

Ove Steinvall, Marie Andersson, Michael Tulldahl, Andreas Olsson, Stan Zyra

Integration av optisk sensor i undervattensplattform för minsökning

TOTALFÖRSVARETS FORSKNING SINSTITUT

Sensorteknik

Box 1165

581 11 Linköping

FOI-R--0297--SE

December 2001

ISSN 1650-1942

Teknisk rapport

Ove Steinvall, Marie Andersson, Michael Tulldahl, Andreas Olsson, Stan Zyra

Integration av optisk sensor i undervattensplattform för minsökning

Utgivare Totalförsvarets Forskningsinstitut - FOI Sensorteknik Box 1165 581 11 Linköping	Rapportnummer, ISRN FOI-R--0297--SE	Klassificering Teknisk rapport
	Forskningsområde 4. Spaning och ledning	
	Månad, år December 2001	Projektnummer E2009
	Verksamhetsgren 5. Uppdragsfinansierad verksamhet	
	Delområde 43 Undervattenssensorer	
Författare/redaktör Ove Steinvall Marie Andersson Michael Tuldahl Andreas Olsson Stan Zyra	Projektledare Paul Ström	
	Godkänd av Svante Ödman	
	Uppdragsgivare/kundbeteckning Försvarsmakten	
	Tekniskt och/eller vetenskapligt ansvarig Ove Steinvall	
Rapportens titel Integration av optisk sensor i undervattensplattform för minsökning		
Sammanfattning (högst 200 ord) Denna rapport belyser möjligheterna till kombinerade system för minjakt baserade på akustik, elektromagnetiska metoder samt optisk teknik. Systemen avgränsas till undervattensopererande system såsom fjärrstyrda undervattensfarkoster. Tonvikten ligger på de optiska sensorerna och hur de kan ingå i ett totalsystem tillsammans med akustiska och elektromagnetiska sensorer. En kort översikt av mintyper ges varefter en tekniköversikt presenteras. Tekniköversikten baseras på tidigare studier inom akustik, elektromagnetik samt optisk teknik utförda av FOI och andra internationella aktörer. Därefter ges några operativa erfarenheter av minröjning från den svenska marinen. Slutligen diskuteras några tänkbara sensorkombinationer på undervattensplattformar och avslutningsvis ges rekommendationer till fortsatt arbete. Operativa erfarenheter från dagens system kan kort sammanfattas med att behov finns att förbättra klassificeringsförmåga och räckvidd, samt förmågan att detektera nedgrävda minor. En laserbaserad sensor förväntas ge ökad förmåga för klassificering av bottenliggande minor. I de framlagda multisensorkoncepten föreslås huvudsensorn vara en syntetiskapertursonar eller eventuellt en parametrisk sonar. Den laserbaserade sensorn kan ha kapacitet att detektera botten-signaturer över nedgrävda minor, men eftersom detta är en indirekt, och därmed osäker mätmetod, så är det önskvärt med kompletterande akustisk eller magnetisk sensor i ett multisensorkoncept. Det föreligger behov av att utvärdera den laserbaserade sensorn för svenska vatten och bottenar.		
Nyckelord Undervattenssensorer, grön laser, multisensorsystem, minsökning, undervattendetektion		
Övriga bibliografiska uppgifter	Språk Svenska	
ISSN 1650-1942	Antal sidor: 44 s.	
Distribution enligt missiv	Pris: Enligt prislista	

Issuing organization FOI – Swedish Defence Research Agency Sensor Technology P.O. Box 1165 SE-581 11 Linköping	Report number, ISRN FOI-R--0297--SE	Report type Technical report
	Research area code 4. C4ISR	
	Month year December 2001	Project no. E2009
	Customers code 5. Commissioned Research	
	Sub area code 43 Underwater Sensors	
Author/s (editor/s) Ove Steinvall Marie Andersson Michael Tulldahl Andreas Olsson Stan Zyra	Project manager Paul Ström	
	Approved by Svante Ödman	
	Sponsoring agency Swedish Armed Forces	
	Scientifically and technically responsible Ove Steinvall	
Report title (In translation) Integration of optical sensors for minehunting in an underwater vehicle		
Abstract (not more than 200 words) This report exemplifies possibilities for minehunting, based on combined acoustical, electromagnetic and optical sensors. The systems are limited to sensor systems mounted on underwater platforms. The focus of this report is on the optical sensors and how they could be combined with acoustical and electromagnetic sensors. Different types of mines are briefly described, after which an overview of the different sensors is given. The sensor overview is based on earlier studies performed by FOI and other international organizations. Subsequently, some operational aspects from the Swedish Navy are presented. Finally, possible sensor combinations are discussed. Operational aspects from the present methods briefly provide that there is a need for increased range, improvement of classification of mines, and ability to detect buried mines. A laser-based sensor is expected to improve the classification of bottom mines. All discussed sensor combinations include a synthetic aperture sonar or a parametric sonar as the main sensor. The laser-based sensor can possibly detect signatures on the sea bottom above a buried mine, but since this is an indirect method, it is desirable to use a complementary acoustic or electromagnetic sensor in a combined sensor system. The laser-based sensor needs to be evaluated for conditions in Swedish waters and sea bottoms.		
Keywords Underwater sensors, green laser, multisensors, mine detection, underwater detection		
Further bibliographic information	Language Swedish	
ISSN 1650-1942	Pages 44 p.	
Price acc. to pricelist		

INNEHÅLL

1	INLEDNING.....	6
1.1	BAKGRUND	6
1.2	MINTYPER.....	7
2	OPERATIVA ERFARENHETER.....	9
2.1	DAGENS METODER SAMT UTVECKLING I NÄRTID	9
2.2	SVÅRIGHETER MED DAGENS SYSTEM OCH FÖRBÄTTRINGSBEHOV.....	11
3	ÖVERSIKT AV TENIKEN.....	12
3.1	AKUSTISKA SYSTEM	12
3.2	ELEKTROMAGNETISKA SENSORER.....	18
3.3	LASERSYSTEM	22
3.4	LIDARRADAR.....	31
3.5	FLUORESCENSTEKNIK	32
3.6	MULTISPEKTRAL/HYPERSPEKTRAL PASSIV ELEKTROOPTISK TEKNIK	34
3.7	SAMMANFATTNING OPTISKA SENSORER FÖR MINSP ANING OCH KLASSIFICERING	35
3.8	VÄRDERING AV FÖREKOMMANDE TEKNIK I SYSTEM	36
4	TÄNKBARA MULTISENSORKONCEPT.....	38
4.1	KONCEPT 1. FLERA SENSORER I SAMMA ROV (AUV)	38
4.2	KONCEPT 2. SENSORER I MODER-ROV OCH DOTTER-ROV	39
4.3	KONCEPT 3. SENSORER I MODER-ROV OCH BOTTENNÄRA DOTTER-ROV.....	41
4.4	VÄRDERING AV MULTISENSORKONCEPTEN	42
5	FORTSATT ARBETE.....	43
6	REFERENSER	44

1 Inledning

1.1 Bakgrund

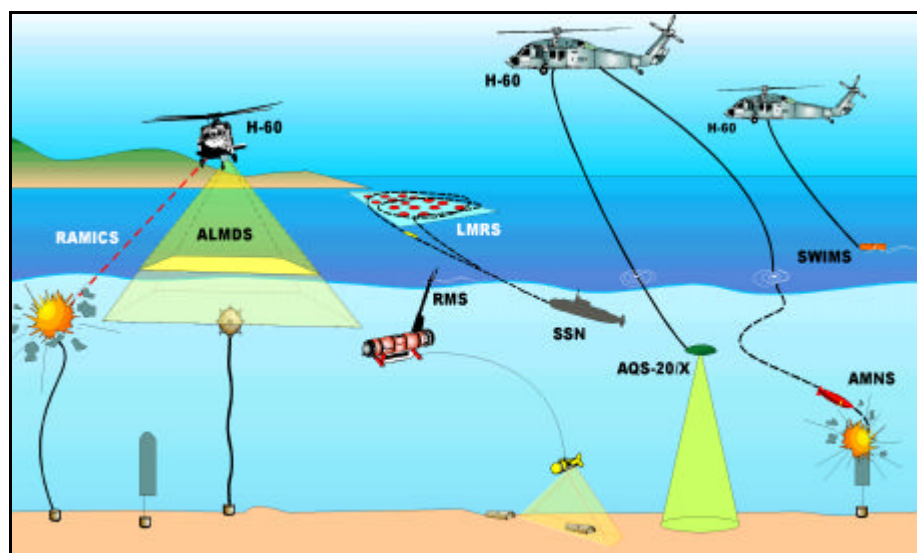
Vid dagens minspaning används nästan uteslutande hydroakustiska hjälpmedel, d.v.s. olika sonar-utrustningar. För klassificering används dykare och videokamera. För att effektivisera minspaningen, klassificeringen och även identifieringen krävs komplement till dagens utrustningar. Tänkbara sätt är utnyttjande av EM (elektromagnetiska) och optiska (laser) metoder. Marknaden erbjuder ett antal utrustningar som bygger på laserteknik och som praktiskt visat god funktion. Alla metoder har begränsningar vad gäller räckvidd, upplösning och snabbhet. Traditionell akustisk teknik¹ för spaning och klassificering av minor har sina begränsningar både prestandamässigt och att aktiv akustisk teknik är röjande i vatten.

Elektromagnetiska metoder² (EM) studeras också för minspaning och ej heller denna teknik löser problemet med detektion och klassificering. Nyligen genomfördes en förstudie³ avseende laser- och elektro-optiska metoder för minspaning. Dessutom genomfördes en förstudie⁴ för sjömätning, ubåtsjakt och andra funktioner, tänkt som ett underlag för uppgradering av framtida Hawkeye-system. Laserteknik ger i allmänhet upp till 5 ggr bättre räckvidd jämfört med konventionell videokamerateknik. Dessutom kan upplösning i cm-klass uppnås med s.k. streackamerateknik. Passiv elektrooptisk teknik, bl.a. multispektrala metoder utgör en intressant teknik och fördelen med att kombinera en aktiv och passiv elektrooptisk sensor bör noteras. Laser och elektrooptisk teknik är intressant för minspaning och minklassificering, se Figur 1 som visar några av de system som f.n. utvecklas i USA för minspaning/klassificering.

Denna rapport syftar till att belysa möjligheterna till kombinerade system baserade på akustik, elektromagnetiska metoder samt optisk teknik. Vi avgränsar oss till undervattensopererande system.

Rapporten inleds med en översikt av mintyper varefter en tekniköversikt presenteras. Därefter ges några operativa erfarenheter av minspaning och minklassificering från den svenska marinen.

Slutligen diskuteras några tänkbara sensorkombinationer på undervattensplattformar och avslutningsvis ges rekommendationer till fortsatt arbete.



ALMDS - Airborne Laser Mine Detection System	AQS-20/X - Underwater towed STIL
RAMICS - Rapid Airborne Mine Clearance System	RMS - Remote Mine-hunting System
SWIMS - Shallow Water Influence Minesweeping System	LMRS - Long-term Mine Reconnaissance System
AMNS - Airborne Mine Neutralization System	

Figur 1. Översikt över några av de system som USA utvecklar för minspaning/minklassificering. De gröna loberna indikerar lasersystem.

1.2 Mintyper

Avsnittet är en sammanfattning ur en tidigare utgiven rapport, se ref 3.

Sjöminor delas in i olika typer, dels efter hur de placeras och dels efter hur de detonerar. De klassiska kontaktminorna som detonerar vid påsegling har i modern tid nästan helt slutat användas p.g.a. att de måste ligga för öppet och synligt. Avståndsminor som verkar inom ett visst avstånd har ersatt dessa minor. Avståndsminorna är oftast bottenliggande eller förankrade. Det förekommer flytminor även om dessa är förhållandevis ovanliga. Vidare är minorna uppdelade i verkanstyp som avstånds- eller direktverkande.

Mintyper klassificerade efter placering i vattenvolymen

Förankrade minor

Den förankrade minan är placerad ovan botten. Den är antingen en kontakt- eller avståndsminan. Till formen är den cylinder- eller klotformad.

Bottenliggande minor

De bottenliggande minorna läggs på botten så osynliga som möjligt. De läggs vanligen på 10-200 m djup, men kan ligga ännu djupare. För att få ytverkan läggs de inte djupare än 45 m. Den svenska *Rockan* läggs på max 20 m. Bottenliggande minor är nästan uteslutande avståndsminor. Storlek och form varierar men generellt kan man säga att de är 0,5-1 m i diameter samt 1-5 m långa. Minan kamoufleras med trä, plast eller annat omagnetiskt material som gör minan svårupptäckt med akustiska sökmeter. Färger som grått, svart och grönt gör minan svårupptäckt för kameror. Att få den att likna en sten med t.ex. snäckor kan vara ett bra sätt att kamouflera den.

Mintyper klassificerade efter verkanssätt

Kontaktminan

Ursprungligen användes kontaktminor (även s.k. stötminan eller hornminan). De började tillverkas under 1700-talet och dessa detonerade vid påsegling. Kontaktminor används inte ofta i modern tid eftersom de placeras för öppet och synligt. Ändå ses dessa minor som ett hot i vatten där fartygen kan stöta emot drivande kontaktminor. Ett exempel på detta var i Gulfkriget där många drivminor lades ut.

Avståndsminan

Avståndsminan har ersatt kontaktminan och verkar inom ett visst avstånd från målet. Nedan följer korta förklaringar på funktionen hos olika sensorer minan.

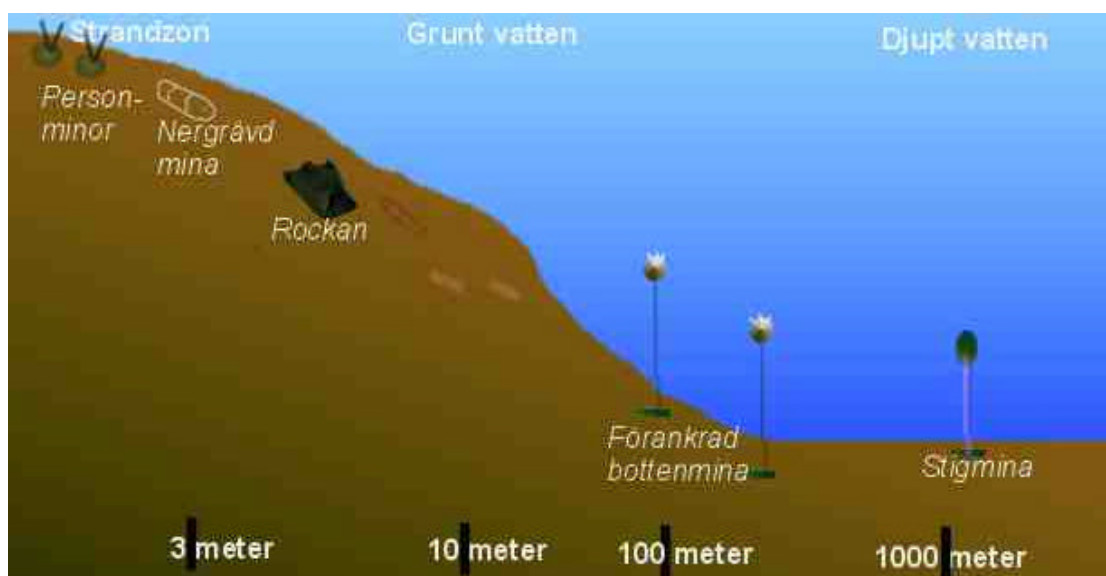
- **Magnetik:** En magnetsensor i en minan registrerar förändringar i det jordmagnetiska fältet. Då ett fartyg passerar minan förändras fältet och sensorn reagerar.
- **Akustik:** En känslig hydrofon i minan registrerar buller inom området 20-20000 Hz som t.ex. ett fartyg genererar.
- **Tryck:** Denna sensor upptäcker vattentryckvariationer som uppstår då ett fartyg passerar ytan över sensorn. Sensorn fungerar inom rimliga djup.
- **UEP:** Metallmaterial ger tillsammans med vattenkontakt upphov till potentialskillnader som kan mätas med instrument. Potentialskillnaderna kan mätas upp till ett avstånd på ca 600 m från fartyg m.h.a. en UEP-sensor (*Underwater Electric Potential*).
- **ELFE:** Den modernaste sensorn för fartygsupptäckt mäter ELFE (*Extreme Low FrEQUENCY*). Det mäter det lågfrekventa elektriska fältet som fartyget genererat. Sensorn kan upptäcka mål upp till 2 km avstånd.

Framtidens sjöminor

Sjöminorna ingår i en utveckling där de blir både mindre i storlek och mindre synliga. Sprängämnet hos minan är helt avgörande för storleken. Därmed går utvecklingen mot att göra sprängämnena mer effektiva. Ett annat sätt att förbättra verkan är att göra minor rörliga. Exempelvis kan bottenminan övergå till att vara förankrad mina, s.k. stigmina. Konceptet har beskrivits i en FOA-rapport.⁵ Ett annat exempel på rörlig mina är den s.k. torpedminan. I den minan kombineras viktiga egenskaper hos mina respektive torped såsom autonomitet och god verkan i målet.

Andra viktiga faktorer för utvecklingen av minan är minans form och ytbeläggning. De s.k. stealth-minorna formas något koniska för att göra dessa svårare att upptäcka. Dessutom utrustas dessa minor med en akustisk ickereflekterande beläggning. Det gör detektion med sonar försvårad. Rockan är ett exempel på en stealthmina.

Den säkraste metoden att upptäcka framtidens minor torde vara en teknik där man kombinerar flera sensorer som kompletterar varandra. Detta gör detektion och klassificering säkrare och snabbare.



Figur 2. Figuren åskådliggör minhotet.

2 Operativa erfarenheter

Personer i svenska minröjningsflottiljen⁶ har intervjuats för att beskriva operativa aspekter utifrån nuvarande metoder och system. Först bör tre begrepp som används vid minröjningsoperationer förklaras: detektion, klassificering och insats. Detektion är det moment då minan skall upptäckas i ett område bestående av vattenvolym och botten. Då ett objekt detekterats behöver man avgöra om objektet är en mina, vilket benämns klassificering. Det objekt som klassificeras som mina oskadliggörs genom insats, vanligen genom sprängning av minan. Till begreppen detektion, klassificering och insats kan även läggas identifiering, vilket innebär att mintypen bestäms samt i vissa fall även minans identitet i form av t.ex. ursprungsland eller tillverkningsår. Identifiering är dock av underordnad betydelse i normala minröjningsoperationer. Speciellt vid internationella operationer är det normalt att klassificera för att sedan åtgärda med insats mot minan.

2.1 Dagens metoder samt utveckling i närtid

För att upptäcka minor används nästan enbart akustiska metoder. På korta avstånd (ett fåtal meter) kan sökningen kompletteras med videokamera samt dykare. Detektion sker typiskt med skrovfast sonar från minröjningsfartyg. Mintyp, vattenkvalitet och bottenförhållanden påverkar starkt detektionsförmågan. Maximala räckvidden varierar i extremfall från ca 200 m till ca 1200 m. Upplösningen i sida för den skrovfasta sonaren är normalt 20 cm till 30 cm och akustisk frekvens normalt mellan 50 kHz och 300 kHz. Sensorinformationen från sonaren presenteras för operatören på en bild som anger riktning, avstånd och ekostyrka.

Klassificering utförs delvis med skrovfast hydrofon eftersom det ger förhållandevis god upplösning och är bildalstrande. Vissa mintyper kan erfarenhetsmässigt kännas igen genom deras eko och storlek (antal pixlar på bildskärmen). Detta kräver relativt goda ljudutbredningsförhållanden och gynnsamma bottenförhållanden (t.ex. frånvaron av stenar med minliknande storlek och form).

Den slutliga klassificeringen samt insatsen genomförs oftast med en till fartyget kopplad ROV (*Remotely Operated Vehicle*), samt av röjdykare. ROV:n söker upp objekt som detekteras eller klassificeras misstänks vara minor. I ROV:n sitter en videokamera vars bildinformation länkas till ROV-operatören i fartyget där den slutliga klassificeringen utförs. Med antingen samma ROV, en speciell insats-ROV eller av dykare kan en sprängladdning placeras vid minan därefter den eventuellt sprängs.

FMV och Försvarsmakten håller på att ta fram en ROV som förutom videokamera även innehåller bildalstrande sonar som delvis kan överta den skrovfasta sonarens uppgifter. En stor fördel med ROV-monterad sonar är att den kan användas på större djup för att problemet med olika ljudutbredning i olika skikt i vattnet kan lösas. Ett annat koncept som är under framtagande innehåller ett obemannat ytfartyg kallat *Sökaren* som radiostyrs från moderfartyget. Sökaren är ca 27 m lång och kan ha en släpande undervattensfarkost med VDS-sonar (*VDS – Variable Depth Sonar*). Sonarbilden länkas via sökaren till moderfartyget medelst radio. Det obemannade ytfartyg kan byggas på ett annorlunda och mer robust sätt än ett vanligt fartyg.

Försök med elektromagnetiska system pågår, men inga operativa koncept är utarbetade. Förutom videokamera används idag inga andra optiska system.

ROV (*Remotely Operated Vehicle*)

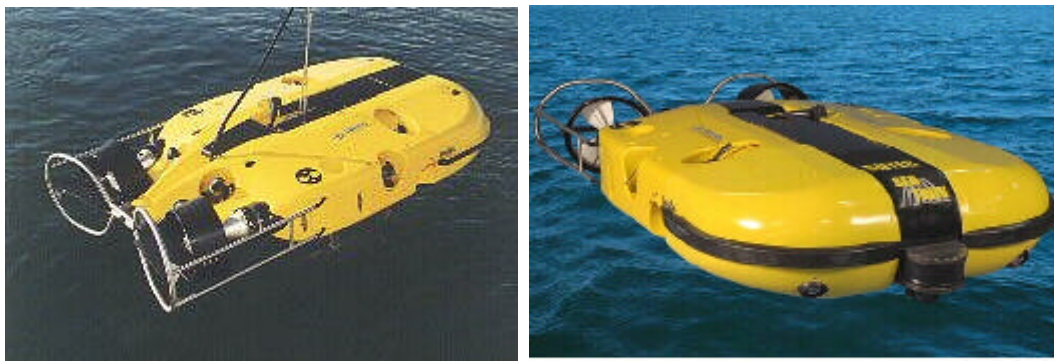
Svenska minröjningsfartyg använder fjärrstyrda undervattensfarkoster (ROV) för att leta upp och identifiera minor. ROV:arna som används är svensktillverkade och är av typerna "Uven" och "Dubbeluven". Internationellt används ROV:ar på liknande sätt som i Sverige och dessa ROV:ar är uppbyggda på i stort samma sätt som de svenska med sonarer och kameror.

Uven

Uven är en ROV som har ett antal sensorer för att leta upp sjöminor. En viktig egenskap är att Uven och Dubbeluven har gyron i tilt, roll och pitch vilket gör att dessa farkoster kan röra sig fritt 360° i vattnet. De har temperaturgivare för angivelse av vattnets temperatur och tryckgivare av vilka den senare anger djupet de befinner sig på. Uven styrs från fartyget via en 350 m lång kabel. Farkosten har en sonar, en TV-kamera som är kopplad till en monitor ombord på fartyget och en s.k. MOS-kamera (*Metal Oxide Semiconductor*). Den senare är en typ av sensor som ger en skarp bild på avståndet 30 cm. Den används precis innan man lägger ut sprängladdningen. Någon m från minan sätts MOS- kameran igång medan Uven sakta rör sig mot minan. Då MOS-kameran fokuserar och får en skarp bild av minan på avståndet 30 cm stoppas farkosten och en mekanisk arm applicerar röjladdningen.

Dubbeluven

Dubbeluven är en förbättrad variant av Uven, se Figur 3. Utrustningen och tillämpningen är densamma som för Uven, men skillnaden ligger i att den både är större och motorstarkare än Uven. Dubbeluven simmar i 45 kn och står emot strömmar och vågor bättre än Uven gör. Båda typerna är utrustade med högfrekvenssonar för instyrning och klassificering av föremål. En TV-kamera används för att identifiera föremål på nära håll. Via en kabel strömförsörjs dessa farkoster från moderfartyget. Dubbeluven har större möjlighet att röra sig i vattnet och har en automatfunktion för höjdläge så att den konstant kan ligga t.ex. två meter ovanför botten. Bild på Dubbeluven visas i Figur 3. Med en egenvikt på 100 kg och 12 kg lastningsvikt kan Dubbeluven operera på djup ner till 500 m. 15-20 m från minan lokaliseras denna m.h.a. sonaren samtidigt som TV-kameran sätts i gång. Därefter går Dubbeluven fram långsamt och då den s.k. MOS-kameran är 30 cm framför minan läggs laddningen ut för att senare spränga minan.



Figur 3. Fotografier på Dubbeluven som opereras av svenska minröjningsfartyg för att leta upp sjöminor.

2.2 Svårigheter med dagens system och förbättringsbehov

Generellt finns ett behov att förbättra detektions- och klassificeringsförmågan. Klassificering med sonar är mycket svår p.g.a. att förväxling mellan minor och stenar lätt kan ske. Detta får till följd att många objekt som senare inte visar sig vara minor måste undersökas med ROV och videokamera på nära håll, vilket minskar hastigheten i operationen. En bildalstrande sensor med större räckvidd än videokamerans räckvidd skulle vara ett värdefullt komplement till sonarens klassificeringsförmåga. Den skulle komplettera mellansteget mellan räckvidderna för sonar och för videokamera.

Vissa mintyper är mycket svårupptäckta med sonar och nästan omöjliga att klassificera. Till dessa mintyper med oregelbunden ('stenlik') form, "stealth"-form, minor som inte innehåller luft, minor av glasfiber eller som är täckta med skumgummi. Alla dessa mintyper ger, om ens någon, liten avvikande signatur från omgivningen. Det förekommer även att minor kläs med skal som ger dem en låg akustisk signatur. En mina kan även kläs med ett högt kväveberikat skikt, som medför att den redan ca en vecka efter utläggning beläggs med växtlighet.

Moderna eller modifierade äldre minor kan ha mycket avancerade sensorer och logik, vilket kan försvåra eller förhindra en minröjningsoperation. Ett exempel på ett svårt och farligt minfält är ett som har bottenliggande minor kompletterade med torpedmina som väcks upp då den träffas av akustiska vågor från en minjaktssonar (t.ex. området 50 kHz - 300 kHz). Minan startar och söker med hjälp av sin akustiska målsökare upp ljudkällan och detonerar vid sonarplattformen. Om plattformen utgör en väsentlig del av minröjningsstyrkan, riskerar hela operationen att avbrytas och övriga minor får ligga kvar. Flera sensorer som kompletterar sonaren skulle kunna möjliggöra flexibilitet genom akustiskt tyst uppträdande i delar av en operation. Här bör dock påpekas den troliga utvecklingen av minsensorer och intelligenta program som motmedel till nya minröjningssystem.

Detektion och klassificering med sonar begränsas ofta av att skikt p.g.a. temperatur eller salthalt på olika djup vilket medför varierande ljudhastighet i respektive skikt. Det kan bildas tunna skikt med markant avvikelse som är av mycket stor betydelse för ljudutbredningen. Ändras ljudhastigheten tillräckligt kraftigt som funktion av djupet, uppstår s.k. ledskiktsutbredning, vilket medför att ljudet fångas i ett skikt eller har svårt att tränga igenom skiktet. Den svenska skärgården har en speciellt svår hydroakustisk miljö. Olika sätt att minska beroendet av ljudutbredningsförhållanden vid minröjningsoperationer är av värde. Ett sådant har den ovan nämnda ROV-monterade sonaren.

Alla system som idag används är i hög grad beroende av operatörens skicklighet. Om operatörsberoendet kan minskas förbättras resultaten, snabbheten och säkerheten i minröjningsoperationerna. Detta kan t.ex. göras med vidareutvecklad signal- och bildbehandling för befintliga system samt genom att implementera multisensorfunktioner.

Dagens problem i minjakten kan sammanfattas i tre punkter:

- Räckvidden. I grunda vatten är det svårt att ta sig in med fartyg och ROV. ROV når endast några 100-tals meter och når därför inte strandlinjen.
- Klassificeringsförmågan. Sonarer har svårt att skilja mellan objekt som är "man made" eller naturliga.
- Nergrävda/gömda minor. Sonarer har svårigheter att nå ner under botten-skiktet och har därför svårt att se nergrävda minor. Signaturdämpande material hos minan samt minor täckta med sten/snäckor eller liknande gör minan svårupptäckt. Bottenminor som ligger vid kraftig beväxning som t.ex. sjögräs är ytterligare exempel som gör minor svårupptäckta.

3 Översikt av tekniken

3.1 Akustiska system

Det finns stora behov av att detektera och klassificera föremål på botten i både militära och civila sammanhang. Svarta lådor från flygplan, vrakdelar, gifttunnor och minor är några exempel. Det är föremål som dessutom ofta ligger dolda i bottensedimenten. För mindetektion är aktiva sonar-, sound navigation and ranging-system aktuella eftersom de har en bättre avbildande förmåga på större avstånd jämfört med andra tekniker. En sonar fungerar som en radar under vatten, skillnaden är att här används akustisk energi med en utbredningshastighet av ca 1500 m/s. För att erhålla bra upplösning sänds eller mottages energin i en riktad stråle. Med en riktad stråle blir sökområdet begränsat och för att få en större täckningshastighet utvecklas därför teknik med multipla strålar (multibeam sonar). Akustisk spaning bedrivs från skrovfasta system eller system monterade på släpfisk, fjärrstyrda ROV eller självgående undervattensfarkoster (AUV).



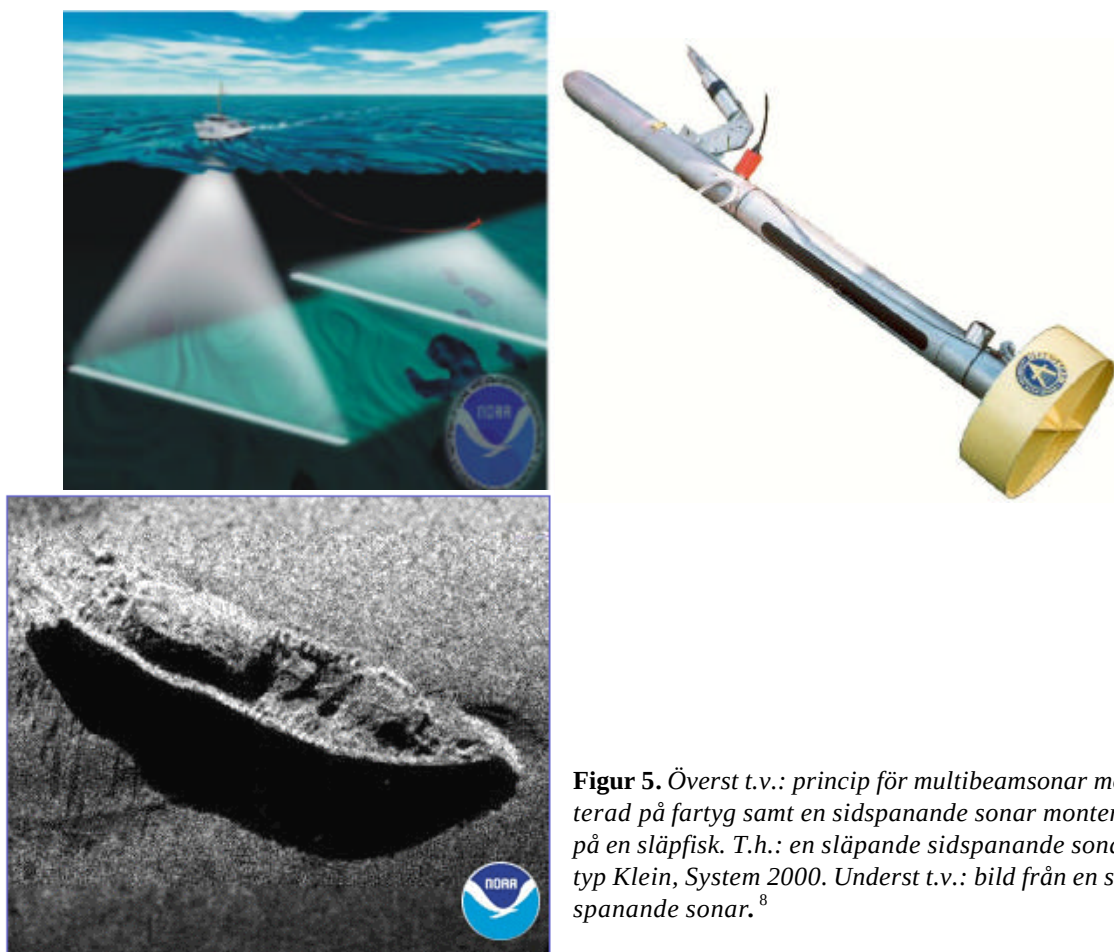
Figur 4. Minröjning i svenska marinen.⁷

Bland de för minproblemet relevanta akustiska systemen återfinnes olika typer av minjaktssonar, parametrisk sonar samt sidspanande sonar.

En sidspanande sonar sänder från en farkostsida, oftast en släpfisk, där den monterats. Höga frekvenser (500 kHz-1 MHz) ger hög detaljrikedom men kort räckvidd medan lägre frekvenser (50 kHz-100 kHz) ger längre räckvidd i jämförelse.

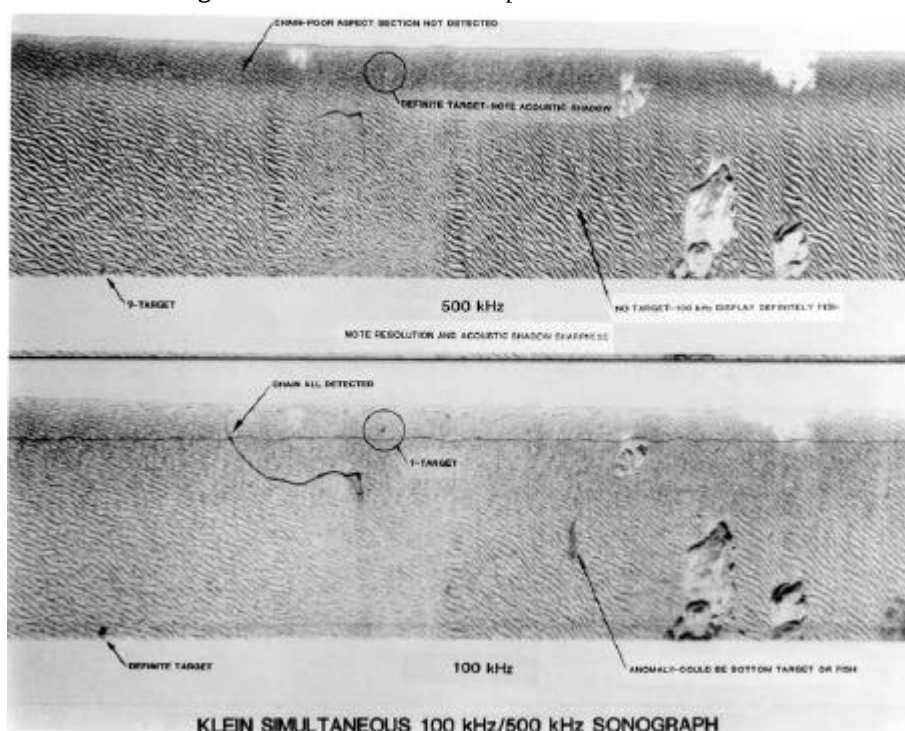
Hårda mål ger starkare signalreturer och området strax bakom ett objekt ger skuggning. Figur 5 visar en principbild för sonarer av typer skrovfast multibeam för mätning av bottenpografi och sidspanande på en släpfisk för detaljerad bottenavbildning. Figur 5 visar även ett exempel på hur en sidspanande sonar avbildar ett fartygsvrak. I Figur 6 jämförs samtidig registrering med sidspanande sonar vid 100 kHz respektive 500 kHz. Figur 7 visar en högupplöst bild av ett ankare inklusive kedja och avtryck på botten. Figur 8 visar typisk geometri för högupplösande släpshydrofon samt exempel på sonarbild.

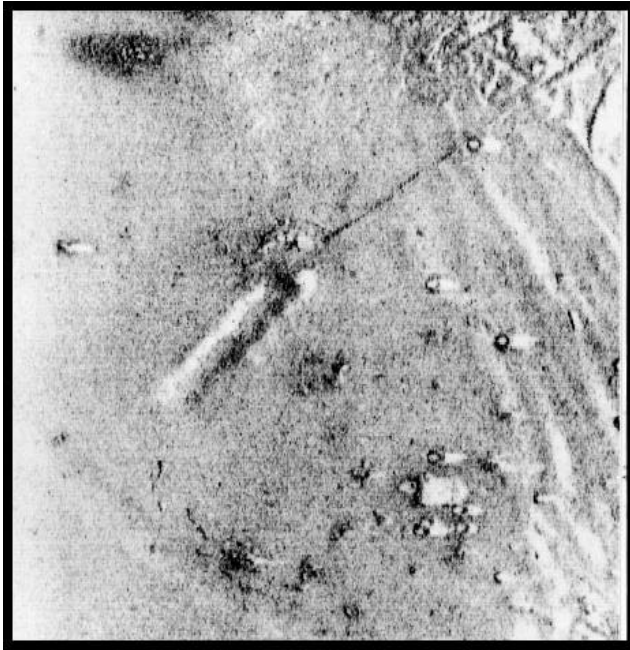
Sidspanande sonar är inte alltid tillräcklig för klassificering av minor och minliknande objekt. Därför har andra högupplösande tekniker utvecklats, dit hör parametrisk sonar samt syntetiskapertursonar.



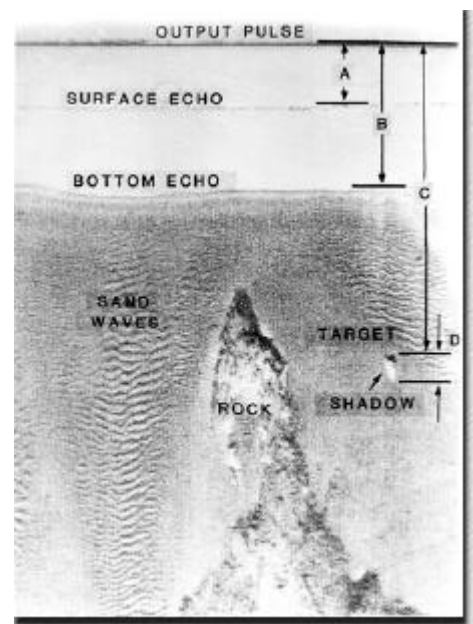
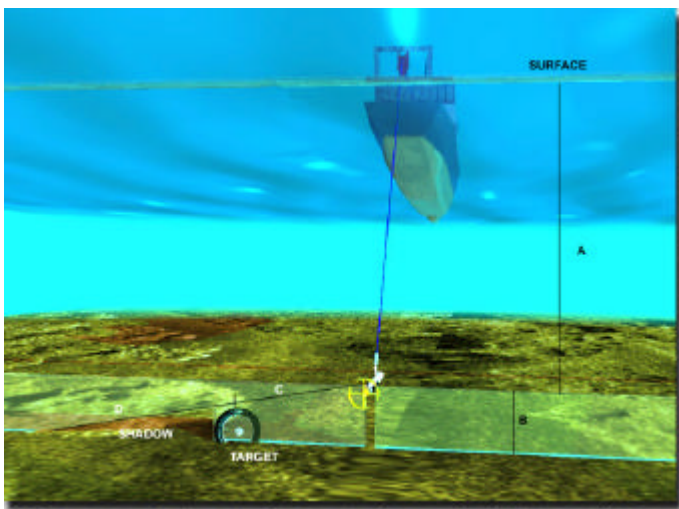
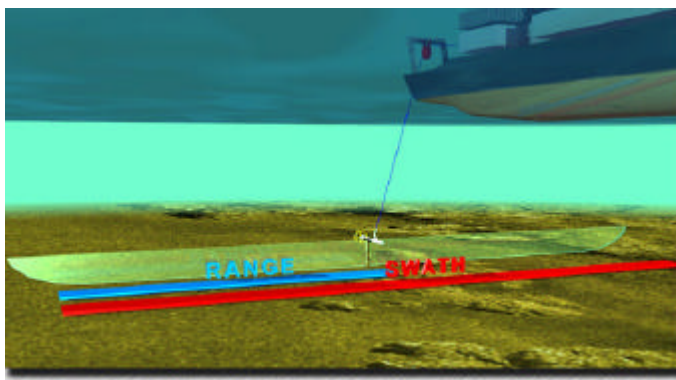
Figur 5. Överst t.v.: princip för multibeamsonar monterad på fartyg samt en sidspanande sonar monterad på en släpfisk. T.h.: en släpande sidspanande sonar av typ Klein, System 2000. Underst t.v.: bild från en sidspanande sonar.⁸

Figur 6. Sonarbilder vid 100 resp 500 kHz.⁹





Figur 7. Klein system 2000 som opererar med 500 kHz har gett bilden till vänster av ett ankare. Avstånd till botten var 50 m. Notera ankaret, kedjan samt spår på botten av ankaret.¹⁰



Figur 8. Bilderna till vänster visar typisk geometri för släpad högupplösande sonar. Höjd ovan botten 10 m och täckning i stråket ca 200 m. Till höger visas exempel på sonarbild.

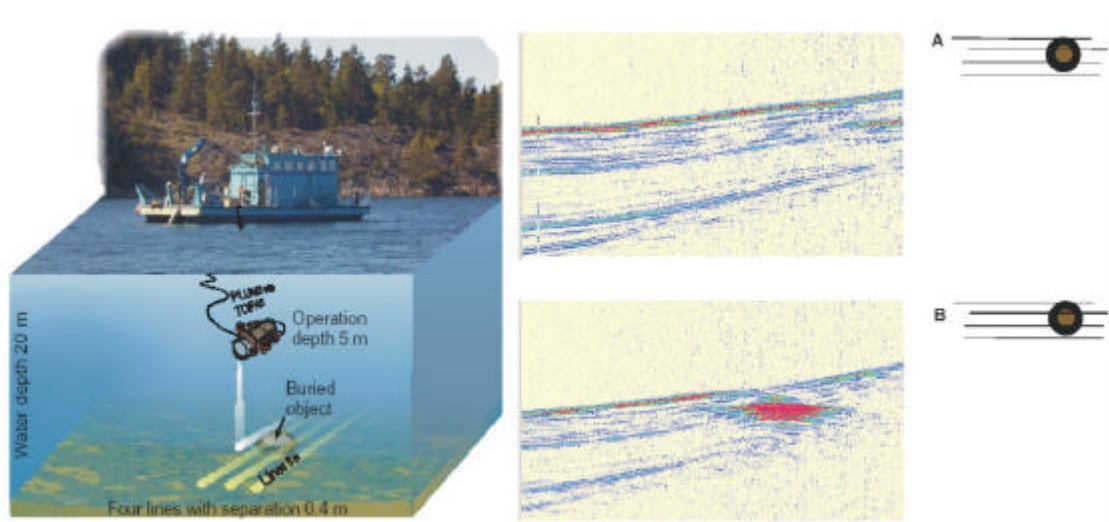
Parametrisk sonar¹ baseras på vattnets icke linjära tryckegenskaper. P.g.a. vattnets olinjära tryckegenskaper kommer tryckvågor vars tryck hade superpositionerats vid lägre tryck, resultera i tryckprodukter med annan frekvensinnehållande summa och skillnadsfrekvenser, vid högre tryckamplituder. Två utsända frekvenser ger en skarp lob vid skillnadsfrekvensen med betydligt lägre sidlobber än för en frekvens. I jämförelse med konventionell sonar anföras följande fördelar vid användning av parametrisk sonar:

- Smala lobber
- Försumbara sidlobber
- Liten sändararray
- Hög bandbredd

Nackdelarna anges som

- Låg uteffekt
- Svårt att generera komplexa vågformer
- Finns f.n. inte för multibeamkonfiguration, utveckling pågår för att uppnå högre yttäckningshastighet

I en nyligen genomförd FOI-studie¹ har man jämfört både en skrovmonterad sonar samt en ROV-monterad parametrisk sonar. En ROV-monterad parametrisk sonar har fördelen att den kan positioneras mer noggrant (peknoggrannhet bättre än 0,1 grader) samt ger fjärrspaningsmöjlighet utan att fartyget utsätts för större risk. Det fartygsmonterade systemet använde primärfrekvenser centrerade kring 40 kHz och en typisk skillnadsfrekvens på 5 kHz. På ROV testades ett lättare system med primärfrekvenser centrerade kring 120 kHz och skillnadsfrekvenser mellan 5 kHz och 20 kHz. De låga frekvenserna tillåter bottenpenetration med möjligheten att se begravnade objekt. Resultaten från försöken visade att det var möjligt att se begravnade objekt. Höga krav ställs på positionering av farkosten. Man kan positionsbestämma objekt med en noggrannhet av någon decimeter. Med en detaljerad våganalys kan information om bottenens ytstruktur och akustiska impedans erhållas, vilket kan underlätta vid detektion av begravnade objekt. Resultaten från proven med både sändare och mottagare på farkosten visade goda resultat avseende detektion men för att klassificera kan det vara nödvändigt att separera sändare och mottagare.¹¹ FOI-studien påpekar önskvärdheten av att pröva andra metoder som syntetiskapertursonar (SAS) liksom behovet av högre frekvenser för att nå bättre upplösning.



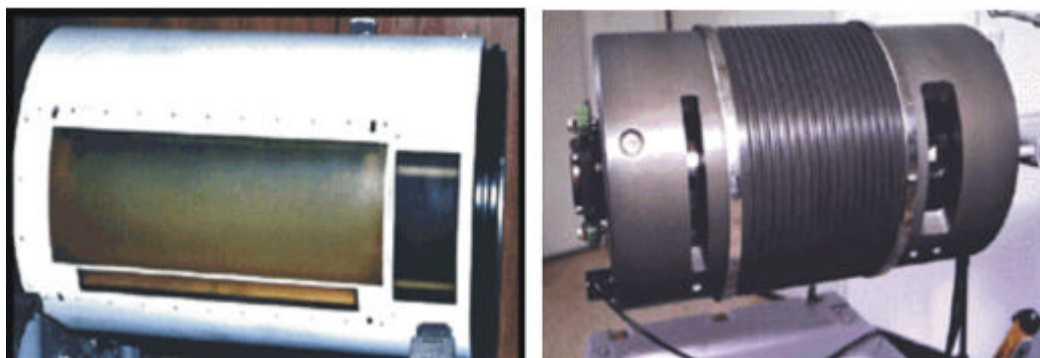
Figur 9. Exempel på prov med 120 kHz parametrisk sonar vid FOI.¹ Den vänstra delen av figuren visar princip och geometri och den högra detektion av cementfyllt däck, 1,3 m i diameter. Profil A är centrerat vid kanten av däck och B går över däck. Längden av varje profil är 5 m.

SAS baseras i likhet med sin motsvarighet inom radarområdet (SAR) på principen om syntetiskapertur. Man kan använda olika moder i en SAS¹²: "stripmap", "scanmode" och "spotlight", beroende på krav avseende upplösning och täckning. Den bästa avståndsupplösningen $\Delta R = c/2B$ där B är chirpbandbredden och c ljudhastigheten i vatten. FM-chirp tillgrips i stället för kort puls (som är svår att realisera med tillräcklig energi) för att få god avståndsupplösning. För t.ex. $B=50$ kHz erhålles $\Delta R = 3$ cm !!.

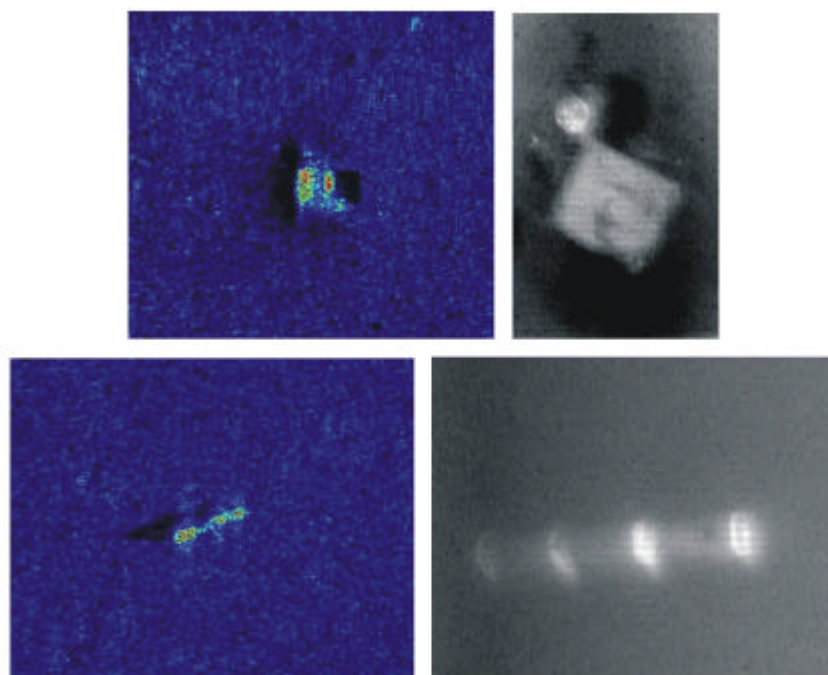
I azimuth erhålles som bäst upplösningen $\Delta p = D/2$ där D är den reella aperturlängden. Svårigheten att uppnå goda bilder med SAS ligger främst i det höga positioneringskravet. Positionering med hjälp av "beacons" som beskrivs i referens 1 är knappast taktiskt användbart, därför utvecklar FOI s.k. auto-positioneringsteknik för detta.

US Navy Coastal System Station i Panama City¹³ har specialiserat sig på bl.a. minjakt. Figur 10 visar exempel på två samtidigt opererande sensorer för minspaning och klassificering, nämligen en tvåfrekvens SAS samt en laserlinjeskanner. I högfrequensmoden ger SAS:en goda bilder som tillåter en operatör att t.ex. skilja mellan en tunna och ett bildäck. I lågfrequensmoden kan man se objekt strax under bottenytan. Den andra sensorn (EOID= Electro-Optic Identification sensor) är en laserlinjeskanner. Den har en räckvidd som är 3-4 ggr bättre än ett konventionellt TV-systems.

I Figur 11 visas de två upptagna utrustningarna SAS och EOID samtidigt med bildexempel genererad av dessa. Vi ser hur den optiska sensorn tillför ytterligare detaljrikedom av vikt för klassificering och identifiering av objektet.



Figur 10. T. v. visas en tvåfrekvens SAS och t.h. en laserlinjeskanner utvecklade för US Navy Coastal System Station för mindetektion och minklassificering.¹⁴



Figur 11. Exempel på bilder upptagna med utrustningarna enligt Figur 10. Till vänster visas högfrekventa SAS- bilder och till höger visas laserbilder.¹⁴

Sammanfattning av akustiska sensorer för minspaning och klassificering

Fördelar

- Aktiva akustiska sensorer är sannolikt de mest lämpade för minspaning, speciellt från en undervattensplattform. Möjligheten att med en ROV operera framskjutet före fartyget är av speciellt taktiskt intresse.
- Hög upplösning kan erhållas med parametrisk sonar samt med syntetisk apertursonar.
- Frekvensvalet möjliggör system för detektion av både bottenliggande och begravda minor.
- Akustisk sensor har, jämfört med EO-sensorer, hög avsökningshastighet och räckvidd och kan på så sätt detektera och delvis klassificera objekt varefter andra sensorer kan förbättra klassificering.

Nackdelar och begränsningar

- En akustiskt aktiv sensor kan avlyssnas och störas. Denna sårbarhet kommer förmodligen att utnyttjas framledes i högre grad av en sofistikerad fiende.
- I mycket grunda vatten 1-25 m, korreleras ett ping dåligt med nästkommande även för en stationär sonar. Bl.a. detta begränsar högupplösande bildalstrande sonarers förmåga i grunda vatten.
- Framtida sonarsystem för minspaning/klassificering måste vara bredbandiga och klara av flera frekvenser för att täcka in både begravda minor samt akustiskt smyganpassade bottenminor. Höga frekvenser med stora tidbandbreddprodukter för detaljer och lägre frekvenser för bottenpenetration krävs.

3.2 Elektromagnetiska sensorer

Elektromagnetiska fält är duala. Endast i en isolator utan rörelse kan ett elektriskt fält förekomma utan att ett motsvarande magnetiskt fält finns och vice versa. Då ett elektriskt eller magnetiskt fält ändras så måste även det motsatta fältet ändras.

Passiva

Utsändning av signal sker ej av passiva sensorer. Här används endast mottagare och detektorer. Deformering av förekommande fält registreras vid detektionen. I övrigt genereras inget hjälpfält. Förekommande fält kan vara naturliga som jordmagnetfältet eller artificiella som magnetiserade föremål.

Mycket låga frekvenser (<10 Hz):

Fluxgatemagnetometrar och squidar registrerar H-fältsvektorn som storlek och riktning i sensorns befintlighetspunkt. Arrayer med dylika sensorer används för att generera detektionssignaler. Signalerna analyseras med magnetpolsanalys varvid magnetiska föremåls position kan beräknas. Sensorsystemets omgivningsskrav är förmodligen alltför stora för att kunna användas i praktiska mobila detektionssystem för minor utan att dessa blir för långsamma.

E-fältsdetektorer och elektrodsystem med förstärkare registrerar E-fältet mellan elektroderna i tre dimensioner.¹⁵

Högre frekvenser (upp till ca 1kHz):

Högre frekvenser kan förekomma men då är dessa främst störningar. Källorna är då vanligen kraftnät samt motorer och drivdon som propellarar.

Passiva sensorer ställer stora krav på omgivning och signalbehandling. Sensorerna kan fungera i mindetektionssammanhang under gynnsamma förhållanden. Inga operativa system för mobil mindetektion med hjälp av passiva EM-sensorer är kända.

Aktiva

I aktiva sensorer använder man sig av sändare, mottagare och detektor.

FOI har främst erfarenhet av teknik där sändare och mottagare använder E-fältet, d.v.s. man använder elektroder för att generera och detektera E-fält. Försök med att detektera fasta minor med rörliga E-fältsdetektorer har ej skett hittills. Dock har försök skett varur man kan extrapolera att det ej kan uteslutas att sådan mindetektion skulle kunna fungera. Det kan även förutses en del problem med denna typ av detektor. Sådana problem är inducerade potentialer, varierande konduktans och brusökning p.g.a. vattenrörelse.¹⁶

Tekniken med H-fältssändare och mottagare är väl etablerad i dessa sammanhang. Vid denna metod använder man sig av spolar eller slingor för att generera magnetiska fält och mäta den uppkomna fältbilden. Beroende på omgivningens fördelning av elektriska materialkonstanter fås olika fältbild som funktion av dessa samt påfört fält, position och tid. Detektionen av anomalier i fältbilden ger information om avvikande närvaro av fältförvrängande objekt. Dessa objekt kan vara minor. Även om det kan tyckas vara en enhetlig mätmetod, så är det inte så. Mätmetoden är avhängig av vad som är av intresse i mätningen. Om det exempelvis är ferromagnetiska egenskaper som eftersöks så kopplas detektorn med fördel som en differentiell induktionsmagnetometer. Om detektionen har lokaliserat en mina som skall klassificeras så kan ett frekvenssvep eller pulsbreddssvep vara en bättre metod. Sensorer nyttjande denna princip finns i en mängd utföranden, där de fysiskt kan se annorlunda ut med en eller flera primärspolar samt en eller flera sekundärspolar.

Olika frekvenser förekommer. Låga frekvenser har mindre dämpning och större inträngningsdjup men sämre målupplösning.

Högre frekvenser har större dämpning och mindre inträngningsdjup men högre målupplösning.

I sin enklaste form säljs detektorer som metaldetektorer för hobbybruk.

Egenskaperna för denna typ av enkla detektor är god detektionsförmåga av metallobjekt. Detektorn kan detektera föremål med avvikande elektrisk ledningsförmåga eller föremål med magnetiska egenskaper samt skilja på dessa. Detektionsdjupet är ungefär proportionellt mot spoldiametern vid låg tillförd effekt. Med låg effekt menas här den effekt som kan tas ut ur några vanliga ficklampsbatterier under ca hundra timmar. I sötvatten är detektionsdjupet större än i saltvatten.

Nedan anges exempel på några kommersiellt tillgängliga detektorer med data. Denna typ av detektorer används för att lokalisera dolda minor i mark.

Företaget Vallon¹⁷ saluför kommersiellt följande minsökarutrustningar:

VMH1 Mine Detector

VMH2 Mine Detector

VMX1 Mine & UXO Detector (*UXO=Unexploded Ordnance*)

VMH1 Mine Detector

ML 1620C Mine Detector

MW 1630B Underwater Mine Detector, se Figur 12.

MW 1630B tål 60 m djup medan de övriga endast är avsedda för "vadardjup". MW1630B når 2 m detektionsdjup med ett 60 cm stort sensorhuvud. Metallmassor på 30 mg kan detekteras på avståndet 9 cm.



Figur 12. I figuren visas en minsökarutrustning av modell MW1630B som har detektionsdjup på 2 m i normalbotten.

Utrustningen har en automatisk kompensering av "omgivningsmedium" som t.ex. omgivningens ledningsförmåga. Den anges ha tillförlitlig detektion i: saltvatten, sötvatten, bauxit, laterit, magnetit och magmatit. Olika program och moder förekommer såsom: lätt jord som sand, normal jord, mineraliserad jord och magnetisk jord. Man kan välja mod för metallminor alternativt plastminor. Man kan även välja ett störundertryckningsprogram för antingen störfri, 50 Hz eller 60 Hz. Energiförsörjning fås av 3 st standardbatterier av ficklampstyp.

Exempel på minsökarutrustning använd av USA:s försvarsmakt

Ett exempel på minsökarutrustning som USA använder är modellen "AN/PSS-12 metallic Mine Detector". Detektorn är en lätt, handhållen detektor för "metalliska minor". Den har förmågan att detektera små metalliska föremål som slagstift i "plastminor" och "träminor".

Detektorn kan detektera minor i både sötvatten och saltvatten samt föremål nedgrävda upp till en halv meter ner i marken eller botten. ANN/PSS-12 anses vara av världsklass. 1996 fanns 547 st levererade till USA:s försvarsmakt.

I Tabell 1 finns en sammanställning av data för utrustningen.

Tillverkare	Schiebel Instruments, Inc.
Drivning	4 st 1,5 V batterier
Driftstid	70 timmar
Vikt	3,8 kg (6,2 kg med transportväska)
Användning	Manuellt, handhållen
Material	Teleskopiskt rör med inre plaströr och yttre aluminiumrör
Kostnad	Ca \$1200

Tabell 1. Tabellen sammanställer data över minsökarutrustningen "AN/PSS-12 metallic Mine Detector" som används av USA.

Exempel på minsökarutrustning använd av Rysslands försvarsmakt

En minsökarutrustning som används av Ryssland är "IU-2 Coil Bottom Mine Detector-Destructor", se Figur 13. Detta system används som mindetektor i en mod där minan antingen markeras eller förstörs.



Figur 13. IU-2 Coil Bottom Mine Detector-Destructor är ett sjöminsökarsystem som används av Ryssland.

Systemet är idag i bruk tillsammans med hamnminsvepare. Mindetektionsprincipen baseras på H-fälts-avvikelse. Utrustningen består av flera delar där en del är fartygsbaserad och andra delar finns som släpad utrustning efter fartyget. Utrustningen på fartyget är för styrning, observation och övervakning av den släpade utrustningen. Den släpade utrustningen består av behållare för mindetektionsutrustningen och efterföljande behållare för minmarkeringsbojar samt bombbehållare innehållande bomber för förstörandet av minor. Dessutom innehåller systemet dragutrustning som rep och annat hjälpmedel för att erhålla den eftersträlvade rörelsen av enheterna genom vattenströmmen på önskat avstånd över botten. Systemets driveffekt är förmodligen flera kW och därmed är förmodligen detektionsavståndet stort (i detta sammanhang mer än 3m).

Detektionselementens avstånd från botten	2 m – 3 m
Mindestruktionsdjup (och därmed detektionsdjup)	5 m – 60 m
Sökhastighet	upp till 6 knop
Sökbredd	16 m
Tillåtet SeaState	upp till 3

Tabell 2. Tabellen sammanställer data över minsökarutrustningen "IU-2 Coil Bottom Mine Detector-Destructor" som används av Ryssland.

Slutsatser

EM-detektorer, i form av magnetiska sådana, för detektion av minor finns och har funnits länge.

Detektion med nyttjande av magnetfältssändare och mottagare har befunnits vara tillräckligt bra för att detektera dolda minor. Trots de mycket låga aktiva fält som använts har det varit möjligt att detektera "Icke-metalliska minor". Genom att använda avsevärt större fält och spolar kan man öka detektionsavståndet. Förmodligen kan arrayer med spolar och koherent teknik även öka positionsupplösningen. Med tillgång till dagens signalbehandling är automatisk lokalisering och klassificering att förutse.

3.3 Lasersystem

Nyligen har en studie utförts om laser för minsparing³ och klassificering.

Den laserteknik som lämpar sig för undervattensplattformar är:

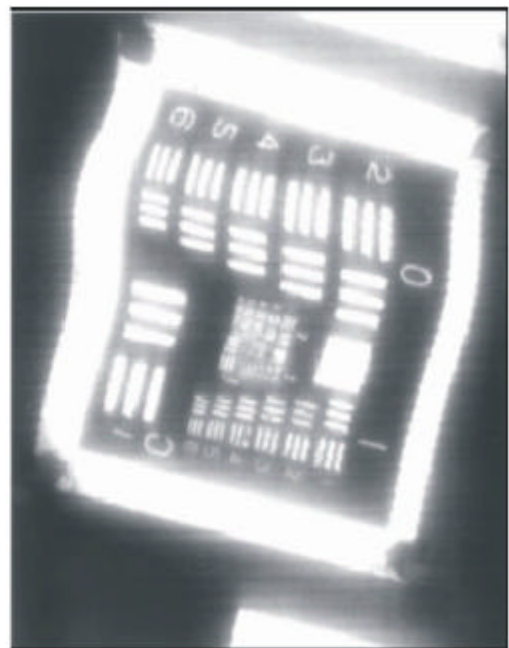
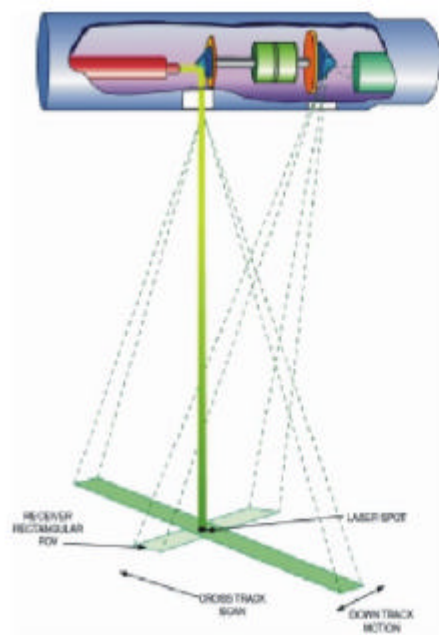
- Linjeskannande system
- Kamera för grindad avbildning (gated viewing)
- Kamera med full 3D-avbildning
- STIL-kamerateknik

Vi skall kort beskriva tekniken samt ge deras prestandapotential.

3.3.1 Linjeskannande system

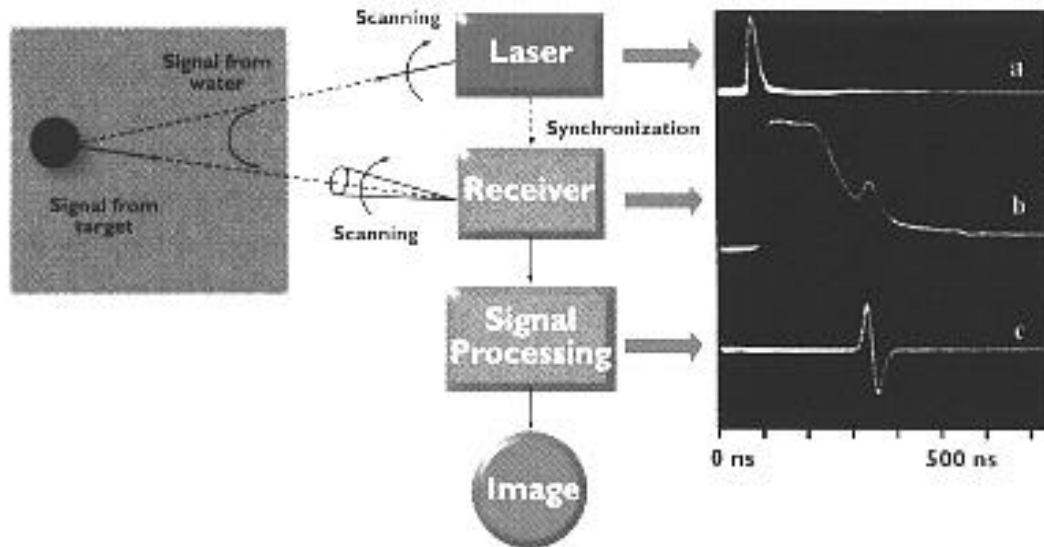
I ett linjeskannande system sveper en kontinuerlig eller pulsad laser strålen tvärs emot systemets rörelseriktning och en mottagare försedd med en fotomultiplikator betraktar de bestrålade ytelementen. Genom att laserstrålens riktning och mottagarens symmetriaxel är väl separerade så reduceras bakåtspridningen från vattenvolymen. Mycket skarpa bilder kan uppnås inom 5-6 dämpningslängder. En dämpningslängd är den sträcka vid vilken laserenergin minskat med 37 % av den ursprungliga. Figur 14 visar principen samt ett bildexempel upptaget på avståndet 4,7 dämpningslängder.

Med ett linjeskannande system kan man få god bildkvalitet samt ett relativt stort avsökningsområde. Figur 17 visar ungefärligt förhållande mellan täckning på botten och räckvidd för linjeskanning och konventionell kamera samt avståndsgrindad avbildning. Ett linjeskannande system kan skanna upp till 120° på 1 ms. En kontinuerlig laser används oftast även om en pulsad laser med hög pulsrepetitionsfrekvens är intressant för att ge avståndsbilder. Räckvidden med kontinuerlig laser bedöms för ett rimligt kompakt undervattenssystem som avsöker botten, vara 6-12 m för inre skärgård, 10-20 m för yttre skärgård och 15-30 m utomskärs.

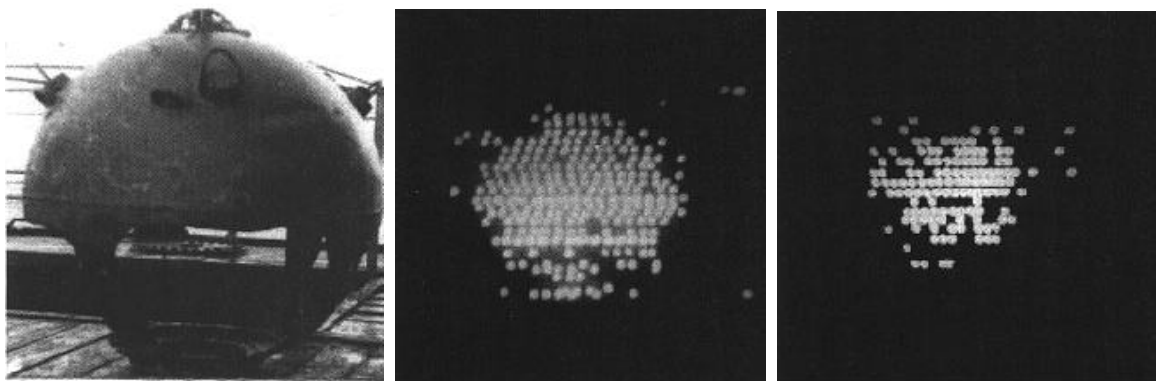


Figur 14. Till vänster visas principen för laserlinjeskanner och till höger en dåligt rörelse-kompenserad bild av en upplösningstavla på avståndet 4,7 dämpningslängder.

Om man kombinerar linjeskanning (synkron skanning av laser) och en pulsad laser med tidsupplöst mottagning, kan räckvidden för detektion med pulsad synkronskanning öka till 12-13 dämpningslängder. Det motsvarar 12-24 m för inre skärgård, 20-40 m för yttre skärgård och 30-60 m utomskärs. Figur 15 illustrerar principen för ett pulsat synkronskannande system. I Figur 16 visas exempel på resultat¹⁸ med en avbildad mina på upp till 12 dämpningslängders avstånd (30 m vid försökstillfället).



Figur 15. Schematisk presentation av ett synkront skannande och pulsat system för undervattens-avbildning.



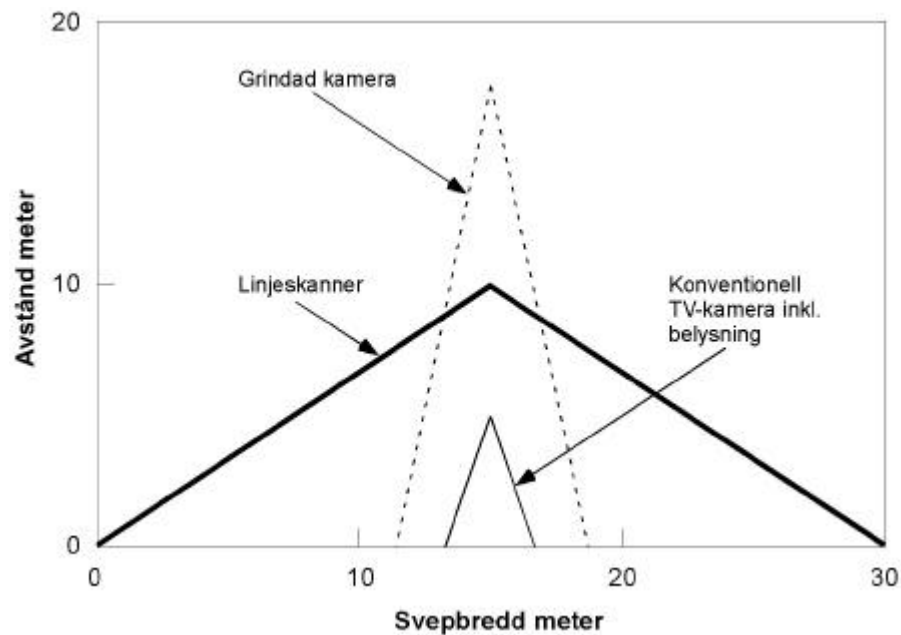
Figur 16. Till vänster visas en mina med 5 % reflektionskoefficient och 1 m diameter. Mittbilden visar en lasergenererad bild på 7,8 dämpningslängders avstånd och till höger visas en bild på 12 dämpningslängders avstånd. Vid mättillfället var 1 dämpningslängd=2,5 m.¹⁸

Fördelarna med linjeskannande system är:

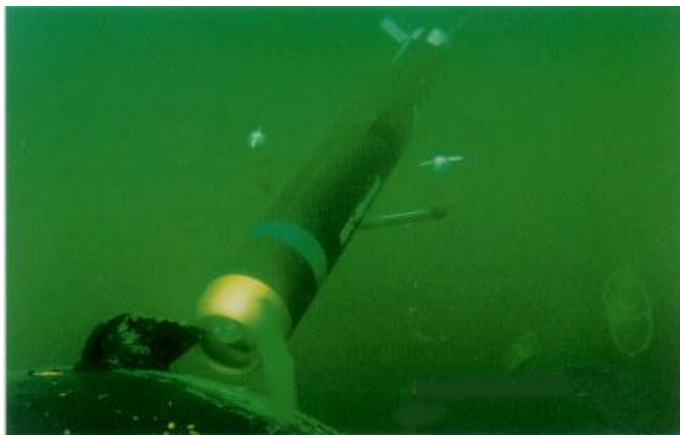
- Stor svepbredd (120° svepvinkel)
- Mycket detaljerade bilder (hög upplösning)
- Etablerad teknik
- Kan kompletteras med fluorescenskanal
- Enkel konstruktion (t.ex. roterande skanner)

Begränsningarna innefattar:

- Begränsat synfältsdjup (åtminstone för kontinuerlig laser)
- Inte lämplig för flygburen tillämpning (kontinuerlig laser)



Figur 17. Jämförelse mellan täckning och ungefärliga räckvidder för linjeskanning, avståndsgrindad kamera och konventionell TV-kamera. Diagrammet avser fallet då avsökning sker från undervattensplattform.



Figur 18. Överst visas en ROV för minklassificering utvecklat av Marconi i England. Nederst visas en Q-switchad s.k. mikrochiplaser som genererar 1 ns långa pulser vid ca 20 kHz prf för full 3D-avbildning. Laserns toppeffekt i grönt är ca 4 kW.

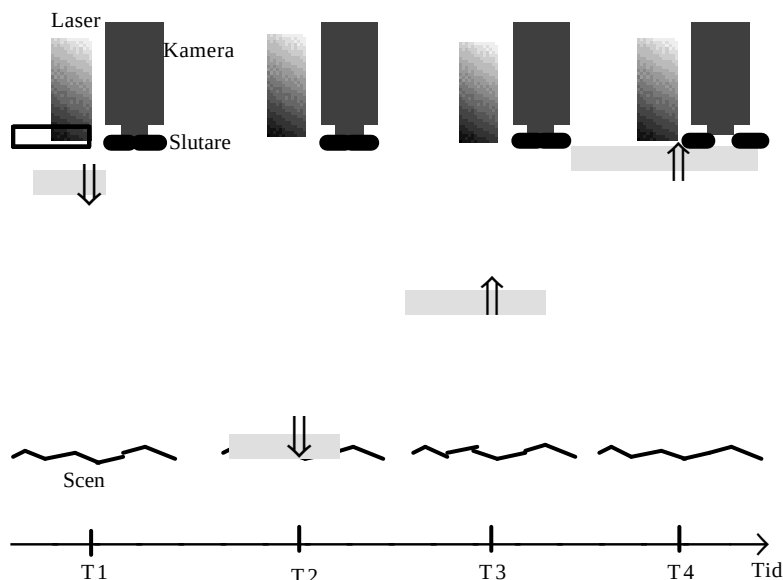
3.3.2 Grindad avbildning (engelska: gated viewing)

Grindad avbildning (eng. "gated viewing" eller "range gating") avser en teknik där en kort laserpuls skickas mot objektet och kameraslutaren öppnas endast under den tid då det från objektet reflekterade ljuset beräknas nå kameran, se Figur 19. Detta medför att kontrastdegradation p.g.a. bakåtspridning reduceras väsentligt, på samma sätt reduceras mottagarens brusnivå (om störljus förekommer). Man kan genom att titta inom flera olika tidsintervall skapa en 3D-bild av föremålet, eftersom en "skiva" i taget av objektet avbildas. Xybion Electronics Products i San Diego utvecklar bildförstärkarrör och system. Bl.a. har system utvecklats för mininspektion för dykare och ROV. Ett system heter Sea Ray och är ett undervattenssystem med grindad avbildning. Praktiskt användbara bilder verkar kunna erhållas ut till ett avstånd av 6-7 dämpningslängder.

För att kunna erhålla användbara system med ett minimum av avslöjande ljus har ett system för dykare som både kan använda 532 nm (grönt) samt 395 nm (violett ljus) utvecklats. Data för detta system benämnt Clandestine samt Sea Ray framgår ur Tabell 3. Med violett ljus borde man rimligen få kortare räckvidd (kvantverkningsgraden hos röret är 30 % jämfört men ca 50 % i grönt) dessutom är dämpningen i vattnet större vid 395 nm än vid 532 nm. Trots detta erhöles följande räckvidder med Clandestine-systemet:

- vid 532 nm och 6 ns puls : $cR=6$ (motsvarar ca 12 m räckvidd i klart Östersjövatten)
- Vid 395 nm och 3 ns puls: $cR=8,5$ (motsvarar ca 17 m räckvidd i klart Östersjövatten)

där c är dämpningskoefficienten och R är avståndet. Exemplet ovan visar hur viktigt det är med kort puls för att undertrycka multipelspritt ljus som försämrar bildkontrasten.



Figur 19. Grindad avbildning undertrycker bakåtspritt ljus genom att kamerans slutare är synkroniserad med den reflekterade pulsens ankomsttid. Då kommer slutaren vara öppen endast när de reflekterade ljuspulserna från målet når fram.



Figur 20. Bilder från tester med Sea Ray för att upptäcka mantaminor på avstånd 0,4 m, 3 och 5 m från lasern. Mätningarna är gjorda i Brest, Frankrike. Vattenkvaliteten är av hamnkvalitet med <1 m dämpningslängd.

Tabell 3. Parametrar för undervattenssystemen Sea Ray och Clandestine (Xybion).

Parametrar	Värden
Namn/tillverkare	Sea Ray / Clandestine, Xybion
Laserkälla	30 Hz, dubblad Nd:YAG, 100 mJ, 6 ns pulslängd (Sea Ray) 2 Hz, 400 mJ, 532 nm, 6 ns, 110 mJ, 395 nm, 3 ns (Clandestine)
Mottagare	Förstärkt CCD, grindningstid 8 ns (Sea Ray) Förstärkt CCD, grindningstid 1,5 ns (Clandestine)
Datahantering/presentation	TV-monitor + framegrabber med 8-bitars amplitudupplösning
Synfält	Momentant 15°×20°. Kan svepas ±30° relativt farkostriktningen
Storlek	97 cm lång, 33 cm diam. (Sea Ray) 97 cm lång, 33 cm diam. (Clandestine)
Total elektrisk effekt	500W. Effekten kan reduceras med användning med diodpumpad laser (Sea Ray)

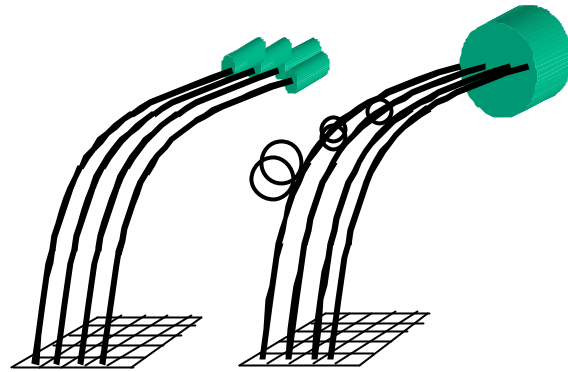
3.3.3 Full 3D-avbildning

Avståndsupplösande arraydetektor

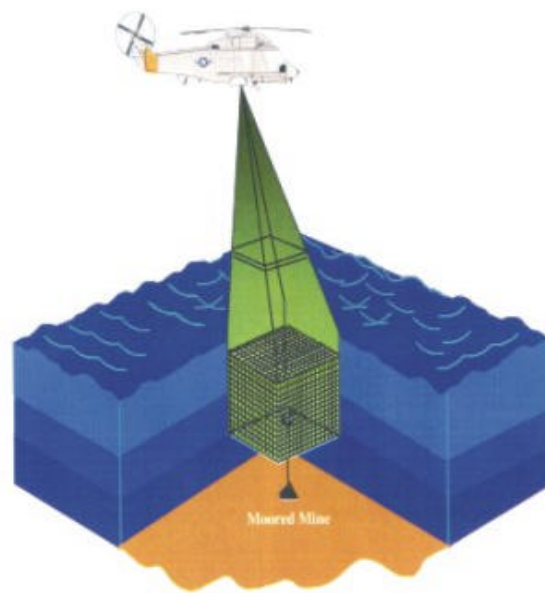
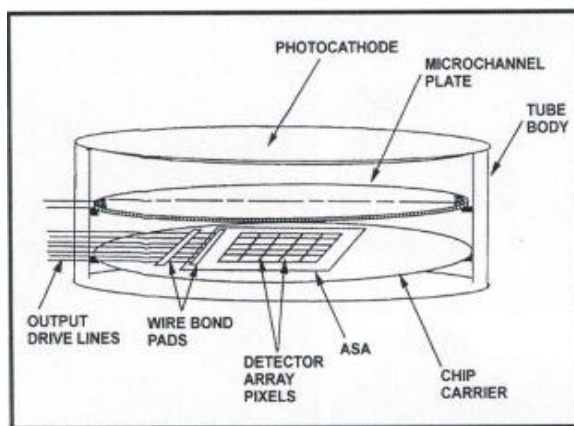
Förutom streakkameran (se avsnitt streakkamera nedan) har även en 3D-arraydetektor möjlighet till god upplösning både i lateral- och i djupled. Det pågår utvecklingsarbete för att realisera denna typ av detektor för måligenkänning på långa avstånd för landtillämpningar. Detektorn kommer även användas för minspaning och ubåtsjaktstillämpningar. Förhoppningen är att kunna öka målkontrast och målavbildningsförmågan, tyvärr på bekostnad av maximal räckvidd. Möjlighet att tillämpa bildbehandlingsrutiner och 3-dimensionell korrelationsteknik bör detta leda till ett mer kapabelt system jämfört med endetektoralternativet för lidar, t.ex. linjeskannande system.

Utveckling av arraydetektorer begränsas f.n. av kravet på god dynamik och liten överhörning mellan de olika elementen samt kravet på tillräcklig bandbredd (1 GHz motsvarar ca 1 ns upplösning). Om det inte finns krav på många element så kan hybridlösningar implementeras där den spatiella uppdelningen i fokalplanet ske med fiberoptik, se Figur 21.

Figur 21. Tänkbara sätt att skapa array-detektorfunktion från enkeldetektorer (t.ex. PMT). Här visas den utgående signalen från en fiberoptisk array i mottagaroptikens fokalplan. Därifrån kan man antingen låta separata fibrer gå till varsin detektor eller via olika fiberlängder för att ge en tidsmultiplexerad signal från en enda detektor.



Man kan tänka sig flera lösningar enligt figuren ovan, i fallet många enskilda detektorelement kan PMT:n eventuellt bytas till en APD för att reducera volymen och i fallet tidsmultiplexing får man ett tvetydighetsavstånd beroende på ingående fiberfördröjningar. Om detta skall vara stort (t.ex. 50 m) blir fibrerna långa.



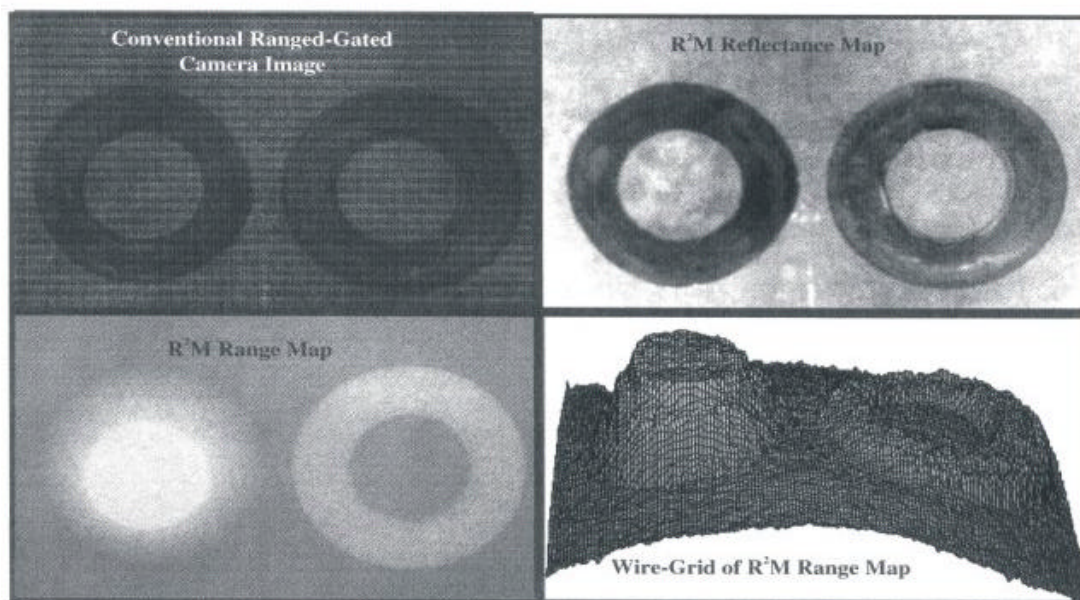
Figur 22. Till vänster: Uppbyggnad av Advanced Scientific Concepts 3D-kamera. Till höger: En 3-dimensionell avståndsupplöst avbildning med arraykamera.

Företaget Advanced Scientific Concepts utvecklar en arraydetektor till bl.a. US Navy med tillämpning inom minspaning/minidentifiering. Detektorn innehåller en tvådimensionell array som kopplas till en snabb samplingsenhet (ASA = Analog Storage Array), se Figur 22.

Arraydetektortekniken kan naturligtvis utnyttjas både i en TV-kamera och linjeskannande utförande beroende på arrayens dimensioner. Linjearrayer är enklare att tillverka än kvadratiske arrayer. Avståndskännande linjearrayer med upp till 128 element har tagits fram för avståndskännande koncept inom laserradar i marktillämpningar. En linjär array, relativt en enkeldetektor, reducerar skannerkrav samt kan öka avsökningshastigheten alternativt öka bildkvaliteten genom att samma bottenområde avsökas flera gånger under farkostens rörelse över området.

Intensitetsmodulerad bildförstärkare

Kaman utvecklar en kamera kallas R^2M (*Reflectance and Range Map*) där två CCD-kameror utnyttjas för att erhålla både avstånd och reflektion, se Figur 23. Det är oklart hur det hela fungerar i detalj men kameran torde innehålla någon intensitetsmodulator framför CCD-kamerorna så att tid (avstånd) omvandlas till intensitet.



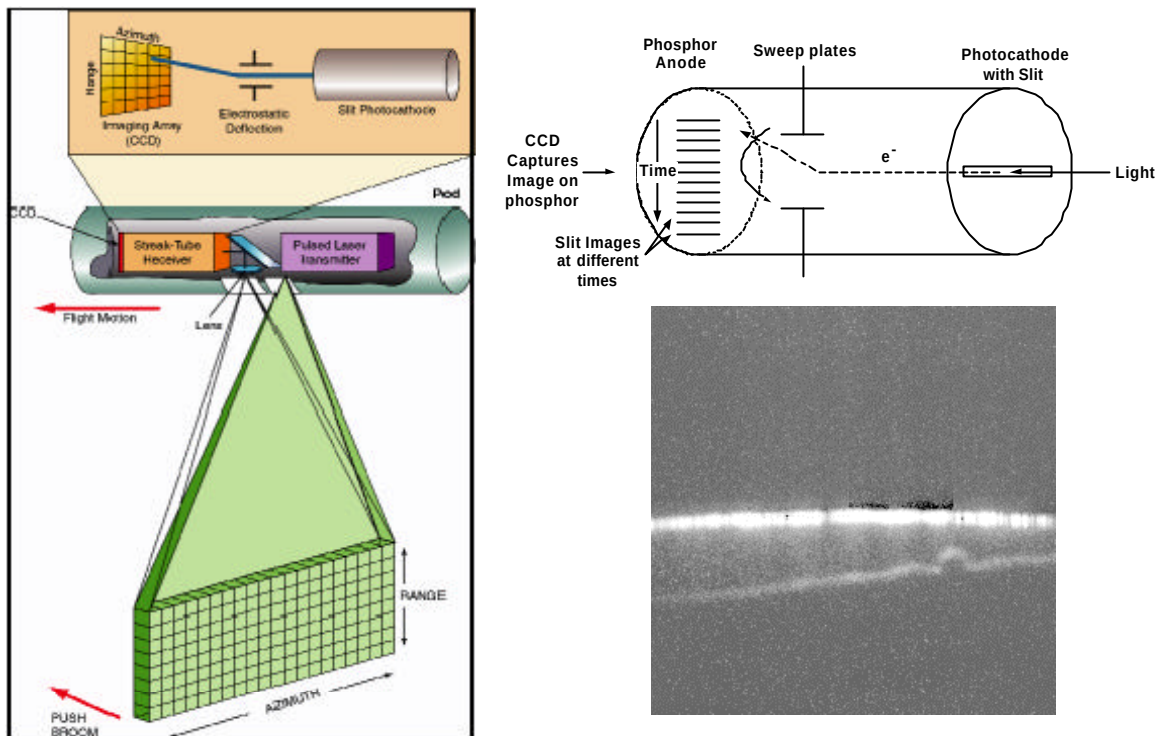
Figur 23. R^2M -tekniken kan särskilja en mantamina från ett bildäck medan en konventionell CCD-kamera inte kan detta. Bild: Kaman.

Streakkamera

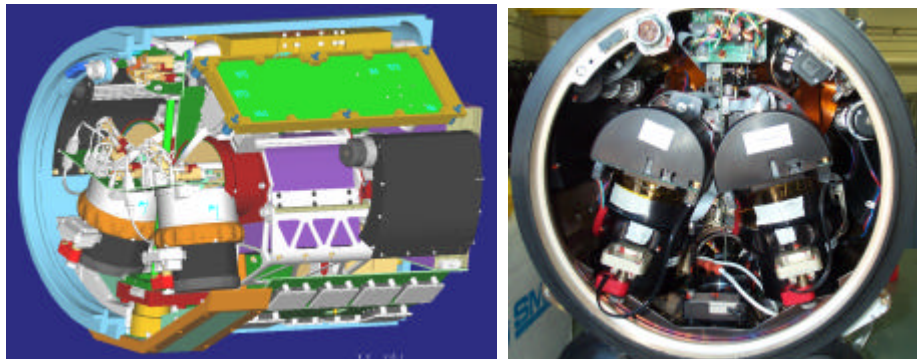
Den s.k. streakkameratekniken är väl känd inom fysiken när det gäller att fånga mycket snabba ljusförlöpp. Streakkamera i kombination med laser för erhållandet av högupplösta avstånds- och intensitetsbilder är emellertid en ny och intressant teknik inte minst inom undervattenstillämpningar. STIL (*STreak Imaging Lidar*) har använts både från flygburna och undervattensplattformar för att detektera, klassificera och identifiera undervattensobjekt som minor. Denna sensortyp är under införande i två US Navy program (ALMDS och AQS 20-X).

Principen för en streakkamera framgår av Figur 24. En speciell fiberoptik framför lasern omvandlar det cirkulära stråltvärsnittet till en spalt, vinkelrät mot plattformens rörelseriktning. Lasern sänder en kort puls (5-10 ns) och reflekterade fotoner från den belysta volymen träffar den spaltförsedda fotokatoden. Elektronen emitteras från fotokatoden och accelereras över en potential på 15 kV och avlämnas samtidigt tvärs rörelseriktningen av ett elektrodpar. Elektronerna omvandlas tillbaka till fotoner på fosforanoden. Den resulterande ljusa linjen (en för varje puls) svarar mot ett tidsutsnitt ur den belysta volymen. Flera linjer integreras i en CCD och läses ut som en bild. Plattformens egen rörelse bygger upp en 2-dimensionell bild av flera 1-dimensionella linjer. Avståndsupplösning på 1,3 cm har erhållits från en farkost 10 m ovanför botten. Från flygburna system är motsvarande siffra i storleksordningen 12 cm. Upplösningen beror bl.a. på vattenkvaliteten. Svepbredd och upplösning tvärs sökriktningen bestäms av laserspaltbredden, avståndet till målet och antalet pixlar i CCD-kameran. Längs sökriktningen bestäms upplösningen av plattformens hastighet och laserns prf. I Figur 25 och Figur 26 visas diverse fotografier och en teckning av utrustningen. Figur 27 visar exempel på registreringar från streakkamera. Notera hur 3D-avbildningsförmågan tillsammans med de högupplösta reflektionsbilderna ger unika klassificeringsmöjligheter genom möjlighet att "vräda och vända på objektet", samtidigt som texturen framgår ur reflektionsbilden.

Avsökningshastigheten och avståndet till botten inverkar på bildkvaliteten. Typiska värden för svensk skärgård torde ligga i området 10-25 knop med 10 m höjd över botten samt en stråkbredd på 10-20 m, beroende på om man har en eller två kameror. I Figur 24 visas exempel på två kameraenheter monterade för att öka täckningsförmågan.



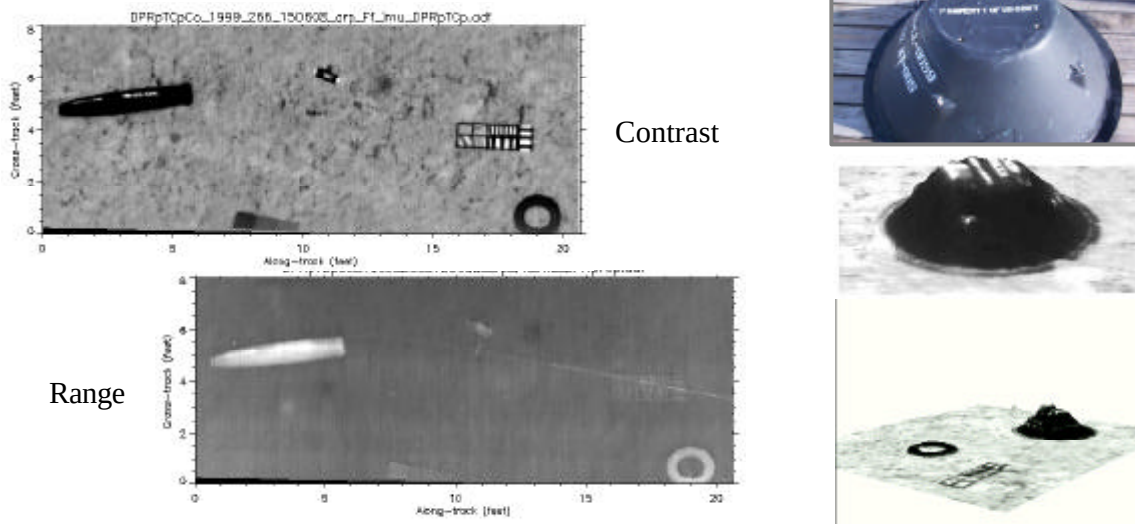
Figur 24. Till vänster och övre höger: Principen för STIL (STreak camera Imaging Lidar). Nedan till höger: Registrering visande vattenyta, sluttande bottenlinje samt bottenmina. Bild Areté.



Figur 25. Till vänster visas en sprängskiss av STIL. Till höger visas en bild av STIL framifrån. Bild Areté



Figur 26. Till vänster ser man storleken på farkosten och ovan till höger visas en bild av den i vattnet. Bild Areté.



Figur 27. Registreringar av minor och andra objekt på botten med laser och streackamera. Överst till vänster visas en reflektionsbild och under visas en avståndsbild där gråskalan är proportionell mot avståndet från kameran (ljus är närmast). Notera andra detaljer som t.ex. linan i avståndsbilden. Till höger visas hur 3D-data kan användas för att betrakta området från ett annat håll. Bild Areté

Förutom avstånd och reflektion (intensitet) kan kameran kompletteras med spektral upplösningssförmåga så att man kan mäta multispektral reflektion (färg), fluorescens samt polarisation.¹⁹ Se vidare i avsnittet Fluorescenssteknik.

Fördelarna med STIL-tekniken är flera:

- Ger högupplösta (ned till cm-nivå) reflektions- och avståndsbilder. Tekniken ger dessutom möjlighet till samtidig fluorescens och polarisationsdetektion av värde inte minst i starkt grumliga vatten
- Ingen skanning behövs
- Goda möjligheter till signal- och bildbehandlingsförbättring

Begränsningar:

- Ny teknik som inte är helt utprovad för grumliga vatten
- Tekniken kräver högspänning på kameraröret (15 kV)
- Räckvidd 1-2 KD (2 KD motsvarar max 5 m inomskärs, 10 m i yttre skärgård och 20 m i öppet hav)

Räckvidden är något sämre än för grindad avbildning samt ca 50 % eller mer jämfört med skannande lidar (Hawk Eye-liknande system).

3.4 Lidarradar

Lasersystem för undervattenssondering hämmas av bakåtspridning från vattnet, vare sig det gäller konventionell skannande lidar eller direkt avbildande system. Bakåtspridning från laserkällan ger sämre upplösning och kontrast. Även spridd strålning från vattenvolymen härrörande från solinstrålning ger brus i mottagaren och reducerar prestanda.

En metod att reducera problemet med spridd optisk strålning har föreslagits av Mullen²⁰ et al. En mikrovågssignal överlagras på den optiska bärvågen och den reflekterade optiska signalen detekteras av en optisk detektor och högfrekvensdelen av den optiska signalen processas av en radarmottagare med tillhörande signalbehandling för extraktion av både amplitud och fasinformation. Det koherenta bidraget av den modulerade mikrovågssignalen undertrycker bakåtspridning samt annat spritt ljus. Härigenom kan målet framhävas eftersom enkelspridning ger mindre fasändring än multipelspritt ljus. Man har rapporterat 17 dB förbättring av kontrasten mellan mål och bakåtspridningssignal. Den pålagda mikrovågssignalen har typiska frekvenser kring 3 GHz. De inledande experimenten avsåg pulsad lidar.

Under senare tid har man tillämpat tekniken på linjeskannande system med kontinuerlig laser som moduleras med en mikrovågssignal.²¹ En CW-laser modulerades i området 10-100 MHz och man detekterade den modulerade retursignalen avseende amplitud och fas. Man har observerat en förbättrad kontrast med ökande modulationsfrekvens. Resultaten från nyligen genomförda experiment i flodvatten (dämpningslängd $1/c$ mellan 0,2-0,3 m, alltså "smutsigt vatten") visade att man kunde detektera relativt bra kontraster till 3 m djup. Detta motsvarar 10-15 dämpningslängder!!

Man observerade en ökande amplitudfluktuation vid diskreta frekvenser med ökande djup till följd av interferenseffekter mellan bakåtspridning och målsignal. Denna fluktuation ökade målkontrasten både positivt och negativt. De diskreta frekvenserna korrelerade väl med djupet vilket styrker att det rör sig om interferenseffekter.

Fördelar med lidarradarkonceptet:

- Reducering av bakåtspridning och inverkan av spridd strålning från solljus
- Bättre räckvidd jämfört med konventionell optisk detektion möjlig speciellt i grumliga vatten

Nackdelar:

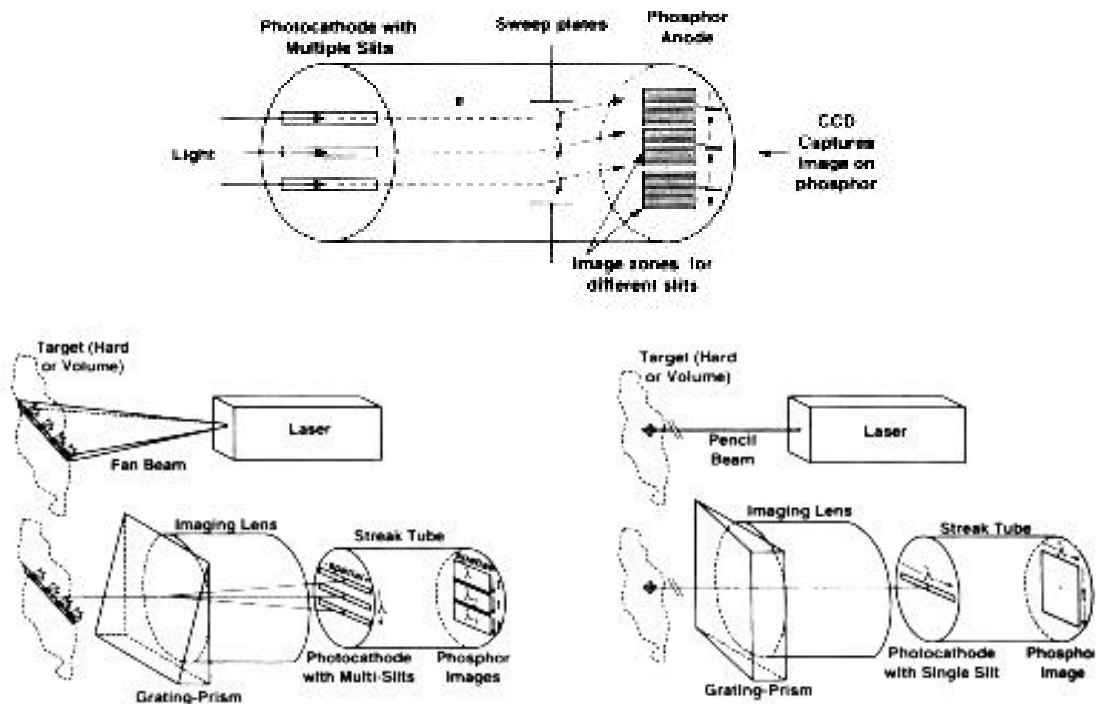
- Relativt komplext system
- Högfrekvensmodulation med drivelektronik
- Störproblem som interferens
- Tekniken är inte helt utvecklad
- Fenomenologin är inte helt utredd

3.5 Fluorescens teknik

Något känt system med fluorescenssensor för att enbart leta sjöminor finns inte. Metaller och trä som används för att kamouflera minan ger vanligen ingen fluorescens när det bestrålas med UV- eller synligt ljus. Däremot kan man tänka sig att omgivande miljö ger fluorescens medan minan inte gör det vilket då ger ett avvikande mörkt mönster i miljön. Färger eller plaster kan ge upphov till fluorescens men det är inte helt säkert. Det beror på den kemiska sammansättningen hos färgen/plasten kombinerat med den exciterande våglängden hos lasern. Vissa mineraler samt explosivämnen kan ge upphov till fluorescens. Däremot kan man se organismer, växter och kringliggande omgivning med fluorescens. Tekniken skulle därför kunna användas för att se om något bryter från den naturliga miljön. En teknik som avbildar miljön, t.ex. streakkamerateknik, skulle kunna användas för att se avvikande konturer. En mina som läggs bland tång eller annan fluorescerande miljö kommer att upptäckas även om själva minan inte fluorescerar därför att omgivande miljö gör det.

Det är tveksamt att nylagda moderna minor ger detekterbar fluorescens, men man kan anta att äldre bottenminor eller nergrävda minor kan ge en signaturskillnad jämfört med omgivande havsbotten. Läger man till den höga geometriska upplösningen bör detta ge en kraftfull detektions- och klassificeringsförmåga mot minor på och i bottenkiktet.

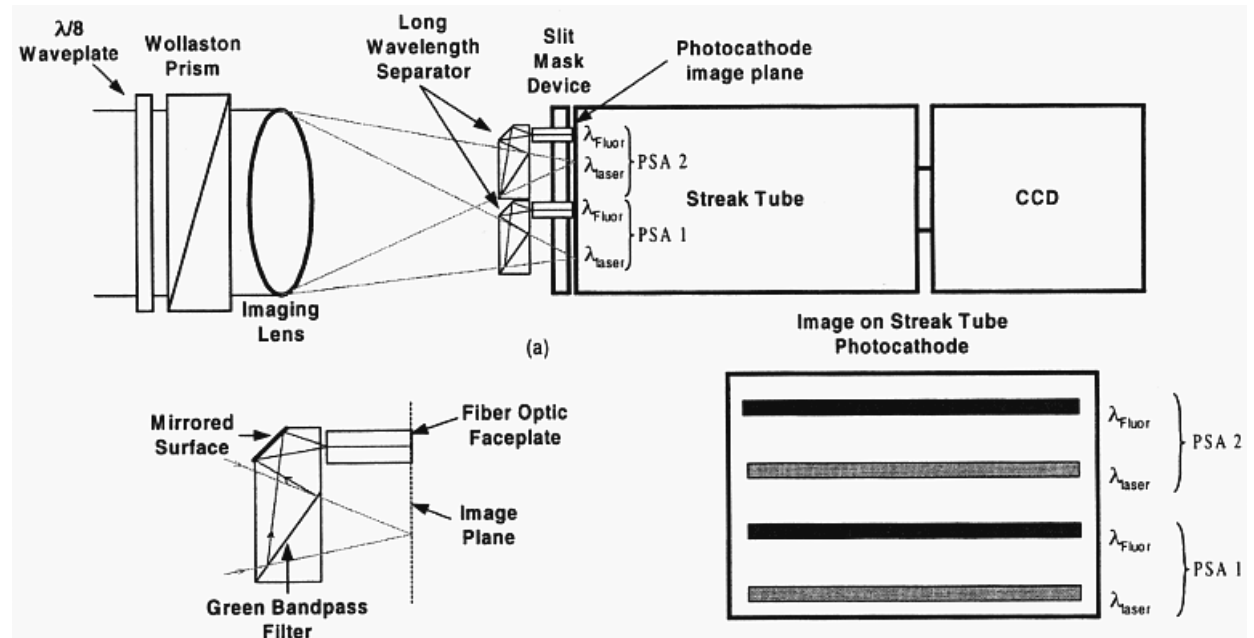
Figur 28 visar hur införandet av multipla spalter i en streakkamera (bara optiken framför behöver ändras inte rörets konstruktion) kan ge simultana avstånds-, reflektions- och fluorescensbilder. Fluorescenskaraktistiken kan innehålla både spektral och tidsmässig (livslängd) emissionskaraktistik.



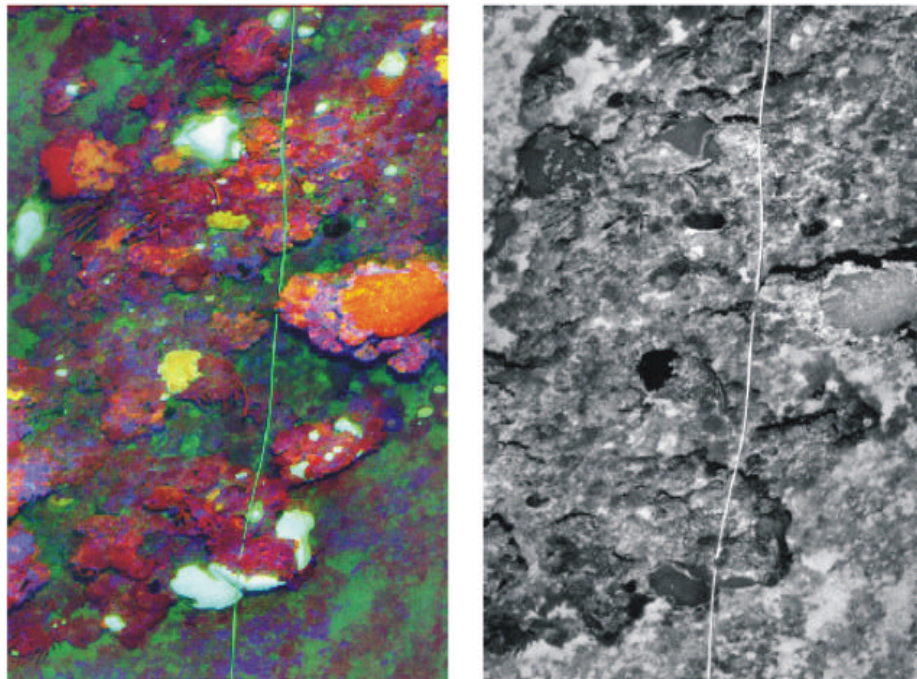
Figur 28. Olika konfigurationer för en streakkamera utformade för att kunna erhålla multi- eller hyperspektral information liksom fluorescenslivslängdsmätning. Från Gleckler et.al.²².

Figur 29 visar STIL-konceptet med en kombination av en polarimeter- och fluorescenssensor och Figur 16 visar exempel på fluorescensregistrering av havsbotten.

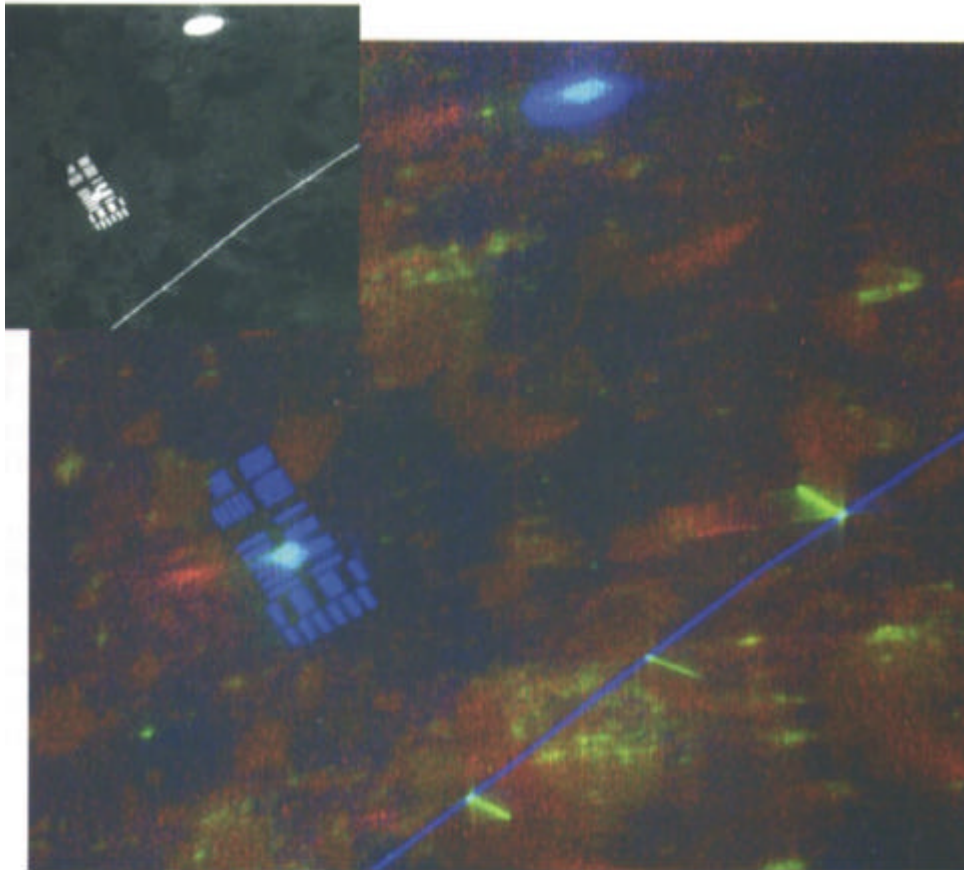
Den hyperspektrala möjligheten kombinerat med avstånds- och reflektionsinformation gör sammantaget streakkameran till en mycket intressant sensor för att undersöka havsbotten med avseende på minor.



Figur 29. En kombinerad polarimeter/fluorescenssensor baserad på STIL-konceptet. För varje laserpuls observeras samtidigt avståndsreflektionsbilden samt fluorescensbilden vid två olika polarisationsriktningar som separeras med en 1/8-platta och ett Wollastonprisma.²³



Figur 30. Fluorescensbild av botten från en laserlinjeskanner. Observera hur mycket mer information som finns i färgbilden jämfört med gråskalebilden som bara ger reflektion. Från US Navy Coastal System Station.²⁴



Figur 31. En 3-bands pseudofärgbild av havsbotten innehållande vegetation och objekt (upplösningstavla, nylonrep med förtöjningshakar av plast samt en rund plastdisk). Upplösningstavlans linjer varierar i storlek mellan 1-5 cm. Upplösningstavlan och plastdisken har vikter på sig för att kvarhållas på botten. Dessa vikter har annan reflektion och fluorescens än de föremål de står på. Infällt syns en ren reflektionsbild. Excitationsvåglängd 532 nm. Från Slitter et.al.²⁵

3.6 Multispektral/hyperspektral passiv elektrooptisk teknik

Multispektral teknik har tillämpats under många decennier för olika fjärranalystillämpningar för klassning av växtlighet som skog och gröda men även för att skatta tillståndet i vatten avseende alger (klorofyll a), grumlighet, botten typer, bottenvegetation etc. Typiska relativa optiska bandbredder för multispektral teknik är $\Delta\lambda/\lambda \approx 10$ eller mindre, medan för hyperspektrala tillämpningar ligger kring $\Delta\lambda/\lambda \approx 100$ eller mer. För hyperspektrala kameror får man mer information och större möjlighet till detektion och klassificering av vatten, botten eller föremål i vattenvolymen. Nackdelen med smala filter är att man får en svag signal. Detta kan man råda bot på genom användning av laserkällor (och får då även mörkerkapacitet) och/eller bildförstärkarrör som kan förstärka ljuset upp till 80 000 ggr för att kompensera för de smala optiska filtren. Problemet för grunda vatten med denna passiva teknik är den komplexa interaktion som finns mellan den radians som lämnar vattnet och den fjärrdetekterade reflektansen.

DSTO (FOI motsvarighet i Australien) studerar hur multi- och hyperspektrala sensorer kan kombineras med laser för upptäckt av minor och andra objekt.

Tekniken med spektralfiltrering bygger på det enkla faktum att vattenytan reflekterar alla färger medan vattenkolumnen transmitterar grönt och blått men absorberar rött. Om man i huvudslak tar bort det röda innehållet bör man alltså erhålla en större möjlighet att lokalisera undervattenobjekt. Notera att eftersom tekniken bygger på passiva sensorer så begränsas räckvidden ungefär av siktdjupet.

Man ser en användning av passiv multi- eller hyperspektral teknik i kombination med laserteknik speciellt för ytnära objekt detektion och klassificering. Exempel kan vara minor i strandzonen, se Figur 32 nedan.



Figur 32. Detektion av minor eller minlika objekt i strandzon med passiv multispektral teknik, bild DSTO.

LASH är ett flygburet system som man tagit fram i USA för ubåtsjakt. För ubåtar nära ytan (periskopdjup) kan man utnyttja solljuset samt hyperspektral teknik för detektion och klassificering.

3.7 Sammanfattning optiska sensorer för minspaning och klassificering

Fördelar

- Optiska sensorer har hög upplösningsförmåga i flera dimensioner: avstånd (cm), reflektion, fluorescens samt polarisation vilka kan kombineras i samma sensor (streakkamera). Dessa stärker både detektions- och klassificeringsförmågan av minor på botten men även begrävda minor som påverkat botten (topografi, växtlighet etc).
- Optiska sensorer kan göras relativt kompakta och utan rörliga delar.
- Optiska sensorer är tysta i hydroakustisk mening.
- Optiska sensorer erbjuder möjlighet till detektion och klassificering a minor som smyganpassats akustiskt och elektromagnetiskt.
- Optiska system är svåra att röja och störa på större avstånd.
- Optiska system passar utmärkt i mycket grunda vatten inklusive strandzonen.

Nackdelar och begränsningar

- Räckvidden för optiska system är i våra vatten begränsade till ca 15-20 m.
- Optiska system har svårt att indikera begrävda minor (möjligen indirekt genom att observera förändring av bottenstruktur).

Av de undersökta optiska teknikerna verkar streakkameratekniken vara den med störst förutsättningar för minspaning och klassificering. Den kräver dock högspänning och är relativt komplex. Man bör även beakta enklare system t.ex. baserade på skannande mikrochiplaser för högupplöst 3D-avbildning av minor.

3.8 Värdering av förekommande teknik i system

En översikt av de olika teknikernas förmåga visas i Tabell 4.

Parameter/teknik	Minjakt sonar, **	Parametrisk sonar	Syntetisk apertur Sonar	EM sensor (Fartyg/ROV)	Laser (Fartyg/ROV)	Passiv multispektral EO (Fartyg/ROV)	Kommentarer
Svepbredd s [m]	5-150	3-5	20-50	20 m	10-15 m	10-15 m	
Plattformshastighet V [m/s]	0-5	5	5	5-10 m/s	5-10 m/s	5-10 m/s	
Ytavverkningshastighet (SxV)	25-275	25	100-250	100-200 m ² /sek	50-150 m ² /sek	50-150 m ² /sek	
Höjd ovan botten H [m] (typiskt värde)	5-100	10 - 100	10-100	5-10 m	10-15 m	10-15 m	
Detektions signatur minor på botten (form, täthet,...)	Form 2D, Impedans, Skugga (ak.)	Form 2D, Impedans (ak.)	Form 3D, Impedans, Skugga (ak.)	Passiv, Magnetisk (elektrisk) Aktiv, Impedans (kontrast)	Form (3D) reflektion, Fluorescens, polarisation,	Form 2D, Reflektion, Polarisation	
Detektionssignatur Begravda minor	N/A	Form 2D, Impedans (ak.)	Form 2D	Som ovan	Form (3D) reflektion, fluorescens	Form 2D, reflektion	LaserEO kan fungera för begravda minor om förändring i bottenstruktur, bevaktning etc har ändrats
Klassificeringsförmåga (På botten/begravda)	2D, 3D för skugga	2D	2D, 3-D m.interferometri	Passiv, Magnetisk (elektrisk) Aktiv, Imp/storl.	3D form och/eller reflektion (bottenliggande)	2D form + reflektion (bottenliggande)	
Detektionsförmåga, * minor på botten 3.2.1.0	3	2-3	3	3	3	2	
Detektionsförmåga begravda (3.2.1.0)	0-1	3	2	2-3	1 om objektet har förändrat bottenstruktur (topografi, vådighet etc.)	0-1	
Klassificeringsförmåga Minor på botten	2-3	2-3	3	1-2	3	2	Korrm. Laser, för icke be- vuxna, lägre för be- vuxna minor
Klassificeringsförmåga Begravda minor	0	2	2-3	1-2	0-1	0-1	För optik: Beror på ev. avtryck på botten
Elektriskt behov	0.1-5 kW	5 kW	2 kW	0.1-5 kW	0.1-2 kW	0.05-0.1 kW	EM passivt till aktivt
El.magn störnivåer	50-500kg/1-3m	30-100kg/1m	50kg/1m	2.5-15 kg	10/50 kg/ 10/60 liter/	1/10 kg / 1/15 l	EM exkl kraft/batterier
Vikt/storlek							

* Mycket god/god/begränsad/ingen = 3,2,1,0

** Mkt stor grupp av sonartyper (fartyg, hkp, släp, ROV)

Tabell 4. Tabellen ovan visar en sammanställning av olika system för mindetektion.

Mot bakgrund av uttalade förbättringsbehov inom minjakt, kommer några viktiga kriterier diskuteras om hur ett kombinerat system skall se ut och vilka sensorer som är lämpliga att kombinera:

- Grunda vatten - minjakt i strandzonen önskvärd
- Klassificeringsförmåga - dagens teknik räcker ofta inte till för detta
- Begravda/smyganpassade minor - svårt med dagens teknik

På systemnivå kan följande frågor ställas:

- Skall sensorer kombineras i en och samma ROV, även om denna arbetar i olika faser med spaning respektive klassificering/dokumentation/destruktion?
- Hur kommer ett system med ”moder-ROV” och mindre ”dotter-ROV”:ar att se ut och uppföra sig?
- Vilka krav på avsökningskapacitet finns och med vilken ”säkerhet” bör och skall systemet operera?

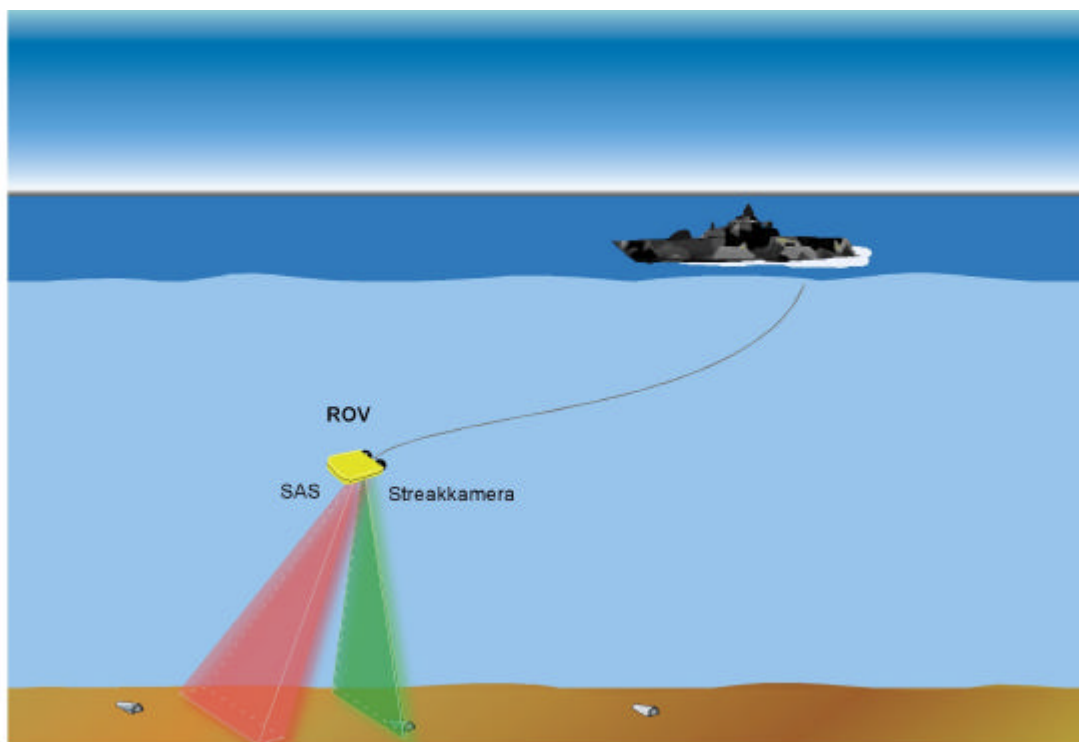
Möjligheten att operera i grunda vatten kräver en AUV utan kabelförtöjning med fartyget. Eftersom de flesta av sensorerna kräver kW i ineffekt står detta i konflikt med uthålligheten hos systemet. Den optiska sensorn bör tillsammans med högupplösande sonar eller EM-sensorer medföra god klassificering även av bottenminor. Dessutom innebär detta viss förmåga att detektera begravda minor.

4 Tänkbara multisensorkoncept

Nedan presenteras tre tänkbara multisensorkoncept, samtliga inkluderande optisk sensor. Gemensamt för de tre koncepten är att de medför förbättrad klassificeringsförmåga av bottenminor samt förbättrad kapacitet, jämfört med dagens sensorer, att detektera och klassificera minor som är smyganpassade/nedgrävda. Målsättningen med alla tre koncepten är att de ska kunna användas både mot bottenminor och mot nedgrävda minor. Förutom sensor-ROV:er ingår även mindestruktions-ROV:er i det fullständiga minröjningssystemet, men de redovisas inte i de följande koncepten. Dessutom kan det ingå skrovmonterad sonar i det fullständiga minröjningssystemet som fallet är med dagens system.

4.1 Koncept 1. Flera sensorer i samma ROV (AUV)

I ett kombinerat koncept enligt Figur 33, kan en syntetiskapertursonar SAS kombineras med ett lasersystem innehållande streakkamera. Båda sensorerna kan tänkas arbeta simultant och har dessutom ungefär samma stråkbredd samt hastighet att avverka yta. Vid sekventiell användning av sensorerna kan samma sensorkombination användas, men då optimerad för att uppnå, antingen hög avsökningshastighet i spaningsmod, eller en god klassificeringsförmåga i en mod med lägre höjd över botten.



Figur 33. Koncept 1. Illustration av en ROV med flera sensorer. En sonar kan visa in ett lasersystem för att undersöka detekterade objekt i en och samma passage. Alternativt kan området, en första gång, gås över med enbart sonar för att sedan en andra gång gås över på lägre höjd över botten med det optiska systemet för att utföra klassificering och dokumentation.

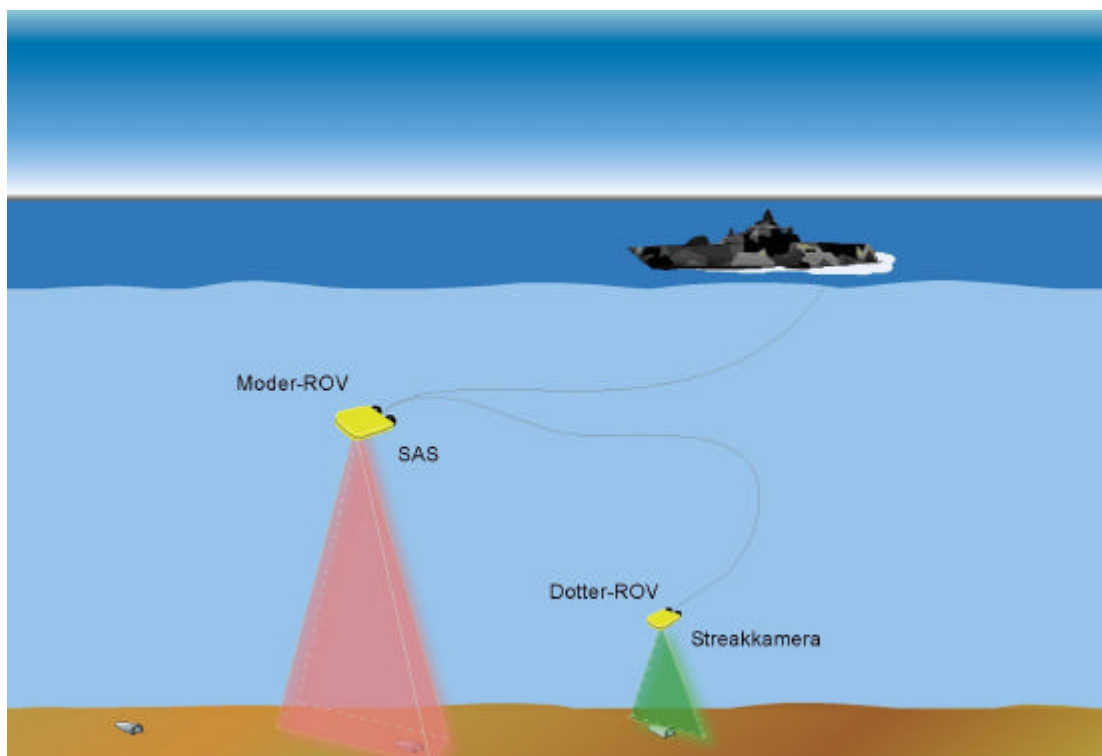
Lasersystemet med streakkamera ger en ökad klassificeringsförmåga jämfört med dagens system, genom att den arbetar i moderna för reflektion, avstånd och eventuellt fluorescens. Streakkameran kan förmodligen skilja mellan växtlighet och människotillverkade objekt. Även för minor med låg akustisk impedans ökar klassificeringsförmågan. Valet av streakkamera framför laserlinjeskanner motiveras av streakkamerans högre spatiella upplösning.

Allmänna fördelar med detta systemkoncept är att samtliga sensorer samlas på samma plattform (jämför koncept 2 och 3 nedan), vilket förenklar sjösättning/upptagning samt styrning av plattformen. Nackdelar som kan nämnas är att plattformen blir dyr eftersom den innehåller två relativt avancerade sensorer. Dessutom riskerar streakkameran att befinna sig på, för att ge god bildkvalitet, för stort avstånd från bildobjektet om sonaren samtidigt skall användas över sin hela räckvidd. Praktiskt skulle detta kunna innebära att ROV:en behöver ändra djup för att optimera användningen av respektive sensor. Detta skulle ske på bekostnad av hastigheten i operationen. Ytavverkningshastigheten skulle dock bli avsevärt större än för dagens system där videokameran kräver ett avstånd understigande ett fåtal meter jämfört med streakkamerans 2-4 gånger längre räckvidd.

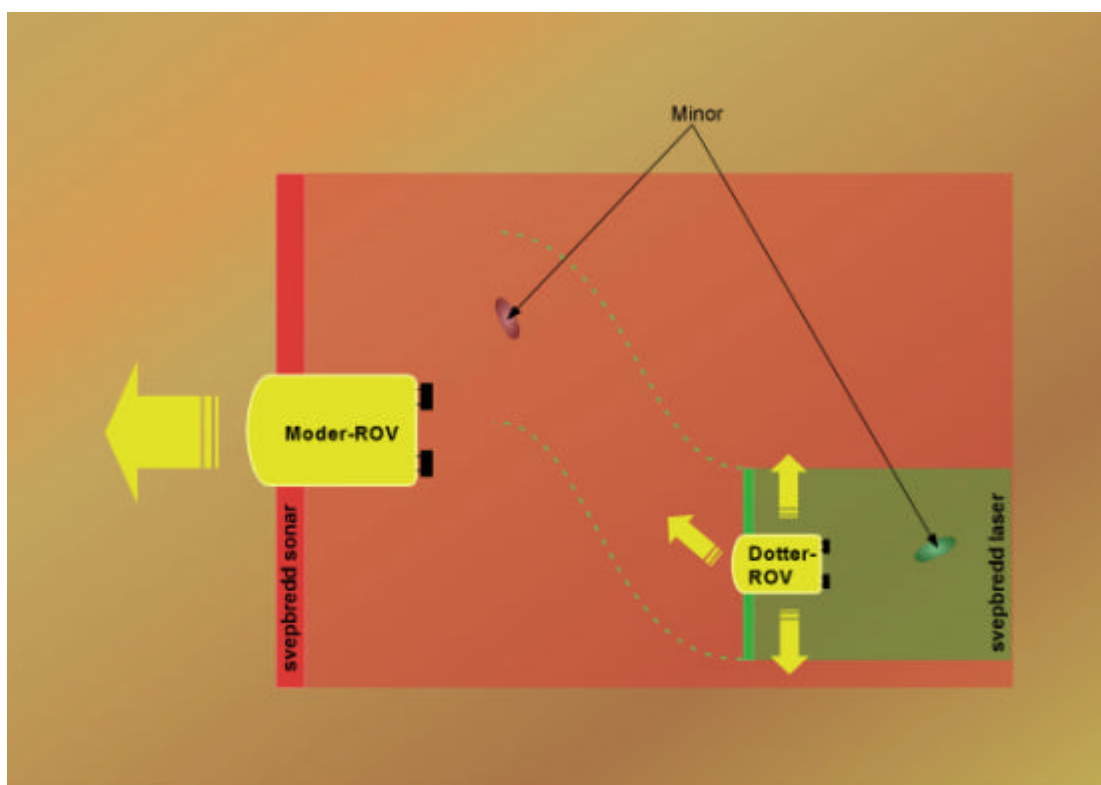
4.2 Koncept 2. Sensorer i moder-ROV och dotter-ROV

Om sensorerna delas upp mellan olika plattformar, blir det möjligt att optimera vardera sensors förmåga. Ett tänkbart koncept framgår av Figur 34. En syntetiskapertursonar i moder-ROV:en detekterar bottenminor och begravningsminor och möjligen klassificerar vissa, varefter den leder in en dotter-ROV mot dessa objekt. För att komplettera klassificeringen innehåller denna ROV lämpligen en optisk sensor i form av ett lasersystem med streakkamera opererande i moderna för reflektion, avstånd och eventuellt fluorescens. Moder-ROV:en bibehåller avståndet över botten för att få optimal täckningsbredd och detektionsförmåga. Därmed kan en jämnare framfart hållas än om ROV:en skulle behöva ändra bottenavstånd.

Allmänna fördelar med detta systemkoncept är att de två ROV:erna delvis är oberoende av varandra i höjd och sidled, så att dotter-ROV:n med den ökade klassificeringsförmågan kan styras in mot prioriterade områden med styrinformation från moder-ROV:en, se Figur 35. Nackdelar med detta koncept jämfört med det första konceptet är den mer komplicerade sjösättningen och upptagningen samt styningen av farkosterna. Dessutom krävs att farkosternas positioner och riktningar hålls uppdaterade för att kunna ge invisning av dotter-ROV:n. Detta är även nödvändigt för att göra sensordatafusionen effektiv, eftersom t.ex. överlagring av bilder kräver data från de båda sensorerna. En operatör för respektive ROV kommer troligen behövas, såvida inte systemet är utrustat med avancerad signal- och bildbehandling.



Figur 34. *Koncept 2. Illustration av sensorsystem uppdelat mellan moder-ROV och dotter-ROV. En sonar-ROV som arbetar på optimal höjd över botten visar in en ROV med lasersystem i en och samma passage för att förbättra klassificering och dokumentation.*

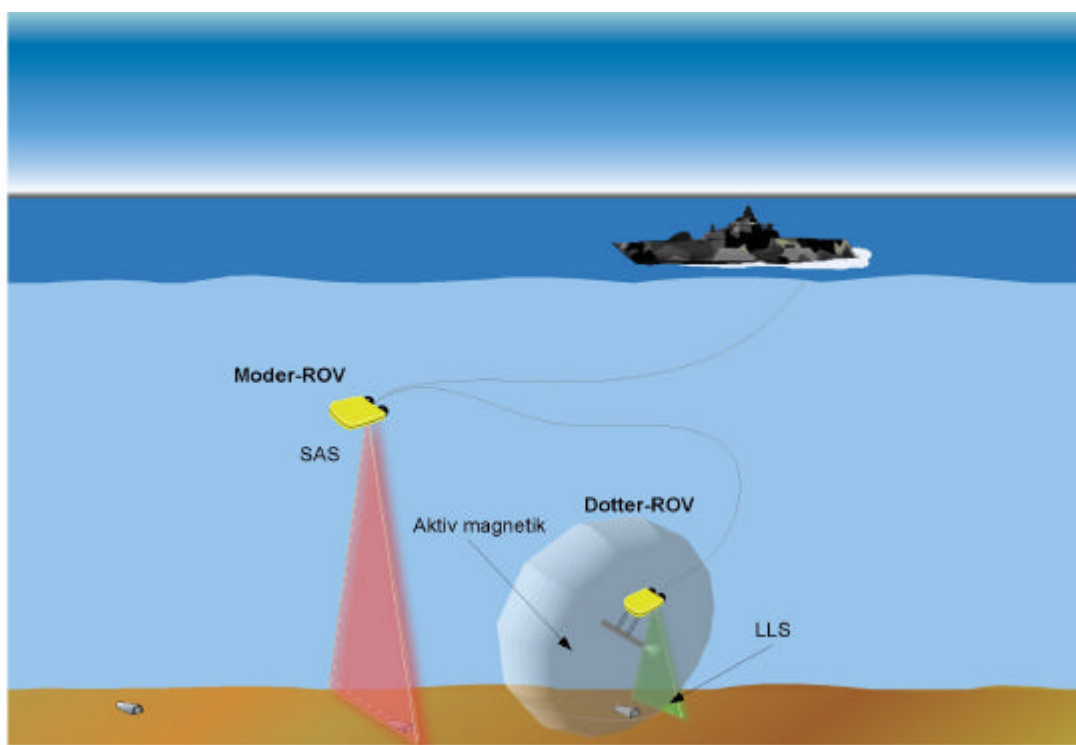


Figur 35. *Topp-vy av koncept 2. Med styrinformation från moder-ROV:en kan Dotter-ROV:en styras in mot prioriterade områden.*

4.3 Koncept 3. Sensorer i moder-ROV och bottennära dotter-ROV

Om man delar upp sensorerna mellan olika plattformar, så är det möjligt att förutom optimera vardera sensors förmåga, även implementera relativt billiga lösningar för de plattformar som löper störst risk att förloras. Ett tänkbart koncept framgår av Figur 36. En syntetisk apertursonar i moder-ROV:en detekterar bottenminor och begrävda minor samt klassificerar även vissa, som tidigare. Därefter leder moder-ROV:en in en dotter-ROV mot dessa objekt. Skillnaden mot koncept 2 är att dotter-ROV:en har en lägre höjd över botten och därmed har möjlighet kunna nyttja en aktiv magnetisk sensor för förbättrad detektion och klassificering av begrävda minor. Dessutom är det laserbaserade systemet utbytt från streakkamera till linjeskanner i detta alternativ. Laserlinjeskannern kan liksom streakkameran operera i moder för reflektion, avstånd och eventuellt fluorescens för att ge förbättrad klassificering relativt dagens system, dock med något sämre avståndsupplösning än streakkameran. Liksom i koncept 2, kan dotter-ROV:en styras in mot prioriterade områden med styrsignaler från moder-ROV:en, enl Figur 35. Laserlinjeskannern möjliggör att laser och mottagarelektronik kan vara placerade i moder-ROV:en eller i ytfartyget. Optiska fibrer leder laserstrålen förutom ned till avsökningshuvudet i dotter-ROV:en, även tillbaka den optiska retursignalen från botten, via dotter-ROV:en. Någon av fibrerna kan dessutom användas för kommunikation innehållande styrkommandon för plattformen samt annan dataöverföring.

Genom att placera linjeskannerns dyraste delar (laser och mottagare) på annan plats än i dotter-ROV:en, blir denna plattform relativt billig. Ett alternativ är att använda en komplett optisk sensor i den mindre plattformen, men utnyttja en fri optisk länk för kommunikation (många Mb/s).



Figur 36. Koncept 3. Illustration av sensorsystem uppdelat mellan moder-ROV och dotter-ROV. En sonar-ROV arbetar på optimalt höjd över botten följt av en dotter-ROV med lasersystem och aktiv magnetisk sensor för att förbättra detektion och klassificering.

Den aktiva magnetiska sensorn bör inte avlägsna sig mer än ca 3 m från botten för att kunna detektera och eventuellt klassificera nedgrävda minor. Eventuellt kan detta avstånd ökas, men då krävs att minorerna är stora eller att mätning med kartläggning av magnetfältsbilden skett över samma område innan minutläggningen. Vilket är förutsättningen för att kunna detektera minintroducerade skillnader i den magnetiska fältbilden. Möjligen kan en passiv magnetisk sensor användas, men en sådan skulle också kräva större minor och kartlagd magnetfältsbild för säker detektion. De magnetiska metoderna är även känsligare för EM-störning från egen ROV och andra plattformar i närområdet. Den aktiva magnetiska

sensorn har en fördel framför den passiva, eftersom den kan ge en uppfattning om storlekar på de begravda objekten genom att exempelvis svepa sändarfrekvensen. För att ge den aktiva magnetsensorn önskad svepbredd kan flera sensorelement placeras i bredd.

Allmänna fördelar med detta systemkoncept är bättre detektions- och klassificeringsförmåga av nedgrävda minor än de två första koncepten. Nackdelar är den minimala risken att den aktiva magnetsensorn får minan att detonera och att dotter-ROV:en förloras och möjligheten att även moder-ROV:en samt ytfartyg skadas. Om endast dotter-ROV:en förloras, kommer minröjningsoperationen fördröjas även om en ersättnings-ROV finns tillgänglig.

4.4 Värdering av multisensorkoncepten

I samtliga tre ROV-koncept föreslås huvudsensorn vara en syntetiskapertursonar eller eventuellt en parametrisk sonar. Den laserbaserade sensorn kan ha kapacitet att detektera bottensignaturer över nedgrävda minor, men eftersom detta är en indirekt, och därmed osäker mätmetod, så är det önskvärt med kompletterande akustisk eller magnetisk sensor i ett multisensorkoncept.

Det bör övervägas om det finns några nackdelar med ett multisensorkoncept visavi dagens system, förutom att multisensorkonceptet blir dyrare och mer komplext. Exempel på sådana nackdelar skulle kunna vara att det i multisensorsystem byggs in för stor kapacitet i en plattform. Därmed ökas sårbarheten om denna plattform skulle haverera. Mot bakgrund av resonemanget skulle koncepten 2 och 3 vara att föredra framför det första konceptet, dock med förbehållet att ersättnings-ROV:ar finns och att dessa utan komplicerade moment kan anslutas till ROV-systemet.

En bedömning av komplexiteten hos respektive koncept ger vid handen att det första konceptet bör vara det enklaste steget att ta, om man utgår från dagens teknik. Koncepten 2 och 3 innebär ytterligare utveckling av system för sjösättning och upptagning (eller eventuellt dockning mellan moder- och dotter-ROV) samt medförande positionering och styrning. Det bör beaktas att förutom sensor-ROV:er, så ingår även mindestruktions-ROV:er i det kompletta minröjningssystemet.

Utöver de sensorer som redovisas i ovanstående tre koncept kan ROV:na innehålla någon eller några av följande sensorer:

- Videokamera (i dotter-ROV för koncepten 1 och 2)
- Framåtriktad sonar för detektion av förankrade minor
- Framåtriktad laserkamera av något slag för detektion av förankrade minor
- Dessutom diverse andra sensorer (temperatur, tryck, gyro, m.m.)

Slutligen bör kommenteras att minjaktfartyget (som bärare av ROV:er), kan ersättas av det obemannade ytfartyget. I detta fall skulle ROV:arna kunna släpas efter det obemannade ytfartyget och alltså kunna vara utan egna framdrivningsmotorer.

5 Fortsatt arbete

I denna rapport har en översiktlig presentation av sensorer för minjakt presenterats. Tonvikten har legat på de optiska sensorerna och hur de kan ingå i ett totalsystem tillsammans med akustiska och elektromagnetiska sensorer.

Ingen detaljerad undersökning av möjlighet till hårdvaruintegration har kunnat utföras och inte heller någon detaljerad analys av prestanda för de många olika fall av min/bottenkombinationer som kan tänkas föreligga.

Det förefaller naturligt att rekommendera en fortsatt undersökning av en avancerad optisk sensor t.ex. en streackamera som är en ny lovande sensor med förmåga till högupplösta bilder i både reflektions-, avstånd- samt fluorescens- och polarisationsmoder. Det föreligger behov av att utvärdera denna sensor för svenska vatten och bottenar.

Parallellt med pågående undersökningar med akustiska och elektromagnetiska sensorer bör något konkret multisensorprov planeras för att dra slutsatser av hur olika sensorkombinationer kan fungera i praktiken.

Utprovning med streackamera eller laserlinjeskanner skulle kunna arrangeras. För att studera och utvärdera fluorescenssteknikens fördelar till en rimlig kostnad kan man använda en billigare streackamera som endast hanterar en våglängd i taget och söka av samma bottenyta flera gånger med olika våglängd varje gång. Mätningar kan med fördel genomföras med sensorn placerad i en ytburen plattform.

Några frågeställningar för en optisk sensor kan vara:

- Undersökning av möjligheten att detektera begravda minor via bottenförändring.
- Kartlägga prestanda för olika vatten, höjd ovan botten och bottenförhållanden avseende olika typer av bottenminor.
- Fusionera information från laser och videokamera.

6 Referenser

- ¹ S. Ivansson, I. Karasalo, P. Moren, J. Pihl och P. Söderberg, "Acoustical methods for detections of buried objects", FOA-R--00-01616-409--SE, September 2000.
- ² Lennart Crona, Tim Fristedt, Johan Mattsson och Peter Sigray, "Försök med aktiv EM för detektering av sjöminor", FOA-R--00-01757-313--SE, December 2000
- ³ M. Andersson, O. Steinvall och M. Tulldahl, "Laser och elektrooptiska metoder för detektion och klassificering av sjöminor", FOA-RH- -00-00549-409, Dec. 2000.
- ⁴ O. Steinvall, M. Andersson och M. Tulldahl, "FLASH G2, en studie om internationella laser- och elektrooptiska metoder för undervattenssökning", FOI-RH--0015-SE, Januari 2001
- ⁵ Henrik Almström, Paul Ström, "Realiserbarhetsstudie, Stigmina", FOA-RH--98-00296-313
- ⁶ Intervjuer med flottiljchef Claes-Göran Hagström samt fartygschef Anders Larsson
- ⁷ <http://www.4minkriflj.mil.se>
- ⁸ <http://chartmaker.ncd.noaa.gov/hsd/wrecks.html>
- ⁹ <http://www.kleinsonar.com/image/freqcomp.html>
- ¹⁰ http://www.kleinsonar.com/image/anchor_2.html
- ¹¹ I.Karasalo, "Model analysis of a bistatic scattering experiment", FOA-R-00-01723-409-SE, Dec. 2000
- ¹² M. Jönsson, "Positioning in a wideband synthetic aperture sonar field experiment", FOA-R--00-01575-409--SE, augusti 2000.
- ¹³ <http://www.ncsc.navy.mil/>
- ¹⁴ <http://www.ncsc.navy.mil/achivements/success%5Fstories/1999%20kernel%20blitz/css%5Fkernel%5Fblitzsomp.htm>
- ¹⁵ Lennart Crona, "Försök med en flytneutral elektromagnetisk boj", FOA-R--00-01713-409--SE, december 2000
- ¹⁶ Anders Brage, Peter Lindqvist och Peter Sigray, "Elektromagnetisk spaning med mobila plattformar –En studie av sensorbrus –", FOA-R--00-01764-409--SE, december 2000
- ¹⁷ <http://www.vallon.de/index.html>
- ¹⁸ A. M. Sergeev, L.S. Dolin och D.H. Reitze, "Optics & Photonics News", sid. 28-35, juli 2001.
- ¹⁹ A. D.Gleckner, "Multi-Slit Streak tube Imaging Lidar (MS_STIL) Applications", SPIE Vol. 4035 on "Laser radar technology and applications", 26-28 April, Orlando, USA, 2000.
- ²⁰ L.J. Mullen, P.R. Herczfeld and V.M. Contarino, "Hybrid Lidar-Radar Ocean Experiment", IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol. 44, no. 12, sid 2703-2710, Dec. 1996.
- ²¹ L. Mullen, V. M. Contarino, A. Laux, B. Concannon, J. Davis "Modulated Laser Measurements in the Patuxent river", Proceeding Ocean Optics, Monaco, Sept 2000.
- ²² A.D: Gleckner, A Gelbart and J.M. Bowden, "Multispectral and hyperspectral 3D imaging lidar based upon the multiple slit streak tube imaging lidar", SPIE Vol. 4377 on "Laser radar technology and applications", 26-28 April, Orlando, USA, 2001.
- ²³ A. D.Gleckner, "Multi-Slit Streak tube Imaging Lidar (MS_STIL) Applications", SPIE Vol. 4035 on "Laser radar technology and applications", 26-28 April, Orlando, USA, 2000.
- ²⁴ Andrew J. Nevis, Michael P. Strand, "Image processing and qualitative interpretation of fluorescence imaging laser line scan data", Proceeding Ocean Optics, Monaco, Sept. 2000.
- ²⁵ D.N. Slitter, A. Gelbhart, "Laser-induced fluorescence imaging of the ocean bottom", Opt. Eng. Vol. 40, no. 8, 1545-1553, August 2001.