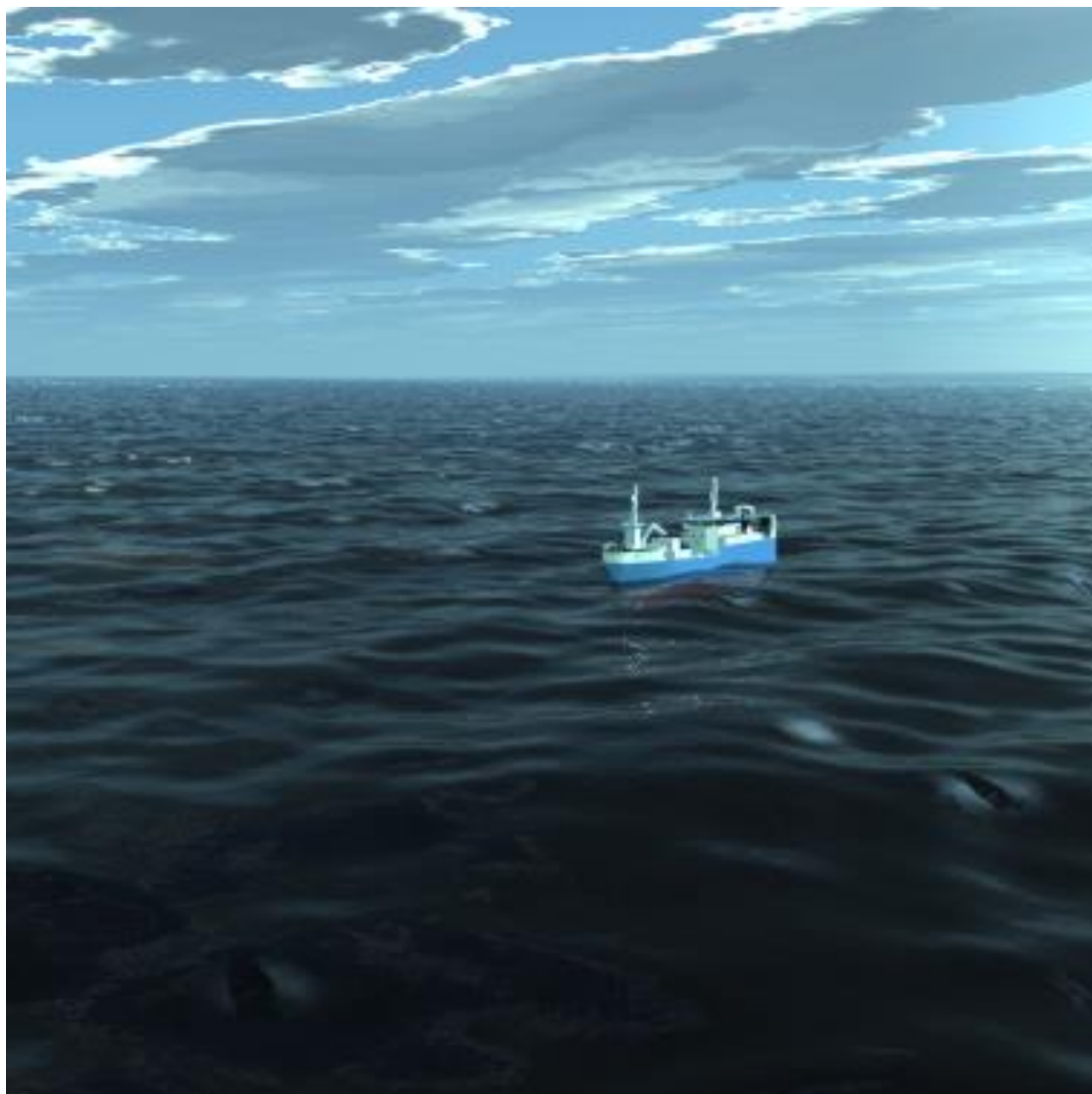


JONAS ALLVAR, FREDRIK NÄSSTRÖM





Jonas Allvar, Fredrik Näsström

# Spaning med EO/IR-sensorer i marin miljö med RPAS

Titel	Spaning med EO/IR-sensorer i marin miljö med RPAS
Title	Reconnaissance using EO/IR sensors in maritime environment with RPAS
Rapportnr/Report no	FOI-R--3964--SE
Månad/Month	December
Utgivningsår/Year	2014
Antal sidor/Pages	22 p
ISSN	1650-1942
Kund/Customer	FM
Forskningsområde	7. Sensorer och signaturanpassning
FoT-område	Temaområde
Projektnr/Project no	E34530
Godkänd av/Approved by	Lars Høstbeck
Ansvarig avdelning	IAS

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

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

## Sammanfattning

I projektet Obemannade farkoster Temaområde UAS och Cyber har vi studerat spaning med EO/IR-sensorer i marin miljö med RPAS (Remotely Piloted Aircraft Systems). Arbete har i huvudsak inriktats mot att studera upptäcktsavstånd i marin miljö. För att möjliggöra detta har MSSLab (Multisensorsimuleringslab) vidareutvecklats med förbättrad kapacitet att simulera EO/IR-sensorer i marin miljö.

EO/IR-sensorer har simulerats och utvärderats i olika väderfall och uppförande, så som flyghöjd och avstånd. Optroniska sensorer i olika våglängdsband har simulerats: visuellt, NIR, SWIR, MWIR och LWIR. Målbiblioteket i MSSLab har även vidareutvecklats med flera fartyg.

För att analysera upptäcktsavstånd har programvaran Seatex vidareutvecklats och resultat på upptäcktsavstånd för olika anflygningsriktningar har beräknats. I ett fortsatt arbete bör dessa resultat valideras mot uppmätta anflygningar för att kontrollera de modelleringsbegränsningar som finns.

Nyckelord: Obemannade system, RPAS, upptäcktsavstånd, simulering, sjöövervakning

## Summary

Within the project "Obemannade farkoster Temaområde UAS och Cyber" (Unmanned vehicles) we have studied marine reconnaissance with EO/IR-sensor equipped RPAS (Remotely Piloted Aircraft Systems). The study has mainly been oriented toward detection range and the multisensory simulation laboratory MSSLAB have been enhanced with better EO/IR simulation capability in marine environments.

Different weather conditions and operating conditions have been studied with respect to altitude and distance to target. A number of electro optical sensors with different wavelengths such as visual, NIR, SWIR, MWIR and LWIR have been simulated. Also the 3D object library in MSSLab has been updated with new ships.

The software Seatex has been used and further developed for the target detection range analysis and detection ranges were calculated for a number of different distances and azimuths towards the target. More work should be performed to validate the calculations with real world sensor measurements to assess the limitations of the simulations.

Keywords: Unmanned systems, RPAS, detection range, simulations, sea surveillance

## Innehåll

<b>1</b>	<b>Inledning</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Några RPAS-system för spaning i marin miljö</b>	<b>8</b>
2.1	ScanEagle.....	8
2.2	MQ-9 Reaper .....	8
2.3	MQ-8 Fire Scout.....	9
2.4	Figurförteckning .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>3</b>	<b>EO/IR-sensorer i marin miljö</b>	<b>11</b>
<b>4</b>	<b>Spaning med EO/IR-sensorer i marin miljö med RPAS</b>	<b>13</b>
4.1	Scenario för sjöövervakning.....	13
4.2	Simuleringar med MSSLab .....	14
4.3	Seatex .....	19
4.4	Resultat .....	19
<b>5</b>	<b>Slutsatser och fortsatt arbete</b>	<b>20</b>
<b>6</b>	<b>Referenser</b>	<b>21</b>





# 1 Inledning

Majoriteten av RPAS (Remotely Piloted Aircraft Systems) används idag för spaning mot markmål, men spaning med RPAS i marin miljö blir vanligare. Spaning med RPAS i marin miljö lämpar sig mycket bra då de kan täcka stora områden under lång tid. Idag används RPAS i marin miljö för gränsbevakning, för spaning efter narkotika-smugglare, terrorister etc.

I Försvarsmakten används i huvudsak radar för sjöövervakning. Radarsensorer har generellt lång räckvidd och allvädersförmåga, vilket är bra vid sjöövervakning. En nackdel med radar är att det är svårt att identifiera ett fartyg med radar.

Många fartyg har idag AIS (Automatic Identification System), vilket förenklat är ett system som via VHF-radio skickar ut information om det egna fartygets position, hastighet, kurs, destination etc. från övrig elektronisk navigationsutrustning. En nackdel med AIS är att små fiskebåtar och vissa statsfartyg inte använder AIS. Det går även att skicka ut falsk information med AIS eller stänga av systemet.

Att identifiera fartyg med EO/IR-sensorer är därför mycket intressant för Försvarsmakten. För övervakning använder Försvarsmakten idag:

- Bevakningsbåtar
- Vedettbåten
- Flyg med Piper Cub, Frivilliga flygkåren
- Kustbevakningens flygplan

I detta arbete vill vi kunna beräkna upptäcktsavstånd för olika EO/IR-sensorer. Sensorprestanda påverkas av många olika scenarivariabler och det är viktigt att verktyg för estimering av sensorprestanda kan hantera detta. Exempel på viktiga scenarivariabler som ofta påverkar sensorprestanda är:

- Målobjekt: konfiguration, signatur, kamouflage, skylda eller oskylda, stillastående eller rörliga, etc.
- Väder/atmosfärstransmission: geografisk plats, årstid, dygnstid, klimat, luftfuktighet, temperatur, molnighet, molnbas, nederbördstyp, etc.
- Sjötillstånd: våghöjd och riktning
- Ljusförhållanden: tid på året och dygnet, aktuellt väder och geografisk plats.
- Datainsamling: observationstid, avstånd, höjd, aspektvinkelförändring på målet under observation, hastighet på sensorplattform, etc.
- Hot och störningar mot sensor och sensorbärare.
- Handlingsregler för uppdraget (ROE - Rules of Engagement)

## 2 Några RPAS-system för spaning i marin miljö

Det finns flera RPAS som används i marin miljö såsom Scan Eagle, MQ-9 Reaper, MQ-8 Fire scout, SAABs Skeldar, X-47B etc. Några av dessa beskrivs kort här.

### 2.1 ScanEagle

Scan Eagle är en RPAS som används av US Navy, US Marine Corps, Australiensiska Armén, Kanadensiska Armén och Tunisiska Armén. ScanEagle har en vingbredd på 3.1 m och väger 20 kg. ScanEagle har en uthållighet på över 24 timmar och sensorerna som används av ScanEagle är färg-TV och mellanvågs-IR. ScanEagle startar med en katapult, vilket visas i figur 1. ScanEagle landar genom att den krokas i en fångstarm, vilket gör att den kan landa även på små fartyg. ScanEagle har kontinuerligt vidareutvecklats sedan den första flygningen 2002 och de har nu flugit i över 600 000 timmar [1].



*Figur 1. ScanEagle startar från ett fartyg. Copyright United States Navy, Mass Communication Specialist 3rd Class Michelle L. Kapica via Wikimedia Commons*

### 2.2 MQ-9 Reaper

MQ-9 Reaper, som även benämns Predator B, är större och betydligt mer kapabel än dess föregångare MQ-1 Predator [2, 3]. Reaper är utrustad med en turbopropmotor på hela 900 hp, till skillnad från Predators kolvmotor på endast 119 hp. Den är kapabel att bära 8 gånger mer nyttolast och har betydligt högre marschfart. Den kan bestyckas med olika vapen som Hellfire eller bomber av typen GBU-12 eller GBU-38. Den hanteras via samma markstationssystem som MQ-1 Predator och flygs av US Air Force, US Customs and Border Protection, men har även exporterats till Italien och Storbritannien.

MQ-9 Reaper är designat för en operativ höjd på 8000-16000 meter. För att kunna spana mot misstänkta terrorister etc., vilket kräver hög bildupplösning, nyttjas den ofta på betydligt lägre höjd, 3000-5000 meter, om hotbilden och terrängen medger detta [4].

För övervakning av kustområdet utanför USA använder U.S. Customs and Border Protection (CBP) och U.S. Coast Guard MQ-9 Guardian [5]. Detta är en modifierad version av MQ-9 Reaper som är avsedd för maritima operationer, vilket visas i figur 2. MQ-9 Guardian är utrustad med spaningsradarn SeaVue marine och EO/IR-sensor systemet har optimerats för marina miljöer [6]. MQ-9 Guardian nyttjar flygfält för start och landning.



*Figur 2. MQ-9 Guardian som används av U.S. Customs and Border Protection. Copyright U.S. Customs and Border Protection via Wikimedia Commons*

## 2.3 MQ-8 Fire Scout

US Navy krävde i slutet av 90-talet en RPAS som skulle kunna bära en nyttolast på 90 kg, ha en räckvidd på 200 km, en uthållighet på tre timmar vid en flyghöjd på 6000 m och en förmåga att landa på ett fartyg vid en vind på 13 m/s. Farkosten skulle ha en sammanlagd flygtid på minst 190 timmar mellan servicetillfällena. Schweizer Aircraft och Teledyne Ryan vann tävlingen med en RPAS baserad på helikoptern Schweizer 330 som kan lyfta tre passagerare. Programmet RQ-8A Fire Scout avslutades redan i december 2001, utan att egentligen stött på några tekniska problem.

Northrop Grumman köpte Teledyne Ryan år 1999 och fortsatte att utveckla Fire Scout som fick beteckningen MQ-8B Fire Scout, vilket visas i figur 3. MQ-8B Fire Scout utrustades med en fyrbladig rotor med betydligt högre förmåga att bära tyngre nyttolast, ända upp till 320 kg vid kortare uppdrag. Ett modulärt tänkande för nyttolasterna medförde att snabb rekonfigurering av farkosten var möjlig. Alternativa sensorsystem på MQ-8B Fire Scout är: en gimbal med EO/IR-sensorer med laserutpekare [9], ett SAR-system [7], en SIGINT-modul, ett multispektralt sensorsystem, ett minspanings-system mot IED:er (Target Acquisition Minefield Detection System), ASTAMIDS (Airborne Standoff Minefield Detection System and Airborne Surveillance), Target Acquisition and Minefield Detection System) och ett datalänksystem (Tactical Common Data Link (TCDL)) [8, 9]. Fire Scout har även förmåga att släppa förnödenheter till marktrupper vid "drop-off points" [10]. Möjlig beväpning består av Hellfire missiler, Viper Strike (laserstyrda glidbomber) och 70 mm laserstyrda raketer av typen Advanced Precision Kill Weapon System.



*Figur 3. MQ-8B Fire Scout. Copyright via Wikimedia Commons*

US Navy anser att MQ-8B Fire Scout kan ersätta flera funktioner som idag utförs via bemannade helikopter. US Navy har köpt 23 MQ-8B Fire Scout och dessa har flugit mer än 8000 timmar [11, 12]. MQ-8B Fire Scout är normalt utrustad med en EO/IR-gimbal av typen FLIR System Safire STAR II. En vidareutveckling av den är FLIR System STAR Safire 380-HLD. Sensorerna i en STAR Safire 380-HLD består av en termisk mellanvågs-IR, en visuell sensor och en kortvågs-IR. Systemet har även med framgång använts vid gränsbevakning till havs för bekämpning av bl.a. knarksmuggling.

Northrop Grumman utvecklar nu MQ-8C Fire Scout åt US Navy. MQ-8C Fire Scout kommer att få en längre räckvidd, längre flygtid och mer nyttolast. MQ-8C Fire Scout bygger på Bell 407 som är en väl beprövad helikopter som har flugit i mer än 3 miljoner flygtimmar [13]. MQ-8C Fire Scout har en flygtid på upp till 24 timmar. Två MQ-8C Fire Scout har levererats till US Navy av de 14 som är beställda. US Navys nuvarande plan är att köpa 30 MQ-8C Fire Scouts [14].

### 3 EO/IR-sensorer i marin miljö

EO/IR-sensorer finns idag på i stort sätt alla RPAS som genomför ISR-uppdrag (Intelligence, Surveillance and Reconnaissance). EO/IR-sensorer har inte lika lång räckvidd som radarsystem, men en stor fördel är att de har hög upplösning, vilket gör att de båda kan detektera och identifiera mål. Detektionsavstånd kan vara upp till 15 km, men bortom 5 km kan man inte räkna med identifieringsförmåga [15].

I RPAS är EO/IR-sensorer oftast monterade i en styrbar gimbal. I en sådan gimbal monteras vanligen två till fyra EO/IR-sensorer samt laserutpekare. Vanliga EO/IR-sensorer som monteras i en gimbal är färg-TV, lågljus-TV, sensorer i kortvågs-IR samt termiska sensorer i långvågs-IR eller mellanvågs-IR.

Färg-TV är känsliga i det visuella våglängdsbandet 0.4-0.7  $\mu\text{m}$  och förlitar sig på reflekterat ljus från strålkällor på dag- och natthimlen (solen, månen, stjärnor etc.) samt ljuskällor på jorden (lampor, strålkastare, laserkällor etc.). Kontrast uppstår genom skillnader i reflektans mellan olika objekt. Visuella bilder har en stor fördel av att de är mer lättolkade för mänskliga operatörer än termiska bilder och möjliggör förenklad identifikation och igenkänning av vänner och fiender. Visuella sensorer är generellt även billigare än IR-kameror och kontinuerlig zoom är vanligt förekommande. En stor nackdel med visuella sensorer vid RPAS-spaning är dock att de fungerar sämre i mörker, dimma, rök, damm etc. Lågljus-sensorer med högre känslighet i det nära infraröda våglängdsområdet (0.7-1.0  $\mu\text{m}$ ) eller försedda med förstärkning kan emellertid ge mörkerförmåga, förutom vid mulna nätter då ljusnivåerna är för låga.

Det infraröda området delas in i långvågs-IR (8-12 $\mu\text{m}$ ), mellanvågs-IR (3-5 $\mu\text{m}$ ) och kortvågs-IR (1-3 $\mu\text{m}$ ). Den viktigaste ljuskällan för mellanvågs-IR och långvågs-IR (som gemensamt kallas det termiska IR-området) är svartkroppsstrålning från objekt i scenen orsakad av deras temperatur. Kontrast uppstår på grund av skillnader i temperatur och emissivitet mellan olika objekt. Långvågs-IR är lämplig för spaning mot objekt kring rumstemperatur medan mellanvågs-IR är mer lämplig för spaning mot hetare objekt (motorer, utblås, osv.). Vill man fånga en stor temperaturdynamik (både låg- och högttemperaturobjekt) i en scen är långvågs-IR att föredra. I miljöer med hög luftfuktighet, t.ex. tropiska, subtropiska klimat och maritima scenarier, är mellanvågs-IR bättre lämpat då luftfuktigheten har en större dämpningseffekt i långvågs-IR [16]. I torra, kalla klimat har dock långvågs-IR en fördel i och med den högre atmosfärstransmissionen för detta band.

I kortvågs-IR uppstår kontrast på liknande sätt som i det visuella området, dvs. genom reflektansskillnader, även om viss mindre inverkan även kan ske via termisk strålning från heta objekt. Sensorer i kortvågs-IR har en fördel av en något ökad penetrationsförmåga genom dimma, rök, damm etc. jämfört med sensorer i det visuella och nära infraröda området, men förhållandet är det motsatta med sensorer i det termiska IR-området. Bilder i kortvågs-IR

påminner om visuella (svartvita) bilder och är därmed mer lättolkade för mänskliga operatörer än termiska bilder och möjliggör förenklad identifikation och igenkänning av vänner och fiender, [17, 18]. Kortvågs-IR-området möjliggör dessutom detektion av laserstrålar med våglängderna 1.06  $\mu\text{m}$  och 1.55  $\mu\text{m}$ , vilka är vanliga våglängder för avståndsmätning och målutpekning.

Traditionella EO/IR-sensorer ger hög upplösning om de använder ett smalt synfält, men detta resulterar i ett s.k. ”sugrörs-perspektiv”. Traditionell spaningsradar kan täcka stora ytor, men upplösningen från dessa ger ofta inte tillräckligt detaljerad information om målen. USA har därför satsat mycket resurser på UAV-spaning med nya optiska sensorer som både ger stor yttäckande spaning och hög upplösning under lång tid. Dessa system kallas WAPS, wide area persistent surveillance, och har varit myck-

et värdefulla för USA i sina insatser i framförallt Afghanistan och Irak. Kontinuerlig övervakning över stora ytor med hög upplösning bedöms vara mycket viktig även vid territorialövervakning. Tre exempel på WAPS-system är: Gorgon Stare, ARGUS-IS och ARGUS-IR.

Förmåga att kontinuerligt ha total täckning av områden på uppskattningsvis  $4 \times 4$  till  $8 \times 8$  km med hjälp av vidvinkliga system med tillräcklig upplösning för att i dagsläget autonomt detektera och följa fordon, båtar etc., och i förlängningen även människor, anses mycket prioriterat i USA. Tekniskt bygger systemen på stora fokalplansarrayer med många pixlar alternativt mosaiking av data från flera fokalplansarrayer (i vissa fall ända upp till 368 st). Tanken är primärt att upptäcka förändringar och distribuera informationen om dessa till operatörer [19]. Systemen skall kunna leverera ett stort antal målspar med utklippta intressanta regioner kring potentiella mål ur den sammansatta högupplösta bilden. På så sätt kan flera fordon i rörelse samtidigt följas, även om dessa framförs i olika delar av spaningsområdet. Konceptet genererar enorma datamängder som inte på något sätt i sin helhet kan distribueras från plattformen i realtid, men som kan sparas ombord under en begränsad tid. Om en händelse inträffar på t.ex. sjön, kan en operatör begära nedladdning av inspelat material över platsen för att kunna analysera förloppet innan händelsen, t.ex. avgöra varifrån en båt anträdde övervakningsområdet. Detta kan betraktas som förmåga till forensisk spaning.

## 4 Spaning med EO/IR-sensorer i marin miljö med RPAS

### 4.1 Scenario för sjöövervakning

Händelserna i detta scenario utspelar sig i ett normalläge, utan hot mot Sverige och situationen i närområdet är stabil. I Östersjön som helhet befinner sig vid varje tillfälle omkring 2000 fartyg. Ett exempel på en sjölägesbild visas i figur 4. Den allra största delen av dessa befinner sig i området med gränserna Bornholm i söder till Finska viken i norr. Majoriteten av denna trafik är koncentrerad till rutten Bornholmsgattet – ost Gotland – Finska viken. Omkring halva sträckningen av denna rutt ligger inom svensk Exklusiv Ekonomisk Zon (EEZ). En mindre del av den syd-nordliga trafiken passerar mellan Öland och Gotland. Endast en liten del av trafiken passerar längs Baltiska kusten.



Figur 4 Sjöläget i södra Östersjön 2013-03-05 20:20:00 UTC. Källa <http://www.marinetraffic.com/ais>

Uppgiften i detta scenario är att med obemannade luftfarkoster bidra till sjöövervakningen i södra och mellersta Östersjön. Två deluppgifter beskrivs i separata typsituationer:

1. Rutinövervakning av sjötrafiken i området
2. Kontroll av fartyg med känd senaste position, kurs och fart

Scenariot utspelar sig i södra Östersjön en månfri natt i tidsperioden runt år 2025. Klockan 02.00 får vakthavande vid sjöövervakningscentralen för södra östersjön en avvikelseindikation från det automatiska analysystemet. Indikationen gäller ett mindre containerfartyg som passerar genom Bornholmsgattet. Enligt tillgänglig seglatiionsdata är fartygets destination Liepaja, Litauen. Normalt följer denna trafik en annan rutt, längre söderut, med direkt kurs mot Litauiska kusten efter passage av Sveriges

sydspets. Strax därefter stannar fartyget. En snabbgående båt som lämnat Rönne hamn strax innan närmar sig och lägger sig ett kort tag bredvid containerfartyget. När containerfartyget fortsätter efter 30 min beslutar vakthavande att följa dess rörelser närmare. Fartyget befinner sig snart utanför kustartäckning så information om position, kurs och fart kommer enbart via AIS. Klockan 4 på morgonen visar AIS-data att fartyget vänt om och lagt sig på västlig kurs, mot Hanöbukten, vilket triggar ett nytt avvikelseralarm. Klockan 04.30 försvinner AIS-dataflödet från fartyget och sjölägescentralen har inte längre någon aktuell information om var fartyget befinner sig eller är på väg.

Vakthavande kontaktar Kustbevakningsflyget, som inte har möjlighet att gå ut. Efter diskussioner med Forsvarsmakten beslutas att en militär UAV som nyligen avslutat en samverkansövning med KBV skall sändas ut från flygbasen Ronneby, för att lokalisera och identifiera fartyget. Vid det aktuella tillfället blåser det styv kuling och grov sjö i området.

## 4.2 Simuleringar med MSSLab

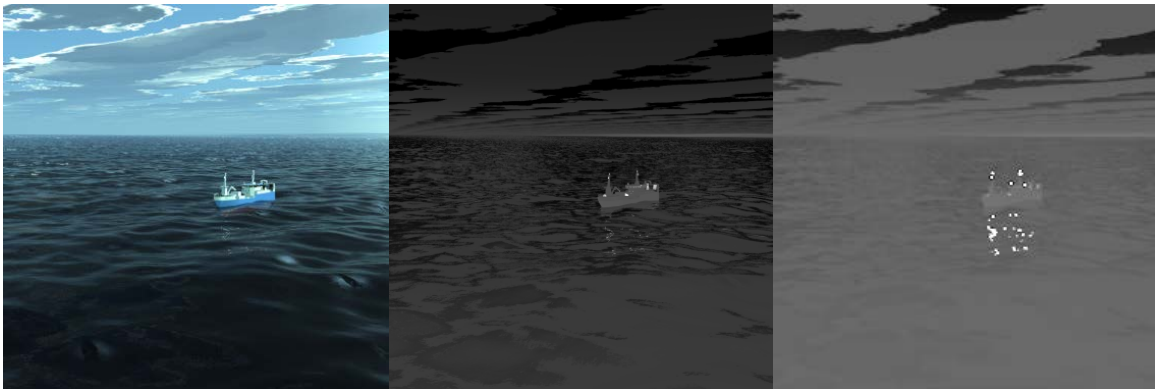
För att få en uppfattning om hur optiska sensorer i olika våglängdsband fungerar för det aktuella sjöövervakningsscenariot har MSSLab (MultiSensorSimuleringsLab) använts. MSSLab är en simuleringsmiljö för värdering av sensorsystem i olika miljöer, väderförhållanden och tidpunkter [20]. För simulering av EO/IR-sensorer i MSSLab används mjukvaran SE-WORKBENCH [21]. Denna mjukvara använder sig av strålföljningsteknik för att simulera elektrooptiska och elektromagnetiska sensorer i olika miljöer. SE-WORKBENCH hanterar olika effekter som atmosfärsinverkan (transmission, himmelsinstrålning, markinstrålning) och olika materialegenskaper (BRDF, reflektans, etc). I det elektrooptiska fallet tas även den termiska inverkan med i simuleringen för de vågländer där den har betydelse.

För att beräkna atmosfärsinverkan används mjukvaran MODTRAN [22] (MODerate resolution TRANsmiission). MODTRAN omfattar modeller för att beräkna atmosfärsinverkan, atmosfärens bakgrundsradian, direkt sol- och måninstrålning, enkel-spritt solljus och månljus, multipelspritt solljus samt termisk radian. MODTRAN används även för att beräkna den termiska inverkan som atmosfären har på omgivningen. Då kan väderdata för upp till sju dagar innan simuleringstiden användas som indata till att beräkna den termiska jämvikten på de material som ingår i scenen.

Resultatet av simuleringen är endast en beskrivning av strålföljningen från sensorns fokalplan. Det gör att simuleringarna ser onaturligt kontrastrika ut. För att få simuleringen att se mer realistiskt ut appliceras en av FOI utvecklad sensormodell [23] på resultatet. Sensoreffekter kan till exempel vara oskärpa och brus som uppstår när den fysiska sensorn registrerar signalen. Se figur 5 för exempel på en simulering i långvågs-IR med i efterhand pålagda sensoreffekter motsvarande en FLIR SC7000 sensor.

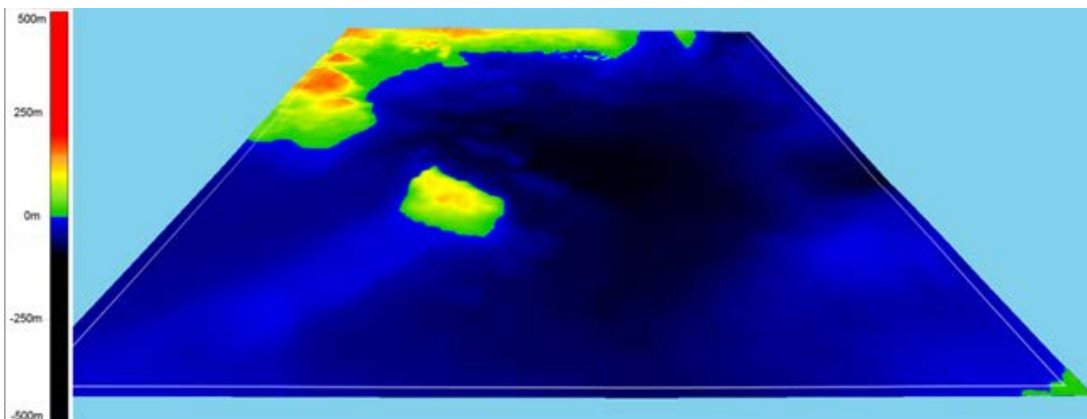
Till simulering av havsyta används en numerisk vågmodell utvecklad av Delft University of Technology kallad SWAN [24] (Simulating WAVes Nearshore). Vågmodellen tar hänsyn till bland annat vind, kust, bottenstruktur, strömmar och bottenväxter. Objektets läge på ytan tar hänsyn till vågstrukturen samt objektets flytkraft och vikt. Detta ger ett trovärdigt intryck av att fartyget rör sig i vågorna. Se figur 5 för exempel på simulering av grov sjö i vackert väder.





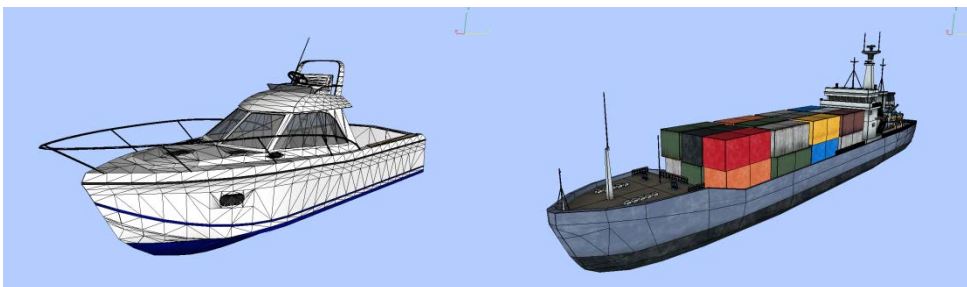
Figur 5. Exempel på simuleringar av en trålare i vackert väder med god sikt i två våglängdsband. Bilden till vänster visar en simulering av en färg-TV och i bilden i mitten visas en simulering av en långvågs-IR. Med sensoreffekter motsvarande en SC7000 uppnås ett mer realistiskt resultat vilket visas i bilden till höger.

För denna studie har en modell över ett stort område av Östersjön tagits fram. Modellen täcker ett område på 200×200 km och sträcker sig från Skåne/Blekingekusten och ned till strax utanför Polens kust. Området är framtaget med höjd- och djupdata som kommer från [25] och visas i figur 6. Modellen tar hänsyn till jordens krökning så att eventuella effekter av detta kan tas med vid studien av spaning med RPAS.



Figur 6. 3D-graf över höjd- och djupdata som modellen över östersjön bygger på. Uppre till vänster syns Skåne/Blekinge, i mitten ligger Bornholm och nere till höger skymtas Polen.

Två grafiska 3D-modeller motsvarande den lilla snabba motorbåten och det större lastfartyget har anskaffats och materialklassats, se figur 7. Se figur 8 för exempel på hur fartygen ser ut simulerade med en visuell sensor.

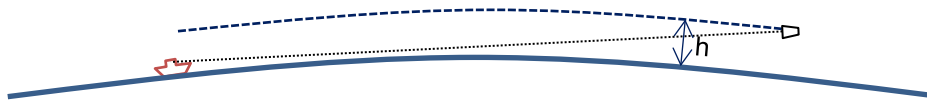


Figur 7. Tv: liten motorbåt som är 6 m lång. Th: Containerfartyg som är 122 m långt.



Figur 8. Liten snabb motorbåt och fraktfartyg simulerad med en visuell sensor i MSSLab.

För att studera effekten av avståndet till målen sattes ett typfall upp i SE-WORKBENCH där sensorn närmar sig målen. Omvärldsmodellen är modellerad med en krökt jordyta. Flygbanan för RPAS modellerades genom att skapa en bana som går med konstant höjd på 8500 meter över vattenytan, se figur 9. Denna bana startade med ett avstånd på 100 km från målen och en sensorbild togs var 10:e km på vägen mot målet. Detta upprepades fem gånger och varje gång ändrades målets kurs med 45° för att få med alla relevanta vinklar till målet.



Figur 9. Schematisk bild över krökt jordyta

Följande väderparametrar användes vid simuleringen:

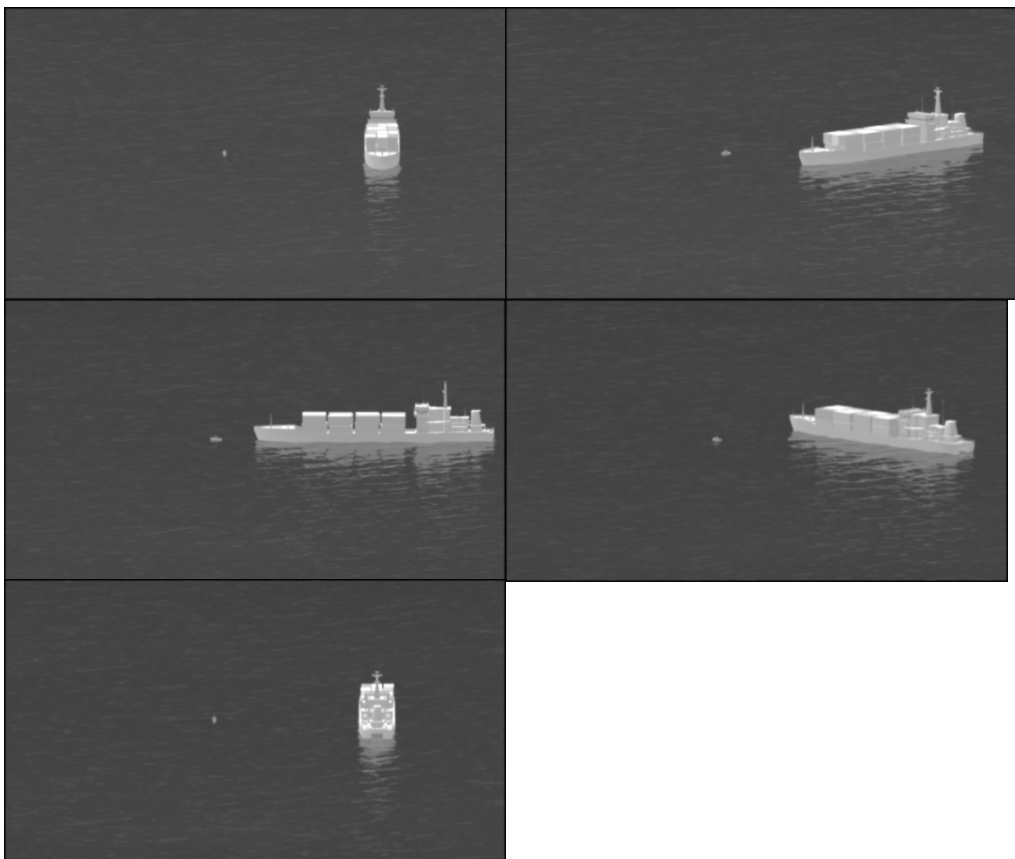
Parameter	Värde
Tid	2012-07-26 10:00 UTC
Siktmodell [22]	"Navy maritime"
Air mass character [22]	1
Sikt	Enligt siktmodell
Vind	7 m/s
Vindriktning	70°
Temperatur (havsytan)	17 °C
Moln	Inga
Lyfttryck (havsytan)	1013 mbar
Regn	0 mm/h

Fem olika sensorers våglängdsband simulerades: färg-TV, lågljus-TV, kortvågs-IR, mellanvågs-IR samt långvågs-IR. Se tabellen nedan för sensorparametrar som användes.

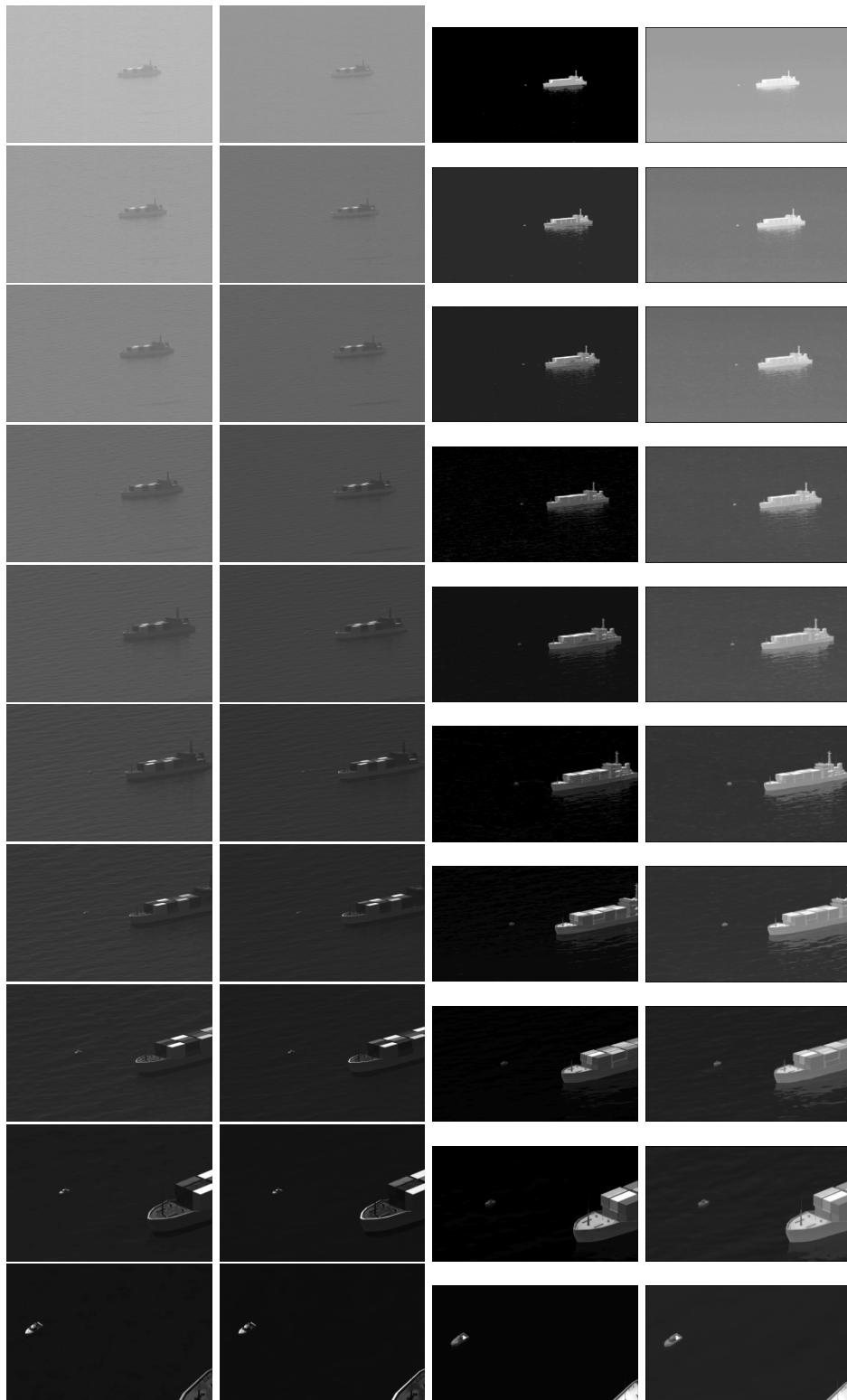
Tabell 1. Specificering av de fem sensorerna som simulerades.

Sensor	Våglängsband ( $\mu\text{m}$ )	Upplösning (bxh pixlar)	Synfält ( $^{\circ}$ )
Färg-TV	0,4 - 0,6	1920 $\times$ 1280	0.25
Lågljus-TV	0,6 - 1,0	1920 $\times$ 1280	0.25
Kortvågs-IR	0,8 - 1,8	1920 $\times$ 1280	0.25
Mellanvågs-IR	3,0 – 6,0	1280 $\times$ 720	0.25
Långvågs-IR	8,0 – 12,0	1280 $\times$ 720	0.25

I figur 10 visas LWIR-simulering där målets kurs ändrats med  $45^{\circ}$  för att få med alla relevanta vinklar till målet. Sensoreffekter har sedan hanterats som ett separat steg med Sensorsim. Simuleringarna tar hänsyn till jordens krökning, men vissa fenomen som superrefraktion som kan uppstå i atmosfären tas inte med i simuleringarna. Automatisk kontrastjustering har använts för att justera kontrasterna i bilderna så bra som möjligt och sensoreffekter är applicerade enligt 4.2.



Figur 10. De fem olika anflygningsriktningar som har studerats.



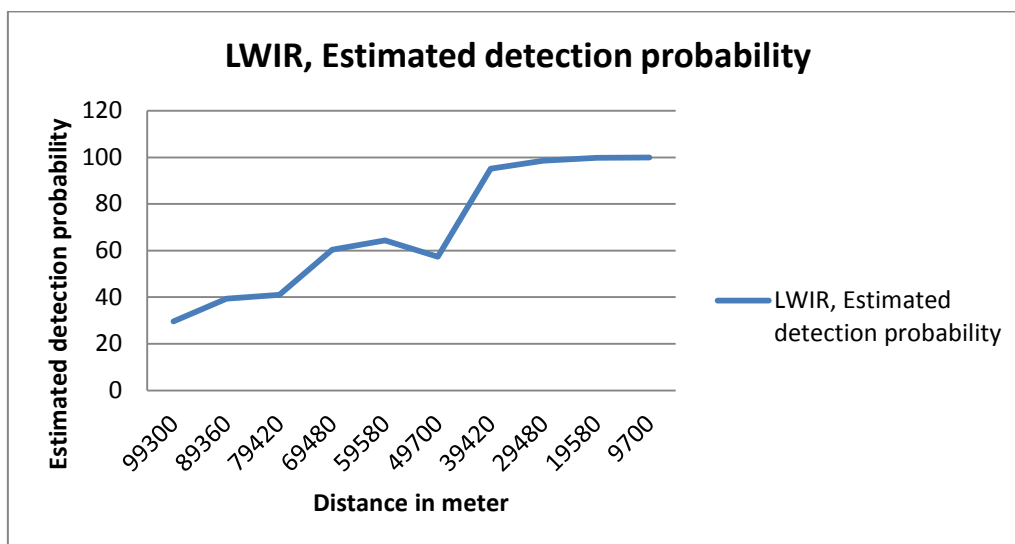
Figur 11. Liten motorbåt och fraktfartyg simulerad med sensorer i fyra olika våglängdsband från vänster: 1) lågljus-TV, 2) kortvågs-IR, 3) mellanvågs-IR och 4) långvågs-IR.

### 4.3 Seatex

För beräkningar av upptäcktsavstånd har programvaran Seatex använts, vilket är en vidareutveckling av programvaran Terrtex [26]. Indata till Seatex är simuleringar av EO/IR-data med fartyg. I Seatex beräknas egenskaper för ett målområde och en bakgrund för att erhålla ett mått som beskriver skillnaden mellan de två områdena. Ett sådant mått kan uttryckas som ett generaliserat signal-brus-förhållande (eng. Generalized signal-to-noise ratio: GSNRA). Upptäcktssannolikhet kan sedan beräknas från GSNRA enligt formeln,  $P_d = 1 - \exp(-k \cdot \text{GSNRA})$ , där  $k$  är en observatörskonstant ( $\approx 1$ ). Val av särdrag har valts för bästa prestanda för fartyg där hörn och skarpa kanter är karakteristiska för signaturen. Modellerna bygger på hur en mänsklig operatör skulle upptäcka ett objekt.

### 4.4 Resultat

Anflygningar är genomförda från olika vinklar med 45 graders vridning mellan varje anflygning. För varje anflygning har upptäcktssannolikheten beräknats. Ett exempel på hur detektionssannolikheten beror på avståndet visas i figur 12. Motorbåten ser man då rakt framifrån.



Figur 12. Sannolikhet att upptäcka motorbåten som funktion av avstånd vid vinkeln 0 grader.

Upptäcktssannolikheten har beräknats för de specificerade anflygningsriktningarna och våglängdsbanden. I tabellen nedan anges det första avstånd där upptäcktsannolikheten överstiger 50%.

Upptäcktsavstånd	0 grader	45 grader	90 grader	135 grader	180 grader
LWIR	65000	70000	60000	64000	65000
MWIR	63000	60000	58000	61000	64000

Resultaten visar att med den högsta inzoomningen kan man få mycket långa upptäcktsavstånd vid bra väder. I ett UAV-system har man dock vibrationer i både gimbalen och flygplanet, vilket gör att upptäcktsavstånden troligen är lite kortare.

Notera att ingen validering av programvaran Seatex har genomförts och att slutsatser bör dras med stor försiktighet gällande att resultatet ger ett visst upptäcktsavstånd i meter. Jämförelser av effekter i upptäcktsavstånd baserat på anflygningsvinklar, mål-objekt etc. bör kunna göras med större säkerhet.

## 5 Slutsatser och fortsatt arbete

MSSLab-simuleringar i marin miljö har förbättrats mycket under detta projekt. Med simuleringskapaciteten som har tagits fram kan vi nu studera havsövervakning med EO/IR-sensorer från en RPAS. Olika EO/IR-sensorer kan simuleras och utvärderas i olika väderfall och anflygningar, och uppförande såsom flyghöjd och avstånd kan tas med i en sådan utvärdering. Målbiblioteket i MSSLab har vidareutvecklats med flera fartyg som kan användas för att studera förmågan att identifiera fartyg med RPAS.

För att analysera upptäcktsavstånd har Seatex vidareutvecklats och resultat på upptäcktsavstånd för olika anflygningsriktningar har studerats. I ett fortsatt arbete bör dessa resultat valideras mot uppmätta anflygningar för att kontrollera modelleringsbegränsningar som finns på dessa långa avstånd. Ytterligare studier/validering av själva Seatex bör också genomföras för att validera själva det kvantitativa måttet på upptäcktsavstånd och hur olika fenomen påverkar upptäcktsavståndet i Seatex.

Jämförelser (i viss mån validering) av de beräknade upptäcktsavstånden kan också göras med programvaran NV-IPM (Night Vision Integrated Performance Model). NV-IPM har inte bilder som indata utan genomför beräkningar baserat på en funktion för temperaturskillnader mellan objekt och bakgrund, vilket innebär att man knappast fullt ut kan använda NV-IPM för att validera Seatex.

## 6 Referenser

- [1] Internet: <http://www.insitu.com/press/scaneagle-unmanned-aircraft-system-exceeds-600000-flight-hours>, besökt 2013-11-28.
- [2] Internet: <http://www.af.mil/information/factsheets/factsheet.asp?id=6405>, besökt 2012-06-12.
- [3] Internet: [http://www.deagel.com/Unmanned-Combat-Air-Vehicles/MQ-1-Predator\\_a000517002.aspx](http://www.deagel.com/Unmanned-Combat-Air-Vehicles/MQ-1-Predator_a000517002.aspx), besökt 2012-06-15.
- [4] Internet: [http://battleland.blogs.time.com/2012/02/29/3-finding-the-right-targets/#\\_edn2#ixzz1x6K9yvJv](http://battleland.blogs.time.com/2012/02/29/3-finding-the-right-targets/#_edn2#ixzz1x6K9yvJv), besökt 2012-06-15.
- [5] Internet:  
<http://www.militarytimes.com/article/20130810/NEWS03/308100005/UAV-success-Coast-Guard-major-drug-bust>, besökt 2013-11-28.
- [6] Internet: [http://www.cbp.gov/linkhandler/cgov/newsroom/fact\\_sheets/marine/guardian\\_b.ctt/guardian\\_b.pdf](http://www.cbp.gov/linkhandler/cgov/newsroom/fact_sheets/marine/guardian_b.ctt/guardian_b.pdf), besökt 2013-11-26.
- [7] Internet: <http://www.army-technology.com/projects/mq-8b-fire-scout/>, besökt 2012-06-12.
- [8] Internet: [http://en.wikipedia.org/wiki/Target\\_Acquisition\\_Minefield\\_Detection\\_System](http://en.wikipedia.org/wiki/Target_Acquisition_Minefield_Detection_System), besökt 2012-06-12.
- [9] Internet: <http://www.gs.flir.com/products/airborne/starsafireii.cfm>, besökt 2012-06-12.
- [10] Internet: <http://www.northropgrumman.com/paris2009/images/pdf/paris-as-fire-scout-briefing.pdf>, besökt 2012-06-12.
- [11] Internet: <http://www.dote.osd.mil/pub/reports/fy2012/pdf/navy/2012vtuav.pdf>, besökt 2013-11-28.
- [12] Internet: [http://defense-update.com/20130312\\_us-navy-orders-additional-mq-8c-long-endurance-firescouts.html](http://defense-update.com/20130312_us-navy-orders-additional-mq-8c-long-endurance-firescouts.html), besökt 2013-11-28.
- [13] Internet:  
<http://www.northropgrumman.com/Capabilities/firescout/Pages/default.aspx>, besökt 2013-11-28.
- [14] Internet: <http://www.defencetalk.com/northrop-delivers-additional-mq-8c-fire-scout-to-the-us-navy-49757>, besökt 2013-11-28.
- [15] Lars Bohman, editor, "Sensorer mot markmål, Anno 2012", FOI-R--3476--SE, Augusti 2012.
- [16] K. Ove S. Gustafsson, Arne Hågård, Edvard Karlsson, Rolf Persson, "Vågutbredningsanalys för elektrooptiska system – En förstudie", FOI-R--0513--SE, Juni 2002.
- [17] Internet: <http://photonics.com/Article.aspx?AID=53438>, besökt 2013-12-06.
- [18] Internet: <http://www.sensorsinc.com/whyswir.html>, besökt 2013-12-06.
- [19] Internet: <http://www.kmimediagroup.com/old/mgt-home/271-gif-2010-volume-8-issue-6-september/3338-rebalancing-isr.html>, besökt 2013-12-01.
- [20] Näsström F., Allvar J., Berggren J., Chevalier T., Forsgren R., Habberstad H., Hedström J., Hemström F., Hendeby G., Karlsson M., Persson A., "Simuleringsbaserade metoder för sensorvärdering - Årsrapport 2011", FOI-R--3357--SE, 2011.
- [21] Internet: <http://www.oktal-se.fr/>, besökt 2014-04-04
- [22] Kneizy F. X., Abreu L. W., Anderson G. P., Chetwynd J. H., Shettle E. P., Berk A. Bernstein L.S., Robertson D. C., Acharya P., Rothman L. S., Selby J. E. A., Gallery W. O., Clough S. A.: "The MODTRAN 2/3 Report and LOWTRAN 7 Model". Phillips Laboratory, Geophysics Directorate, PL/GPOS, Hanscom AFB, MA 01731-3010, USA, 1996.

[23] Thomas Svensson, Anna Sargsyan, Roland Lindell, Jörgen Ahlberg, David Bergström, Stefan Björkert, Staffan Cronström, Tomas Hallberg, Rolf Persson, "IR&EO measurement facilities", FOI-R--3211--SE.

[24] Internet: <http://www.swan.tudelft.nl/>, besökt 2013-12-06.

[25] Internet: <http://www.io-warnemuende.de/topography-of-the-baltic-sea.html>, besökt 2013-12-10.

[26] Sten Nyberg, "Models used in assessment of optical sensors", FOI-R--2290--SE, juni 2007.



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



FOI  
Totalförsvarets forskningsinstitut  
164 90 Stockholm

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

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