



# Autonom CASEVAC

## Årsrapport 2022

JOUNI RANTAKOKKO, VIKTOR RASK, CARL BRÄNNLUND,  
GUSTAV TOLT, MARIANELA GARCÍA LOZANO,  
KATIE ASPLUND COHEN, JOHAN KARLSSON,  
LINA THORS, PETER ANDERSSON

Jouni Rantakokko, Viktor Rask, Carl Brännlund,  
Gustav Tolt, Marianela García Lozano, Katie  
Asplund Cohen, Johan Karlsson, Lina Thors,  
Peter Andersson

# Autonom CASEVAC

Årsrapport 2022

Titel	Autonom CASEVAC – Årsrapport 2022
Title	Autonomous CASEVAC – Annual report 2022
Rapportnr/Report no	FOI-R--5390--SE
Månad/Month	December
Utgivningsår/Year	2022
Antal sidor/Pages	39
ISSN	1650-1942
Uppdragsgivare/Client	Försvarsmakten
Forskningsområde	Övrigt
FoT-område	Försvarsrelaterad medicin
Projektnr/Project no	E716600
Godkänd av/Approved by	Christian Jönsson
Ansvarig avdelning	Ledningssystem

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

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

## Sammanfattning

Strävan efter en högkvalitativ vård utgör grunden för verksamheten i Försvarmaktens sjukvårdskoncept. Där ingår även möjligheten att övergå till ett effektivt högflödes-system, med användandet av katastrofmedicinska behandlingsprinciper, som kan hantera ett stort antal skadade på bästa sätt givet de begränsade resurser som finns tillgängliga. Vid masskadescenarion förväntas sjuktransportbehoven öka kraftigt och obemannade logistikfarkoster har potential att i framtiden snabbt öka sjuktransportkapaciteten.

Rapporten sammanfattar det arbete som genomförts under 2022 i projektet *Autonom CASECAV*. Ett autonomt triagestöd på skadeplatsen bedöms utgöra ett värdefullt komplement till obemannade sjuktransporter vid framför allt masskadescenarion där de medicinska resurserna är begränsade. Möjligheterna att automatiskt estimeras andningsfrekvens har därför utvärderats med visuell, termisk och djupmätande kamera, samt med UWB-radar. De använda sensorerna är komplementära till sin natur och mäter olika fysikaliska fenomen, såsom termisk signatur vid näsan och rörelser på överkropp som uppkommer vid andning. Fokus har varit att använda enkla sensorer som kan finnas även på små obemannade farkoster.

De genomförda utvärderingarna indikerar att automatiserad estimering av andningsfrekvens är möjlig, även för soldater som är utrustade med kroppsskydd. Resultaten är lovande och motiverar fortsatt forskning och utveckling av kontaktlös estimering av vitalparametrar på skadeplats som en del av ett framtida autonomt triagestöd. Denna initiala studie behöver dock valideras genom mer omfattande och varierade försök för att kvantifiera prestanda med fler försökspersoner och under svårare förutsättningar.

Nyckelord: Obemannad, autonom, UGV, UAV, anpassad körprofil, vitalparametrar, andningsfrekvens, kamera, visuell, termisk, djupmätande, UWB, kroppsskydd

## Summary

The strive for high quality care forms the basis of the medical system in the Swedish Armed Forces; however, in mass casualty scenarios there is also a need for a high-throughput medical care system. This will be based on disaster medicine care principles, which governs that the large number of casualties are taken care of in the best possible way considering the limited medical and evacuation resources that are available. There is a need for an increased casualty evacuation capacity in mass casualty scenarios. Unmanned logistics vehicles have the potential to meet that need in future conflicts, especially when considering casualty evacuation close to the point of injury.

This annual report summarizes the work that has been conducted within the project *Autonomous CASEVAC* during 2022. An autonomous battlefield triage system is considered to be a valuable complement to unmanned casualty evacuation vehicles, particularly in mass casualty scenarios where the medical resources are strictly limited. The possibility to automatically estimate the respiratory rate has therefore been evaluated using visual, thermal and depth sensing cameras, as well as a UWB radar module. The sensors are complimentary in nature and they measure two different physical phenomena, i.e. the thermal signature around the nose and the small upper body movements that occur during breathing. The focus has been on using relatively low-cost, compact sensors that can be available even on small unmanned vehicles.

The evaluations indicate that automatic estimation of respiratory rate is feasible, even on soldiers that are equipped with body armour. The results are promising and motivate continued research and development targeting non-contact estimation of vital parameters of casualties on the point of injury as a step towards a future autonomous triage system. This initial study needs to be validated through extensive and varied evaluations in order to quantify the different methods performance based on larger sets of test subjects and during more challenging conditions.

Keywords: Unmanned, autonomous, UGV, UAV, adaptive driving profile, vital parameters, respiratory rate, camera, visual, thermal, depth, UWB, ballistic armor

## Innehållsförteckning

<b>1</b>	<b>Inledning .....</b>	<b>7</b>
1.1	Projektet Autonom CASEVAC.....	8
1.2	Rapportens syfte och disposition.....	8
1.3	Ordlista.....	9
<b>2</b>	<b>Pågående utvecklingsprojekt .....</b>	<b>11</b>
2.1	Utvecklingen av obemannade farkoster .....	11
2.1.1	UGV:er med modulära nyttolaster .....	11
2.1.2	Optionellt bemannade helikoptrar.....	14
2.1.3	Dedikerade UAV:er avsedda för logistik.....	16
2.1.4	Utvecklingen inom eVTOL .....	17
2.1.5	CityHawk och Cormorant.....	18
2.2	Dedikerade nyttolaster för obemannade sjuktransporter .....	19
2.2.1	EpiShuttle.....	19
<b>3</b>	<b>Mätning av andningsfrekvens .....</b>	<b>21</b>
3.1	Metodbeskrivningar .....	21
3.1.1	Skattning utifrån värmevariationer .....	21
3.1.2	Skattning genom analys av rörelser i video.....	22
3.1.3	Djupmätande stereoskopisk optisk sensor .....	23
3.1.4	Skattning med UWB-sensor .....	23
3.2	Sensorer .....	23
3.2.1	Termisk kamera .....	23
3.2.2	Avståndskamera .....	24
3.2.3	Visuell kamera.....	24
3.2.4	UWB.....	24
3.3	Experiment.....	25
3.3.1	Försök 1 .....	25
3.3.2	Försök 2 .....	28
3.3.3	Försök 3 .....	29
3.4	Slutsatser .....	31
3.4.1	Termisk analys.....	31
3.4.2	Rörelsebaserad analys .....	32
3.4.3	Behov av fortsatt forskning .....	32
<b>4</b>	<b>Övriga aktiviteter .....</b>	<b>33</b>
4.1	Intervjubaserad kunskapsinhämtning.....	33
4.2	Nato HFM-332 .....	33
4.3	NIGHTINGALE.....	34
4.4	European Defence Fund (EDF).....	35
<b>5</b>	<b>Slutsatser .....</b>	<b>37</b>
	<b>Referenser .....</b>	<b>39</b>



# 1 Inledning

Försvarmaktens förmåga till akut omhändertagande av traumaskador och efterföljande sjuktransporter är i nuläget inte dimensionerad för att hantera de stora skadeutfall bland civila och militär personal som kan förväntas vid ett krig mot en högteknologisk motståndare (se exempelvis [1]-[3]).<sup>1</sup> Även erfarenheterna från Rysslands invasion av Ukraina pekar på behovet av en kraftigt utökad sjukvårdstjänst. I Försvarmaktens sjukvårdskoncept utgör strävan efter en högkvalitativ vård grunden för verksamheten. I konceptet ingår även möjligheten att övergå till ett effektivt högflödessystem, med användandet av katastrofmedicinska behandlingsprinciper, som kan hantera ett stort antal skadade på bästa sätt givet de begränsade omhändertagande- och sjuktransportresurserna som finns tillgängliga [1, 3]. Detta bedöms vara nödvändigt för att kunna hantera masskadescenarion och katastrofsituationer där de medicinska resurserna i början av en sjukvårdsinsats kan vara extremt begränsade i förhållande till behoven.

På taktisk nivå ansvarar respektive försvarsgren för att tillhandahålla de nödvändiga sjukvårds- och transportresurserna. Försvarmakten ökar i samband med den pågående tillväxten av exempelvis arméförband samtidigt sin omhändertagande- och sjuktransportförmåga [1]. I Ukraina har även sjukvårdstransporter, medicinsk personal och sjukvårdsinrättningar utsatts för attacker i en betydande omfattning.<sup>2</sup> Detta pekar på ett behov av splitterskyddade sjuktransporter och att även andra åtgärder vidtas för att öka säkerheten vid sjukvårdsinrättningar, inklusive vid fältsjukhus och civila sjukhus.

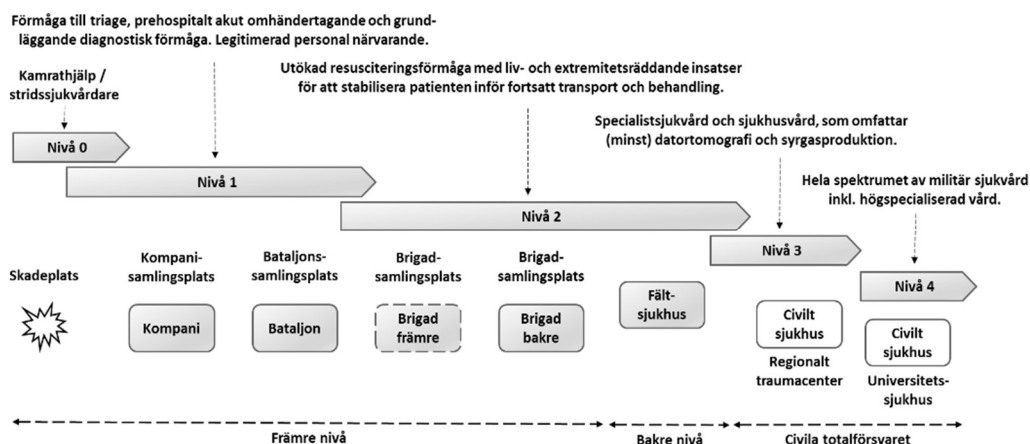
Vid masskadescenarion förväntas sjuktransportbehoven öka kraftigt lokalt. Den medicinska omhändertagandeförmågan är i scenarion där enskilda kompanier lider stora förluster (på grund av exempelvis fjärrbekämpning) begränsad på skadeplatsen och på kompaniernas skadesamlingsplats. Inriktningen för omhändertagandet är att med tillgängliga resurser förbättra möjligheterna för de skadade att överleva transporten till nästa vårdnivå. Även obemannade logistikfarkoster har i dessa situationer potential att utgöra ett viktigt komplement till bemannade sjuktransporter, då alternativet för den skadade kan vara att tvingas vänta en längre tid på exempelvis kompaniets skadeuppsamlingsplats. Obemannade farkoster kan även användas för att genomföra sjuktransporter efter kemiska, biologiska, eller radiologiska attacker eller olyckor. Även i dessa scenarion kan sjuktransporter som genomförs utan möjlighet till medicinsk vård under transporten öka möjligheten att rädda livet på skadade, då alternativet även i detta scenario kan vara att vänta på transport under en längre tid (utan kvalificerat medicinskt omhändertagande).

I figur 1.1 beskrivs omhändertagandepinciperna i Försvarmaktens sjukvårdssystem [1]. Obemannade markfarkoster (Unmanned Ground Vehicles, UGV) kan öka sjuktransportkapaciteten framförallt i anslutning till skadeplats och kompanisamlingsplats medan obemannade flygande farkoster (Unmanned Aerial Vehicles, UAV) med sin högre hastighet (framförallt över svår terräng) kan transportera skadade längre sträckor. I takt med att teknikutvecklingen inom automatiserade vårdssystem och telemedicin framskrider kan på sikt även UGV:er utrustade med möjlighet att (utan medföljande medicinsk personal) ge vård under transport vid stora skadeutfall vara ett alternativ för sjuktransporter även på högre sjukvårdsnivåer.

<sup>1</sup> Det övriga totalförsvarets samlade sjukvårdsresurser har inte heller tillräcklig medicinska resurser och sjuktransportresurser för att, med god uthållighet, kunna hantera en sådan situation [2].

<sup>2</sup> [www.who.int/news/item/03-06-2022-one-hundred-days-of-war-has-put-ukraine-s-health-system-under-severe-pressure](https://www.who.int/news/item/03-06-2022-one-hundred-days-of-war-has-put-ukraine-s-health-system-under-severe-pressure) (besökt 2022-11-11)





Figur 1.1: Principerna för omhändertagandet av skadade inom Försvarsmakten.

## 1.1 Projektet Autonom CASEVAC

Ett av projektets mål är att generera kunskap som möjliggör kravställning och anpassning av obemannade farkoster (såsom logistikfarkoster), för att möjliggöra en säkrare sjuktransport. Sjuktransporter som genomförs med obemannade logistikfarkoster förväntas det närmaste decenniet genomföras utan möjlighet att ge kvalificerad vård under transport (Casualty Evacuation, CASEVAC). Projektet avser även skapa ett kunskapsunderlag som underlättar genomförandet av relativa riskbedömningar inför beslut om sjuktransport med en obemannad farkost. En relativ riskbedömning, som väger riskerna vid en obemannad sjuktransport mot riskerna med att vänta på att en medicinsk sjuktransport blir tillgänglig, bedöms vara viktig att genomföra inför ett beslut om att genomföra en obemannad sjuktransport. Målsättningen är inte att obemannade sjuktransporter ska ersätta dagens medicinska sjuktransporter, där vård administreras även under transport (Medical Evacuation, MEDEVAC), utan att de istället används vid behov för att skala upp sjuktransportförmågan. Obemannade sjuktransporter bör endast genomföras när det bedöms vara gynnsamt för den skadade [1]. Utmaningar med att integrera CASEVAC med obemannade farkoster i framtidens logistiksystem kommer att analyseras inom ramen för projektet. Denna analys påbörjas under 2023.

Ett automatiserat triagestöd på skadeplatsen utgör ett bra komplement till obemannade sjuktransporter vid framför allt masskadescenarion där de medicinska resurserna är begränsade. Projektet har därför under 2022 även utvärderat möjligheterna till automatiserad fjärravläsning av vitalparametrar baserat på enkla sensorer som kan användas även på mindre obemannade farkoster.

Ett förslag till transfer- eller demonstratorprojekt har även tagits fram, kopplat till användningen av obemannade farkoster för att generera lägesbild och som stöd vid triage i anslutning till skadeplatsen samt tekniker för säkrare obemannad sjuktransporter.<sup>3</sup>

## 1.2 Rapportens syfte och disposition

Rapporten utgör en formell leverans inom projektet Autonom CASEVAC. Projektet genomförs inom ramen för FoT-området Försvarsrelaterad medicin, delområde Militär akutsjukvård.<sup>4</sup> Syftet med rapporten är att beskriva det arbete som genomförts i projektet under 2022, som i väsentliga delar bygger vidare på den tidigare genomförda förstudie som avrapporterades 2021 [1].

<sup>3</sup> Jouni Rantakokko, Gustav Tolt, Marianela García Lozano, Obemannade farkoster på skadeplatsen - Förslag till demonstratorprojekt, FOI Memo 7805, februari 2022.

<sup>4</sup> Beställningsnummer AT.9221026 och benämning Autonom CASEVAC FOI.

I kapitel 2 ges en översikt av det senaste årets teknikutveckling inom obemannade farkoster som kan komma att användas vid CASEVAC. Den är huvudsakligen inriktad på utvecklingen av obemannade logistikfarkoster, där enklare nyttolaster har utvecklats för att möjliggöra sjuktransporter, men exempel ges även på utvecklingen av dedikerade obemannade sjuktransportfarkoster. Exempel ges även på utvecklingen av system som ska kunna ge automatiserad vård under transport (en-route care).

Olika sensorer och algoritmer som möjliggör estimering av andningsfrekvens på distans, exempelvis med sensorer som är placerade på UAV eller UGV, beskrivs i kapitel 3. De algoritmer som valts ut för utvärderingar har ursprungligen utvecklats för användning i kontrollerade miljöer och målet med forskningen har varit att utvärdera huruvida de är användbara även i mer realistiska militära scenarion vid robotassisterad triage framför allt på skadeplatsen.

I kapitel 4 beskrivs därefter status för de övriga aktiviteter som genomförs inom projektet men där resultaten kommer att avrapporteras under 2023 eller 2024. Slutligen, i kapitel 5, ges en sammanfattning av rapporten.

### 1.3 Ordlista

De vanligaste förkortningar och begrepp som används i rapporten beskrivs i tabell 1.1.

Tabell 1.1: Vanligt använda förkortningar och begrepp (se även [1, 4]).

Förkortning/ begrepp	Betydelse
Autonom CASEVAC	CASEVAC som genomförs med en autonom farkost.
Autonomt system	Ett autonomt system kan beskrivas som ett avancerat tekniskt system som, helt eller delvis, självständigt (autonomt) kan lösa vissa uppgifter, ofta genom någon form av artificiell intelligens. Ingen väldefinierad gräns finns mellan autonoma och automatiska system. Enklare medicintekniska system som självständigt (automatiskt) utför vissa uppgifter kan även benämnas som s.k. closed-loop system.
CASEVAC	Casualty Evacuation. CASEVAC är en oplanerad eller tillfällig förflyttning av skadade utan användandet av kvalificerade eller därför utsedda medicinska förmågor. CASEVAC är ingen medicinsk förmåga, och ligger utanför det försvarsmedicinska ansvarsområdet. Den ska användas bara om den transporterar den skadade direkt till nästa grupperade sjukvårdsförmåga, innan en medicinsk evakueringsstyrka anländer, om antalet skadade överlastar den medicinska evakueringsförmågan eller om den medicinska evakueringsförmågan ska stå beredd för en högre prioriterad uppgift. För att kunna omhänderta större skadefall kan CASEVAC komma ifråga för samtliga skadade utan behov av kontinuerlig medicinsk behandling. H NOMEN LOG <sup>5</sup> beskriver CASEVAC som "transport av skadad/sjuk med tillfälligt iordningställd resurs".
MEDEVAC	Medical Evacuation. Medicinsk evakuering innebär omhändertagande och transport under fortsatt behandling av skadade och sjuka, från skadeplats till behandlande enhet alternativt mellan behandlande enheter. Behandlingen ska följa moderna behandlingsriktlinjer, och ske ombord på utpekade och röda kors-markerade sjuktransportmedel. I MEDEVAC ingår för uppgiften utbildad och tränad legitimerad hälso- och sjukvårdspersonal med medicinsk utrustning. H NOMEN LOG beskriver MEDEVAC som "transport av skadad/sjuk med medicinsk utrustning och hälso- och sjukvårdspersonal".
Obemannad farkost	Flygande, markgående, ytgående eller undervattensfarkost som framförs utan människor ombord. Obemannade farkoster kan vara fjärrstyrda eller helt eller delvis autonoma.
Obemannad sjuktransport	Sjuktransport som genomförs med en obemannad farkost.
Sjuktransport	All transport av skadad/sjuk. Omfattar bland annat transport av skadad/sjuk med tillfälligt iordningställd resurs (se CASEVAC) samt transport av skadad/sjuk med medicinsk utrustning och hälso- och sjukvårdspersonal (se MEDEVAC).
Triage	Prioritering för akut och fortsatt behandling samt medicinsk evakuering av skadade efter en primär undersökning. Triage är en dynamisk och repetitiv

<sup>5</sup> Handbok Nomenklatur Logistik, H NOMEN LOG, Försvarsmakten, 2020.

	process. H NOMEN LOG anger att triage är en "medicinsk prioritering av skadad/sjuk".
UAV	Unmanned Aerial Vehicle. Obemannad flygande farkost.
UGV	Unmanned Ground Vehicle. Obemannat markgående fordon.
Vitalparametrar	Samlingsbegrepp för mätdata av vitala kroppsfunktioner (såsom kroppstemperatur, puls, blodtryck och andningsfrekvens).
VTOL	Vertical Take-Off and Landing. UAV som kan starta och landa vertikalt.

## 2 Pågående utvecklingsprojekt

I detta kapitel beskrivs det senaste årets tekniska utveckling av obemannade farkoster som i framtiden kan komma att användas för att genomföra CASEVAC. En kort genomgång av utvalda exempel på utvecklingen av dedikerade nyttolaster för sjuktransporter ges även.

### 2.1 Utvecklingen av obemannade farkoster

Nedanstående sammanfattning av pågående internationella utvecklingsprojekt är avsedd att komplettera de beskrivningar som tidigare getts i [1] och [4]. En generell trend är att den internationella utvecklingen rörande obemannade farkoster som anpassas även för att genomföra CASEVAC fokuserar på UAV:er och UGV:er. De exempel på UAV:er som beskrivs har alla förmågan att starta och landa vertikalt (Vertical Take-Off and Landing, VTOL). Detta utgör en viktig förmåga för en framskjuten sjuktransportfarkost.

Den information som publicerats under 2022 behandlar primärt fyra olika utvecklingsspår:

- Utveckling av multirolls-UGV:er och dedikerad nyttolast för användning vid CASEVAC.
- Helikoptrar som utrustas med sensorer och mjukvara som möjliggör obemannad flygning (optionellt bemannade helikoptrar). De uppdrag som primärt diskuteras för dessa är logistik samt trupp- och sjuktransporter.
- Utvecklingen av dedikerade UAV:er avsedda för logistik, där CASEVAC kan utgöra ett användningsområde.
- Den civila utvecklingen av elektriska persontransportfarkoster som har förmåga att starta och landa vertikalt (eVTOL).

Det finns även ett exempel på en UAV som utvecklas för sjuktransporter, nämligen det israeliska företaget Tactical Robotics UAV Cormorant.

#### 2.1.1 UGV:er med modulära nyttolaster

Utvecklingen av medeltunga UGV:er, med en vikt på omkring ett ton, med modulära nyttolaster för allt från logistik, obemannade sjuktransporter och bekämpning fortsätter i oförminskad takt. Flera UGV:er av denna typ utvärderas av militär i ett tiotal länder, framför allt som stöd till avsutten trupp. Fyra exempel ges nedan. Det finns även exempel på mindre UGV:er som utrustas med en enkel bår och använts vid demonstrationer av möjligheterna att genomföra CASEVAC. Dessa har dock både en lägre hastighet och sämre terrängframkomlighet vilket begränsar möjligheterna att genomföra denna typ av uppdrag (se [1]).

##### 2.1.1.1 Multi-Utility Tactical Transport (MUTT)

General Dynamics Land Systems (GDLS) har i november 2022 levererat de första 16 exemplaren av sin åttahjuliga UGV Multi-Utility Tactical Transport (MUTT) till US Army inom programmet Small Multipurpose Equipment Transport (SMET), se figur 2.1.<sup>6</sup> Dessa utvärderas nu av 101<sup>st</sup> Airborne Division. Denna version av MUTT är en UGV avsedd för logistikuppdrag. Den drivs med dieselektrisk hybridframdrivning. Även armén i Storbritannien genomför utvärderingar av MUTT.<sup>7</sup>

US Army har beställt drygt 620 MUTT för utvärderingar ute på förband men de planerar att genomföra en ny konkurrensutsatt upphandling för nästa generation SMET (Increment 2) där upp till 2 000 UGV:er kan komma att anskaffas. Nya modulära uppdragsnyttolaster

<sup>6</sup> [www.gdls.com/gdls-smet22/](http://www.gdls.com/gdls-smet22/) (besökt 2022-12-07).

<sup>7</sup> [m.youtube.com/watch?v=vRLa1-MU6GA](https://m.youtube.com/watch?v=vRLa1-MU6GA) (besökt 2022-11-19).



Figur 2.1: Vänster: Squad Multipurpose Equipment Transport (SMET), en åttahjulig MUTT, med vilken utvärderingar pågår inom US Army (Foto: US Army, Public Domain). Höger: Rheinmetall Mission Master 2018 (Foto: Angela Blattner, Rheinmetall Defence, via wikipedia, CC BY-SA 4.0).

avses då även att införas, som kan komma att innefatta beväpning (direkt och indirekt eld), CBRN-sensorer, telekrigmodul och counter-UAS.<sup>8,9</sup>

### 2.1.1.2 Mission Master

Rheinmetall utvecklar en familj av hjulgående multirolls-UGV:er, benämnd Mission Master, som kan bära olika modulära nyttolaster. Idag finns tre versioner, det åttahjuliga originalet Mission Master SP (figur 2.1) och de två större fyrehjuliga Mission Master CXT och XT som anges ha en god framkomlighet även i svår terräng samt amfibisk förmåga.<sup>10</sup> Mission Master SP baseras sannolikt på samma underrede från ARGO som den åttahjuliga MUTT.<sup>11</sup> CXT och XT anges ha en maximal räckvidd på 650 respektive 750 km, där CXT har en hybridmotor som medger körning i 50 km med tyst eldrift. SP drivs enbart med elmotorer och den kan, beroende på terräng och last, köra i hastigheter upp till 40 km/h.<sup>12</sup>

### 2.1.1.3 Arion-SMET

Det sydkoreanska företaget Hanwha Defense utvecklar en modulär multirolls-UGV benämnd Arion-SMET<sup>13</sup>. Amerikanska försvarsdepartementet och dess Office of the Secretary of Defence (OSD) har beslutat att utvärdera denna UGV inom ramen för programmet FCT (Foreign Comparative Testing) där utländsk militär utrustning med hög TRL-nivå utvärderas för att bedöma om de uppfyller operationella krav.<sup>14</sup> Arion-SMET är utvecklad för att stödja infanterioperationer genom logistik, CASEVAC, spaning och övervakning och eldunderstöd. Utöver autonoma självkörande funktioner anges den även vara utrustad med AI-baserade algoritmer som med den obemannade vapenstationens sensorer kan detektera och följa fiendliga soldater, samt med en mikrofonarray estimerar riktningen för inkommande eld och automatiskt besvara elden.

Arion-SMET är en två ton tung sexhjulig elektrisk UGV som kan förflytta sig i hastigheter av 43 km/h och 34 km/h på belagda respektive icke-belagda vägar. Den har en räckvidd på upp till 100 km (vid körning i 25 km/h) när den är fullt laddad och den kan bära upp till 550 kg nyttolast. Den har funktioner såsom ”följ soldat” (autonomt eller baserat på en lina som fästs på en soldat som går före), ”följ fordon” (automatiserad konvojkörning),

<sup>8</sup> [www.defensedaily.com/army-eyeing-open-competition-for-smet-increment-2-planning-to-add-new-payloads/army/](http://www.defensedaily.com/army-eyeing-open-competition-for-smet-increment-2-planning-to-add-new-payloads/army/) (besökt 2022-11-19).

<sup>9</sup> [www.gdls.com/s-met/](http://www.gdls.com/s-met/) (besökt 2022-11-19).

<sup>10</sup> [www.rheinmetall-defence.com/en/rheinmetall\\_defence/systems\\_and\\_products/unbemannte\\_fahrzeuge/mission\\_master/index.php](http://www.rheinmetall-defence.com/en/rheinmetall_defence/systems_and_products/unbemannte_fahrzeuge/mission_master/index.php) (besökt 2022-11-19).

<sup>11</sup> [argoxtv.com/intl/vehicles/unmanned](http://argoxtv.com/intl/vehicles/unmanned) (besökt 2022-11-19).

<sup>12</sup> [www.rheinmetall-defence.com/en/rheinmetall\\_defence/public\\_relations/themen\\_im\\_fokus/ugv/index.php#:~:text=The%20Mission%20Master%20is%20amphibious,without%20a%20large%20additional%20load](http://www.rheinmetall-defence.com/en/rheinmetall_defence/public_relations/themen_im_fokus/ugv/index.php#:~:text=The%20Mission%20Master%20is%20amphibious,without%20a%20large%20additional%20load) (besökt 2022-11-20).

<sup>13</sup> Autonomous and Robotic systems for Intelligence Off-road Navigation – Small Multi-purpose Equipment Transport.

<sup>14</sup> [www.edrmagazine.eu/hanwha-defense-arion-smet-ugv-handpicked-for-us-armys-field-tests](http://www.edrmagazine.eu/hanwha-defense-arion-smet-ugv-handpicked-for-us-armys-field-tests) (besökt 2022-11-19).

brytpunktsnavigering (inklusive förmåga att upptäcka och väja för hinder) och fjärrstyrning.<sup>15</sup>

#### 2.1.1.4 TheMIS

Det estniska företaget MILREM tillverkar en banddriven multirolls-UGV benämnd TheMIS (Tracked Hybrid Modular Infantry System), se figur 2.2. Den drivs av en dieselelektrisk hybridmotor och den kan köra med eldrift i upp till 1,5 timmar. Den har en öppen arkitektur och modulär design vilket möjliggör enkel integration av nya nyttolaster. Åtminstone 16 länder genomför utvärderingar och experiment med TheMIS. Den har utvärderats i ett stort antal övningar och även i Mali. Den kan förflytta sig i hastigheter upp till 20 km/h och bogseras av ett annat fordon i upp till 80 km/h. Den väger 1 630 kg och kan bära en nominell nyttolast på 750 kg (maximalt 1 200 kg).<sup>16</sup>

MILREM marknadsför en version som benämns TheMIS Cargo CASEVAC som är avsedd för logistiktransporter och transporter av skadade från skadeplats till närliggande sjukvårdsenheter. En sådan TheMIS har donerats till en frivilligorganisation i Ukraina där den ska transportera medicinsk utrustning till fronten och hämta skadade och transportera dessa till lämplig sjukvårdsinrättning.<sup>17</sup>

TheMIS beskrivs ofta som pålitlig och har under många förhållanden en bra framkomlighet. Det finns dock, trots dess banddrift, frågetecken rörande dess terrängframkomlighet under typiska vinterförhållanden i norra Sverige. Vid körning i terräng och även på stigar och enklare skogsvägar är vibrationerna dessutom kraftiga vilket både ger en hög akustisk signatur och även riskerar att förvärra hälsotillståndet hos den skadade.

#### 2.1.1.5 Diskussion

Alla UGV:er i denna storleksklass har ett modulärt system för nyttolast och de är avsedda att kunna bära uppdragsanpassade nyttolaster. Obemannad sjuktransport utan vård under transport utgör ett av användningsfallen som beskrivs för dessa och ett flertal enkla demonstrationer har genomförts av denna förmåga. Sjuktransporterna genomförs då på så sätt att den skadade spänns fast på en enkel bår eller att denne transporteras liggandes eller sittandes i bärkorgen.



Figur 2.2: MILREM TheMIS vid den brittiska övningen AWE18. Utrustad med en enkel bår och bärkorg. (Foto: FOI).

<sup>15</sup> [www.overtdefense.com/2022/10/11/ausa-2022-hanwhas-arion-smet-to-join-u-s-army-tests/](http://www.overtdefense.com/2022/10/11/ausa-2022-hanwhas-arion-smet-to-join-u-s-army-tests/) (besökt 2022-11-20).

<sup>16</sup> [milremrobotics.com/product/themis-transport/](http://milremrobotics.com/product/themis-transport/) (besökt 2022-11-20).

<sup>17</sup> En rysk organisation som utvecklar UGV:er anges ha utlovat en belöning på en miljon rubel till den (som med alla till buds stående medel) kan erövra och överlämna denna UGV. [defbrief.com/2022/09/07/estonias-milrem-confirms-delivery-of-unmanned-ground-vehicle-to-ukraine/](http://defbrief.com/2022/09/07/estonias-milrem-confirms-delivery-of-unmanned-ground-vehicle-to-ukraine/) (besökt 2022-11-22).

Detta kan utgöra ett alternativ för korta transporter, exempelvis som ett alternativ till att bära den skadade på bår från skadeplats till kompaniets skadeuppsamlingsplats. Dedikerade nyttolaster behöver utvecklas för att ge möjlighet att transportera den skadade längre sträckor.

En skadad soldat som transporteras på en bår som placeras på en enkel banddriven UGV, såsom THeMIS, riskerar att vid terrängkörning utsättas för mycket kraftiga vibrationer. Eventuellt kan specialutvecklade bårar eller andra nyttolaster reducera dessa till en acceptabel nivå, om de kombineras med anpassade körprofiler (i kombination med accelerometrar på bårerna) där exempelvis hastighet och ruttval anpassas för att minska den fysiska påverkan på den skadade. På de hjuldrivna UGV:erna finns bättre förutsättningar att minska dessa vibrationer men även dessa bör ha möjlighet att anpassa körprofilen efter den taktiska situationen och den skadades tillstånd.

Banddrivna fordon har typiskt ett större underhållsbehov än hjuldrivna. Detta kompenseras av en bättre framkomlighet, men om framkomligheten i terräng under vinterförhållanden är begränsad även för den banddrivna UGV:n så kan hjuldrivna UGV:er vara att föredra. Det gäller framför allt vid genomförandet av experiment och metodutveckling där scenariot kan anpassas något utifrån teknikens nuvarande begränsningar.

## 2.1.2 Optionellt bemannade helikoptrar

Det finns tre framträdande exempel i USA på utvecklingsprojekt riktade mot optionellt bemannade helikoptrar, där obemannad sjuktransport även har demonstrerats: Autonomous Aerial Cargo/Utility System (AACUS), Aircrew Labor In-Cockpit Automation System (ALIAS)<sup>18</sup> och K-MAX TITAN. Dessa tre exempel baseras på att befintliga bemannade helikoptrar förses med sensorer och autonomimjukvara som möjliggör att de kan flyga autonomt (Appliqué Kits).

### 2.1.2.1 AACUS

US Army TATRC (Telemedicine & Advanced Technology Research Center) genomförde redan 2015 tillsammans med Kutta Technologies en demonstration av en simulerad CASEVAC där en obemannad UH-1 Huey, utrustad med AACUS sensorer och autonomimjukvara, levererade medicinsk utrustning och genomförde en sjuktransport. Kutta Technologies utvecklade gränssnitt så att en stridssjukvårdare enkelt kunde ge kommandon till den obemannade helikoptern, samt monitorera patienten under transporten.<sup>19</sup> Ingen ny information har dock hittats rörande utvecklingen av AACUS de senaste åren så läsaren hänvisas till beskrivningen i [1] rörande denna utveckling. Office of Naval Research (ONR) ledde projektet och autonomifunktionerna utvecklades primärt av Aurora Flight Sciences.

En mer långsiktig utveckling pågår även inom US Army där en ny generation av helikoptrar utvecklas, med avsevärt förbättrade flygprestanda, som ska ersätta de nuvarande helikoptrarna. Utvecklingen genomförs inom det prioriterade utvecklingsprojektet Future Vertical Lift (FVL) och de utvecklas för att kunna flygas även obemannat (optionellt bemannade). Utvecklingen av FVL beskrivs närmare i [5].

### 2.1.2.2 DARPA ALIAS

DARPA genomför programmet ALIAS (Aircrew Labor In-Cockpit Automation System) där sensorer och mjukvara som möjliggör att helikoptrar såsom UH-60 Black Hawk konverteras för att kunna flyga obemannat (figur 2.3). Autonomimjukvaran utvecklas av Sikorsky och benämns MATRIX. Den ska enligt tillverkaren ge möjlighet att

<sup>18</sup> [www.darpa.mil/news-events/2022-02-08](http://www.darpa.mil/news-events/2022-02-08) (besökt 2022-11-13).

<sup>19</sup> [www.tatrc.org/www/divisions/medras/news/archive/2018\\_Q1\\_Op-T-Med\\_hueys\\_fly\\_by\\_themselves.pdf](http://www.tatrc.org/www/divisions/medras/news/archive/2018_Q1_Op-T-Med_hueys_fly_by_themselves.pdf) (Besökt 2022-11-13).



Figur 2.3: Vänster: En obemannad UH-60 Black Hawk utrustad med DARPA ALIAS och Sikorsky MATRIX autonomimjukvara som flög på Yuma Proving Ground (YPG) under US Army Project Convergence Exercise Technology Gateway 2022 (Foto: US Army, Public Domain).<sup>20</sup> Höger: Obemannade K-MAX som har använts av den amerikanska marinkåren för logistikuppdrag i bland annat Afghanistan, YPG 2015 (Foto: USMC, Pfc. George Melendez, Public Domain).

starta autonomt samt välja en lämplig landningsplats och landa autonomt. Den ska även ha möjlighet att välja rutt (baserat på exempelvis destination, avstånd och topografi) och undvika hinder autonomt.<sup>21</sup> Systemet ska även kunna hantera felhändelser och den första autonoma flygningen med ALIAS och MATRIX genomfördes den 5:e februari 2022.<sup>22</sup>

En UH-60A Black Hawk utrustad med Sikorsky's MATRIX demonstrerades under US Army stora övning Project Convergence Technology Gateway Exercise som genomfördes i oktober 2022 (figur 2.3). Den flög obemannat (utan säkerhetspiloter ombord) under tre uppdrag, som totalt varade i nästan 2,5 timmar, och den flög exempelvis vid ett tillfälle i över 180 km/h på 60 meters höjd. Dess huvuduppdrag var att genomföra logistikuppdrag och den flög med 1200 kg extern last. Efter detta uppdrag omdirigerades den till att genomföra en sjuktransport. Helikoptern landade autonomt och en bår med en docka bars ombord på helikoptern som därefter genomförde sjuktransporten till fältsjukhus. Under transporten användes ett hälsomoniteringssystem som via helikopterns kommunikationssystem vidarebefordrade de (simulerat) uppmätta vitalparametrarna till sjukvårdspersonal på marken.<sup>23</sup>

Projektet har pågått sedan 2015 och har nu nått en hög mognadsgrad. Målsättningen är inte endast att utveckla optionellt bemannade helikoptrar utan även att öka säkerheten vid bemannade flygningar genom att öka automationsgraden, exempelvis vid start och flygning under dåliga visuella förhållanden. Tekniken kan även reducera piloternas kognitiva belastning, vilket kan möjliggöra flygning med reducerad besättning eller att besättningen kan ha ett ökat fokus på att genomföra uppdraget istället för flygningen. Sikorsky utvecklar tekniken som ett led i moderniseringen av Black Hawk-helikoptrar för att de ska kunna användas parallellt med FVL under flera decennier framöver.<sup>24</sup>

US Army har ett stort antal Black Hawk-helikoptrar och när FVL införs på bredden (under nästa decennium) är det möjligt att de är villiga att öka risktagandet vid obemannade flygningar. Försvarsmaktens situation är annorlunda och Black Hawk-helikoptrar kan förväntas utgöra fortsatt mycket kapabla och högt värderade resurser även efter 2030.

<sup>20</sup> [www.army.mil/article/261796/yuma\\_proving\\_ground\\_hosts\\_project\\_convergence\\_22\\_technology\\_gateway](https://www.army.mil/article/261796/yuma_proving_ground_hosts_project_convergence_22_technology_gateway) (Besökt 2022-11-13).

<sup>21</sup> [www.lockheedmartin.com/en-us/news/features/2022/sikorsky-and-darpa-demonstrate-future-battlefield-logistics-missions-with-autonomous-utility-helicopter.html](https://www.lockheedmartin.com/en-us/news/features/2022/sikorsky-and-darpa-demonstrate-future-battlefield-logistics-missions-with-autonomous-utility-helicopter.html) (besökt 2022-11-13).

<sup>22</sup> [www.lockheedmartin.com/en-us/products/sikorsky-matrix-technology.html](https://www.lockheedmartin.com/en-us/products/sikorsky-matrix-technology.html) (besökt 2022-11-13).

<sup>23</sup> [www.lockheedmartin.com/en-us/news/features/2022/sikorsky-and-darpa-demonstrate-future-battlefield-logistics-missions-with-autonomous-utility-helicopter.html](https://www.lockheedmartin.com/en-us/news/features/2022/sikorsky-and-darpa-demonstrate-future-battlefield-logistics-missions-with-autonomous-utility-helicopter.html) (besökt 2022-11-13).

<sup>24</sup> [breakingdefense.com/2022/10/at-project-convergence-army-doubles-down-on-fully-autonomous-black-hawk-experiments/](https://breakingdefense.com/2022/10/at-project-convergence-army-doubles-down-on-fully-autonomous-black-hawk-experiments/) (besökt 2022-11-13).



### 2.1.2.3 K-MAX TITAN

K-MAX är en helikopter utvecklad specifikt för tunga transporter och den kan bära last på över 2 700 kg. Obemannade versioner av K-MAX har tidigare använts av den amerikanska marinkåren för logistikuppdrag i Afghanistan (2011 till 2014) men den ansågs inte vara anpassad för operationer mot högteknologiska motståndare och utvecklingen pausades.

Marinkåren har nu beställt två uppgraderade versioner, K-MAX TITAN, för fortsatt experimentering primärt inom obemannad logistik. K-MAX TITAN är baserad på autonomialgoritmer från företaget Near Earth Autonomy.<sup>25</sup> En demonstration av CASEVAC med en obemannad K-MAX har tidigare genomförts där en docka spändes fast i ett säte på utsidan av cockpit.<sup>26</sup> Dess stora lastförmåga, med extern (hängande) last, möjliggör även CASEVAC av ett större antal skadade om anpassade sjuktransportmoduler utvecklas.

## 2.1.3 Dedikerade UAV:er avsedda för logistik

Det finns ett flertal exempel på UAV:er som utvecklas för logistiktillämpningar. Ett par exempel på relativt enkla multirotorbaserade UAV:er som utrustas med möjlighet att bära en bår direkt under flygkroppen har även presenterats det senaste året. Demonstrationer har även genomförts i Thailand där en docka ersatte den skadade vid själva sjuktransporten. Även om dessa sannolikt inte är direkt användbara utifrån Försvarens behov så visar de på ett gryende intresse för dessa tillämpningar.

### 2.1.3.1 Pulse Science MERT

Militären i Thailand har genomfört experiment med en UAV som genomför ett CASEVAC-uppdrag. Det thailändska företaget Pulse Science har under ett drygt år utvecklat två demonstratorer, MERT-P och MERT-R, som båda har fyra rotorarmar med vardera två rotor.<sup>27</sup> MERT-P är optionellt bemannad med en operatörsplats (säte) där den skadade kan placeras, alternativt så kan medicinsk personal snabbt flygas till den skadade. MERT-R är istället avsedd att bära den skadade på en bår under farkosten.<sup>28</sup> En demonstration har genomförts där en docka transporterades på en enkel bår med MERT-R.<sup>29</sup>

### 2.1.3.2 RAPHE mPhibr

Även det indiska företaget RAPHE mPhibr har utvecklat en enkel UAV som ska kunna lyfta upp till 120 kg och genomföra en CASEVAC med en skadad liggandes på en enkel bår strax under UAV:n.<sup>30</sup> Den ska kunna utrustas med en syrgastub, och utrustning för mätning av blodtryck och syremättnad.

### 2.1.3.3 BAE Systems T-650

I Storbritannien har BAE Systems tillsammans med Malloy Aeronautics påbörjat utvecklingen av en elektrisk multirolls-UAV avsedd för militära och civila användningsområden. Den är fortfarande på konceptstadiet men den ska kunna bära 300 kg last med en maxfart på 140 km/h. Den angivna räckvidden är mellan 30 (full last) och

<sup>25</sup> [kaman.com/kaman-announces-first-flight-of-unmanned-k-max-titan/](https://kaman.com/kaman-announces-first-flight-of-unmanned-k-max-titan/) (besökt 2022-11-13).

<sup>26</sup> [www.neyarobotics.com/projects/casevac/](https://www.neyarobotics.com/projects/casevac/) (besökt 2022-11-13)

<sup>27</sup> Företaget utvecklar även autonoma flygande bilar men det är svårt att bedöma mognadsgraden på tekniken. ([www.pulsex.co.th/](https://www.pulsex.co.th/), besökt 2022-11-13).

<sup>28</sup> [www.janes.com/defence-news/news-detail/defense-security-2022-pulse-science-exhibits-emergency-response-aircraft](https://www.janes.com/defence-news/news-detail/defense-security-2022-pulse-science-exhibits-emergency-response-aircraft) (besökt 2022-11-13).

<sup>29</sup> [www.youtube.com/watch?v=0D\\_lLdYtsXs](https://www.youtube.com/watch?v=0D_lLdYtsXs) (besökt 2022-11-13).

<sup>30</sup> [idrw.org/raphe-mphibr-showcases-ambulance-drone-at-drone-mahotsav/](https://idrw.org/raphe-mphibr-showcases-ambulance-drone-at-drone-mahotsav/) (besökt 2022-11-13).

80 km (utan last).<sup>31</sup> Logistik är ett av uppdragen, där den potentiellt även skulle kunna genomföra CASEVAC. Koncept har även förevisats där den ska kunna bära en lätt torped eller tre markmålsrobotar (Brimstone II).<sup>32</sup>

#### 2.1.3.4 Kaman Kargo UAV

Även Kaman utvecklar en prototyp av en stor kvadrokopter-UAV, avsedd framför allt för autonoma transporter, på uppdrag från den amerikanska marinkåren.<sup>33</sup> Den ska kunna bära upp till 360 kg last och dess räckvidd med en lastvikt på 135 kg anges vara omkring 600 km. Den anges få en maxfart på 220 km/h. Den kan bära last hängande eller i en konform logistikpod, vilket reducerar luftmotståndet och ger en ökad räckvidd.<sup>34</sup> Företaget Near Earth Autonomy utvecklar algoritmer för autonomt hinderundvikande och precisionslandning, samt tekniker för navigering i telestörda miljöer.<sup>35</sup>

#### 2.1.3.5 ACC Innovation ThunderWasp

Det finns även ett mindre svenskt företag, ACC Innovation i Åtvidaberg, som med egna medel utvecklar en serie av stora UAV:er med fyra rotoror. Den minsta UAV:n (Mosquito) drivs av en tvåtaktsmotor och den kan bära maximalt 140 kg, medan deras största UAV (ThunderWasp 2xTS) drivs av dubbla turboaxelmotorer som levererar 440 hk. Den senare har en maximal angiven startvikt på 1 500 kg och kan bära upp till ett drygt ton nyttolast.<sup>36</sup> Dessa UAV:er utvecklas för att vara fjärrstyrda (Remotely Piloted Aircraft System, RPAS). Provflygningar med ThunderWasp genomförs primärt på Västerviks flygplats (Drone Center Sweden) under Transportstyrelsens auktorisation enligt SORA (Specific Operation Risk Assessment).

#### 2.1.3.6 Diskussion

Kargo och T-650 utvecklas för autonoma flygningar medan ThunderWasp-serien är fjärrstyrda. Mognadsgraden för ThunderWasp UAV:n bedöms dock i nuläget vara något högre då den regelbundet flygs på Västerviks flygplats. Ingen av dessa UAV:er bedöms dock bli operativa förrän om några år.

Det är oklart om denna typ av UAV:er kommer att utvecklas så att de kan genomföra CASEVAC. Exempelvis kan den certifiering som krävs vid transporter av skadade komplicera tillståndsförfarandet och fördyra utvecklingen. Att nå användaracceptans för att som skadad bli transporterad liggandes på en enkel bår under en UAV, såsom MERT-R, förväntas utgöra en betydande utmaning. En ny typ av mer avancerade sjuktransportanordningar behöver utvecklas, där det bland annat finns möjlighet till aktiv uppvärmning och monitorering av den skadade under transport. Denna typ av system bedöms kunna användas för metodutveckling men de utgör i nuläget inte ett operativt relevant framtida alternativ.

### 2.1.4 Utvecklingen inom eVTOL

Det pågår en civilt driven utveckling inom området Urban Air Mobility (UAM) och ett stort antal aktörer utvecklar alternativa lösningar för framför allt korta luftburna persontransporter i urbana miljöer. Den tekniska utvecklingen fokuserar på obemannade elektriska multirotorfarkoster (eVTOL).

<sup>31</sup> [www.baesystems.com/en/product/t-650-heavy-lift-electric-uas-concept-vehicle](http://www.baesystems.com/en/product/t-650-heavy-lift-electric-uas-concept-vehicle) (besökt 2022-11-13).

<sup>32</sup> [www.theregister.com/2022/09/26/bae\\_drone\\_brimstone\\_missiles/](http://www.theregister.com/2022/09/26/bae_drone_brimstone_missiles/) (besökt 2022-11-13).

<sup>33</sup> Genomförs inom projektet MULS-A (Medium Unmanned Logistics Systems – Air).

<sup>34</sup> [kaman.com/brands/kaman-air-vehicles/kargo/](http://kaman.com/brands/kaman-air-vehicles/kargo/) (besökt 2022-11-13).

<sup>35</sup> [www.armyrecognition.com/umex\\_2022\\_news\\_abu\\_dhabi\\_official\\_online\\_show\\_daily\\_media\\_partner/umex\\_2022\\_trust\\_kaman\\_unveils\\_its\\_new\\_kargo\\_quadcopter\\_helicopter\\_design\\_uav.html](http://www.armyrecognition.com/umex_2022_news_abu_dhabi_official_online_show_daily_media_partner/umex_2022_trust_kaman_unveils_its_new_kargo_quadcopter_helicopter_design_uav.html) (besökt 2022-11-13).

<sup>36</sup> [www.accinnovation.se/](http://www.accinnovation.se/) (besökt 2022-11-13).



Figure 2.4: VoloCity, en tvåsitsig autonom flygande taxi som utvecklas av det tyska företaget Volocopter (Foto: Raymar Laux, Volocopter GmbH, via wikipedia, CC BY 4.0).

Volocopter är ett av de företag som nått längst i utvecklingen och certifieringen. Volocopter har erhållit certifiering från EASA (EU Aviation Safety Agency) för att flyga som UAV utan passagerare i lågriskområden och företaget har även erhållit EASA DOA (Design Organisation Approval) 2019 och POA (Production Organisation Approval) 2021. Volocopter arbetar nu för att få typcertifiering för VoloCity från EASA och även Air Operator Approval, vilket skulle möjliggöra kommersiella flygningar.<sup>37</sup>

Tidplanen för att få VoloCity operativ är ambitiös, de första kommersiella flygningarna är tänkta att påbörjas i begränsad skala under 2024 då OS i Paris genomförs. Ambitionen är att VoloCity ska flyga åskådare från centrala Paris till de olika arenorna. Även två andra företag är utvalda för att genomföra transporter under OS, Airbus och det kinesiska företaget Ehang.

VoloCity har en maximal startvikt på 900 kg varav 200 kg nyttolast (figur 2.4). Den har en angiven maxfart på 110 km/h och en räckvidd på 35 km. Den drivs av nio distribuerade batterier som vardera driver två rotorerna.<sup>38</sup>

### 2.1.5 CityHawk och Cormorant

Det israeliska företaget Tactical Robotics och deras moderbolag Urban Aeronautics utvecklar bemannade och obemannade luftfarkoster som är avsedda för persontransporter (CityHawk Air Taxi) och ambulanstransporter (CityHawk EMS) för den civila marknaden och en MEDEVAC UAV (Cormorant) riktad mot den militära marknaden. Farkosterna använder samma framdrivningsteknik (Fancraft) som inte har externa rotorerna och de har förmåga att starta och landa vertikalt.

CityHawk siktar på att påbörja certifieringsflygningar 2027 och påbörja leveranser till kund 2029.<sup>39</sup> CityHawk är avsedd för ambulanstransporter framförallt i storstadsmiljöer där trafikstockningar gör det svårt för konventionella ambulanser att snabbt ta sig fram. Den ska kunna ha en pilot, två ambulanssjukvårdare, en patient och 180 kg medicinsk utrustning. Den har en tänkt maxfart på ca 250 km/h.

Cormorant anges ha en TRL-nivå (Technology Readiness Level) på TRL5 och den anges kunna bli operativ redan 2026. Cormorant har en maxfart på 185 km/h och kan bära upp till 750 kg nyttolast.<sup>40</sup>

<sup>37</sup> [www.aerospace-technology.com/news/volocopter-poa-easa-evtol/](http://www.aerospace-technology.com/news/volocopter-poa-easa-evtol/) (besökt 2022-11-13).

<sup>38</sup> [www.volocopter.com/wp-content/uploads/20220607\\_VoloCity\\_Specs.pdf](http://www.volocopter.com/wp-content/uploads/20220607_VoloCity_Specs.pdf) (besökt 2022-11-13).

<sup>39</sup> [www.urbanaero.com/](http://www.urbanaero.com/) (besökt 2022-11-13).

<sup>40</sup> [www.tactical-robotics.com/category/cormorant](http://www.tactical-robotics.com/category/cormorant) (2022-11-13).

## 2.2 Dedikerade nyttolaster för obemannade sjuktransporter

Nedan ges några exempel på utvecklingsprojekt för dedikerade nyttolaster som kan vara användbara vid sjuktransporter som genomförs med obemannade farkoster. Möjligheterna att på kort sikt ge begränsad automatiserad vård inför och under transport diskuteras i [1].

Ett stort antal medicinska sjuktransporter genomförs idag utan att vård ges, utöver att patienten övervakas [6]. Behovet av medicinska interventioner under transport påverkas dock kraftigt av skadans art och transporttiden, men studien pekar på behovet av att ta hänsyn till skadepanorama vid en relativ riskbedömning som utförs inför beslut om genomförandet av en obemannad sjuktransport.

Riktlinjer för när en skadad kan transporteras med en UAV ges i [7] men liknande riktlinjer saknas för transport med andra obemannade farkosttyper. I [1] tas några faktorer upp som bör beaktas vid utvecklingen av dedikerade moduler avsedda för sjuktransporter:

- reducera vibrationer och möjliggöra anpassning av körprofil utifrån den skadades status,
- möjliggöra transport i framstupa sidoläge och
- aktiv uppvärmning av den skadade.

Dessa behov kan exempelvis innebära att en helt eller delvis stängd evakueringsmodul utvecklas. En mer robust version skulle även kunna utvecklas för att kortare sträckor kunna dras som en släde efter mindre UGV:er. De bör kunna tillverkas som expanderande system, som innan användning har en låg vikt och volym. Alternativt kan de transporteras till skadepplatsen eller kompanisamlingsplatsen med logistik-UAV:er då behov uppstår.

Det finns ett behov av en evakueringsmodul med standardiserade fästen och kontaktdon som kan användas vid både bemannade och obemannade sjuktransporter, samt har möjlighet till övervakning av den skadade under transport. Ett exempel på en sådan modul, som i nuläget är utvecklad primärt för medicinska sjuktransporter, är EpiShuttle. I USA genomförs två intressanta utvecklingsprojekt, ACCS<sup>41</sup> (Automated Critical Care System) och TRACIR<sup>42</sup> (Trauma Care in a Rucksack) som avser utveckla mer avancerade automatiserade vårdssystem som skulle kunna komma att användas vid obemannade sjuktransporter. ACCS anges ha en mognadsgrad motsvarande TRL5. Dessa utvecklingsprojekt beskrivs översiktligt i [1].

I [8] beskrivs resultatet från en genomförd litteraturstudie och ett konceptförslag för en CASEVAC-bår med möjlighet till kontinuerlig monitorering och automatiserad vård under transport. Litteraturstudien fokuserade primärt på olika tekniker som skulle kunna utgöra viktiga delsystem i en sådan bår. Där föreslås t.ex. att Athena's system för vitalparametermonitorering (Wireless Vital Signs Monitor, WVSM) används på kort sikt för att estimerar vitalparametrar då det är en befintlig produkt. Athena utvecklar även ACCS.

### 2.2.1 EpiShuttle

Det norska företaget EpiGuard utvecklar en lufttät sjuktransportmodul, benämnd EpiShuttle. Den är primärt avsedd för säkra transporter av patienter som lider av smittsamma sjukdomar, allvarliga brännskador eller om de blivit utsatta för kemiska eller biologiska stridsmedel. EpiShuttle ger möjlighet att för vårdpersonal på ett säkert sätt ge vård under transport, exempelvis att genomföra intubering, ge vätska eller mediciner intravenöst och ge syrgas.<sup>43</sup> Det finns även möjlighet att integrera sensorer för övervakning av patientens hälsotillstånd under transport. EpiShuttle används vid

<sup>41</sup> [athenagtx.com/rd-2/accs/](http://athenagtx.com/rd-2/accs/)

<sup>42</sup> [www.cmu.edu/news/stories/archives/2019/may/trauma-care-system.html](http://www.cmu.edu/news/stories/archives/2019/may/trauma-care-system.html)

<sup>43</sup> [epiguard.com/](http://epiguard.com/) (besökt 2022-11-14).

ambulanstransporter men även vid flygande medicinska sjuktransporter. Den är primärt avsedd för transporter högre upp i vårdkedjan, exempelvis vid medicinska sjuktransporter till fältsjukhus, från fältsjukhus till civila sjukhus eller vid strategiska sjuktransporter (Strategic Evacuation, STRATEVAC). Det finns ett behov av en förenklad isoleringsmodul, som är anpassad för korta sjuktransporter från exempelvis skadeplats eller kompanisamlingsplats ombord på exempelvis en UGV.

## 3 Mätning av andningsfrekvens

Andningsfrekvens utgör en viktig indikator för exempelvis skador på lungor och luftvägar, t.ex. att den skadade utsatts för farliga kemiska ämnen eller att den har kraftiga blödningar som leder till en för låg blodvolym. Det kan dock vara svårt att tillförlitligt mäta andningsfrekvensen under en kort mätperiod. Andningssvårigheter är ofta enklare att detektera (se [1] och dess referenser).

I [1] gavs en översikt av i litteraturen föreslagna metoder för att skatta andningsfrekvens utifrån data insamlade med sensorer från ett avstånd av någon eller några meter från en person. Sådana kontaktfria metoder för automatiserad mätning av vitalparametrar på korta avstånd, med hjälp av befintliga sensorer på stridstekniska UAV:er och mindre obemannade markfarkoster, är intressant för robotassisterad triage vid masskadesscenario och vid CBRN-händelser. I dessa situationer kan obemannade farkoster ge möjlighet att kraftigt öka sjuktransportkapaciteten framför allt från skadeplats och kompanisamlingsplats.

Projektet tar utgångspunkt i väletablerade mätprinciper för estimering av andningsfrekvens som tidigare använts i, eller utvärderats för, kontrollerade miljöer såsom i kliniska sammanhang eller hemmiljöer. Angreppssättet har varit att undersöka vilka av dessa metoder som kan överföras, eller vid behov anpassas, till användning i fält i okontrollerade miljöer och i sammanhang med större osäkerheter vad gäller hur omgivningen är beskaffad, vilket kan begränsa möjligheten att uppnå ideala förutsättningar för mätningarna. Under året har därför några särskilt relevanta metoder identifierats, varefter signalbehandlingsalgoritmer för dessa har implementerats. En serie inledande experiment har även genomförts som underlag för utvärderingar av prestanda och realiserbarhet med de olika metoderna i militära scenarion.

Den genomförda forskningen fokuserar på ett antal metoder som bygger på olika sensortekniker (där inriktningen har varit att använda enkla sensorer som kan förväntas finnas på mindre obemannade farkoster) och två separata fysikaliska fenomen. Teknikerna har sina respektive för- och nackdelar, t.ex. vad gäller optimalt mätavstånd, mätvinkel relativt personens kroppsställning, robusthet gentemot den visuella bakgrunden eller vibrationer, vilken del av kroppen sensorn bör riktas mot och tiden det tar att genomföra en mätning för få en tillförlitlig skattning. Genom att kombinera flera metoder ökar noggrannheten samt sannolikheten att åtminstone någon av dessa går att tillämpa framgångsrikt i ett specifikt skadesscenario.

Nedan presenteras först metoderna och sedan följer en beskrivning av genomförda experiment och de resultat och slutsatser som dessa lett till.

### 3.1 Metodbeskrivningar

Olika varianter av de i litteraturen två vanligast förekommande indikatorerna för andning har undersökts: (i) *temperaturvariationer* kring näsa och mun samt (ii) *rörelser* (främst rörelser omkring bålen till följd av lungornas expansion-kontraktion vid andning). Metoderna bygger typiskt på frekvensanalys av tidsserier av data och förutsätter att mätningen genomförs över ett antal andningscykler.

#### 3.1.1 Skattning utifrån värmevariationer

Den generella principen för denna typ av metod är att följa och analysera hur värmesignaturen varierar inuti, eller omkring, en näsborre för varje andetag. Två algoritmer för detta har studerats, dels den vanligast förekommande metoden som bygger på medelvärdesbildning av signalen i en utvald region, dels en metod som analyserar värmekontraster inuti näsan och hur dessa varierar över tid [9]. Metoderna beskrivs översiktligt härnäst men mer detaljerade beskrivningar finns i [10].

### 3.1.1.1 Medelvärdesbaserad skattning

Den här metoden går ut på att analysera hur det termiska medelvärdet varierar inuti näsan. Metoden går i korthet ut på att:

- 1) mäta med en termisk kamera riktad mot en persons ansikte,
- 2) identifiera det område i bilden som innehåller personens näsborrar,
- 3) beräkna medelvärdet av pixelvärden för det aktuella området i varje bildruta,
- 4) skapa en tidsserie av de uträknade medelvärdena, och
- 5) hitta den dominerande frekvenskomponenten i signalen.

### 3.1.1.2 Voxelbaserad skattning

Den voxelbaserade metoden har fått sitt namn av att värmesignalen representeras som voxlar på ett slags yta vars form ändras medan personen andas. Metoden går i korthet ut på att analysera hur kontrasten mellan en referensnivå och temperaturvärdena inuti näsborren varierar [10]. Referensnivån kan t.ex. definieras som medeltemperaturvärdet i ett område i ansiktet. Syftet är att kunna nyttja endast värmesignaturen i näsborren och studera hur denna förhåller sig till omgivningen och därigenom få ett noggrannare estimat jämfört med om ett större område studeras. På detta sätt erhålls en metod med förutsättningar för ökad robusthet mot förändringar, såsom varierande omgivningstemperatur eller som är orsakade av rörelser. Nackdelen är att metoden förutsätter att positionen för näsborrarna i bildserien måste följas automatiskt, så att differenser kan bildas mellan rätt voxlar.

## 3.1.2 Skattning genom analys av rörelser i video

Inom bildbehandling finns metoder för att förstärka små rörelser så att en observatör lättare ska kunna hitta och identifiera dem. Sådana "amplified motion"-algoritmer bygger på temporal filtrering av bildsignalen i ett valt frekvensintervall för att förstärka små, ibland knappt synliga, rörelser. Principen bygger på antagandet att pixelnivåvariationer beror på att objekt i bilden rör sig.

En första implementation av en sådan rörelseförstärkningsalgoritm fanns tillgänglig sedan tidigare på FOI. I den implementationen tar algoritmen som indata ett videoklipp och producerar ett nytt klipp där andningsrörelserna visas kraftigt förstärkta. Algoritmen delar upp videon i pyramidnivåer (upplösningsnivåer), där lokala fasförändringen estimeras för att sedan förstärkas (multiplieras med en vald konstant) för att till slut sättas samman till en ny video där rörelser i det valda frekvensområdet är förstärkta. I den tillämpningen var målet att producera en video som en operatör (t.ex. en sjukvårdare) manuellt kan studera och analysera. I projektet Autonom CASEVAC är istället målet att automatiskt skatta andningsfrekvensen för att kunna använda detta estimat tillsammans med skattningar av andra vitalparametrar vid framtida robotassisterad triage. Under året har därför algoritmen modifierats och delats upp i endast de delar som berör frekvensskattning. Detta gör också att den nya strömlinjeformade algoritmen, utan delmomenten videomodifiering och videoexport, exekverar avsevärt snabbare.

Originalalgoritmen modifierades för att snabbt få fram fasförändringar, som antas orsakas av rörelser i pixlarna. Analysen sker i flera upplösningsnivåer, från grov till fin skala. Utmaningen är att välja rätt upplösningsnivå (frekvensintervall) för den aktuella mätsituationen. När den har identifierats så följer signalen bröstets rörelser väl och andningsfrekvensen kan estimeras genom att beräkna denna signals frekvens. Hur väl fasförändringen för en specifik nivå verkligen beskriver just andningsrörelsen beror bland annat på videons upplösning och videons informationsinnehåll, t ex mönstret på försökspersonens kläder. Om personen befinner sig nära kameran så genererar ofta låga nivåer (med hög upplösning) mest brus och där är upplösningsnivåer med lägre upplösning att föredra.

### 3.1.3 Djupmätande stereoskopisk optisk sensor

Den metod som används för att utifrån mätningar med den djupmätande stereokameran (Intel RealSense) estimeras försökspersonens andningsvågform är lik den medelvärdesbaserade metoden som används med den termiska sensorn. Metoden baseras på att djupmätningarna över en utvald region på försökspersonen medelvärdesbildas över tiden. Denna vågform, som baseras på medelvärdena över avstånd inom en utvald region som funktion av tiden, bandpassfiltreras därefter för att reducera brus utanför andningsintervallet 10 till 50 andetag per minut. En frekvensanalys av vågformen ger därefter ett estimat av andningsfrekvensen (se [10]).

### 3.1.4 Skattning med UWB-sensor

En kommersiellt tillgänglig ultrawideband (UWB) radarmodul har även utvärderats. Den använder Novelda's Xethru X4 impulsradio UWB som sänder ut korta pulser, med stor bandbredd men med låg effekt. Den stora bandbredden ger möjlighet att med hög noggrannhet mäta avstånd till objekt, medan den låga uteffekten begränsar räckvidden avsevärt. Novelda marknadsför denna chipbaserade (*System-on-Chip*, SoC) UWB-modul för konsumentelektronik och hemautomationstillämpningar. Den anges kunna detektera människor inom 10 meters avstånd och den kan på kortare avstånd även upptäcka rörelser på exempelvis bröstorgen då en person andas. Det ger möjlighet att detektera huruvida en skadad soldat andas och även andningsfrekvensen.

En proprietär algoritm används för att extrahera försökspersonens andningsvågform. En UWB-radarmodul sänder ut korta pulser men den belyser samtidigt ett brett område. Mottagaren tar emot reflektioner av den utsända signalen från hela det område som belyses. Mottagaren kan då inte medelvärdesbilda avståndsmätningar över ett område, som fallet är då det djupmätande kamerasystemet används, utan behöver estimeras andningsvågformen antingen utifrån den första reflekterade signalen som når mottagaren eller genom att mäta upp ett impulssvar och identifiera vilken av tapparna i detta impulssvar som motsvarar reflektionerna från det område på kroppen som rör sig när personen andas. Algoritmen är känslig för rörelser i närheten av försökspersonen, framförallt om detta objekt befinner sig närmare UWB-modulen. Den är dessutom känslig för om försökspersonen rör sig under mätningen och den slutar leverera ett estimat av andningsfrekvens om den bedömer att rörelsen är för kraftig och/eller oregelbunden för att orsakas av en andningsrörelse.

## 3.2 Sensorer

I årets arbete med mätning av andningsfrekvens har ett antal sensorer använts som valts utifrån att mätning av andningsfrekvensen sker baserat på olika fysikaliska fenomen och med olika mätprinciper. De är på så sätt komplementära till sin natur.

### 3.2.1 Termisk kamera

Den termiska kamera som använts i projektet är en FLIR A35 med följande specifikationer:

- Dimensioner: 40×43×106 mm (inkl. optik)
- Bildtakt: 60 Hz
- Noggrannhet: +/- 5°C
- Spatiell upplösning: 320×256 pixlar
- Spektralområde: 7,5 till 13 μm
- Temperaturområde: -25 till 100°C

Sensorn har en relativt låg spatiell upplösning såtillvida att nyare sensorer inte sällan har 640×512 pixlar. En högre upplösning kommer att möjliggöra estimering av andningsfrekvens på längre avstånd. Den använda sensorn ser endast enstaka pixlar inuti



en näsborre på ett par meters avstånd. Metoden har dock visat sig fungera väl även under dessa förhållanden.

### 3.2.2 Avståndskamera

En avståndskamera ger bilder där värdet i en pixel representerar det uppskattade avståndet från sensorn till den yta eller det objekt som ligger inom pixelns betraktningvinkel (rymdvinkel). I de genomförda försöken användes en enkel Intel RealSense D435i, som är en stereoskopisk optisk sensor med inbyggd belysning i våglängdsbandet NIR (Near-Infrared). Den kan därmed användas även i mörker. Sensorns specifikationer är som följer:

- Dimensioner: 90×25×25 mm
- Avståndsområde: 0,2 – 10 m
- Spatiell upplösning: 1280×720 pixlar
- Bildtakt: upp till 90 Hz
- Synfält: 87°×58°

I takt med att en person andas och bröstkorgen hävs förändras avståndsvärdena för de pixlar som täcker den delen av kroppen. Analysen för att skatta andningsfrekvens följer i stort sett samma steg som för temperaturanalysen i föregående avsnitt. Genom att registrera data under en viss tidsperiod (några andningscykler), medelvärdesbilda och därefter applicera en frekvensanalys på den erhållna tidssignalen erhålls en skattning av personens andningsfrekvens.

### 3.2.3 Visuell kamera

I arbetet har även en visuell kamera av typ Ximea MC023CG-SY-UB<sup>44</sup> använts. Specifikationerna för kameran är:

- Spatiell upplösning: 1936×1216 pixlar
- Bildtakt: 165 Hz (2,3 Mpixlar @8bit)
- Dimensioner: 26×26×33 mm
- Vikt: 38 gram

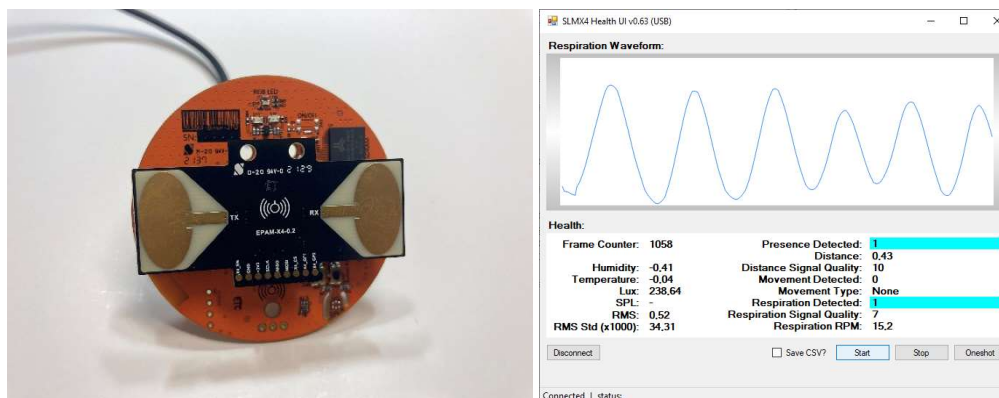
Denna typ av sensor valdes för att den erbjuder hög bildtakt och global slutare (global shutter). Det senare innebär att alla pixlar i bilden läses ut samtidigt vilket ger en skarpare och odistorderad bild jämfört med om den vanligare (och billigare) tekniken med rullande slutare (rolling shutter) använts, där bilden läses ut radvis. Ju snabbare förlopp som avbildas, desto tydligare blir skillnaden. För just andningsrörelser, som är relativt långsamma, är skillnaden i praktiken inte särskilt stor, men genom att använda en bra sensor med global slutare kan effekter som har med själva bildkvaliteten uteslutas. Algoritmen för analys av rörelser som använts i det här arbetet bygger på analyser av variationer i enskilda pixlar och ju bättre bilderna är, desto mindre fel och brus uppträder i frekvensanalysen.

### 3.2.4 UWB

Den UWB-radarsensor som använts vid försöken införskaffades från SensorLogic (SLMX4 UWB Radar Module). Den här utrustningen, som även omfattar en antennmodul med en elliptisk patchantenn, var ursprungligen avsedd som en prototyp för kontinuerlig kontaktfri mätning av just andningsfrekvens hos inlagda patienter. Den sänder med en bandbredd på 1,4 GHz omkring 7,29 GHz. Den anges med tillhörande mjukvara kunna estimeras andningsfrekvensen med en noggrannhet på ett andetag per minut.<sup>45</sup>

<sup>44</sup> [www.ximea.com/en/products/usb-31-gen-1-with-sony-cmos-xic/mc023cg-sy](http://www.ximea.com/en/products/usb-31-gen-1-with-sony-cmos-xic/mc023cg-sy)

<sup>45</sup> [sensorlogic.myshopify.com/products/slmx4-uwb-radar-module](http://sensorlogic.myshopify.com/products/slmx4-uwb-radar-module) (besökt 2022-11-15).



Figur 3.1: UWB-sensors antenn (vänster) och användargränssnittet med den estimerade andningsvågformen och andra parametrar (höger). Foto: FOI.

Estimering av andningsfrekvens ska kunna genomföras på avstånd upp till 5 m och den medföljande mjukvaran ger även ett kvalitetsmått på estimatet av andningsfrekvens. UWB-modulens antenn och dess användargränssnitt visas i figur 3.1.

### 3.3 Experiment

Under året har en serie försök genomförts i syfte att undersöka teknikens tillämpbarhet i militära prehospitala tillämpningar. Ett av målen med den experimentella verksamheten har varit att undersöka hur sensorernas placering gentemot personen, samt personens kroppsställning, påverkar noggrannheten som kan uppnås vid skattning av andningsfrekvens. Denna frågeställning är central för att i ett senare skede kunna tillämpa tekniken på bästa möjliga sätt på en skadeplats, t.ex. tillsammans med teknik för automatisk igenkänning av kroppsdelar och kroppsställning, så att inriktningen av sensorerna mot önskad del av kroppen kan ske automatiskt. Vid de genomförda försöken har sensorerna varit placerade på en ställning och riktats in manuellt. Ett annat mål har varit att utvärdera huruvida de olika metoderna är anpassade för att estimeras andningsfrekvens i realistiska militära scenarion och identifiera potentiella svårigheter som de olika metoderna kan förväntas ha i ett framtida prehospitalt triagestöd.

Först genomfördes en serie tillrättalagda mätningar av referenskaraktär i inomhusmiljö. Därefter skedde liknande mätningar (utomhus och inomhus) under svårare förutsättningar, där försökspersonen även var utrustad med kroppsskydd vilket kan påverka de metoder som mäter kroppens rörelse vid andning.

#### 3.3.1 Försök 1

Inomhusmätningarna gick till så att försökspersonen omväxlande låg på golvet och satt lutad mot en vägg. Ett antal olika typer av sensorer placerades på en bom på ett flyttbart, stadigt stativ och riktades mot personen. När alla sensorer förberetts för mätningar började personen andas i en angiven takt och därpå startades datainsamlingen med alla sensorerna.

##### 3.3.1.1 Förutsättningar

Många faktorer påverkar förutsättningarna för att detektera och mäta personens andningsfrekvens. För att få en hanterlig mängd frihetsgrader i de inledande försöken varierades endast följande parametrar:

- *Kroppsställning*: liggande på rygg, mage och sida, samt sittande mot vägg.
- *Sensorernas position relativt kroppen*: vid fotändan och vid sidan av personen (nära bröstkorgen), på en höjd av ca 3 dm.
- *Andningstakt*: lugn andning (15 andetag per minut) och snabb andning (40 andetag per minut).

Andra faktorer hölls medvetet så konstanta som möjligt, bl.a. följande:

- *Ljusförhållanden*: fördragna gardiner och normal inomhusbelysning
- *Avstånd till person*: Sensorerna ställdes på ett avstånd under två meter, för att säkerställa att den spatiella upplösning inte skulle inverka negativt på resultatet.

Försökspersonen var klädd i jeans och svart T-shirt. Användningen av bylsiga kläder eller annan utrustning (såsom kroppsskydd) kan potentiellt påverka möjligheten att detektera små kroppsrörelser, eftersom de då kan döljas av ett lager av kläder eller utrustning som inte följer kroppens rörelser. Försökspersonen andades stadigt och jämnt och andningstakten bibehölls tack vare en metronom. Insamlingen pågick varje gång i ca 2 minuter. I figur 3.2 visas bilder från försöket medan tabell 3.1 sammanfattar de olika mätfallen.

På grund av insamlingsproblem som ledde till uteblivna bildrutor (vilket gav slumpmässiga fel i frekvensskattningen) fick dock delar av försöket göras om vid ett senare tillfälle under likartade förutsättningar. Orsaken till dessa datorbaserade mätproblem och dess påverkan på mätningarna beskrivs närmare i [10].

### 3.3.1.2 Resultat

I tabell 3.2 och tabell 3.3 redovisas de skattade andningsfrekvenserna för de olika mätfallen i inomhusförsöket och i tabell 3.4 sammanfattas den generella noggrannheten för de två olika andningstakterna.

Den termiska kameran (FLIR) ger överlag noggranna estimat av andningsfrekvensen så länge kameran kan riktas så att den ser in i personens näsborre. Det största felet vid en enskild mätning var 0,6 andetag per minut. Den voxelbaserade metoden ger en något högre noggrannhet i medel (tabell 3.4). Den djupmätande stereokameran (RealSense) gav överlag en mycket hög noggrannhet och den uppvisade lägst fel av alla de undersökta sensorerna i dessa inomhusförsök. Den visuella kameran (Ximea) gav en god noggrannhet i alla testfall. UWB-systemet gav slutligen även den en hög noggrannhet i majoriteten av testfallen. Då sensorn var placerad vid försökspersonens fötter och denne låg på sidan (mätfall #5 och #6) var dock felet avsevärt högre, 2,45 samt 7,83 andetag per minut. UWB-systemet lyckades inte estimera andningsfrekvensen överhuvudtaget då försökspersonen låg på sidan och sensorn var placerad vid sidan av denne (mätfall #14). Detta pekar på att försiktighet bör iaktas vid mätningar av andningsfrekvens med UWB-systemet för denna kroppsställning.



Figur 3.2: Bilder från försök 1 (inomhusmiljö).

Tabell 3.1: Sammanställning av mätfallen i inomhusförsöken. Sensorerna var vid mätning 1 till 8 placerade vid fotändan, medan de vid mätning 9 till 14 var placerade bredvid försökspersonen när dennes bröstorg.

Mätfall #	Kroppsställning	Andningstakt [andetag/min]
1	Rygg	15
2	Rygg	40
3	Mage	15
4	Mage	40
5	Sida	15
6	Sida	40
7	Sittande	15
8	Sittande	40
9	Rygg	15
10	Rygg	40
11	Mage	15
12	Mage	40
13	Sida	15
14	Sida	40

Tabell 3.2: Estimerad andningsfrekvens för inomhusförsöket vid andning med 15 andetag per minut. "-" betyder att mätning inte var möjlig, som när försökspersonen låg på mage och näsborrar inte syntes, eller att sensorn inte hittade någon signal. Med den termiska kameran visas resultaten för medelvärdesbaserade metoden (MV) och den voxelbaserade metoden (Vxl).

#	FLIR (MV)	FLIR (Vxl)	Real-Sense	Ximea	UWB
1	15,60	15,00	14,98	15,18	15,06
3	-	-	14,79	15,00	14,85
5	15,00	15,50	15,04	15,48	12,55
7	15,43	14,92	14,93	15,04	14,80
9	15,00	15,00	14,97	15,18	14,78
11	15,43	15,50	14,82	14,36	14,89
13	15,43	15,00	15,05	15,24	14,79

Tabell 3.3: Estimerad andningsfrekvens för inomhusförsöket vid andning med 40 andetag per minut.

#	FLIR (MV)	FLIR (Vxl)	Real-Sense	Ximea	UWB
2	40,21	40,00	39,94	40,07	39,80
4	-	-	39,54	40,38	39,80
6	40,51	40,51	39,67	40,49	32,17
8	40,12	40,00	39,88	40,14	39,80
10	40,12	40,51	39,68	40,18	39,77
12	40,12	40,00	39,96	39,97	39,88
14	40,51	40,51	40,01	39,97	-

Tabell 3.4: Noggrannhet angivet i form av medelvärde ( $\mu$ ) och standardavvikelse ( $\sigma$ ) av fel vid estimering av andningsfrekvens med olika sensorer och metoder, beräknat över de olika testfallen (1-14) i inomhusförsöket.

Andning	FLIR (MV)		FLIR (Vxl)		Realsense		Ximea		UWB	
	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$
15	0,32	0,23	0,18	0,25	0,09	0,09	0,25	0,32	0,49	0,81
40	0,26	0,18	0,25	0,25	0,19	0,17	0,19	0,18	1,46	2,85

### 3.3.1.3 Diskussion

Inomhusmätningarna var medvetet tillrättalagda och de genomfördes huvudsakligen i syfte att verifiera att signalbehandlingsmetoderna implementerats korrekt och för att underlätta planering och genomförande av fortsatta försök, bl.a. beträffande upplägg och omfattning i tid, hur mätdata från olika sensorer sparas och dokumenteras. Det var även viktigt att i detta skede identifiera huruvida metoderna var känsliga mot kombinationer av olika kroppsställningar och sensorpositioner.

### 3.3.2 Försök 2

Det andra försöket genomfördes på Markstridsskolan i Kvarn och avsåg rörelsebaserad analys. Den största skillnaden i dessa var att försökspersonen bar ett kroppsskydd. Vår ursprungliga hypotes var att kroppsskyddet gör att bröstorgans rörelser blir mindre tydliga och syftet var att studera hur denna effekt påverkar möjligheten att skatta andningsfrekvensen. I detta försök användes den visuella kameran (Ximea), den djupmätande kameran (RealSense) och UWB-sensorn. Försökspersonen använde även i dessa försök en metronom för att hjälpa denne att hålla den angivna andningstakten.

Försökspersonen antog olika kroppsställningar och ett stativ med sensorer ställdes på olika positioner kring personen. Figur 3.3 visar några exempel på mätsituationer där försökspersonen ligger i olika ställningar och är utrustad med kroppsskydd. Sensorerna placerades vid dessa försök vid sidan av försökspersonen.

#### 3.3.2.1 Resultat

I tabell 3.5 sammanställs resultaten för de mätfall där andningsfrekvensen låg på 15 andetag per minut. De första två mätningarna genomfördes utan kroppsskydd. I de efterföljande fyra mätfallen hade försökspersonen kroppsskydd (plattor) på mage och rygg. Slutligen, i de två sista försöken utrustades försökspersonen även med plattor på sidorna. I tabell 3.6 sammanfattas den noggrannhet som erhöles med de olika sensorerna för olika mätfall.

En god noggrannhet erhöles i dessa mätningar med alla sensorerna. Felet med monokameran var dock högre än vid inomhusförsöken och medelfelet var nästan ett halvt andetag per minut. Detta fel bedöms dock inte förhindra användningen i automatiserade triagestöd utan noggrannheten är tillräcklig. UWB-systemet lyckades estimerade andningsfrekvensen i alla testfall, även då försökspersonen låg på sida. Medelfelet över de olika mätfallen var 0,2 andetag per minut. Den djupmätande RealSense presterade extremt bra i dessa försök och hade en mycket hög noggrannhet i alla testfallen. För vissa kroppsställningar blev andningssignalens (vågformens) amplitud lägre och signalen brusigare, men algoritmerna lyckades trots det estimerade andningsfrekvensen väl.

I figur 3.4 och 3.5 visas två exempel på estimerade andningsvågformer från mätningar med den djupmätande kameran. Försökspersonen hade utrustats med kroppsskydd och låg på rygg och på sida. Vågformens amplitud är i dessa exempel två till tre gånger högre då försökspersonen ligger på rygg.

#### 3.3.2.2 Diskussion

Sammanfattningsvis så indikerar de genomförda försöken att det kan vara möjligt att estimerade andningsfrekvensen med sensorer på exempelvis en UGV eller fyrbent markrobot, även då den skadade har kroppsskydd på sig. Fler försök bör dock genomföras, exempelvis i samband med sjukvårdsövningar, då kroppsskyddet vid dessa kontrollerade försök kan ha varit mer fast åtspant mot kroppen än det är efter flera timmars användning.



Figur 3.3: Bilder från försök 2 (utomhusmiljö).

Tabell 3.5: Resultat av rörelsebaserad estimering av andningsfrekvens med och utan kroppsskydd. Försökspersonen andades med motsvarande 15 andetag per minut.

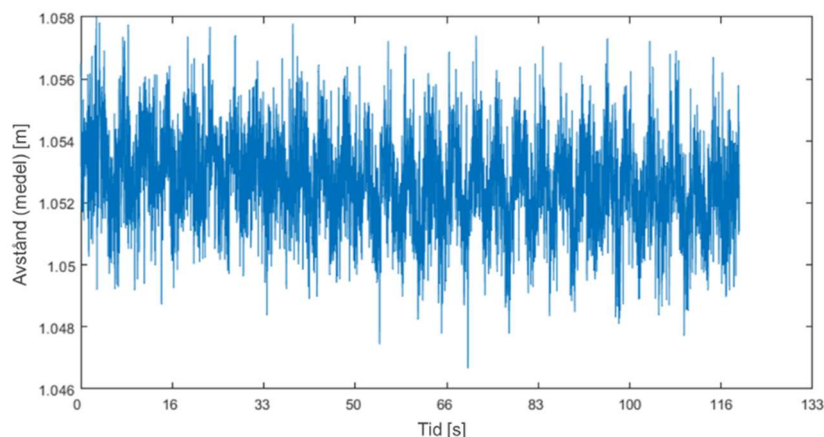
Kroppsskydd	Kroppsställning	RealSense	Ximea	UWB
-	Mage	14,95	14,28	14,89
-	Rygg	15,00	15,12	14,74
Mage/rygg	Mage	15,00	15,12	14,97
Mage/rygg	Rygg	15,01	15,03	14,87
Mage/rygg	Sida-rygg	15,00	14,40	14,35
Mage/rygg	Sida-mage	15,00	14,04	14,88
Mage/rygg/sida	Mage	14,98	14,04	14,97
Mage/rygg/sida	Rygg	15,00	15,12	14,77

Tabell 3.6: Noggrannhet för rörelsebaserad estimering av andningsfrekvens, medelvärdesbildat över de olika kroppsställningarna, vid utomhusförsöket. Medelvärde ( $\mu$ ) och standardavvikelse ( $\sigma$ ) av felet anges.

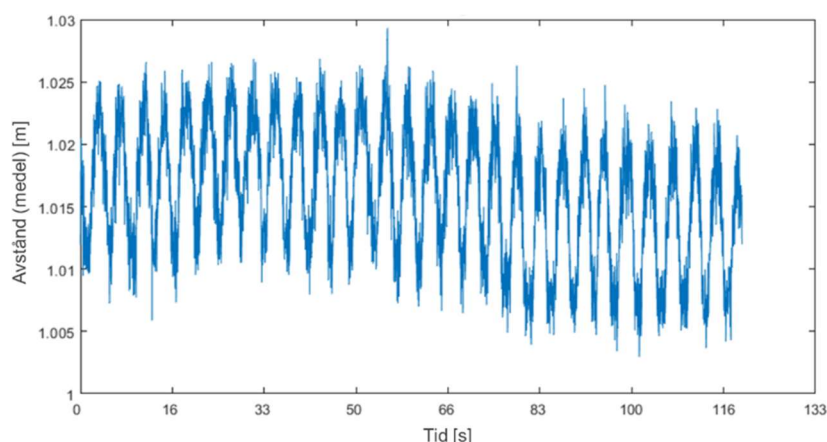
Mätfall	RealSense		Ximea		UWB	
	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$
Utan kroppsskydd	0,03	0,03	0,42	0,42	0,18	0,07
Med kroppsskydd på mage och rygg	0,00	0,00	0,43	0,45	0,23	0,25
Med kroppsskydd på mage, rygg och sida	0,01	0,01	0,54	0,54	0,13	0,10
Alla mätfall	0,01	0,02	0,45	0,47	0,20	0,19

### 3.3.3 Försök 3

Det tredje försöket fokuserade på den termiska analysen av temperaturvariationer kring näsa och mun. Försöket utfördes utomhus på FOI, i soligt väder, med en omgivningstemperatur på ca 5°C och med svag vind.



Figur 3.4: RealSense avståndsmätning som funktion av tid, där försökspersonen ligger på sida-mage.



Figur 3.5: RealSense avståndsmätning som funktion av tid, där försökspersonen ligger på rygg.

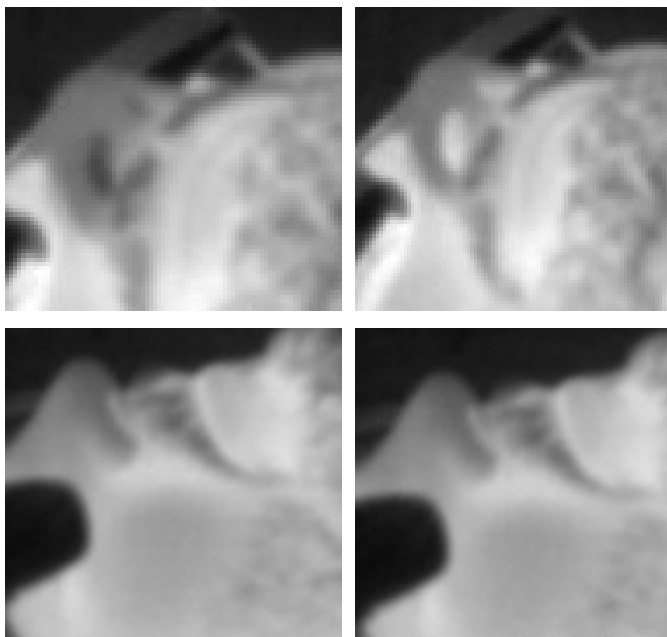
### 3.3.3.1 Resultat

De båda analysmetoderna (medelvärdes- respektive voxelmetoden) tillämpades på data från mätningarna och resultaten presenteras i tabell 3.7. I tabellen avser ”Mage” mätningar med sensorn placerad vid sidan av personens mage och riktad mot huvudet, med näsborrarna fullt synliga i kamerabilderna. På motsvarande sätt innebär ”Huvud” att sensorn var placerad bredvid huvudet, riktad mot detsamma (figur 3.6). Avsikten med denna placering var att studera huruvida andning kunde detekteras och mätas även när sensorn är placerad vid sidan av ansiktet och endast ser den yttersta delen av en näsborre. Försökspersonen andades med en frekvens på 15 andetag per minut.

Noggrannheten vid dessa två mätningar var mycket hög. Det är troligt att den större temperaturkontrasten mellan utandnings- och inandningsluft som uppstår utomhus vid denna temperatur underlättar estimeringen av andningsfrekvensen. Då mätningen baseras på temperaturskillnaderna inuti näsborren antas även påverkan från exempelvis vind vara obetydlig i de flesta fall. Även i situationen då sensorn är placerad vid sidan av ansiktet så lyckas metoden estimeras andningsfrekvensen i detta försök. Den region som då analyseras för värmekontraster under ut- och inandning är den yttersta delen av näsborren.

Tabell 3.7: Resultat från experiment med värmebaserad skattning av andningsfrekvens i utomhusmiljö.

Kameraposition	FLIR A35	
Mage	15,00	15,00
Huvud	15,00	15,00



Figur 3.6: Termisk IR-kamera vid utomhusmätning. Övre bild då sensorn ser in i näsborrarna och nedre där sensorn ser näsan från sidan. Till vänster visas bilder under inandning och till höger vid utandning.

Visuellt är det svårt att se skillnaden vid in- och utandning (figur 3.6). Detta behöver dock utvärderas på ett mer strukturerat sätt med ett större antal mätningar, sensorpositioner och försökspersoner innan det går att ge rekommendationer rörande vilka sensorpositioner det faktiskt finns möjlighet att estimeras andningsfrekvensen.

## 3.4 Slutsatser

Den tilltänkta tillämpningen är att ge underlag för sållningstriage på skadeplatsen. Vid sållningstriage är det kritiskt att veta om den skadade andas eller inte och få en uppskattning av om andningsfrekvensen är normal (vilket för många triagemetoder innebär mellan 10 och 30 andetag per minut). En mätosäkerhet på under ett andetag per minut bedöms vara tillräckligt för denna tillämpning.

Två olika fysikaliska fenomen användes vid estimering av andningsfrekvens, termisk analys och rörelsebaserad analys.

### 3.4.1 Termisk analys

Skattning av andningsfrekvens genom analys av temporala temperaturvariationer inuti näsan till följd av in- och utandning gav konsekvent resultat med hög noggrannhet. I inomhusmiljö med en omgivningstemperatur på omkring 20 grader erhöles skattningar med ett medelfel på 0,18 till 0,32 andetag per minut. Som väntat var det inte heller några problem att mäta andningsfrekvensen med FLIR-kameran även i utomhusmiljö, utan snarare var det förhållandevis kalla och i sammanhanget gynnsamma vädret (5°C) fördelaktigt eftersom det medförde att temperaturkontrasten mellan bakgrund och ett område i ansiktet blev större. Samma mätning skulle troligtvis vara svårare om det istället var betydligt varmare ute, med lufttemperaturer som närmar sig kroppstemperatur. Det kan även finnas situationer då den skadade inte andas genom näsan utan endast genom munnen.

I våra tester kunde inga betydande skillnader observeras vad gäller noggrannhet för de båda utvärderade algoritmerna för termisk analys, medelvärdes- respektive voxelmetoden. Den senare metoden är dock utvecklad för att vara mer robust mot exempelvis temperaturvariationer, vilket kan göra den mer lämpad för dynamiska scenarion. Utmaningen med den metoden är att den ställer högre krav på detektion och följning av näsborren i en



sekvens av bilder. I de genomförda försöken var sensorn statisk och den kunde riktas in mot ansiktet och pixlarna som motsvarade näsborrarna kunde förhållandevis lätt identifieras. I vissa scenarion kommer dock sensorn inte kunna riktas så att den kan se in i näsborren.

### 3.4.2 Rörelsebaserad analys

Vad gäller metoder som bygger på analys av rörelser på framför allt bröst, rygg och mage som uppstår vid andning så är de tämligen robusta mot variationer i kamerans position relativt kroppen. En hög noggrannhet erhöles för alla sensorerna vid de kontrollerade inomhusförsöken, utom i enstaka fall. Då UWB-sensorn var placerad vid försökspersonens fötter och denne låg på sidan erhöles dock ett avsevärt högre mätfel och i vissa fall kunde andningsfrekvens inte skattas. Då utvärderingarna endast baseras på enstaka mätningar bör inte långtgående slutsatser dra utan de bör ses som indikationer på att vissa sensorer kan ha större svårigheter att genomföra en mätning under vissa specifika förhållanden.

Resultaten indikerar att det är möjligt att mäta andningsfrekvens genom rörelseanalys även när en person bär kroppsskydd och antar olika kroppsställningar. I samtliga försök höll sig alla sensorers estimering inom en felmarginal på ett andetag per minut. Noggrannheten för den djupmätande RealSense var i dessa försök högre än i inomhusförsöken. För de andra sensorerna var noggrannheten något lägre men acceptabla skattningar erhöles för alla kroppsställningar. Detta innebär att mätningarna indikerar att förutsättningarna är goda att skatta en soldats andningsfrekvens i stort sett oberoende av personens kroppsställning.

### 3.4.3 Behov av fortsatt forskning

I försöken ombads försökspersonerna andas normalt och jämnt. En risk är att försökspersonen har andats mer djupt och regelbundet (vilket ger en tydligare, cyklisk andningsvågform) när denne har koncentrerat sig på att följa en bestämd andningsfrekvens och andas jämnt. I fortsatta försök bör detta adresseras genom att tillåta olika kombinationer av andningsmönster och andningsfrekvens, samtidigt som en kroppsburen sensor används som facit för att studera hur väl sensorerna presterar när en person andas mer normalt och dra slutsatser om hur olika metoder presterar under olika förutsättningar och för olika andningsmönster. Det är även av intresse att detektera andningsproblem hos den skadade, exempelvis en oregelbunden andning. Detta kan utgöra en utmaning för metoder som baseras på frekvensanalys och detta bör utvärderas.

Med undantag för UWB-sensorn bygger de undersökta mätmetoderna på att sensorer riktas in mot, och automatiskt följer, en utvald del av kroppen varifrån den eftersökta andningsvågformen kan skattas. I det här arbetet antogs att detta steg redan var genomfört. I ett nästa steg bör algoritmerna kompletteras med teknik för att automatiskt detektera (och om den skadade rör sig även följa) relevanta delar på kroppen (Region of Interest, RoI) mot vilka sensorerna automatiskt kan riktas och specifika delar i bilder kan identifieras beroende på vad algoritmerna kräver.

Om andningsfrekvensestimeringen ska utföras av en autonom sensorbärare (UGV, UAV, etc) bör denna således utrustas med funktioner ombord för att (i) detektera och lokalisera personen relativt plattformen, (ii) bedöma personens kroppsställning och (iii) detektera och följa de relevanta kroppsdelarna. Slutligen behöver även autonoma funktioner införas som anpassar plattformens och sensorns position och orientering så att mätningen genomförs på ett gynnsamt område (RoI).

## 4 Övriga aktiviteter

Utöver arbetet med att följa teknikutvecklingen kopplad till obemannade farkoster, och implementering och utvärdering av metoder för estimering av andningsfrekvens, så genomförs även kunskapsinhämtning genom deltagande i internationella forskningssammanhang och semistrukturerade intervjuer. Dessa aktiviteter pågår och resultaten kommer att presenteras senare under projektets gång.

### 4.1 Intervjubaserad kunskapsinhämtning

Med start i november 2022 kommer ett antal semistrukturerade intervjuer att genomföras med personer som inom sitt yrkesutövande bedrivit eller kommit i kontakt med beslut kring evakuering av skadade. Antalet intervjuer kommer att avgöras primärt av tillgången till intervjupersoner med relevant bakgrund och erfarenhet. Resultaten av intervjuerna förväntas, tillsammans med andra kompletterande kunskapsinhämtningsaktiviteter, ge ett viktigt kunskapsunderlag inför framtida kravställning och anpassning av obemannade farkoster som kan öka säkerheten vid obemannade sjuktransporter. Den samlade kunskapsinhämtningen ska även ge underlag för utveckling av relativa riskbedömningar inför beslut om sjuktransporter som genomförs med obemannade farkoster.

Målen med intervjuerna är att: *(i)* identifiera logistiska utmaningar med markgående autonoma sjuktransporter, *(ii)* öka förståelsen för hur och när markgående autonoma farkoster (UGV:er) kan fungera som ett komplement till medicinska sjuktransporter (fältambulans och helikopter) och *(iii)* identifiera de medicinska förutsättningarna för en framgångsrik evakuering med hjälp av UGV:er.

De forskningsfrågor som ligger till grund för intervjuerna är:

- Till vilken grad kan markgående obemannade sjuktransporter avlasta / komplettera de traditionella sjuktransporterna vid transport från skadeplats till kompani- eller bataljonssamlingsplats?
- Vilka är de medicinska förutsättningarna / begränsningarna för markgående obemannade sjuktransporter vid genomförandet av taktiska sjuktransporter?

Intervjupersonerna förväntas primärt komma från Försvarsmakten och regionerna. Intervjun förväntas ta ungefär en timme och den är centrerad kring tre scenarion: ett fåtal skadade i svårgeotränglig terräng, masskadescenario i urban miljö samt ett scenario med kontaminering med kemiska stridsvapen (C-kontaminering) kombinerat med traumaskador. Intervjupersonen presenteras med olika alternativ för hur sjuktransporten kan genomföras och får fatta beslut om hur denna bör göras, därefter får hen förklara vilka parametrar som påverkade beslutet. I slutet av intervjun får intervjupersonen berätta om sina egna tankar och önskemål gällande utformningen av UGV:er för sjuktransporter.

### 4.2 Nato HFM-332

Natogruppen HFM RTG-332 "Development and Implementation of Autonomous Transport and Medical Systems for Casualty Evacuation" avser studera möjligheterna att i multidomänoperationer vid stora skadeutfall förstärka sjuktransportresurserna genom att använda obemannade farkoster. Även möjligheterna till automatiserad vård under transport (en-route care) kommer att studeras.

Arbetet i gruppen har försenats kraftigt på grund av pandemin. Ett videomöte genomfördes i april 2022 för att påbörja planeringen av arbetet i gruppen. En trolig första uppgift blir att ta fram en för Natoländerna gemensam initial förmågebeskrivning (Initial Capabilities Document, ICD) och tillhörande gap-analys för autonom transport och vård under transport. Planen är att nästa videomöte ska genomföras under december månad.

## 4.3 NIGHTINGALE

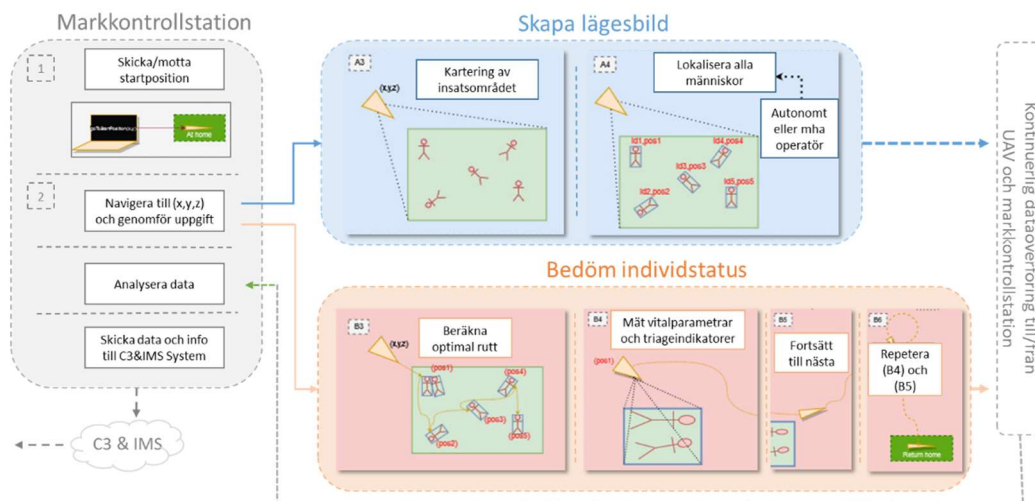
NIGHTINGALE är ett treårigt EU-finansierat forskningsprojekt som startade i oktober 2021.<sup>46</sup> Målet är att tillhandahålla avancerad prehospital vård och triage vid masskadesituationer. Detta ska åstadkommas genom att t.ex.:

- förbättra utvärderingen av skadade personer (triage), bl.a. med hjälp av digital identifiering, spårbarhet, snabbare diagnos, kontinuerlig övervakning och klassificering av medicinska tillstånd,
- optimera prehospitalstöd, skadekontroll och resursutnyttjande med hjälp av AI-baserade lösningar och
- möjliggöra delad respons mellan räddningstjänster, samt förbättra kommunikationen mellan räddningsteam och skadade, genom att utveckla verktyg för förstärkt verklighet (Augmented Reality) för räddningstjänstens personal.

FOI:s roll i projektet är att tillhandahålla UAV-baserade funktioner som kan stödja räddningstjänstens personal vid masskadescenarion. Det är vid företrädesvis två faser som dessa kan fungera som stöd till räddningstjänstpersonalen, dels för att generera en lägesbild och dels för att bedöma individstatus (figur 4.1).

Vid den initiala fasen av ett masskadescenario handlar uppgiften om att snabbt skapa en lägesbild. Den UAV-baserade funktionaliteten syftar då till att få en s.k. *vindruterapport* av skadeplatsen. Data såsom omgivande miljö, skadeplatsutbredning, antal drabbade personer, positioner och initial grov uppskattning av skadeläge baserad på personernas kroppspositioner och aktivitet (ligger ner, står stilla, rör på sig) tas fram.

Vid ett senare läge handlar det om att räddningstjänstpersonal behöver bedöma individers skadeläge. Ibland är det för farligt för personalen att närma sig de skadade, alternativt befinner sig de skadade på en plats som gör det utmanande för räddningspersonal att ta sig dit snabbt. I dessa situationer är det intressant att kunna skicka en autonom farkost som automatiskt kan estimerar vitalparametrar såsom andnings- och hjärtfrekvens.



Figur 4.1: Konceptuell bild av FOI:s del i projektet NIGHTINGALE som visar exempel på den UAV-baserade funktionalitet som kommer att tillhandahållas. De blå rutorna symboliserar framtagandet av lägesbild. De rosa rutorna symboliserar den UAV-baserade individbedömningen av vitalparametrar. Det tänkta systemet utgörs av (minst) två olika UAV:er samt en markstation som tar emot och analyserar sensordata (i realtid). Markstationen är även ansvarig för kommunikationen till och från systemet (Command, Control and Coordination & Incident Management System, C3&IMS).

<sup>46</sup> Novel Integrated Toolkit for Enhanced Pre-Hospital Life Support and Triage in Challenging and Large Emergencies. För mer information om projektet, deltagare i konsortiet och mål se [www.nightingale-triage.eu/](http://www.nightingale-triage.eu/) (besökt 2022-11-22).

Under året som projektet har pågått har verksamheten framförallt inriktats mot att designa en systemarkitektur och en UAV som klarar av icke-standardiserade sensorkonfigurationer. Befintliga djupinlärningsmetoder för lägesbedömning och vitalparameterestimering har även identifierats och utvärderats. Vitalparameterestimeringen har framför allt inriktats mot estimering av hjärtfrekvens med en kamera placerad på en UAV.

#### **4.4 European Defence Fund (EDF)**

FOI deltar med 18 andra partner i en ansökan kopplad till EDF:s utlysning "EDF-2022-RA-MCBRN-HICP: Diagnostics, treatment, transport and monitoring of highly contagious, injured and/or contaminated personnel". Ansökan syftar till att förbättra sjukvård i fält genom att evakuera skadade, snabbt diagnostisera livshotande skador, tillhandahålla livräddande insatser och säkerställa att skadade transporteras på ett säkert sätt till samlingsplatser och sjukvårdsanläggningar. Projektet ska förbättra dessa områden genom att primärt studera, utvärdera och utveckla autonoma och semi-autonoma teknologier. FOI planerar primärt att delta i utveckling av robotassisterad triage (med UAV eller UGV) som utförs genom mätning av fysiologiska parametrar samt CBRN-frågeställningar (symtomtolkning/toxidrom, indikering, fysiskt skydd samt person- och materialsanering). Om projektet erhåller finansiering kommer det att påbörjas tidigast under hösten 2023.



## 5 Slutsatser

Rapporten ger en sammanfattning av den forskning som genomförts i FoT-projektet Autonom CASEVAC under 2022. Den internationella utvecklingen av olika typer av obemannade farkoster som kan komma att användas för sjuktransporter beskrivs, där fokus är på det senaste årets utveckling. Inriktningen för de pågående kunskapsinhämtningsaktiviteterna beskrivs även kortfattat. Huvuddelen av rapporten fokuserar dock på en genomförd utvärdering rörande möjligheterna att estimeras andningsfrekvens på distans.

De genomförda försöken pekar på att det är möjligt att använda sensorer på obemannade farkoster för att estimeras vitalparametrar på distans (korta avstånd). Tekniken har visat sig ge god noggrannhet även under svårare förhållanden men de olika sensorerna är associerade med olika svårigheter som vid specifika mättillfällen kan försvåra eller omöjliggöra mätningar med dessa. Den termiska sensorn är med de undersökta metoderna beroende av att den kan se den skadades näsborrar, vilket inte alltid kommer att vara möjligt. Andra metoder kan utvärderas som ett komplement för dessa situationer, där exempelvis utandningsluften utanför näsa och mun mäts. UWB-systemet visade försämrade prestanda i inomhusmätningarna då personen låg på sida men lyckades väl då personen bar kroppsskydd. Likväl bör andra sensorer användas primärt då den skadade ligger på sida tills fler utvärderingar har genomförts. Den djupmätande sensorn (RealSense) gav konsistent mycket goda resultat och den kan exempelvis kombineras med en termisk sensor för ökad redundans. Djupmätande sensorer är vanligt förekommande på framförallt markrobotar såsom Boston Dynamics Spot och Quadruped A1. Bedömningen är att det genom att kombinera flera sensorer finns goda möjligheter att estimeras exempelvis andningsfrekvens även under fältmässiga förhållanden.

Även om experimenten har visat att de valda angreppssätten kan användas för att ge tillförlitliga skattningar behöver mer omfattande och varierande försök genomföras för att kvantifiera prestanda under fler och svårare förutsättningar. Många relevanta faktorer har i årets experiment medvetet hållits så konstanta som möjligt, och endast data från ett fåtal försökspersoner har samlats in.

Sammantaget ger årets verksamhet vid handen att skattning av andningsfrekvens med den undersökta tekniken är möjlig, och detta med sensorer som är komplementära till sin natur och dessutom kompakta, vilket möjliggör ett nästa steg i form av försök med obemannade plattformar som sensorbärare.



## Referenser

- [1] J. Rantakokko, M. García Lozano, G. Tolt, L. Thors och A. Bucht, *Evakuering av skadade med obemannade farkoster – Förstudie*, Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI-R--5288--SE, januari 2022.
- [2] *Totalförsvarets sjukvårdssystem - En civil-militär förmågeutveckling inom hälso- och sjukvårdssektorn genom hela hotskalan*, Socialstyrelsen och Försvarsmakten, FM2016-16189:15 och SoS 11.1-30361/2017.
- [3] *Logistik Målbild 2025*, Försvarsmakten, FM2017-3853:3, december 2018.
- [4] Y. Robinson (red.) och M. García Lozano (red.) *et al.*, *AI och framtidens försvarsmedicin*, Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI-R--504--SE, november 2020.
- [5] J. Rantakokko, F. Näsström, J. Nygårds, K. Bengtsson och R. Woltjer, *Tekniköversikt autonoma och obemannade system - Del 2: Markstriden*, Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI-R--4901--SE, november 2019.
- [6] J.K. Maddry *et al.*, "Advancing Prehospital Combat Casualty Evacuation: Patients Amenable to Aeromedical Evacuation via Unmanned Aerial Vehicles", *Military Medicine*, februari 2021.
- [7] *Safe Ride Standards for Casualty Evacuation Using Unmanned Aerial Vehicles*, NATO STO Technical Report, STO-TR-HFM-184, december 2012.
- [8] T. Mitchell, *Concept Development of a Modular Automated Care Stretcher*, Defense Science and Technology Group, Australian Department of Defense, juni 2019.
- [9] Y. Cho, S. Julier, N. Marquardt och N. Bianchi-Berthouze, "Robust tracking of respiratory rate in high-dynamic range scenes using mobile thermal imaging," *Biomedical Optics Express*, vol. 8, pp. pp.4480–4503, oktober 2017.
- [10] V. Rask, *On the Use of Thermal and Depth Sensors to Monitor Vital Parameters in Mass Casualty Incidents*, M.Sc. Thesis, Örebro Universitet, 2022.



FOI är en huvudsakligen uppdragsfinansierad myndighet under Förvarsdepartementet. Kärnverksamheten är forskning, metod- och teknikutveckling till nytta för försvar och säkerhet. Organisationen har cirka 1000 anställda varav ungefär 800 är forskare. Detta gör organisationen till Sveriges största forskningsinstitut. FOI ger kunderna tillgång till ledande expertis inom ett stort antal tillämpningsområden såsom säkerhetspolitiska studier och analyser inom försvar och säkerhet, bedömning av olika typer av hot, system för ledning och hantering av kriser, skydd mot och hantering av farliga ämnen, IT-säkerhet och nya sensorers möjligheter.

---



FOI  
Totalförsvarets forskningsinstitut  
164 90 Stockholm

Tel: 08-55 50 30 00  
Fax: 08-55 50 31 00

[www.foi.se](http://www.foi.se)