodell, ofta ett så kallat neuronät, att själv avgöra vad som är de mest diskriminerande särdragen för den givna uppgiften. Fördelen med detta är att datorer är mycket bra på att snabbt och effektivt beräkna avancerade matematiska operationer på stora mängder data, vilket tillåter dem att skönja mönster i data som är för komplexa för en människa att upptäcka.

Utän att gå in på de matematiska detaljerna, kan ett neuronät beskrivas som en serie (icke-linjära) transformationer, så kallade *dolda lager*, som data propageras genom. Det finns många olika typer av modellarkitekturer och lagertyper, men grundidén är att olika lager fångar olika aspekter av data, t.ex. på olika skalor eller i olika relativa kontexter. Varje lager består av ett antal justerbara parametrar som bestämmer hur det lagret ska behandla informationen från det föregående. Dessa parametrar kallas för *vikter* och *bias* och representeras i figur 3.5a av de respektive bokstäverna ω och b . Bilden illustrerar neuronätets grundläggande beståndsdel, *neuronen*, som utför transformationerna i varje lager. Varje lager består av ett stort antal neuroner, alla med individuella parametrar. Dessa lager illustreras som cirklar i figur 3.5b, där pilarna indikerar hur data propageras framåt genom neuronätet. Informationen propageras framåt genom modellen när uppgiften ska utföras på indata, eller bakåt när modellens parametrar skall uppdateras.



(a) Illustration över neuronätets grundläggande beståndsdel, en neuron



(b) Illustration över ett neuronät med två dolda lager

Figur 3.5: Bilder anpassade från [75].

Beroende på uppgift kan ett neuronät tränas på olika sätt, men samtliga metoder bygger på idén om *bakåtpropagering* (eng. *backpropagation*). Grundidén är att en så kallad *förlustfunktion* (eng. *loss function*) definieras, vilken försöker beskriva en kvantifiering av hur rätt eller fel modellens gissning var. Eftersom varje lager i neuronätet är uppbyggt av en differentierbar transformation så kan parametrarna i varje lager justeras utifrån den beräknade förändring som approximativt optimerar gradienten av förlustfunktionen.

Det vanligaste tillvägagångssättet för att träna ett neuronät är genom en metod kallad *övervakad inlärning* (eng. *supervised learning*). Modellen exponeras då för en stor mängd data, relevant för något specifikt syfte, till exempel att avgöra om en bild innehåller en människa eller inte. Även det korrekta svaret, även kallat *etiketten* (eng. *label*) är känt – i vårt exempel om det faktiskt är en människa i bilden eller ej.

Modellen utför så uppgiften, inledningsvis med slumpmässiga resultat, men får för varje data-

punkt återkoppling där modellens svar jämförs med det rätta svaret, via förlustfunktionen. Denna återkoppling propageras bakåt och de justerbara parametrarna optimeras, lager för lager. På så sätt lär sig successivt modellen vilka särdrag i data som är viktiga för uppgiften, och den blir bättre och bättre på den specifika uppgiften. Generellt sett kan sägas att ju mer data modellen ser, desto bättre blir den på att generalisera till tidigare osedd data.

Då det kan vara dyrt och tidsödande att etikettera stora mängder data så har även andra träningsmetoder utvecklats, till exempel *oövervakad inlärning* (eng. *unsupervised learning*), där modellen själv får bestämma vad som är intressant i datan. De modeller som denna rapport undersöker tränas främst via övervakad inlärning, och vi kommer därför inte att beskriva de andra träningsmetoderna.

3.4.2 Djupinlärning

Djupinlärning (eng. *deep learning*), förkortat DL, är en delmängd av maskininlärning som berör *djupa neuronät* – neuronät med ett stort antal lager och ofta med en summa av hundratals miljoner, ibland till och med hundratals miljarder, justerbara parametrar. Samtidigt som neuronätets främsta styrka kommer tack vare detta stora antal parametrar så är detta också en svaghet. Det finns nämligen ingen möjlighet för en människa att förstå sig på exakt vad alla hundratals miljoner eller miljarder parametrar representerar, och det kan därför vara svårt att förklara varför ett djupt neuronät betar sig som det gör. Det gäller alltså att vara medveten om att beteendet hos ett djupt neuronät måste tolkas varsamt, speciellt i ett SAR-scenario, där mänskliga liv kan stå på spel.

Djupinlärning är alltså sammanfattningsvis en matematisk modell som genom en lärandeprocess lär sig hitta komplexa icke-linjära mönster i stora mängder data, och nyttjar dessa för att lösa fördefinierade uppgifter på ny data inom samma domän.

3.5 Modeller och förmågor

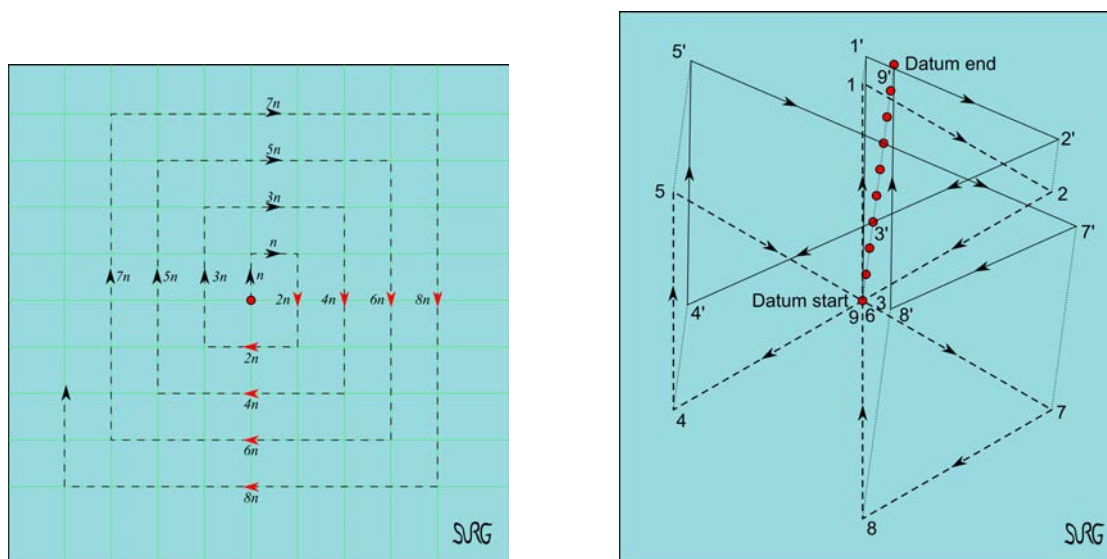
I detta avsnitt kommer några olika typer av modeller och algoritmer som skulle kunna vara av intresse för SAR-domänen att beskrivas. Vissa av de introducerade AI-förmågorna ligger på en högre teknisk nivå än andra och är kanske mer intressanta att utvärdera för tillämpningar med eftersök av människor som fokus.

3.5.1 Sökmönster

Sökmönster åsyftar de metoder som används för att systematiskt eftersöka ett eller flera objekt av intresse i ett sökområde. Sökning kan äga rum i olika domäner, till exempel i stads- eller skogsmiljö, men det är sökning i havsmiljö (både över öppet hav och kustnära) som vi intresserar oss för i detta projekt. Beroende på domän så spelar olika faktorer in i sökningen. Vid sökning till havs så måste till exempel havsströmmar och vind tas hänsyn till [19], medan sökning i terräng i större utsträckning tar hänsyn till exempelvis den eftersöktes beteendeprofil och de geografiska förutsättningarna.

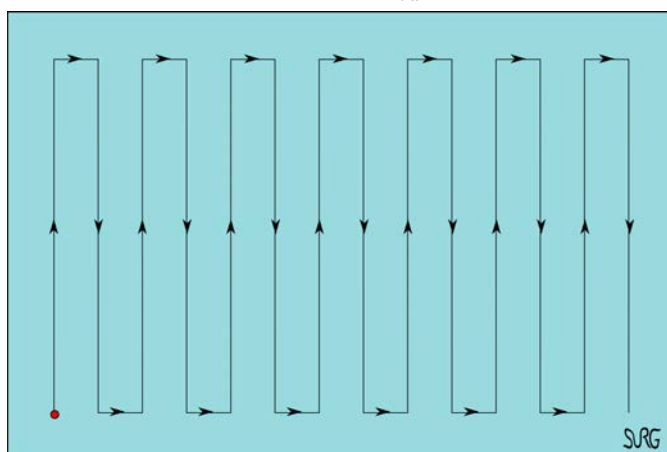
Det existerar ett stort antal etablerade sökmönster som används “manuellt” av räddningssenheter och som går att programmera in i UAV:ers autopilot. Dessa mönster lämpar sig olika bra för olika situationer, till exempel beroende på typen och storleken på sökområdet och sökobjektet, antalet saknade objekt och tillgängliga räddningssenheter, väder, med mera. Några vanliga sökmönster

innefattar *parallel track*, *expanding square*, illustrerad i figur 3.6a, *sector search* illustrerad i figur 3.6b och *creeping line*, illustrerad i figur 3.6c.



(a) Sökmönster expanding square¹

(b) Sökmönster sector search med rörlig datum²



(c) Sökmönster creeping line³

Figur 3.6: Exempel på typiska sökmönster.

Denna typ av sökning kan dock sägas vara icke-dynamisk, då den varken inkorporerar observerad data eller uppdaterar sin sökväg under sökningen. Detta innebär att information som skulle kunna användas för att utföra en effektivare sökning förkastas. Vi är intresserade av metoder som försöker optimera sökprocessen, och ett alternativ till dessa grundläggande sökmönster är därför till exempel *Bayesiansk sökning*, vilket tidigare framgångsrikt har använts för att lokalisera

¹Peter Southwood, CC BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=115170167>

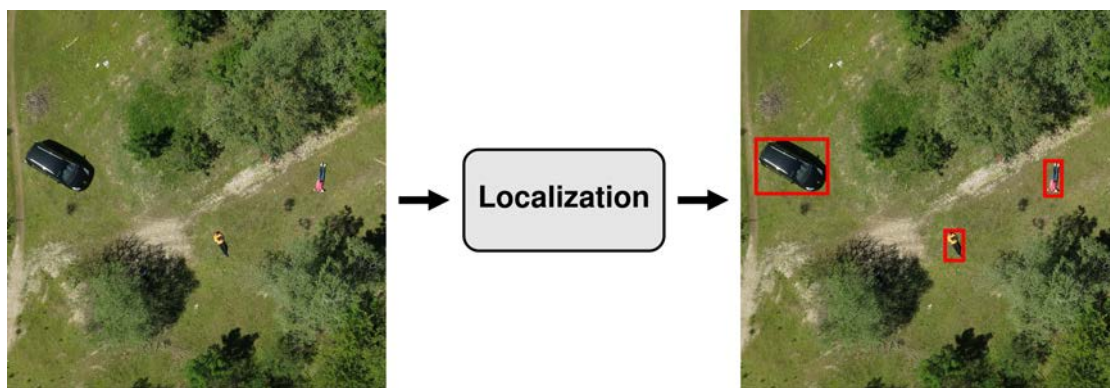
²Peter Southwood, CC BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=115195192>

³Peter Southwood, CC BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=115178885>

saknade flygplan [103] och fartyg [73] över stora sökareor till havs. Denna typ av sökning börjar med en inledande (a priori) gissning, kanske baserad på ett ögonvittne eller annan LKP (Last Known Position), över vilket som är det mest sannolika området att hitta det saknade objektet. Under sökningens gång så eftersöks alltid det mest sannolika området, och baserat på resultatet i det området så uppdateras kartan med hjälp av matematisk teori för optimal sökning, och sökningen fortsätter.

3.5.2 Objektdetektion

Objektdetektion syftar till att *lokalisera* och *klassificera* objekt i bilder. Att lokalisera objekt i en bild innebär att identifiera var i bilden objekt förekommer, vilket exemplifieras i figur 3.7. Att klassificera ett objekt innebär att avgöra vilken typ av objekt en bild föreställer (d.v.s. avgöra vilken klass objektet tillhör), vilket exemplifieras i figur 3.8. En objektdetektor kan med andra ord, givet en bild, tillhandahålla information om var i bilden specifika typer av objekt förekommer. Detta är vad som avses med *objektdetektion* och exemplifieras i figur 3.9.



Figur 3.7: Lokalisering av objekt i en bild. De lokaliserade objekten har markerats med röda lådor. Bildkälla [16].

En modern maskininlärningsbaserad objektdetektor använder sig typiskt av ett djupt neuronät som måste tränas. Exakt vilka typer av objekt som kan detekteras beror således på vilka typer av objekt detektorn tränats på. Den färdigtränade detektorn används i praktiken för att erhålla koordinater, en etikett och ett sannolikhetsvärde för varje detekterat objekt. Koordinaterna definierar en låda (eng. *bounding box*) som omger objektet, etiketten (eng. *class label*) anger vilken typ av objekt som detekterats, och sannolikhetsvärdet anger konfidensen i detektionen (d.v.s. hur säker detektorn är på sin prediktion). I figur 3.9 har exempelvis ett objekt tillhörande klassen “car” detekterats med konfidens 0.78 (78 %) och omgetts med en röd låda.



Figur 3.8: Klassificering av bilder innehållandes varsitt lokaliserat objekt. Varje bild har tilldelats en etikett som anger vilken klass objektet i bilden tillhör. Bildkälla [16].



Figur 3.9: Detektion av objekt i en bild med hjälp av en objekt-detektor som tränats på bilder av bilar respektive människor. Varje detekterat objekt har markerats med en röd låda samt tilldelats en etikett och ett sannolikhetsvärde. Bildkälla [16].

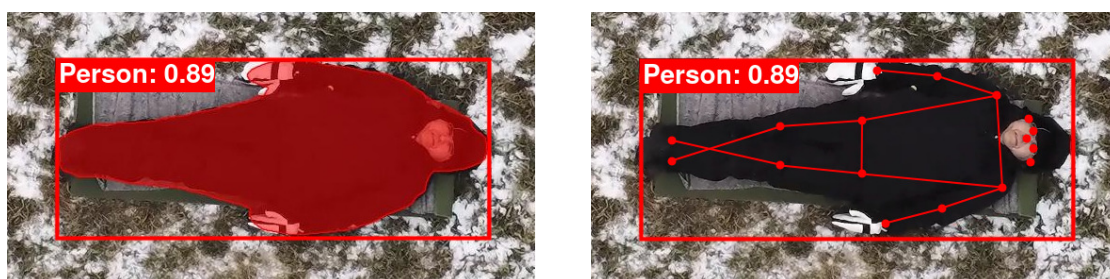
Objekt-detektorer delas ofta in i två grupper: *tvåstegs-detektorer* respektive *enstegs-detektorer*. Tvåstegs-detektorer som exempelvis R-CNN [36], Fast R-CNN [35] och Faster R-CNN [72] utför typiskt lokalisering och klassificering i olika steg. R-CNN använder exempelvis en separat metod för att identifiera bildregioner av intresse (d.v.s. initiala lokaliseringförslag). Därefter används flera olika modeller för att extrahera särdrag från bildregionerna, klassificera dessa samt förbättra lokaliseringförslagen. Många tvåstegs-detektorer ger hög träffsäkerhet, men är relativt långsamma till följd av de olika stegen involverade i detektionsprocessen.

Enstegs-detektorer som exempelvis YOLO [71] (You Only Look Once) använder sig typiskt av en enda modell för att utföra lokalisering och klassificering samtidigt. YOLO-modellen består av ett neuronät som tränats att *direkt* lokalisera och klassificera samtliga objekt i en bild utan några mellanliggande steg (neuronätet har alltså tränats “end-to-end”). Det faktum att YOLO processerar hela originalbilden direkt medför bland annat att det inte finns något behov av tidskrävande klassificering av särdrag extraherade från ett stort antal separat identifierade bildregioner som i fallet med exempelvis R-CNN. Många enstegs-detektorer kännetecknas just av sin förmåga att snabbt processera bilder, men har historiskt sett tenderat att vara mindre träffsäkra än vissa tvåstegs-detektorer. De senaste versionerna av YOLO (YOLOv7 [120] från 2022 och YOLOv8 [44] från 2023) har dock visat sig prestera bättre än samtliga kända objekt-detektorer

i intervallet 5-160 FPS (Frames Per Second), både vad avser träffsäkerhet och förmåga att snabbt processera bilder.

På senare tid har det riktats stort fokus mot att studera och utveckla modeller som kan tolka och resonera kring flera *modaliteter* av data samtidigt (exempelvis en bild med tillhörande textbeskrivning). CLIP [70] är en multimodal modell som givet en godtycklig bild och en godtycklig text kan avgöra hur väl texten matchar bilden. Nyligen har det utvecklats en objekt-detektor kallad Detic [127] som delvis är baserad på CLIP-modellen. Detic kan utföra detektion baserat på godtyckliga textbeskrivningar av objekt. Det är exempelvis möjligt att detektera livbåtar i en bild genom att ge texten “lifeboat” som input till Detic.

Vissa objekt-detektorer kan även användas för instans-segmentering (eng. *instance segmentation*) som innebär att varje enskilt objekts konturer avgränsas mer tydligt än med bara en låda, vilket exemplifieras i figur 3.10a. Slutligen finns det modeller likt KAPAO [56] som är specialiserade på att detektera människor och lokalisera “nyckelpunkter” på kroppen som exempelvis ögonen, näsan, axlarna, armbågarna och höfterna (eng. *human pose/keypoints estimation*). Lokalisering av nyckelpunkter exemplifieras i figur 3.10b.



(a) Segmentering

(b) Nyckelpunkter

Figur 3.10: Detektion, segmentering och lokalisering av nyckelpunkter för en person som ligger på rygg med benen i kors.

3.5.3 Målföljning

Målföljning (eng. *object tracking*) inom datorseende och bildanalys (eng. *computer vision*) refererar till uppgiften att spåra ett eller flera objekt i en sekvens av bildrutor från en video. Målföljningen kan ses som en uppsättning av objekt-detektioner, där initialt ett unikt ID skapas för vart och ett av de upptäckta objekten. Målföljningsalgoritmen försöker sedan spåra vart och ett av objekten, när de rör sig runt i bildrutorna i videon, och bibehålla ID-tilldelningen.

Det finns olika tillvägagångssätt för målföljning. De mer traditionella metoderna fokuserar på att extrahera särdrag (eng. *features*) i varje bildruta och använda dessa särdrag för att söka efter objektet i efterföljande bildrutor. Detta tillvägagångssätt fungerar sämre om ett föremål ändrar utseende, till exempel på grund av ocklusion eller skaländring i bildrutan. För att övervinna dessa problem kan objekt-detektering kombineras med objektspårning; detta tillvägagångssätt kallas spårning genom detektion (eng. *tracking by detection*). Mer specifikt lokaliserar objekt-detektorn objekten i varje bildruta, och objektspåraren fokuserar på att associera varje detekterat objekt genom efterföljande bildrutor.

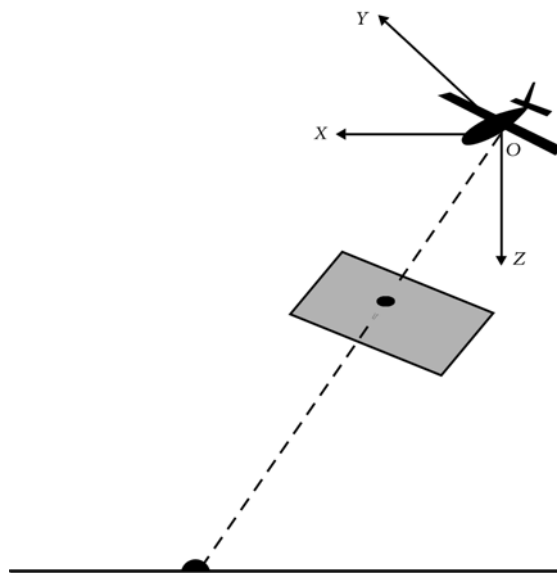
Målföljning skulle exempelvis kunna användas för att räkna antalet personer i en videosekvens. Detta eftersom varje person tilldelas ett unikt ID som förblir kopplat till personen i fråga, för-

utsatt att målföljningsalgoritmen presterar väl. Antalet ID-nummer skulle då motsvara antalet unika individer i sekvensen. Om målföljning inte används skulle istället varje person betraktas som en ny unik person i varje bildruta där personen förekommer. Målföljning kan även vara intressant ur andra aspekter. Det skulle exempelvis kunna användas för att minska antalet felaktiga detektioner genom att kräva att ett objekt detekteras och bibehåller sitt unika ID-nummer under ett visst antal bildrutor, t.ex. minst fem stycken, innan detektionerna betraktas som legitima. Om avsikten t.ex. bara är att upptäcka just människor i UAV-bilder skulle det vara möjligt att motverka att en detektor, som bara tränats på människor, i sällsynta fall detekterar andra objekt likt stenar. Detektorn måste nämligen, i vårt exempel, detektera en och samma sten minst fem gånger i följd innan detektionerna betraktas som legitima, vilket gör det möjligt att sälla bort enstaka felaktiga detektioner i en videosekvens.

3.5.4 Positionering

Det finns olika metoder för positionering av mål, det vill säga de detekterade objekten. En metod är användningen av laseravståndsmätare, som med hjälp av en terrängkarta kan erhålla den geografiska positionen för den punkt som laserstrålen lokaliserat. Detta görs genom att skicka ut en kort laserpuls från enheten till objektet och mäta tiden det tar för pulsen att reflekteras tillbaka till enheten. Genom att multiplicera den tiden med ljusets hastighet kan avståndet beräknas med hög precision. Givet riktningen av laseravståndsmätaren, dess geografiska position och terrängkarta med höjdkurvor kan målets geografiska position beräknas. Denna metod kräver att luftfartyget är utrustat med en laseravståndsmätare.

En annan metod är positionering av det detekterade objektet med hjälp av koordinaterna för respektive bounding-box i kamerabilden, drönarens geografiska position (longitud, latitud och altitud), kamerans riktning och kamerans egenskaper, det vill säga dess horisontella och vertikala synfält (den horisontella och vertikala vinkeln som kameran kan täcka i sitt synfält).



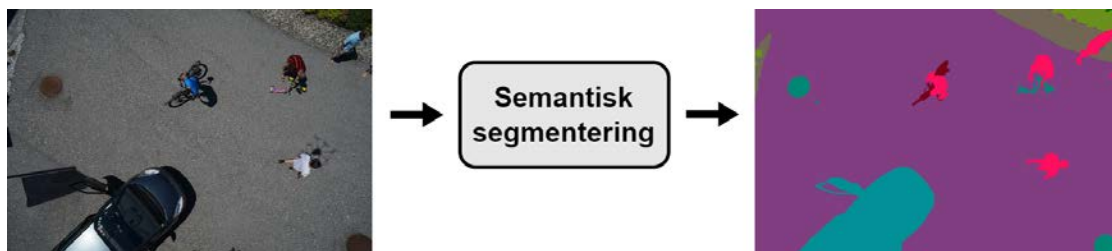
Figur 3.11: Visionsbaserad positionering av ett objekt med hjälp av koordinaterna av objektets bounding-box i bilden, luftfartygets geografisk position och kamerans egenskaper.

För att detta ska fungera behöver man göra en förenkling och anta att terrängen är platt eller åtminstone att det område på marken där objektet ligger är nästan i samma höjd som det område som luftfarkosten flyger över. Med andra ord fungerar denna metod relativt bra på havsytan och slät mark med en jämn terräng eller få höjdvariationer.

Figur 3.11 är en schematisk illustration av hur ett objekt och dess projicering på en bild är relaterad till luftfarkosten. Givet koordinaterna för detektionen på bilden, luftfarkostens höjd och kamerans egenskaper kan objektets position relativt luftfarkosten bestämmas. Den relativa positionen med avseende på drönaren kan sedan omvandlas till objektets absoluta geografiska position.

3.5.5 Semantisk segmentering

Semantisk segmentering är en metod som avser att dela upp en bild i segment, delar, bestående av objekt och saker, vilket exemplifieras i figur 3.12. Ett objekt är en väldefinierad entitet i en bild som går att räkna, exempelvis människor, fordon eller byggnader. Saker avser icke-objekt i bild, exempelvis himmel, vägar och vatten [49]. Bilden segmenteras genom att varje pixel klassificeras utifrån dess semantiska betydelse. Att klassificera en pixel innebär att avgöra vilken klass av objekt eller saker i bilden som pixeln tillhör [125].



Figur 3.12: Semantisk segmentering av bild. Varje pixel i bilden är färgkodad utifrån dess klasstillhörighet. Bildkälla [109].

Att segmentera en bild ger en fördjupad förståelse av innehållet av samtliga delar av en bild. Det kan exempelvis föredras framför objekt-detektering när de intressanta områdena inte går att rama in i en enkel box eller när det är viktigt att veta de exakta avgränsningarna mellan klasserna i en bild. I semantisk segmentering separeras inte enskilda objekt som tillhör samma klass.

Idag består oftast moderna maskininlärningsmodeller för semantisk segmentering av djupa neuronät som tränas på stora mängder data. En genombrottsmodell inom semantisk segmentering var FCN som kom 2015 [51]. Många andra modeller har kommit därefter, som baseras på grundprinciperna av FCN, men som introducerar nya koncept i modellarkitekturen för att förbättra segmenteringen. Dessa innefattar bland annat SegNet [12], DeepLab [20, 21] och PSPNet [126]. På senare tid har nya typer av modeller, som istället hämtat inspiration från modellarkitekturen i stora språkmodeller, blivit uppmärksammade. Exempel på sådana modeller är SegFormer [122] samt Mask2Former [22].

Dessa modeller tränas på stora datamängder av bilder där varje bild har sin korresponderande segmenterade bild där varje pixel har tilldelats en klass. Den tränade modellen lär sig då att segmentera nya bilder utifrån de klasserna av objekt och saker de har sett under träning.

I verkligheten finns det dock en större mängd av klasser än vad som oftast får plats i ett träningsdataset. Därför riktas idag forskning inom semantisk segmentering mot öppen uppsättning (eng. *open set*) samt öppen vokabulär (eng. *open vocabulary*). I öppen uppsättning är målet att träna modeller som kan segmentera objekt eller saker som inte tillhör den uppsättning av klasser modellen har sett under träning. I öppen vokabulär däremot är målet istället att modellerna ska kunna klassificera med nya klassnamn som inte tillhör den vokabulär av klassnamn som fanns i träningsdatat.

Många multimodala modeller siktar på att uppnå öppen uppsättning samt öppen vokabulär semantisk segmentering. En multimodal modell tar in data från olika typer av källor (modaliteter), exempelvis text och bild, för att uppnå en djupare förståelse av datat.

Ett exempel är Segment Anything Model (SAM) [47], som kan segmentera valfritt föremål i en bild med hjälp av en uppmaning, (eng. *prompt*), i form av punkter på och rektanglar runt föremålet. Modellen har tränats med målet att få en generell förståelse för hur objekt och saker i bilder segmenteras och kan därför segmentera nya klasser den ej sett under träning.

GroundingDINO[50] är en multi-modal modell för objekt-detektering som kombinerar bilder och text. Modellen har tränats på stora datamängder med tusentals textfraser med associerade objekt i bilder. Resultatet är en modell med en generell förståelse för hur texter hör ihop med olika bildobjekt.

Både SAM och GroundingDINO är så kallade grundmodeller (eng. *foundation model*) som har tränats på stora mängder data med bred variation. En grundmodell kan sedan finjusteras till specifika ändamål genom ytterligare träning. Exempelvis kan en förtränad GroundingDINO finjusteras till att prestera bättre på att detektera objekt i skärgårdsmiljöer genom att tränas ytterligare på sådant data.

GroundedSAM är en kombination av GroundingDINO och SAM med målet att kunna detektera samt segmentera valfritt föremål i en bild med hjälp av en textfras. Figur 3.13 visar på hur modellen kan segmentera personer utifrån angiven karaktäristik.



Figur 3.13: Objektdetektion och segmentering utförd av GroundedSAM modellen. Utifrån uppmaningen “*person wearing a blue shirt*” detekterar och segmenterar modellen de två personerna med blåa tröjor och tilldelar dem ett sannolikhetsvärde. Bildkälla [109].

Både SAM och GroundingDINO är i dagsläget nya modeller som först publicerades i april samt mars år 2023. Då de har en lägre mognadsgrad än singel-modala modeller kräver de ytterligare utvärdering för att bedöma deras robusthet och tillförlitlighet innan de kan användas praktiskt. Forskning om multi-modala modeller för att uppnå öppen uppsättning och öppen vokabulär inom

semantisk segmentering är ett aktivt område. I framtiden kan vi förvänta oss framsteg i form av nya modeller och förbättrade förmågor.

3.6 Utvärderingsmått

I detta avsnitt presenteras ett antal vedertagna utvärderingsmått som kan användas för att kvantifiera hur väl modeller och algoritmer presterar avseende några av de AI-baserade förmågor som beskrivits i avsnitt 3.5. Specifikt presenteras mått som kan användas för att utvärdera objekt-detektorer och positioneringsalgoritmer.

3.6.1 Utvärderingsmått för objekt-detektion

Måtten som presenteras nedan används ofta för att utvärdera många typer av modeller avsedda för olika ändamål. Här förklaras hur måtten används för att mäta hur väl objekt-detektorer presterar.

Precision och täckning

Precision och *täckning* (eng. *recall*) utgör några av de vanligaste måtten för att utvärdera bland annat bildklassificerare och objekt-detektorer. Varje mått antar ett värde mellan 0 och 1, där ett högre värde innebär bättre prestanda. Nedan presenteras formeln för respektive mått [53]:

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP}$$

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN}$$

För en objekt-detektor anger TP antalet sanna positiva detektioner (d.v.s. antalet korrekta detektioner som faktiskt föreställer ett objekt som är av intresse), FP antalet falska positiva detektioner (d.v.s. antalet inkorrekta detektioner som föreställer irrelevanta objekt eller annat som inte borde detekteras) och FN antalet falska negativa (d.v.s. antalet objekt som är av intresse men inte har detekterats). Givet detta framgår det av formlerna att *precision* anger hur stor andel av samtliga detektioner som faktiskt är korrekta, medan *täckning* (recall) anger hur stor andel av alla objekt av intresse som faktiskt har detekterats.

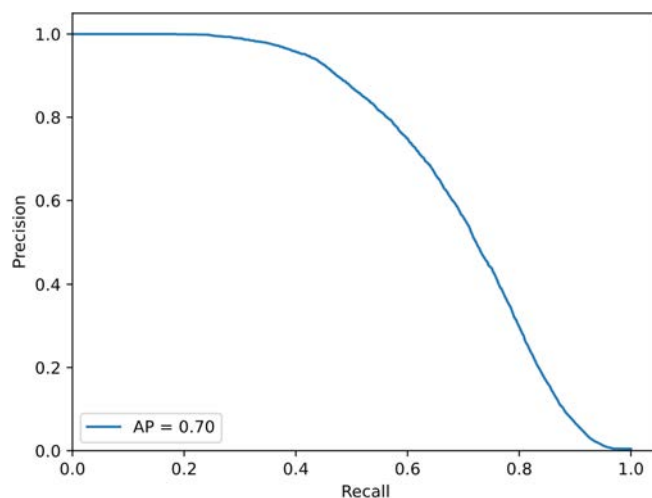
Average Precision (AP-värde)

Det är viktigt att vara medveten om att det så kallade *konfidenströskelvärdet* påverkar uppmätt precision och täckning. Som förklarats i avsnitt 3.5.2 tilldelar en objekt-detektor ett konfidensvärde mellan 0 och 1 (d.v.s. 0 till 100 %) till varje detektion. Detta värde anger hur säker detektorn är på sin prediktion. Tröskelvärdet specificeras i sin tur av användaren och kan anta ett värde mellan 0 och 1 (d.v.s. 0 till 100 %). Tröskelvärdet anger det lägsta konfidensvärde som krävs för att en detektion skall returneras av detektorn. Exempelvis medför tröskelvärdet 0.75 att alla detektioner med konfidens lägre än 0.75 (75 %) förbises. Detta är praktiskt användbart eftersom det gör det möjligt att filtrera bort detektioner av irrelevanta objekt som (förutsatt att detektorn tränats korrekt och fungerar som tänkt) tenderar att ha lägre konfidens än detektioner av objekt som är av faktiskt intresse. Notera att tröskelvärdet kan ändras fritt *efter* att detektorn tränats (d.v.s. en och samma detektor kan användas och utvärderas med olika tröskelvärden).

Om tröskelvärdet är väldigt högt kommer precisionen i sin tur bli hög eftersom detektorn endast returnerar de detektioner som har allra högst konfidens, vilket (förutsatt att detektorn fungerar som tänkt) tenderar att vara detektioner av objekt som är av intresse. Andelen av alla detektioner som faktiskt är korrekta blir med andra ord hög. Det höga tröskelvärdet medför dock att täckningen blir låg eftersom vissa detektioner av intresse aldrig returneras då de har för låg konfidens. Andelen av alla intressanta objekt som faktiskt detekteras blir med andra ord låg. På liknande sätt medför ett väldigt lågt tröskelvärde att precisionen blir låg medan täckningen blir hög. Täckningen blir hög eftersom i princip alla detektioner av intresse hamnar över konfidenströskelvärdet och returneras, medan precisionen blir låg eftersom många oönskade detektioner med låg konfidens också hamnar över tröskelvärdet.

Det finns inget givet optimalt värde på konfidenströskelvärdet. Vilket tröskelvärde som bör användas beror dels på hur precision kontra täckning värdesätts, dels på miljön detektorn avses användas i. Det är rimligt att anta att i ett scenario där en detektor t.ex. används på UAV-bilder tagna i en innehållsrik skärgårdsmiljö krävs ett högre tröskelvärde för att filtera bort många oönskade detektioner jämfört med ett scenario där samma detektor används på UAV-bilder tagna över ett relativt tomt och platt gräsfält.

Det kan med andra ord vara begränsande att enbart förlita sig på precision och täckning som utvärderingsmått; åtminstone om bara ett enda fixt konfidenströskelvärde används. *Average Precision (AP)* är ett utvärderingsmått som inte kräver att ett förvalt konfidenströskelvärde specificeras [53]. AP-värdet beräknas genom att plotta en PR-kurva (eng. *precision-recall-curve*) med precisionen på y-axeln och täckningen på x-axeln [53]. Förenklat erhålls AP-värdet genom att beräkna arean under kurvan [53], där ett högre AP-värde innebär bättre prestanda (AP-värdet kan vara mellan 0 och 1)⁴. I figur 3.14 visas hur AP-kurvan kan se ut för en relativt högpresterande detektor.



Figur 3.14: AP-kurva för en relativt högpresterande objekt-detektor med AP-värde 0.7.

AP-kurvan plottas med hänsyn till konfidenströskelvärdet som hela tiden sänks [65]. Tröskelvärdet går alltså successivt från att vara väldigt högt till väldigt lågt, vilket som tidigare förklarats

⁴I detta avsnitt förklaras hur Average Precision beräknas för en enskild klass, d.v.s. när avsikten endast är att detektera objekt tillhörande *en* specifik klass. För att utvärdera en detektor på flertalet klasser måste Average Precision först beräknas för varje enskild klass, varefter ett medelvärde beräknas över klasserna.

innebär att täckningen ökar successivt i takt med att fler detektioner av intresse returneras. Samtidigt minskar precisionen eftersom även oönskade detektioner börjar returneras när tröskelvärdet blir lägre, se figur 3.14. Precisionen och täckningen beräknas (och plottas) för varje nytt tröskelvärde. En högpresterande detektor som tilldelar hög konfidens till detektioner av intresse (och låg konfidens till oönskade detektioner) kommer fastän täckningen ökar kunna upprätthålla hög precision relativt länge. Detta medför att arean under PR-kurvan blir stor, vilket ger ett högt AP-värde.

En perfekt detektor med AP-värde 1 kommer alltså tilldela högre konfidensvärde till samtliga objekt av intresse jämfört med oönskade objekt. Detta innebär att det i praktiken för varje scenario går att hitta ett konfidenströskelvärde som medför att detektorn returnerar samtliga relevanta objekt och filtrerar bort samtliga irrelevanta objekt.

3.6.2 Utvärderingsmått för positionering

Medelavvikelsen mellan de uppmätta och de verkliga positionerna kan användas som ett mått på noggrannheten hos positioneringsmetoden. Medelavvikelsen (ME) beräknas enligt formeln

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i,$$

där n är antalet mätningar och x_i är avvikelsen mellan den uppmätta och den verkliga positionen för mätning nummer i . En mindre medelavvikelse indikerar en mer exakt mätning.

Standardavvikelse av felen används för att beskriva spridningen eller variationen av felen från de verkliga positionerna. Standardavvikelse av felen beräknas enligt formeln

$$SD = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - ME)^2},$$

där n , x_i och ME är definierade enligt tidigare. En mindre standardavvikelse indikerar mer enhetliga mätningar, medan en större standardavvikelse indikerar att mätningarna varierar mer från det förväntade värdet.

Kapitel 4

Metod

I detta kapitel beskrivs de valda metoderna för att studera och analysera huvudforskningsfrågan med tillhörande underfrågor, se avsnitt 1.2. Metoderna syftar till att besvara frågan: *Hur kan obemannade luftfartyg och AI användas för att förbättra aktörsgemensamma eftersök av nödställda personer vid sjö- och flygräddningsinsatser?* Först togs scenarier fram för att ge en kontext till de behov som finns samt de experiment som behöver genomföras. Sedan presenteras en skiss över processen för ett UAS med AI-stöd som kan användas för eftersök och lokalisering av nödställd. Denna skiss används för att ge ingångsvärden till avsnitten som handlar om metodval för utprovning och utvärdering av luftfartyg- och AI-system. Slutligen beskrivs den valda metoden för utvärdering av förväntningar och teknisk mognadsgrad.

4.1 Scenarier

Scenarier är framtagna för att beskriva hur ett ärende kan se ut vid efterforskning och lokalisering med en strävan att förmedla en lägesbild till räddningsenhet, insatsledning samt räddningscentral [58].

Sjöfartsverket har tagit fram två scenarier baserat på vanligt förekommande fall från historiskt data över sjö- och flygräddningsärenden [58]. Scenarierna har används för att samla in data, beskriva den potentiella förmågan för UAS med AI-stöd samt för praktiskt genomförande av scenarion vid experimentella tester och demonstration.

4.1.1 Scenario A – Sökinsats efter person i statligt vatten

Ett första scenario beskriver efterforskning som sker under dag och natt efter person i vatten¹, inom ett sökområde i havsmiljö med uthållig UAV. I scenen finns olika objekt som personer i olika åldrar och kön, med och utan flytväst/överlevnadsdräkt, enbart flytväst, medvetlös och simmande, olika kroppstemperaturer och vrakdelar [58]. Scenariot kan utspela sig enligt följande exempel:

1. Ett stort sökområde med försvunnen farkost minimum 50x50 NM
2. Begränsat sökområde 1 med eventuell ledtråd och AIS- transponder har slocknat. Dieselolja finns på koncentrerat område, vrakgods och PIW etc. på en yta om cirka 5x5 NM

¹Sjöräddningsterm på nödställd som befinner sig i vattnet.

3. Begränsat sökområde 2 med många ytenheter och handelsfartyg. Person har inte setts ombord på 1,5 h, vid larm och sökområdet är cirka 20x2 NM

Följande delmoment kan ingå [58]:

- Person med och utan flytväst
- Person med olika kroppstemperaturer
- Olika väder, vind, våg och strömförhållanden
- Dager och mörkerförhållanden
- Olika vattenområden och terrängtyper (öppet hav, skärgård, insjö, vattenbryn, klippskrevor, på öar, grunda vikar)
- Samordning med sökande ytenheter (och flygande enheter)

4.1.2 Scenario B – Sökinsats luftfartyg över land och vatten

Det andra scenariot beskriver efterforskning som sker under dag och natt. En lägesrapport efterfrågas från känd position från en nödsändare på land med UAV snabbt på plats. I scenen finns objekt som; havererat flygplan med varm motor, vrakdelar, eld, oljespill, olika åldrar och kön på personer, medvetlös och gående/sittande. Scenariot kan utspela sig i olika storlek på sökområden med och utan aktiverad ELT. Följande delmoment kan ingå [58]:

- Luftfartyg med känd position med en fastmonterad nödsändare (ELT) eller en personlig nödsändare (PLB) eller okänd position.
- Olika typer/storlekar av luftfartyg
- Olika temperaturer på luftfartygets delar
- Olika väder, vind, våg, strömförhållanden
- Dager och mörkerförhållanden
- Olika vattenområden (öppet hav, skärgård, insjö)
- Olika terrängtyper (skog, öppen mark, snötäckt terräng, is, fjäll)
- Samordning med sökande ytenheter

4.2 Framtida läge för AI-understödd UAS

Det framtida läget för UAS med AI-stöd finns dels beskrivet i avsnitt 1.1 där det anges att UAS med AI-stöd förväntas leda till snabbare lokalisering, bättre lägesbild och ökad säkerhet för de inblandade. Tekniken ska även kunna användas som komplement till olika räddningsenheter när dessa inte finns tillgängliga, eller är förhindrade på grund av till exempelvis dålig väderlek eller vid en allt för riskfylld operation i samband med insatsen. Projektet behövde identifiera, fokusera och avgränsa förmågebehoven genom att ta reda på "Vilka förmågor vore önskvärda för att ett intelligent UAV-system ska vara användbart?". Därför genomfördes en workshop, se bilaga B, med samverkansorganisationer inom SAR i Sverige. Det gjordes baserat på framtagna scenarier, se avsnitt 4.1. Det resulterade i en bred variation av behov och krav som prioriterades till sensorförmåga, analys och UAV-hårdvara, se prioriteringslista B.3.3. Trots det kvarstod det

en viss otydlighet kring vilka behov och krav tekniken bör ha. Flera insatser gjordes i form av intervjuer och ytterligare workshops för att konkretisera behoven.

- Workshop med Sjöfartsverket, Lunds universitet, Västerviks kommun, Polismyndigheten, RISE, Försvarmakten, MSB, Storstockholms brandförsvare samt Totalförsvarets forskningsinstitut för att definiera förmågor 2022-09-15, se bilaga B.
- Intervju med JRCC, Sjöfartsverket för att definiera potentiell förmåga 2022-09-28 [90].
- Workshop med SAR-systemledning, Sjöfartsverket för att definiera potentiell förmåga 2023-01-30 [97].
- Workshop med SAR-aktörer, Sjöfartsverket, SSRS, MSB, Räddningstjänst, Polismyndigheten och Kustbevakningen för att fastställa potentiell förmåga 2023-04-05 [100].

Med avstamp från samtliga insatser kunde projektet ta fram uppgifter som en UAS med AI-stöd skulle utvärdera baserat på tidigare prioritering. Samtidigt delades UAS med AI-stöd i två kategorier för att täcka olika behov. Den ena kategorin avser ett enklare begränsat system som opererar lokalt, kallat "lokal resurs" eller "lokal UAS med AI-stöd". Medan det andra är ett mer utökad och avancerat system som kan verka nationellt, kallat "nationell resurs" eller "nationell UAS med AI-stöd". Dessutom tog projektet fram en design för att beskriva vilka delar som måste finnas för en UAS med AI-stöd, vars delar som skulle undersökas i projektet.

Tillsammans utgör uppgifter för och design av lokal och nationell UAS med AI-stöd det framtida önskade läget som en resurs inom sjö- och flygräddningstjänst.

4.2.1 Uppgifter för UAS med AI-stöd

Uppgifter som har identifierats vid workshops och intervju som anges i avsnitt 4.2 är följande;

1. Ge en lägesbild från luftfartyg över position [89, 90]
2. Genomföra systematiskt sök med autonomt system [97]
3. Genomföra bildtolkning för att detektera objekt åt operatör, se bilaga B
4. Målfölja objekt i varierad och svår miljö [97]
5. Utgöra relästation för ökad räckvidd till radiokommunikation [97]
6. Kunna transportera utrustning, se bilaga B
7. Kommunicera med nödställda eller räddningsorganisationen, se bilaga B

4.2.2 Lokal UAS med AI-stöd

Befintliga räddningsresurser utrustas med UAS med AI-stöd där stödet från AI syftar på möjlighet till hjälp med sensordataanalys, ej för flygoperativa ändamål. De flesta sjöräddningsärenden sker inom 2 Nm från kusten. Operatören behöver ha SAR-kompetens för att kunna genomföra systematiska sök inom synhåll med stöd av automation. Bildtolkningsanalys med stöd av AI sker inte ombord på UAS. Dessa obemannade luftfartyg ska vara av enklare slag och lätta att använda för en sällananvändare och bör klara relativt hårt väder. Systemet ska användas kustnära, i bebyggelse, i svåråtkomlig miljö som vindkraftsparker, se avsnitt 2.1.5 och från en befintlig resurs, exempelvis båt, bil eller svävare som finns hos en nuvarande SAR-aktör. Operatören är ordinarie personal på SAR-resurs [97, 100].

Den lokala resursen ställer relativt låga krav på hastighet, flygtid och nyttolast. Krav för denna resurs är istället högre avseende automation och möjligheten att operera den med minimala personella resurser.

4.2.3 Nationell UAS med AI-stöd

En nationell UAS med AI-stöd ska ha förmåga att operera i ett stort och avlägset sökområde bortom synhåll där bildanalys sker ombord. Stödet från AI syftar på möjlighet till hjälp med sensordataanalys, ej för flygoperativa ändamål. Ett sökområde kan sällan vara upp mot 50x50 Nm, snarare ca 5x5 Nm eller mindre. Det obemannade luftfartyget ska ha en lång räckvidd för att kunna ta sig långt ut till havs eller långt ut från tätbebyggt område inom svensk räddningsregion. Den bör ha en markstation som går att placera ut vid behov runt om i Sverige. Denna typ av system finns sannolik hos någon aktör inom SAR med personal och utrustning dimensionerat för 24/7 verksamhet [100].

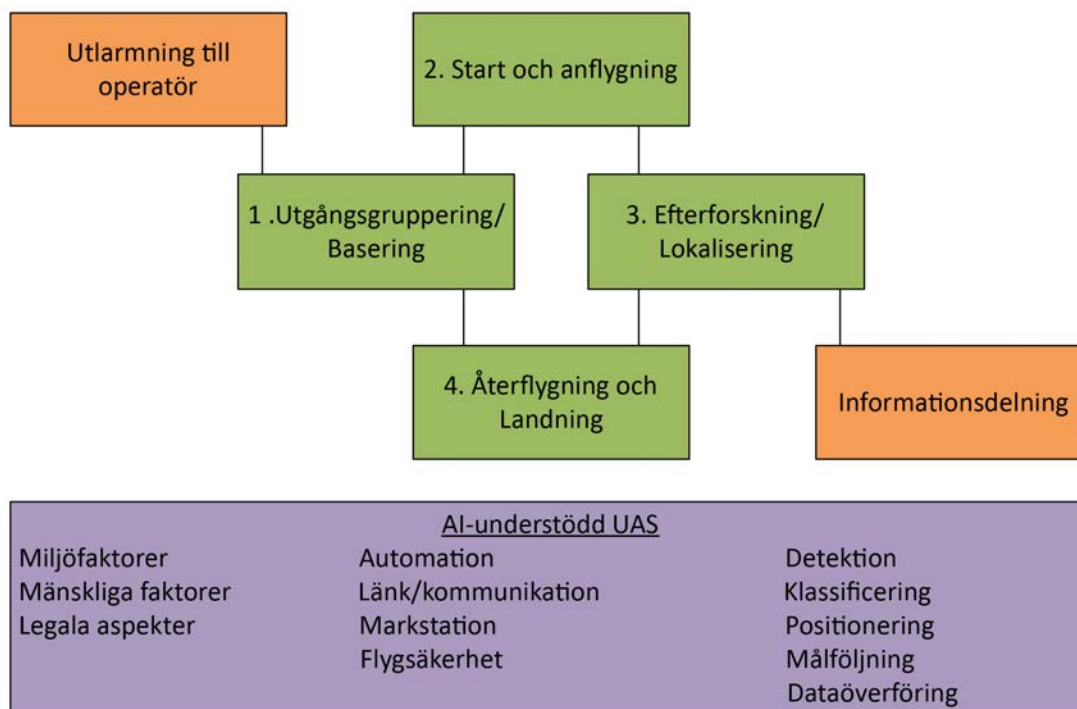
Den nationella resursen ställer höga krav på framför allt flygtid och men även kapacitet till att bära nyttolast. Automation och personella resurser är av mindre fokus än för lokal förmåga.

4.2.4 Design av UAS med AI-stöd

Figur 4.1 visar en design av UAS med AI-stöd för att beskriva vilka delar som behöver undersökas för att en UAS med AI-stöd ska kunna operera vid ett eftersök och lokalisering av nödställd. Det beskriver hur teknik ska inriktas på funktionalitet för att verka i SAR-systemet. Det ställer krav på vilken teknisknivå samt under vilka förutsättningar som väder och miljö systemet ska kunna verka i [59].

För specifika förmågebehov om funktionskrav, tekniska krav, miljökrav, materialbeständighet, support, underhåll och utbildning, se bilaga F och bilaga G.

Ingångsvärdet för en UAS med AI-stöd är att den kan larmas ut. Systemet behöver en markstation för utgångsgruppering vid basering som kan transporteras fram till utgångsläge för sökinsats. Det innebär att obemannat luftfartyg ska ha en kort start-/inställelsetid för att påbörja en uppgift, där den kan starta för att anflyga ett sökområde och genomföra ett eftersök. En UAS ska kunna verka, inom och utom synhåll och kunna kommunicera från svåråtkomliga platser där sjö- och flygräddningsärenden kan förekomma. Den ska vara utrustad med sensorer lämpade för SAR-ändamål och kunna ge sig till känna i andra ledningssystem, genom att exempelvis bära en AIS-transponder. En UAS behöver kunna balansera fart, uthållighet och nyttolast till uppgiften. Det kan handla om att snabbt komma ut till olycksplats för att ge en lägesbild eller kunna flyga länge för att söka av ett område. Flera obemannade luftfartyg kan även komma att avlösa varandra [90]. Vid ett eftersök kan UAS använda AI-modeller för att analysera och tolka bild. Det kan vara automation för ett specifikt sökmönster eller dataanalys för att detektera objekt. En UAS med AI-stöd ska kunna dela information vidare till i första hand operatör, men även andra räddningsenheter, insatsledning och räddningscentral. Information ska levereras effektivt och högupplöst genom en realtidsöverföring av bild eller videoström från UAS till markstation. Vid avslutat uppdrag ska UAS med AI-stöd återflyga och landa på markstation och återgå till utgångsgruppering vid basering [58].

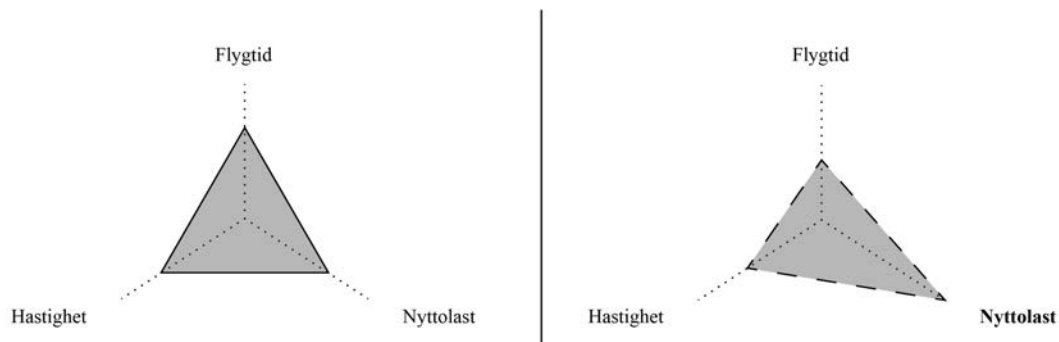


Figur 4.1: Design av AI-understödd UAS

4.3 Metod för val av obemannat luftfartygssystem

För att utvärdera hur UAS kan komplettera befintliga system för Sjö- och flygräddning som en resurs för att förbättra eller effektivisera har följande mål satts: Öka säkerheten, minska kostnaderna, minska tiden och minska miljöpåverkan. Utifrån dessa mål har ett antal UAV med olika egenskaper och prestanda utvärderats. Då det inte finns en UAV som uppfyller alla krav blir det en avvägning av egenskaper där tre prestanda lyfts fram: Hastighet, Flygtid och Nyttolast. Dessa tre prestandaområden ger det obemannade luftfartygets dess huvudsakliga egenskaper. Beroende på vilket eller vilka behov som är prioriterade används ett ändamålsenligt obemannat luftfartyg. En förskjutning av triangelns egenskaper kan till viss del göras inom ett och samma luftfartyg. Exempelvis kan flygtiden ökas genom att reducera sensorvikten och istället öka batterikapacitet eller där en ökad nyttolast sker på bekostnad av såväl minskad flygtid som hastighet, se figur 4.2.

Ett luftfartygs prestandafördelning kan medföra lämplighet för olika typer av förmågor inom ramen för sjö- och flygräddning. En kombinationen av olika UAV:er kan möjliggöra en utökad förmåga då olika prestandaytterligheter kan koordineras i olika luftfartyg. Exempelvis kan en UAV, med hög hastighet men kort flygtid, ta sig till en plats för att samla in den första relevanta datan. Den kan kompletteras med en UAV som anländer senare men har lång flygtid som kan förmedla kontinuerlig data från samma plats under en längre tid. Dessa förmågor, tillsammans med förmågor hos vald AI, har i detta projekt kategoriserats till "lokal UAS med AI-stöd" samt "nationell UAS med AI-stöd", se avsnitt 4.2.2 och 4.2.3.



Figur 4.2: Visualisering av ett obemannat luftfartygs tre huvudsakliga prestandaområden. I figuren till höger framgår att en ökad nyttolast sker på bekostnad av minskad flygtid och sänkt max hastighet

En undersökning av marknaden genomfördes, färdiga UAV-lösningar innebar väldigt höga kostnader. Därför valdes en väg med framtagande av olika koncept för utvärdering och inköp av grundplattformar som sedan integrerades för att fungera optimalt mot de förmågor som projektet valt att fokusera på.

Under projektets första halva diskuterades olika typer av prov- och försöksfarkoster för SAR UAS där slutsatsen var att ingen farkost är lämplig för alla aktörer eller behov men att det var lämpligt att prova multirotor, fastvinge samt VTOL.

Valet av farkoster för experiment var således ett resultat av en kompromiss mellan önskvärda förmågor, krav på teknik för att uppfylla förmågor för lokal och nationell resurs samt operativa krav från regelverket för flygning av UAS.

4.3.1 Markstation

Under projektets tester och demonstrationer användes i huvuddrag två typer av system för markstation. Den ena låst av tillverkare och den andra baserad på öppen källkod för insyn och möjlighet till modifikation.

Vid flygning med multirotor nyttjades ett kommersiellt slutet system i en handkontroll där alla funktioner var integrerade med ruttplanering, manuell styrning och övervakning av sensordata. Med kabel kunde videoström skickas till separat enhet för analys med AI-modeller och algoritmer.

För fastvinge och VTOL användes en markstation uppdelad på tre system för kommunikation. Vardera systemen nyttjar ofta helt separerade radiolänkar men länkarna kan i vissa fall vara integrerade. Separata länkar bidrar med redundans men ökar också komplexiteten för användaren och att separera frekvenser kan vara en utmaning.

1. Telemetri: En markenhet, exempelvis bärbar dator, som är trådlöst ansluten till UAV för övervakning på karta där också flygdata som höjd och hastighet visas. Kommunikationslänken av telemetridata baserades på det öppna protokollet MAVLink [3] vilken kommunicerar med ett UAV-styrssystem baserat på ArduPilot [2] alternativt PX4 [4].
2. Kontroll: En styrenhet för manuell input där grad av automation kan styras. Beroende på automationsnivå under flygningen behövde denna utrustning inte nyttjas.

3. Video: För orientering och sök utvärderades både analoga system som är öppna och okrypterade samt digitala system som kan krypteras och ofta är operatörslåsta. I den strömmande videon publicerades också valda delar av telemetridata.

För att hantera de separerade delsystemen i markstationen gjordes en uppdelning av roller vid markstation:

- Pilot Flying (PF): Skötte handenhet med automationsnivå och tog del av video i realtid. PF ansvarade också för operationen som Pilot in Command (PIC).
- Pilot Monitoring (PM): Övervakade flygningen på karta och HUD [5]. PM assisterade PF vid start med kast/övervakning och vid landning med områdesanalys. PM hade också möjlighet att ändra nivå av automation.

Inför flygtesterna gjordes simuleringar med SIL (Software-In-The-Loop) [6] programvara, detta för att spara tid och minska risker vid flygningar. Följande funktioner utvärderades genom simulering innan flygtester:

- Markstationens programvara samt firmware i UAV.
- Contingency- och Failsafe-funktioner som
- GeoZone-funktioner
- Uppdragsplanering, operativa procedurer och checklistor

Genom flygprover testas:

- Contingency- och Failsafe-funktioner
- GeoZone-funktioner
- Uppdragsplanering, operativa procedurer och checklistor

4.3.2 Länk/kommunikation

Under projektets gång har både integrerade länkar till färdiga multirotorprodukter samt ett urval av länkar på komponentnivå utvärderats. Utvärderingen har inletts med konfiguration i labbmiljö. För att utvärdera tillförlitlighet och räckvidd har UAV-flygningar kombinerats med att placera utrustning i bemannat flyg. I val av radiolänkar har faktorer som effekt, frekvens och pulskvot beaktats gentemot regelverk från PTS [68]. Detta för att utvärdera när direktlänkar mellan markstation och UAV är tillräckliga och när andra alternativ, exempelvis mobilnät, är att föredra.

Traditionellt sett har frekvenserna 2.4 GHz och 5.8 GHz dominerat marknaden för kommunikation mellan markstation och UAV. Dessa frekvenser används inom andra teknikområden vilket medför att tillförlitlighet och skalbarhet kan begränsas för UAS. Radiolänkar inom WiFi-bandet är tillräckligt för flygningar inom synhåll men för flygningar bortom synhåll är det nödvändigt med andra frekvenser, ökad användningscykel samt högre uteffekt, vilket kräver tillstånd från PTS.

- Korträckviddiga länkar – 2.4/5.8 GHz fungerar för VLOS C2 men inte BVLOS. Utvärdering av olika kommunikationssystem för BVLOS
- Mellanräckviddiga länkar – utprovning av 868 MHz för att utvärdera om 868 MHz går att använda för command & control för BVLOS.

- Långräckviddiga länkar – utprovning av olika radiofrekvenser för C2 för avstånd bortom 40 km.
- Antennalternativ – utprovning av olika patch- och dipolantenner för att öka räckvidden.

4.4 Metod för val och utvärdering av AI-modeller

För att välja ut och utvärdera lämpliga AI-modeller har en systematisk litteraturstudie genomförts, vilken beskrivs i följande avsnitt. Denna har gett ingångsvärden till de AI-modeller som har nått högst teknisk mognadsgrad och som kan vara av värde inom SAR-domänen. De framtagna scenarierna, beskrivna i tidigare avsnitt, se avsnitt 4.1, har även belyst behovet av geografisk positionering av detekterade objekt.

4.4.1 Systematisk litteraturstudie

Med avsikt att få en bild av de maskininlärningsmodeller som skulle kunna vara lämpliga att använda i en SAR-situation såsom beskrivs i scenarierna i avsnitt 4.1 har en systematisk litteraturstudie genomförts. Denna har sedan legat till grund för de modeller och förmågor inom analys som projektet valde att fokusera på för att utvärdera mognadsgrad och lämplighet.

En systematisk litteraturstudie utgår från en frågeställning som i detta fall har varit kopplad till den frågeställning som projektet haft som utgångspunkt, se avsnitt 1.2: *Hur kan obemannade luftfartyg och AI användas för att förbättra aktörsgemensamma eftersök av nödställda personer vid sjö- och flygräddningsinsatser?* Med avstamp från frågeställningen bestämdes ett antal nyckelord² som spänner upp sökrymden, se tabell 4.1. Med kombinationer av nyckelorden genomförs sedan lämpliga forskningsdatabaser, i detta fall *Web of Science* och *ArXiv*. Dessa båda databaser valdes ut då de dels samlar majoriteten av den publicerade forskningen inom områden som kan antas vara relevanta för detta projekt samt dels nydanande och rykande färsk forskning inom maskininläring som i vissa fall ännu inte hunnit genomgå en granskning av andra forskare.

Söksträngarna sattes samman genom att använda “OCH” mellan två eller flera av grupperna, och “ELLER” mellan orden. Resultatet blev en stor mängd strängar som följer mönstret:

$$((\$Planning OR (\$Target AND \$Sensing)) AND \$UAV AND \$Scenario)$$

En instantierad sträng kan då se ut som följer: (“search pattern” OR (object AND localisation)) AND “unmanned aerial vehicle” AND “search and rescue”. Söksträngarna matchas mot innehållet i de vetenskapliga artiklarna och efter att alla sökningar genomförts hade över 4200 vetenskapliga artiklar, bokkapitel och konferensbidrag hittats. En gallringsprocess tog sedan vid där artiklarna sållades baserade på inkluderings- och exkluderingskriterier. Exempel på exkluderingskriterier är papper som:

- publicerats före 2017 eller som är skrivna på annat språk än engelska
- huvudsakligen handlar om kommunikation, nätverk eller att använda UAV:er som basstationer
- huvudsakligen handlar om kemi, satelliter, eller endast gör simuleringar

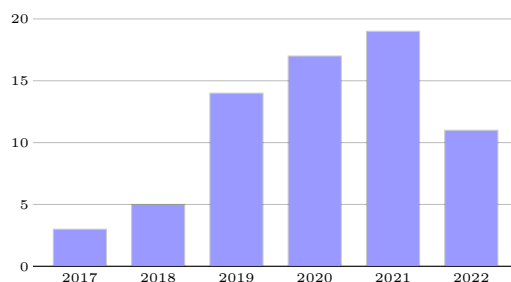
Efter en hård och iterativ gallringsprocess återstod endast 69 stycken papper där en tydlig uppåtgående trend i publiceringsgrad kunde tydas, se figur 4.3. Denna uppåtgående trend skulle kunna

²Då vi avgränsade oss till forskning publicerad på engelska är alla nyckelord och söksträngar också på engelska.

Tabell 4.1: Sammanfattning av använda nyckelord, grupperade i teman. Då sökningen sker på engelska är nyckelorden också på engelska.

Group name	Terms
Scenario	“mass casualty incident”, MCI , “search and rescue”, SAR, emergency, emergencies, disaster, disasters, crisis, crises, accident, accidents
Target	object, human, anomaly
Sensing	localisation, localization, detection, recognition, segmentation, tracking, tracing, positioning
Planning	“path planning”, “route planning” or “search pattern”
UAV	“unmanned aerial vehicle”, UAV, “unmanned aerial system”, UAS, “autonomous aerial vehicle”, AAV, “remotely piloted aircraft system”, RPAS, “remotely piloted vehicle”, RPV, “vertical take-off and landing”, VTOL, drone

tyda på att det blir allt mer intressant att använda UAV:er och UAS för SAR, masskades scenarier eller katastrofsituationer.



Figur 4.3: X-axeln visar de utvalda vetenskapliga artiklarna sorterade i enlighet med publiceringsår. Sökningen utfördes under juni 2022 och således är år 2022 ej komplett. Y-axeln visar antalet.

Av de 69 stycken framsållade papper var den stora majoriteten inriktade på objekt-detektionsuppgiften (51 st). Andra uppgifter som förekom var: positionering (13 st), målföljning (10 st), lokalisering/segmentering (10 st), sökning (8st), klassificering (6st). Flera papper behandlade mer än en uppgift. Fördelningen med den stora slagsidan mot objekt-detektion pekade på att det var det område som hade högst teknisk mognadsgrad samt var av störst intresse inom SAR.

4.4.2 Objekt-detektion

Vid genomförandet av litteraturstudien som finns beskriven i avsnitt 4.4.1 framgick att objekt-detektion är det vanligaste förekommande AI-baserade stödet som under de senaste åren utnyttjats i arbeten relaterade till detta projekt. Tillgången på *annoterad* träningsdata som är relevant för projektets scenarion är även något mindre begränsad för objekt-detektorer jämfört med t.ex.

modeller för anomalidetektion eller segmenteringsmodeller för oljespill och dylikt. Båda dessa aspekter bidrog till valet att primärt fokusera på objekt-detektion. En AI-modell för detektion av personer i UAV-bilder³ har tränats specifikt för detta projekt och därefter utvärderats på egeninsamlad UAV-videodata (modellen har internt benämnts som "Johanna").

Det var nödvändigt att träna en egen detektor eftersom majoriteten av de dataset som publika välkända detektorer tränats på främst innehåller tillrättalagda bilder som inte tagits från UAV:er. Dessa förtränade detektorer kan således inte förväntas prestera lika bra vid analys av UAV-bilder; framförallt inte på högre höjder där både kameravinkeln och den begränsade objektstorleken är utmanande. Detektorerna är helt enkelt inte tränade att hantera väldigt små objekt i bilder/videosekvenser som inhämtats med UAV:er högt över marknivån.

Det krävs ofta tusentals bilder för att framgångsrikt träna en egen objekt-detektor. Bilderna måste dessutom vara anmarkerade; d.v.s. för varje bild måste en människa manuellt markera var exakt olika objekt förekommer genom att för varje objekt specificera fyra koordinater som formar en bounding-box kring objektet. Det är därför rimligt att använda färdigmarkerade publika dataset som kan laddas ned från internet. Det finns relativt stora publika dataset innehållandes UAV-bilder på RGB-format (termiska bilder är svårare att hitta). För detta dataset är det dock vanligt att endast klassen "person" är anmarkerad. Objekt-detektorn som använts under projektet har därför, som ett "proof-of-concept", enbart tränats att detektera personer i RGB-bilder. Det finns dock principiellt inga hinder att träna en detektor som klarar av att hantera flera olika klasser, utöver "person", förutsatt att lämplig träningsdata finns att tillgå.

Den färdigtränade detektorn användes sedan på en markstation (bärbar dator) för att analysera videodata som skickades i realtid från UAV:er till markstationen. Målet var att detektera nödställda personer som hade placerats ut i relevanta och varierade scenarier. Detektorn utvärderades även kvantitativt på videomaterial som inhämtats och anmarkerats manuellt under projektet. Eftersom anmärkingen utgjorde ett sorts facit var det möjligt att mäta exakt hur väl detektorn presterade på det insamlade videomaterialet.

Läsaren hänvisas till avsnitt 5.3.1 för utförliga detaljer avseende detektorarkitektur, träningsdatamängd, utvärderingsdatamängd och tillvägagångssätt för att träna detektorn och mäta dess prestation.

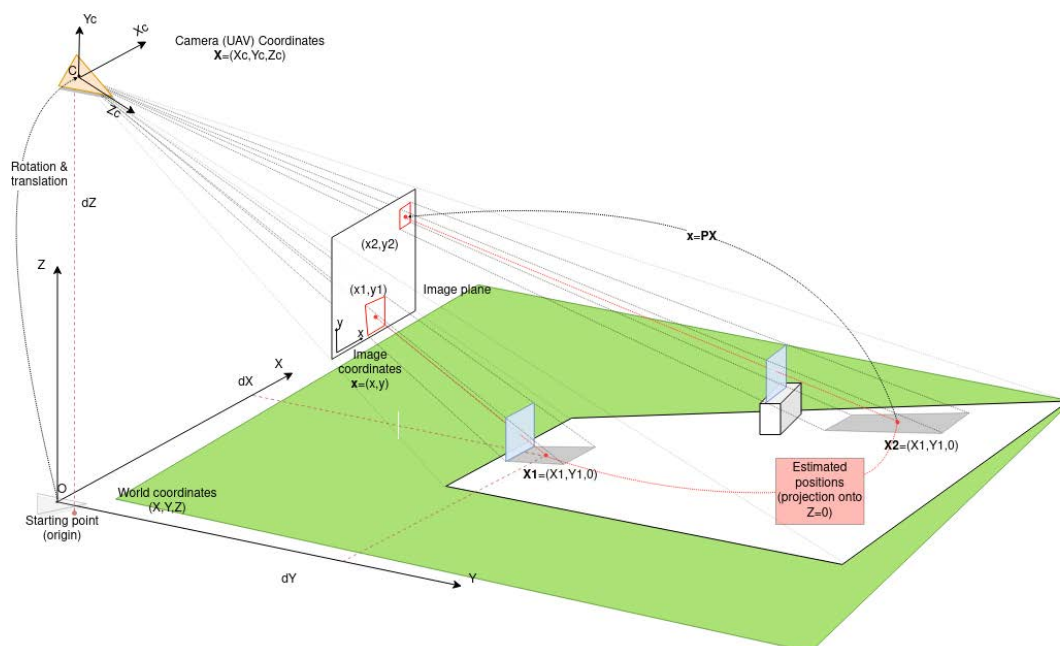
4.4.3 Positionering

För att göra positioneringen av objekt oberoende av förekomsten av laseravståndsmätare, som endast finns med i mer avancerade system, valde projektet en visionsbaserad positioneringsmetod. En visionsbaserad positioneringsmetod förlitar sig bland annat på UAV-kamerans exakta synfält. Detta värde är inte alltid given i UAV-specifikationen och måste i sådant fall bestämmas experimentellt, t.ex. genom att mäta ytan som kameran täcker när den placeras horisontellt framför en vägg. Detaljerna av experiment för beräkning av kamerans synfält är angiven i avsnitt 5.3.2.

När UAV-kamerans parametrar har beräknats och med den aktuella positionen och riktningen för UAV:en som givna variabler, är det möjligt att bestämma den specifika markplatsen som korresponderar till en given pixel i kamerans bild. Figur 4.4 illustrerar hur koordinaterna för centrum av två detekterade objekt i bilden med beteckningar (x_1, y_1) och (x_2, y_2) används för att beräkna motsvarande markkoordinater $(X_1, Y_1, 0)$ och $(X_2, Y_2, 0)$ i ett koordinatsystem förankrat

³Notera att en modell som tränats att analysera bilder också kan användas till att analysera video eftersom en video väsentligen är en sekvens av bilder.

vid markytan, med origo vid UAV:ns startpunkt. Dessa markkoordinater transformeras därefter till geografiska positioner för de observerade objekten.



Figur 4.4: Objektens koordinater i koordinatsystemet (X, Y, Z) härleds från koordinaterna av de upptäckta objekten i bildens koordinatsystem (x, y) .

4.5 Metod för utvärdering av förväntningar och teknisk mög- nadsgrad

För att mäta relationen mellan förväntningar och uppfattningar inom ett område används en metod som kallas för gap-analys. Metoden utgör ett verktyg för att beräkna avståndet mellan en aktuell position i förhållande till önskad situation. Genom att identifiera avståndet (gapet) mellan rådande nuläge och det framtida önskade läget, genereras en uppfattning om vad som bör förändras för att åstadkomma önskad målbild. Baserat på denna uppfattning kan sedan lämpliga rekommendationer formuleras och åtgärder implementeras för att överbygga de två lägena. Åtgärderna behöver vara konkreta i sin utformning, relaterade till faktorer som anses relevanta i gap-analysen och faktiskt möjliga att implementera. För att nå dit krävs analys av faktiska förmågor, identifiering av idealiskt läge och konkretisering [39].

Den huvudsakliga målsättningen med projektet SAR UAS är att effektivisera räddande av liv och miljö vid sök- och räddningsinsatser (SAR) i svenska förhållanden kopplade till sjöincidenter. Genom att utnyttja lämplig teknik vid räddningsaktioner önskar projektet med hjälp av UAS och självlärande system (AI) göra räddningsinsatser säkrare och mer effektiva. UAS och AI förväntas användas för att förbättra aktörsgemensamma eftersök av nödställda personer, bidra med snabbare lokalisering, skapa en bättre lägesbild och öka säkerheten för inblandade. Resultaten vid projektets tester ska även kunna användas som komplement till olika räddningsenheter när dessa inte finns tillgängliga, eller är förhindrade p.g.a. dålig väderlek eller bedöms riskfyllda. För att

formulera rekommendationer och identifiera avståndet mellan nuläget och det framtida önskade läget i projektet kommer en gap-analys att genomföras där en nulägesanalys tas fram baserad på den överhängande frågan: “vad kan vi idag?”. Även frågeställningen “vad vill vi kunna?” besvaras för att beskriva vilket idealläge som projektet stävar efter. Vidare kommer vidtagna åtgärder presenteras och lämpliga rekommendationer formuleras.

Förenklat kan en gap-analys brytas ner till tre steg. I det första steget utgår arbetet från den nuvarande situationen i det tilltänkta område som gap-analysen ska appliceras på, i det här fallet användandet av UAS och AI vid sök- och räddningsinsatser (SAR) i svenska förhållanden kopplade till sjöincidenter. Det är helheten som ska analyseras med utgångspunkt från vilka tekniska lösningar som används och efterfrågas. Identifiering av den idealiska situationen baserat på konkreta målsättningar utgör det andra steget i gap-analysen. Detta steg genomsyras av realistisk kreativitet i syfte att identifiera verksamhetens framtida önskade läget. I projektet behöver den övergripande målsättningen brytas ner och exemplifieras. I detta steg sker ett arbete där åtgärder vidtas. I det tredje och avslutande steget ska själva gapet identifieras och rekommendationer formuleras för hur gapet ska överbryggas i syfte att nå verksamhetens uppsatta målsättningar.

4.5.1 Metod för datainsamling

Till grund för att utföra gap-analysen kommer empiri att samlas in med hjälp av tidigare beskrivna metoder. Detta i kombination med enkäter med utvalda personer inom sjö- och flygräddningstjänst (SAR) i svenska förhållanden kopplade till sjö- och flygräddningsärenden.

4.5.2 Enkäter

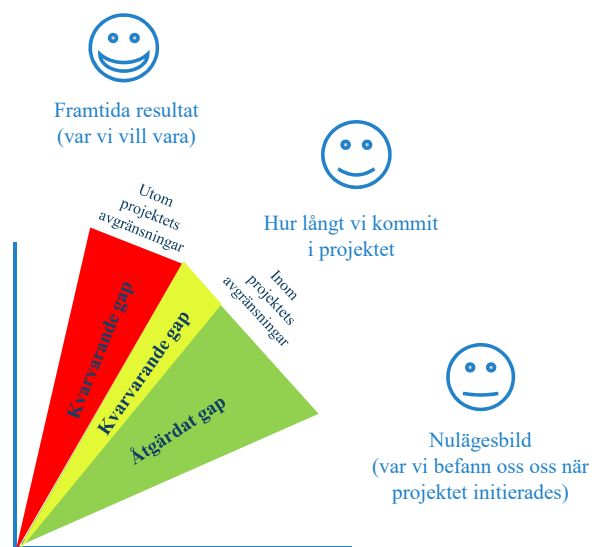
Enkäter är ett metodval som lämpar sig för att skapa en kartläggning över ett specifikt forskningsobjekt vid en specifik tidpunkt [17]. I syfte att generera mätbar data över projektets intressenters åsikter användes två digitala enkäter med tillhörande diskussioner i samband med projektets slutgiltiga demonstration. Urvalet för enkäterna bestod av demonstrationens deltagare och målgrupp, det vill säga utvalda personer inom sjö- och flygräddningstjänst (SAR) i svenska förhållanden kopplade till räddningsärenden. De som besvarade enkäterna var till största mån samma individer som under projektets gång bidragit med önskemål på förmågor och uppgifter. Den första enkäten skickades ut inför demonstrationen och var utformad för att ge deltagarna möjlighet att prioritera de förmågor och uppgifter som utlovats inom projektet. De fick därmed möjlighet att prioritera sina tidigare önskemål utifrån vad de ansåg mest respektive minst prioriterat. Då det övergripande syftet med gap-analysen är att identifiera avståndet (gapet) mellan rådande nuläge och framtida önskat läge användes den andra enkäten för att generera data över hur väl projektet lyckats vidta åtgärder för att nå det önskade framtida läget enligt projektets intressenter.

Fördelen med att genomföra enkäter i anslutning till demonstrationen var att det möjliggör, utan hög administrativ belastning, snabb och effektiv insamling av både kvantitativ och kvalitativ data. I denna studie önskar resultatet från enkäterna kompletteras och jämföras med den kvalitativa data som litteraturgenomgången syftar till att generera samt de resultat som framkommit vid genomförda flygtester. Vidare utgör enkäter ett bra medel för att replikera vid ett senare tillfälle, exempelvis med ett annat eller större urval. Det skapar möjlighet att genomföra jämförelser av resultaten [17].

Insamlad data bör bedömas som åsikter då endast ett femtontal personer besvarade enkäterna. Insamlad empiri ska därmed inte betraktas som representativt för vad hela SAR UAS verksamheten anser utan endast ett kvalificerat urval av medarbetare inom området.

4.5.3 Analysmetod

För att skapa en överskådlig bild av gap-analysens material bör en uppdelning genomföras för att framställa mer lätthanterliga och mindre avsnitt, inte minst i detta projekt där den övergripande målsättningen måste brytas ner och exemplifieras. I vägledningen från MSB publicerad 2020 [59], föreslås en analysmodell som belyser en tänkt lösning ur tre olika och kompletterande perspektiv: människa (M), teknik (T) samt organisation (O). I begreppet människa ingår alla de personer som arbetar med systemet, nyttjar data från systemet eller på annat sätt påverkas av systemet. Begreppet teknik omfattar den teknik som används. Begreppet organisation omfattar alla former av struktur, såsom lednings- och befälsförhållanden, metoder, riktlinjer, rutiner, styrning och samverkansformer. Inom ramen för detta projekt är det huvudsakligen teknik som kommer att analyseras relaterat till beskrivningen av rapportens avgränsningar, se avsnitt 1.3. Med resultat från de experimentella testerna och gap-analys kan slutsatser och rekommendationer dras över vilka effekter UAS med AI-stöd kan ha inom sjö- och flygräddningstjänst. Figur 4.5 gestaltar gap-analysens fördelning mellan nuläget och det önskade framtida läget. Det gap som visas är det som åtgärdats (grönt) i förhållande till det som kvarstår (gult och rött).



Figur 4.5: Gap-analys där förhållandet mellan nuvarande och framtida läge gestaltas.

Kapitel 5

Experiment

Experiment har genomförts gällande UAS och AI-förmåga, samt hur dessa kan samverka. Inom projektets ramar har flygtester gjorts för att utvärdera egenskaper hos skilda UAV-typer. Sensor-data har också utvärderats för att fastställa funktion för AI-modeller. En ambition har varit att få en heltäckande bild av hur skilda UAV-typer kan nyttjas. Detta för att utvärdera en bredd av möjliga resurser. Med dessa resurser har datainsamling genomförts. Målet med datainsamlingen har varit utvärdering av AI-modeller, initialt i laborationsmiljö, men även live med momentan bildöverföring för att testa AI-modellernas förmåga att identifiera önskade objekt.

5.1 Iscensättning av scenarier

Projektet var i behov av testdata för att utvärdera AI-modeller utifrån valda scenarion. Det fanns testdata över personer och objekt i landmiljö som kan efterlikna scenario 2 – sökinsats luftfartyg över land och vatten. Däremot fanns det väldigt lite bilddata över personer och objekt i havsmiljö. Därmed blev projektet tvunget att ta fram ny data för personer och objekt i vatten för att efterlikna scenario 1 – sökinsats av person i statligt vatten. Projektet genomförde datainsamling den 23-25 november vid Sjöfartsverkets utbildningsverksamhet på Arkö.

Med utgångspunkt från de två scenarierna som beskrivits i avsnitt 4.1, etablerades en fiktiv olycksplats uppbyggd på land och i skärgårdsmiljö. Detta gjordes för att ge piloter möjlighet att testa tekniken och flyga UAS med AI-stöd. På den fiktiva olycksplatsen har olika föremål placerats ut som kan förväntas finnas i enlighet med valda scenarion. Projektet genomförde två tester. Dagliga flygtester genomfördes i Ljungbyhed under perioden 22-25 maj 2023. Ett NOTAM publicerades av flygtrafikledning som även hanterade övervakning av luftrummet för att säkerställa flygsäkerheten. Annan flygtrafik tilläts inte samtidigt under pågående UAS-flygning. Den 22-24 augusti 2023 uppehöll projektet sig på Arkö i öppen klass. Projektet testade operationella flygningar, dataöverföring när piloterna skulle flyga i söksområdet med olika uppgifter som exempelvis i olika sökmönster beskrivet i IAMSAR, på olika höjder, höjd och hastighet för att testa tekniken.

För att efterlikna realistiska förhållanden för scenario A - Sökinsats av person i statligt vatten, PIW, så långt möjligt etablerades en fingerad skadeplats med ett definierat söksområde. Här placerades olika objekt ut både i vattnet och på land. Realistiska dockor placerades ut strand nära och under ytan. Även verkliga personer användes i vatten med överlevnadsdräkt och på land med

vanliga kläder.

För att efterlikna scenario B - Sökingsats luftfartyg över land och vatten, ett haveri från ett luftfartyg användes samma område som i scenario A men här användes fler verkliga personer på land. Dessa personer var klädda i vanliga kläder eller överlevnadsdräkter. Några rörde sig på olycksplatsen medan andra låg stilla. Vrakdelar fanns utplacerade i sökområdet.

I planeringen av projektet identifierades flera möjliga testplatser som Drone Center Sweden i Västervik [23]. Sjöfartsverkets utbildningsverksamhet på Arkö samt Ljungbyhed. Trots Västerviks testbädd med tillfälliga restriktionsområden med möjlighet att flyga utom synhåll upp till 2100 fot över marknivå så blev det ett dyrare alternativ med logi, personal och hyra. Istället såg projektet det som en fördel att vara vid Sjöfartsverkets utbildningsverksamhet på Arkö för tester då platsen gav tillgång till material för iscensättning av SAR-scenarion och tillgång till lokaler och personal som kunde stötta denna typ av tester. Vidare förlades tester till Ljungbyhed där möjligheten till ett övervakat luftrum var en fördel för utprovning av olika UAS-system. Projektet såg Västerviks testbädd som reservplats om Arkö eller Ljungbyhed inte var tillgängliga.

En realistisk testbana för UAS med förutsättning att motsvara valda scenario togs fram. Figur 5.1, visar en kartbild över hur banan såg ut vid test tillfället på Arkö. Exemplet på banan var en rak bana med en definierad början och slut. Farkosten ska max vara 500 meter från sin befälhavare och befälhavaren ska ha en plats med uppsikt över UAV och visuella referenser för start- och slutpunkter.

Testbanan ska ha utrymme för befälhavaren att kunna variera sin färdväg för att kunna rikta sensor i olika riktningar samt variera sitt avstånd, fart och höjd i förhållande till objekten, relevant för tabellvärden avseende möjliga upptäcktsavstånd och POD/POS¹. Det var viktigt att banan var förlagd i en miljö med varierad vattenyta, grynnor, strandkanter såväl slät som kuperad samt att det var en låg förekomst av fritidsbåtar i området. Det skulle finnas möjlighet att testa i dag och mörkerförhållanden. Objekt var valda och utplacerade med, hög sannolikhet att kunna kopplas till att en olycka skett, att med viss sannolikhet inte bedömas kopplas till att en olycka skett, samt objekt som anses avvika från det normala för omgivningen oavsett olycka. De olika objekten finns redovisade i tabell 5.1 Lista över objekt, som användes vid testerna på Arkö. Objekt i vatten var förankrade både för säkerhet som för hög noggrannhet i utvärdering av UAS-registrering. I figur 5.2 finns bild på de utplacerade objekten.

Det krävdes insamling av stora datamängder för att samla variation av data som olika objekt, dockor samt levande människor på land och i vattnet som leder till ett lyckat eftersök som modellen skulle kunna tränas på.

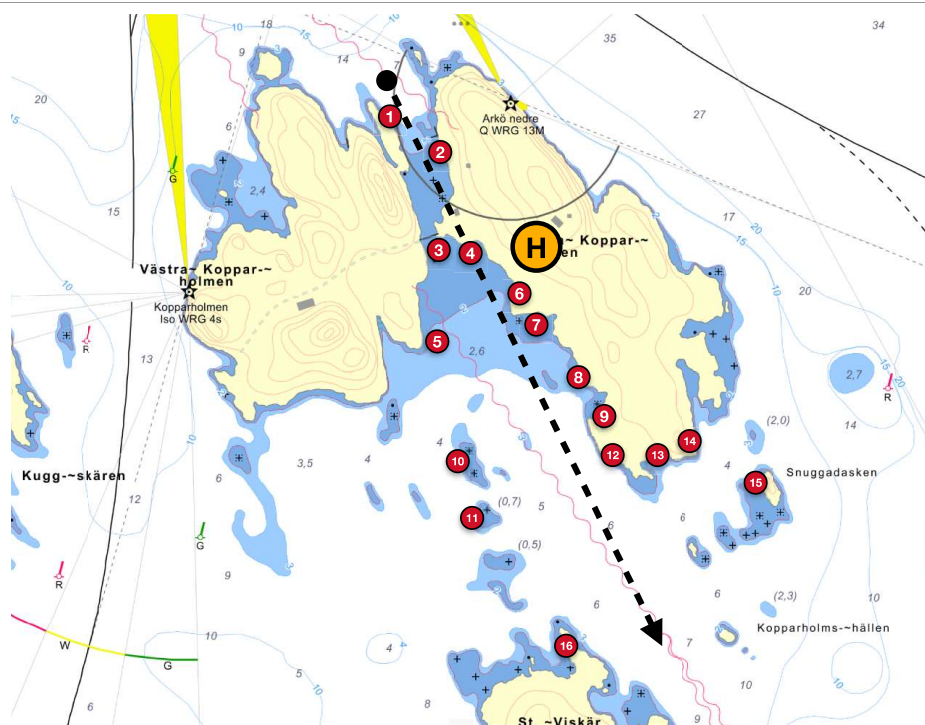
5.2 Experiment med UAS

Flygprov har genomförts med olika typer av UAS för att undersöka vad som krävs för att genomföra identifierade uppgifter i en SAR-operation. Presentationen av flygproven görs enligt processkissen för UAS med AI-stöd som beskrivs i avsnitt 4.2.4.

5.2.1 Valda UAV till flygprov

Under projektets gång har ett antal UAS-plattformar utvärderats för att matcha de scenarion som satts upp som prioriterade vid sjöräddning. I arbetet att hitta lämplig plattform för re-

¹Begrepp inom sökplanering och utvärderingsfaktorer. Probability of detection, POD. Probability of success, POS.



Figur 5.1: Karbild över testbana med position på placerade objekt

spektive scenario har en studie gjorts av både befintliga *off the shelf*-produkter och olika typer av helt eller delvis egenutvecklade UAS. En undersökning av marknaden genomfördes, färdiga UAV-lösningar innebar väldigt höga kostnader. Därför valdes en väg med framtagande av olika koncept för utvärdering och inköp av grundplattformar som sedan, av TFHS integrerades, för att fungera optimalt mot de förmågor som projektet valt att fokusera på. Alla luftfartyg är flygtekniska kompromisser för att lösa ett speciellt behov inom ramen för definierade förutsättningar. Med anledning av projektparters olika behov, regelkrav och ekonomiska ramar skapades en gallringsprocess för att fortsätta processen med utgångspunkt från projektets syften och prioriterade förmågor.

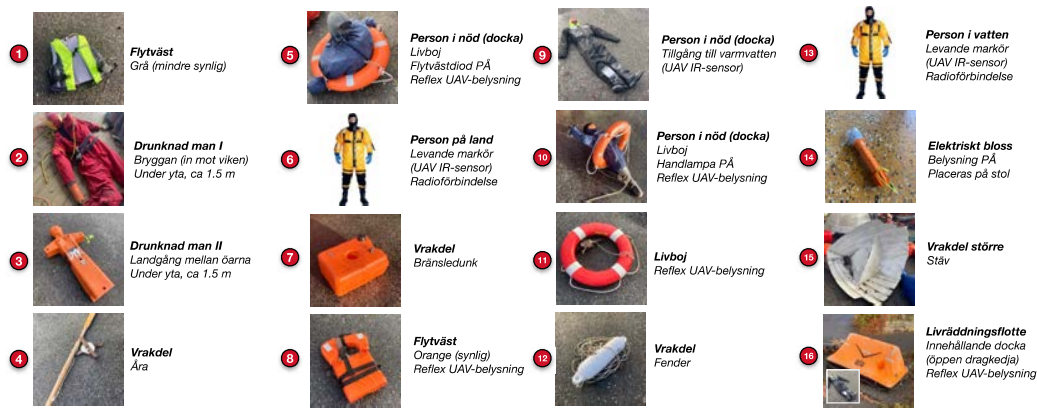
Design- och verifikationsprocessen användes även vid delar av test och evalueringsarbetet under utveckling och integrering av delsystem i UAV:er under projektet. Gallringsprocessen har sin grund i guiden ARP4754A [77] som innehåller riktlinjer för utvecklingsprocesser av flygplanssystem och behandlar utvecklingscykeln från krav till verifisering. Utvecklingsprocessen har sin grund i initial luftvärdighet för det bemannade flyget. Detta blev därmed normgivande vilket begränsade antalet lämpliga kandidater där nio olika UAV:er slutligen användes. I tabell 5.4 specificeras vilka samt dess maxvikt, maxfart, max nyttolast och max uthållighet.

Tabell 5.1: Lista över objekt som användes under Arkö-testerna

Scenario 1 - Objekt för sökinsats av person i statligt vatten, PIW	Scenario 2 - Objekt för sökinsats av luftfartyg över land och vatten
1. PIW: docka med ljus och mörk klädsel	11. POL (Person on land); docka med blandad färgsättning placerad bakom klippta/sten
2. PIW: med värmeutstrålning. Kan utgöras av levande person	12. POL; docka med mörk klädsel ihopkrupen med begränsad synbarhet
3. PIW: med rörelse, kan utgöras av levande person	13. POL; levande med värmeutstrålning samt svag rörelse
4. Åra 1-2 st	14. Diverse föremål på land som kan härledas till flyghaveri
5. Bensindunk	15. Nöd ljus: på land med svag ljuskälla
6. Flytväst 1-3 st	16. Objekt med svag värmeutstrålning
7. Jacka mörk	
8. Mössa	
9. Trä, lös durk, toft del eller annat vrakgods som indikerar att kunna härledas till båt	
10. Nödljus; flytande	

Tabell 5.4: Tabell över UAV:er och dess specifikationer

#	Namn	Typ	Vikt (kg)	Fart (m/s)	Nyttolast (kg)	Uthållighet (min)
1	Penguin BE	FV	21.5	35	6.6	110
2	Dragonfly	FV	1	30	0.15	40
3	Dolphin	FV	1.4	35	0.25	60
4	Timber	FV	2	15	0.25	15
5	AYK 250	VTOL	15	26	1.2	120
6	M300	MR	9	20	2.7	55
7	M600	MR	15.5	18	5.5	40
8	M3T	MR	1	21	0.12	45
9	FPV	MR	0.8	39	-	20



Figur 5.2: Bild över placerade föremål

Tabell 5.2: Fastvinge, Flygtid: 1-40 tim, Max hastighet: 60-400 km/h, Räckvidd: 20 km-∞

Grupp	Vikt	Inköp	Sensor	Prestanda
A	<1 kg	7-30 tkr	EO	Max vind: 12 m/s <150 km/h, <2 tim flygtid
B	1-5 kg	20-50 tkr	EO och IR	Max vind: 15 m/s <150 km/h, <4 tim flygtid
C	5-25 kg	1-10 Mkr	Tyngre EO med optisk zoom och IR	Räckvidd och max vind > Grupp A och B
D	>25 kg	>10 Mkr	Avancerad EO med optisk zoom, kyld IR-sensor	Flygtid: 10-40 tim, Hastighet: 100-400 km/h Max vind: 15 m/s

5.2.2 Flygprov med UAV

I enlighet med de tidigare beskrivna scenarierna, se avsnitt 4.1, testades UAS under flygprov som skulle kunna vara en (L) lokal eller (N) nationell resurs. De typer av UAS som testats är av tre olika typer, dvs. multirotor (MR), fastvinge (FV) och UAV som flyger som en fastvinge men med vertikal start och landningsförmåga (VTOL). Dessa har använts för att genomföra kvalitativa experiment av länk, automation, markstation och datainsamling via en sensor. I tabell 5.5 finns en uppställning av de UAS som använts i experimenten samt de experiment de har använts till.

Flygproven genomfördes i enlighet med de gröna boxarna i figur 4.1, dvs:

- utgångsgruppering/basering,
- start och anflygning,
- efterforskning och lokalisering, och
- återflygning och landning.

Tabell 5.3: Multirotor, Flygtid: 0.5-8 tim, Max hastighet: 50-100 km/h, Räckvidd: <10 km-∞

Grupp	Vikt	Inköp	Sensor	Prestanda
A	<1 kg	10-75 tkr	EO	Max vind: 12 m/s
B	1-5 kg	100-300 tkr	Mer avancerad EO och IR	Max vind: 15 m/s
C	5-25 kg	50-1000 tkr	Tyngre EO med optisk zoom och IR, kylld IR-sensor	Räckvidd och max vind > Grupp A och B
D	>25 kg	>1000 tkr	Tyngre EO med optisk zoom och IR, kylld IR-sensor	Räckvidd och max vind > Grupp C

Tabell 5.5: Tabell för genomförda experiment

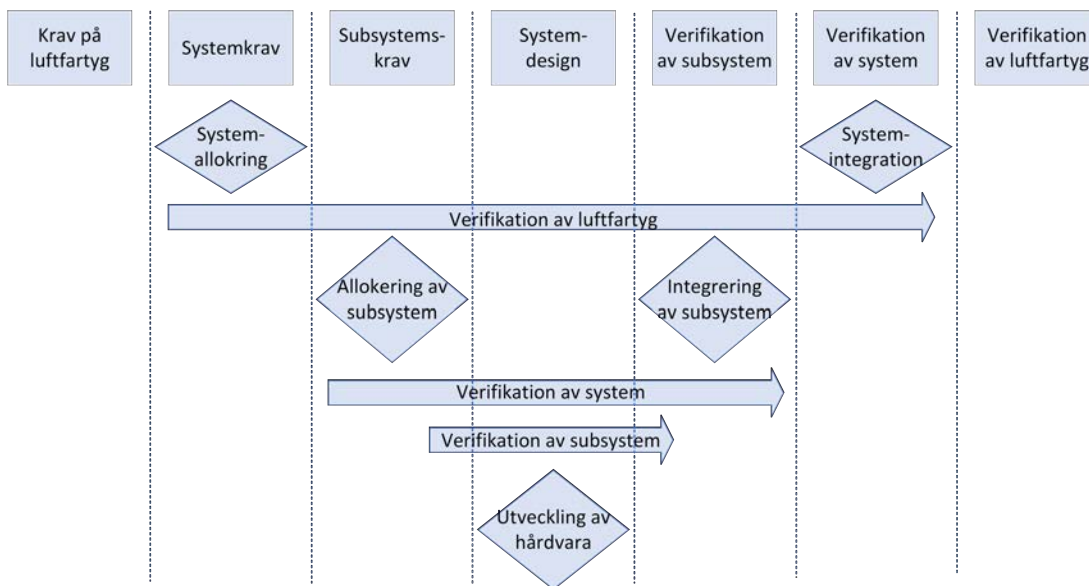
Namn	Typ	Flygprov	Länk	Automation	Markstation	Sensordata
Penguin BE	FV	N	X	X		X
Dragonfly	FV	L	X	X		
Dolphin	FV	L	X	X	X	X
Timber	FV	L	X	X		
AYK 250	VTOL	N	X	X		
M300	MR	L	X	X	X	X
M600	MR	N				X
M3T	MR	L		X	X	X
FPV	MR	L			X	X
Anafi 4K	MR					X
Anafi AI	MR					X
Anafi USA	MR					X
SR20	FV		X			

5.2.3 Planering och genomförande av flygprov

I syfte att genomföra operativa tester av UAS-användning vid SAR-uppdrag genomfördes inom projektet ett antal testdagar. Vid dessa test-tillfällen iscensattes SAR-uppdrags-liknande scenarion där UAS-flygning genomfördes för att samla in bilddata samt för att prova ut tekniska system, procedurer och tillvägagångssätt. Andra tester genomfördes med ett tekniskt perspektiv och genomfördes då utan att följa något uppdragsscenario, istället upprättades för dessa tester tekniska testprotokoll.

Inför samtliga tester och demonstrationer har ett körschema upprättats där de använda obemannade luftfartygssystemen har planerats utifrån lufrum och målsättning med respektive testscenario. Inför varje test och demonstration förbereddes även ett antal tillstånd för kommunikation, spridning av information och flygoperation [114]. För att uppnå ett realistiskt tillvägagångssätt utifrån de scenarion som tagits fram, upprättades för genomförandet av operativa tester en testbana med ett sök område och utplacerade objekt för identifiering med hjälp av AI.

Testdagarna inleddes med uppdelning av ansvarsområden, arbetsuppgifter och roller. Inom varje test-team fanns vanligtvis en pilot som ansvarade för flygningen, en observatör och en protokoll-



Figur 5.3: Design och verifikationsprocess

förare. Parallellt med genomförande av flygning testades även bildigenkänning med AI av ett till test-team.

Under flygoperationen skedde återkoppling mellan flygande team och AI-team för att anpassa parametrar som hastighet och höjd för att ge bästa möjliga data till AI-modeller. Koordinering av luftrum gjordes löpande för att göra testerna så effektiva som möjligt. Följande flygprov utfördes:

- utgångsgruppering och basering, se tabell 5.6,
- start och anflygning, se tabell 5.7,
- efterforskning och lokalisering, se tabell 5.8,
- informationsdelning, se tabell 5.9, samt
- återflygning och landning, se tabell 5.10.

Dessa flygprov har genomförts enligt de delmoment som finns beskrivna i figur 4.1 och de har utförts med multirotor (MR), fastvinge (FV) och hybrid enligt kategorisering lokal resurs (L) samt nationell resurs (N). Experiment som genomförts är märkt med "E".

Med utgångsgruppering syftas den plats som verksamheten utgår ifrån innan och efter basering. Med basering syftas den fysiska platsen som används för start och landning. Se tabell 5.6 för redovisning av genomförda flygprov.

Då SAR-insatser kan ske från varierande platser testas olika typer av starter samt anflygningar, se tabell 5.7.

Flygprov har genomförts för att utvärdera förmågan att genomföra efterforskning och lokalisering, se tabell 5.8.

Tabell 5.6: Utgångsgruppering och basering

Delmoment	MR (L)	MR (N)	FV (L)	FV (N)	VTOL (L)	VTOL (N)
Transport på land	E	E	E	E	E	E
Transport ombord på båt	E	E	E		E	E
Basering på land	E	E	E	E	E	E
Basering ombord på båt			E			

Tabell 5.7: Start och anflygning

Delmoment	MR (L)	MR (N)	FV (L)	FV (N)	VTOL (L)	VTOL (N)
Rullbana	E	E	E	E	E	E
Permanent yta	E	E	E		E	E
Tillfällig startyta	E	E	E		E	E
Från båt	E		E			
Över land	E	E	E	E	E	E
Över vatten	E	E	E	E	E	E
I kontrollerad luft	E	E	E	E	E	E
I okontrollerad luft	E	E	E	E	E	E

Informationsdelning har testats med flera olika typer av länkar för kort och lång räckvidd och för områden med olika grad av täckning/störning, se tabell 5.9

Flygprover för utvärdering av återflygning och landning har skett på motsvarande sätt som för start och anflygning, se tabell 5.10.

5.2.4 Automation

Test av olika kommersiella styrautomater genomfördes för att utvärdera vilken nivå av automation som gick att uppnå. Test utfördes även där styrautomaten integrerades med en enkortsdator. Mjukvaran i dessa styrautomater har sitt ursprung i Ardupilot [2].

Tabell 5.8: Efterforskning och lokalisering

Delmoment	MR (L)	MR (N)	FV (L)	FV (N)	VTOL (L)	VTOL (N)
Över land	E	E	E	E	E	E
Över vatten	E	E	E	E	E	E
I kontrollerad luft	E	E	E	E	E	E
I okontrollerad luft	E	E	E	E	E	E

Tabell 5.9: Informationsdelning

Delmoment	MR (L)	MR (N)	FV (L)	FV (N)	VTOL (L)	VTOL (N)
Markstation	E	E	E	E	E	E
Omborrdator		E		E		E
Molntjänst	E	E		E		E

Tabell 5.10: Återflygning och landning

Delmoment	MR (L)	MR (N)	FV (L)	FV (N)	VTOL (L)	VTOL (N)
Rullbana	E	E	E	E	E	E
Permanent yta	E	E	E		E	E
Tillfällig landningsyta	E	E	E		E	E
På vatten			E			
I kontrollerad luft	E	E	E	E	E	E
I okontrollerad luft	E	E	E	E	E	E

5.2.5 Länk/kommunikation

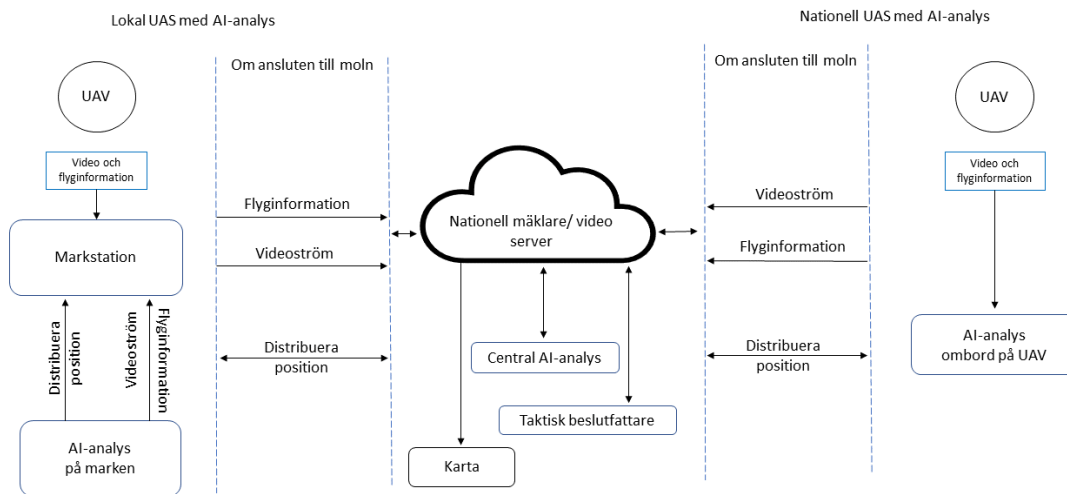
För experiment och utvärderingar av radio- och datalänkar användes Lunds universitets bemannade skolflygplan. Avsikten med testen var att säkerställa drift med flera datalänkar, där var och en av dem separerades i frekvensspektrum (868 MHz, 433 MHz, 2, 4 GHz, 5, 8 GHz, LTE). *Fler tester finns i bilaga H.* Detta gjordes för att minimera bandstörningar och tillhandahålla backup C2-länk i händelse av en länkförlust. Det genomfördes även utveckling och test av system för att automatiskt hoppa mellan olika frekvenser oberoende avstånd. Integrering av AI-förmåga testades utifrån ett koncept som utgår från att bildanalysen analyseras lokalt på plattformen eller i en markstation. Systemet bygger på inhämtning av bild, video och telemetriinformation från platsen som sedan analyseras av AI (Process Offboard) eller ombord (Process Onboard). Informationen skulle även kunna skickas vidare till en annan plats och analyseras där (Process Global). Resultatet av bildanalysen från AI-modellen resulterar i en Point of Interest (POI), se figur 5.4.

5.2.6 Miljöfaktorer

För att ta reda på de tekniska begränsningarna för olika typer av obemannade luftfartygssystem så har miljöfaktorer varit en utvärderingsaspekt under genomförande av flygprover. Olika rådande väderförhållanden har utvärderats löpande. Vissa typer av UAV:er testades även under olika förhållanden som var specifika för hur de opereras, som exempelvis vattenlandande fastvinge-UAV, där det fanns särskilt behov av att testa vattentålighet och operativt förfarande.

5.2.7 Miljöpåverkan

Energiåtgång för olika typer av UAV:er uppmättes och noterades i samband med genomförande av testflygningar. Mätningarna användes sedan för att kunna göra beräkningar av miljöpåverkan för nyttjande av UAS jämfört med användning av helikopter, se bilaga E.



Figur 5.4: Informationsdelning mellan lokal- och nationell UAS med AI-stöd och beslutsfattare

5.2.8 Flygsäkerhet och regelmässiga krav

En viktig del av experimentens utförande har varit att hålla en hög flygsäkerhetsnivå. Detta har inneburit ett behov av lufrumskoordinering, framtagande av procedurer och ansökan om olika typer av tillstånd. Följande ansökningar för tillstånd gjordes som del av vissa av experimentens genomförande;

- Ansökan om spridningstillstånd från Sjöfartsverket, för sjögeografisk information.
- Ansökan om spridningstillstånd från Lantmäteriet, för landgeografisk information.
- Operativt tillstånd från Transportstyrelsen för UAV-flygning bortom synhåll (BVLOS).
- Ansökan om tillstånd för användning av radiofrekvens från PTS.

Tillfälliga spridningstillstånd har sökts och erhållits för projektets gemensamma tester där data har livestreamats och samlats in för att analyseras. För användning av insamlat material har spridningstillstånd sökts separat. Hanteringen av spridningstillstånd inför tester kräver ett visst arbete men fungerar smidigt, särskilt för geografisk information över mark, när det följer det format projektet använt. Hantering av spridningstillstånd för landgeografisk information är enkel men ställer relativt höga krav på hur data hanteras innan spridningstillstånd erhållits och leder till fördröjningar i när material kan användas. Tillfälliga spridningstillstånd kan sannolikt behövas för att kunna samöva en framtida förmåga med andra myndigheter. Det är tänkbart men inte klarlagt i hur stor utsträckning övningsområden kan etableras där spridningstillstånd finns över tid.

5.2.9 Mänskliga faktorer

Under flygproven gjordes en löpande utvärdering av mänskliga faktorer. Ett antal aspekter av mänskliga faktorer testades och utvärderades iterativt som en del av flygprovets testschema.

Mänskliga faktorer är ett brett område och har olika inverkan och betydelse för olika delar av en UAS-operation.

Följande punkter användes som referensfaktorer för utvärdering av mänskliga faktorer:

- Väderpåverkan
 - Personalens utrustning
 - Vädskydd för arbetsmoment - förberedelser, inspektion, utförande av flygning
- HMI (Människa-/Maskin-interface)
 - Mänskliga faktorer som följer av HMI-gränssnitt, särskilt gällande markstation.
 - Enkelhet i förberedelser, enkelhet i användning, personalresurser.
 - Automatisering
- Procedurer
 - Kommunikation
 - CRM (Besättningssamarbete)
 - Operationella procedurer

Inför varje flygprov valdes en operationell utformning av utrustning och personalresurser enligt valda utvärderingspunkter. Efter flygprovets genomförande utvärderades sedan hur väl den operationella utformningen hade fungerat. Lärdomar togs vidare som resultat och när det var möjligt även som iterativ utveckling inför nästa flygprov.

5.3 AI-modeller och algoritmer

Detaljerna för de experiment vilkas Flygprov har genomförts med olika typer av UAS för att undersöka vad som krävs för att genomföra identifierade uppgifter i en SAR-operation. Presentationen av flygproven görs enligt processkissen för UAS med AI-stöd som beskrivs i avsnitt 4.2.4.

5.3.1 Objektdetektion

Som beskrivits i avsnitt 4.4.2 har en modell för detektion av personer i RGB-bilder utvecklats och utvärderats. Nedan beskrivs denna process mer detaljerat.

Utveckling av objektdetektor

För objektdetektorn föll valet av modellarkitektur på YOLOv8 [44] (d.v.s. den senaste YOLO-modellen som släpptes 2023). Som nämnts i avsnitt 3.5.2 är de senaste YOLO-modellerna state-of-the-art-detektorer som i allmänhet presterar väl och har en förmåga att snabbt analysera bilder. Det senare är viktigt om målföljning i video skall användas eftersom det kräver en relativt hög FPS (d.v.s. att ett relativt stort antal bildrutor från en videosekvens analyseras per sekund) för att fungera väl. Den genomförda litteraturstudien, som finns beskriven i avsnitt 4.4.1, pekar

även på att YOLO, i olika utformningar, är den överlägset mest använda objekt-detektorn i relaterade arbeten. I projektet användes den största YOLOv8-modellen (YOLOv8x6) eftersom den är utformad för bilder med 1280x1280-upplösning² till skillnad från standardmodellen som är utformad för 640x640-upplösning. Det var viktigt att arbeta med så hög upplösning som möjligt eftersom många objekt framstår som väldigt små när de fotograferas eller filmas från hög höjd. Den maximala video-upplösningen som kan skickas från de UAV:er som använts i projektet är 1920x1080.

Dataseten som användes vid träning av detektorn identifierades dels genom artiklar från litteraturstudien, dels genom att söka fritt på internet. Flera av dataseten har inte någon direkt koppling till varken SAR-scenarion eller typisk svensk natur, vilket inte är optimalt. Eftersom dataseten innehåller personer fotade/filmade från UAV:er var det fortfarande högst motiverat att använda dem vid träning. Innan detektorn kunde tränas var det dock nödvändigt att omstrukturera, rensa och filtrera varje dataset.

Omstruktureringen syftade till att omarbeta samtliga etiketter, innehållandes annoteringsdata, till ett gemensamt format. Rensningen innebar att alla bilder visualiserades med tillhörande bounding-boxes och granskades manuellt för att rensa bort felannoterade bilder (d.v.s. bilder där den manuella annoteringen inte stämmer) som riskerade att inverka negativt under träningen. Filtreringen innefattade att rensa bort slumpmässigt utvalda bilder från vissa dataset som var betydligt större än övriga dataset. Detta för att erhålla en variationsrik datamängd där inget enskilt dataset utgjorde alldeles för stor del av den totala datamängden. Nedan listas dataseten som användes:

- HERIDAL [16] – UAV-bilder av personer i vildmarken tagna dagtid under sommaren i Kroatien och Bosnien-Hercegovina. 1 030 träningsbilder och 617 valideringsbilder återstod efter rensning och filtrering.
- MOBDrone [18] – UAV-bilder av bland annat personer med våtdräkt i vatten tagna dagtid i Italien. Den marina miljön är mer “tropisk” jämfört med den i Sverige. 5 544 träningsbilder och 2 507 valideringsbilder återstod efter rensning och filtrering.
- MS-COCO [49] – Väldigt och variationsrikt dataset som innehåller alla möjliga typer av bilder/objekt och ofta används för att träna generella objekt-detektorer. En övervägande majoritet av bilderna är inte tagna från UAV:er. Syftet med att inkludera en delmängd av detta dataset är att behålla detektorns förmåga att detektera personer på lägre höjd. 23 454 träningsbilder och 4 952 valideringsbilder återstod efter rensning och filtrering.
- NTUT 4K Drone³ – UAV-bilder av personer tagna dagtid i stadsmiljö i Taiwan (på och i anslutning till National Taiwan University of Technology). 2 137 träningsbilder och 1 932 valideringsbilder återstod efter rensning och filtrering.
- Okutama-Action [13] – UAV-bilder av personer tagna dagtid i Japan över ett inhägnat asfalts- och gräsfält. 5 467 träningsbilder och 1 421 valideringsbilder återstod efter rensning och filtrering.
- SARD [78] – UAV-bilder av personer tagna dagtid i Kroatien ute i naturen (personer förekommer främst i anslutning till skog, i lågt och högt gräs, i stenbrott och på grusvägar). 1 481 träningsbilder och 500 valideringsbilder återstod efter rensning och filtrering.

²Bilder av lägre upplösning än 1280x1280 skalas upp innan modellen analyserar dem, medan bilder av högre upplösning skalas ned.

³<https://www.kaggle.com/datasets/kuantinglai/ntut-4k-drone-photo-dataset-for-human-detection>

- SDD [74] – UAV-bilder av bland annat personer tagna dagtid på, och i anslutning till, Stanford Universitys campusområde i USA. 13 499 träningsbilder och 3 375 valideringsbilder återstod efter rensning och filtrering.
- SeaDronesSee v2 [118] – UAV-bilder av bland annat personer, med och utan flytväst, i vatten. Bilderna är tagna i Tyskland under dagtid. 8 930 träningsbilder och 1 547 valideringsbilder återstod efter rensning och filtrering.
- Semantic Drone⁴ – UAV-bilder av personer tagna dagtid över ett villakvarter i Österrike under sommaren. 300 träningsbilder och 100 valideringsbilder återstod efter rensning och filtrering.
- VIRAT Ground [64] – Bilder av personer tagna utomhus dagtid med stationära kameror, uppsatta ovanför marknivån, i olika urbana miljöer. 3 988 träningsbilder och 665 valideringsbilder återstod efter rensning och filtrering.
- VisDrone [128] – UAV-bilder av bland annat personer tagna dagtid och nattetid på olika platser i Kina (främst i storstäder). 6 471 träningsbilder och 2 158 valideringsbilder återstod efter rensning och filtrering.

Dataseten från listan ovan slogs samman till ett enda stort dataset innehållandes totalt 72 301 träningsbilder och 19 774 valideringsbilder. 55 965 av träningsbilderna innehöll minst en person medan 15 441 av valideringsbilderna innehöll minst en person. Att använda en träningsmängd respektive valideringsmängd är standard inom maskininläring. När en modell tränas på träningsmängden så sparas olika "versioner" av modellen. Den modellversion som generaliserar bäst (d.v.s. presterar bäst) på valideringsmängden (som innehåller bilder som inte varit tillgängliga under träningsfasen) väljs sedan ut för att utvärderas på ny data och användas i skarpa tester. Detta förfarande har följts vid träning av detektorn som använts i projektet.

YOLOv8 tränades och validerades på de inhämtade bilderna genom finjustering (eng. *fine-tuning*). Detta innebar att detektor från början var förtränad, i detta fall på cirka 118 000 bilder från MS-COCO-datasetet [49], innan den tränades vidare (d.v.s. finjusterades) på de inhämtade UAV-bilderna⁵. Fördelen med att finjustera en modell förtränad på MS-COCO, som innehåller bilder för 80 olika klasser, är att modellen sedan tidigare har lärt sig utnyttja värdefulla särdrag för att detektera personer (och andra objekt) i bilder. Finjusteringen syftade till att göra den redan kapabla modellen specialiserad på att detektera personer i just UAV-bilder. Eftersom modellen endast finjusterades på bilder där objekt från klassen "person" var annoterade kunde den efter finjusteringen enbart användas för att detektera personer.

Slutligen implementerades målföljningsalgoritmen SORT [15] för att, givet detektioner från den färdigtränade detektorn, kunna tilldela unika id-nummer till varje person i en videosekvens. SORT är en relativt gammal målföljningsalgoritm från 2016 som inte utnyttjar visuell information vid spårning av objekt (algoritmen utgår endast från hur ett objekts bounding-box förflyttar sig under videosekvensen, och kan genom detta koppla ihop objektet med sitt unika id-nummer i varje bildruta). Fördelen med SORT är att algoritmen är betydligt snabbare än många nyare algoritmer och därför kan utnyttja fler bildrutor för bättre målföljning. Det är även rimligt att utgå från att nyttan med att använda visuella särdrag vid målföljning är begränsad när väldigt

⁴<https://www.tugraz.at/index.php?id=22387>

⁵Fyra stycken kraftfulla A100-grafikkort krävdes för att finjustera YOLOv8-modellen. Den färdiga modellen kunde sedan köras på en vanlig bärbar dator för att analysera bilder i låg FPS (när en maskininlärningsmodell väl tränats färdigt krävs det i regel betydligt mindre beräkningskraft för att kunna köra och använda den). Ett externt konsument-grafikkort kopplades till den bärbara datorn för att kunna analysera bilder i hög FPS, vilket krävs om målföljning skall fungera bra.

små objekt i UAV-bilder analyseras. Därutöver har målföljning främst använts i projektet för att minska antalet falska detektioner, se avsnitt 3.5.3, och inte för att spåra eller räkna redan detekterade personer.

Utvärdering av objekt-detektor

Den finjusterade YOLOv8-detektorn utvärderades på ett eget dataset som samlats in under projektet. Datasetet innehåller UAV-bilder där alla personer som förekommer har markerats (d.v.s. annoterats) manuellt. Denna annotering gjordes av ett antal projektmedlemmar. Bilderna extraherades ursprungligen från videosekvenser som samlats in med olika UAV:er. Videosekvenserna representerar ett flertal scenarion; däribland sökning efter personer i skärgårdsmiljö (både på kottar, skär, större öar och i vatten), i glesare skog, på öppna markytor och i sjöar. Den övervägande majoriteten av materialet spelades in under dagtid eller skymning, både under sommar och vinter och med flyghöjder som varierade mellan 20 till 100 meter.

För majoriteten av videosekvenserna har en bildruta per sekund extraherats (från cirka 144 minuter video) och därefter annoterats, vilket resulterade i 8 646 utvärderingsbilder. Målföljning användes inte vid den *kvantitativa* utvärderingen eftersom 1 FPS är för lågt (att annotera 10 FPS eller mer skulle innebära att nästan 90 000 bilder måste annoteras). Vid de olika försöken där video från UAV:er skickades till detektorn och analyserades i realtid användes dock alltid målföljning för att filtrera bort falska detektioner och på så sätt undvika att skicka vidare en överväldigande mängd detektioner.

Detektorn har som nämnts inte tränats att analysera termiska bilder, och har därför inte utvärderats på videosekvenser där människor gömmer sig bakom buskage eller är inspelade nattetid i totalt mörker. Notera att detektorn har använts och utvärderats, om än inte kvantitativt, kvällstid under olika försök, där den tillåtits kommunicera med och analysera videosekvenser från UAV:er i realtid. Denna typ av data har dock inte annoterats och finns inte representerad i det dataset som använts vid den *kvantitativa* utvärderingen av detektionsförmågan.

Detektorn utvärderades dels på objektnivå, dels på bildnivå. Utvärderingen på *objektnivå* motsvarade det typiska sättet att utvärdera en objekt-detektor på, där precision, täckning och Average Precision rapporterades för klassen "person"⁶ enligt de principer som finns beskrivna i avsnitt 3.6.1. Utvärderingen gjordes på *objektnivå* i den mening att fokus låg på att mäta med hur hög noggrannhet en detektor kan användas för att lokalisera och klassificera *enskilda* objekt (d.v.s. personer). En bild innehållandes två personer där bara en av dem detekterats skulle i detta fall resultera i *en* korrekt detektion och *en* missad person, som påverkar precision och täckning negativt, fastän bilden i sig är av högsta intresse. Beroende på vad detektorn avses användas till kan denna typ av utvärdering med andra ord vara mer eller mindre lämplig.

För att komplettera utvärderingen av objekt-detektorn infördes en egen typ av utvärdering på *bildnivå*, som i grund och botten är en variant av utvärderingen på objektnivå. Vid utvärderingen på *bildnivå* användes detektorn som en binär klassificerare för att avgöra vilken av två möjliga klasser en bild tillhörde (d.v.s. detektorn avgjorde *huruvida* en bild innehöll person(er) eller inte). I praktiken innebar detta att detektorn flaggade en bild om den detekterat minst en person i bilden, alternativt avstod från att flagga bilden om den inte lyckades detektera något⁷. Denna typ av utvärdering kan vara relevant om t.ex. detektorn avses användas till att larma när

⁶Detektioner av andra objekt (även potentiellt intressanta objekt som t.ex. flytvästar) räknades alltså som felaktiga detektioner.

⁷Mer detaljerat så flaggades en bild enbart om detektorn returnerade minst en detektion vars konfidensvärde var högre än konfidenströskelvärde.

intressanta bilder påträffas. Att upptäcka *samtliga* personer i en bild, och att lokalisera dem med hög noggrannhet, är i ett sådant scenario inte lika avgörande för att erhålla relativt god precision och täckning⁸.

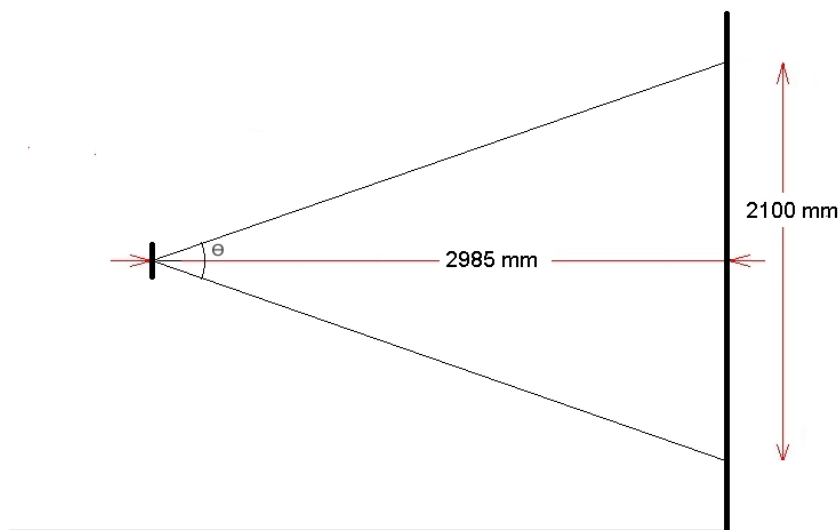
5.3.2 Positionering

Som beskrivits i avsnitt 4.4.3, kräver visionsbaserad positionering kunskap om UAV-kamerans exakta synfält. I detta avsnitt beskrivs de experiment som har utförts för bestämning av kamerans synfält, och för utvärdering av själva positioneringsmetoden.

Beräkning av kamerans synfält

Eftersom UAV-kamerornas synfält inte exakt överensstämde med de värden som anges i produktternas specifikationer, bestämdes dessa värden experimentellt genom att mäta ytan som kameran täckte när den placerades horisontellt framför en vägg.

För att minimera felmätningar upprepades proceduren på olika avstånd och ett medelvärde beräknades. Figur 5.5 illustrerar en sådan mätning där det vertikala synfältet hos en UAV beräknas. Vertikalt täcker kamerabilden 2100 mm av en vägg när UAV:n placeras 2985 mm från väggen. Genom enkel geometri beräknas det vertikala synfältet till 38,8 grader⁹. Det horisontella synfältet beräknas på motsvarande sätt.



Figur 5.5: Beräkning av vertikalt synfält för UAV-kameran sker genom att mäta förhållandet mellan den vertikala sträckan av en vägg som kameran täcker och avståndet till väggen.

⁸Vid utvärdering på bildnivå anger *precision* hur stor andel av alla flaggade bilder som faktiskt innehåller minst ett objekt av intresse och *täckning* hur stor andel av alla bilder innehållandes minst ett objekt av intresse som faktiskt flaggats. Average Precision beräknas därefter baserat på dessa två mått precis som vid utvärdering på objektnivå.

⁹ $\theta = 2 \arctan\left(\frac{2100/2}{2985}\right) \approx 38,8$.

Utvärdering av positioneringsmetod

För att utvärdera positioneringen beräknar vi avvikelsen mellan de uppmätta positionerna av detekterade objekt och de "riktiga" positionerna av objekten i ett kontrollerat experiment. För detta placerar vi målen på förutbestämde geografiska positioner, det vill säga platser vars GPS-koordinater för latitud och longitud kan avläsas i Google Maps. Vi antar att Google Maps-koordinaterna är tillräckligt nära de faktiska koordinaterna och betraktar dem som de riktiga positionerna av objekten. Positionen för dessa objekt estimeras med hjälp av bilder tagna med en UAV, se figur 5.6. Avvikelsen mellan de estimerade positionerna och de faktiska positionerna beräknas. Om denna avvikelse är tillräckligt liten anses positioneringsmetoden fungera bra. För att säkerställa att resultaten gäller i olika situationer upprepas experimentet flera gånger med olika UAV-höjder och kameravinklar. Medelfelet och standardavvikelsen för felen beräknas enligt avsnitt 3.6.2.



Figur 5.6: Ett exempel på ett experiment för utvärdering av positioneringsmetoden med hjälp av objekt-detektion från en höjd av 22,7 meter.

Kapitel 6

Resultat

I detta kapitel redovisas resultaten från olika experiment som har presenterats i kapitel 5 och haft till syfte att belysa forskningsfrågan. Avsnitt 6.1 beskriver kvantitativa och kvalitativa resultat av genomförda flygprov. Avsnitt 6.2 innehåller resultat av utvärdering av AI-modeller för objekt-detektion, algoritmer för positionering och tekniska lösningar för dataöverföring.

6.1 Flygprov med UAS

I enlighet med beskrivningen av metod för experiment har flygprov med UAS genomförts inom ramen för kategorisering av lokal och nationell resurs. Utifrån genomförda flygprov har delmoment av flygoperationen efterhand verifierats i samband med experiment i verklig miljö samt i några enstaka fall genom simuleringar. Dessa resultat redovisas i tabell 6.1. Utöver dessa kvantitativa resultat redovisas även kvalitativa resultat som rör flygoperationen av UAS i sin helhet.

Följande flygprov; utgångsgruppering och basering se tabell 6.1, start och anflygning se tabell 6.2, efterforskning och lokalisering se tabell 6.3, informationsdelning se tabell 6.4 samt återflygning och landning se tabell 6.5, har genomförts enligt delmoment beskrivna i figur 4.1 med multirotor (MR), fastvinge (FV) och hybrid (VTOL) enligt kategorisering lokal resurs (L) samt nationell resurs (N). När förmåga efter flygprov i verklig miljö har verifierats har delmoment märkts med "V" och efter simulering med "S". Om förmåga ej verifierats i verkligheten eller i simulering har delmomentet varken ett "V" eller "S" utan har lämnats blank.

Tabell 6.1: Utgångsgruppering och basering - 1

Delmoment	MR (L)	MR (N)	FV (L)	FV (N)	VTOL (L)	VTOL (N)
Transport på land	V	V	V	V	V	V
Transport ombord på båt	V	V	V		V	V
Basering på land	V	V	V	V	V	V
Basering ombord på båt			V			

Tabell 6.2: Start och anflygning - 2

Delmoment	MR (L)	MR (N)	FV (L)	FV (N)	VTOL (L)	VTOL (N)
Rullbana	V	V	V	V	V	V
Permanent yta	V	V	V		V	V
Tillfällig startyta	V	V	V		V	V
Från båt	V		V			
Över land	V	V	V	V	V	V
Över vatten	V	V	V	S	V	V
I kontrollerad luft	V	V	V	V	V	V
I okontrollerad luft	V	V	V	S	V	V

Tabell 6.3: Efterforskning och lokalisering - 3

Delmoment	MR (L)	MR (N)	FV (L)	FV (N)	VTOL (L)	VTOL (N)
Över land	V	V	V	V	V	V
Över vatten	V	V	V	S	V	V
I kontrollerad luft	V	V	V	V	V	V
I okontrollerad luft	V	V	V	S	V	V

6.1.1 UAS

Provflygningar visade att energibehovet varierar beroende på storlek på UAV samt krav på uthållighet. Resultaten pekar mot att det är fördelaktigt att separera kraftförsörjning för framdrivning, systemdrift och sensorer om storlek och komplexitet ökar på UAV:n.

6.1.2 Automation

Automation är en viktig aspekt att utvärdera för att kunna ta ställning till användbarheten av UAS för utförande av SAR-uppgifter. Under projektets flygprover har automation upp till nivå 3 testats, enligt den skala som beskrivs i figur 3.3.

Vid flygningar med fastvinge visade resultaten på att piloten upplever flygningen som mer krävande med låg automation. Resultaten pekar vidare på att upplevd arbetsbörda medför att piloten allokeras till att flyga men inget annat. Detta gäller särskilt för lokal resurs som flygs nära marken och är känsligare för yttre påverkan. Större system som används för nationell resurs har behov av

Tabell 6.4: Informationsdelning

Delmoment	MR (L)	MR (N)	FV (L)	FV (N)	VTOL (L)	VTOL (N)
Markstation	V	V	V	V	V	V
Omborddator		V		V		V
Molntjänst	V	V		V		V

Tabell 6.5: Återflygning och landning - 4

Delmoment	MR (L)	MR (N)	FV (L)	FV (N)	VTOL (L)	VTOL (N)
Rullbana	V	V	V	V	V	V
Permanent yta	V	V	V		V	V
Tillfällig landningsyta	V	V	V		V	V
På vatten			V			
I kontrollerad luft	V	V	V	V	V	V
I okontrollerad luft	V	V	V	S	V	V

automation för att kunna framföras säkert även vid fördröjning i länkars svarstid. Vid introduktion av högre automationsgrad minskar upplevd arbetsbörda vilket medför att piloten även kan genomföra andra arbetsuppgifter än enbart flygning. Flygning med multirotor och VTOL kräver generellt sett en högre automationsgrad än fastvinge då farkosternas stabilitet är beroende av detta. Resultat för multirotor och VTOL pekar på att graden av automation och multirotors egenskaper gör att piloten snabbt upplever multirotern som mindre krävande att flyga än fastvingen. Upplevelsen bottenar i att multirotern stannar upp när piloten släpper spakarna, vilket upplevs som avlastande, medan fastvingen fortsätter i samma fart. VTOL i form av en hybrid mellan multirotor och fastvinge är starkt beroende av automation, särskilt i multirotor-läge och övergångsfaser. När en VTOL-hybrid flygs som fastvinge motsvarar automationens påverkan för arbetsbelastningen den för fastvinge-UAV.

6.1.3 Länk/kommunikation

Det öppna frekvensbandet för att styra och kommunicera med en UAV är idag allokerat till frekvenser för trådlösa nätverk. Frekvensbandet och tillhörande uteffekter skapar en begränsning i hur långt bort det går att flyga med en UAV. Andra radiofrekvenser utprovades med varierande resultat. Radio- och data-länkkvaliteten bedömdes baserat på flygloggar efter varje flygning. Flera parametrar som *Radio Signal Strength Indicator* (RSSI), brusnivåer och svarstid tur och retur hämtades efter flygförsök för bedömning. Resultaten från tester med kommersiella radiolänkar visar att öppna frekvenser med reglerad effekt har en maxlängd på cirka 5km i öppen terräng och vackert väder. Radiolänkar som kräver tillstånd utprovades också där resultaten visade på att det är fullt möjligt att styra och kommunicera över längre avstånd än 5km men det kan krävas både tillstånd och infrastruktur. Flygprover visar på att det går att automatiskt hoppa mellan olika frekvenser oberoende avstånd.

En utmaning som identifierades tidigt var svårigheten att kommunicera mellan individer som ingår i operationen. Utmaningen består i att personer inom den flygoperativa verksamheten inte alltid är i närheten av varandra vilket ökar risken för informationsförluster. Personer inom den operativa verksamheten inkluderar även personal som utför underhåll eller ansvarar för markstationen. Något som identifierades var att olika kommunikationslösningar har sina för- respektive nackdelar med hänsyn till informationssäkerhet och användbarhet. En vanlig telefon är till exempel lättillgänglig och enkel att använda men har begränsningar gällande kryptering och grupp-kommunikation. Användning av exempelvis RAKEL erbjuder en högre informations-säkerhet men kräver istället tillgång till en RAKEL-enhet. Det fanns för projektet både behov av att kommunicera i små grupper och att kunna kommunicera mellan dessa eller i en större parallell grupp. Lösningar som användes var mobiltelefon med individsamtal och gruppsamtal

samt kommunikation genom webbmötesappar samt traditionell komradio. På detta sätt kunde verksamhet inom projektet lösas men det kunde även konstateras att en genomtänkt och informationssäker kommunikationslösning hade varit önskvärt och underlättat mycket. Krypterade kommunikationslösningar var inget som projektet hade tillgång till och de lösningar som baserades på digital kommunikation var lösningar som byggde på gruppsamtal via dator eller telefon. Kommunikationen förbättrades när komradio användes av flygteam som då kunde kommunicera lättare på avstånd, men samtidigt blev det också något svårare att ha telefonpassning och att kommunicera med de personer som inte hade komradio. Detta löstes genom att en koordinator fick huvudansvar för yttre kommunikation, till exempel mellan flygteam och övriga projektdeltagare eller mellan flygteam och flygledning. Vidare genomfördes tester av högtalare på UAV för att kommunicera till nödställda vilket fungerade som förväntat i de lugna miljöer där dessa tester gjordes.

6.1.4 Markstation

En bestående erfarenhet är att det är viktigt hur intuitiv mjukvara markstationen har för möjligheten att avlasta och hjälpa piloten/operatören.

Vid flygning med VTOL och fastvinge användes markstationen av utvecklaraktör och där visar resultaten att det krävs två personer för att genomföra operationen på ett flygsäkert sätt. Att det behövdes två personer berodde dels på att markstationen inte var lika enkel och intuitiv men också då VTOL och fastvinge kräver mer av en UAS-pilot under start och landning då man till skillnad från en multirobot inte kan trycka på paus och låta maskinen stå still.

Flera försök med geografisk begränsning genomfördes med båda typerna av markstationer och sammantaget är resultatet att mjukvaran är ett stöd för operatören/piloten men i varierande grad. Båda mjukvarorna har möjlighet att ställa in maximalt avstånd och höjd men den kommersiella markstationen är mer intuitiv än den öppna där menyer ibland är svåra att hitta och i vissa fall får man justera parametrar istället för att använda ett GUI.

Det är svårt att säga att den ena markstationen är generellt bättre än de andra då de har olika fördelar, mycket till följd av sin funktionsinriktning. Den kommersiella markstationen är mer lättanvänd och har ett tydligare gränssnitt men är begränsad när det kommer till tekniska inställningar, anpassning till specifika uppdrag och utprovning samt integration av sensorer eller tekniska lösningar. En kommersiell markstation är ofta även begränsad till ett visst obemannat luftfartygssystem från samma leverantör och kan då inte integreras med fler system. Den utvecklarinriktade markstationen ger väldigt stora möjligheter till integration och anpassning men erbjuder inte ett lika intuitivt pilot-gränssnitt som den kommersiella plattformen.

6.1.5 Miljöfaktorer

Flygprov under olika typer av väderlek genomfördes med variation i vindriktning och styrka, luftfuktighet och temperatur. Vid flygning i nederbörd och snöfall kunde resultatet att uthålligheten minskade konstateras, så även vid flygoperationer då temperaturen i luften var under 10°C. Vid vind, oavsett riktning, förkortades alltid luftfartygets uthållighet då start och landning sker vid samma basering. Vattenlandande fastvinge provades ut i avseende start och landning på vatten samt vattentålighet. Detta gick väl under relativt lugna sjöförhållanden. Vatten kunde konstateras i fastvingen efter genomförda flygprover. Hybriden kunde konstateras vara känslig för sidvind i samband med start och landning samt vid övergången till och från flygning som en fastvinge. I de fall då flygningen genomfördes med hjälp av automation, enligt en förprogrammerad rutt, påverkades precisionen i navigering av vindens verkan på luftfartyget.

6.1.6 Flygsäkerhet och regelmässiga krav

Procedurer för säkert genomförande av flygning med de olika typerna av UAS:er som användes utvecklades först i grundform och vidareutvecklades sedan iterativt under genomförandet av flygprov. Detta resulterade i en sammanställd operativ manual för genomförande av flygningar inom eller bortom synhåll (BVLOS) enligt ett tänkt SAR-scenario. De operativa procedurerna togs fram med avsikt att användas under experiment och tester men baserades på en mall publicerad av EASA som även kan nyttjas som stöd för att ta fram procedurer för operativ SAR-verksamhet [25]. Luftrumsanvändning analyserades och utvecklades för att kunna utföra flygprover och resulterade i dels metoder för separation och koordinering av flera samverkande obemannade system, dels underlag för operativt tillstånd till flygning BVLOS. Med stöd av framtagna procedurer söktes och erhöles operativt tillstånd för möjliggörande av flygprover. För genomförande av scenariobaserade tester och delning av bilddata för AI-bildigenkänning söktes och erhöles även spridningstillstånd för realtidsdelning av geografisk information.

6.1.7 Mänskliga faktorer

Genom utvärdering och iterativ utveckling under flygprov byggdes kunskaper upp kring mänskliga faktorer och dessas inverkan på de tänkta operationstyperna för nationell och lokal resurs. En generell bild är att mänskliga faktorer har ganska olika påverkan för nationell och lokal resurs samt att denna påverkan är starkt beroende av automationsgrad samt utgångsgruppering och basering. Här presenteras en generell översikt över de resultat som framkom under flygprov.

Väderpåverkan hade generellt sett en stor effekt på besättningens kapacitet och effektivitet. Dåligt och/eller kyligt väder har relativt stor negativ effekt på prestation, kommunikation och effektivitet. Besättningen har behov av att genomföra moment eller hela flygningen utomhus och är dessutom till stor del relativt stillavarande, vilket gör det svårt att hålla upp värmen. Enkla åtgärder i form av utrustning kan dock ha stor inverkan på effekten av väderpåverkan. Vi såg att lägre grad av automation ofta innebar en högre grad av väderpåverkan. Gruppering och basering har vi kunnat se har stor betydelse för generell väderpåverkan och för möjlighet till väderskydd vid operationella delmoment. Om förberedelser inför flygning och övervakning/kontroll under flygning behöver genomföras utomhus blir väderpåverkan stor men om gruppering och basering ger tillgång till väderskydd eller att verka från inomhusmiljö kan väderpåverkan istället bli väldigt låg. Här finns även ett samband med hur automatiserad flygningen är. Om flygningen kan genomföras mer automatiskt eller autonomt blir behovet mindre för piloten att från en basering utomhus kunna övervaka och kontrollera luftfartyget med visuell kontakt.

Kommunikation var i många lägen en begränsande faktor för genomförande av flygoperationerna, framför allt var det en utmaning att kunna kommunicera och koordinera mellan flera olika aktörer samtidigt. Graden av koordinationsbehov med andra aktörer under flygproven krävde också mer förberedelser. Inom besättningarna såg vi en stor betydelse av samövning inför användning av nya system. Procedurer behövde anpassas för att ge goda förutsättningar för ett bra besättningssamarbete. Komplexa system som användes för utprovning av nationell resurs krävde generellt sett mer förberedelser. Procedurer och checklistor togs fram för varje UAS och reviderades ett flertal gånger utifrån erfarenheter vid flygprov, bland annat med avseende på mänskliga faktorer.

6.2 Experimentresultat för AI-modeller och algoritmer

Detta avsnitt innehåller resultat av utvärdering av AI-modeller för objekt-detektion, algoritmer för positionering och tekniska lösningar för dataöverföring.

6.2.1 Objektdetektion

Som beskrivits i avsnitt 5.3.1 utvärderades den finjusterade YOLOv8x6-detektorn för klassen “person” på 8646 UAV-bilder som samlats in och annoterats under projektet. I tabell 6.6 presenteras AP-värden för utvärderingen på bildnivå respektive objektnivå. I tabellen jämförs den finjusterade YOLOv8x6-detektorn med en identisk detektor som inte finjusterats, en mindre beräkningstung YOLOv8n-detektor (d.v.s. nano-versionen av YOLOv8) som inte heller finjusterats och en “ointelligent detektor” som gissar slumpmässigt.

Tabell 6.6: Average Precision (AP-värde) vid utvärdering av olika detektorer på 8646 UAV-bilder. Cirka hälften av bilderna innehåller en eller flera personer. För samtliga detektorer har IOU-tröskelvärdet 0.1 använts vid utvärdering på objektnivå.

Modell	Bildnivå	Objektnivå	Objektnivå (“relaxed”)
YOLOv8x6 (finjusterad)	0.94	0.68	0.70
YOLOv8x6	0.90	0.53	0.55
YOLOv8n	0.87	0.38	0.40
Detektor som gissar slumpmässigt	0.52	0.01	0.01

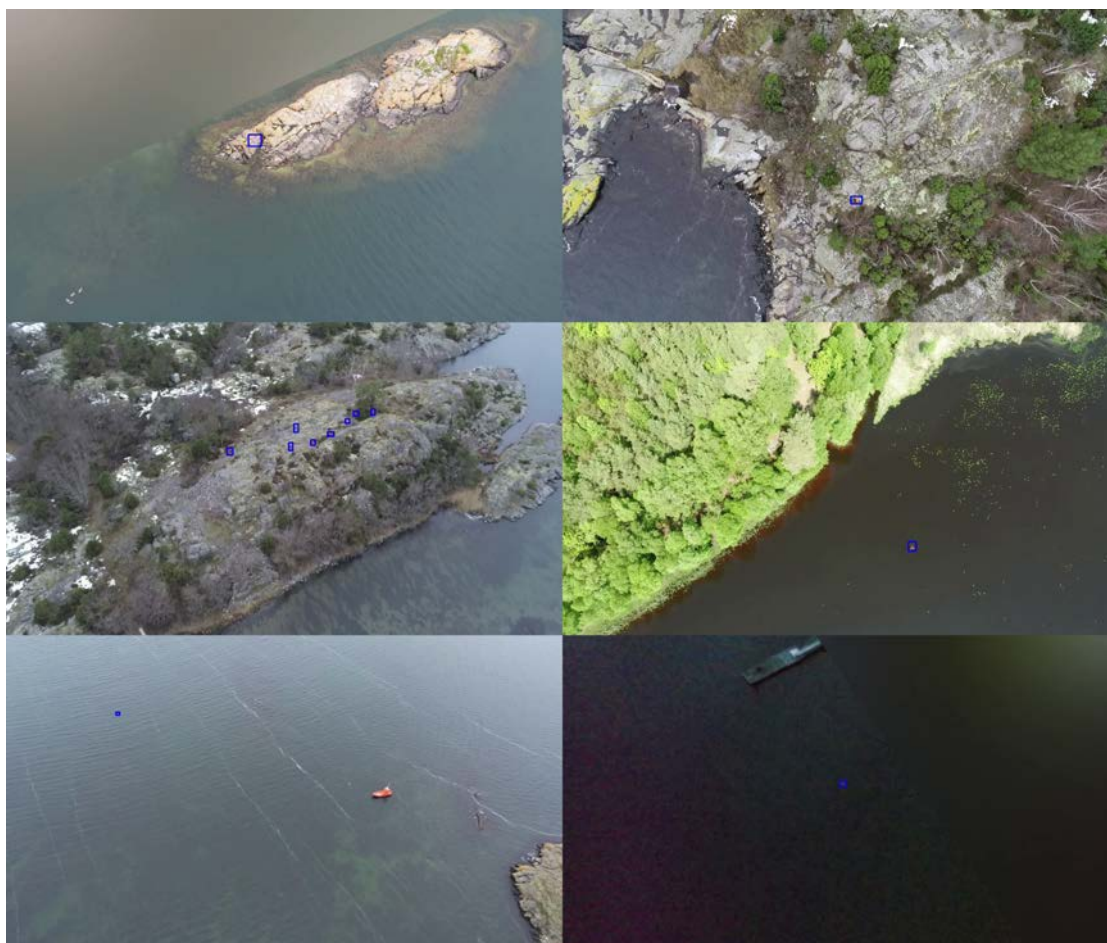
Notera att IOU-tröskelvärdet 0.1 har använts för samtliga detektorer vid utvärdering på objektnivå. IOU (Intersection Over Union) är ett mått som anger hur väl en detektions bounding-box-låda överlappar en, av annoteraren, manuellt utritad bounding-box-låda. Om överlappet är nog stort så räknas detektionen som en korrekt detektion¹. 0.1 är ett lågt IOU-tröskelvärde (d.v.s. om IOU är större eller lika med 0.1 räknas en detektion som korrekt) och valdes eftersom perfekt lokalisering av personer inte varit högsta prioritet i projektet. Att två bounding-box-lådor överlappat varandra någorlunda har ansetts tillräckligt för att betrakta detektionen som korrekt.

Utöver resultat på bildnivå och objektnivå presenteras även resultat som kallas: objektnivå (“relaxed”), se tabell 6.6. Relaxed-versionen av utvärderingen är, bortsett från två detaljer, identisk med den vanliga utvärderingen på objektnivå. Den första skillnaden är att i relaxed-versionen räknas flera detektioner av en och samma person som en enda korrekt detektion. I den vanliga versionen räknas detektionen med högst konfidens som korrekt och resterande detektioner som felaktiga fastän de också uppfyller konfidens- och IOU-villkoren. Den andra skillnaden är att i relaxed-versionen tillåts en enda detektion (bounding box) detektera mer än en person. I den vanliga versionen räknas bara en person som detekterad fastän en detektion (bounding box) överlappar flera personer och uppfyller konfidens- och IOU-villkoren för varje person.

Av tabell 6.6 framgår att den finjusterade detektorn, som utvecklats under projektet, i allmänhet presterade bättre än övriga detektorer vid utvärderingen. Utöver AP-värdet har även precision och täckning beräknats för det godtyckliga konfidenströskelvärdet 0.4 i syfte att exemplifiera hur den finjusterade detektorn presterade. På bildnivå gav detta precision 0.90 (d.v.s. 90 % av

¹Formellt definieras IOU som arean av lådornas överlapp dividerat med arean av unionen av de två lådorna. Detta säkerställer att en detektion som har en överdrivet stor bounding-box-låda inte räknas som en korrekt detektion, eftersom överlappet kommer vara alldeles för litet i förhållande till unionen.

bilderna som flaggades av detektorn innehöll faktiskt en eller flera personer) och täckning 0.76 (d.v.s. 76 % av alla bilder innehållandes person(er) flaggades av detektorn). På objektnivå erhöles precision 0.80 (d.v.s. 80 % av detektionerna var faktiskt en person) och täckning 0.55 (d.v.s. 55 % av alla personer upptäcktes av detektorn). Som förklarats i avsnitt 3.6.1 är det vid användning av detektorn möjligt att höja konfidenströskelvärdet för att erhålla högre precision på bekostnad av lägre täckning, eller sänka tröskelvärdet för att erhålla högre täckning på bekostnad av lägre precision. Tröskelvärdet 0.4 har i detta fall valts som ett exempel för att komplettera det mer heltäckande AP-värdet som inte är beroende av ett förutbestämt konfidenströskelvärde. I figur 6.1 visas några exempel där den finjusterade detektorn hittat personer i UAV-filmer.



Figur 6.1: Exempel där den finjusterade YOLOv8x6-deteckorn hittat personer på land och i vatten. Varje detekterad person har markerats med en blå bounding-box-rektangel.

Utöver den kvantitativa utvärdering som presenterats tidigare finns även resultat i form av ett antal observationer och insikter från när objekt-deteckorn användes i skarpa försök där video skickades från UAV:er och analyserades av detektorn på en markstation (bärbar dator med externt grafikkort) i realtid. Vid denna typ av användning var det tydligt att målföljning med SORT-algoritmen fungerade väl för att filtrera bort falska detektioner enligt resonemanget i avsnitt 3.5.3. En förutsättning för detta är att detektorn kan analysera relativt många bildrutor

per sekund, vilket visade sig vara möjligt. Det var även användbart att kunna justera konfidenströskelvärdet “on-the-fly” medan detektorn kördes eftersom olika tröskelvärden som förväntat fungerade olika bra beroende på miljön/scenariot som UAV:erna användes i.

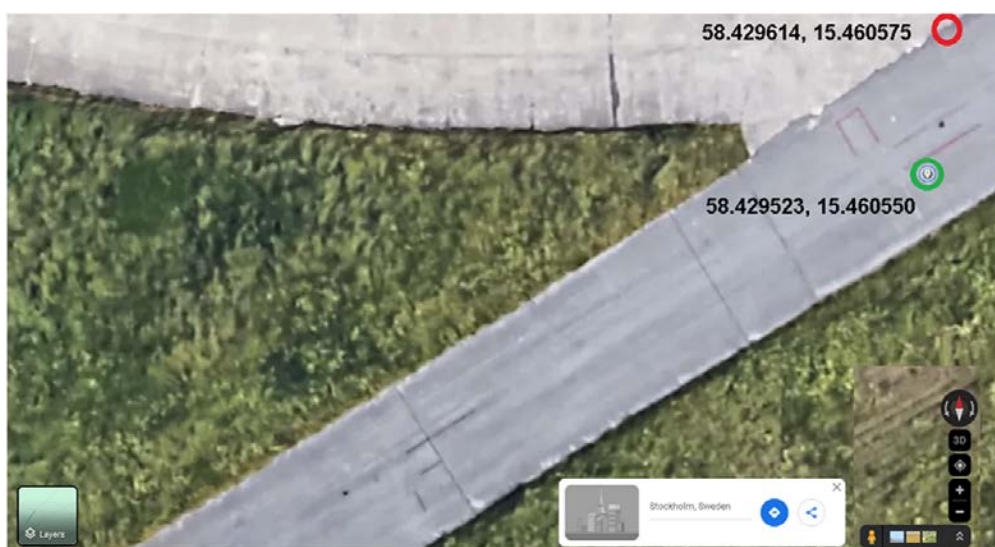
Majoriteten av de inhämtade bilderna togs under goda ljusförhållanden dagtid. Vid analys av RGB-bilder i svagt ljus fungerade detektorn inte tillfredsställande, även om den i vissa fall lyckades detektera personer i vatten som bar flytväst.

Användandet av bilder i det termiska spektrumet är beroende av skillnaden mellan individens och den omgivande miljöns temperatur. Som nämnts ingick inte termiska bilder i utvärderingsdatasetet men när fältförsök genomfördes sommartid i skärgårdsmiljö var det ofta svårt att se människor i termiska bilder eftersom marken var uppvärmd (även på natten). Det var även svårt att se människor, utöver själva huvudet som utstrålade värme, i vatten i termiska bilder.

Slutligen observerades att detektorn ofta detekterade andra potentiellt intressanta objekt, däribland flytvästar och bojar, fastän den endast finjusterats att detektera personer. Alla detektioner som inte motsvarade en person räknades som felaktiga i den kvantitativa utvärderingen, vilket är bra att vara medveten om.

6.2.2 Positionering

För att utvärdera positioneringen beräknade vi medelfelet och standardavvikelsen av felet enligt avsnitt 3.6.2 mellan objektens position enligt Google Maps och den estimerade positionen, se figur 6.2. Felet räknas om som avståndet (i meter) mellan dessa två positioner. Att beräkna avståndet mellan de beräknade och riktiga positionerna istället för fel i latitud och longitud är en förenkling för att representera felet i enheter som är lättbegripliga för människor. En felkälla för beräkningen är att den inte tar hänsyn till terrängen och eventuella höjdskillnader på markytan. Vidare approximeras objektet med mittpunkten av detektionen, vilket är försumbart om UAV:n befinner sig på relativt hög höjd.



Figur 6.2: Exempel på avvikelse mellan den riktiga positionen av objektet och en estimerad position enligt vår metod. Den gröna cirkeln markerar den punkt där objektet befinner sig, och den röda cirkeln markerar den beräknade positionen.

Dessa experiment upprepades sex gånger från olika höjder och riktningar som är representativa för ett SAR-scenari. Ett medelfel på 5.61 meter och en standardavvikelse på 2.15 meter erhöles, vilket anses vara tillräckligt litet.

6.2.3 Dataöverföring

Under projektets gång har det genomförts flera tester där olika metoder för överföring av bilder och telemetridata i varierande hastigheter (mätt i *frames per second, FPS*) från UAV till markstation har utvärderats. Dessa tester genomfördes för att kunna bedöma möjligheterna till realtidsbearbetning av data med olika AI-modeller och algoritmer, såsom objekt-detektion, målföljning och positionering. Se tabell 6.7 för detaljer.

En utmaning som uppstod vid dataöverföring i realtid är att olika kommersiella system inte har en standardiserad metod för detta ändamål. Detta innebär att betydande tid krävs för att anpassa och att lösningarna blir beroende av det specifika systemet.

Generellt gäller för de olika system som testas att bilder med hög upplösning (4K) och det telemetridata per bildruta som krävs för positionering sparas på ett minneskort i luftfartyget för senare analys. Bandbredden mellan handkontrollen och luftfartyget används för att strömma en videosekvens med lägre upplösning, oftast HD (1 280 x 720 pixlar), tillsammans med styrkontrollsignaler. Att strömma telemetridata och bilder med högre upplösning till en AI-modell kräver andra lösningar som är beroende av respektive systems applikationsgränssnitt, vilket inte alltid är fullständigt och helt okomplicerat.

För olika Anafi-system gäller att bildöverföringen hade högre bildupplösning, vilket förbättrade resultatet av objekt-detektionen. I dessa fall överfördes bilderna från handkontrollen till AI-modellen via kabelkoppling. Dock fanns det ingen enkel metod för att överföra telemetridata, vilket innebär att positioneringen inte kunde genomföras. För de DJI-modeller som testades, användes bildöverföring mellan handkontrollen och AI-modellen både med kabelkoppling och via wifi-uppkoppling genom en molntjänst. Wifi-uppkopplingen var generellt mindre pålitlig än kabelkopplingen, med risk för dataförlust. Telemetridata överfördes konsekvent via en molntjänst med en mäklartjänst.

Tabell 6.7: Genomförda tester på olika metoder för dataöverföring applicerade på multirotor för realtidstestning av analys med AI-modeller och algoritmer.

UAS	Data-överföring	Upplösning och bildöverföringshastighet	Testade förmågor
Anafi 4K	Wifi - handkontroll - kabel - dator	RGB, 1280x720, 30 FPS	objekt-detektion
Anafi AI	Wifi - handkontroll - kabel - dator	RGB, 1920x1080, 30 FPS	objekt-detektion
Anafi USA	Wifi - handkontroll - kabel - dator	RGB, 1280x720, 30 FPS	objekt-detektion
DJI M3T	Wifi - handkontroll - wifi - molnet	RGB, 1280x720, 30 FPS	objekt-detektion och positionering

Fortsättning på nästa sida

Tabell 6.7 – *Fortsättning från förra sidan*

UAS	Data-överföring	Upplösning och bildöverföringshastighet	Testade förmågor
DJI M3T	Wifi - handkontroll - kabel - dator	RGB, 1280x720, 30 FPS	objektdetektion och positionering
DJI M300	Wifi - handkontroll - wifi - molnet	RGB, 1280x720, 30 FPS	objektdetektion och positionering
DJI M300	Wifi - handkontroll - kabel - dator	RGB, 1280x720, 30 FPS	objektdetektion och positionering

Kapitel 7

Analys

I detta kapitel analyseras resultaten som framkommit i rapporten. Som beskrivits i kapitel 4 önskar en gap-analys genomföras för att mäta relationen mellan förväntningar och uppfattningar inom projektet. Detta genom att beräkna avståndet mellan tillfället då projektet initierades i förhållande till önskad framtida situation. Genom att identifiera avståndet (gapet) mellan lägena genererades en uppfattning om vad som behövde och fortfarande behöver förändras för att åstadkomma önskad målbild. Under projektets gång har åtgärder implementerats för att delvis överbrygga de två lägena, detta beskrivs i avsnitt 7.3. Sedan följer en beskrivning av vilket gap som kvarstår och vilka delar av den framtida önskade situationen som inte uppfyllts.

7.1 Nulägesbild

Obemannade luftfartygssystem, eller UAS, är en övergripande benämning som utöver luftfartyget innefattar, kontrollstationen, nyttolast, datalänkar, transportutrustning, start- och landningsutrustning och underhållsutrustning. Det finns ett stort antal varianter på UAS och utifrån dess huvudsakliga flygegenskaper kan de delas in i huvudkategorierna multirotor, fastvinge samt hybrider med varierande förmågor som följd, se avsnitt 3.3. De kan även konstrueras för att kunna bära en nyttolast som exempelvis högtalare eller sensorer som samlar in data. Markstationen är den del av systemet där piloten eller operatören styr och kommunicerar med UAV:n och utgörs av antingen en enkel handkontroll med en inbyggd bildskärm eller en kontorsmiljö som hanterar kommunikationen mellan luftfartyget och besättningen. Kommunikationen sker genom en eller flera länkar, exempelvis telekommunikation via 4G eller kommunikationssatellit.

Redan när projektet initierades ansågs UAS vara ett värdefullt verktyg inom sök- och räddningsinsatser (SAR). Avsnitt 2.2.1 beskriver att aktörer inom sjö- och flygräddningstjänst på senare tid har börjat använda UAS allt mer där systemen kan förmedla en lägesbild vid främst eftersök. Flera SAR-aktörer använder redan UAS i sina verksamheter men vid tidpunkten för projektet ansågs regelverk så väl teknik inte vara tillräckligt moget för att kunna integrera UAS fullt ut. Inom svensk SAR är inte UAS definierad som en egen resurs utan nyttjas som en förstärkning av befintliga resurser där exempelvis räddningstjänstens enheter kan vara utrustade med en UAS. Systemen möjliggör ett luftburet perspektiv som kan vara avgörande både i små och storskaliga sök- och räddningsinsatser. Några av Sjöfartsverkets verksamheter genomförde vid tiden för projektets uppstart undersökningar av hur UAS kunde implementeras och användas i olika avdelningar inom Sjöfartsverket. Exempelvis pågick ett projekt för isrekognosering från isbrytare

samt översikt och kontroll av sjösäkerhetsanordningar som bojar och fyrar.

Projektet är avgränsat till eftersök och lokalisering av nödställd i svenska förhållanden och behov där fokus har lagts på att utforma UAS av liten till medelstor karaktär. De små luftfartygen ska kunna utgöra en lokal förmåga och de medelstora en nationell förmåga. Den lokala resursen ställer relativt låga krav på hastighet, flygtid och nyttolast men behöver istället högre automation och möjlighet att operera med minimala personella resurser, se avsnitt 4.2.2. Den nationella resursen ställer högre krav på flygtid och kapacitet till att bära nyttolast vilket redogörs för i avsnitt 4.2.3. De obemannade luftfartyg som användes inom SAR är främst av typ multirotor, portabla, har kort ställtid, är av enklare utformning så att sällananvändare ska kunna använda och i dagsläget används inga sensorer med stöd från AI vid bildtolkning inom svensk SAR. De köps in i befintlig utformning där vissa system är utrustade med IP-klassning, RGB-kamera, IR-sensor och zoom. Dessa UAS är begränsade utan tillstånd och tillgång till flygning bortom synhåll, BVLOS de är inte heller konstruerade för flygning i hård vind, stark kyla eller mer än måttligt regn. Flera SAR-verksamheter vittnade om att de önskade få tillgång och tillstånd att flyga BVLOS med t.ex. fastvinge UAS i framtiden. Att SAR-verksamheter inte kan flyga BVLOS eller under svårare väderförhållanden utgör problem då det ofta rör sig om ett större sökområde vid sjö – och flygräddning med varierande svenskt klimat. Det innebär att en UAS för SAR behöver hantera flera olika väderförhållanden så som flygningar i fukt, kyla, vind och över vatten i kombination med lång räckvidd, se avsnitt 2.2.1.

När projektet startade fanns redan stöd i olika nivåer av automation för obemannade luftfartyg, exempelvis för att bibehålla höjd över havet eller flyga en förprogrammerad rutt, se avsnitt 3.3.2. I nuläget, när projektet initierades, skedde det största stödet av automation vid start och landning samt vid oförutsedda skeenden vilket redogörs för i figur 3.3. Även om det finns källor, se exempelvis [60], som beskriver hur AI och UAS kan kombineras för att öka effektiviteten i olika verksamheter så var den kombinationen ingen resurs när projektet initierades. Men det fanns ett intresse för att undersöka hur AI skulle kunna understödja UAS. När projektet initierades fanns en uppskattning att tillgänglig träningsdata skulle prestera sämre då bilderna inte var tagna i svenska SAR-scenarion eller med annat än RGB-format. Då det dessutom saknades tillräcklig data för att träna modellen på det första scenariot konstaterades det tidigt att sådan data skulle behöva samlas in. För insamling av data till AI-bildbehandlingstester fanns inga standarder eller rutiner och projektet identifierade därför ett behov av utprovning och integrering av överföringsmedel för att överhuvudtaget kunna möjliggöra användning av AI-stödet, se avsnitt 4.4.

Svensk sjö- och flygräddningstjänst är en samverkansorganisation där en förutsättning är att stat, kommun och andra aktörer arbetar tillsammans för en effektiv räddningsverksamhet, för att rädda liv. Arbetet med sjö- och flygräddningstjänst sker inom svensk SRR (Search and Rescue Region) där huvuddelen av ärendena sker dagtid, sommartid, med larm av "lindrigare" art. Resten av året blir larmfrekvensen lägre men oftare av allvarigare karaktär. Olyckor med mer än 100 nödställda händer mycket sällan inom svenskt SRR eller i anslutning till denna, vilket det redogörs för i avsnitt 2.1.6 och 2.1.7. Verksamheterna inom SAR såg UAS som en möjlighet att förstärka och komplettera befintlig resurs men där regelverk och teknik inte var tillräckligt mogen. En tidig farhåga var att det förekom svårigheter med delning av sensordata vilket är bra för att samverka och skapa en gemensam lägesbild vid en SAR-insats.

Sammanfattningsvis används idag UAS utan AI-stöd som resurs i den svenska SAR-verksamheten för att bidra med en lägesbild från luften. Svenska myndigheter i kategorin utryckningsverksamhet har uppgifter som traditionellt sett tillgodosetts av bemannade fordon som inhandlas som färdiga, *commercial-off-the-shelf* (COST) produkter med tydliga manualer och därmed inte utvecklat egna system trots behov utöver det som köps in, se avsnitt 2.2.1.

7.2 Önskat framtida läge

Projektet önskar påvisa ett resultat på en teknisk lösning inom sjö- och flygräddningstjänst med hjälp av AI-understödda UAS avgränsat till eftersök och lokalisering av nödställd, se figur 4.1. I metodkapitlet 4 beskrivs vilka metoder som valts ut för att få fram detta resultat där ett första steg var att ta fram scenarier för att ge en kontext till behoven och experimenten som behöver genomföras. De två scenarierna är “sökinsats av person i statligt vatten” och “sökinsats luftfartyg över land och vatten”. Redan i rapportens syftes- 1.1 och metodavsnitt 4.5, beskrivs det framtida läge som förväntas uppnås i projektet. Det framgår att AI-understödda UAS förväntas leda till snabbare lokalisering, bättre lägesbild och ökad säkerhet för de inblandade. Tekniken ska även kunna användas som komplement till olika räddningsenheter när dessa inte finns tillgängliga eller är förhindrade. Det övergripande målet för projektet är att föreslå hur det svenska SAR-systemet kan utformas och effektiviseras med obemannade luftfartyg och AI för att snabbare lokalisera och rädda fler liv i enlighet med det transportpolitiska hänsynsmålet, se inledningen i kapitel 1. Den nya tekniken bedöms ha goda förutsättningar att:

1. öka säkerheten för deltagarna i en räddningsinsats samt minska kostnaderna för denna.
2. minska tiden till lokalisering och därmed kunna rädda fler liv, och
3. minska miljöpåverkan då räddningshelikopter och sjöburna enheter kan nyttjas effektivare och med minskad bränsleförbrukning.

Mer specifikt önskar projektet utveckla lokal och nationell AI-understödda UAS som har förmågan att:

1. ge en lägesbild från luftfartyg över position [89, 90].
2. genomföra systematiskt sök med autonomt system [97].
3. genomföra bildtolkning för att detektera objekt åt operatör, se bilaga B.
4. Målfölja objekt i varierad och svår miljö [97].
5. utgöra relästation för ökad räckvidd till radiokommunikation [97].
6. kunna transportera utrustning, se bilaga B.
7. kommunicera med nödställda eller räddningsorganisationen, se bilaga B.

I avsnitt 4.2.4 redogörs i figurform för vilka delar som behöver undersökas för att en UAS med AI-stöd ska kunna verka i linje med projektets mål i SAR-systemet. I figuren framgår det att det obemannade luftfartyget ska kunna genomföra flera delar för att operera vid ett eftersök och lokalisering av nödställd. Systemen behöver ha en känd utgångsgruppering och till det kopplat en beredskapstid. Från utgångsgrupperingen kan endera start av ett uppdrag ske eller en frambasering till en förrekognoserad plats närmare ett sökområde. Vid dessa platser kan en UAS starta för att anflyga ett sökområde och genomföra ett eftersök. Vid ett eftersök kan UAS använda flera olika AI-modeller. Det kan t.ex. vara automation för ett specifikt sökmönster, samverkan med andra SAR-aktörer eller dataanalys för att detektera objekt. UAS behöver sensorer lämpade för SAR-ändamål. Målbilden för en UAS med AI-stöd är att den ska kunna kommunicera och dela information vidare till andra räddningsenheter, insatsledning och räddningscentral. Vid avslutat uppdrag ska UAS med AI-stöd kunna återflyga och landa vid en förutbestämd plats och återgå till utgångsgruppering vid basering.

Vidare önskar projektet utveckla obemannade luftfartyg som har en realtidsöverföring med acceptabel överföringshastighet, som är IT-säkra, som opererar enligt rådande regelverk, som kan kommunicera från svåråtkomliga platser, som kan ge sig till känna i andra ledningssystem och som kan avlösa varandra. Vid ett eftersök ska AI-modeller stötta UAS för att analysera och tolka bild där användningen av specifika sökmönster eller dataanalys för att detektera objekt är två exempel. Systemen ska kunna balansera uthållighet, nyttolast och fart enligt beskrivningen i avsnitt 3.3 och 4.3. I ett framtida önskat läge skulle ett enskilt UAS kunna tillfredsställa samtliga tre behov där systemet är kapabelt till att flyga i ingen till mycket hög hastighet, bära obegränsad nyttolast och ha oändlig flygtid. I verkligheten är det snarare så att en ökning av något behov resulterar i en minskning för andra behov.

Det framtida önskade läget kan sammanfattningsvis beskrivas som behov för AI-stödda UAS för så väl tekniska förmågor som specifika SAR-uppgifter. Som tidigare redogjorts för i avsnitt 4.2 genomfördes insatser i form av intervjuer och workshops för att konkretisera vad en UAS med AI-stöd skulle ha för tekniska förmågor. Det i sin tur resulterade i två behovskategorier, en lokal och en nationell UAS med AI-stöd. Den lokala resursen ska fungera som en förstärkt flygförmåga från en befintlig resurs, exempelvis båt, där operatören behöver SAR-kompetens. I den lokala resursen är UAS av enklare modell och kan användas utan svårighet av en sällananvändare. Den lokala resursen ska även klara av relativt hårt väder och ställer relativt låga krav på nyttolast, flygtid och hastighet där bildtolkningsanalys inte sker ombord, se beskrivning i avsnitt 4.2.2. Den nationella resursen ska till skillnad från den lokala förmågan operera i avlägset sökområde där bildtolkningsanalys sker ombord. Resursen ställer jämförbart högre krav på kapacitet att bära nyttolast och flygtid jämfört med den lokala, se avsnitt 4.2.3. Multirotor och fastvinge i grupp A, B och C är mindre UAV:er där förmågan är tillräcklig för en lokal resurs. Multirotor i grupp D, och fastvinge i D och E är tillräckliga för en nationell resurs vilket redogörs för i tabell 5.2 och 5.3. Multirotor i framförallt grupp A och B används redan inom SAR-verksamheterna när projektet initierades. De köps in i befintlig utformning där vissa system är utrustade med IP-klassning, RGB-kamera, IR-sensor och zoom.

För att precisera projektets intressenters önskemål har en enkät genomförts för att specificera vilka förmågor och uppgifter som ansågs mest prioriterade utifrån de två scenarierna. De två SAR-uppgifter som ansågs vara högst prioriterade var att “ge en lägesbild” vilket åsyftade att skapa en uppfattning över en situation och behovet av en översiktsbild som kan användas som underlag för beslut. Ett exempel är om en ledningscentral/enhet behöver uppfattning om situationens karaktär för att bedöma omfattning och resursbehov. Den andra högst prioriterade SAR-uppgiften var att kunna “genomföra systematiskt sök”. Att “målfölja objekt i svår miljö” och “genomföra bildtolkning för att detektera objekt åt operatör” ansågs vara relativt högt prioriterade SAR-uppgifter. För de obemannade luftfartygen ansåg intressenterna att de högst prioriterade förmågorna var genomföra “realtidsöverföring av bild från obemannade luftfartyg till operatör”, “obemannade luftfartyg som kan verka i svenska väderförhållanden” och “obemannade luftfartyg som konstruerats för att kunna bära nyttolast, exempelvis en sensor”. Vidare ansågs “obemannade luftfartyg som startar från och landar på vatten” som lägst prioriterat av projektets intressenter. För de AI-stödda obemannade luftfartygens förmåga ansågs “detektion och klassificering av person i vatten dagtid” följt av “överföra analyserad information gällande lägesbild till insatsledning, räddningscentral och andra resurser” och “detektion och klassificering av person i vatten nattetid” som högst prioriterade. Den förmåga som var lägst prioriterad för AI-stödda obemannade luftfartyg var “dataöverföringen sker via kabel till UAS-handkontroll” och “dataöverföringen sker trådlöst via länk (4G/Teracom)”. Att dessa två förmågor ansågs så lågt prioriterat förklarades av deltagarna som menade att det inte gick att se en tydlig effekt på SAR-förmågan i förhållande till dessa. De menade även att det inte spelar någon roll om det är

kabel eller trådlöst, funktionen ska bara fungera oavsett vad som används. Kabel är dock inget som användarna är intresserade av i ett framtida önskat läget.

Projektet har även som långsiktigt mål att verka vägledande för framtida anskaffning av obemannade luftfartyg till gagn för alla aktörer i SAR-systemet.

7.3 Vidtagna åtgärder

I projektets inledning genomfördes möten, studiebesök och workshops för att identifiera vilka förmågor som UAS-systemen skulle inneha för att kunna medverka som resurser under en SAR-insats. För att kunna möta projektets mål och syften har i huvudsak tre behov lyfts för UAS. Dessa tre behov är det obemannade luftfartygets förmåga att flyga med olika hastigheter (hastighet), flygningens längd i tid (flygtid) samt dess förmåga att bära med sig en lämplig nyttolast (nyttolast). Dessa behov utgör tre prestandaområden som tillsammans ger det obemannade luftfartygets dess huvudsakliga egenskaper vilka är avgörande för dess användning vid en SAR-insats. Beroende på vilket eller vilka behov som är prioriterade används ett ändamålsenligt obemannat luftfartyg. Idealiskt hade ett enskilt obemannat luftfartyg tillfredsställt samtliga behov såsom; ingen till mycket hög hastighet, oändlig flygtid samt obegränsad nyttolast men dit har utvecklingen inte nått i projektet vilket redogörs för i avsnitten 3.3 och 4.3.

7.3.1 Analys av UAS

I syfte att undersöka vilka typer av UAS som krävs för att utföra de uppgifter som projektet önskar genomfördes flygprov där tre olika typer av UAS testades: multirotor (MR), fastvinge (FV) och en hybrid UAV (VTOL). Under flygproven testades basering, start och anflygning, efterforskning och lokalisering samt återflygning och landning. Flygproverna har utvärderats löpande där lärdomar tagits vidare som resultat vilka i vissa fall användes som iterativ utveckling inför efterföljande flygprov, se avsnitt 5.2. Efter flygproven har resultaten verifierats i samband med experiment i verklig miljö och några få fall genom simuleringar. Respektive flygprov har fördelats i delmoment och när förmåga verifierats alternativt ej verifierats har detta noterats enligt tabell 6.1 t.o.m. tabell 6.5.

Projektet visar att UAS med stöd av AI efter vidtagna åtgärder klarar av flera uppgifter som är nödvändiga för svensk sjö- och flygräddning. Utifrån de scenarier som tagits fram visar resultaten från flygproven att UAS genomfört de uppgifter som framtagits. Procedurer utvecklades iterativt under genomförandet av flygprov vilket resulterade i en sammanställd operativ manual för genomförande av flygningar inom eller bortom synhåll (BVLOS) enligt ett tänkt SAR-scenario. Även procedurer och checklistor togs fram för varje UAS och reviderades flertal gånger utifrån erfarenheter vid flygprov [25].

Experiment och resultat pekar på att det är svårt att hitta en UAS som klarar av samtliga SAR-uppgifter, i alla väder oavsett om den opererar som lokal eller nationell förmåga. Det beror på att vinster i exempelvis fart kommer medföra kortare operationstid vilket redogörs för i avsnitt 4.2. Som tidigare nämnts har projektet inte nått hela vägen fram till att utveckla ett enskilt obemannat luftfartyg som tillfredsställer samtliga behov fullt ut. Den lokala resursen skulle med fördel inneha egenskaper som gör UAV:n enkel och tillräckligt användarvänlig för att kunna hanteras av en, eller möjligen två personer, och enligt principen att det helst bara ska krävas en knapptryckning innan UAV:n påbörjar sitt eftersök. Vidare skulle den vara kapabel att överföra data från UAV-sensorer till markbundna AI-modeller. Testerna visade att den lokala

resursen efter vidtagna åtgärder uppfyllde det första kravet där UAS kunde hanteras av 1-2 operatörer där två behövdes för fastvinge och en för multirotor. Det krävdes dock en hel del förinställningar och konfiguration.

Den nationella resursen behövde egenskaper som gjorde den kapabel att analysera data ombord samt upprätthålla kommunikation oavsett avstånd till markstationen. Resultaten från testerna visade att den nationella resursen till viss del kunde genomföra de uppgifter som efterfrågades inklusive kraven kring enkelhet dvs. "endast en knapptryckning". Robustheten behöver dock förbättras och förarbetet för operatör är ännu inte på en "enkel" nivå enligt resultaten som redogörs för i avsnitten 6.1.7 och 6.2.3. Som tidigare nämnts visar projektets resultat från vidtagna åtgärder och experiment på att den lokala resursen ställer relativt låga krav på hastighet, flygtid och nyttolast men behöver istället högre automation och möjlighet att operera med minimala personella resurser, se avsnitt 4.2.2. Den nationella resursen ställer högre krav på flygtid och kapacitet till att bära nyttolast, se avsnitt 4.2.3. En nationell förmåga bedöms även vara mer komplex och troligen fysiskt större bland annat då storlek på sensorer, antal länkar och energi för uthållighet ökar. Det i sin tur innebär troligen att organisationen för att flyga och underhålla farkosten ökar.

Automation

Automation upp till nivå 3 har använts vid flygtesterna där resultaten visade att automation minskar den upplevda arbetsbördan hos operatören vid samtliga flygningar med UAS. Resultaten pekar på att det i dagsläget är önskvärt för samtliga UAS att flyga med minst automationsnivå 2 där en UAS ska kunna flyga en förprogrammerad rutt med möjlighet att modifiera rутten under uppdraget, se tabell 3.3. Sammanfattningsvis visar resultaten från flygproven att automation bidrar till avlastning då operatörens upplevda arbetsbörda minskar då denne kan fokusera på att genomföra och planera uppdrag snarare än att flyga. I nuläget sker den största inblandning vid start och landning samt vid oförutsedda skeenden, se figur 3.3.

Länk/kommunikation

I dagsläget hämmas UAS av begränsat avstånd för kommunikation då frekvensbandet är allokerat till frekvenser för trådlösa nätverk, se avsnitt 6.1.3. För att möjliggöra flygning på längre avstånd, vilket är aktuellt för den nationella förmågan som ska kunna flyga BVLOS, provades andra frekvenser med varierande resultat. Öppna frekvenser (kommersiella radiolänkar) har en maxlängd på 5 km i öppen terräng och vackert väder. För att kunna kommunicera på längre avstånd än 5 km krävs infrastruktur och tillstånd vilket testades med goda resultat. Dessa vidtagna åtgärder för att flyga BVLOS ställer krav på teknisk och legal kompetens. Projektets resultat visar att för lokal resurs är nuvarande lösningar, baserat på 2.4 GHz och 5.8 GHz, väl godtagbara.

Under projektet har det genomförts flera tester för att se över olika möjligheter till realtidsöverföring med acceptabel överföringshastighet och tillräckligt god bildkvalitet då detta är ett av projektets uppsatta mål. Då olika kommersiella systemen har inte standardiserat dataöverföringen vilket resulterade i att mycket tid gått åt till att skapa alternativa lösningar för detta, se vidare redogörelse i tabell 6.7. Åtgärder vidtogs där flera olika system integrerades för att kunna testa AI-stödet för de obemannade luftfartygen. En medföljande dator fungerade som en router för att skicka datapaket till markstationen där flygtesterna gav positiva resultat med minimal länkförlust under hela fasen av flygverksamheten. Trots vidtagna åtgärder behöver ytterligare tester göras för flygning på högre höjd.

Tillstånd och tillgång till tillfälliga spridningstillstånd för projektets gemensamma tester och flygning BVLOS genomfördes med framgångsrikt resultat där data livestreamades för analys. Det skapades även ett säkert nätverk för berörda parter med säker VPN-tunnelinstallation för alla luftfartyg, markstationer och relevanta intressenter för utbyte av information. Denna åtgärd vidtogs då ett länksystem för ett UAS-system inom SAR bör vara krypterat för att förhindra övertagande eller att obehörig tar del av känslig information. Nätverket testades framgångsrikt genom att överföra nyttolastinformation från UAS-labbet i Ljungbyhed till klientsidan baserad i Stockholm för AI-bearbetning. Med Cloud API-funktionen utvecklades en webbsida för att strömma telemetri och video från de obemannade luftfartygen. Även frågan om spridningstillstånd utgör dock en tidskrävande process där det krävs att fler börjar använda sig av UAV:er för att generera mer data. Frågan kommer då troligtvis bli mer uppmärksammas.

Markstation

Två olika typer av markstationer, se avsnitt 3.3.2, har utvärderats, en kommersiell och en av utvecklarkaraktär. De två systemen skiljer sig en hel del både till utförande och användning och det är därför inte helt enkelt att göra en jämförelse rakt av. Den kommersiella är låst till att användas till multirotor av en specifik typ medans den öppna markstationen av utvecklarkaraktär kan användas till alla öppna typer av UAS som Multirotor, Fixed Wing och VTOL. Markstationen av utvecklarkaraktär är dynamisk på så sätt att flera olika programvaror och fysiska enheter kan användas. Det innebär dock brister i standardisering och för att uppnå ett intuitivt och enkelt system där användaren kan fokusera på operationen och de mänskliga faktorerna istället för tekniken hade dessa öppna system behövt vidareutvecklas, se avsnitt 6.1.7.

Idag saknas en standard för hur en markstation ska se ut samt vilka benämningar som ska användas. Grafiskt upplägg, namn på funktioner och menyer ser därmed olika ut mellan olika UAS vilket förvirrar, ökar inlärningströskeln och gör det svårt att kravställa system.

En utmaning som identifierades under projektet är att göra UAS operatörens arbete mindre fokuserat på tekniken och mer fokuserat på uppdraget. Även om det vidtogs vissa åtgärder genom att skapa egna anpassningar för att uppfylla några av de behov som ställdes, kvarstod svårigheter där mycket tid och energi lades på tekniken snarare än uppdraget, se avsnitt 6.1.4 och 6.1.7.

Utformningen av gränssnittet för en markstation är ett exempel. Menyer för konfiguration och teknik på låg nivå separeras inte från uppdragsrelevant information vilket gör att operatören i en tidskritisk situation tvingas fokusera på tekniken istället för uppgiften. Gränssnittet för den kommersiella plattformen saknade en tydlig instrumentering som visar nivå av automation, kurs, fart, höjd och horisont. Den utvecklingsbaserade markstationen hade tydligare instrumentering men även här hade väsentlig information kunnat få ta mer plats på bekostnad av mindre väsentlig information. Exempelvis hade information i markstationen om närliggande luftfartyg likt Flightradar24 [7] underlättat integrering i luftrummet.

7.3.2 Analys av experimentresultat för AI-modeller och algoritmer

Parallellt med flygproven genomfördes tester av AI-modeller och algoritmer. Som tidigare redogjorts för i avsnitt 6.1 har två scenarier tagits fram som representerar en sjöolycka och ett flygplanshaveri för att beskriva hur ett ärende kan se ut vid efterforskning och lokalisering. Scenarierna utformades för att samla in data och utvärdera AI algoritmer på relevanta objekt samt ge piloter möjlighet att testflyga de obemannade luftfartygen enskilt och med AI-stöd. Utifrån underkategorierna, "maskininlärning" och "djupinlärning" genomfördes en systematisk

litteraturstudie som beskrivs i avsnitt 4.4.1. Efter en lång gallringsprocess kvarstod att den vanligaste typen av maskininlärningsbaserat stöd var objektdetektion som fokuserade på människor som befann sig utomhus. Andra trender som kunde skönjas var segmentering och målföljning. Objektdetektion och målföljning var även de AI-modeller som projektet slutligen valde att fokusera på i syfte att utvärdera den tekniska mognadsgraden samt användbarhet för eftersök av nödställd person, se avsnitt 4.5. Objektdetektion var det vanligast förekommande AI-baserade stödet som utnyttjades i arbeten relaterade till projektet. Dessutom fanns det tillgänglig annoterad träningsdata vilket resulterade i att projektet valde att primärt fokusera på utvecklingen av objektdetektion hos de obemannade luftfartygssystemen.

Vid träning och finjustering av djupinlärningsbaserade modeller krävs ofta stora datamängder, och en utmaning som tidigt identifierades i projektet var bristen på representativ data. Med representativ data avses data som avbildar det operativa området för SAR i Sverige och under svenska förhållanden med varierande väder, såsom vackert och strålade sol, mulet, snötäckning och isbildning. Vidare behövs data som avbildar personer från en höjd och vinkel som är sannolik vid framtida användande av UAS inom SAR. Bristen på representativ data resulterade i att egen data samlades in för utvärdering av modellerna. Den egeninsamlade datan behövde sedan annoteras för att kunna användas vid utvärdering av AI-modell för detektion. Annotering av stora mängder bildmaterial är väldigt tidskrävande och var inte möjligt att genomföra under den tidsperiod efter att spridningstillstånd erhöles.

Objektetektion, positionering och målföljning

Utvärderingen gjordes på objekt- och bildnivå där den i projektet finjusterade YOLO-modellen presterade bättre än övriga modeller. Med undantag från analys av termiska bilder då de inte ingick i utvärderingsdatasetet, se avsnitt 5.3.1. Även om grundmodellerna för objektetektion är mycket bra och snabba när det gäller att detektera objekt i bilder och filmer som är tagna i dagsljus och från ståhöjd, presterar de sämre i andra sammanhang. Exempelvis presterar grundmodellen sämre vid detektion av objekt i bilder tagna nattetid eller från ovanliga vinklar. Troligtvis beror detta på den träningsdata som använts vid framtagandet av modellerna. Slutligen observerades att detektorn ofta detekterade andra potentiellt intressanta objekt, däribland flytvästar och bojar, vilka räknades som felaktiga i den kvantitativa utvärderingen men som kan vara av intresse att upptäcka vid en SAR-insats, se avsnitt 6.2.2. Även positioneringen, med ett medelfel på 5.61 meter och standardavvikelse på 2.15 meter, ansågs vara tillräckligt noggrant och godkänt för projektet vilket redogörs för i avsnitt 6.2.2. De experiment som utfördes och resultaten som erhöles för positionering visade att kalibreringen mot den specifika linsen måste vara exakt för att felet inte ska bli för stora. Den bildbaserade positioneringsmetoden ansågs därmed vara störningskänslig, se avsnitt 6.2.2. Målföljning har främst använts i projektet för att minska antalet falska detektioner, se avsnitt 3.5.3 och 5.3.1, och har inte utvärderats annat än vid de praktiska försöken.

Dataöverföring och modellstorlek

I resultatet framgår det att det i de flesta djupinlärningsbaserade modeller existerar en direkt korrelation mellan modellstorlek och hur bra de är på sin uppgift. Ju större modellen är desto mer beräkningskraft behövs och desto bättre är den på t.ex. objektetektion. I objektetektionsutvärderingen blev detta tydligt då den mindre modellen presterade avsevärt sämre jämfört med de större modellerna, se avsnitt 6.2.1. Detta blir dock en utmaning i områden där strömning av data till en mer kraftfull markstation ej är möjligt eller endast kan ske med begränsad bandbredd. Ute i fält kan det vara en utmaning att vara beroende av större beräkningskapacitet.

Det finns olika metoder för att komprimera modeller så att kräver mindre beräkningsresurser med nästintill bibehållen prestation. I projektet har det dock inte ingått att titta på hur större modeller kan göras lika effektiva och energisnåla som mindre.

7.3.3 Analys av uppgifter för AI-understödd UAS i svensk SAR

Experiment, genomförda testtillfällen och slutdemonstrationen visar att en UAS med AI-stöd kan nyttjas när de testas i de scenarier som anges i avsnitt 4.1. Bedömningen är att en UAS med AI-stöd kan nyttjas för flera olika uppgifter [90]. Automation bidrar till avlastning då operatörens upplevda arbetsbörda minskar då denne kan fokusera på att genomföra och planera uppdrag snarare än att flyga. Experimenten har undersökt flera av de uppgifter som anges i avsnitt 4.2.1 och det framgår att UAS med AI-stöd kan fungera som ytterligare ett verktyg och resurs inom sjö- och flygräddningstjänst. Det innebär en avlastning och ökar förmågan för personal som deltar i ett eftersök [81]. Utifrån resultat från vidtagna åtgärder framgår det att AI-stödda UAS anses kunna på ett IT-säkert sätt och i linje med rådande regelverk genomföra de uppgifter som redogörs för nedan.

Ge en lägesbild över position

En UAS med AI-stöd kan ge en visuell överblick över en position och bidra till en lägesbild över olycksplatsen, se resultat av utvärdering av AI-modeller i avsnitt 6.2. En samlad lägesbild från en räddningsresurs kan utgöra ett beslutsunderlag och ge information om ärendet till den egna operatören som motsvarar en räddningsenhet vilket redan idag sker hos flera samverkanspartner inom SAR, se avsnitt 2.2.1. Denne kan i sin tur förmedla information till räddningscentral, insatsledning och andra räddningsenheter.

Genomföra systematiskt sök med autonomt system

Med erfarenhet av sök- och räddningsinsatser är systematiska sök av ett område viktigt för att hitta nödställda. Flygproven med UAS har visat att en UAS med AI-stöd kan genomföra ett systematiskt sök enligt scenarier där AI-modellen bistår med objekt-detektion, målföljning och positionering, se avsnitt 5.1. Flygprov visar också hur svårt det är för operatören att navigera i miljön för sjö- och flygräddning utan automation. Därför vidtogs åtgärder för att lägga ut föreskrivna sökmönster enligt IAMSAR med hjälp av waypoints [97].

Genomföra bildtolkning för att detektera objekt åt operatör

En UAS kan vara utrustad med AI för stöd vid bildtolkning. Enligt den önskade målbilden ska information kunna delas till en markstation eller ombord för dataanalys med AI-modell lämpad för sjö- och flygräddningstjänst. Modellerna som ska bildtolka data behöver vara speciellt tränade med robusthet i åtanke så att algoritmerna inte genererar oväntade, svårtolkade eller motsägelsefulla förslag under en skarp sök- och räddningsinsats. I vissa fall kan förmågan att detektera avvikelser från det normala vara till stor hjälp för att upptäcka objekt som leder ärendet vidare. Analyserad bild ska finnas tillgänglig för operatör. Operatören ska kunna förmedla en lägesbild till insatsledning, räddningscentral och andra räddningsenheter, se bilaga B från genomförd workshop. Resultaten visar att AI-tekniken kan öka sannolikheten för att hitta ett objekt i ett angivet sökområde och därmed öka Probability of Detection, POD.

Målfölja objekt i varierad och svår miljö

Efter genomförda experiment visar resultaten att en AI-stödd UAS kan målfölja detektera objekt i varierad och svår miljö. Vid hög sjö är det svårt att målfölja från sjögående enheter och då kan en AI-stödd UAS vara till stöd för att inte tappa objekt ur sikte. En AI-stödd UAS kan målfölja personer i nöd eller objekt i väntan på ankomst av ytterligare resurser till positionen. Aktuell eller uppdaterad senast kända position talar för ett lyckat eftersök genom att leda övriga räddningsenheter rätt [97]. Denna typ av stöd kan vara till stöd exempelvis vid komplexa sällan händelser där det är många nödställda eller när annan flygande resurs saknas och sjögående enheter har svårt att bibehålla visuell kontakt med nödställd i väntan på räddning.

Utgöra relästation för ökad räckvidd till radiokommunikation

En UAV med utrustning för länkning av radio- och datakommunikation kan öka räckvidden för radio- och datakommunikation för flera UAS-system [97]. På så vis kan Svensk räddningsregion förstärka sin kommunikation i glesbygd, ödemark och långt ute till havs. Detta är inget som har testats i projektet. Däremot sker de flesta sjö- och flygräddningsärenden kustnära och i bebyggelse, se avsnitt 2.1.6 och 2.1.7. Därmed talar inte statistiken för att denna typ av uppgift är ett behov även om det kan vara teknisk möjligt.

Kunna transportera utrustning

Vid komplexa olyckor och sällanhändelser kan det finnas behov av att transportera kritiska komponenter eller nödutrustning till nödställda eller till räddningsenheter inom räddningsorganisationen. Enligt flygproven kan en UAS transportera utrustning i form av sensorer. Det kan bibehålla eller öka räddningsförmågan vid stora och flera skadeplatser, se bilaga B.

Kommunicera med nödställda eller räddningsorganisationen

En UAS kan utrustas med kommunikationsutrustning för att kommunicera med nödställda eller räddningsorganisationen, se bilaga B. Projektet har testat funktionen att kommunicera till nödställda med högtalare och hörbarheten var god för nödställd, under optimala förhållanden, se avsnitt 6.1.3

7.4 Gap-analys

Projektets verksamhet har syftat till att undersöka och besvara den tidigare nämnda forskningsfrågan, se avsnitt 1.2.

Hur kan obemannade luftfartyg och AI användas för att förbättra aktörsgemensamma eftersök av nödställda personer vid sjö- och flygräddningsinsatser? Med tillhörande underfrågor:

1. Vilka behov ställs på ett AI-stött obemannat luftfartygssystem vid eftersök av nödställda personer vid sjö- och flygräddningsinsatser?
2. Till vilken grad kan olika obemannade luftfartyg hjälpa vid eftersök av nödställda personer vid sjö- och flygräddningsinsatser?
3. Till vilken grad kan olika AI-modeller hjälpa obemannade luftfartyg vid eftersök av nödställda personer vid sjö- och flygräddningsinsatser?

För att besvara huvudfrågeställningen är det nyttigt att gå tillbaka till det övergripande målet för projektet som var att föreslå hur det svenska SAR-systemet kan utformas och effektiviseras med obemannade luftfartyg och AI för att snabbare lokalisera och rädda fler liv i enlighet med det transportpolitiska hänsynsmålet. Obemannade luftfartyg med AI-stöd kan användas för att förbättra aktörsgemensamma eftersök av nödställda personer vid sjö- och flygräddningsärenden likt de scenarier som anges i avsnitt 4.1. Den nya tekniken bedöms, på ett IT-säkert sätt och i linje med rådande regelverk, utifrån angivna scenarion kunna:

1. öka säkerheten för deltagarna i en räddningsinsats samt minska kostnaderna för denna.
2. minska tiden till lokalisering och därmed kunna rädda fler liv, och
3. minska miljöpåverkan då räddningshelikopter och sjöburna enheter kan nyttjas effektivare och med minskad bränsleförbrukning.

Mer specifikt har projektet utvecklat en lokal och en nationell AI-stödd UAS som helt eller delvis har förmågan att:

1. ge en lägesbild från luftfartyg över position [89, 90].
2. genomföra systematiskt sök med autonomt system [97].
3. genomföra bildtolkning för att detektera objekt åt operatör, se bilaga B.
4. målfölja objekt i varierad och svår miljö [97].
5. utgöra relästation för ökad räckvidd till radiokommunikation [97].
6. kunna transportera utrustning, se bilaga B.
7. kommunicera med nödställda eller räddningsorganisationen, se bilaga B.

Bedömningen är att vid vanligt förekommande olyckor, komplexa olyckor eller sällanhändelser kan en UAS med AI-stöd nyttjas för flera olika uppgifter och i vissa fall vara avgörande [90]. Användande av UAS med AI-stöd kan fungera som ett ytterligare verktyg och resurs inom sjö- och flygräddningstjänst. Det innebär en avlastning och ökar förmågan för personal som deltar i ett eftersök [81].

Projektet visar på hur UAS med AI-stöd kan larmas ut med en känd utgångsgruppering och en angiven beredskapstid. Från utgångsgrupperingen kan endera start av ett uppdrag ske eller en frambasering till en förrekognoserad plats närmare ett sökområde. Vid dessa platser kan en UAS starta för att anflyga ett sökområde och genomföra ett eftersök. Vid ett eftersök kan UAS använda flera olika modeller av AI. Det kan vara automation för ett specifikt sökmönster eller dataanalys för att detektera objekt. Utgångsvärdet för en UAS med AI-stöd är att kunna kommunicera och dela information vidare där tekniken kan redogöra för hur läget är på en skadeplats från enskild SAR-resurs genom operatör till andra räddningsenheter, insatsledning och räddningscentral. Vid avslutat uppdrag kan en UAS med AI-stöd återflyga och landa vid en förutbestämd plats och återgå till utgångsgruppering vid basering.

De behov som AI-stött obemannat luftfartygssystem har vid eftersök av nödställda personer vid sjö- och flygräddningsinsatser varierar beroende på vilken variant av UAS som används och vilken typ av insats som ska genomföras. De obemannade luftfartygssystem, eller UAS, är en övergripande benämning som utöver luftfartyget innefattar, kontrollstationen, nyttolast, datalänkar, transportutrustning, start- och landningsutrustning och underhållsutrustning. För att kunna möta projektets mål och syften har i huvudsak tre behov lyfts för UAS. Dessa tre behov är det obemannade luftfartygets förmåga att flyga med olika hastigheter (hastighet), flygningens

längd i tid (flygtid) samt dess förmåga att bära med sig en lämplig nyttolast (nyttolast). Beroende på vilken förmåga som efterfrågas för insatsen påverkar behoven som UAS har för att kunna genomföra sin uppgift där det ställer krav på systemen att balansera uthållighet, nyttolast och fart. I realiteten kan uthållighet, insatstid och nyttolast anpassas beroende på det enskilda sjö- och flygräddningsärendet.

Två behovskategorier har tagits fram inom projektet, en lokal och en nationell UAS med AI-stöd. Den lokala resursen är av enklare modell och kan användas utan svårighet av en sällananvändare. Den lokala resursen ska även klara av relativt hårt väder och ställer relativt låga krav på nyttolast, flygtid och hastighet där bildtolkningsanalys inte sker ombord vilket beskrivs mer utförligt i avsnitt 4.2.2. Den nationella resursen ska till skillnad från den lokala förmågan operera i avlägset sökområde där bildtolkningsanalys sker ombord. Resursen ställer jämförbart högre krav på kapacitet att bära nyttolast och flygtid jämfört med den lokala, se avsnitt 4.2.3. För att möjliggöra AI-understöd till de obemannade luftfartygen krävs det att de obemannade luftfartygen är utrustade med sensorer i sin nyttolast. Projektet visar på att aktuella modeller, när de finjusteras med lämplig data, kan användas i realtid för att stödja SAR-operationer. Vid träning av djupinlärningsbaserade modeller krävs ofta stora datamängder och då data som är representativ för SAR. Bristen på representativ data resulterar i ett behov av att samla in egen data. Ska datat användas för finjustering av modell eller utvärdering behöver den annoteras, vilket är resurskrävande. I projektet användes den egeninsamlade och annoterade datan endast för utvärderingssyftet. Det framgår i resultatet att ju större modellen är desto bättre presterar den vid objekt-detektion, se avsnitt 6.2.1.

Ett viktigt behov för AI-understödda UAS och SAR-insatser generellt är möjligheten att kunna dela sensordata vilket är avgörande för att samverka och skapa en gemensam lägesbild. Projektet har visat att det förekommer svårigheter i delningsprocessen.

Redan när projektet initierades använde flera SAR-aktörer UAS i sina verksamheter där systemen kan främst förmedla en lägesbild vid eftersök som en förstärkning av befintliga resurser. Denna rapport visar att olika obemannade luftfartyg med stöd från AI-modeller kan nyttjas för flera olika uppgifter och i vissa fall vara avgörande [90]. Användande av UAS med AI-stöd kan fungera som ett ytterligare verktyg och resurs inom sjö- och flygräddningstjänst. Det innebär en avlastning och ökar förmågan för personal som deltar i ett eftersök [81]. Utifrån angivna uppgifter framgår det att obemannade luftfartyg och AI kan användas med framgång i de scenarier som anges i avsnitt 4.1. De obemannade luftfartygen kan i hög grad få hjälp med detektion, lokalisering, målföljning och inte minst avlastning för besättningen med hjälp av AI och automation.

7.4.1 Kvarvarande gap

Utifrån de önskade behov som utgjorde grunden för det beskrivna framtida önskade läget och mer specifikt de prioriterade tekniska förmågorna och SAR-uppgifterna har majoriteten mer eller mindre tillgodosetts. Det återfinns dock uppgifter som ännu ej tillfredsställts fullt ut.

Enskilt UAS

I ett drömscenario skulle en UAV kunna flyga i valfri hastighet, bära obegränsad nyttolast och ha oändlig flygtid men verkligheten sätter sina begränsningar. Experiment och resultat pekar på ett gap då det är svårt att hitta en enda UAV som klarar av samtliga SAR-uppgifter oavsett om den opererar som lokal eller nationell förmåga. Det beror på att vinster i exempelvis fart kommer att medföra kortare operationstid. Beroende på det enskilda sjö- och flygräddningsärendet kan förmågorna för uthållighet, insatstid och nyttolast anpassas och balanseras baserat på behov.

För nationell resurs förväntas en UAV kunna färdas sträckor bortom synhåll vilket kan komma att kräva annan teknik. I dagsläget får en operatör som flyger bortom synhåll förlita sig på mobiltelefoni eller satellit eftersom det saknas allokerat frekvensband för radio- och datalänkar för flygning bortom synhåll. Nätverk för mobiltelefoni är fullt möjligt att nyttja för radio- och datalänkar men täckningen är i vissa fall begränsad vid flygoperationer i glesbygd, kustbandet eller längre ut. Det innebär andra frekvenser, högre effekt, fler kanaler och längre sändningscykel. Användning av satellit för bildöverföring ökar fördröjningen samt medför högre kostnader för samma data. Val av radio- och datalänkar är en legal och teknisk utmaning som inte bör underskattas i ett framtida arbete och som inte har undersökts fullt ut vid detta projekts testtillfällen. I och med att det inom projektet inte varit möjligt att testa den nationella resursen fullt ut identifieras ett gap i förhållande till de uppsatta mål som resursen förväntas genomföra. Det lokala systemet skulle enligt önskade framtida läge vara enkel och tillräckligt användarvänligt för kunna hanteras av en, eller möjligen två personer. Då det krävdes en hel del förinställningar och konfiguration kan inte systemen ses som tillräckligt användarvänliga vilket utgör ett gap. Testerna visade dock att den lokala resursen efter vidtagna åtgärder uppfyllde det första kravet där UAS kunde hanteras av 1-2 operatörer där 2 personer behövdes för fastvinge och en för multirotor.

Väder

Experiment och resultat pekar på att det är svårt att hitta en UAV som klarar av samtliga SAR- uppgifter, i alla väder. Utöver resonemanget nedan gällande insamling och träning med data som avbildar det operativa området för SAR i Sverige behöver en UAS för SAR hantera flera olika väderförhållanden så som flygningar över vatten, fukt, kyla och vind, se avsnitt 2.2.1. I projektet testades olika typer av väderlekar med varierande styrka och riktning på vinden, temperaturer och luftfuktighet. UAS uthållighet minskade vid flygning i nederbörd och vind. Flygning med automation påverkades även av vinden där precision vid navigering försämrades. Under relativt lugna sjöförhållanden kunde UAS starta och landa i vatten utan svårighet men det framkommer inte om utfallet blivit densamma vid sämre väderlek. Vidare har flygtester genomförts främst i vackert väder, inte minst de som genomförts på längre avstånd med öppna frekvenser. Sammanfattningsvis behöver fler tester genomföras i mer varierande väder för att projektet ska kunna uttala sig om hur väl ett AI-stött UAS opererar i svenskt SAR-område. Det framgår i det önskade framtida läget att både den lokala och nationella resursen ska klara av relativt hårt väder vilket tyder på ett gap då detta inte testats fullt ut. I det önskade framtida läget skulle tekniken kunna användas som komplement till olika räddningsenheter när dessa inte finns tillgängliga, eller är förhindrade på grund av till exempel dålig väderlek. Detta utgör ett gap i de fall då systemet inte heller kan operera på grund av vädret.

Länk/kommunikation och spridning av data

Resultat från tester som framgår i avsnitt 6.2.1 visar att bilddata taget med en sensor kan analyseras lokalt i markstation. Under genomförda tester fungerade en medföljande dator som en router för att skicka datapaket till markstationen där flygtesterna gav positiva resultat med minimal länkförlust under hela fasen av flygverksamheten. Detta för att kunna testa möjligheter till realtidsöverföring med acceptabel överföringshastighet och tillräckligt god bildkvalitet i linje med projektets uppsatta mål. Tester för länk/kommunikation skedde delvis under konstruerade förhållanden för att lyckas uppnå bästa resultat där ett tält sattes upp och el drogs fram till den medföljande datorn. Datorn var vid vissa tester i sin tur sammanlänkad till markstationen (handkontrollen) med hjälp av kabel. En slutsats från testerna är att de inte speglade verkligheten vid en SAR-operation fullt ut. Det är inte rimligt att påstå att det vid en SAR-operation är

möjligt att förvänta sig de förhållanden som upprättades vid testtillfällena. Vidare tester behöver göras för att förenkla hårdvaran som använts där projektets intressenter inte är intresserade av några kabellösningar i ett önskat framtida läge. Projektets intressenter ansåg att en av de högst prioriterade förmågorna var att genomföra "Realtidsöverföring av bild från obemannade luftfartyg till operatör" vilket endast delvis tillgodosetts vilket tyder på ett gap. En grundförutsättning för att kunna använda de större och bättre AI-modellerna är att data kan strömmas i tillräcklig hastighet och kvalitet för att detektioner skall kunna ske. Experimenten som genomfördes visade att detta behöver utredas ytterligare, speciellt i kommunikationsnedsatta områden. Att i dessa fall använda en mindre kraftfull modell är en attraktiv lösning då det skulle kunna möjliggöra att modellerna körs ombord på UAV:n. Dataöverföringen skulle då kunna minskas till att endast relevanta detektioner strömmas tillbaka till operatören.

Projektet har undersökt möjligheter att sprida en bild eller video över ett sökområde i realtid till ingående aktörer och funnit att det i nuläget inte fullt ut är tillräckligt säkert utifrån det regelverk som beskriver hur inhämtad information från luften ska hanteras. Vidare undersökningar av huruvida spridning av bilder och video till ingående aktörer ska gå till har avgränsats bort i detta projekt. Vad som dock visats vara tydligt i dessa sammanhang är förmågan att kunna dela data med aktörer inom SAR-domänen. För att kunna dela data krävs att spridningstillstånd söks vilket är en juridisk fråga som behöver utredas vidare då det i nuläget är en långsam process. Ju fler som börjar använda sig av UAV:er desto mer data kommer att genereras och desto viktigare blir denna fråga. Då projektet inte tillgodosett behovet av spridning av data fullt ut kan det ses utgöra ett gap i förhållande till det önskade framtida läget.

En UAS kan bli ytterligare en typ av SAR resurs att ta i besittning och kan därmed utgöra ett komplement till dagens resurser givet dess egenskaper. Med hjälp av AI-stöd avlastas piloten men potentiellt även övriga SAR enheter som då kan fokusera på undsättning [81]. Med fler enheter ökar redundansen och möjligheten att täcka större ytor vid eftersök till en rimlig kostnad och låg påverkan på miljön. Det kan också nyttjas vid flera larm och olyckor samtidigt, då flera resurser i sökområdet vara avgörande. Trots att Svensk sjö- och flygräddningstjänst är en samverkansorganisation så har projektet inte undersökt samverkan mellan det AI-stödda UAS och andra SAR-aktörer. Detta utgör ett gap i förhållande till det beskriva önskade framtida läget där tekniken önskas kunna kommunicera med räddningsorganisationen och kunna ge sig till känna i andra ledningssystem.

Objektdetektion

En prioritering som inte tillgodosetts är detektion av kropp under natttid i vatten och andra objekt än människa. Detta då modellen inte tränats på den datan. Som gap-analysen visar bör modellen även tränas på avvikelser, andra objekt än människa, andra höjder och andra kameravinklar. Eftersom att olika objekt kan leda ett ärende vidare är det av vikt att modellen tränas på dessa för att få bättre framtida resultat inom svensk SAR. Vidare redogörs det för i gap-analysen att det krävs fortsatt insamling och träning med data som avbildar det operativa området för SAR i Sverige och under svenska förhållanden med varierande väder såsom; vackert och strålände sol, mulet, snötäckning och isbildning. Slutligen observerades att detektorn ofta detekterade andra potentiellt intressanta objekt, däribland flytvästar och bojar, vilka räknades som felaktiga i den kvantitativa utvärderingen men som kan vara av intresse att upptäcka vid en SAR-insats. Då projektets intressenter ansåg att "Detektion och klassificering av person i vatten natttid" var högt prioriterat utgör det ett gap i projektet då detta inte utvecklats fullt ut.

Modellkänslighet

En annan utmaning med objekt-detektion är gränsdragningen i hur känslig en modell ska vara. En modell som har ett tröskelvärde som ligger för lågt (dvs. även detektioner med låg konfidens returneras) kan i fel scenario ge alldeles för många så kallade falska positiva träffar. Detta kan innebära en enorm kognitiv belastning för operatörer som ska sälla mellan alla dessa träffar. I ett annat scenario kan det vara önskvärt med låg tröskel då omgivningen t.ex. öppet hav är så pass monoton att allt som avviker är av intresse. I motsatsförhållande kan en alltför hög tröskel innebära att viktiga detektioner filtreras bort och inte meddelas operatören. Den gyllene medelvägen behöver undersökas vidare. En metod som användes framgångsrikt som ett sätt att filtrera bort enstaka felaktiga detektioner i de genomförda experimenten var att använda målföljning, vilket innebär att detektorn måste identifiera samma objekt flera gånger i olika bildrutor innan det tilldelas ett ID och börjar spåras. Detektionen av andra objekt har inte varit prioriterade i detta projekt och utgör ett gap i förhållande till det önskade framtida läget där det AI-stödda UAS skulle kunna målfölja objekt i varierad och svår miljö.

Partiskhet i AI-modeller

Något som ofta diskuteras i samband med AI-modeller är att systemen kan vara fördomsfulla och uppvisar partiskhet (eng. bias). Detta innebär att systemen kan uppvisa snedvridna eller diskriminerande beteenden. Denna partiskhet härstammar ofta från obalanserad träningsdata eller etiketter skapade av en homogen grupp människor, vilka möjligen inte är objektiva i sin bedömning av innehållet [57]. Exempelvis kan en objekt-detektionsmodell som tränas med en sned könsfördelning i träningsdata utveckla en tendens att mer framstående detektera det dominanta könet. Detsamma gäller för bristen på data av minderåriga eller personer med en specifik etnisk bakgrund som är underrepresenterade i träningsdata. Detta fenomen kan resultera i modeller med försämrad prestanda vid identifiering av dessa grupper, en omständighet som i ett SAR-scenario kan vara problematisk. Det är av yttersta vikt att vara medveten om uppkomsten av sådana diskriminerande beteenden i AI-modeller och sträva efter adekvat hantering av dessa. Då detta projekt använt sig av delvis obalanserad träningsdata kan det förekomma partiskhet i resultatet. Detta utgör ett gap då modellen inte tränats på alla tänkbara individvariationer och kommer därmed eventuellt inte att detektera alla typer av människor.

Kapitel 8

Diskussion

8.1 Diskussion

I detta kapitel diskuteras resultaten som framkommit i rapporten och som analyserats i kapitel 7. Diskussioner förs om förutsättningar, AI-understödd UAS som resurs, framgångsfaktorer för användning samt effekter med AI-understödda UAS inom sjö- och flygräddningstjänst.

8.1.1 Flygsäkerhet

Flygsäkerheten är en grundläggande förutsättning för att kunna använda UAS som stöd inom SAR-systemet. För att uppnå en hög flygsäkerhet krävs separation i luftrummet, procedurer för koordinering av UAS och andra resurser, synbarhet i luftrummet, tillförlitlig UAS-teknik och utbildad personal. För projektets flygprover användes operativa procedurer som baserades på en mall publicerad av EASA [25]. Andra bra källor för vad som behöver beaktas vid framtagande av operativa procedurer är MSB:s publikation “UAS i kommunal räddningstjänst 2.0” [59] och SKR:s publikation “Drönare i kommunal verksamhet” [104]. Under projektet har separation av UAS mot andra luftburna SAR-aktörer och övrig luftfart endast testats genom användning av särskilt separerat luftrum eller flygning inom synhåll på höjder under 120 meter. Användning av samma luftrum som bemannat flyg kräver ytterligare tekniska lösningar, som exempelvis transponder, för att kunna se och synas. Olika former av separation av UAS har testats där vi ser att separation i zoner alternativt i höjd har olika fördelar och nackdelar. Kombinationen förefaller bidra med högst säkerhet men påverkar förmågan i och med att effektiviteten minskar när luftrummet inte kan utnyttjas lika effektivt. Arbetsbelastningen för att koordinera luftrumsanvändningen visar tydligt på behovet av tydliga procedurer och övning för att koordinera och separera mellan såväl flera UAS-förmågor som övriga SAR-resurser.

Det är viktigt att vid planering och procedurframtagande ta hänsyn till att uppförandet i luften är väldigt olika för UAV:er i form av multirotor och fastvinge, på motsvarande sätt som det skiljer sig mellan helikoptrar och traditionella flygplan. Som exempel så måste det tas i beaktning att ökad fart med fastvinge ger ökad svängradie. Det betyder att flygning och separation måste planeras med detta i åtanke för att inte skapa förhöjda risker. Projektet tog fram procedurer för att hantera koordinering och separering i samband med tester men har inte angivit detaljerade procedurer för hur koordinering och separation ska gå till då detta kräver operativ utprovning för att vara relevant.

Utöver procedurer för hantering av luftrum har detaljerade procedurer tagits fram för flera av de UAS som användes. De farkoster som valdes för flygprov av lokal förmåga saknade i vissa fall såväl komplett manual som checklista samt underhållsinstruktioner, varvid detta behövde upprättas. Provfarkosterna för den nationella förmågan levererades med en manual men det var tillverkarens avsikt att operatören själv integrerar systemet och upprättar checklistor och underhållsinstruktioner. Utöver underhållsinstruktioner skapades även procedurer för hur underhållet genomförs av operativ personal. Det skapades även tillhörande checklistor för att, ur ett underhållsperspektiv, klargöra systemet och ta hand om det efter flygning. Erfarenheter från tester visar att kravet på underhållsåtgärder ser olika ut beroende på storlek på farkost och system. Underhåll för UAV som avses användas som lokal förmåga är ofta minimerat till laddning av batterier eller uppdatering av mjukvara. Det krävs således inte någon speciell kompetens eller utbildning för att färdigställa en UAV innan flygning annat än att en användarmanual. Tester med en nationella förmåga har visat att storleken på UAV och dess komplexitet kan kräva mer än bara en manual. Här visar resultaten på att det ofta krävs någon form av erfarenhet från flyg och en teknisk utbildning för att genomföra underhåll. Exempel på arbetsuppgifter som kan vara en utmaning är reparationer, inspektioner och klargöring innan flygning.

Det kan påpekas att flygning bortom synhåll enligt civila regler faller inom specifik kategori och i regel kräver någon form av separerat luftrum i dagsläget. Detta skapar ett ganska stort mått av inflexibilitet och kan försvåra samverkan med andra flygande resurser. För en framtid UAS-förmåga inom SAR är projektets bedömning att utvecklingen av U-Space och tekniska lösningar för fjärridentifiering kommer vara viktiga beståndsdelar. Reglerutveckling och integration av U-Space har påbörjats av EASA där Transportstyrelsen har övergripande ansvar att driva utvecklingen för Sverige.

8.1.2 Miljöfaktorer

Flygning med obemannade luftfartyg sker på såväl låga höjder, det som inom meteorologin beskrivs som gränsskiktet från markytan till drygt 1000 meters höjd, och upp till över 20000 meters höjd. Det innebär att systemet påverkas av bland annat temperatur, tryck, nederbörd, vindriktning och vindstyrka samt fukt. Särskilt temperatur i kombination med fukt är en starkt begränsande faktor för UAS på grund av att tekniken för hantering av is på vingar och rotoror inte är lika väl utvecklad för UAS som för bemannad luftfart. Temperaturen i vår atmosfär avtar i snitt med 2 grader per 330 meter, ju högre en flygning genomförs desto kallare är det sannolikt i luften runt luftfartyget. Redan vid temperaturer under +10 grader är sannolikheten för isbildning under flygning påtaglig, framförallt avhängigt luftfuktighet. Låga temperaturer påverkar även materialen (de kan bli mindre flexibla, bli skörare o.s.v.) och andra system ombord, såsom exempelvis batteriers lagringsförmåga. Höga temperaturer över 30 grader kan påverka på motsvarande sätt, material bli allt för flexibla och elektronik blir för varm för att fungera normalt. Om den omgivande temperaturen är 0 grader eller därunder finns det en stor risk för isbildning på propellrar och vingar som gör systemet svårflugget eller omöjligt att kontrollera. Isbildning på vingens framkant kan skapa turbulent luftström över vingen som kraftigt påverkar dess förmåga att producera lyftkraft som i värsta fall kan resultera i att systemet havererar. Detsamma gäller för en propeller, den kan vid kraftig isbildning inte producera nog med kraft för att bibehålla luftfartygets fart genom luften eller hålla luftfartyget flygande i fallet med ett rotorförsett luftfartyg.

Vindriktning påverkar framför allt luftfartyg som har behov av en start- och landningsbana som ligger i vindens riktning medan vindhastighet istället kan vara en större begränsning för vertikalt startande luftfartyg. Mörker ställer krav på luftfartygets utformning så att det syns tydligt

för omgivningen med hjälp av belysning av olika slag, exempelvis navigerings- och landningslampor. Även sensorers förmåga påverkas av bristen på ljus och i vissa fall behövs speciella mörkersensorer användas för ändamålet. I dagsljus finns istället behov av ljusstarka skärmar och/eller skuggningsmöjlighet. Miljöfaktorer finns också i form av extern påverkan av utrustning där väder och vind ställer tålighet för utrustningen på prov. Bristen på teknisk standardisering som omnämns på flera platser i rapporten gör sig påmind även här. Erfarenheter från genomförda tester visar på att det finns stora fördelar i tillförlitlighet med att upprätta kommunikation mellan kontrollenhet och bildbehandlingsenhet med sladd när så är möjligt men samtidigt att viss utrustning, såsom just sladdar, utsätts för mycket slitage, särskilt vid utgångsgruppering och basering i fält, och behöver medföras reserver för. Avsaknaden av tekniska standarder ställer högre krav på utprovning av utrustning och rutiner för hantering och underhåll för att maximera tillförlitlighet och livslängd.

8.1.3 Regelmässiga krav

Obemannade luftfartyg ska efterleva legala regelverk och bestämmelser enligt avsnitt 3.1. Det ställer krav på hur teknik rättssäkert ska hantera insamling, behandling och överföring av information. Det är därför av vikt att UAS med AI-stöd kan hantera behörighet för att förhindra förlust av information som kan innebära skada eller förlust för organisation samt negativ påverkan på enskild individs rättigheter, liv och hälsa. Rådande legala regelverk är komplexa och det är svårt att ta fram tydliga krav då både teknik och lagstiftning hela tiden utvecklas. Därför måste de legala aspekterna fortsatt bevakas för att säkerställa att krav efterlevs av operatörernas organisationer. Metoder och arbetssätt bör utformas på ett sätt som gör att användning av teknik sker inom rådande legala ramar. Förutom metoder och tekniska lösningar är det viktigt att samverka mellan myndigheter för att komma fram i frågan. Ett bra exempel på det är myndighetssamverkan om spridning av geografisk information där myndigheter samarbetar för hur information ska delas på ett säkert sätt. Denna typ av samarbeten måste fortsätta och också inkludera frågor om cybersäkerhet, informationssäkerhet och övriga legala regelverk som nämns i avsnitt 3.1. Sjö- och flygräddningstjänst bygger på samverkan och resurser tas i besittning vid behov beroende på ärende. Olika typer av lagar och regler gälla vid det enskilda ärendet. Därmed ligger ansvar på operatör och dess organisation att teknik används på ett rättssäkert sätt i enlighet med lagstiftning.

8.1.4 Mänskliga faktorer

Mänskliga faktorer har en stor inverkan på en UAS-operation och skiljer sig även en hel del åt beroende på vilken typ av UAS eller resurs som det rör sig om.

För lokal resurs kan grundläggande personliga behov vara väldigt viktiga, särskilt om UAV:n aktivt kontrolleras av en fjärrpilot i utemiljö. Som fjärrpilot är du till stor del stilla och blir snabbt nedkyld. Grundläggande personlig utrustning och väderskydd är då väldigt viktigt. Till viss del kan detta väntas vara uppfyllt genom grundutrustning för SAR-personal men viss utrustning kan vara värd att ge extra uppmärksamhet:

- Vindskydd
- Radiosändningshandske
- Headset/hörselkåpor med radio

För såväl lokal som nationell resurs finns en hel del moment som behöver göras ute på plats vid UAV, vilket medför behov av väderskydd. Detta gäller oavsett om UAV styrs manuellt eller

automatiserat. Förberedelser och inspektion innan flygning behöver normalt utföras i någon utsträckning vid startplatsen.

När det gäller själva utförandet av flygningar så visar erfarenheterna från våra experiment att det finns stora skillnader i mänskliga faktorer (såsom människa-maskin-gränssnitt (HMI)) mellan lokal och nationell förmåga samt mellan olika automationsnivåer.

För ett automatiserat lokalt system är det viktigt att det har en enkelhet i användning och att det med hög grad av autonomi kan klara av olika uppgifter. Möjligheten att tilldela personalresurser på exempelvis en båt för att kontrollera en UAV kan vara starkt begränsade och systemet måste därför ha kapacitet att "klara sig på egen hand" när väl beslut om start tagits.

Om det ska vara lättanvänt och kräva minimal utbildning och luftfartskunskap av personal på plats måste det även ha möjlighet att på egen hand kunna koordinera, undvika och konfliktlösa gentemot räddningshelikopter och andra räddningsenheter.

8.2 Diskussion om AI-stödd UAS som SAR-resurs

Den potentiella förmågan med AI-stödd UAS inom sjö- och flygräddningstjänst har påvisats under projektet och styrks av gapanalysen, se avsnitt 7.4. En AI-stödd UAS kan ta sig an olika typer av uppgifter vid insatser som avsnitt 4.2 beskriver eftersom systemens förmåga varierar, från enkla till mer komplexa system. Den största fördelen med en UAS är att risken minskar för egen personal som kan utföra flyguppslaget från en mer skyddad plats. En betydande nackdel är att de flesta UAS inte klarar extrema väderförhållanden. Andra fördelar med enkla UAS är kostnader och personella resurser. Enkla UAS kräver inte omfattande underhåll och utbildning vilket gör att det för en SAR-aktör kan vara en tillika uppgift att vara UAS-operatör.

8.2.1 Inbäddad eller extern bildanalys

En bildanalysmodell utvecklad för detektion av människor och objekt relaterade till sök- och räddningsinsatser kan köras inbäddat ombord en UAV eller externt i operatörens markstation på land, till sjöss eller i en ledningscentral, se avsnitt 7.4.1. Utrustning för beräkningskraft som används ute i fält bör tåla slitage och vara anpassad för utomhusbruk. Med referens till mänskliga faktorer, se avsnitt 6.1.4, är det en fördel om tolkningen av bildanalysresultat utförs av en separat operatör, dvs. inte piloten. Operatören hanterar resultatet av bildanalysen och vidarebefordrar informationen till insatsledning.

Experimenten och utvärderingen har visat att bildanalysmodellerna tenderar att vara bättre ju större de är vilket innebär att de är beroende av kraftfullare beräkningskapacitet. I mindre UAV:er är det i dagsläget endast möjligt att hantera mindre bildanalysmodeller. Forskning pågår kring komprimering av modeller så att de blir energisnålare och kräver mindre beräkningsresurser. Det har dock inte ingått som en del i projektet att utforska detta och det är en uppgift för framtida arbete. Vid ett system med bildanalys som inte sker ombord UAV:n behöver bilden strömmas. Bildanalys som inte sker ombord utan på t.ex. en ledningscentral kräver hög överföringskapacitet och bra säkerhet. Säkerhetsfrågan kan vara en utmaning i samband med passage genom olika organisationer, se avsnitt 3.1 om rådande legala aspekter.

För att möjliggöra användning av data för träning eller utvärdering av modeller behöver den annoteras. Annoteringen är delvis en infrastrukturfråga där data som samlas in i andra sammanhang men som är relevant ska kunna sparas på ett säkert sätt för framtida användning och kunna delas på ett bra sätt mellan aktörer. Att annotera data är också en mycket resurskrävande

aktivitet och det är bra om detta kan samordnas mellan aktörer, se avsnitt 7.4.1 om kvarvarande gap och databas.

Blickar vi mot framtiden gällande AI-modeller går det att se att multimodala modeller blir allt bättre, bara under de två åren som projektet pågått har stora framsteg skett. Dessa typer av modeller har stora fördelar i SAR-sammanhang då de tillåter en situationsanpassad sökning och möjliggör sökning av individer i en klass som kännetecknas av vissa attribut t.ex. stora röda bilar, barn med gula badbyxor eller skadad individ. Dessa modeller har dock en bit kvar vad gäller prestanda.

Vidare kvarstår att undersöka de metodologiska utmaningarna i hur och när detektioner och positioner ska förmedlas till räddningstjänstpersonal. Det går en fin linje mellan när en operatör riskerar att överväldigas med för mycket data och när en alltför stor andel av datat filtreras bort och operatören då får ett informationsunderläge jämfört med att inte använda en UAS med AI-stöd.

8.2.2 Nyttjande av befintliga UAS med AI-stöd inom SAR

Idag används redan UAS inom flera SAR-aktörers verksamhet enligt avsnitt 2.2 och genom att utrusta dem med bildanalysförmåga enligt avsnitt 8.2.1 kan deras operativa förmåga stärkas. Även lotsbåtar och isbrytare kan utrustas med AI-understödd UAS för att även stärka deras operativa förmåga vid sök- och räddningsinsatser. När fler SAR-aktörer använder UAS i sina egna verksamheter leder det till att användandet av UAS ökar inom SAR. Genom att föra in UAS som en resurs i svenskt program för sjö- och flygräddningstjänst, se avsnitt 2.1.3, kan användandet bli mer systematiserat och kvalitetssäkrat. Vad avser regelverk och metod, hur UAS skall verka i samarbete med andra befintliga SAR resurser är det idag respektive operatör och dess organisations uppgift och ansvar. Tester har visat att mindre UAS med eller utan AI-funktion enkelt och snabbt kan nyttjas kustnära, i bebyggelse eller ombord från fordon, båt eller fartyg. Fördelen med detta är att UAS snabbt ger en överblick över ett område och uppdraget kan sedan lämnas över till en mer kvalificerad SAR resurs som kan fortsätta arbetet.

8.2.3 Anskaffning av nya UAS med AI-stöd inom SAR

En lokal UAS med AI-stöd kan fungera som en förlängning av befintlig resurs om den placeras på en redan existerande räddningsenhet. Det skulle kunna vara i ett fordon eller ombord på ett fartyg som används som räddningsenhet, Search and Rescue Unit (SRU)¹. Ett UAS med AI-stöd är tillämpligt vid räddningsärenden där befintliga SAR-enheter inte kan gå ända fram i sökområdet. SAR-enheters begränsning kan bero på hinder, beaktat säkerhetsavstånd eller grund sjöomgivning som är vanligt förekommande i miljön för sjö- och flygräddning, se avsnitt 2.1.5. Då kan en flygande resurs komplettera eftersök genom att agera som en förlängd utkik på exempelvis grunt vatten där fartyg inte är framkomliga. Dessutom kan en autonom UAS med AI kunna placeras direkt på ett fartyg för understöd vid en man överbord-situation. Det skulle kunna vara på ett passagerarfartyg eller på ett handelsfartyg, för att därmed kunna startas för ett sök efter nödställd, nära och kort inpå händelsetillfället. För att snabbt kunna undsätta en person som fallit överbord utrustas samtliga handelsfartyg idag enligt lag med en Fast Rescue Boat (FRB) med egen utbildad besättning [42]. Genom att kombinera undsättning med FRB av en UAS skulle en förkortad tid och avstånd erhållas för eftersök och därmed ge en ökad säkerhet för passagerare och besättning. Fartyg med krav på räddningsbåt kan alltså också utveckla förmågan att söka med flygande förmåga. På så vis kan fler resurser komma att stärka den operativa förmågan

¹Räddningsenhet som t.ex. en SAR-helikopter, lotsbåt eller räddningskryssare.

inom sjö- och flygräddningstjänst. Projektet visar att lokala UAS:er med AI-stöd kan utgöra en förstärkning i SAR-systemet, men tekniken bör användas parallellt med övriga resurser och utvärderas metodiskt mot andra resurser som gör motsvarande uppgifter idag, se tabell 6.7.

Vad gäller anskaffning av en större UAS med AI-stöd, som motsvarar vad som tidigare kallats nationell, bör detta undersökas med avseende på behov, organisation, lagstiftning, avrop av flygning, finansiering, ekonomi, tillgänglighet och basering. En nationell UAS bör vara utrustad med AI-modeller och algoritmer för olika ändamål som kan nyttjas av samtliga SAR-aktörer. Dessutom kan en nationell UAS med AI-stöd till en början vara tjänstebaserad där en SAR-aktör hyr tjänsten med personal vid behov. En nationell, gemensam utökad UAS med AI-stöd kan vara en möjlighet om föreslagen utredning kommer fram till detta.

Befintliga aktörer inom SAR bör vid anskaffning av nya system om möjligt samordna vilka sensorer, se avsnitt 3.3.2, och förmågor ett UAS har givet att detta inte står i strid med den enskilda aktörens uppdrag inom SAR. Detsamma gäller för att utrusta dessa nya system med AI förmåga.

Tester har visat att närheten geografiskt till sökområdet är central, när det gäller SAR eftersom tiden är en viktig aspekt, se avsnitt 6.1.7. Därför skulle behovsplacerad UAS-enhet med AI-stöd behövas till exempel vid större evenemang som segeltävlingar, Gotland runt eller liknande. Utplacering av UAS:er för att förstärka flygförmåga på vissa geografiska platser eller ersätta andra flygande enheter där förmågan tillfälligt saknas.

8.3 Diskussion om framgångsfaktorer för användning

Det finns flera faktorer som är viktiga för att fortsatt utveckla nyttjandet av UAS med AI-stöd inom SAR. En grundläggande framgångsfaktor är att respektive aktör tydligt tar fram den tänkta användningen av ett UAS och utifrån detta matcha dels ekonomi och de regelmässiga kraven utifrån både luftfart, spridning av information och frekvensområden och uteffekt. Projektet bedömer utifrån andra myndigheters erfarenhet av introduktion av UAS att det är bättre att påbörja verksamhet i ett mindre perspektiv för att genom detta skaffa erfarenhet för ledningen av SAR organisationen. En viktig faktor i sammanhanget är att ett UAS inte ska ersätta en befintlig SAR resurs utan till en början komplettera befintliga SAR resurser. SAR UAS bör i så fall koncentreras till de kustnära storstadsregionerna där flesta SAR-ärenden förekommer för att snabbare erhålla egna erfarenheter.

8.3.1 Utbildning av UAS-operatörer

Det åligger respektive ansvarig flygorganisation för UAS att se till att erforderlig utbildning erhålls till personal för att operera UAS. För att öka effekten av redan befintliga UAS hos andra SAR aktörer behöver operatörer utbildning i Basic SAR, se avsnitt 6.1.2. Utbildningen Basic SAR genomförs idag av Sjöfartsverket på kursgården för sjö- och flygräddningstjänst på Arkö, där även UAS-operatörer skulle kunna erbjudas plats. Sjöfartsverket bör även undersöka om utbildningens omfattning bör vidgas till att även inkludera UAS inom sjö- och flygräddningstjänst.

8.3.2 Samverkansövningar

UAS bör användas vid samverkansövningar inom SAR för att identifiera behov av vidare utveckling, se avsnitt 2.1.3. Då introduktionen av UAS inom SAR fortfarande är i ett inledande

stadium är osäkerheten stor om vilken exakt funktion systemet har och kan få inom sjö- och flygräddningsorganisationen. Mest troligt är att det över tid kommer att utkristallisera sig lämpliga användningsområden och att även nya nu ej kända användningsområden kommer att tillkomma, därför har andra aktörer som idag har UAS i sin verksamhet börjat med små på marknaden befintliga system, se avsnitt 2.2.

SAR UAS bör koncentreras till de kustnära storstadsregionerna där flesta SAR-ärenden finns, se avsnittet 2.1.6, och därmed komma mest till användning.

8.3.3 Metod för enskild UAS med AI-stöd

Utveckling av metoder för UAS med operatör har varit avgränsat projektet, se avsnitt 1.3, ändå har experiment genomförts med sökmönster för att testa den tekniska funktionaliteten, se avsnitt 7.3.3. Bakgrundskapitlet 2 beskriver i miljöavsnittet 2.1.5, hur nya miljöer som exempelvis vindkraftsparker kan påverka metoder för räddningsinsatser. Det är därmed till fördel att undersöka om en AI-understödd UAS kan förstärka flygförmågan med dess automation i dessa nya miljöer. En förutsättning är att ett UAS kan undvika olika hinder så att sjö- och flygräddningstjänst kan bedrivas. Detta bör testas och utvärderas i ett metodprojekt.

Eftersök kan underlättas med UAS och dess sensorer med brett synfält och intelligenta system. En UAS med AI stöd är tillämpligt vid räddningsinsatser där befintliga SAR-resurser inte kan gå ända fram i sökområdet. SAR-resursers begränsning kan bero på hinder, beaktat säkerhetsavstånd eller grund sjöomgivning. Då kan en flygande resurs komplettera eftersök genom att agera som en förlängd utkik på exempelvis grunt vatten där ordinarie SAR-resurs inte är framkomliga. För att kunna täcka ett större sökområde kan flera UAS:er, med lika eller olika sensorer, användas samtidigt i form av svärm som beskrivs i avsnitt 3.3.2 Delsystem, Automation. Även redundansen kan då ökas och möjligheten att ersätta en UAS med en annan ökar om flera används, vilket är lämpligt då flygtiden är en begränsad resurs.

8.3.4 Metod i symbios med andra SAR-resurser

För att olika SAR-resurser ska verka i en symbios krävs kunskap och metoder hos berörda räddningscentraler och insatsledning. Med detta menas att kunskap om de olika aktörernas förmåga avseende UAS, sensorer, tillgänglighet, uthållighet och utlarmning. Metoder avser hur olika delsystem, obemannade och bemannade, mindre och större ska samordnas till en helhet som, delvis autonomt och med hjälp av AI, genomför koordinerade SAR-insatser utifrån en gemensam lägesbild. I dag samarbetar olika SAR-resurser i en symbios och uppnår därmed synergieffekter, som beskrivs i avsnitt 2.2.1 om sjö- och flygräddning nationellt. Det behöver vara tydligt hur befintliga och nya UAS-resurser hos SAR-aktörer ska samspela och integreras i SAR-systemet.

Eftersom tidsaspekten är viktig att beakta vid eftersök kan en UAS gå parallellt och söka av olika geografiska delar av området med den ordinarie SAR resursen. Exempelvis kan ett fartyg med en UAS ombord söka av ett större område på kortare tid om fartyget söker av sitt tilldelade sökområde samtidigt som en UAS söker av ett annat (närliggande) sökområde. UAS flyger automatiserat framför sjögående enhet enligt lämpligt sökmönster och AI hjälper operatören att tolka bilden.

8.3.5 Ledning

Metoder för ledning av SAR behöver tas fram och utbildning och övning av personal behöver göras fortlöpande allt eftersom UAS introduceras. För att underlätta samverkan och kommunikation

från och mellan olika aktörers UAS-enheter till och från räddningscentral, insatsledning med OSC och ACO samt andra räddningsenheter behöver det finnas utvecklade metoder och arbetssätt, se avsnitt 2.2.1. Ett gemensamt kommunikationssystem, exempelvis RAKEL, måste vara tillgängligt för de aktörer som ska ingå i ett uppdrag.

8.4 Effekt med AI-understödd UAS inom sjö- och flygräddningstjänst

Tekniken UAS och AI som enskilda resurser har flera positiva effekter i förhållande till andra mer traditionella resurser. Ur ett systemperspektiv ger UAS och AI positiva effekter genom att skapa fler flygande resurser med förmåga att förmedla, analysera och tolka information som förstärker sjö- och flygräddningstjänst. För att med säkerhet kunna bedöma effekterna med användning av UAS med AI-stöd inom sjö- och flygräddningstjänst bör även utbildning och metoder utvecklas som beskrivs i avsnitt 8.3. För att sedan följa upp med en jämförande analys av en färdigställd UAS med AI-stöd som utvärderas för sjö- och flygräddningstjänst.

8.4.1 Säkerhet

Flygoperationer med UAS tillåter att det finns ett avstånd mellan den flygande enheten och operatören. Operatör kan befinna sig med avstånd från en plats i fält vilket ökar säkerheten för operatör. Dessutom medger en obemannad resurs ett större risktagande vid flygning än bemannad flygande eller sjögående resurs som gör att sjö- och flygräddningstjänst kan operera i svåra förhållanden och nya miljöer som beskrivs i avsnitt 2.1.5 utan att riskera skador på personal. Flera andra verksamheter har påvisat att säkerheten ökar för personal genom att använda UAS. Om tekniken används på rätt sätt kan det öka säkerheten för alla inblandade både att nå nödställda i mer riskfyllda förhållanden men även för deltagarna i en räddningsinsats som rapporten beskriver i syfte och mål, se avsnitt 1.1.

8.4.2 Kostnad

Kostnader för enheter inom sjö- och flygräddningstjänst är relativt hög men genom användande av nya system som UAS och AI som kan utföra uppgiften till lägre kostnad, leder det till besparingar för samhället i stort. Även små relativt enkla system kan utföra uppgiften till en låg kostnad, se tabell 5.3 Multirotor, där olika UAS redovisas, vilket därmed leder till effektivare och billigare räddningsinsatser som beskrivs i avsnitt 1.1. En väl utvecklad samverkan i ett SAR-hänseende kan dessutom få positiva synergieffekter för samverkan och beredskap inom andra områden och vid andra typer av samhällsstörningar. Även kostnaden för sensorer lämpliga för sjö- och flygräddningstjänst som placeras ombord på UAS, kan ske till en lägre kostnad än motsvarande sensor placerad ombord en SAR Hkp [81]. När det gäller specifika uppgifter som t.ex. vinschförmåga krävs i dagsläget en SAR Hkp men för att genomföra systematiska eftersök eller ge lägesbild, kan ett kostnadseffektivare system användas som t.ex. UAS med AI-stöd.

8.4.3 Tid till lokalisering

Inom räddningstjänst är tid en central faktor och användande av olika hjälpmedel för att minimera tiden mellan larm och undsättning viktig. Tester visar att med teknisk hjälp för att analysera en bild med objekt-detektion genom AI kommer personer eller objekt med stor säkerhet att upptäckas, se resultat på objektnivå i tabell 6.6. Det ökar sannolikheten att finna en nödställd och

på så vis minskar tid för lokalisering då tekniken hjälper till. Det leder i sin tur till att sök- och räddningsinsatser förbättras och att sjö- och flygräddningstjänst kan rädda liv i enlighet med projektet syfte och mål, se avsnitt 1.1. Även möjligheten till att utnyttja flera UAS med AI som söker av ett område snabbt, i väntan på övriga resurser eller när annan flygresurs inte finns. Genom att fler resurser lämpade för eftersök och lokalisering finns till förfogande hos SAR aktörer kan dröjsmålet för undsättning minskas. Projektet har visat att en AI med analysförmåga är uthållig och kan verka lika bra över tid och har ingen tidsbegränsning i hur länge den kan verka.

8.4.4 Miljöpåverkan och bränsleförbrukning

Experimentella tester, se avsnitt 5.2.7, och andra projekt [110], visar att användning av UAS är positivt och effektivt ur miljöaspekt eftersom det finns stora vinster i både bränslebesparingar och minskade utsläpp, se bilaga E för utsläppsberäkning. Effektivitet i detta sammanhang skulle avse hur effektivt energin används för att upprätthålla flygningen. Arbetet jämför två fordon av olika skala. Om både UAS och SAR-helikoptern använder samma mängd energi och UAS uppnår en längre flygtid, så tyder det på att UAS använder den energin mer effektivt för att hålla sig i luften [92]. Uttalandena bygger också på antaganden att:

1. Utsläpp från en stor SAR-helikopter överväger i miljöpåverkan från batteriproduktion/-avfallshantering för VTOL UAS.
2. Luftmotståndets påverkan på bränsleeffektiviteten är högre för helikoptern jämfört med VTOL UAS på grund av plattformens aerodynamik. Eftersom flygplan med fasta vingar har lägre luftmotstånd jämfört med en helikopter, även storleken på VTOL UAS skulle innebära lägre energibehov på grund av högre lyft-mot-motståndsförhållanden.
3. Bränslets energitäthet är högre för ett bränslebaserat system jämfört med det elektriska systemets energitäthet.

Kapitel 9

Slutsatser och rekommendationer

9.1 Slutsatser

Förutsättningarna för användning av UAS med AI-stöd som en lokal resurs är mycket goda. Resultaten visar att nuvarande UAS med hjälp av AI-modeller och algoritmer redan idag kan bidra med förmågor i samband med de scenarion som undersökts. På kort sikt skulle teknikutveckling som ökar luftfartygets prestanda och användarvänlighet, tillgång till erforderligt luftrum, integrering och koordinering av luftrumsanvändare samt allvädersförmåga göra stor skillnad. För en nationell resurs är behoven desamma som för lokal resurs med två tillägg. Det första är att kommunikation är nödvändig över hela operationsområdet såsom fjäll och hav samt vid flygning bortom horisonten. Det andra tillägget är möjlighet att analysera sensordata ombord på UAV:n samt möjlighet till autonom undanmanöver i relation till andra luftrumsanvändare.

I både lokal och nationell resurs bör luftfartygssystemet vara robust med redundans för vanligt förekommande systemfel och med möjlighet till felhantering, såsom fallskärm eller kontrollerad nödlandning, i händelse av situation då utfall riskerar att orsaka incident med annat luftfartyg eller skada person på marken. Exkluderat flygning i alla varianter av väder tyder resultaten från flygprover och tekniska experiment på att beskrivna behov är fullt möjliga att tillfredsställa inom en överskådlig tidshorisont så länge utvecklingen och erfarenhetsbyggandet fortgår i nuvarande eller ökad takt.

Under de senaste åren har AI-modeller för objekt-detektion och målföljning genomgått betydande utveckling. Dessa framsteg beror på ökad tillgänglighet av data, förbättrade nätverksarkitekturer och kraftfullare datorer, vilket möjliggör träning av större och mer komplexa modeller. Experimenten som genomförts visar nu att aktuella modeller, när de finjusteras med lämplig data, kan användas i realtid för att stödja SAR-operationer.

9.1.1 AI-modeller och algoritmer

Ett exempel på en högpresterande modell är YOLO, som kan finjusteras med bilder tagna från UAV:er för att uppnå förbättrad prestanda i specifika scenarier. Tekniken har mognat och har potential att tillämpas i SAR-scenarier. Trots detta står vi inför flera utmaningar som måste överkommas för att dessa modeller och lösningar ska vara praktiskt användbara.

1. Tillgång till representativ data – för att förbättra prestanda och tillförlitlighet måste vi ha

tillgång till representativ data som samlats in från verkliga SAR-scenarier eller realistiska simulerade situationer. Det är önskvärt att dessa data samlas in med samma typer av UAV:er som planeras att användas i verkliga situationer, se avsnitt 4.4.2, 5.3.1 och 7.1.

2. Utmaningar med datakommunikation – en annan utmaning är att lösa problemen med datakommunikation för att säkerställa att markstationerna som kör AI-modellerna får en kontinuerlig högupplöst videoström, se avsnitt 6.2.3 och tabell 6.7. Ett alternativ är att modellen körs ombord på UAV:erna. Om detta är fallet måste mindre modeller anpassade för processorer ombord tränas och finjusteras, se avsnitt 7.3.1.
3. Integration och användarvänlighet – för att göra AI-stödda UAS praktiskt användbara måste modellen vara en integrerad del av själva UAS-systemet. Dess användning bör vara enkel och smidig, och den bör inte kräva operatörens tid och uppmärksamhet, se avsnitt 7.3.1.

9.1.2 Lokal UAS med AI-stöd i markstation eller centralt

Projektets slutsats är att en lokal UAS-resurs behöver utformas med ett antal saker i åtanke för att fungera väl i SAR-verksamhet. De viktigaste är (se även avsnitt 7.4.1):

1. Systemoptimering för utökad prestanda – hela det obemannade luftfartygssystemet bör optimeras för användning i samband med SAR.
2. Sensorkapacitet med dag- och nattförmåga – sensorer på UAV:n skall klara av att ge tillräckligt bra underlag för analys med AI-modeller och algoritmer, oavsett tid på dygnet.
3. Användbarhet med intuitivt gränssnitt och enkel klargöring – flygoperationen i sin helhet skall vara enkel nog för en enskild operatör att hantera.

9.1.3 Nationell UAS med AI-stöd ombord

En UAS som ska fungera i ett större regionalt område och fungera som en nationell resurs behöver i flera avseenden ha högre prestanda än en lokal resurs. De viktigaste prestandaområden som projektet identifierat för en nationell resurs är:

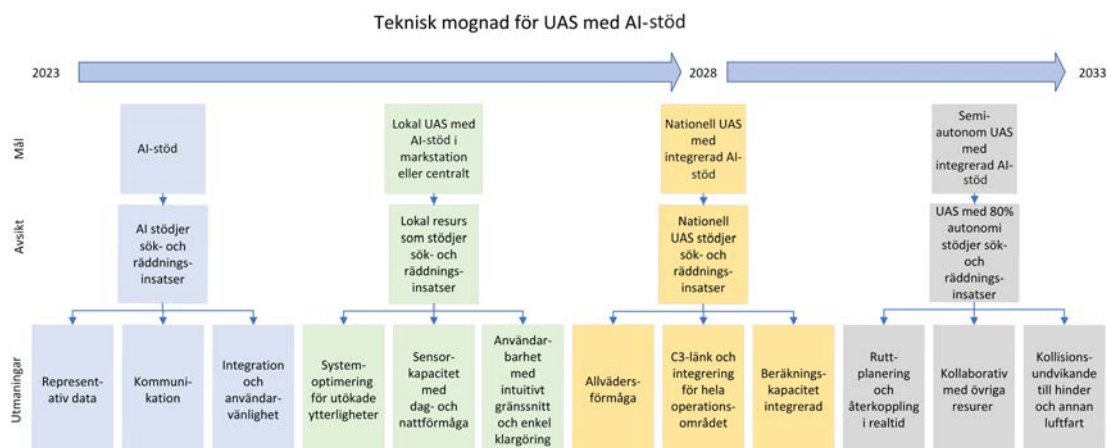
1. Allvädersförmåga – UAS kan användas under samtliga årstider och väder, se avsnitt 7.4.1.
2. C3-länk och integrering för hela operationsområdet – ett flertal länkar i kombination som möjliggör kommunikation med markstationen oavsett var UAV:n befinner sig över land eller hav, se avsnitt 7.4.1.
3. Integrerad beräkningskapacitet – hårdvara för AI-stöd finns integrerad ombord på UAV, se avsnitt 7.4.1.

9.1.4 Semi-autonom UAS med AI-stöd ombord

För att på sikt uppnå hög effektivitet i användning av UAS för SAR-uppdrag i ett brett spektrum av scenarion och med fullständig nationell operativ områdestäckning behöver systemet ha en viss förmåga att autonomt kunna genomföra operationer. Att utveckla denna förmåga kommer att ta tid. Några viktiga utvecklingssteg är:

1. Ruttplanering och återkoppling i realtid – UAS bör självständigt optimera sin operation baserat på faktorer som exempelvis vind, sensor i användning, länkkvalité samt detektioner för att optimera flygningens rutt.

2. Kollaborativ med övriga resurser – delar själv upp uppgiften mellan flera UAV:er, med likadana eller annorlunda förmågor för att effektivisera.
3. Kollisionsundvikande till hinder och annan luftfart – klarar av att genomföra undanmanövrar självständigt.



Figur 9.1: Förväntad utveckling av teknisk mognad av UAS med AI-stöd inom SAR.

9.2 Rekommendation

Det svenska ansvaret för sjöräddning spänner över en stor geografisk yta, se avsnitt 2.1.4. Inom den här ytan sker händelser och insatser, statistiskt sett, särskilt kustnära och i närhet till tätbefolkade platser. Många insatser sker dessutom sommartid vid vackert väder när många är på sjön. Vid utveckling av förmåga med UAS och AI för sjö- och flygräddningstjänst behöver detta tas i beaktning. En lokal UAS-förmåga har begränsad räckvidd och kan därför användas kustnära eller inom ett begränsat avstånd från en ytgående enhet. En nationell UAS-förmåga har längre räckvidd och kan från ett antal baseringar täcka en stor del av svensk räddningsregion. Introduktion av en enkel form av lokal UAS-förmåga, motsvarande vad många räddningstjänster använder idag, kan göras med små medel och liten insats. Denna kommer dock vara begränsad i när den kan användas, gällande räckvidd, väder och personalresurser. Utveckling av allvädersförmåga och högre automationsgrad ger större möjlighet till användning i olika situationer men kan totalt sett ta lång tid att nå operationell mognad. Introduktion av nationell resurs kräver en relativt stor insats av resurser och bemanning för att påbörja användning men har en teknisk mognadsgrad som innebär att den operativa användningen tidigt kan ske någorlunda brett i SAR-systemet, vid flera typer av insatser och förhållanden. Det finns större system på marknaden med aktiv avisning, hög IP-klassning och möjlighet att starta från en rullbana i kraftig sidvind vilket påverkar dess allväderskapacitet positivt. Koordinering med andra luftburna resurser är en utmaning men när det utvecklas kommer det att vara en styrka genom att räddningsinsatser kan effektiviseras. Med utvecklad autonomi kan effektiviteten höjas och kostnaden för flera enheter minskas. Detta kan ge kortare beredskapstid och ökade möjligheter att minska tiden för lokalisering, se avsnitt 8.4.3. AI-understödda UAS kan användas till flera uppgifter, se avsnitt 7.3.3, och öka säkerheten för personal om de används på rätt sätt, se avsnitt 8.4.1. Dessutom är tekniken kostnadseffektiv, se avsnitt 8.4.2, med en avsevärt mindre miljöpåverkan och

bränsleförbrukning jämfört med andra resurser, se avsnitt 8.4.4. Utifrån det som presenterats i denna rapport har flera slutsatser dragits och rekommendationer för fortsatt arbete tagits fram. Arbetet kan ske i projekt eller i form av innovationsupphandling på inrådan av en aktör inom sjö- och flygräddningstjänst. Rekommendationerna är följande:

- Vidareutveckla AI-modeller för objekt-detektion som utvärderas på sök- och räddningsinsatser samt tillförs SAR-aktörer i enlighet med avsnitt 7.3.2, 9.1.1 och 7.4.
- Projekt startas för att undersöka lämpligast val av placering av beräkningskapacitet för AI-modell. Om placering ska ske på markstation eller ombord på UAV behöver mindre modeller anpassade för processorer ombord tränas och finjusteras, se avsnitt 9.1.1. Alternativt kan en central placering av beräkningskapacitet för AI-modell ske vid räddningscentral dit bildströmmar in. Det bör dock undersökas vidare, se avsnitt diskussion 8.2.1.
- Projekt startas för att undersöka möjligheten att utveckla och använda semi-autonoma UAS med integrerad AI-stöd för ruttplanering, återkoppling i realtid, kollaboration och kollisionundvikning i samband med sök- och räddningsinsatser. Det stöds av slutsatserna i avsnitt 9.1.4.
- Sjöfartsverket bör i samverkan med andra myndigheter undersöka om en nationell gemensam UAS med AI-stöd bör anskaffas, se avsnitt 9.1.3. Den ska kunna placeras ut vid behov och förstärka SAR förmågan. Det finns mer utförligt beskrivet avsnitt 8.2.3.
- Sjöfartsverket bör undersöka vilket behov och förutsättningar som finns för ledningssystem där information och bilder kan delas mellan olika räddningscentraler, insatsledning och resurser. Det har identifierats i samband med projektet men är avgränsat enligt avsnitt 1.3.

I det vidare arbetet bör Sjöfartsverket tillsammans med övriga SAR-aktörer fortsätta dela erfarenheter och omvärldsbevaka området för UAS och AI. Samtidigt som SAR-aktörer vidareutvecklar sin förmåga att använda UAS och AI i sök- och räddningsinsatser. Dessutom bör SAR-aktörer, om möjlig, tillhandahålla behov och krav till projekt och liknande som arbetar med utveckling inom området. För att utveckla UAS och AI inom sjö- och flygräddningstjänst behöver förutom tekniska projekt även resurser, specialkompetens och tid avvaras till organisatoriska, personal och legala frågor inom området. Det kan med fördel göras i operativ samverkan med aktörer inom svensk sjö- och flygräddningstjänst som har eller kommer att få UAS-förmåga eller i regional samverkan med angränsande länder till svensk räddningsregion. Sjöfartsverket tillsammans med övriga SAR-aktörer rekommenderas:

- SAR-aktörer bör samverka avseende regelmässiga krav för UAS och AI som beskrivs i avsnitt 8.1.3 för att säkerställa att utvecklingen både på det regelmässiga området och teknik så de håller en jämn takt då både teknik och regelverk ständigt utvecklas. Det gäller även för kommunikation, där en gemensam plattform bör tas fram för att kunna dela information nationellt som samtidigt är robust och säker.
- Under avsnitt 8.2.2 redogörs hur befintliga UAS kan användas med stöd av AI. Sjöfartsverket bör utvidga sitt program för sjö- och flygräddningstjänst, se avsnitt 2.1.3, för att också inkludera UAS. Det bör ske genom att tillse att få kunskap om var möjlig UAS förmåga finns och vad den kan avseende insatstid, uthållighet, räckvidd och sensorförmåga inom relevanta kommuner och myndigheter för nyttjande av befintliga UAS med eller utan AI-funktion anpassad för sjö- och flygräddningstjänst.
- SAR-aktörer bör undersöka möjligheten att förstärka befintliga räddningsresurser genom att använda en lokal eller nationell UAS med AI-stöd som diskuteras i avsnitt 8.2.3, samt

i enlighet med slutsatserna i avsnitten [9.1.2](#) och [9.1.3](#).

- Sjöfartsverket bör ta fram metoder till UAS anpassade för sjö- och flygräddningstjänst. Det kan handla om sökmönster för en enskild UAS-resurs och finns vidare beskrivet under avsnitt [8.3.3](#). Det behöver även tas fram en ledningsmodell för hur samverkan och hur delning av luftrummet mellan UAS hos SAR-aktörer och andra bemannade luftfartyg som t.ex. en SAR Hkp bör ske. Även metod vad gäller rutiner för kommunikation mellan SAR aktörer som deltar i en insats där UAS ingår behöver tas fram. Detta finns mer utförligt beskrivet i avsnitten [8.3.4](#) och [8.3.5](#).
- Sjöfartsverket bör påbörja utbildning inom SAR för UAS-operatörer hos relevanta organisationer och myndigheter samt genomföra SAR övningar med olika scenarion där UAS ingår. Detta finns mer utförligt beskrivet i avsnitten [8.3.1](#), [8.3.2](#) och [8.3.3](#).
- Sjöfartsverket och Transportstyrelsen bör inom FNs sjöfartsorganisation (IMO) verka för att passagerar- och handelsfartyg utrustas med en lokal UAS med AI-stöd i enlighet med diskussionen i avsnitt [8.2.3](#).

Bilaga A

Termer och definitioner

Tabell A.1: Termer, begrepp och definitioner som används i denna rapport.

Termer	Definitioner
ACO, Aircraft Coordinator	En person som på plats koordinerar olika flygande enheter under en sök- och räddningsinsats.
AI-understödd UAS	Obemannat luftfartygssystem där data från sensorer ombord analyseras med hjälp av maskininlärning.
AI, Artificiell intelligens	Med AI menas vetenskapen och tekniken att skapa intelligenta maskiner. AI strävar efter att efterlikna mänskligt beteende eller mänskligt tänkande och att utveckla något likvärdigt eller bättre. AI består av flera olika underkategorier, t.ex. "maskininlärning" och "djupinlärning".
Annotering (eng. Data Annotation)	I många maskininlärningsmetoder krävs att det träningsdata som är av intresse för uppgiften är uppmärkt med facit; dvs. om en bildanalysmodell skall tränas att detektera människor behöver bilddata märkas upp med vilken del av bilden som innehåller en människa eller annat objekt som kan vara av intresse.
Bounding Box	De koordinater i en bild som definierar en rektangel som innesluter ett objekt av intresse, t.ex. en människa (se även lokalisering).
BVLOS, Beyond Visual Line Of Sight	Flygning utan visuellt kontakt från pilot till dess UAV.
Djupinlärning (eng. Deep Learning)	Är en maskininlärningsteknik där modellen representeras av ett eller flera djupa neuronät.

Fortsättning på nästa sida

Tabell A.1 – Fortsättning från förra sidan

Termer	Definitioner
EASA, European Union Aviation Safety Agency	Den Europeiska unionens byrå för luftfartssäkerhet är den gemensamma europeiska flygsäkerhets- och luftfartsskyddsmyndigheten.
Ej avslutad färdplan	Begreppet innebär att ett landningsmeddelande för inlämnad färdplan inte meddelats och olycka kan därför inte uteslutas.
ELT, Emergency Locator Transmitter	Nödsändare för luftfart som sänder nödmeddelande via COSPAS-SARSAT-systemet. I Sverige skickas meddelandet till JRCC som operativt ansvarar för räddningsuppdrag inom sjö- och luftfart.
EO, Elektro-optisk	En elektro-optisk sensor omvandlar ljus eller en skiftning i ljuset till en elektronisk signal.
EPIRB, Emergency Position Indicating Radio Beacon	Nödsändare för sjöfart som sänder Nödmeddelande via COSPAS-SARSAT-systemet.
Etikettera (eng. Label)	Vid annotering av data för träning eller utvärdering av maskininlärningsprogram sätts en etikett eller klassmarkör på den del av data som är av intresse, t.ex. en människa i en bild.
FIR, Flight Information Region	Ansvarsområde för flygräddningstjänst.
FPS, Frames Per Second	Antal bildrutor som kan överföras eller bearbetas per sekund.
FRB, Fast Rescue Boat	För att snabbt kunna undsätta nödställda skall en FRB med utbildad personal enligt lag finnas på alla handelsfartyg.
IAMSAR, International Aeronautical and Maritime Search and Rescue	Manual som är resultatet av samarbetet mellan IMO och ICAO.
ICAO, International Civil Aviation Organization	Ett specialorgan inom FN som verkar för gemensamma regler i syfte att öka flygsäkerhet och underlätta internationell flygning.
IMO, International Maritime organisation	FNs sjöfartsorganisation som organiserar arbetet inom sjö- och flygräddning genom manualen IAMSAR.
IP-kodning (eng. Ingress Protection Code)	Ett standardiserat system för skydd av elektronik mot fukt, väta och damm. Standarden för IP definieras av International Electrotechnical Commission (IEC).
IR, Infraröd	elektromagnetisk strålning inom våglängdsområdet 700 nm till 1 mm, dvs. våglängder närmast över de för synligt ljus. Kallas ibland lite slarvigt för värmestrålning.

Fortsättning på nästa sida

Tabell A.1 – Fortsättning från förra sidan

Termer	Definitioner
JRCC, Joint Rescue Co-ordination Centre	Sjö- och flygräddningscentral med uppgift att leda och koordinera insatserna vid sjö- och flygräddningsinsatser.
Klassificering	Att avgöra vilken typ av objekt en bild eller del av en bild föreställer, dvs. avgöra vilken klass objektet tillhör.
KBV	Kustbevakningen, statlig myndighet
Lokalisering	Att i en bild identifiera vilka delar som innehåller objekt, t.ex. en människa. Detta ska inte blandas ihop med geografisk positionering.
LSO	Lag (2003:778) om skydd mot olyckor.
Maskininlärning	Är ett delområde till AI. Ett maskininlärningsprogram lär sig från data att på olika sätt tolka sin omvärld.
MOB, Man Over Board	Man över bord, dvs. person som fallit i vattnet.
MRO, Mass Rescue Operation	Stor räddningsinsats som innefattar flera personer, exempelvis Estonia-katastrofen.
Målföljning	Syftar i denna rapport till att spåra ett eller flera objekt i en sekvens av bildrutor från en video.
Obemannat luftfartyg	Är ett flygsystem som kan flyga av sig själv eller fjärrstyras av en förare på annan plats. Andra exempel på obemannade luftfartyg är modellflyg och multikopter.
Objektdetektion	Syftar till att lokalisera och klassificera objekt i bilder.
OSC, On-scene Coordinator	En person som på plats koordinerar en sök- och räddningsinsats. OSC befinner sig vanligtvis ombord på ett fartyg och kommunicerar med räddningscentralen och övriga enheter som ingår i uppdraget.
PLB, Personal Locator Beacon	En kompakt personlig nödsändare som kan användas av exempelvis seglare, sportfiskare, skidåkare och vandrare. PLB:n kan bäras i fickan eller fästas på en flytväst. Nödmeddelandet går via COSPAS-SARSAT-systemet eller via privata alternativ.
PIW, Person In Water	Sjöräddningsterm på nödställd som befinner sig i vattnet.

Fortsättning på nästa sida

Tabell A.1 – Fortsättning från förra sidan

Termer	Definitioner
POC, Probability of containment	Begrepp inom sökplanering och utvärderingsfaktorer enligt IAM-SAR 2022 VOL II kap. 4.6. Är sannolikheten för att den försvunne finns inom ett visst område. Anges i procent.
POD, Probability of detection	Begrepp inom sökplanering och utvärderingsfaktorer enligt IAM-SAR 2022 VOL II kap. 4.6. Är ett mått på med vilken säkerhet (träffsannolikhet) en sökresurs har sökt igenom ett terrängavsnitt/sector. Anges i procent.
POS, Probability of success	Begrepp inom sökplanering och utvärderingsfaktorer enligt IAM-SAR 2022 VOL II kap. 4.6. Är ett mått på vad en sökresurs har åstadkommit av hela det sökarbete som krävs för att fullständigt söka igenom hela sökområdet. Värdet beräknas som produkten av POC×POD.
Positionering	Syftar på geografisk positionering, dvs. de geografiska koordinater ett objekt har i den verkliga världen.
RPAS, Remotely Piloted Aircraft System	Samma som UAS men används av JARUS
SAR, Search and Rescue	Internationell terminologi för en sökinsats och undsättning av personer i nöd.
SAR-system	Sjö- och flygräddningstjänst som innefattar samtliga resurser från myndigheter och organisationer som genomför räddningsinsatser (dvs. sökinsats och undsättning av personer i nöd). Sjöfartsverket ansvarar för statlig sjö- och flygräddningstjänst. Sjö- och flygräddningsavdelningen samordnar, kvalitetssäkrar och leder samverkansorganisationen.
SARPs, Standards and Recommended Practices	Tekniska specifikationer som antagits av ICAO:s råd i enlighet med artikel 38 i konventionen om internationell civil luftfart för att uppnå enhetlighet i regelverk, standarder, procedurer och organisation.
SjöV	Sjöfartsverket, ett statligt affärsverk.
SRR, Search and Rescue Region	Ansvarsområdet för sjö- och flygräddningstjänst.
SSRS	Sjöräddningssällskapet, frivillig sjöräddningsorganisation.
SRU, Search and Rescue Unit	Räddningsenhet som t.ex. en SAR-helikopter, lotsbåt eller räddningskryssare.

Fortsättning på nästa sida

Tabell A.1 – Fortsättning från förra sidan

Termer	Definitioner
TMAS, Telemedical As- sistans Service	Medicinsk rådgivningstjänst till fartyg, av specialistläkare som kan ge assistans och stöd på avstånd via marin radio, e-post, telefon eller fax. TMAS koordineras av Sjöfartsverket/JRCC, mellan mottagande fartyg och Sahlgrenska Universitetssjukhuset i Göteborg enligt ILO convention 164.
UAV, Unmanned Aerial Vehicle	Obemannat luftfartyg. Obemannade luftfarkoster har många synonyma benämningar där RPAS och Drönare antas vara de mest förekommande. Benämningen UAV används i de fall endast luftfarkosten avses, se kapitel 3.3 Obemannade luftfartygssystem.
UAS, Unmanned Aerial System	Ett obemannat luftfartygs-system. Benämningen UAS användas då hela systemet, inklusive styrutrustning på mark åsyftas.
VTOL, Vertical Take-off and Landing	En flygterm som syftar på flygfarkoster som kan starta och landa lodrätt utan landningsbana.
YOLO, You Only Look Once	AI-modell av enstegsdetektortyp som används för objekt-detektion i bilder.

Bilaga B

Workshop

B.1 Syfte

Inom projektet SAR UAS uppmärksammades ett behov av att identifiera, fokusera och avgränsa förmågebehoven. Därför genomfördes en Workshop på FOI, Kista 20220915. Huvudsyftet med workshopen var att få svar på frågan “Vilka förmågor vore önskvärda för att ett intelligent UAV-system ska vara användbart?”.

B.2 Metod och genomförande

Workshopen genomfördes som en strukturerad brainstorming i tre faser. För att släppa lös fantasin samt ge en kontext till workshop och syfte, hölls två inspirationsföredrag innan själva brainstormingen. Den första gav en kort introduktion till området artificiell intelligens och autonoma system. Exempel på intressanta projekt, forskning och tillämpningar gavs. Det andra föredraget gav en struktur och bakgrund till de scenarion som är av intresse för projektet. Exempel på verkliga incidenter gavs.

Den första av workshopens tre faser bestod av en brainstorming där deltagarna fick ett scenario uppmanat: “En mörk, kall och stormig natt kommer ett nödsamtal, en ensamseglare är försvunnen och tros ha fått problem långt ute till havs”. Uppgiften var sedan att svara på frågan som var syftet med workshopen, dvs. “Vilka förmågor vore önskvärda för att ett intelligent UAV-system ska vara användbart?”. Varje deltagare fick ett antal post-it lappar och uppmanades att skriva ned så många idéer som möjligt på 5 minuter. Inga ekonomiska, juridiska, praktiska eller organisatoriska begränsningar sattes för idéerna, detta för att inte censurera några idéer i denna fas.

Efter denna aktivitet fick varje deltagare presentera sina idéer och sätta upp motsvarande lapp på tavlan. Den fullständiga listan på samtliga lappar återfinns i kapitel [B.5](#). Resultatet och diskussionerna som följde sammanfattas i kapitel [B.3](#).

Under fas två fick deltagarna i uppgift att skapa kluster av lappar med liknande eller sammanhängande teman, och att döpa dessa kluster. Bilder på dessa kluster återfinns i avsnitt [B.6](#).

Slutligen, i fas tre var uppgiften att få fram en prioritering av klustren. Detta genomfördes på så sätt att varje deltagare fick tre stycken färgade lappar som representerade prioritetsordning.

Deltagarna fick sedan prioritera dennes tre viktigaste kluster. Målet var att göra det utifrån relevansen för projektet. Resultatet av prioriteringsfasen redovisas i avsnitt [B.3.3](#)

På workshopen medverkade deltagare från Sjöfartsverket, Lunds universitet, Västerviks kommun, Polisen, RISE, Försvarsmakten, MSB, Storstockholms brandförsvär samt FOI.

B.3 Workshop

B.3.1 Resultat efter klustring

Nedan är alla idélappar presenterade under respektive klustertitel, tillsammans med en sammanfattande text för diskussionerna som uppkom för varje idélapp hemmahörande i det klustret.

Sensorförmåga

Denna kategori fångar upp vilka sensorer som skulle kunna bäras med ombord på UAS:en. Förslagen delades in i nedan underkategorier.

En självklar kategori var förmågan att kunna uppta bilder. Dels med VGA/RGB-kamera men också med termisk/IR kamera. Upplösningen på bilden föreslogs vara av högre kvalitet. Detta hjälper vid bildprocesseringen, men har nackdelen med att ta mer minne och mer processeringskraft. En termisk kamera är en styrka vid sökning i mörker, men kan vara oanvändbar i dåligt väder, till exempel vid stark nederbörd, då sikten blir nedsatt. Då kan det vara viktigt med flertalet kameror som opererar på olika våglängd. En termisk kamera möjliggör också mätning av temperatur hos personer i vattnet.

Även radar lyftes som ett alternativ. Radar används ombord på jaktplan och har en god förmåga att upptäcka större föremål. Detta kan bero på sökingsatsen – om ett saknat skepp eftersökes så kan det vara en relevant sensor. Det finns idag syntetiska aperturradarer som väger så lite som ca 3.5 kg.

Även förmågan att kommunicera med den nödställda via ljud lyftes. Att endast bära en högtalare tillåter att instruktioner och information förmedlas, medan att även bära en mikrofon skulle tillåta tvåvägskommunikation. Vidare kan en akustisk sensor, tillsammans med intelligenta AI-system, tränade på normalljud (rotorljud) och avvikande ljud (rop på hjälp), tillåta ett system som lyssnar efter nödställda. Exempel gavs då räddningspersonal opererat i tät dimma och hört rop från en nödställd, gissningsvis 100 meter bort, men inte lyckats lokalisera den nödställda, som sedan aldrig återfanns.

Ett förslag innefattade flytförmåga hos UAS:en uppkom, vilket skulle kunna ha flera syften; dels möjliggöra att drönaren används som en spårningsmodul som kan landa/släppas intill den nödställda, men även, givet en tillräcklig lyftkraft, användas som flythjälpmedel. Detta förslag kräver dock eventuellt en låg tjänstevikt men hög flytkraft hos systemet. Drönaren skulle sedan kunna plockas upp vid ett annat tillfälle. Alternativt kan drönaren släppa bojar/flytdon, transpondrar eller mikrofon till den nödställda.

IMSI (International Mobile Subscriber Identity) är ett nummer som är unikt för varje SIM/IMIE användare på ett 4G-/5G-/mobilnät. Eftersom mobiltelefoner hela tiden letar efter sändare så kan en UAS bära med sig en basstation som spänner upp ett nät och lyssnar efter specifika IMSI-nummer. Via triangulering så kan man enkelt positionera en registrerad mobiltelefon utan visuell hjälp. Sannolikt att en person bär med sig en mobiltelefon till havs. Relaterat är idén om en PLB (Person Locator Beacon) eller att fånga upp telefonsamtal genom annan typ av signalspaning.

Idén om sensorer för att mäta väderförhållanden ombord på UAV:n i realtid lyftes också. Information såsom vind, nederbörd, vattenströmmar och liknande skulle kunna mätas och skickas vidare till ledningscentral/räddningspersonal.

Även idéer rörande ljus framfördes. Antingen i form av en stark ljuskälla som bärs ombord på systemet och kan nyttjas för att lysa upp scenen, vilket dels har en praktisk funktion, men även tillåter den nödställda att "känna sig hittad" eller emotta nödkommunikation ("simma mot ljuset"). Ljusedioder kan även bäras med och släppas ned från UAS:en för att markera positionen för räddningspersonal, förslagsvis tillsammans med någon form av GPS-sändare.

En deltagare ansåg att projektets viktigaste uppdrag var att utveckla nya sensorer.

Analys

En grundläggande förmåga för att kunna dra slutsatser ifrån sensorinformation är *analysförmågan*. Vid sökinsatser till havs så är det svårt att identifiera objekt i vattnet. Möjligen kan det vara här en objekt-detektor bäst kan komma till nytta, då den är skapad för att identifiera komplexa mönster.

Objekt-detektion, d.v.s. autonom identifiering och lokalisering av objekt i bilder (eller annan modalitet) lyftes flertalet gånger som en viktig förmåga. Nivån av självständighet i ett sådant system diskuterades inte närmare, men även om systemet inte är tillräckligt tillförlitligt för att operera helt självständigt, så ger det ett signifikant stöd till en mänsklig operatör, som kan få förslag och underlag för egna observationer vid visuell sökning under SAR-insatsen.

I ett senare skede, då objekt lokaliserats, så föreslogs också en förmåga att annotera och spåra objekt över tid. Exempelvis vid hårt väder eller om ett stort antal personer behöver undsättas.

Vidare så lyftes förmågan att bestämma vitalparametrar hos nödställda, vilket kan ligga till grund för klassificering av nödställda samt prioritering av räddning eller för att planera resurser.

Det fanns en viss konsensus i att dataanalys är av hög vikt, men det fanns också de som ansåg att förutsättningarna inte är optimala för att kunna göra framsteg inom AI-fältet i detta projekt. Därför ska vi inte ställa för höga krav, utan endast nöja oss med någonting som funkar och kan vara till nytta rent praktiskt.

UAV-hårdvara (Begreppsförvirring som bör "tvättas")

Ett tema som lyftes av flera deltagare var UAS:ens flygförmåga. Det ansågs självklart att ett system som ska kunna operera långt ute till havs kräver en tillräcklig flygtid, även om inga specifika siffror nämndes.

Systemets flyghastighet diskuterades även, och för en snabb respons så krävs möjlighet att dels operera i hög hastighet, men även med kort overhead, så att systemet kan komma i luften fort (även beroende av organisation). Gruppen var överens om att systemet behöver besitta en allvädersförmåga, där specifikt isbildning hypotiserades vara det största problemet att övervinna, men även hård vind och nederbörd nämndes som faktorer att hålla i åtanke. Även skydd mot rymdväder (strålning) togs upp.

En deltagare lyfte att det inte nödvändigtvis är en lång *flygtid* som är av störst nytta, utan snarare en förmåga att täcka en stor areal under kort tid. Detta innebär således en hög hastighet, vilket ledde denne att föreslå en fixed wing-lösning snarare än en quad-/multicopter. Detta skulle också tillåta ett högre glidtal vilket genererar längre flygtid, samtidigt som elimineringen av rotorljuden skulle kunna förbättra upptagningsförmågan hos eventuella akustiska sensorer.

Samma deltagare påpekade också att om systemet har flytförmåga så kan systemet landas/lämnas i vattnet och flygtiden därmed effektivt fördubblas. Till detta förslag resonerades följaktligen kring nödvändigheten med en billigare produkt som kan anses förbrukningsbar.

Vidare behöver man fundera på vad UAS:ens syfte är när/om andra räddningsenheter anländer på scenen – är samverkan önskvärt eller endast distraherande? En deltagare uttryckte att UAS:en endast fyller en funktion om den är på plats först.

Som ett alternativ till att använda ett universalt/mångsidigt höghastighetssystem så föreslogs också att använda flertalet system, där det ena är ett höghastighetssystem som snabbt är på plats och kan ge en initial lägesbild, t.ex. till JRCC, medan ett långsammare multifunktionellt system med längre flygtid anländer senare vid scenen, men är av större nytta under hela sök/räddningsinsatsen. En kommentar som lyftes var att om ett “snabbt” system skickas ut innan det “långsamma” för att se om det verkligen krävs hjälp, så dröjer det längre innan det långsamma systemet är på plats, eftersom det inväntar det snabba systemets besked, jämfört med om det långsamma systemet skickas ut direkt.

En förmåga som skulle öka uthålligheten hos en UAS är förmågan att autonomt landa på och lyfta från ett rörligt objekt – specifikt ett objekt i vatten (t.ex. en annan UXV eller ett fartyg). Detta skulle tillåta att systemet “laddar om” och/eller synkroniserar data/uppdrag med ett eventuellt ledningssystem. Detta kan dock i sin tur kräva en vertikal förmåga. Uthålligheten blir då proportionell till avståndet mellan sådana “mark-/vattenstationer”.

Genom att knyta ihop idéerna “förbrukningsbar” och “ett flertal system” så landar vi utan större ansträngning i idén om drönarsvärmar. Med hjälp av en svärm så kan ett stort område avsökas parallellt på ett effektivt sätt. Sensorinformationen från fler enheter kan fusioneras för att ge en starkare prediktiv förmåga hos eventuella analysystem (“jag tror jag såg en person i vattnet här borta från position X och vinkel Y, men jag är osäker”, “jag tittar från position Z och vinkel W på samma område, och jag ser också någonting som jag är mer säker på är en människa!”). Genom att ha en flygande basstation (ett UAS-moderskepp eller en helikopter) dit information reläas och fusioneras, så kan processeringen ske online (nära realtid) och på plats. Basstationen skulle också kunna vara utgångspunkten för svärmen, d.v.s. att det stora UAS:en bär på och släpper ut de mindre. En jämförelse med “krattning”, sjömätning med handlod förr i tiden, gjordes. I det fall en svärm används så krävs en förmåga för systemet som helhet eller varje individuell enhet att ha en förståelse för vilka uppgifter som behöver utföras och en förmåga att omdirigera individuella enheter till en viktigare uppgift – s.k. “handover”.

För att minimera responstiden vid en incident så skulle ett 24/7 system vara optimalt, d.v.s. ett system med sådan pass räckvidd att det är någonting som redan finns i luften och endast behöver omdirigeras. Flera deltagare lyfte dock att hårdvaran inom detta område ser en sådan hög utvecklingstakt att projektet inte borde bemöda sig med att bryta ny mark inom specifikt hårdvaruområdet. Vissa deltagare föreslog att det var inom sensorområdet, datafusionen eller ledningssystem som det fanns mark att vinna.

SAR-systemet

Detta kluster har en hel del gemensamt med klustret “UAV-hårdvara”, och det är något oklart vad skillnaden är. Klustret blev lite av en slasktratt.

De frågor som inte finns i andra kluster är dels den om hur vi ska åstadkomma beräkningar ombord på UAS:en, eller om det är mer genomförbart att skicka datan till en processeringsenhet (t.ex. i en markstation). Då blir problemet snarare att uppnå en acceptabel överföringshastighet.

En deltagare lyfte att det vore bra att kunna använda drönare som en del av ett “sökteam”, där drönaren är kapabel att avverka en del av sökområdet (“pajdelen”) själv. Om UAS:en själv har förmåga till SAR (mönster, vad leta efter? osv) så kan möjligen kraven på användaren lättas – idag är det en operatör som är utbildad inom SAR som flyger drönaren, men om det tvärtom var drönaren som kunde SAR så behöver möjligen inte operatören vara det i samma utsträckning.

En annan lyfte vikten av att kunna operera BVLOS (Beyond Visual Line of Sight), och att kunna ha kapacitet för PNK (position, navigation, kommunikation), vilket förslagsvis skulle kunna uppnås med hjälp av mobilnät eller Teracom samhällsnät.

Det föreslogs även att ha en “sensorkedja” av UAS-stationer, kameror och andra sensorer utmed hela Sveriges kustremsa för att ha en snabb deployment och kort turnaround. Dessa skulle kunna vara sammankopplade via ett ledningssystem där data kan fusioneras tillsammans med integrerad historisk data för att kunna generera proaktiva, prediktiva och reaktiva handlingsplaner. Detta skulle också, tillsammans med öppen data (videoström från privata båtar eller kommersiella fartyg), eventuellt kunna användas för att återskapa händelseförlopp eller bilda en lägesuppfattning.

Datafusion

Ett koncept som återkom i flera förslag från olika deltagare var det om datafusion. Förmågan att kunna aggregera, integrera och kombinera data från olika modaliteter sågs som en viktig pusselbit för att skapa ett intelligent system som kan vara både prediktivt och proaktivt. Genom att fusionera data från många olika sensorer (möjligen via ML-tekniker) kan en lägesbild skapas som sedan delas med både räddningsenheter och JRCC, som i sin tur kan ta informerade beslut. I sin yttersta spets landar denna typ av förmåga i ett “orakel”, som har förmågan att förutspå händelser innan de har hänt, baserat på historik, en stor mängd sensordata från olika modaliteter och ett intelligent ledningssystem. Detta system skulle då kunna skicka ut räddningsenheter redan innan en olycka har inträffat (“vinden har vridit i riktning och ökat i styrka tidigare och kraftigare än beräknat, och en stor mängd fritidsbåtar befinner sig i ett utsatt område av skärgården”). Frågor som behöver besvaras är bl.a. vad varje sensor tillför till “cocktailen”, hur sensorerna ska integreras, informationen bearbetas och datan fusioneras. Annan sensordata som skulle kunna inkluderas i denna cocktail är satellitdata – både i synkroniserings syfte, men också med övervakningsstöd (MAXAR, Copernicus).

Ett system som kan ses som ett alternativ eller kanske ett komplement till “oraklet” är “kritiksystemet” – som, istället för att generera rekommendationer och utföra prediktioner baserat på historik, försöker utvärdera givna scenarion och minimera givna sökproblem. Istället för att skicka ut en flygrutt så börjar kritiksystemet med att försöka svara på frågan om det verkligen är optimalt att välja en UAS för ett räddningsuppdrag. Ett sådant system skulle till exempel kunna ta hänsyn till sjögeografi, vilka resurser som finns i området och om de kan verka?

B.3.2 Organisation

Flera deltagare lyfte hur viktig organisationen är för att UAS och AI ska integreras och faktiskt användas i en organisation. Det krävs rätt kultur (no blame-culture), samverkan, utbildning, metoder, organisation m.m. Vidare så krävs det att användarvänligheten är anpassad till den tekniska mognadsgraden inom organisationen. Vi kan bygga ett system som är hur bra som helst, men om den inte är accepterad av människan/användaren så spelar det ingen roll. Det måste finnas en *vilja* att använda ett system. För att lyckas med detta krävs en kultur som tillåter prestigelös samverkan mellan myndigheter, och en kultur som ser tekniska framsteg som

möjligheter, som komplement till den nuvarande metoden – inte som ett hot om att bli utkonkurrerad i ens yrkesroll. Vidare krävs det att organisationen besitter kunskap om vilken teknik och vilka förmågor som organisationen besitter, samt när vilket system skall användas.

Vidare måste det skapas förutsättningar för räddningsaktioner att “få ta plats” – t.ex. att kunna flyga på vilken höjd som helst, obegränsat av, eller i samspel med, andra luftrum.

Tekniken kommer i andra hand efter att ovanstående punkter är på plats enligt en deltagare. “Det krävs kunskap om varandra för att kunna använda systemet”.

De olika deltagarna har själva kommit olika långt i det organisatoriska arbetet i den här frågan, där tillståndsprocessen tagit många år för vissa, och där andra nyttjat UAV:er i skarpt läge under flera år.

Ett konsensus nåddes dock att i slutändan så är detta ett tekniskt projekt, och de organisatoriska frågorna, om än viktiga, måste lämna plats för de tekniska.

Ledning

I detta kluster hamnade idéer som vidrörde både den autonoma och den organisatoriska aspekten av ledning. Gemensamt är att ledningssystem är ett krav – oavsett om den bakomliggande intelligensen är mänsklig, artificiell eller ett samspel mellan de två. En deltagare föreslog att “Systemperspektiv” är ett bättre namn för detta kluster, vilket denne också såg som det unika perspektivet i detta projekt.

Att ha ett ledningssystem som kan generera en lägesbild togs upp av flera deltagare. Detta blir en naturlig plats för datafusionen att äga rum. Ledningssystemets uppdrag är att hjälpa människan prioritera och eventuellt komma med lösningsförslag. Dock så uppstod frågan om hur data ska skickas på ett effektivt sätt från UAS-enheterna till ledningssystemet, som kan befinna sig flera mil bort. Även om ordet “IoT” dök upp lite här och där, så var det ingenting som diskuterades ingående. Idén om ett “orakel” som utgår ifrån tidigare erfarenheter och genererar alternativa lösningar som människan kan välja mellan passar även in i detta kluster.

En deltagare lyfte att det är viktigt att informationen om t.ex. detekterade objekt inte stannar hos operatören, utan att det sprids ut via t.ex. ett ledningssystem, och att den personal som vill kan få åtkomst till denna data och agera på den.

Här lyftes också idén om ett gemensamt virtuellt lednings- och informationshanteringssystem, där samtliga berörda aktörer i räddningsinsatsen kan inhämta, avrapportera och utbyta information. Detta skulle tillåta analyser och en överblick i realtid mellan räddningsoperatörer och ledning. Specifikt så efterfrågades en större frihet i informationsutbytet mellan myndigheter – t.ex. väderobservationer från SMHI eller satellitbilder från Copernicus (EU:s jordobservationsprogram). En jämförelse gjordes med USA, där “öppen data”-tänket existerar i någon sorts motpol till den strikta och reglerade datamiljön här i Sverige (och EU). Skulle detta kunna underlättas genom en koordineringsmyndighet?

Länk/kommunikation

Frågan kring kommunikation lyftes flera gånger, främst kring hur skicka information från UAS:en till “ledningcentralen” (fast eller flygande). Satellitkommunikation föreslogs även, och då med tydligt definierade protokoll (en gemensam standard) för tid och rum. Flera deltagare lyfte kravet på realtidsöverföring av bild-/ljud-/videoströmmar. Detta ställer krav på robust, snabb och säker kommunikation. IoT nämndes i förbifarten, men utan att gå in närmre på detaljer. Ett påpekande

var att vi bör ställa krav på utveckling av kommunikationstekniker, då de inte går lika fort framåt som andra aspekter av UAS.

Anomali

Anomalidetektion diskuterades som en förmåga att upptäcka det som avviker från normalbilden.

I motsats till objekt-detektionsalgoritmer som explicit söker efter objekt såsom båtar, människor, rök, oljefläckar eller liknande, så kan det möjligen vara intressantare och mer generellt applicerbart att träna en modell på hur "normalbilden" ska se ut (sjö, klippor, vågor) och reagera när den finner någonting som inte hör hemma där (oljafläckar, båt, människa). Det kan möjligen argumenteras att normalbilden är svårare att träna upp för att man då måste pricka inversen till det man är intresserad av, vilket är en större mängd än det man uttryckligen är intresserad av.

Markstation

Ett alternativ till att all processering sker ombord på UAS:en är att ha en fix markstation som får data tillsänt och processar den på plats. Detta underlättar för att hård- och mjukvarukraven blir slappare, och UAS:en kan bli lättare. Detta skulle också vara en naturlig plats för att fusionera data som inkommer från potentiellt flertalet datakällor (flera UAS med olika sensorer eller även annan typ av data).

En deltagare lyfte ett önskemål om en "one push solution", där allt som ska krävas från operatörens sida är ett knapptryck, och att systemet är automatiskt från start till landning.

Även en markstation behöver vara vädertålig, och skulle förslagsvis inrymmas i en skåpbil.

AI-koncept

Ett par deltagare lyfte vikten av Robust AI, vilket innebär att de algoritmer som utvecklats för att analysera datan behöver vara speciellt tränade med robusthet i åtanke – så att algoritmerna inte genererar oväntade, svårtolkade eller motsägelsefulla förslag under en skarp räddningsinsats. AI-system ska finnas för att hjälpa människan att prioritera, men det måste också finnas möjlighet för människan att "överta" AI:n och välja "det sjätte alternativet", när AI:n endast producerat fem. En alternativ approach som föreslogs är att använda en AI som kan utvärdera en plan (t.ex. ett sökområde) givet av en människa och ge förslag på förbättringsåtgärder.

Vidare är det viktigt, och kan förbättra människans tillit till AI-algoritmerna, att systemen är förklarbara. Att operera med en "black-box" kan vara obehagligt och kan leda till att insatspersonalen inte lyssnar till systemets rekommendationer. Om användaren kan få ett komplement med någon form av förklaring ("Vad gjorde att vi egentligen trodde att X var mer sannolikt än Y?", heatmap t.ex.) till varför en prediktion gjordes så kan det öka tilliten till systemet.

Till sist så föreslogs en typ av inlärning kallad "aktiv inlärning", där ett system fortsätter att lära sig under hela sin livstid med hjälp av mänsklig feedback. Om ett system uppvisar felaktigt beteende, t.ex. klassificerar en säl som en människa i nöd, så kan användaren då rätta till detta felet genom att berätta för systemet att det faktiskt inte är en människa. Nästa gång systemet utsätts för en liknande situation så kan den då lita på denna feedback och förhoppningsvis generera en bättre prediktion.

Andra idéer om hur AI kan användas för att stödja SAR var att använda tal-till-text analys för smidigare avrapportering.

Sökmönster

Några deltagare lyfte problemet med hur man söker på ett effektivt sätt efter en saknad person/objekt. Delvis kom förslag om att nyttja UAS:en för att autonomt bestämma väderförhållanden över havet, t.ex. vindförhållanden och vattenströmmar för att kunna göra avancerade driftberäkningar utan att behöva få input från en användare. Olika objekt har olika driftkaraktäristik och idag så finns ett bibliotek med karaktäristik att hämta beroende på vilket objekt som är saknat. Att få hjälp av ett smart örakelför att generera de mest sannolika sökområdena och på så sätt minimera sökområdet lyftes, samt att använda avancerade probabilistiska (Bayesianska) metoder för att optimera sökandet. Detta hjälper oss att söka med kvalitet och vinna tid". Alternativt ett kritikersystem för att begränsa sökområdena (ej på land etc.)

B.3.3 Prioritet

Varje kluster gavs första, andra eller tredje prioritet, vilket motsvarar 3, 2 och 1 poäng respektive. Givet 16 deltagare fanns alltså $(1 + 2 + 3) \times 16 = 96$ poäng att dela ut. Efter att ha summerat varje klusters poäng så erhöles följande prioriteringslista:

1. Sensorförmåga (24p)
2. Analys (17p)
3. UAV-hårdvara (17p)
4. Datafusion (12p)
5. Organisation (8p)
6. Ledning (6p)
7. Länk/kommunikation (5p)
8. Anomali (3p)
9. SAR-systemet (3p)
10. Markstation (1p)
11. AI-koncept (0p)
12. Sökmönster (0p)

B.4 Övriga reflektioner

“Vi måste komma igång med tester! Får inte bara bli teoretiskt. Om det är simpla sensorer i början så får så vara fallet, bara vi kommer ut och testar saker rent praktiskt.”

En diskussion om hur sökning går till i terräng. Då behöver man återkomma till ett område flera gånger, och tid är därför viktigt. Vidare har man ofta en LKP (Last Known Position), samt även olika modeller för beteende baserat på den eftersöktes profil (barn, dement, suicidal, kriminell, etc.). Mycket av detta görs manuellt, men det finns även appar. I SAR i havsmiljö kan en del av detta överföras, men det finns samtidigt många skillnader.

Vidare så lyfte en deltagare problematiken med att människan har svårt att föreställa sig framtida tekniska förutsättningar. Detta leder till en långsam accepterandefas, vilket gör att det dröjer innan nydanande teknik integreras i organisationer, och när den väl gör det så har tekniken

rusat vidare och lämnat den “nya” tekniken obsolet. Vi bör därför anta att sensorer och teknik finns idag och helt enkelt nyttja den så snart som möjligt. Vi måste därför hålla oss till ett kort tidsperspektiv inom projektet – sikta på de närmaste 10 månaderna istället för 10 åren.

B.5 Samtliga lappar

- Sensorförmåga
 - Bild/kamera
 - * Kunna se i mörker
 - * Termisk kamera / värmekamera / temp på person
 - * Allväderförmåga
 - * Förmåga att ta bilder
 - * Relativt högupplösta bilder
 - * Temp på person
 - Radar
 - * Ytradar
 - * Signalspaning
 - * “Se-under-vatten”-sensor
 - * Sonar
 - Ljud
 - * Högtalare
 - * Låta nödställd veta att “vi kommer”
 - * Akustisk sensor
 - * Muntlig kommunikation
 - * Förmåga att spela in ljud
 - * Ljudigenkänning (filtrera bort allt ljud förutom människans)
 - Flyt
 - * Droppa boj flyt/GPS/...
 - IMSI
 - * IMSI Grabber
 - * Triangulera radiosamtal
 - * Spåra mobiltelefon med IMSI
 - Väderstation
 - Ljus

- Analys
 - Identifiera objekt / Förmåga att detektera objekt / Klassificering av båt / Systemdetektion av objekt
 - Förmåga att bestämma objektsposition / Positionering (av objekt)
 - Vitalparameterfunktion
 - Spårning av PIW
- UAV-hårdvara
 - Ditch / Enklare UAV förbrukningsprodukter? / One-way = dubbel range
 - Fungerar som flythjälpmedel
 - Klara av att flyga i hård vind/nederbörd / Allväder / AW-SAR
 - Kort turnaround
 - Snabb / Hastighet / höghastighet
 - (Lång) räckvidd / Flygtid
 - Glidtal
 - 24/7
 - Hög flyghast = Vindtålig
 - Uthållighet
 - Kort tid till start / Snabb responstid
 - Landningsförmåga på rörliga objekt
 - Sea hawk
 - Rocket rake
 - Rocket deploy
- SAR-systemet
 - Video i realtid
 - Klara av söka en egen del (pa,j) (sökmonster)
 - 100 UAV:er söker området och belyser
 - Svärmt teknik
 - UAV-stationer utmed Sveriges kust (sensorkedja)
 - Basing (landningsplats)
 - Vädertålig
 - 24/7
 - Preventiva system
 - Utföra beräkningar ombord eller på markenhet

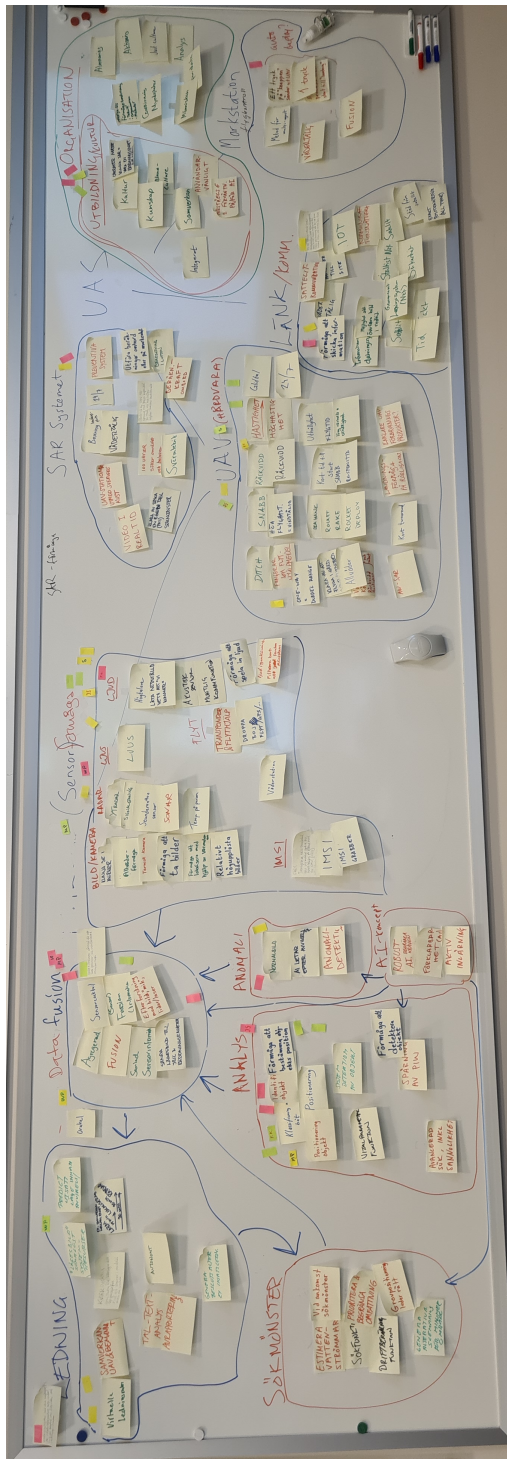
- Bearbetning i luften
- Beräkningskraft ombord
- Spaning med BVLOS (Beyond Visual Line of Sight) kapacitet för PNK (position, navigation, kommunikation) via mobilnät/Teracomns samhällsnät
- Datafusion
 - Fusion / (Sensor)fusion (information) / Aggregerad / Sensorcocktail
 - Samlad sensorinformation
 - Sända lägesbild till JRCC & räddningsenheter
 - Efterforskning med bild, mikrofon, LiDAR/Laser
 - Data+sensorer viktigt för att hitta personer och undervärderad verksamhet
 - Orakel (Vi kan baserat på erfarenhet veta var saker händer. Vi skall vara på plats redan innan någon ringer. Exempel om tidigt vändande vind i gästhamnar o.s.v.. Använda erfarenhet.)
- Organisation
 - Kultur
 - Kunskap
 - No-blame culture
 - Just culture
 - Operatör måste kunna SAR = vara en räddningsenhet (eller tvärtom - UAS måste kunna SAR)
 - Samverkan
 - Integrerat (ska få plats, ska kunna ta höjd (ha tillstånd))
 - Användarvänligt
 - Förståelse & förväntningar på/för AI
 - Prestigelös förmågebeskrivning (teknik, organisation, metoder)
 - Alarmering
 - Aktivering
 - Analys
 - Open data
 - Människan
- Ledning
 - Virtuella ledningsrum
 - Samverkan UAV & bemannat
 - Tal-text analys (avrapportering)

- Autonomt
- Generera beslutsalternativ, t.ex. insatsledning
- Kritikersystem (ej rekommendationssystem) som även tar hänsyn till sjögeografin (Finns det resurser i området – kan de verka? (hör också in på “analys”?)
- Lägesbild-- sömlöst system – resurser
- T.ex. samverkan mellan enhet Larm → Lokaliserad → Räddad (30 min tot)
- Predict utsatt läge innan avvikelse
- Ledningssystem ska vara mottagare av lägesinformation som underlag för beslut om åtgärder och räddningsinsatser
- Länk/kommunikation
 - Satellitkommunikation (tid & takt)
 - Satellit
 - Stöd från satellit
 - Exakt positionering (all time)
 - Vädertålig
 - Förmåga att skicka information
 - Kommunikationsnätverk
 - Informationsdelningssystem
 - Möjlighet att överföra bild i realtid
 - Gemensamt ledningssystem (nät)
 - Säkerhet
 - Stabilt nät
 - IoT
 - Handover till site
 - Säker positionering
 - Radiolänkar (4-56?)
- Anomali
 - Normalbild
 - AI letar efter avvikelser (Anomalidetektion)
- Markstation
 - Metod för multi-agent
 - Ett tryck på “knappen” sänder ut UAV
 - 1 tryck

- Automatiskt från start till “landning”
- Fusion
- Auto deploy
- Vädertålig
- AI-koncept
 - Robust AI, begränsa kraven
 - Förklarbarhet (AI)
 - Aktiv inlärning
- Sökmönster
 - Estimera vattenströmmar
 - Vid ankomst sökmönster
 - Prioritera & begränsa omfattning
 - Sökfunktion
 - Driftberäkningsfunktion
 - Grovpositionering leder rätt
 - Generera alternativa scenarier för minimera område
 - Avancerad sök, inkl. sannolikhet?

B.6 Fotografier

Nedan följer fotografier av tavlan med alla brainstorming-lappar klustrade enligt beskrivningen i avsnitt [B.2](#).



Figur B.1: Samtliga kluster



(a) Klustren Datafusion (B.3.1), Analys (B.3.1), Anomali (B.3.2) och AI-koncept (B.3.2)
 (b) Klustren Ledning (B.3.2) och Sökmönster (B.3.2)

Figur B.3

Bilaga C

Mänskliga faktorer och legala aspekter

C.1 Mänskliga faktorer

En övertro på tekniken kan orsaka incidenter som hade kunnat undvikas om en människa hade övervakat och haft möjligt att ingripa. Det är heller inte rättvist att alltid tillskriva den mänskliga faktorn, att en enskild individ eller besättning agerat felaktigt, som grundorsaken till att olyckor under flygoperationer sker. Det kan istället röra sig om bakomliggande faktorer så som ett fel på en motor eller ont om bränsle [67]. Det kan även röra sig om faktorer så som företagskultur eller hur verksamheten är organiserad [28].

C.1.1 Kommunikation

Att kommunicera handlar i grunden om att göra, exempelvis information eller kunskap, till något gemensamt och sker generellt genom transferering av information via en kanal mellan en sändare och en mottagare [9]. Så kan ibland ske utan att sändaren är fullt medveten om vad som förmedlas i sin helhet genom exempelvis kroppsspråk, ordval eller röstläge. Kommunikation kan även ske genom skyltar, bilder eller varningssignaler [27]. Alla varianter av kanaler har sina fördelar och begränsningar och lämpar sig mer eller mindre bra beroende på situationen. Inom luftfarten är kommunikation en viktig beståndsdel och korrekt använt kan det vara skillnaden mellan en effektiv dag på arbetet och en allvarlig incident. Barriärer som kan stå i vägen för information mellan sändare och mottagare kan exempelvis vara fysiskt avstånd, skilda referenser, språk och exempelvis kunskap. Ju mer information sändaren och mottagaren redan har gemensamt desto effektivare kan kommunikationen generellt vara [9].

C.1.2 Ledarskap

Det är av stor vikt att samtliga besättningsmedlemmar tar sitt ansvar i gruppen. En komplett ledare beskrivs ofta som resultatriktad men också med viljan om sina gruppmedlemmars bästa. Det är lämpligt som ledare att tydliggöra, inte bara för sig själv utan för hela gruppen, i vilken ordning uppgiften hamnar kontra aspekter som risktagande, säkerhet, hållbarhet, ekonomi och service. Generellt är uppgiften i normal verksamhet sekundär mot såväl flygsäkerhet som hållbar-

het. Genom att vara ärliga kan stora misstag undvikas. Att ha en hög integritet och stå upp för regler och inte frestas till onödiga risker. Ledarskap bör situationsanpassas beroende på gruppens engagemang och kunskapsnivå. En nybildad grupp sägs, med stöd av Fundamental Interpersonal Relations Orientation-cirkeln, gå igenom olika faser och ledarskapet skiljer sig därför åt beroende på var gruppen befinner sig. Från instruerande (høgt engagemang/låg kompetens), säljande (låg engagemang/normal kompetens), stödjande (blandat engagemang/høgre kompetens) till delegerande ledarskap (høgt engagemang/høg kompetens) [80]. Allt för att kunna vara största möjliga stöd till gruppen i sin helhet.

Som ledare finns bland annat ett ansvar över att bibehålla en uppdaterad helhetsbild, analysera skeden och planera genomförande på kort och lång sikt. En god ledare lyssnar aktivt och strävar efter en positiv kommunikationsmiljö [9].

C.1.3 Arbetsbelastning

Generellt kan sägas att varje enskild individ presterar som bäst inom en viss tidsrymd med ett för personen ifråga lagom stort informationsflöde och antal uppgifter som ska genomföras. Med för lite att göra uppstår ett visst mått av tristess och personen blir ofokuserad, vid för mycket att göra kan ohälsosam stress, kanske till och med panik uppstå [38]. Vid en allt för hög arbetsbelastning väljer många att skynda på för att hinna ifatt, det kan i sin tur resultera i ett ökat antal fel, minskade marginaler och ett farligt tunnelseende.

Det finns sätt att hantera arbetsbelastningen och balansen mellan uppdraget, flygsäkerheten, besättningen och övriga faktorer. Genom att vara väl förbered, delegera och bortse från icke relevant arbete kan arbetsbelastningen behållas på en optimal nivå. Genomtänkt användande av hjälpmedel så som automation kan minska stressen, till exempel att utnyttja möjligheterna med att förprogrammera rutter eller höjdhållning, för att kunna fokusera mer på det datainsamlingen och flygsäkerhet. Fördela arbetet i gruppen och säkerställ tydliga ansvarsområden. Dela upp och delegera uppgifter. Att själv operera ett luftfartyg i svårt väder nära fastställd toleransnivå är inte att rekommendera. Ett annat exempel kan vara att digitalt begränsa den operationella volymen eller sätta upp en informationsskylt för att minimera de faktorer som distraherar besättningen [29].

C.1.4 Situationsmedvetenhet

Situationsmedvetenhet handlar om, precis som namnet antyder, en individs eller grupps uppfattning om nuläget och hur väl det överensstämmer med verkligheten. Det handlar om förståelsen för vad som har skett, det som inträffar just nu och vad som kan tänkas komma att ske inom en överskådlig framtid.

Även situationsmedvetenhet går att öva upp genom ökad kunskap och erfarenhet från liknande situationer. Att se mönster och koppla ihop ledtrådar samt se vad som är relevant utan att fokusera för mycket på något enskilt. Det gäller att lära sig identifiera att något inträffat, prioritera och hantera eventuella hot mot flygsäkerheten eller syftet med operation [27]. Att förutse vad som eventuellt kan ske på grund av det som inträffat och planera i förväg.

C.1.5 Stress

Stress kan påverka oss i vår vardag, både negativt och positivt. Det kan bland annat vara kopplat till den arbetsbelastning upplever, de förväntningar vi har på oss samt tiden vi har på oss att utföra en uppgift [38]. För lite stress kan leda till sämre resultat lika väl som för hög stressnivå. Delar

som påverkar stressnivån är till exempel förberedelser, uppgiftsfördelning och hantering, nivån av automation tillgänglig och hur den utnyttjas, vilka resurser och hjälpmedel som finns tillgängliga och hur de används samt vilka distraktioner som finns och hur de kan hanteras/undvikas.

En av de huvudsakliga orsakerna till att för hög stressnivå uppstår är att förutsägbarheten i en situation minskat eller uteblivit helt samt att känslan av att ha kontroll har upphört [54]. För att reducera stressnivån gäller det att ha verktyg för att återta förutsägbarhet och kontroll.

C.1.6 Beslutsfattande och problemlösning

Beslutsfattande är en viktig del och flera faktorer kan vara involverade såsom flygsäkerhet, ekonomiska intressen, tidspress, erfarenhet, kunskap, procedurer och information. Det måste finnas någon med befogenhet att ta beslut och verkställa dessa, i normalfallet är det befälhavaren som även har det övergripande ansvaret [9]. För att kunna ta kvalitativa beslut så är information om en situation mycket viktig, först därefter kan beslut fattas med hjälp av erfarenhet och kunskap.

Beslutsfattandeprocessen är också beroende av den tillgängliga tiden för att lösa ett problem. Därför bör det finnas rutiner för åtgärder som besättningen skall utföra under mycket tidskritiska perioder.

Då mer tid finns tillgänglig kan ett mer rationellt beslut fattas efter en stunds reflektion. Målet är att ta ett optimalt beslut för att uppnå ett tydligt mål efter att all tillgänglig information runt situationen har analyserats. För att uppnå ett så gott resultat som möjligt är det viktigt att på ett effektivt sätt kunna utvärdera situationen, samla in så mycket information runt problemet som möjligt inom den tidsram som är tillgänglig, ta rimliga beslut baserat på denna information samt hantera och följa upp effekterna av det beslut som har tagits [69].

C.2 Rådande legala aspekter

I denna bilaga presenteras en längre och mer utförlig version av avsnittet rådande legala aspekter i kapitlet teori.

Inom EU regleras verksamhet med obemannade luftfartyg främst genom två EU-förordningar; EU 2019/947 och EU 2019/945. Bestämmelserna är riskbaserade med ökande krav beroende på risken som en viss flygning eller verksamhet innebär. EU:s regelverk gäller för all civil verksamhet med obemannade luftfartyg med undantag för s.k. statlig luftfart. UAS-verksamhet delas utifrån risknivå in i tre driftskategorier; öppen, specifik och certifierad [45].

C.2.1 Öppen kategori

För den öppna kategorin krävs inte tillstånd, istället upprätthålls säkerheten genom detaljerade och relativt begränsande regler [14].

UAS-operatörer ska registreras hos ansvarig myndighet (i Sveriges fall Transportstyrelsen) men det görs ingen tillträdeskontroll eller löpande verksamhetskontroll av Transportstyrelsen. Kontroll att reglerna i den öppna kategorin efterlevs åligger Polismyndigheten (andra myndigheter kan dock vara utsedda i andra EU-länder) [14]. Ett i branschen uppmärksammat exempel där arbete med kontroll har inletts är en undersökning av hur många obehöriga "drönare" (UAS) som flugits i Bromma kontrollzon under en viss mätperiod [113].

I den öppna kategorin så ska all flygning ske inom synhåll och på maximalt 120 meters höjd. Ett antal andra generella begränsningar finns i form av förbud mot transport av farligt gods, förbud

mot flygning över folkmassor och en generell viktgräns om 25 kg. Detaljerade förutsättningar finns i tre underkategorier (A1, A2 och A3) som ytterligare definierar villkoren för UAS-verksamhet, med hänsyn bland annat till luftfartygets startvikt och avstånd till tredje person [45].

C.2.2 Specifik kategori

Om något villkor för den öppna kategorin eller dess underkategorier inte kan uppfyllas måste verksamheten ha tillstånd enligt den specifika eller certifierade kategorin.

Den specifika kategorin har en stor bredd då den innefattar allt från kraftledningsinspektioner bortom synhåll med mindre UAS till stora system som flygs integrerat med bemannad trafik.

Tillstånd ansöks om hos Transportstyrelsen och vilka krav som gäller för en viss verksamhet definieras, med undantag för vissa gemensamma grunder, i princip helt i det utfärdade tillståndet. Till stöd för sin ansökan genomför operatören en riskbedömning enligt den s.k. SORA-metoden, vilken lämnas in tillsammans med dokumentation som påvisar att verksamheten uppnår en godtagbar risknivå [45].

Inom den specifika kategorin finns det möjlighet att söka tillstånd utifrån flera olika grunder som alla på något vis härstammar från SORA-metoden.

Normalformen av operativt tillstånd, som är baserat på en SORA-riskbedömning, kan innebära väldigt många olika typer av verksamhet med stor variation i komplexitet, förutsättningar, krav och begränsningar. SORA-metoden ger stöd i att identifiera risknivå enligt en bestämd skala och anger lämpliga krav utifrån risk. Förutom normalformen finns även ett antal, av EASA publicerade, fördefinierade riskberäkningar, PDRA, som kan åberopas för vissa typer av verksamhet. Detta underlättar ansökningsprocessen men kan endast användas under givna förutsättningar för respektive PDRA. Ytterligare en förenkling finns i form av Standardscenarion, STS, som faktiskt inte ens kräver en tillståndsansökan utan kan åberopas genom en deklaration av efterlevnad. För standardscenarion är förutsättningarna mer detaljerat angivna och det krävs även att UAS har en C-klassning på motsvarande sätt som i den öppna kategorin.

Samtliga operativa tillstånd är begränsade i tid, rum och förutsättningar. Det finns dock även en möjlighet för en operatör att ansöka om ett mer avancerat tillstånd, kallat LUC, som ger operatören större frihet att utföra verksamhet utifrån egen riskbedömning. Genom ett LUC-tillstånd kan operatören därför fungera mer som ett flygbolag och inom givna ramar (till exempel en viss risknivå) bedriva kontinuerlig verksamhet [14].

C.2.3 Certifierad kategori

Vissa typer av verksamhet med obemannade luftfartyg räknas enligt EU:s lagstiftning till certifierad kategori. Denna kategori är ännu inte regulatoriskt utvecklad och särskilda regler finns inte publicerade utan för den typ av verksamhet som anges höra till certifierad kategori gäller i dagsläget samma regler som för bemannad luftfart.

Verksamhet som har högre risk än som tillåts i den specifika kategorin hör till den certifierade kategorin. Vissa typer av verksamhet har i regelverket angetts som alltid tillhörande den certifierade kategorin. Detta gäller för verksamhet (med certifierade luftfartyg) som inbegriper flygningar [14]:

- Över folksamlingar
- Involverar persontransport

- Transport av farligt gods som kan innebära hög risk för tredje part

C.2.4 Statlig luftfart

Till statlig luftfart hör till exempel militärt flyg och flygverksamhet som utförs av polis, tull och kustbevakning [14].

Definitionen av statlig luftfart skiljer sig något åt mellan Chicagokonventionen och EU:s regler där de senare tydligt anger några fler verksamheter och därigenom kan möjliggöra en lite bredare tolkning.

Enligt EU:s *Basic Regulation* (EU 2018/1139) inkluderas även brandbekämpning och SAR-flygningar i den typ av verksamhet som räknas till statlig luftfart. Denna typ av verksamhet är därmed som utgångspunkt undantagen från förordningens bestämmelser. Det finns dock möjlighet för medlemsstater att välja att tillämpa regler för civil luftfart även för luftfartyg som utför statsluftfart. Denna s.k. Opt-In-möjlighet kan tillämpas i varierande omfattning, till exempel för en viss typ av verksamhet (såsom SAR) eller en viss typ av luftfartyg (e.g. civila typer av helikoptrar eller flygplan) som används av en statlig aktör. Fördelar med att använda Opt-In är bland annat att det blir enklare att verka i civilt luftrum, i andra stater och att samarbeta inom EU eller internationellt.

Verksamhet som räknas till statlig luftfart och som inte ska följa civila bestämmelser enligt Opt-In ska istället följa särskilda villkor som utfärdas av den aktuella medlemsstaten [24].

Ansökan om särskilda villkor görs hos Transportstyrelsen och utgångspunkten är att de utfärdade villkoren motsvarar de civila kategorierna, men anpassningar kan göras för att reglerna bättre ska passa den aktuella verksamheten [62].

Det kan noteras att särskilda villkor även innebär andra avgifter än enligt det civila regelverket. För närvarande tas en kostnad om 15 000 kr per år ut av Transportstyrelsen för organisationer som bedriver verksamhet enligt särskilda villkor [115].

C.2.5 Luftrum

För att möjliggöra BVLOS-flygningar krävs idag normalt sett att ett avgränsat luftrum (till exempel restriktionsområde (R-område)) upprättas. [62].

U-Space är ett EU-projekt som har som mål att skapa ett mer integrerat luftrumssystem där både bemannad och obemannad luftfart kan använda samma luftrum. Projektet består av flera steg och under utvecklingstiden testats olika delkoncept runtom i Europa [10].

Projektet är en del av det mer övergripande projektet SESAR, *Single European Sky ATM Research*, inom vilket tester gjorts bland annat för att undersöka hur radar kan användas för integration av bemannad och obemannad trafik [10].

För att möjliggöra mer integrerad användning av luftrum för UAS krävs att det finns fungerande system som kan detektera och undvika annan trafik (bemannad eller obemannad). Det pågår ett standardiseringsarbete för framtagande av internationella standarder som kan komplettera och ligga till grund för kommande reglering och tillståndsgivning [10].

För konflikthantering i luftrummet och säkerheten för en flygning ansvarar en fjärrpilot. Detta förutsätter dock även att fjärrpiloten i alla lägen kan ingripa i flygningen för att avstyra säkerhetsrisker. Regelverket är idag inte helt anpassat för helt autonoma flygningar där flygningen

utförs helt utan möjlighet för en fjärrpilot att ingripa. EU:s förordningar öppnar dock för denna möjlighet och ett utvecklingsarbete på området pågår [10].

För att genomföra flygningar över internationellt vatten krävs, enligt Chicagokonventionens Annex 2, koordinering med den enhet som är ansvarig för luftrummet samt inlämning av färdplan. Detta krav gäller generellt för alla typer av luftfartyg och därigenom även för obemannade luftfartyg [14]. I vilken utsträckning det även innefattar ekonomiska zoner och statlig obemannad luftfart är dock inte helt klarlagt och kan komma att förändras framöver [14]. Likaså krävs, enligt Chicagokonventionens art. 8, godkännande från annan stat om ett statligt förarlost luftfartyg ska flygas i dess luftrum [14]. Detta hänger samman med den generella skyldigheten för en statlig operatör att upprätthålla flygsäkerheten när ett obemannat luftfartyg förs fram där civil trafik är tillåten [10]. Vad detta faktiskt innebär i praktiken är dock inte tydligt definierat i varken Chicagokonventionen eller de rekommendationer (SARPS) som finns från ICAO (International Civil Aviation Organisation) idag. Det är inte heller klarlagt vilka tekniska krav som ska ställas på obemannade luftfartyg som genomför internationella flygningar och om de behöver vara certifierade. Fortsatt regelutveckling är nödvändig på området och tills vidare behöver stater samarbeta för att hitta bästa möjliga lösning under rådande förutsättningar [14].

C.2.6 Informationshantering

När sensorinformation inhämtats med luftfartyg krävs i många fall spridningstillstånd enligt lagen om skydd för geografisk information (SFS 2016:319). I enlighet med denna lag behöver tillstånd sökas hos Lantmäteriet för spridning av landgeografisk information och hos Sjöfartsverket för spridning av sjögeografisk information [104]. Lagen är till viss del teknikneutral och gäller därför information som inhämtats med många olika tänkbara typer av sensorer. Det lagen gäller för är information som inhämtats med luftfartyg genom fotografering eller liknande registrering. Detta innebär att förutom vanligt bildmaterial så omfattas även film, LiDAR (laserskannad data), IR-bild (värmekameraregistrering) med mera [48].

Det finns vissa undantag från kravet på spridning av landgeografisk information som innebär att tillstånd inte behöver sökas. Det finns även möjlighet att för till exempel räddningsverksamhet söka tillfälliga undantag från spridningstillstånd [62]. Sekretess enligt Offentlighets- och sekretesslag (2009:400) (OSL) gäller för information som spridningstillstånd inte ännu erhållits för [62].

När sensorer burna med UAS fångar in data som innehåller bilder av personer eller annan information som kan kopplas till en person så kan Dataskyddsförordningen, GDPR, och Kamerabevakningslagen, KBL, vara nödvändiga att förhålla sig till. Dataskyddsförordningen, GDPR (Europaparlamentets och rådets förordning (EU) 2016/679 av den 27 april 2016 om skydd för fysiska personer med avseende på behandling av personuppgifter och om det fria flödet av sådana uppgifter och om upphävande av direktiv 95/46/EG allmän dataskyddsförordning) gäller för all behandling av personuppgifter inom EU eller som tillhör medborgare inom EU. Syftet med förordningen är att skydda den personliga integriteten.

Dataskyddsförordningen, GDPR, har en bred tillämplighet och begreppet personuppgift innebär att GDPR ska följas även när en person är indirekt identifierbar genom till exempel utmärkande kläder eller rörelsemönster. Om ett sensorbestyckat UAS används på en sådan flyghöjd att personer inte är identifierbara är inte GDPR tillämpningsbar och behöver då inte följas. I sådana fall är inte heller Kamerabevakningslagen tillämpningsbar, då den har ett snävare tillämpningsområde. Enligt Kamerabevakningslagen är kamerabevakning nämligen definierat på ett sådant sätt att den omfattar bildupptagning där personer är direkt identifierbara och förekommer i bild

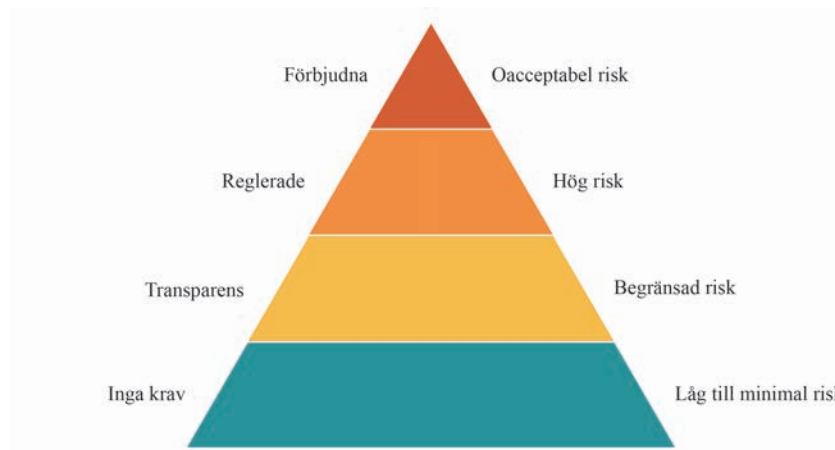
kontinuerligt eller vid upprepade tillfällen.

Integritetsskyddsmyndigheten IMY har avvisat ett relativt stort antal ansökningar om tillstånd för kamerabevakning med drönare, med hänvisning till att det som ansökts för helt enkelt inte rör sig om kamerabevakning i lagens mening. Det kan då ha rört sig om att bilderna är tagna på en sådan höjd eller på ett sådant sätt att personer inte varit identifierbara mer än endast tillfälligt.

Det är värt att notera att GDPR ofta kan behöva följas även om Kamerabevakningslagen inte ska tillämpas [104].

C.2.7 Etiska bestämmelser

EU har nyligen initierat ett arbete med att ta fram lagstiftning för AI-området, kallat AI Act [52]. Det framtagna regelverksförslaget är riskbaserat och syftar till att ge ett legalt ramverk som främjar AI-innovation som är lagenlig, säker och pålitlig samt harmonierar med grundläggande fri- och rättigheter i övriga EU-lagstiftningen. AI-användning med olika risknivå får krav och skyldigheter för att garantera att den är säker och etisk. För användning med begränsad risk kan detta innebära krav på transparens och information medan användning med hög risk får tydliga krav för hur sådan AI får nyttjas eller utvecklas. Den högsta risknivån kallas för oacceptabel risk och AI-applikationer som hamnar inom denna kategori blir helt förbjuden.



Figur C.1: Semantisk modell av Europeiska unionens (EU) bedömning av risknivåer för AI [52]

Hög risk föreslås gälla för två sorters AI-användning.

1. När AI används som en säkerhetskomponent i en produkt eller som omfattas av EU:s harmoniseringslagstiftning inom hälsa och säkerhet (hit räknas bland annat luftfart).
2. När AI används inom åtta specifika områden som inkluderar bland annat:
 - Biometrisk identifiering och kategorisering av fysiska personer
 - Förvaltning och drift av kritisk infrastruktur
 - Tillgång till och åtnjutande av grundläggande privata och offentliga tjänster och fördelar

- Brottsbekämpning
- Migration, asyl och gränskontroll

För användning av AI med hög risk föreslås bland annat att det ska krävas att den som tillhandahåller sådana AI-system påvisar att systemet är säkert och att systemet registreras i en EU-databas.

Det föreslås att bl.a. system som utför biometrisk kategorisering ska tillhöra begränsad risk.

En viktig skiljelinje är AI-behandling av biometrisk data för identifiering av personer, vilket är något som räknas som hög risk. Eftersom regelverket ännu är på förslagsstadiet är det dock för tidigt att uttala sig om vad denna skiljelinje kan komma att innebära [52].

När personuppgiftsbehandling utförs och AI-system med hög risk används kan även GDPR behöva tas i beaktning. Det kan då tänkas att sådan AI-användning kan innebära att personuppgiftsbehandlingen utgör en hög risk "för enskildas rättigheter och friheter". Det finns ett antal kriterier att beakta när det gäller bedömning av om en behandling leder till hög risk och några som kan tänkas vara särskilt relevanta för SAR UAS är:

- Automatiskt beslutsfattande med rättsliga eller liknande betydande följder
- Känsliga uppgifter eller uppgifter av mycket personlig karaktär (dit hälsouppgifter brukar räknas)
- Uppgifter som rör sårbara registrerade
- Innovativ användning eller tillämpning av nya tekniska eller organisatoriska lösningar

När det är sannolikt att en behandling leder till hög risk ska en konsekvensbedömning utföras enligt dataskyddsförordningen och i vissa fall ska även den nationella tillsynsmyndigheten (i Sveriges fall IMY) tillfrågas [66].

Utvecklingen av lagstiftning inom AI-området kommer vara viktig att noga bevaka framöver.

C.2.8 Övrig lagstiftning

Arbetet inom projektet har framför allt fokuserat på operativa tillstånd för flygning och legala aspekter kopplat till detta. Förutom vad som redogjorts för finns även en del annan lagstiftning som kan behöva beaktas vid eventuell etablering och drift av en SAR UAS-resurs. Några viktiga områden är offentlighet och sekretess, frekvensanvändning, skyddslagstiftning och cybersäkerhet.

Bilaga D

Integrering och tester för datainsamling

D.1 Integrering och tester för datainsamling

Tabell D.1: Underlag för arbete med integrering och verifiering vid utveckling av UAS.

ID	Test Type	Test Description	Test Objectives
1.1	Hardware	Flight controller	(1) Verify that the flight controller can perform basic flight functions, such as stabilization and attitude measurements. (2) Test the telemetry system for reliable communication with ground control stations. (3) Verify data logging capabilities for post-flight analysis. (4) Test fail-safe procedures by simulating scenarios like radio signal loss and power failure to ensure the flight controller responds appropriately. (5) Verify that onboard sensors, including the IMU (Inertial Measurement Unit) and airspeed sensors, are functioning correctly and calibrated.
1.2		GNSS receiver	(1) Evaluate the GPS module's accuracy and time-to-fix. Test its ability to maintain a stable GPS lock during flight.
1.3		Airspeed sensor and pitot tube	(1) Ground testing to ensure that the airspeed sensor and pitot tube operate correctly during aircraft startup and pre-flight checks

Fortsättning på nästa sida

Tabell D.1 – *Fortsättning från förra sidan*

ID	Test Type	Test Description	Test Objectives
1.4		Electrical BUS with dual power input	(1) Verify the BEC can switch between two power sources as needed (2) Test the unit's ability to protect against short circuits in the power input
1.5		Companion computer	(1) Verify that sensor data is accurately collected, processed, and utilized for flights. (2) Integration of software and middleware on the companion computer, communication with the flight controller (3) Test for storage and retrieval mission data, sensor logs, and telemetry data
1.6		Payload	(1) Test data link between the cameras and the UAV's onboard computer and ground control software for reliable and real-time data transmission. (2) Monitoring power consumption to the payload (3) Verify payload functions such as camera control, image capture, and data storage
2.1	C3	Datalink 1	(1) Validate Short range hardware at stock settings. (2) Monitor telemetry link quality over planned UAS operations area.
2.2		Datalink 2	(1) Validate long range hardware at stock settings. (2) Monitor telemetry link quality over planned UAS operations area.
2.3		Datalink 3	(1) validation the LTE hardware and network data over planned operational area. (2) Monitor Link quality and average link loss duration over planned UAS operation area.
2.4		Control link 1	(1) Validate Short range pilot manual control link (2) Monitor RSSI quality over planned UAS operations area.
2.5		Control link 2	(1) Validate Long range pilot manual control link (2) Monitor RSSI quality over planned UAS operations area.
2.6		Video link 1	(1) Validate analog video feed from UAS to ground side video receiver (antennas/output power/frequency management)
2.7		Video link 2	(1) Validate digital video feed from UAS to ground side video receiver.
2.8		Redundant Datalink management	(1) Validate Ground control system link switching feature based on best available link.

Fortsättning på nästa sida

Tabell D.1 – *Fortsättning från förra sidan*

ID	Test Type	Test Description	Test Objectives
2.9		Interference management	(1) Identify interference from all control and Data links
3.1	Maneuvering	Launch/Runway takeoff/Vertical takeoff	(1) Evaluate the requirements of the hand launch, including the angle and force required for a successful launch (2) Verify transition behavior between hover and forward flight modes.
3.2		Low and high speed taxi test	(1) Validation of hardware integration within the UAS (2) Validation of power system distribution (3) Identify issues to fix before airborne tests (4) tuning of ground steering controller
3.3		Taxi, takeoff, base pattern and land in Pilot assisted mode (FBWA)	(1) Evaluate UAV's attitude limits
3.4		Aerodynamic performance assessment	(1) Assess the airframe stall characteristics and recovery behavior. (2) Assess response in roll, pitch, and yaw, as well as responsiveness to control inputs
3.5		Modification of controller gains	(1) Manual and script based controller tuning during flight tests to improve flight performance
4.1	Automation	Autopilot Mode validation	(1) Confirm that the flight control software can transition between different flight modes (FBWA; Manual; RTL; Auto)
4.2		Vibration testing	(1) Monitor accelerometer readings to identify issues with software filtering, hardware mounting
4.3		Loiter at POI, waypoint navigation	(1) Generate waypoints using the flight controller's software or user interface (2) Ability of the system to navigate autonomously along the defined waypoint path (3) Confirm the system's ability to control altitude and speed while navigating waypoints
4.4		Auto flap deployment during low airspeed	(1) Evaluate the deployment and control of flaps
4.5		Waypoint navigation with conditions	(1) Generate waypoints using the flight controller's software or user interface for multiple missions (loop missions)

Fortsättning på nästa sida

Tabell D.1 – *Fortsättning från förra sidan*

ID	Test Type	Test Description	Test Objectives
4.6		Automatic landing	(1) Test the system’s response to aborting the landing and initiating a go-around if necessary (2) Evaluate the pilot’s ability to provide input and control during the landing phase as needed (3) Confirm that the aircraft maintains the desired descent profile for a safe landing
5.1	Safety	Fail-safe mechanisms functionality verification	(1) Verify that the geofencing system effectively restricts the UAS from entering predefined no-fly zones or prohibited areas.
5.2		Geofencing and no-fly zone enforcement testing	(1) Test the accuracy and responsiveness of geofence enforcement (2) Validate the system’s ability to issue warnings and initiate corrective actions when the geofence is breached (3) Ensure that the UAS adheres to specified altitude and airspeed limitations for safe operation (4) Confirm that the UAS exhibits appropriate behavior in different fail-safe modes, such as RTL (Return to Launch), loiter, or circle, in the event of unexpected situations
6.1	GCS	Ground control station (GCS) software checks	(1) Verify the ability to override autonomous actions via user interface inputs
6.2		Telemetry and data link testing	(1) Monitor UAS link status and network on the ground station during flight operations
6.3		User interface and monitoring system testing	(1) Confirm that mission data, sensor data, and flight logs are recorded and accessible
7.1		Battery performance and capacity assessment	(1) Ensure proper battery management and handling of low battery situations (2) Calibration and ground tests of current sensors
7.2		Power distribution system checks	(1) Measurement of current consumption to ensure it can be used for monitoring and managing the power system’s load
7.3		Redundancy and backup power source testing	(1) Ground tests of redundancy features during the failure of separate power supplies

Bilaga E

Utsläppsberäkningar för UAS inom SAR

Användningen av UAS är positiv ur ett miljöperspektiv eftersom det finns stora vinster i både bränslebesparingar och minskade utsläpp. Effektivitet i detta sammanhang avser hur effektivt energin används för att upprätthålla flygningen genom att jämföra två luftfartyg av olika storlekar. Om både UAS och SAR-helikoptern använder samma mängd energi och UAS uppnår en längre flygtid, då tyder det på att UAS använder energin mer effektivt för att förbli i luften enligt beräkningarna, se tabell [E.1](#). I denna jämförelse har en VTOL UAS av typen AYK 250 använts, för specifikationer se tabell [5.4](#).

Uttalandena baseras också på följande antaganden:

1. Utsläppen från SAR-helikoptern överstiger den miljömässiga påverkan av batteriproduktion/avfallshantering för VTOL UAS.
2. Påverkan av luftmotstånd på bränsleeffektivitet är högre för helikoptern jämfört med VTOL UAS på grund av plattformens aerodynamik. Flygplan med fast vinge har lägre luftmotstånd jämfört med helikoptrar.
3. Energitätheten hos bränsle är högre för ett bränsle drivet system jämfört med energitätheten hos det eldrivna systemet.

Tabell E.1: Energiberäkning och jämförelse mellan helikopter och VTOL.

Parametrar för SAR-helikopter	
Bränsleförbrukning (volym), helikopter ¹	550 L/h
Bränsleförbrukning (massa), helikopter	445 kg/h
Densitetsspann, Jet A1 ²	0,775–0,844 kg/L
Antagen densitet, Jet A1 (beräkningar)	0,81 kg/L
Värmevärde, Jet A1	43,1 MJ/kg
Parametrar för VTOL UAS	
Tillgänglig energi per flygning VTOL ¹	1,11 kWh
Energiomvandling	1 kWh=3,6 MJ
Tillgänglig energi per flygning VTOL	4,0 MJ
Hur länge kan helikoptern flyga på 1,11 kWh bränsle?	
Massa Jet A1 motsvarande 1,11 kWh	0,093 kg
Helikoptertid i luften motsvarande 1,11 kWh	0,75 s

¹ Utsläppsberäkningar för UAS i SAR, 21-04777-50, Sjöfartsverket, 2023-12-21

² https://www.neste.fi/static/ktt/10505_swe.pdf

Bilaga F

Komplettering av nuläge- och omvärldsanalys

Följande bilaga kan, efter sekretessprövning, begäras ut hos Sjöfartsverket; Komplettering av nuläge- och omvärldsanalys [\[94\]](#).

Bilaga G

Förmågekrav för obemannade luftfartyg

Följande bilaga kan, efter sekretessprövning, begäras ut hos Sjöfartsverket; Förmågekrav för obemannade luftfartyg [\[93\]](#).

Bilaga H

Sammanfattning av tester i luftnät

Följande bilaga kan, efter sekretessprövning, begäras ut hos Sjöfartsverket; Sammanfattning av tester i luftnät [\[96\]](#).

Litteratur

- [1] URL: <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20160009136/downloads/20160009136.pdf> (hämtad 2023-11-29).
- [2] URL: <https://ardupilot.org/> (hämtad 2023-11-24).
- [3] URL: <https://mavlink.io/en/> (hämtad 2023-12-13).
- [4] URL: <https://px4.io/> (hämtad 2023-11-24).
- [5] URL: <https://ardupilot.org/planner/docs/mission-planner-ground-control-station.html> (hämtad 2023-12-13).
- [6] URL: <https://ardupilot.org/dev/docs/sitl-simulator-software-in-the-loop.html> (hämtad 2023-11-29).
- [7] URL: <https://www.flightradar24.com/> (hämtad 2023-12-13).
- [8] Telmo Adão m. fl. "Hyperspectral Imaging: A Review on UAV-Based Sensors, Data Processing and Applications for Agriculture and Forestry". I: *Remote Sensing* 2017 (okt. 2017), s. 1110. DOI: [10.3390/rs9111110](https://doi.org/10.3390/rs9111110).
- [9] Albihn, Joakim. *Human Factors in Aerial Drone Operations*. Student Paper. 2022.
- [10] Anthony A. Tarr, Julie-Anne Tarr, Maurice Thompson, Jeffrey Ellis. *Drone Law and Policy*. Routledge, 2021. ISBN: 9781032050270.
- [11] ArduPilot Dev Team. *Mission Planner Overview*. URL: <https://ardupilot.org/planner/docs/mission-planner-overview.html> (hämtad 2023-05-23).
- [12] Vijay Badrinarayanan, Alex Kendall och Roberto Cipolla. "SegNet: A deep convolutional encoder-decoder architecture for image segmentation". I: *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence* 39.12 (2017), s. 2481–2495.
- [13] Mohammadamin Barekatain m. fl. "Okutama-Action: An Aerial View Video Dataset for Concurrent Human Action Detection". I: *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*. 2017.
- [14] Benjamyn I. Scott. *Law of Unmanned Aircraft Systems*. Kluwer Law International, 2022. ISBN: 9789403545738.
- [15] Alex Bewley m. fl. "Simple online and realtime tracking". I: *2016 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*. IEEE, 2016. DOI: [10.1109/icip.2016.7533003](https://doi.org/10.1109/icip.2016.7533003).
- [16] Dunja Božić-Štulić, Željko Marušić och Sven Gotovac. "Deep learning approach in aerial imagery for supporting land search and rescue missions". I: *International Journal of Computer Vision* 127.9 (2019), s. 1256–1278.
- [17] Alan Bryman. *Samhällsvetenskapliga metoder*. Liber AB, 2011.

- [18] Donato Cafarelli m. fl. "MOBDrone: a Drone Video Dataset for Man OverBoard Rescue". I: *Image Analysis and Processing – ICIAP 2022*. Cham: Springer International Publishing, 2022, s. 633–644.
- [19] *Canadian Coast Guard Auxiliary Search and Rescue Crew Manual*. 2011. URL: https://ccga-gcac.ca/files/library/SAR_CREW_MANUAL_-_ENGLISH_2011.pdf (hämtad 2022-09-27).
- [20] Liang-Chieh Chen m. fl. "DeepLab: Semantic image segmentation with deep convolutional nets, atrous convolution, and fully connected CRFs". I: *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence* 40.4 (2017), s. 834–848.
- [21] Liang-Chieh Chen m. fl. "Encoder-decoder with atrous separable convolution for semantic image segmentation". I: *Proceedings of the European conference on computer vision (ECCV)*. 2018, s. 801–818.
- [22] Bowen Cheng m. fl. "Masked-attention mask transformer for universal image segmentation". I: *Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition*. 2022, s. 1290–1299.
- [23] Drone Center Sweden. *Test your limits, Drone Center Sweden*. URL: <http://www.dronecentersweden.se/> (hämtad 2023-03-15).
- [24] EASA. *FAQ n.70137, What is the opt-in for state operations/ aircraft? What is the opt-in for military aircraft?* URL: <https://www.easa.europa.eu/en/faq/70137> (hämtad 2023-06-15).
- [25] EASA. *Predefined Risk Assessment (PDRA)*. URL: <https://www.easa.europa.eu/en/domains/civil-drones-rpas/specific-category-civil-drones/predefined-risk-assessment-pdra> (hämtad 2020-10-10).
- [26] Ekonomistyrningsverket. *Regleringsbrev för budgetåret 2023 avseende Myndigheten för samhällsskydd och beredskap*. URL: <https://www.esv.se/statsliggaren/regleringsbrev/?RBID=23639> (hämtad 2023-02-02).
- [27] M. R. Endsley. *Designing for Situation Awareness: An Approach to User-Centered Design*. 2nd. CRC Press, 2004.
- [28] EUROCONTROL. *Safety Culture*. URL: <https://skybrary.aero/articles/safety-culture> (hämtad 2023-03-11).
- [29] EUROCONTROL. *Stress and Stress Management*. URL: <https://skybrary.aero/articles/stress-and-stress-management-oghfa-bn> (hämtad 2023-06-07).
- [30] European Maritime Safety Agency. *EMSA sniffer drone monitoring sulphur and nitrogen emissions from ships operating in the Channel*. URL: <https://www.emsa.europa.eu/newsroom/press-releases/item/4740-emsa-sniffer-drone-monitoring-sulphur-and-nitrogen-emissions-from-ships-operating-in-the-channel.html> (hämtad 2022-05-25).
- [31] P. G. Fahlstrom och T. J. Gleason. *Introduction to UAV Systems (4th ed.)* Wiley Global Research (STMS), 2012. ISBN: 9781119978664.
- [32] P. G. Fahlstrom, T. J. Gleason och M. H. Sadraey. *Introduction to UAV Systems (5th ed.)* Wiley Global Research (STMS), 2022. ISBN: 9781119802624.
- [33] Reda Fekry m. fl. "Ground-based/UAV-LiDAR data fusion for quantitative structure modeling and tree parameter retrieval in subtropical planted forest". I: *Forest Ecosystems* 9 (2022), s. 100065. ISSN: 2197-5620. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fecs.2022.100065>.

- [34] T.R. Fell m. fl. "Sensitivity study of a small maritime rotary UAS operating in a turbulent airwake". I: *Annual Forum Proceedings - AHS International 3* (jan. 2015), s. 1989–1997.
- [35] Ross Girshick. "Fast R-CNN". I: *2015 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*. 2015, s. 1440–1448. DOI: [10.1109/ICCV.2015.169](https://doi.org/10.1109/ICCV.2015.169).
- [36] Ross Girshick m. fl. "Rich Feature Hierarchies for Accurate Object Detection and Semantic Segmentation". I: *2014 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. 2014, s. 580–587. DOI: [10.1109/CVPR.2014.81](https://doi.org/10.1109/CVPR.2014.81).
- [37] Adhitya Hanif, Xiongze Han och Seung-Hwa Yu. "Independent Control Spraying System for UAV-Based Precise Variable Sprayer: A Review". I: *Drones* 6 (nov. 2022), s. 383. DOI: [10.3390/drones6120383](https://doi.org/10.3390/drones6120383).
- [38] Donald Harris. *Human Performance on the Flight Deck*. Jan. 2011. ISBN: 978-1-4094-2338-6.
- [39] Andersson Helena m. fl. "Gapanalys". I: *Myndigheten för samhällsskydd och beredskap. Ramverket för informationssäkerhet* (2011).
- [40] Ye Hong, Jiancheng Fang och Ye Tao. "Ground Control Station Development for Autonomous UAV". I: *Intelligent Robotics and Applications*. Utg. av Caihua Xiong m. fl. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2008, s. 36–44. ISBN: 978-3-540-88518-4.
- [41] International Electrotechnical Commission. *IP ratings*. URL: <https://www.iec.ch/ip-ratings> (hämtad 2023-08-11).
- [42] International maritime organization. *Summary of SOLAS chapter III*. URL: <https://www.imo.org/en/OurWork/Safety/Pages/SummaryOfSOLASchapter-3-default.aspx> (hämtad 2023-10-15).
- [43] International Maritime Organization (IMO). *IAMSAR Manual*. URL: <https://www.imo.org/en/OurWork/Safety/Pages/IAMSARManual.aspx> (hämtad 2023-09-28).
- [44] Glenn Jocher, Ayush Chaurasia och Jing Qiu. *YOLO by Ultralytics*. 2023. URL: <https://github.com/ultralytics/ultralytics>.
- [45] Joel, Sköld. *Drönare i kommunal verksamhet*. Sveriges kommuner och Regioner, 2021. ISBN: 978-91-7585-994-1.
- [46] Johan Eldh. *UAS som nationell resurs - En studie av UAS-teknik, dess användning i svenska myndigheter och möjligheter till samverkan*. URL: <https://lup.lub.lu.se/student-papers/search/publication/9096055> (hämtad 2022-07-12).
- [47] Alexander Kirillov m. fl. "Segment anything". I: *arXiv preprint* (2023). arXiv: [2304.02643 \[cs.CV\]](https://arxiv.org/abs/2304.02643).
- [48] Lantmäteriet. *Information om föreskrifter kopplade till ny lag och förordning om skydd för geografisk information*. URL: <https://www.lantmateriet.se/contentassets/a9d79937be40471c9f88667eed46e234/info-om-ny-lag-och-foreskrifter.pdf> (hämtad 2018-06-18).
- [49] Tsung-Yi Lin m. fl. "Microsoft COCO: Common objects in context". I: *Computer Vision–ECCV 2014: 13th European Conference, Zurich, Switzerland, September 6–12, 2014, Proceedings, Part V 13*. Springer. 2014, s. 740–755.
- [50] Shilong Liu m. fl. "Grounding DINO: Marrying DINO with grounded pre-training for open-set object detection". I: *arXiv preprint* (2023). arXiv: [2303.05499 \[cs.CV\]](https://arxiv.org/abs/2303.05499).

- [51] Jonathan Long, Evan Shelhamer och Trevor Darrell. "Fully convolutional networks for semantic segmentation". I: *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*. 2015, s. 3431–3440.
- [52] Tambiana Madiega. *EP Briefing on Artificial intelligence act, PE698.792*. EPRS | European Parliamentary Research Service, 2023.
- [53] Christopher D. Manning, Prabhakar Raghavan och Hinrich Schütze. *Introduction to Information Retrieval*. Cambridge University Press, 2008.
- [54] Giulia Masi m. fl. "Stress and Workload Assessment in Aviation: A Narrative Review". I: *Sensors* 23.7 (2023). ISSN: 1424-8220. DOI: [10.3390/s23073556](https://doi.org/10.3390/s23073556).
- [55] Maud Olofsson & Regeringen - Fredrik Reinfeldt. *Mål för framtidens resor och transporter, Sjöfartsverket 2019; Prop. 2008/09:93*. URL: <https://www.regeringen.se/contentassets/80dd7d80fc64401ca08b176a475393c5/mal-for-framtidens-resor-och-transporter-prop.-20080993> (hämtad 2023-03-12).
- [56] William McNally m. fl. "Rethinking Keypoint Representations: Modeling Keypoints and Poses as Objects for Multi-Person Human Pose Estimation". I: *arXiv preprint* (2021). arXiv: [2111.08557](https://arxiv.org/abs/2111.08557) [cs.CV].
- [57] Ninareh Mehrabi m. fl. "A Survey on Bias and Fairness in Machine Learning". I: *ACM Comput. Surv.* 54.6 (juli 2021). ISSN: 0360-0300. DOI: [10.1145/3457607](https://doi.org/10.1145/3457607).
- [58] Mikael Wikh, SAR systemledning, Sjö- och flygräddningen, Sjöfartsverket. *Sjö- och flygräddningstjänst, exempelolyckor och scenarier*. Dnr 21-04777-47. 2022.
- [59] MSB, FOI, Tomas Melin. *Obemannade luftfartyg i kommunal räddningstjänst*. 2020. URL: <https://rib.msb.se/filer/pdf/29465.pdf> (hämtad 2022-11-30).
- [60] MSB, Peter Svenmarck, Maria Wikström, Erik Zouave, Mikael Krona. *Artificiell intelligens för obemannade luftfartyg vid samhällsstörningar Tillämpningar och sårbarheter*. 2022. URL: <https://rib.msb.se/filer/pdf/29230.pdf> (hämtad 2022-11-07).
- [61] Myndighet för samhällsskydd och beredskap. *Anslag 2:4 Krisberedskap Uppföljning 2021 Redovisning av uppdrag i MSB:s regleringsbrev för 2022*. URL: <https://www.msb.se/contentassets/30debf164151469c8bd2928087a72f65/uppfoljningsrapport-2021-anslag-2-4-.pdf> (hämtad 2022-04).
- [62] Myndighet för samhällsskydd och beredskap. *Obemannade luftfartyg i kommunal räddningstjänst : vägledning 2.0*. URL: <https://www.msb.se/sv/publikationer/obemannade-luftfartyg-i-kommunal-raddningstjanst--vagledning-2.0/> (hämtad 2021-01-12).
- [63] National Aeronautics and Space Administration. *What is Lift?* URL: <https://www1.grc.nasa.gov/beginners-guide-to-aeronautics/what-is-lift/> (hämtad 2023-03-12).
- [64] Sangmin Oh m. fl. "A Large-scale Benchmark Dataset for Event Recognition in Surveillance Video". I: *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*. 2011.
- [65] Fabian Pedregosa m. fl. "Scikit-learn: Machine Learning in Python". I: *Journal of Machine Learning Research (JMLR)* 12.85 (2011), s. 2825–2830.
- [66] Artikel 29-Arbeitsgruppen för skydd av personuppgifter. *WP 248 rev. 01 - Riktlinjer om konsekvensbedömning avseende dataskydd och fastställande av huruvida behandlingen "sannolikt leder till en hög risk" i den mening som avses i förordning 2016/679*. EU, 2017.

- [67] Pilot Institute. *Why Do Aircraft Crash? Aviation Accident Statistics Revealed*. URL: <https://pilotinstitute.com/aviation-accident-causes/> (hämtad 2023-02-26).
- [68] Post- och telestyrelsen. *Ansökan om radiofrekvens*. URL: <https://www.pts.se/radiotillstand> (hämtad 2023-11-29).
- [69] Shawn Pruchnicki, Kylie Key och Arjun H. Rao. *Problem Solving/Decision Making and Procedures for Unexpected Events: A Literature Review*. Technical Report DOT/FAA/AM-20/01. United States. Department of Transportation. Federal Aviation Administration. Office of Aviation. Civil Aerospace Medical Institute, Ohio State University och Texas A & M University, 2019.
- [70] Alec Radford m. fl. "Learning Transferable Visual Models From Natural Language Supervision". I: *Proceedings of the 38th International Conference on Machine Learning*. Vol. 139. Proceedings of Machine Learning Research. PMLR, juli 2021, s. 8748–8763.
- [71] Joseph Redmon m. fl. "You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection". I: *2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*. 2016, s. 779–788. DOI: [10.1109/CVPR.2016.91](https://doi.org/10.1109/CVPR.2016.91).
- [72] Shaoqing Ren m. fl. "Faster R-CNN: Towards Real-Time Object Detection with Region Proposal Networks". I: *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 39.6 (2017), s. 1137–1149. DOI: [10.1109/TPAMI.2016.2577031](https://doi.org/10.1109/TPAMI.2016.2577031).
- [73] Henry R. Richardson och Lawrence D. Stone. "Operations analysis during the underwater search for Scorpions". I: *Naval Research Logistics Quarterly* 18.2 (1971), s. 141–157. DOI: <https://doi.org/10.1002/nav.3800180202>.
- [74] A. Robicquet m. fl. "Learning Social Etiquette: Human Trajectory Prediction In Crowded Scenes". I: *Proceedings of the European Conference on Computer Vision (ECCV)*. 2016.
- [75] Yohan Robinson (red.) m. fl. *AI och framtidens försvarsmedicin*. FOI-R-504-SE. Nov. 2020.
- [76] Roger Landelius, Västerviks kommun Enheten för räddningstjänst och samhällsskydd. *Nuläge kommunal räddningstjänst*. Drn 21-04777. 2023.
- [77] SAE International. *Guidelines for Development of Civil Aircraft and Systems*. URL: <http://www.sae.org/standards/content/arp4754a/> (hämtad 2022-04-13).
- [78] Sasa Sambolek och Marina Ivasic-Kos. "Search and Rescue Image Dataset for Person Detection – SARD". I: *IEEE Dataport*, 2021. DOI: [10.21227/ahxm-k331](https://doi.org/10.21227/ahxm-k331).
- [79] SCB. *Flest är finns i Norrbotten*. URL: <http://www.scb.se/hitta-statistik/statistik-efter-amne/miljo/markanvandning/strandnara-markanvandning/pong/statistiknyhet/kust-strander-och-oar-2013/> (hämtad 2023-09-30).
- [80] William Schutz. *FIRO: A three-dimensional theory of interpersonal behavior*. Jan. 1958.
- [81] Sjö- och flygräddning, Göteborg, Sjöfartsverket. *Förstudie EOS*. Dnr 19-01014-2. 2020.
- [82] Sjöfartsverket. *Den svenska sjö- och flygräddningen - en samverkansorganisation*. URL: <https://www.sjofartsverket.se/sv/sjo--och-flygraddning/samverkan-och-administration/> (hämtad 2023-09-28).
- [83] Sjöfartsverket. *Målsättning*. URL: <https://www.sjofartsverket.se/sv/sjo--och-flygraddning/uppdrag-och-verksamhet/malsatning/> (hämtad 2023-09-28).
- [84] Sjöfartsverket. *Resurser för sjö- och flygräddning*. URL: <https://www.sjofartsverket.se/sv/sjo--och-flygraddning/uppdrag-och-verksamhet/resurser-for-sjo--och-flygraddning/> (hämtad 2023-04-06).

- [85] Sjöfartsverket. *Uppdrag och verksamhet, Sjö- och flygräddning*. URL: <https://www.sjofartsverket.se/sv/sjo--och-flygraddning/uppdrag-och-verksamhet/> (hämtad 2023-10-16).
- [86] Sjöfartsverket. *Årsstatistik för sjö- och flygräddningstjänst 2021*. URL: https://www.sjofartsverket.se/globalassets/sjo--och-flygraddning/statistik-tidigare-ar/raddningsaret_2021.pdf (hämtad 2023-10-11).
- [87] Sjöfartsverket. *Årsstatistik för sjö- och flygräddningstjänst 2022*. URL: <https://www.sjofartsverket.se/globalassets/sjo--och-flygraddning/verksamhetsuppfoljning/raddningsaret-2022-staende.pdf> (hämtad 2023-10-11).
- [88] Sjöfartsverket. *SAR 2.0 Framtidens sjö- och flygräddning*. 18-03730-7. 2019.
- [89] Sjöfartsverket. *Projektspecifikation SAR UAS – Samverkan för förbättrad SAR genom UAS och AI*. Dnr 21-04777-10. 2021.
- [90] Sjöfartsverket. *Intervju med JRCC*. Sjö- och flygräddningscentralen, Göteborg, Dnr 23-05736-4. 28 sept. 2022.
- [91] Sjöfartsverket. *Svenskt program för sjö- och flygräddningstjänst*. Dnr 22-00060. 2022.
- [92] Sjöfartsverket. *Beräkningar av miljöeffekter*. Dnr 23-05736-9. 2023.
- [93] Sjöfartsverket. *Förmågekrav för obemannade luftfartyg*. Bilaga om förmågekrav för obemannade luftfartyg_OSL 18_8 – Dnr 23-05736-7. 2023.
- [94] Sjöfartsverket. *Komplettering av nuläge- och omvärldsanalys*. Dnr 23-05736-8. 2023.
- [95] Sjöfartsverket. *Redovisning av regeringsuppdrag klimatanpassning*. <https://www.sjofartsverket.se/globalassets/rapporter-och-remissvar/rapporter-och-remissvar-2018/18-01896.pdf>. Dnr 18-01896. 2023.
- [96] Sjöfartsverket. *Sammanfattning av tester i luftnät*. Dnr 23-05736-11. 2023.
- [97] Sjöfartsverket. *Workshop med SAR systemledning för att ta fram potentiell förmåga*. Sjö- och flygräddningen i Mölndal, Dnr 23-05736-6. 30 jan. 2023.
- [98] Sjöfartsverket & Transportstyrelsen. *Sjöfartsverkets och Transportstyrelsens rekommendationer vid projektering och etablering av havsbaserad vindkraft*. <https://www.sjofartsverket.se/globalassets/om-sjofartsverket/havsbaserad-vindkraft/sjofartsverkets-och-transportstyrelsens-rekommendationer-vid-projektering-och-etablering-av-havsbaserad-vindkraft-v.-1.0.pdf>. Dnr 23-03702. 2023.
- [99] Sjöfartsverket, Louise Larsson. *Rapportering av Sjöfartsverkets klimatanpassningsarbete 2022, Dnr 22-05267*. Dnr 22-05267-4. 2023.
- [100] Sjöfartsverket, SAR. *Workshop med SAR-aktörer för att fastställa potentiell förmåga*. Dnr 23-05736-5, Norrköping 2023-04-05. 2023.
- [101] SMHI. *Varför klimatanpassa?* URL: <http://www.klimatanpassning.se/klimatanpassa/inspiration> (hämtad 2023-05-12).
- [102] SSRS. *Sjöräddningssällskapet drönare*. URL: <https://www.sjoraddning.se/forskning-och-utveckling/dronare> (hämtad 2022-11-07).
- [103] Lawrence D. Stone m. fl. "Search for the Wreckage of Air France Flight AF 447". I: *Statistical Science* 29.1 (2014). Publisher: Institute of Mathematical Statistics, s. 69–80. DOI: [10.1214/13-STS420](https://doi.org/10.1214/13-STS420).
- [104] Sveriges kommuner och regioner. *Drönare i kommunal verksamhet, Kapitel 5 – Juridiska perspektiv*. 2021. URL: <https://skr.se/download/18.535996f717ee3b80ec93de91/1645106810189/Dronare-i-kommunal-verksamhet.pdf> (hämtad 2023-10-11).

- [105] Sveriges riksdag. *Förordning (2007:1161) med instruktion för Sjöfartsverket*. URL: http://www.riksdagen.se/sv/dokument-och-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/forordning-20071161-med-instruktion-for_sfs-2007-1161/ (hämtad 2023-10-20).
- [106] Sveriges riksdag. *Luftfartslag (2010:500)*. URL: https://www.riksdagen.se/sv/dokument-och-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/luftfartslag-2010500_sfs-2010-500/ (hämtad 2023-09-30).
- [107] Sveriges riksdag. *Uppdrag och verksamhet, Sjö- och flygräddning*. URL: https://www.riksdagen.se/sv/dokument-och-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/lag-2003778-om-skydd-mot-olyckor_sfs-2003-778// (hämtad 2023-09-30).
- [108] Anam Tahir m. fl. "Swarms of Unmanned Aerial Vehicles — A Survey". I: *Journal of Industrial Information Integration* 16 (2019), s. 100106. ISSN: 2452-414X. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jii.2019.100106>.
- [109] Graz University of Technology. *ICG Drone Dataset*. URL: <http://dronedataset.icg.tugraz.at> (hämtad 2023-09-18).
- [110] Emelie Persson Tingström m. fl. *Drönare på isbrytare – i klimatets tjänst*. Dnr 21-05072. 2023.
- [111] Ashleigh Townsend m. fl. "A comprehensive review of energy sources for unmanned aerial vehicles, their shortfalls and opportunities for improvements". I: *Heliyon* 6 (nov. 2020). DOI: [10.1016/j.heliyon.2020.e05285](https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05285).
- [112] Trafikanalys, Mattias Viklund. *Uppföljning av de transportpolitiska målen 2020, 2020:05; Prop. 2008/09:93*. URL: https://www.trafa.se/globalassets/rapporter/2020/rapport-2020_5-uppfoljning-av-de-transportpolitiska-malen-2020.pdf (hämtad 2023-09-15).
- [113] Transportstyrelsen. *Säkerhetsöversikt luftfart 2022*. s.28. URL: <https://www.transportstyrelsen.se/globalassets/global/publikationer-och-rapporter/luftfart/sakerhetsoversikt-luftfart-2022.pdf> (hämtad 2023-06-13).
- [114] Transportstyrelsen. *Tillstånd för drönare*. URL: <https://transportstyrelsen.se/tillstand-for-dronare> (hämtad 2023-10-17).
- [115] Transportstyrelsen. *Transportstyrelsens föreskrifter om obemannade luftfartyg (UAS)*. URL: https://www.transportstyrelsen.se/tsfs/TSFS_2009_88.pdf (hämtad 2009-11-05).
- [116] Transportstyrelsen. *Obemannade luftfartyg i Sverige - Dnr TSG 2019-4372*. Juni 2019.
- [117] Transportstyrelsen. *Drönare - utbildningsmaterial A2*. Jan. 2023.
- [118] Leon Amadeus Varga m. fl. "SeaDronesSee: A Maritime Benchmark for Detecting Humans in Open Water". I: *Proceedings of the IEEE/CVF Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV)*. 2022.
- [119] Vinnova. *Klimatsmart Isrekognosering med Drönare - KID*. URL: <https://www.vinnova.se/p/klimatsmart-isrekognosering-med-dronare---kid/> (hämtad 2022-05-11).
- [120] Chien-Yao Wang, Alexey Bochkovskiy och Hong-Yuan Mark Liao. "YOLOv7: Trainable bag-of-freebies sets new state-of-the-art for real-time object detectors". I: *arXiv preprint* (2022). arXiv: [2207.02696 \[cs.CV\]](https://arxiv.org/abs/2207.02696).
- [121] WASP Wallenberg AI. *Wallenberg AI, Autonomous Systems and Software Program*. URL: <https://wasp-sweden.org> (hämtad 2023-09-30).

- [122] Enze Xie m. fl. "SegFormer: Simple and efficient design for semantic segmentation with transformers". I: *Advances in Neural Information Processing Systems* 34 (2021), s. 12077–12090.
- [123] Wang Yanfei m. fl. "Technology and Applications of UAV Synthetic Aperture Radar System". I: *Journal of Radars* 5.R16089 (2016), s. 333. ISSN: ISSN 2095-283X (Print). DOI: [10.12000/JR16089](https://doi.org/10.12000/JR16089).
- [124] Larry Young, Jeffrey Yetter och Mark Guynn. "System Analysis Applied to Autonomy: Application to High- Altitude Long-Endurance Remotely Operated Aircraft". I: (sept. 2005). DOI: [10.2514/6.2005-7103](https://doi.org/10.2514/6.2005-7103).
- [125] Hongshan Yu m. fl. "Methods and datasets on semantic segmentation: A review". I: *Neurocomputing* 304 (2018), s. 82–103.
- [126] Hengshuang Zhao m. fl. "Pyramid scene parsing network". I: *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*. 2017, s. 2881–2890.
- [127] Xingyi Zhou m. fl. "Detecting Twenty-thousand Classes using Image-level Supervision". I: *arXiv preprint* (2022). arXiv: [2201.02605 \[cs.CV\]](https://arxiv.org/abs/2201.02605).
- [128] Pengfei Zhu m. fl. "Detection and Tracking Meet Drones Challenge". I: *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 44.11 (2021), s. 7380–7399.