



FOI MEMO

Projekt/Project
RPAS-mindre fjärrstyrd CBRN-
underrättelsefarkost

Sidnr/Page no
1 (14)

Projektnummer/Project no Uppdragsgivare/Client
E415406 Försvarsmakten/FMV
FoT-område
Inget FoT-område

Författare/Author
Håkan Wingfors, Andreas Forsberg, Per-Åke
Gradmark, Tobias Tengel, Göran Ågren, Peder
Arvidsson

Datum/Date Memo nummer/Number
2024-10-28 FOI Memo 8600

Slutrapport-RPAS mindre fjärrstyrd CBRN-underrättelsefarkost



Titel/Title
Slutrapport-RPAS mindre fjärrstyrd CBRN-underrättelsefarkost

Memo nummer/Number
FOI Memo 8600

1 Inledning

Den här rapporten beskriver fältförsök genomförda i syfte att ta fram mätmetodik där fjärrstyrda drönare (UAV, RPAS) med monterade CBRN-sensorer används i spaningssyfte. Förra året (2023) genomfördes fältförsök med fokus på att undersöka potentiellt CBRN-kontaminerade objekt eller ytor¹. Det här året var huvudsyftet att ta fram spaningsmetodik för kontaminerade vägsträckor.

Bakgrunden till projektet är att i den kommande organisationen för armén (Arméorganisation-25) ska Försvarsmakten (FM) ha förmåga till spaningsuppdrag med CBRN-UAV. Detta kan realiseras i form av en CBRN-UAV-grupp. Även om den tekniska specifikationen eller kravställning för förmågan inte är helt fastlagd har FM, FMV och FOI påbörjat aktiviteter inom omvärldsbevakning² och genomfört studiebesök³ för att öka vår kunskap. Kontakter har också upprättats med försvarsorganisationer och tillverkare som arbetar med dessa förmågor.

Den främsta nyttan med en kameraförsedd drönare är att den ger en aktuell lägesbild från säker plats. För Försvarsmakten finns även en önskan att integrera CBRN-sensorer på drönare för att också upptäcka hot eller ämnen som kan utgöra en fara för militära förband. Både kameror och CBRN-sensorer kan ge en höjd förmåga att verka i kontaminerade miljöer, samt att bibehålla ett informationsövertag och därmed ge möjlighet till ökat handlingsutrymme. Trots att drönare blir alltmer förekommande på slagfältet, och att teknikutvecklingen går mot mindre och mer autonoma sensor-system, är underlaget för en funktionell integrering av CBRN-sensorer på UAV:er i en militär kontext delvis outredd. För att genomföra realiserbarhetsstudier i fältmiljö köptes ett färdigt drönarsystem av multirotortyp med integrerade sensorer för R och C.

Slutsatserna från försök genomförda under 2023 var att det var relativt lätt att upptäcka utplacerade radioaktiva strålkällor (radiakpreparat) med en R-sensor monterad på ovanstående multirotor-drönare¹. Med flera radiakpreparat utplacerade på en yta av ca 15 hektar kunde en detaljerad kartering av stråldoshastighet erhållas efter 24 minuters flygning. Med flygningar på olika höjd (<120 m) och med olika hastigheter (<14 m/s, maxhastighet för drönaren) fann vi att R-sensors kombination av en NaI-scintillationsdetektor och ett GM-rör var fullt tillräckliga att upptäcka områden med förhöjd radioaktivitet. För områden belagda med kvarliggande kemiska ämnen var känsligheten med den aktuella C-sensorn (multigasvarnare) i huvudsak otillräcklig. Det krävdes ofta hovring på mycket låg höjd, alternativt att drönaren landade för att sensorn skulle ge pålitlig respons. Vi drog därför slutsatsen att en annan typ av sensor skulle vara nödvändig för att mäta kemiska stridsmedel och har därefter arbetat med inriktningen att integrera sensorer baserade på jonrörlighetsspektroskopi (IMS).

I den här rapporten sammanfattas metoder, resultat och erfarenheter från fältförsök genomförda under vinterförhållanden (vecka 412) och barmarksförhållanden (vecka 424 och 436). Under vinterveckan genomfördes huvudsakligen funktionstester kopplade till flygning i kall temperatur. För de två andra veckorna var huvudsyftet att utveckla metodik för att med hjälp av sensorförsedda drönare spana (rekognosera) vägsträckor kontaminerade med radioaktiva (endast gammastrålande) eller kvarliggande kemiska ämnen.

Projektet, som beställts av Försvarsmakten, var tvåårigt och detta är andra året för detta projekt. I en tilläggsbeställning tillfördes medel för att integrera drönaren med en känsligare mätteknik för kemiska stridsmedel. Resultaten för tilläggsbeställningen presenteras också i den här rapporten.

2 Försöksupplägg

Under tre övningsveckor (412, 424 respektive 436) genomfördes fältförsök på avlysta delar av Umeå skjutfält med drönare som kunde förses med R- eller C-sensorer. Maximal flyghöjd sattes till 120 m. I dialog med Försvarsmakten genomfördes ett antal andra tester med avseende på taktisk användning i spaningssyfte. Dessa redovisas i resultatdelen.

Titel/Title
Slutrapport-RPAS mindre fjärrstyrd CBRN-underrättelsefarkostMemo nummer/Number
FOI Memo 8600

2.1 CBRN-spaningsmetodik för väg

Små och billiga drönare har fått en alltmer framträdande roll i modern krigföring⁴. De kan användas på många olika sätt men små kameraförsedda drönare är lämpliga för spaningsfunktioner. Om ett område eller vägsträcka är kontaminerad med CBR-ämnen kan skyddsåtgärder behöva vidtas för att en trupp ska kunna passera. Ett sätt att genomföra spaning eller rekognosering är att en fot- eller fordonspatrull utrustade med detektionsinstrument används. Detta kan vara tidsödande och i den här rapporten vill vi utreda möjligheter att använda R- och C-sensorer på drönare för att genomföra detta under kortare tid. Drönare kan ha olika fördelaktiga flyghöjder och hastigheter beroende på terräng och de motmedel en fiende förväntas använda för att störa ut drönaren. Oavsett detta kommer flyghöjden vara en avvägning mellan att stöta på fysiska hinder och att maximera sannolikheten att detektera strålning eller kemiska ämnen. De multitortordrönare vi använder i dessa försök är lämpliga för lokal spaning med avseende på storlek och räckvidd.

2.2 UAV och sensorer

För försöken användes primärt en tidigare beskriven drönare, en quadcopter, Skyranger R70 från Teledyne FLIR med R-sensor (identiFINDER-R430)¹, vidare kallad **R 1**. För att möjliggöra montering för fler sensorer användes också en annan typ av quadcopter (DJI, Matrice 350) som har möjlighet att ha en bredare monteringsplatta på undersidan. Den har möjlighet att behålla sin gimballkamera när sensorer är monterade, men är i övrigt mycket lik Skyranger R70 avseende nyttolast och flygprestanda. Denna användes i huvudsak för att bära C-sensorer, men även för en begränsad serie tester med ett monterat handburet strålskyddsinstrument, ChemProX RDM, vidare kallad **R 2**. Dessutom användes några mindre drönare (bland annat Parrot Anafi) för att filma moment i kontaminerad zon, men även som navigationsstöd vid precisionsflygning.

Två olika jonrörlighetsspektrometrar (eng. ion mobility spectroscopy, IMS) förbereddes för att kunna monteras på drönare. Förra året användes en PID-sensor (en del av multigassensorn MUVE C360) och då användes similiämnen baserade på kolväten. Den ena sensorn var en ChemProX (*Bertin Environics*), härfter kallad **IMS 1**, var helt förberedd för montering på mobil enhet genom att levereras med en enhet dit sensordata skickas. Den andra sensorn, **IMS 2**, var en LCD 3.2e (*Smiths Detection*) som inte var förberedd för att skicka data till drönaroperatören men sparade sensordata lokalt. Båda sensorerna bygger på IMS, men de bildade jonerna separeras och analyseras på något olika sätt⁵. Initiala tester på laboratorium visade att IMS 2 var mer känslig och hade snabbare responstid än IMS 1 för det använda similiämnet metylsalicylat (MES). Därmed kan olika responser i fältmiljö också förväntas. Huvudsyftet med dessa drönartester var inte att utvärdera prestanda mellan dessa sensorer och inga tester med skarpa ämnen genomfördes.

2.3 Vinterförsök

Huvudsyftet med vinterförsöken var att testa hur kyla påverkade drifttid, funktion hos sensorer och handhavande. Detta innefattar exempelvis signalpåverkan, start och landning i djupsnö och val av handskar för piloten. Under vinterförsöket användes endast Skyranger R70 som drönarplattform med tillhörande sensorer.

2.4 Försök med radioaktiva ämnen

Förutsättningarna för försök var goda både vecka 424 och vecka 436 och erfarenheterna från vecka 424 användes till viss del för förberedelser och tester inför vecka 436. Studierna var begränsade till gammastrålning och resultaten för de mätningarna går inte att översätta till laddade partiklar (i huvudsak elektron- och alfastrålning). Om inte annat nämns är mätningarna gjorda med sensorn **R 1**.

Titel/Title
Slutrapport-RPAS mindre fjärrstyrd CBRN-underrättelsefarkost

Memo nummer/Number
FOI Memo 8600

2.4.1 Vecka 424

Vid R-försöken vecka 424 användes sex stycken av försvarsmaktens Radiakpreparat 2 för att efterlikna en linjekälla längs en vägsträcka. Radiakpreparat 2 består av en ^{60}Co -strålkälla (gammastrålning med energi 1173 och 1332 keV). Tre av strålkällorna hade vid försöken aktiviteten 2,7 GBq och tre hade aktiviteten 8,1 GBq. Strålkällorna placerades längs en väg med 50 meters mellanrum (i ordning 8,1 Gbq, 2,7 GBq, 2,7 GBq, 8,1 Gbq, 2,7 GBq, 8,1 Gbq). Överflygningar genomfördes tvärs över vägen i höjd med halva vägsträckan och parallellt med vägen på avstånden 0, 50, 100, 200 och 300 meter i sidled. Flyghöjderna varierades mellan 30-120 meter ovanför vägen. För att jämföra med uppmätta värden, och för att senare kunna överföra resultaten till andra mer sannolika markbeläggningar, gjordes en Monte Carlo-modell av geometrin där de sex strålkällorna simulerades. Dessutom genomfördes mätning med **R 2** under hovring och överflygningar på olika höjder ovanför en strålkälla med 1,5 GBq ^{137}Cs (gammastrålning med energi 662 keV).

2.4.2 Vecka 436

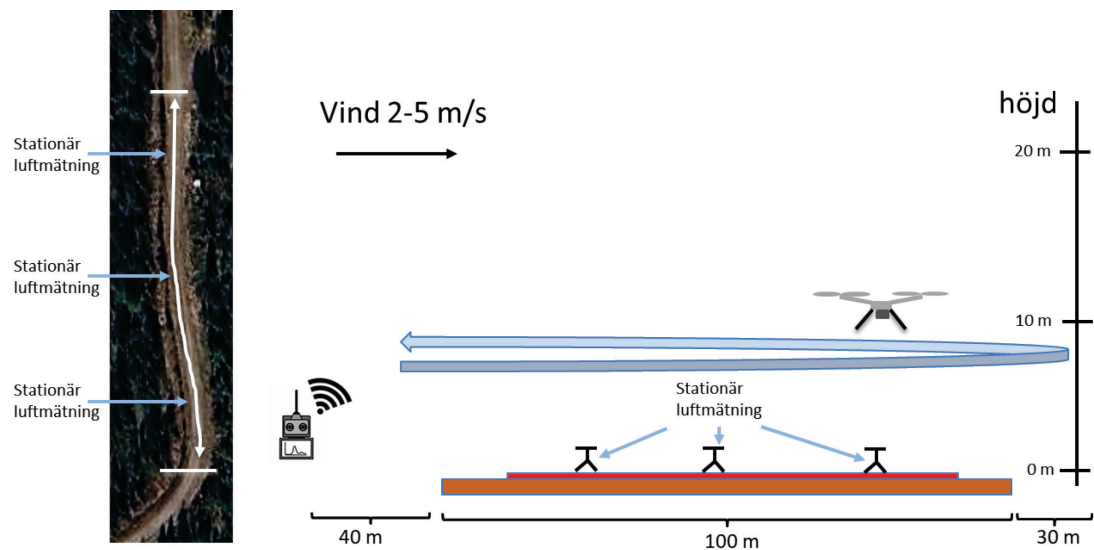
Under försöken vecka 436 belades en vägsträcka av 240 m längd och 4 m bredd med en vätskeblandning innehållande radioaktivt $^{99\text{m}}\text{Tc}$. $^{99\text{m}}\text{Tc}$ är en gammastrållare (140,5 keV) med kort halveringstid (6,01 h). Vägen bestod av en hårt packad grusväg och var i stort sett en raksträcka. Totalt 50 GBq $^{99\text{m}}\text{Tc}$ blandades i 100 liter vatten och fördelades över vägen med en fordonsdragen spridare. På var sida om vägen fanns ett öppet parti med en bredd av ca 8 m och därefter en relativt homogen blandskog med 15 m höga träd. Den teoretiskt erhållna aktivitetskoncentrationen av $^{99\text{m}}\text{Tc}$ blev 43,4 MBq/m² vid referenstid kl 12:00 på försöksdagen. Alla mätvärden som presenteras gällande radioaktivitet i denna rapport är korrigerade till denna referenstid, samt bakgrunds-korrigerade (förutom karteringsbilder till vänster i figur 5). Före och efter utspridning genomfördes referensmätningar av doshastighet på 1 meters höjd över marken (s.k. marknivå) med ett högkänsligt strålskyddsinstrument (Automess 6150 AD 6/H med prob 6150 AD b/h, kalibrerat vid riksmätplatsen, Strålsäkerhetsmyndigheten). Ett nätverk av NaI-gammaprober (Högkänslig Gammadetektor I28, Försvarsmakten) ställdes längs med vägen för att observera ifall variationer i kontamination på olika delar av vägsträckan uppstod under försökets gång. Värdena användes också för att verifiera att en jämn markbeläggning erhållits. Vädret var under försöket klart med en temperatur omkring 14-16 °C och uppehåll. Med drönare genomfördes en utförlig kartering (täta mätpunkter) med linjeflygningar, samt hovrande mätningar centralt över och längs med vägen och tvärs över området. Olika hastigheter och höjder användes vid mätningarna. För att senare kunna överföra resultaten till andra mer sannolika radionuklider simulerades den utspridda strålkällan med Monte Carlo-modellering i programvaran MCNP6.2⁶. I modellen fördelades ämnet homogent 1 cm ner i en grusyta omgiven av schematisk skog på var sida.

2.5 Försök med kemiska ämnen

Vägsträckan valdes ut för att representera en grusväg genom ett skogslandskap och därmed uppstod ett visst vindskydd från sidan på grund av träden. För de dagar då spridning och försök genomfördes var det svaga sydliga vindar (1-5 m/s) vilket var längs med vägens sträckning (se figur 1). En vägsträcka om drygt 100 meter och ca 4 meters bredd belades med droppar av MES motsvarande en belägningsgrad av 10 g/m². Detta motsvarar en nivå som representerar en realistisk kontaminering och används bland annat vid saneringsförsök⁷. För att kontrollera belägningsgraden användes invägda och jämnt utlagda pappersark på vägsträckan. Tvättade stenar placerades i hörnen och efter beläggning vägdes pappersarken igen. Luftkoncentrationer av MES mättes på tre ställen längs vägsträckan, på två höjder (30 cm och 150 cm), med stationär provtagning. För detta användes renade tenaxrör och luftprovtagningspumpar kalibrerade till ett flöde av 100 ml/min. Tenaxrören analyserades med avseende på mängden MES med termisk desorption kopplad till GC/MS. På detta sätt kan en ungefärlig koncentration uppmätas i andningszonen för en liggande och stående skyttesoldat. I figur 1 återges en schematisk skiss över grusvägen från ovan och sidan.

Titel/Title
Slutrappport-RPAS mindre fjärrstyrd CBRN-underrättelsefarkost

Memo nummer/Number
FOI Memo 8600



Figur 1. Grusvägen där drygt 100 m belades med droppar av ett similiämne (MES). Till vänster är grusvägen sedd ovanifrån och till höger från sidan. Drönaren med två IMS-sensorer genomförde överflygningar på olika höjd och med olika hastighet.

Förra året användes både en mer okänslig detektor (PID) och similiämnen som mer efterliknade flyktiga stridsmedel, såsom sarin. Med IMS är mer känslig blir det nu möjligt att utnyttja similiämnen som efterliknar stridsmedel med lägre ångtryck, såsom senapsgas och tabun. I tabell 1 ges några fysikaliska parametrar för dessa och similiämnet MES.

Tabell 1. Fysikaliska data på similiämnen som användes under C-försöken.

Ämne	#CAS	Ångtryck*	kokpunkt
Metylsalicylat	119-36-8	0,014 kPa	222 °C
Senapsgas	505-60-2	0,014 kPa	217 °C
Tabun	77-81-6	0,008 kPa	240 °C

*vid 25°C, 101,3 kPa

Eftersom förra årets resultat pekade på att det krävdes hovring på låg höjd, eller helst landning för att få detektorrespons, kunde nu flygning på högre höjder och i högre hastigheter genomföras. Efter beläggning genomfördes ett flertal flygningar med båda IMS-instrumenten på samma drönare. **IMS 2** kan ställas in så att ett tydligt och karaktäristiskt ljudlarm ges vid responsen och **IMS 1** kan ge både ett ljudlarm men även ett visuellt larm i handenheten hos drönpiloten. Däremot var det svårt att höra dessa larm på längre avstånd. En grupp kadetter utrustade med AP2C, LCD samt indikeringspapper på stövlar och pinnar genomförde en fotpatrull över vägsträckan.

3 Resultat, erfarenheter och diskussion

De viktigaste resultaten presenteras här i huvudsak i textform samt i figurer baserade på insamlade mätvärden, för en ökad läsbarhet.

3.1 Vinterförsök

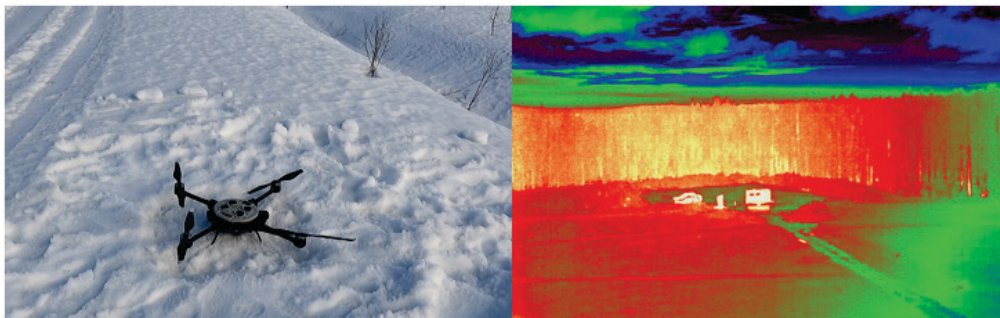
För att utreda om batteriprestandan försämrats i kyla förvarades vissa batterier utomhus vid en temperatur om ca -1 °C och andra i inomhustemperatur vid ca 20 °C. En flygrutt konstruerades där drönaren flög i 11 minuter på 20 meters höjd med en hastighet av 5 m/s. Drönaren lyfte från samma

Titel/Title
Slutrapport-RPAS mindre fjärrstyrd CBRN-underrättelsefarkost

Memo nummer/Number
FOI Memo 8600

position och batterinivåerna lästes av vid landning för jämförelse. Fyra flygningar genomfördes, två med varma batterier och två med kalla. Ingen prestandaförsämring kunde noteras vid jämförelsen då det bara skiljde några få procent mellan de olika försöken (33-37 % kvar). En uppsättning batterier förvarades i frys (-12 °C) över natt och anlände i kylbox med kylklampar morgonen därpå. Samma flygrutt upprepades med 33-34 % batterikapacitet kvar vid landning. Ingen prestandaförsämring noterades för batterierna, och den uppvärmning som sker av dem är tillräckligt effektiv för att den ursprungliga lagringstemperaturen ska påverka prestandan nämnvärt. Långtidseffekter av lagrings-temperatur och laddningscykler har inte undersökts.

R 1 testades under vinterförsöket. En strålkälla bestående av 1,5 GBq ^{137}Cs placerades ut på skjutfältet och olika flygmönster testades samt positionsmätningar på olika höjder upp till 120 meter. Ingen försämring av sensorresponsen noterades jämfört med tidigare försök vid högre temperaturer. Multigassensorn, MUVE360, monterad på Skyranger R70 testades i ett cirkulärt flygmönster på skjutfältet under snöfall. Bakgrundsmätningar genomfördes där ingen negativ effekt av kyla eller nederbörd kunde noteras.



Figur 2. Bild på drönare som landat i snö samt en bild tagen med värmekamera kontrollerad av en andrepilot (se övriga tester 3.4) under vinterveckan.

Drönanmanövrering kräver precision och det är lätt att frysa om händerna. Därför utfördes tester med fyra olika handskar vid vinterförsöket: två tjockare från Försvarmakten (figur 3), en vinteranpassad drönanhandske och en fingervante för mobiltelefoner. De tjockare handskarna gjorde att det blev mer svårarbetat med handenheten då pekpenan var väldigt svår att få grepp om. Fingervanten fungerade bättre men då blev kylan snabbt ett betydande problem.



Figur 3. Två av Försvarmaktens vinterhandskar vilka testades under försöket.

3.2 Vägspaningsmetodik för radioaktiva ämnen

Försöken visar på väldigt goda förutsättningar att detektera gammastrålning på väg. Studierna visar också att simuleringar kan nyttjas som ett kraftfullt verktyg för att testa geometrier, radioaktiva ämnen och detektorsystem som är olämpliga eller otillgängliga för fysiska tester i fält. Vissa

Titel/Title

Slutrappport-RPAS mindre fjärrstyrd CBRN-underrättelsefarkost

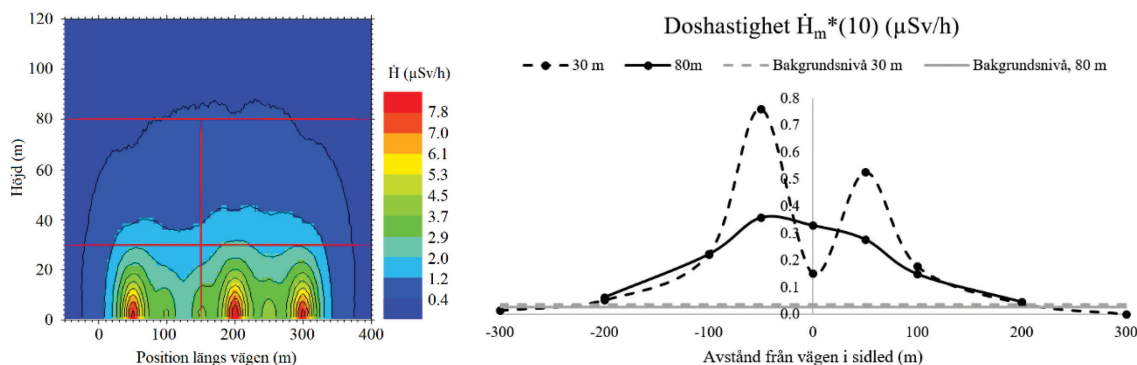
Memo nummer/Number

FOI Memo 8600

aspekter av mätförmåga, exempelvis en detektors responstid i kombination med flyghastighet som ger en temporal utsmetning av signalen, simuleras dock inte, men kan beräknas matematiskt.

3.2.1 R-försök vecka 424

Vid flygning längs med väg erhöles mätbara doshastigheter upp till maximala flyghöjden, 120 m (tabell 2). Flygningarna längs med vägen vecka 424 har även återskapats med en Monte Carlo-simulering. Figur 4 (t.v.) visar ett exempel på doshastighetsfält som kan beräknas på detta sätt, samt några av de mätningar som gjordes med drönaren (Figur 4 t.h.). Mätningarna visar att flyghöjden spelar mindre roll då avstånden till strålkällan ökar samt att det krävdes över 200 m avstånd från vägen i sidled innan doshastigheten var nere på bakgrunds nivåer.



Figur 4. Stråldoshastighet över väg simulerad i MCNP (t.v.), där horisontell axel är längs med vägen och vertikal axel är höjd i meter. Grafen (t.h.) anger de med drönare uppmätta doshastigheterna tvärs med vägen vid punkter i sidled (-300 till 300 meter), för 30 och 80 m flyghöjd. Anledningen till att värdet rakt ovanför mittpunkten (0 m) är lågt beror på den skärmande pluggen på Radiakpreparat 2.

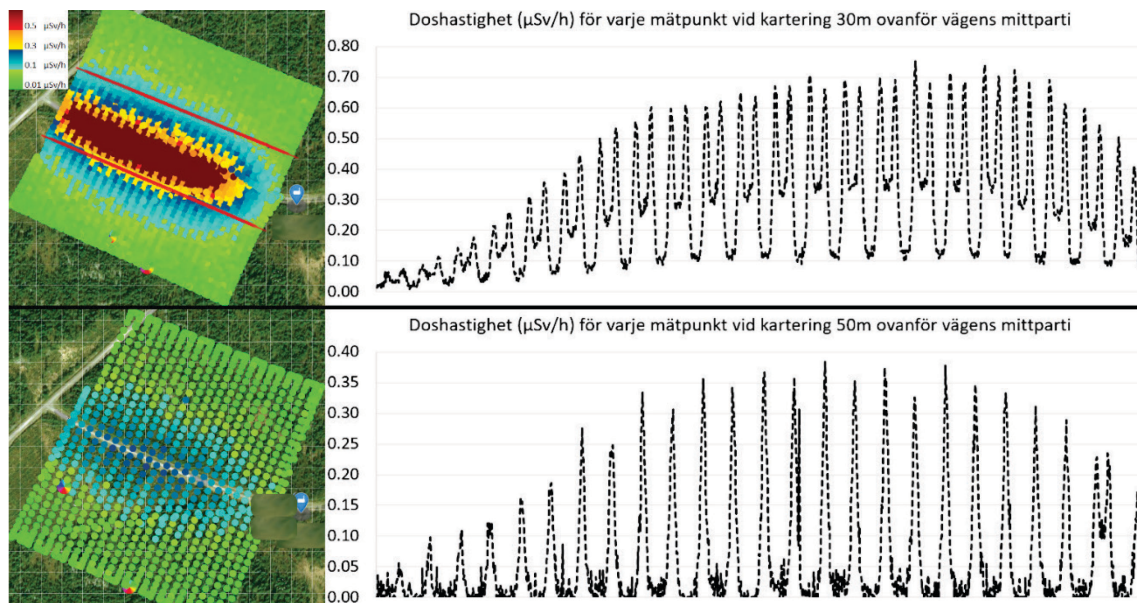
Testerna med **R 2** visar på ett tydligt samband mellan responstiden hos ett instrument och dess förmåga att upptäcka en enskild strålkälla vid överflygning. Instrument som i grunden är avsedda för att bäras av en person, och därigenom kan ha långa responstider, har inte den bästa förmågan att upptäcka och lokalisera snabba förändringar av strålningsnivåer. Däremot kan de fungera för mätning i låga hastigheter, samt om radioaktiviteten är utbredd över ett större område.

3.2.2 R-försök vecka 436

Vecka 436 var den radioaktiva beläggningen detekterbar på avstånd om ca 115 meter i sidled för båda de testade höjderna för kartering (30 och 50 m). Mätningarna på 50 m höjd tenderade att gynnas relativt de på 30 m höjd då avståndet till vägen ökade. Att flyghöjden spelar mindre roll då avståndet till strålkällan ökar noterades även vecka 424. Mätningarna och simuleringarna visar att den strålskärning som skogen ger endast är av liten betydelse vid mätning. Sammantaget kan högre höjder i vissa förutsättningar ha potential att öka sannolikheten att detektera strålning.

Titel/Title
Slutrapport-RPAS mindre fjärrstyrd CBRN-underrättelsefarkost

Memo nummer/Number
FOI Memo 8600



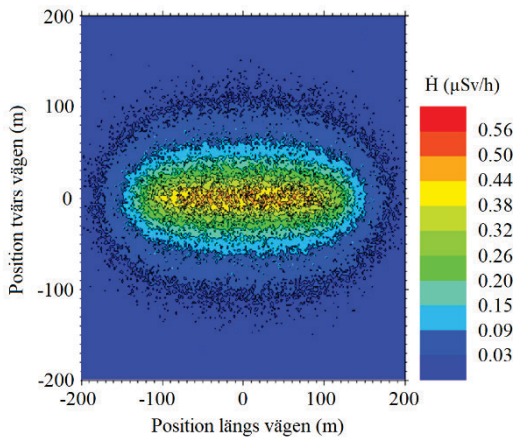
Figur 5. Karteringsbilder och motsvarande doshastighetskurvor (serier av varje mätpunkt längs karteringsflygningen) för 30 m höjd (övre) och 50 m höjd (undre). Karteringsbilderna är ej bakgrunds- och referenstidskorrigerade: för 30 m höjd gjordes karteringen från 30 minuter före till 2 timmar efter referenstid, och för 50 m höjd från tre timmar och 20 minuter efter till tre timmar och 40 minuter efter referenstid. Flygningen på 30 m höjd delades upp i tre sektioner. Doshastighetskurvan visar den mittersta sektionen (mellan de röda linjerna).

Vägbeläggningen om $43,4 \text{ MBq/m}^2$ $^{99\text{m}}\text{Tc}$ kunde mätas och identifieras på 120 m flyghöjd ovanför marken. Referensmätningar med Automess AD 6150 b/H vid marknivå visade då doshastighetsnivåer kring 8,7-10,9 (medelvärde 9,3) $\mu\text{Sv/h}$ och beläggningen bedömdes som homogen. Motsvarande mätning med **R 1** gav ett mätvärde om $12,5 \mu\text{Sv/h}$ centralt på vägen vid marknivå. Detta är i paritet med simuleringar som gav $11,8 \mu\text{Sv/h}$ vid marknivå vid mittpunkten på vägen. En sammanställning för alla höjder finns i tabell 2. Dagen efter utspridningen uppmättes en förändring i doshastigheten med i genomsnitt $-5,6 \%$ vid marknivå, utöver fysikaliskt sönderfall. Det är inte utrett ifall detta berodde på avgasning eller radioaktivitetens nedträngning i marken mellan dagarna, men förändringen var så pass liten att dess betydelse under försöksdagen var försumbar.

Monte Carlo-simulering av $^{99\text{m}}\text{Tc}$ på väg presenteras i figur 6 och kan jämföras med karteringsbilden för 30 m höjd i figur 5. Observera att figurerna har olika färgskalor.

Titel/Title
Slutrapport-RPAS mindre fjärrstyrd CBRN-underrättelsefarkost

Memo nummer/Number
FOI Memo 8600



Figur 6. Stråldoshastigheten, $\dot{H}$, över väg, vecka 436, simulerat med MCNP för höjden 30 m (t.v.).

3.2.3 Relativa doshastigheter på höjd relativt marknivå

Den doshastighet som mäts med drönare på höjd motsvarar inte den doshastighet som är av intresse för skyddsperspektiv av soldater på marken. För detta krävs omräkningsfaktorer, vilket poängterats tidigare¹. För punktkällor är omräkningen enkel och baseras i huvudsak på två processer: kvadratisk avtagande med avståndet och dämpning av strålningen. Då strålkällan inte kan betraktas som en punkt krävs andra metoder för att ta fram omräkningsfaktorn. Vid dessa försök har en relation mellan en mätning på höjd kontra ett värde vid marknivå kunnat erhållas^a (tabell 2).

Tabell 2. Uppmätta ($\dot{H}_m^*(10)$) och simulerade ($\dot{H}_s^*(10)$) doshastigheter för olika höjder.

Vecka, källa, kommentar	Metod	Höjd (m)	$\dot{H}_m^*(10)$	$\dot{H}_s^*(10)$
Vecka 424, ⁶⁰ Co Punktkällor Mätinstrument: R 1 Medelvärden under flygning Simulering: MCNP	Mätning: Flygning längs väg, medelvärden Simulering: Medelvärden vid höjd	1	-	118
		4	-	22,7
		10	-	7,92
		20	-	3,34
		30	1,33	1,94
		50	0,75	0,92
		80	0,39	0,42
		120	0,20	0,19
Vecka 436, ^{99m} Tc Beläggning på väg Mätinstrument: R 1 1 min. medelvärden. Simulering: MCNP	Punkter centralt	1	12,5	11,8
		4	5,40	4,33
		10	2,71	1,88
		20	1,12	0,95
		30	0,65	0,61
		50	0,31	0,33
		80	0,14	0,16
		120	0,07	0,07

^a Omräkningsfaktorer för ökande höjd och avstånd kräver en längre vägsträcka. I detta arbete kan den 240 meter långa vägen antas tillräcklig till ett avstånd eller höjd om 30 meter, varpå längre vägsträckor krävs. En längre vägsträcka sänker omräkningsfaktorn.

Titel/Title
Slutrapport-RPAS mindre fjärrstyrd CBRN-underrättelsefarkost

Memo nummer/Number
FOI Memo 8600

3.3 Vägspaningsmetodik för kemiska ämnen

Efter beläggning av vägsträckan med MES samlades papper in för att bestämma beläggningsgraden. Vid de fyra beläggningarna med MES erhöles i medeltal 11 g/m²; 9,0 g/m²; 4,5 g/m² och 11 g/m². Temperaturen var mellan 14 och 20 °C och vi gjorde antagandet att avdunstningen av MES skulle vara relativt stabil i ett tidsspann från 30 minuter till cirka tre timmar. Luftmätningar som genomfördes 30 minuter och 150 minuter efter beläggning visade att halterna i området var 1-5 mg/m³ på 1,5 meters höjd vilket visas i tabell 3. På dessa höjder var det ingen nämnvärd variation i luftkoncentrationen längs vägsträckan däremot sjönk den cirka fem gånger mellan de två provtagningstiderna. Detta tyder på att lufthalterna var i relevant mätområde på marknivå när flygningar genomfördes.

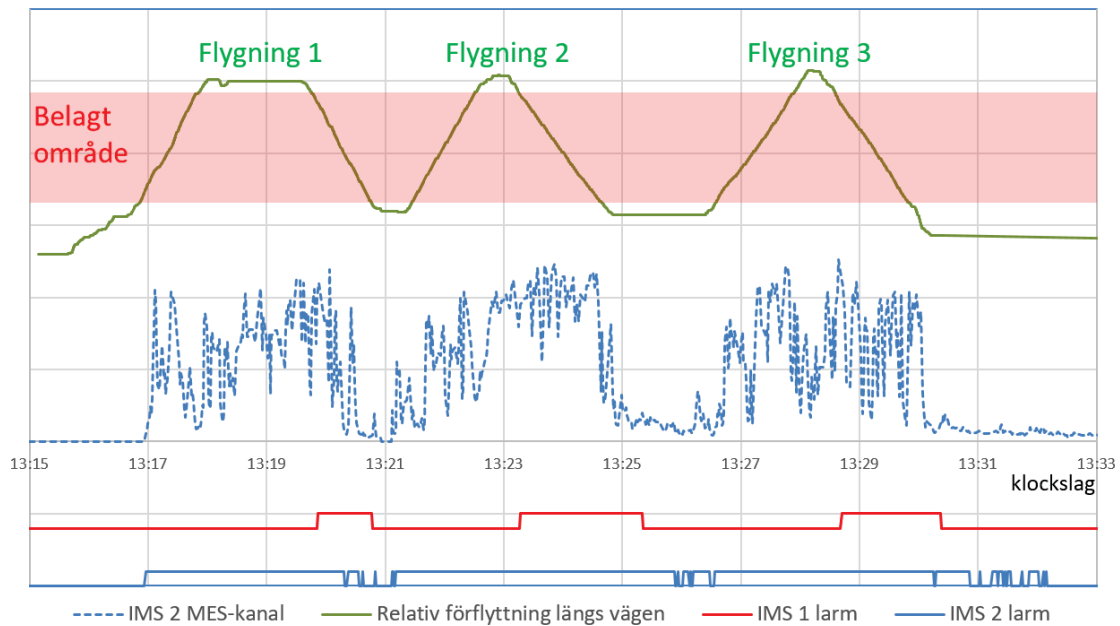
Tabell 3. Luftkoncentrationer av MES efter beläggning i markhöjd motsvarande andningszon för stående och liggande soldat.

Position	Koncentration 30 min (mg/m ³)	Koncentration 150 min (mg/m ³)
Hög position (stående soldat, ~1,5 m)	4,6 ± 0,99	0,8 ± 0,04
Låg position (liggande soldat, ~0,3 m)	8,9 ± 0,95	2,6 ± 1,3

Eftersom huvudkonceptet baserades på vägspaning utgick vi från att drönarpiloten låter drönaren undersöka vägsträckor på olika flyghöjd och hastighet. I figur 7 visas responsen från de två IMS-instrumenten för similiämnet MES, vid flygningar genomförda på flyghöjder mellan två och fem meter. Flyghastigheten var kring 1 m/s och eftersom varje flygning innehöll en flygning bort över området följt av återfärd, kan varje flygning tolkas som att dubbla sträckan övervakas, dvs. 200 meter. Vid varje vändning hovrade drönaren 1-3 minuter. Relativt snabbt efter att drönaren flög in i området (ca 20 sekunder och 30 meter) erhöles ljudlarm från **IMS 2** och något senare erhöles visuellt larm från **IMS 1** på handenheten. I grafen är trenden för **IMS 2** (MES-kanal) plottad vilket ger en bild av fluktuationer i mätresponsen. Motsvarande trend för **IMS 1** återges inte i figuren, men den längre responstiden för larm återspeglas i att den oftast larmade efter drygt halva sträckan. På grund av att vinden blåste i vägens riktning klingade inte signalen av trots att drönaren passerat den belagda ytan. Tolkningen av grafen är att respons fås från båda instrumenten vid flygning i låg hastighet på höjder under fem meter över en belagd yta med similiämne motsvarande senapsgas/tabun. Fotpatrullen som genomförde manuell spaning upptäckte markkontaminering både genom rött utslag på indikeringspapper och genom luftindikering med LCD efter ca tio meter in på det belagda området. De kunde t.ex. snabbt identifiera en vattenpöl med en hinna av flytande similiämne.

Titel/Title
Slutrapport-RPAS mindre fjärrstyrd CBRN-underrättelsefarkost

Memo nummer/Number
FOI Memo 8600

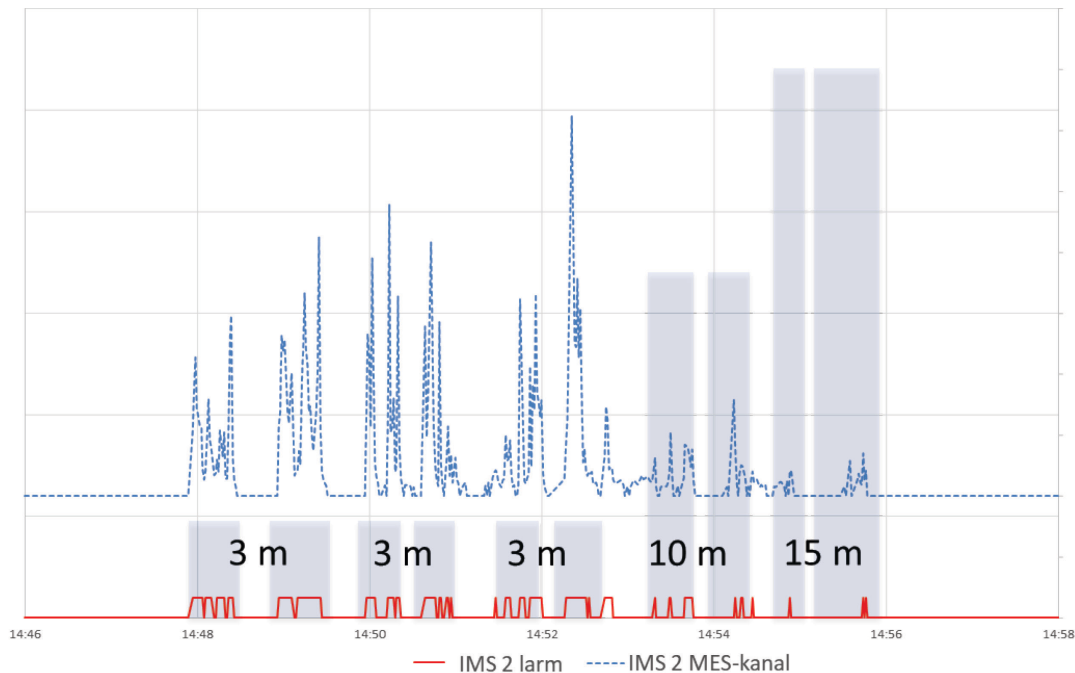


Figur 7. Flygningar över en belagd vägsträcka på höjder under fem meter med en genomsnittlig hastighet på 1 m/s. När drönaren befann sig i det belagda området har det märkts ut med ett rosa fält.

Fler tester genomfördes där vi undersökte högre hastigheter vid andra höjder. I figur 8 visas både signalen för larm och trend för MES-kanalen från **IMS 2** vid den högre hastigheten 5 m/s (18 km/h). I stora drag är det ett omvänt förhållande mellan höjd och respons där en högre höjd ger sämre förutsättningar för att erhålla larm. Detta är förväntat då det är en negativ koncentrationsgradient mot höjd. Vid dessa försök var 15 meter den högsta höjd där instrumentet fick larm. Man kan förvänta sig att den operativa mät höjden påverkas av flera faktorer, såsom temperatur, tid efter beläggning, vind och ytans beskaffenhet.

Titel/Title
Slutrapport-RPAS mindre fjärrstyrd CBRN-underrättelsefarkost

Memo nummer/Number
FOI Memo 8600



Figur 8. Tio överflygningar genomförda på olika höjd (3, 10 och 15 m) i en medelhastighet av 5 m/s (18 km/h). De blågrå sektionerna representerar tider då drönaren var över den belagda vägbanan.

Vidare genomfördes ytterligare ett antal försök där drönaren hovrade på stegvis sjunkande höjder, från 20 meter till landning. Resultaten från dessa mätningar bekräftar ovanstående resonemang genom att båda IMS-instrumenten larmar kopplat till flyghöjd och deras respektive känslighet och responstid (IMS 1: larm vid 4 meter och IMS 2: larm vid 12 meter). Efter landning och att propellrar slagits av erhöles maximal signal och detta medförde ofta att sensorerna mättades med lång avklingning i ren miljö som följd (~5 minuter). För ett drönarsystem med sensorer monterade på undersidan blir detta förfaringsätt den metod som kommer ge högst sannolikhet för larm om förutsättningar för detektion är sämre (låg temperatur, blåsigt, lång tid efter beläggning etc.).

3.4 Övriga tester

I det här avsnittet beskrivs orienterande tester som utförts för att undersöka en taktisk och operativ användning av en spaningsdrönare. I dialog med Försvarsmakten utfördes dessa tester för att få erfarenhet om andra funktioner och parametrar som kan vara av intresse vid en drönarimplementering på sikt.

Några test utfördes med Skyranger R70 och tillhörande släppkrok, vilken skulle kunna användas för att t.ex. transportera prover till laboratorier, där proverna släpps i en viss zon. En PET-flaska representerade provet och funktionen konfigurerades dels genom att en navigationspunkt markerades som släpppunkt, där drönaren stannar vid navigationspunkten och släpper lasten. Dessutom gjordes ett manuellt släpp i farten vid 14 m/s. Båda testerna utfördes med flygning på tio meters höjd och gav lyckade resultat.

Under vinterförsöket utfördes tester där en andrepilot styrde kameran från en separat dator. Andrepiloten kopplade upp sig mot basstationen och begärde kontroll över kamerafunktionen, och piloten kunde då på handenheten välja att bevilja detta eller ej. Ett antal försök utfördes där andrepiloten manövrerade kameran, låste på mål (fasta och rörliga) och gav instruktioner hur piloten skulle flyga. Funktionen förenklade avsevärt för piloten då andrepiloten granskade videodata och piloten kunde fokusera uteslutande på flygningen.

Titel/Title

Slutrappport-RPAS mindre fjärrstyrd CBRN-underrättelsefarkost

Memo nummer/Number

FOI Memo 8600

Nödstoppsfunktionen (motorerna stängs av när drönaren är i luften) testades på en meters höjd, både över en väg samt i djupsnö. Drönaren var oskadd efter fallet och det gick att starta från nödstoppet t.o.m. från djupsnö. Ytterligare tester utfördes med drönarens ben i djupsnö, och på 100 meters avstånd var det möjligt att lyfta, vilket var något överraskande då landningsbenen utgör antenner. På 200 meter var det dock inte möjligt att få radiokontakt med drönaren.

Ett för Försvarsmakten eftertraktat alternativ är att drönarpiloten sitter i ett fordon och att vägspaning sker under färd. Några tester utfördes där sändaren (basstationen) befann sig inuti ett fordon respektive monterad på ett fordonstak. Utan tvekan blev räckvidden avsevärt bättre med sändare på taket. Vi genomförde inte någon optimering avseende spaningshastighet, men hastigheter upp till 20 km/h var hanterbart längs en relativt smal skogsbilväg. Spaningsmöjligheten beror givetvis mycket på vilken drönare som använts, där en mindre och lättare drönare medger bättre manövrerbarhet.

Ett antal tester genomfördes också med syfte att undersöka möjligheten att detektera mer kvarliggande ämnen med hjälp av att montera indikeringspapper på landningsbenen. Dessa resultat presenteras i separat memo, men i all väsentlighet är metodiken förknippad med stor osäkerhet.

4 Slutsatser och framtida försök

Resultaten visar att drönare försedda med C- och R-sensorer är ett viktigt stöd för att effektivisera spaningsuppdrag för en CBRN-grupp. Förutom att med kameror snabbare få tillgång till en bättre lägesbild kan sensorer, framförallt för R men även C, upptäcka kontaminerade objekt, områden och vägsträckor. Resultaten visar också på stora skillnader i optimal spaningsmetodik för R- och C-scenarier. Spaningsmetodik anpassad för kemiska ämnen kommer alltid att fungera även för gammastrålning radioaktiva ämnen, men inte vice versa.

På ett övergripande plan har dessa försök planerats utifrån att en CBRN-incident redan skett och att en CBRN-UAV-grupp har fått till uppgift genomföra spaningsuppdrag. I referenslitteraturen har försöksupplägg identifierats där syftet varit att studera pågående förlopp, men då både C- och R-händelser förväntas ha korta initiala tidshorisonter har resonemanget varit att ett sådant upplägg är mindre sannolikt.

Detektion av farliga nivåer av strålning kan göras med en rad olika sensorer och plattformskombinationer. Spaningsuppdrag för radioaktiva ämnen ställer inget strikt krav på att drönaren måste flyga/patrullera, utan den kan också användas som en stationär luftburen mätsond. Valet av metodik är vidare inte avhängigt enstaka tekniska lösningar utan det finns en stor frihet i metodikdesign, val av plattformar och val av sensorer. FOI har gjort mer grundliga analyser om CBRNE-sensorer för drönare, anpassat för räddningstjänsten som i stora drag också är giltigt för Försvarsmakten⁹. Tre typfall att utgå från i detta hänseende kan vara: *stationär övervakning* med mål att ha ett stort upptagningsområde, *övervakning genom flygning* med enklare och billigare detektorsystem på mindre drönare spridda på bredd, eller *övervakning genom sensordistribuering*, där utplacerade sensornoder övervakas autonomt. Typfallen ger en utgångspunkt för noggrannare analyser och utveckling. Eftersom det marknadsmässiga underlaget av tekniskt mogna R-sensorer och plattformar är så omfattande ställs stora krav på beställaren och användaren att etablera en kravbild och målsättning om hur R-detektion med UAV lämpligast ska gå till, inklusive hur kringliggande organisation ska se ut.

För en C-beläggning med ämnen motsvarande similiämnet MES kan meningsfull spaning genomföras i hastigheter upp till 5 m/s och flyghöjder under tio meter vid bra förhållanden. Små detektorer, baserade på IMS, har stor potential att fungera för dessa uppdrag. Vid sämre förutsättningar, såsom lång tid efter beläggning, låg temperatur och stark vind, kommer både lägre hastigheter och lägre flyghöjder vara nödvändiga. En landning med avslagna propellrar kommer fortsättningsvis ge de bästa detektionsförutsättningarna för en sensor designad för luftindikering. Utifrån resultaten i det här memot är det svårt att direkt jämföra effektiviteten av spaning genomförd

Titel/Title
Slutrapport-RPAS mindre fjärrstyrd CBRN-underrättelsefarkost

Memo nummer/Number
FOI Memo 8600

med fotpatrull och drönare med C-sensorer. Den mest framträdande fördelen med drönare är att soldater inte behöver beträda en kontaminerad miljö. De största fördelarna med en fotpatrull är att de i detalj kan genomföra luftindikering i direkt närhet av objekt, använda indikeringspapper och eventuellt ta prover. Framtida C-försök bör inriktas mot tekniska lösningar för att indikera förekomst av kemiska stridsmedel med ännu lägre ångtryck.

Kombinationen av simuleringar och fysiska försök visade sig vara ett kraftfullt sätt att studera spaningsmetodik. En rekommendation för fortsatta studier med drönarburna sensorer är att utreda prestanda för olika möjliga vägval där parametrar såsom: kompletterande system, logistiska krav, utbildningskrav, krav på energitillgång, nya sensorkombinationer, sanering, sårbarheter etc. också beaktas.

5 Referenser

- (1) Forsberg, A.; Gradmark, P.-Å.; Tengell, T.; Ågren, G.; Bergqvist, E.; Blomdahl, E.; Hansson, D.; Wiklund, J.; Wingfors, H. Årsredovisning-RPAS mindre fjärrstyrd CBRN-underrättelsefarkost; FOI Memo 8281; 2023.
- (2) Wingfors, H.; Gradmark, P.-Å.; Tengell, T.; Tjärnhage, T.; Wästerby, P.; Granström, M.; Lidström, K.; Ågren, G.; Nord, S.; Bergqvist, E. Omvärldsbevakning, CBRN-sensorer och RPAS; FOI-R--5393--SE; 2023.
- (3) Wingfors, H. Reserapport Fact Finding Mission, Aberdeen Proving Ground, Edgewood, USA 20220823; FOIMemo, i press; 2022.
- (4) Kunertova, D. Drones have boots: Learning from Russia's war in Ukraine. *Contemporary Security Policy* 2023, 44, 576-591. DOI: 10.1080/13523260.2023.2262792.
- (5) Puton, J.; Namiesnik, J. Ion mobility spectrometry: Current status and application for chemical warfare agents detection. *Trac-Trends in Analytical Chemistry* 2016, 85, 10-20. DOI: 10.1016/j.trac.2016.06.002.
- (6) Werner, C. J. e. a. MCNP Version 6.2 Release Notes; LA-UR-18-20808 Los Alamos National Laboratory, LA-UR-18-20808 2018.
- (7) Kim, D.; Gweon, B.; Moon, S.; Choe, W. Decontamination of the chemical warfare agent simulant dimethyl methylphosphonate by means of large-area low-temperature atmospheric pressure plasma. *Current Applied Physics* 2009, 9, 1093-1096. DOI: 10.1016/j.cap.2008.12.006.
- (8) Bizzigotti, G.; Castelly, H.; Hafez, A.; Smith, W.; Whitmire, M. Parameters for Evaluation of the Fate, Transport, and Environmental Impacts of Chemical Agents in Marine Environments. *Chemical Reviews* 2009, 109, 236-256. DOI: 10.1021/cr0780098.
- (9) Wingfors, H.; Forsberg, A.; Landström, L. Drönare med CBRNE-sensorer för räddningstjänst - En kunskapsöversikt; FOI-R--5640--SE; FOI, Totalförsvarets forskningsinstitut, 2024.