

FFIBM/791/350

Godkjent
Kjeller 1 juni 2001

Stein Grinaker
Forskningsjef

**KONSEPTLØSNINGER FOR UNDERVANNS-
OVERVÅKING**

SYNNES Stig Asle, TVEIT Bjørn, BERGER Tor

FFI/RAPPORT-2001/03259

FORSVARETS FORSKNINGSINSTITUTT
Norwegian Defence Research Establishment
Postboks 25, 2027 Kjeller, Norge

FORSVARETS FORSKNING SINSTITUTT (FFI)
Norwegian Defence Research Establishment
 P O BOX 25
 NO-2027 KJELLER, NORWAY

UNCLASSIFIED

SECURITY CLASSIFICATION OF THIS PAGE
 (when data entered)

REPORT DOCUMENTATION PAGE

1) PUBL/REPORT NUMBER FFI/RAPPORT-2001/03259 1a) PROJECT REFERENCE FFIBM/791/350	2) SECURITY CLASSIFICATION UNCLASSIFIED 2a) DECLASSIFICATION/DOWNGRADING SCHEDULE	3) NUMBER OF PAGES 65		
4) TITLE KONSEPTLØSNINGER FOR UNDERVANNSOVERVÅKING (CONCEPTUAL SOLUTIONS FOR UNDERWATER SURVEILLANCE)				
5) NAMES OF AUTHOR(S) IN FULL (surname first) SYNNES Stig Asle, TVEIT Bjørn, BERGER Tor				
6) DISTRIBUTION STATEMENT Approved for public release. Distribution unlimited (Offentlig tilgjengelig)				
7) INDEXING TERMS IN ENGLISH: <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> a) <u>Underwater surveillance</u> b) <u>Intrusion detection system</u> c) <u>Conceptual solutions</u> d) <u>Underwater sensors</u> e) <u>Sabotage threats</u> </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> IN NORWEGIAN: a) <u>Undervannsovervåking</u> b) <u>Innbruddsdeteksjon</u> c) <u>Konseptløsninger</u> d) <u>Undervannssensorer</u> e) <u>Sabotasjetrusler</u> </td> </tr> </table>			a) <u>Underwater surveillance</u> b) <u>Intrusion detection system</u> c) <u>Conceptual solutions</u> d) <u>Underwater sensors</u> e) <u>Sabotage threats</u>	IN NORWEGIAN: a) <u>Undervannsovervåking</u> b) <u>Innbruddsdeteksjon</u> c) <u>Konseptløsninger</u> d) <u>Undervannssensorer</u> e) <u>Sabotasjetrusler</u>
a) <u>Underwater surveillance</u> b) <u>Intrusion detection system</u> c) <u>Conceptual solutions</u> d) <u>Underwater sensors</u> e) <u>Sabotage threats</u>	IN NORWEGIAN: a) <u>Undervannsovervåking</u> b) <u>Innbruddsdeteksjon</u> c) <u>Konseptløsninger</u> d) <u>Undervannssensorer</u> e) <u>Sabotasjetrusler</u>			
THESAURUS REFERENCE:				
8) ABSTRACT <p>FFI-project 791 part 2, underwater surveillance, is concluded in this report by the proposal of generic concepts for underwater surveillance systems. Guidelines for how to choose among the proposals are also included.</p> <p>The strengths and the weaknesses of each underwater sensor technology are identified. The results are used to identify independent concepts for detection, classification and verification, exploiting the best features of each sensor technology. Known weaknesses are compensated for by applying additional sensors. Finally, these concepts are used for constructing the generic conceptual solutions for underwater solution.</p>				
9) DATE 1 June 2001	AUTHORIZED BY This page only Stein Grinaker	POSITION Director of Research		

ISBN-82-464-0552-7

UNCLASSIFIED

SECURITY CLASSIFICATION OF THIS PAGE
 (when data entered)

INNHold

Side

1	INNLEDNING	9
2	OVERVÅKING OG VARSLING	11
2.1	Overvåkingssystem	11
2.2	Egenskaper og signaturer	12
2.3	Prosessering	13
2.3.1	Deteksjon	13
2.3.2	Klassifikasjon	14
2.3.3	Verifikasjon	15
2.4	Overvåkingskonsepter	15
2.4.1	Avstand	15
2.4.2	Overvåkingsform	15
3	SENSORER	16
3.1	Generelle sensorparametre	16
3.1.1	Idealisert dekning og vinkelopløsning	16
3.1.2	Avstandsopløsning og frekvensinformasjon	17
3.1.3	Temporær sampling (dekning)	17
3.2	Aktiv sonar	18
3.2.1	Miljøfaktorer	18
3.2.2	Tilgjengelige egenskaper	21
3.2.3	Synlige objekter	23
3.2.4	Signatur	23
3.3	Kamera med synkront sveipende laser	24
3.3.1	Miljøfaktorer	24
3.3.2	Tilgjengelige egenskaper	25
3.3.3	Synlige objekter	25
3.3.4	Signatur	26
3.4	Nett med bruddeteksjon	26
3.4.1	Miljøfaktorer	26
3.4.2	Tilgjengelige egenskaper	26
3.4.3	Synlige objekter	26
3.4.4	Signatur	26
4	DETEKSJON, KLASSIFIKASJON OG VERIFIKASJON ..	27
4.1	Aktiv sonar	27
4.1.1	Deteksjon	27
4.1.2	Klassifikasjon	28
4.1.3	Verifikasjon	28
4.1.4	Delkonklusjon	28
4.2	Kamera med synkront sveipende laser	29
4.2.1	Deteksjon	29

4.2.2	Klassifikasjon	29
4.2.3	Verifikasjon	30
4.2.4	Delkonklusjon	30
4.3	Nett med bruddeteksjon	30
4.3.1	Deteksjon	30
4.3.2	Klassifikasjon	30
4.3.3	Verifikasjon	31
4.3.4	Delkonklusjon	31
5	DELKONSEPTER	32
5.1	Delkonsepter for deteksjon	32
5.1.1	Nett med bruddeteksjon uten port / åpning, D1	32
5.1.2	Nett med bruddeteksjon med åpning og eventuelt port, D2 ..	33
5.1.3	Horisontalorientert multistrålesonar for perimenter, D3	34
5.1.4	Horisontalorientert multistrålesonar for mindre objekter, D4	35
5.1.5	Vertikalorientert multistrålesonar for perimenter, D5	36
5.1.6	Sidesøkende sonar for perimenter, D6	37
5.1.7	Vidvinkel sonar for overvåking av mindre objekter, D7	39
5.1.8	Kamera med belysning ved kameraet, D8	39
5.1.9	Kamera med motbelysning, D9	41
5.2	Delkonsepter for klassifikasjon	42
5.2.1	Horisontalorientert multistrålesonar, K1	42
5.2.2	Vidvinkel sonar, K2	42
5.2.3	Akustisk kamera / 3D multistrålesonar, K3	43
5.2.4	Sonar med spektralinformasjon, K4	44
5.2.5	Kamera med belysning ved kameraet, K5	46
5.2.6	Kamera med motbelysning, K6	46
5.3	Delkonsepter for verifikasjon	47
5.3.1	Akustisk kamera / 3D multistrålesonar, V1	47
5.3.2	Kamera med belysning ved kameraet, V2	47
5.3.3	Kamera med motbelysning, V3	48
5.4	Mobile plattformer	48
6	KONSEPTLØSNINGER	49
6.1	Forslag til konseptløsninger	49
6.1.1	Alternativ 1: Bare deteksjon	49
6.1.2	Alternativ 2: Deteksjon og klassifikasjon	49
6.1.3	Alternativ 3 og 4: Deteksjon, evt klassifikasjon, verifikasjon	50
6.1.4	Oversikt over alle konseptløsningene	51
6.2	Metode for valg av konseptløsning	54
6.3	Eksempel på valg av sikringsløsning	54
7	KONKLUSJON	58
	Litteratur	59

APPENDIKS

A	FORKORTELSER FOR DELKONSEPTENE	61
B	KRITERIER FOR VALG AV UNDERVANNSOVERVÅKING	63
	Fordelingsliste	65

KONSEPTLØSNINGER FOR UNDERVANNSOVERVÅKING

1 INNLEDNING

Det er gitt krav til sikring for Forsvaret gjennom sikkerhetsloven (1) med forskrifter og “Direktiv for sikring av Forsvarets materiell” (2), som nå er under revisjon. Helhetlige sikringsløsninger består av en kombinasjon av overvåking og varsling, fysisk beskyttelse og reaksjonstiltak. Metoder for å finne frem til god sikring med riktig fordeling mellom de ulike sikringstiltakene er beskrevet i tidligere prosjekter (3), (4). Det ble vist at i tillegg til kravet til sikringsnivå vil også selve sikringsobjektet og omgivelsene til det være helt avgjørende for valget av sikringsløsning. For å sikre et vilkårlig anlegg blir det svært viktig med en oversikt over hvilke sensorer som er egnet til ulike oppgaver og miljøer, og hvordan ulike sensorer kan utfylle hverandre.

FFI-prosjekt 791 “Sikring av Sjøforsvarets anlegg” utfører i delprosjekt 1 sikkerhetsanalyser for Korsnes torpedobatteri, Haakonsvern orlogsstasjon og marinefartøy ved norsk kai utenfor base. Delprosjekt 2 tar for seg undervannsovervåking og skal identifisere konseptløsninger for undervannsovervåking og finne ytelsen til disse. Mens sensorer for overvåking og varsling på landjorden er kjent fra tidligere FFI-prosjekter og er oppsummert i (5), har en tilsvarende kartlegging ikke tidligere vært utført for undervannssensorer.

Delprosjekt 2 startet med en teoretisk vurdering (6), der bruk av de ulike energiformene ble vurdert. Det ble funnet at sensorer basert på lavfrekvent elektromagnetisme, synlig lys, akustiske signaler eller direkte fysisk kontakt (bruddeteksjon) var de aktuelle. Ulike måleteknikker og sensorer ble deretter beskrevet i (7).

Aktive sonarer er de mest kjente, og trolig også de mest anvendbare av undervannssensorene. En hel del av arbeidet i prosjektet har dermed vært rundt nettopp aktive sonarer. Dette arbeidet har omfattet opptak av målstyrke for typiske trusselementer (8), signaturmålinger med sidesøkende sonar (9), simuleringer av lydforplantning (10) og en teoretisk vurdering av aktiv sonar med fokus på valg av frekvens og oppløsning (11). I tillegg er det motatt måledata for multistrålesonar fra Sjøforsvarets forsyningskommando (SFK) (12). Hvorvidt lavfrekvente elektromagnetiske signaler kunne benyttes for deteksjon var ikke kjent, så i tillegg til den teoretiske vurderingen ble problemstillingen fulgt opp av simuleringer (13), men uten at noen avklarende konklusjon kunne trekkes fra resultatene. Det ble videre gjort forberedelser til småskalauttesting for bruk av lavfrekvent elektromagnetisme, men oppgaven var for omfattende til at den kunne fullføres innen prosjektet. For bruk av synlig lys under vann ble arbeidet begrenset til litteratursøk og den teoretiske betraktningen, samt til en vurdering av noen aktuelle sensorer (7). Måling av fysisk utstrekning gjennom bruddeteksjon er lett forståelig og er beskrevet sammen med en gjennomgang av aktuelle sensorer (7).

Denne rapporten viderefører det tidligere arbeidet i delprosjektet og leder frem til generiske konseptløsninger for fremtidig undervannsovervåking. Konseptløsningene er kon-

struert ved først å utarbeide delkonsepter for deteksjon, klassifikasjon og verifikasjon. Utarbeidelsen av delkonseptene blir gjort med utgangspunkt i styrker og svakheter ved sensorer som benytter ulike energiformer og hvilken informasjon som følger ved bruk av hver måleteknikk.

I kapittel 2 beskrives et generelt overvåkingssystem og noen viktige begreper blir definert. Kapittel 3 fortsetter med en oppsummering av de aktuelle sensorsystemene, i hovedsak aktiv sonar, kamera med (laser)belysning og nett med bruddeteksjon. Deretter blir mulighetene for deteksjon, klassifikasjon og verifikasjon ved bruk av hver sensor vurdert i kapittel 4, før mulige delkonsepter for hvert av overvåkingstrinnene identifiseres i kapittel 5. Til slutt kombineres delkonsepter for ulike overvåkingstrinn til aktuelle konseptløsninger i kapittel 6.

2 OVERVÅKING OG VARSLING

Gjennom overvåking skal det varsles om tilløp til uønskede hendelser. Målet er at det da skal kunne iverksettes tiltak for å forhindre, begrense eller reparere skader.

For sikring av Forsvarets objekter kan aktuelle trusler i fred og krise deles inn i sabotasje, spionasje, terrorisme, innbrudd/tyveri og skadeverk. Overvåkingen skal redusere risikoen fra slike trusler ved å varsle om tilstedeværelse av de utførende aktørene, heretter kalt trusselementene. Hovedtruslene er sabotasje, spionasje og til dels terrorisme, og aktuelle trusselementer blir som følger:

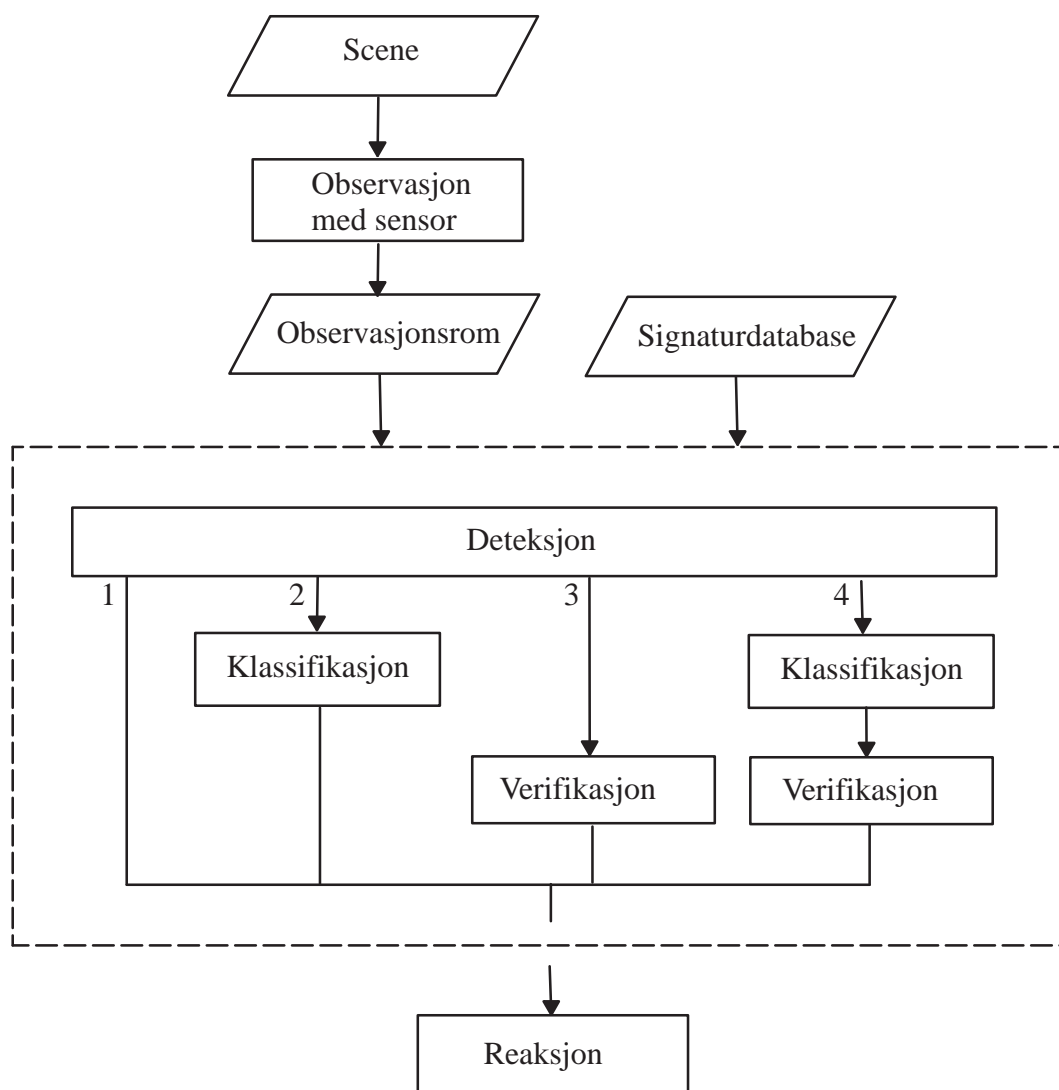
- svømmer
- dykker med lukket eller åpent pustesystem
- dykker på undervannsscooter
- miniubåt
- gummibåt/lettbåt

For overvåking på land kan man velge mellom å benytte sensorer eller å utplassere vakter for å samle inn data. Under vann innskrenkes valgmulighetene, og man er i utstrakt grad avhengig av sensorer for undervannsovervåking.

2.1 Overvåkingssystem

Et overvåkingssystem tar utgangspunkt i en eller flere sensorer. Sensorene vil trekke ut data om den aktuelle scenen til et observasjonsrom. De innsamlede dataene blir kombinert med tidligere kjent informasjon, og mulige objekter blir skilt ut fra bakgrunnen gjennom en prosessering (deteksjonsprosess). For hvert mulig objekt blir det kartlagt en serie egenskaper som i varierende grad kan benyttes til å skille ulike objekttyper fra hverandre. Dette kan gjøres automatisk gjennom en klassifikasjonsprosess. Etter at størsteparten av uinteressante objekter er blitt forkastet av overvåkingssystemet, er det vanlig å presentere de resterende objektene for en operatør i form av et sett sensordata (helst et bilde), slik at han får verifisert objekttypen. Operatøren bestemmer derpå om og i hvilken form det skal reageres, og unngår dermed unødvendig bruk av reaksjonstiltaket. Når raten av falske alarmer etter deteksjon eller klassifikasjon forventes å være svært lav kan det også være aktuelt å gå direkte fra disse til reaksjon. Imidlertid stilles det nesten alltid krav om verifikasjon før bruk av dødelige reaksjonstiltak.

Figur 2.1 viser en skisse av et overvåkingssystem med de mulige vegene fra deteksjon til reaksjon nummerert fra 1 til 4.



Figur 2.1 Skisse over system for overvåking og varsling, med fire alternative veger fra deteksjon til reaksjon

2.2 Egenskaper og signaturer

Med egenskaper menes målbare størrelser som kan benyttes til å beskrive objekter. Disse egenskapene knyttes til fysiske størrelser ved objekter eller til plasseringen av objekter i scenen.

Signaturen til et objekt (sett fra en gitt sensor) defineres som de observerbare kjennetegnene ved objektet. Signaturen gir dermed måleverdier for egenskaper som karakteriserer objektet.

Ser man på et objekt isolert kan egenskapene listes opp som under. Disse egenskapene vil til en viss grad variere med hvilken energiform (sensor) som benyttes.

- signalstyrke og tekstur – signalstyrke fra objektet med intern romlig variasjon
- form og størrelse – geometrisk utstrekning til observert egenskap
- frekvensrespons – variasjoner i egenskaper med målefrekvens
- tidsvariasjoner – endringer i egenskaper over tid

I tillegg kan man definere egenskaper som beskriver objektet i mediet, og som derfor er uavhengig av energiform (sensor). Disse omfatter:

- posisjon
- orientering
- bevegelse

Senere blir det sett på hvilke egenskaper de ulike sensorene kan skaffe informasjon om, og hvilke egenskaper som kan gi grunnlag for deteksjon, klassifikasjon og verifikasjon.

2.3 Prosessering

Som det går frem av figur 2.1 kan en operatør varsles for verifikasjon eller reaksjon i ulike trinn av overvåkingsprosessen. Det er også klart at andelen av varsler som er knyttet til reelle trusselementer vil variere med hvilke sensorer som benyttes.

Generelt ønsker man å varsle om en så stor andel av trusselementene som mulig, samtidig som raten av falske alarmer ønskes holdt lav. Disse to kriteriene vil kjempe mot hverandre, og fra fagfeltet deteksjonsteori finnes det mange metoder for å velge riktig løsning ut fra ulike kriterier (14).

I dagligtale kan begrepene deteksjon, klassifikasjon og verifikasjon ha noe runde og varierende betydninger. I de følgende underkapitlene blir derfor betydningen i denne rapporten definert.

2.3.1 Deteksjon

Deteksjon defineres her som det å skille et mulig objekt ut fra bakgrunn eller støy. For den videre betraktningen kan det være praktisk å skille mellom deteksjon presentert for operatøren, og deteksjon til bruk under prosesseringen.

Deteksjon presentert for en operatør er et varsel, slik at beredskapen kan økes eller et reaksjonstiltak kan iverksettes. Det kreves en håndterbar rate av falske deteksjoner, slik at oppfølgingen av deteksjonene får tilstrekkelig høy kvalitet.

Ved automatisk klassifikasjon vil deteksjonen virke som en inngangsport for å vurdere mulige objekter. Det er da viktig at en så stor del som mulig av trusselementene blir inkludert, selv om dette medfører en betydelig rate av falske deteksjoner. Det forutsettes likevel at deteksjonsraten må være håndterbar av klassifikatoren, men automatisk klassifikasjon vil ha langt større kapasitet enn en person.

2.3.2 Klassifikasjon

Klassifikasjon defineres som det å sammenstille mulige objekter i grupper eller klasser etter deres likhet med bestemte maler. Gjennom klassifikasjonen ønsker man først å filtrere bort detekterte objekter som ikke skyldes trusselementer. Deretter er det sterkt ønskelig å finne ut hvilken type trusselement man møter, slik at det kan gjøres et anslag rundt kapasiteten det representerer.

Det blir vist at det kan være fornuftig å skille mellom klasser presentert for en operatør, og klasser til bruk under prosessering.

For en operatør er det viktig å kjenne til kapasiteten til inntrengerne, slik at reaksjonen kan tilpasses denne. Selv om det er mer sannsynlig at en dykker med lukket pustesystem kan ha militær trening enn en med åpent pustesystem, er det ingen automatikk i dette¹. For en operatør vil derfor en slik fininndeling komme i andre rekke, og hovedsaken blir å estimere størrelsen til styrken, samt antyde utstyret de kan bringe med seg. Derfor defineres følgende klasser for bruk under sensorevalueringen:

- person uten fremkomstmiddel: dykkere eller svømmere
- person med mindre fremkomstmiddel: dykkere på undervannsscooter
- person med større fremkomstmiddel: dykkere i miniubåt
- uspesifisert mulig objekt: av de ovenstående, men ikke spesifisert

Den siste klassen trengs for objekter som ikke med stor nok sikkerhet kan fordeles til en av hovedklassene, men som kan være et trusselement.

Under prosesseringen vil det ofte være en fordel å bruke én klasse for hver kjent objekttype. For enkelte sensorer kan for eksempel dykkere med lukket og med åpent pustesystem ha helt forskjellige observerbare egenskaper, selv om kapasiteten de representerer er tilnærmet identisk. Disse må da ikke behandles som en sammenhengende klasse, da det er mulig at objekter med mellomliggende egenskaper kan bli inkludert, selv om disse ikke er trusselementer. Det vil også være nødvendig å benytte egne klasser for kjente kilder til falske deteksjoner, slik at disse identifiseres som falske.

Før et objekt blir tilordnet en klasse, bør det ha vist en sterk tilhørighet til denne over noe tid.

1. Det finnes nå også svært gode lukkede pustesystemer på det sivile markedet (f eks Buddy Inspiration fra A P Valves)

2.3.3 Verifikasjon

Verifikasjon er å gjennom undersøkelse bekrefte eller avkrefte om et objekt er et trusselement, og med sikkerhet klassifisere objektet minst til operatørens behov. Verifikasjon skjer manuelt enten ut fra sensordata eller ved utrykning.

2.4 Overvåkingskonsepter

Samtidig som overvåkingen er en selvstendig sikringskomponent, skal den komplettere den fysiske beskyttelsen og reaksjonstiltakene for å gi en best mulig totalløsning.

2.4.1 Avstand

I enkelte tilfeller er det tilstrekkelig at både alarmgiving og verifikasjon skjer tett på sikringsobjektet. Dette gjelder dersom reaksjonstiden er svært kort slik at trusselementet kan nøytraliseres umiddelbart etter verifikasjon, eller når overvåkingen bare skal bidra til å sikre spor og redusere følgeskader (og reaksjonstiltaket gjerne er utelatt). En annen mulighet er en trinnvis løsning der beredskapen øker ved deteksjon/klassifikasjon, slik at reaksjonstiden senkes til det som er nødvendig i tilfelle positiv verifikasjon.

Dersom det tar noe tid før tilgjengelige reaksjonstiltak er effektive, er man avhengig av at de igangsettes i god tid før trusselementet kommer frem til sikringsobjektet. Dette gir to løsninger, der den ene baseres på deteksjon med verifikasjon i god avstand fra sikringsobjektet. Den andre løsningen innebærer å iverksette reaksjon direkte etter deteksjon eller klassifikasjon, dvs uten verifikasjon. Dette kan være aktuelt dersom verifikasjon ikke er mulig eller lønnsomt, men må vurderes opp mot den økte belastningen for reaksjonsstyrken og tapet av muligheten for å tilpasse reaksjonen etter trusselen.

De mulige vegene fra deteksjon til iverksetting av reaksjon er skissert i figur 2.1. Hvert av overvåkingstrinnene kan utføres i ulike avstander, men rekkefølgen som indikert i figuren må opprettholdes.

2.4.2 Overvåkingsform

Plasseringen av sensorene i forhold til sikringsobjektet definerer overvåkingsformen. Fokuseres overvåkingen om et belte rundt sikringsobjektet har man perimeterovervåking. Overvåker man isteden hele, eller større deler av området innenfor perimeteren kalles sikringen for volumetrisk overvåking eller områdeovervåking dersom området er stort i forhold til sikringsobjektet, eller for objektovervåking dersom området ikke dekker vesentlig mer enn sikringsobjektet.

Valget av overvåkingsform og plasseringen av sensorene gjøres utfra en vurdering av hvilken løsning som vil bidra til å løse kravet til sikring på den rimeligste måten.

3 SENSORER

Sensorer som kan være aktuelle for undervannsovervåking mot dykkere og lignende truselementer er tidligere identifisert som sonar, kamera med (laser)belysning, nett med bruddeteksjon og muligens også aktiv ELF-sensor (6). Da ytelsen til aktiv ELF-sensor er meget usikker, blir den sensoren bare kort omtalt der den har størst potensielt bidrag.

I dette kapitlet omtales først en del viktige sensorbegreper. Deretter blir hver av de aktuelle sensorene gjennomgått og vurdert med hensyn på hvilke objekttegnegenskaper de kan trekke ut fra scenen, og hvilke miljø- og sensorparametre de er avhengig av. Dette blir brukt til å finne hvilke objekter som kan være synlige for sensoren. Til slutt blir det vurdert hvilken signatur disse objektene vil gi for hver aktuell egenskap.

3.1 Generelle sensorparametre

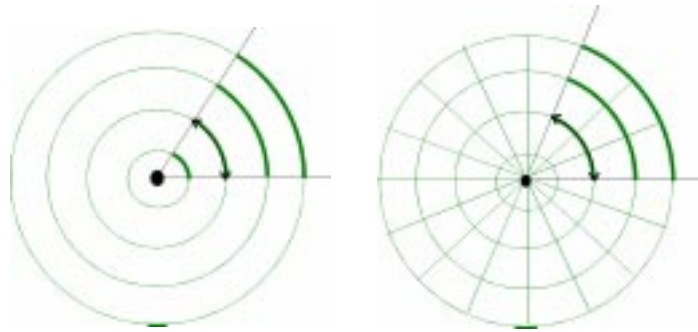
3.1.1 Idealisert dekning og vinkelopløsning

Det kan skilles mellom distribuerte sensorer der selve sensoren dekker området som skal overvåkes og punktsensorer som overvåker en romvinkel sett fra sensoren. Nett med bruddeteksjon er et eksempel på en sensor i den første gruppen, mens alle sonarer og kamera hører til i den andre gruppen. Figur 3.1 skisserer dekningsområdet til nett med bruddeteksjon og en sonar.



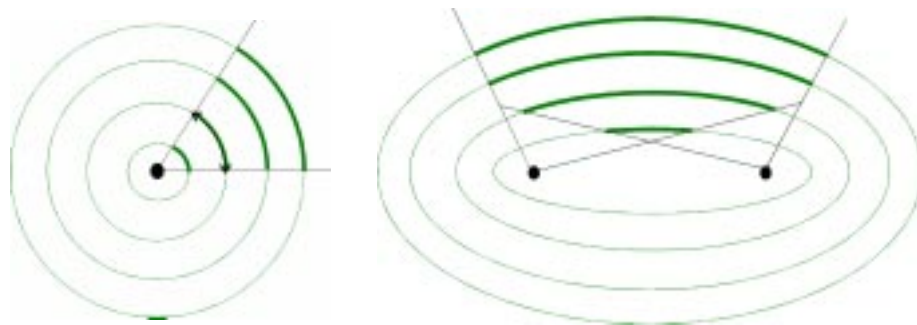
Figur 3.1 Eksempel på dekningsområder. Nett med bruddeteksjon (til venstre) har dekning over hele nettet. Dekningsområde for sonar (til høyre) er en strekning langs utbredelsen til lydbølgene, men vanligvis avgrenset til en sektor, som den markert med mørk farge i 2D-skissen

Den romlige oppløsningen er definert som den minste avstanden mellom to punktkilder hvor sensoren kan skille kildene fra hverandre. Ved økt oppløsning reduseres området som det midles over for hver oppløsningscelle, og for å opprettholde samme dekningsområde må flere celler overvåkes. For distribuerte sensorer vil områder som er knyttet til samme alarmutgang utgjøre en oppløsningscelle, mens for punktsensorer er oppløsningscellene gitt ved romvinkelopløsningen og avstandsopløsningen. Oppdeling av en større romvinkel i flere mindre er skissert for sonar i figur 3.2.



Figur 3.2 Overvåking av en eller flere romvinkler

Ved å benytte bistatisk konfigurasjon blir dekningsområdet ellipseformet med brennpunkter i sender og mottaker, og overvåkingscellene strekkes ut i retningen mellom sender og mottaker. Dette er skissert i figur 3.3.



Figur 3.3 Monostatisk og bistatisk konfigurasjon

Ved å kreve Doppler-forskyvning, ser man bare på signaler med frekvensinnhold som er forskjøvet fra det utsendte signalet. Et ekko vil få en slik frekvensforskyvning når avstanden sender-objekt-mottaker endres, og graden av forskyvning øker med hastigheten til endringen. Alle punkter på en av "feltlinjene" i figur 3.3 har samme avstand sender-objekt-mottaker, slik at objekter med en hastighetskomponent normalt på disse vil få en Doppler-forskyvning av ekkoet.

3.1.2 Avstandsoppløsning og frekvensinformasjon

Avstandsoppløsningen er gitt av sensorens evne til å skille mellom ulike avstander. For monostatisk sonar er denne avhengig av båndbredden til lydimpulsen, og er for frekvenser som også kan gi rimelig transversaloppløsning i størrelsesordenen en centimeter. For monostatisk kamera kan avstander måles på tilsvarende måte ved å benytte pulset laserbelysning og dertil egnet mottaker. For både lydbølger og lys kan også to retningsfølsomme mottakere (stereomottakere) gi avstandsinformasjon.

3.1.3 Temporær sampling (dekning)

Temporær dekning er dekning i tid, mens temporær sampling er perioden mellom etterfølgende målinger for et gitt område.

I enkelte tilfeller kan romlig oppløsning og dekning økes på bekostning av temporær dekning. Ofte ønsker man å kombinere høy romlig oppløsning med stor romlig dekning. Dermed skal løses gjennom samtidig måling på hele dekningsområdet medfører det ofte svært store datamengder og dyre sensorer. Her kan man alternativt la en smal sektor sveipe over dekningsområdet og dekke det over tid. Dermed kan romlig oppløsning og dekning opprettholdes, men på bekostning av temporær dekningen.

3.2 Aktiv sonar

Aktiv sonar (heretter bare “sonar”) sender ut lyd signaler over en romvinkel. Når lyd pulsen treffer grenseflater mot f eks luft, sjøbunn, trusselement, andre gjenstander, eller ansamlinger av partikler blir lyd pulsen reflektert. Den reflekterte pulsen mottas av en mer eller mindre retningsfølsom mottaker. Ved å måle intensitet og tidsforsinkelse til reflekterte signaler, kan både reflektiviteten og avstanden til objektene bestemmes. Mer om virkemåten til sonar kan leses i (7).

I utgangspunktet betraktes signaler fra hver oppløsningscelle adskilt. Senere vises det at man kan forbedre signal/støy forholdet ved å benytte informasjon om rom eller tid.

3.2.1 Miljøfaktorer

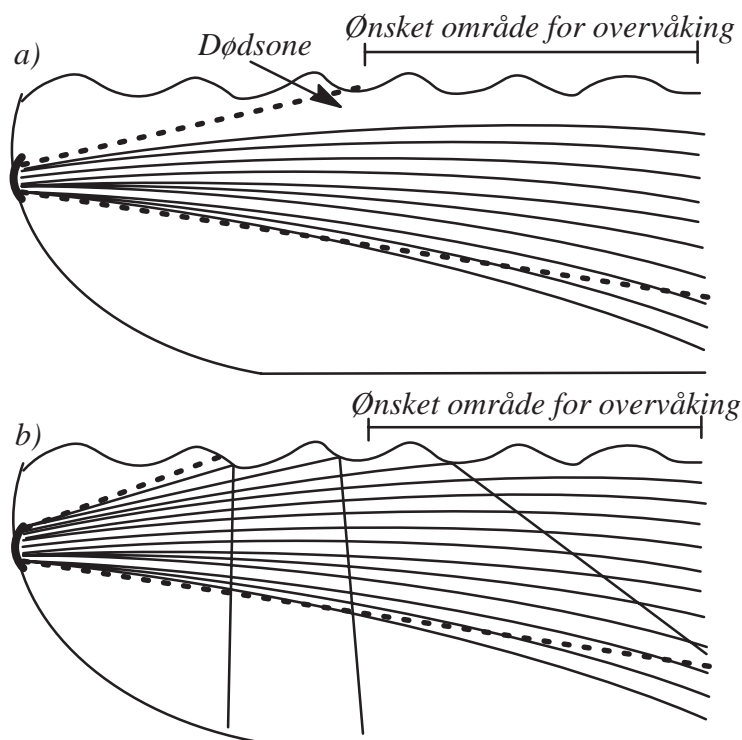
Underkapittelet tar først for seg hvordan avbøyning av lyden virker inn på dekningen, og hvilke krav dette stiller til sensorplasseringen. Videre blir det sett på hvilke krav som stilles til forholdet mellom ekkonivået til et trusselement og intern støy, bakgrunnsstøy og gjenklang, for at de øvrige egenskapene til trusselementet skal kunne trekkes ut. Problemet deles her opp ved å se på intern støy og bakgrunnsstøy for seg, og på gjenklangsproblemet for seg.

3.2.1.1 Avbøyning

Hastigheten til lyd i vann varierer med blant annet temperatur, saltholdighet og trykk, men disse størrelsene varierer i hovedsak med dybden. Det vil dermed ofte finnes en felles lyd-hastighetsprofil (dybdeavhengig lyd hastighet) for et større geografisk område. Lyd i vann avbøyes mot dybder med lavere hastighet enn de omliggende. I forhold til en ren geometrisk spredning vil lydintensiteten forsterkes i enkelte dybder og svekkes i andre dybder på grunn av denne avbøyningen. Både temperatur og saltholdighet varierer med geografisk beliggenhet og over tid, og da spesielt med årstidene. Dersom lyden bøyes av mot overflate eller bunn vil den bli reflektert, og ved grov sjø vil den også bli påført en del støy.

I prosjektet er det foretatt lyd banesimuleringer (10) ved hjelp av simulering programmet LYBIN utviklet ved SFK (15). For overvåking rettet mot dykkere er det oftest tilstrekkelig om sonaren har en rekkevidde på noen hundre meter. Det er veldig vanskelig å oppdage dykkere på større avstander. Simuleringene er derfor foretatt opptil en avstand på 300 m. Det er utført simuleringer med lyd profiler for sommer, høst, vinter og vår, for dybder på 50 m og 300 m.

Simuleringene viste at innenfor en avstand på 300 m vil ikke lyden bøyes av i særlig grad, forutsatt at sonaren plasseres i riktig dybde i forhold til formen på lydshastighetsprofilen. Ved uheldig valg av dybde kan det likevel oppstå dødsoner som følge av lydets avbøyning. Blant annet kan det oppstå dødsoner nær overflaten dersom sonaren plasseres over dybden der lydshastigheten er lavest, som i sommerhalvåret er på mellom 50 og 100 meters dyp. Ved å øke sonarens åpningsvinkel, og/eller tilte den oppover, vil dødsonene reduseres (se figur 3.4). I vinterhalvåret vil det ikke være problemer med dødsoner nær overflaten siden lydshastigheten da typisk vil ha et minimum nettopp ved overflaten. Isteden kan det bli noe mer refleksjoner og støy fra overflatesjiktet. Ved montering av sonar som skal se horisontalt bør man altså ta hensyn til den lokale lydshastighetsprofilen ved bestemmelse av plassering. Siden lydprofilen vil variere med årstidene, kan det være en fordel å flytte sonaren vertikalt etter hvert som profilen endres.



Figur 3.4 *Prinsippskisse av lydbaner med horisontalt montert sonar, med lydshastighetsprofil for sommer. Stiplet linje viser sonarens åpningsvinkel. Uten avbøyning vil sonaren dekke overflaten fra der hvor den stiplede linjen bryter overflaten. Området som er tenkt overvåket er merket av. På delfigur a) oppstår det en dødzone nær overflaten på grunn av avbøyning nedover. På delfigur b) er dødsonen fjernet ved å øke sonarens åpningsvinkel*

En måte å unngå dødsoner fra lydavbøyning er å observere vertikalt ved å plassere sonaren i overflaten eller på bunnen. Dette kan medføre problemer i form av sterke refleksjoner fra bunn og overflate, og i grunne farvann vil sonaren få et lite dekningsområde. Refleksjoner fra bunnen vil være tilnærmet konstante og kan filtreres bort, mens refleksjoner fra overflaten vil variere kraftig ved grov sjø og vil gjøre det svært vanskelig å trekke ut informasjon fra området nær overflaten.

3.2.1.2 Støybegrenset observasjon

Her vurderes ekkonivået i forhold til bakgrunnsstøyen. Selve ekkonivået er avhengig av utsendt signalnivå, transmisjonstapet langs lydbanen og målstyrken til eventuelle objekter i synsfeltet. Bakgrunnsstøyen kan ofte betraktes som omnidireksjonell, og mottatt bakgrunnsstøy følger da av retningsfølsomheten og integrasjonstiden til mottakeren (16).

Transmisjonstapet i sjøvann er i hovedsak avstands- og frekvensavhengig. For de aktuelle avstandene på opptil noen hundre meter dominerer det avstandsavhengige tapet fra den geometriske spredningen under 10–100 kHz. For høyere frekvenser dominerer absorpsjonstapet som øker kraftig med både avstand og frekvens. I overflatesjiktet vil vindgenererte bobler virke inn og gi demping, slik at dempingen langs en gitt strekning også blir avhengig av vindstyrke og lydens streifvinkel² mot overflaten, samt dybden til sonaren dersom den er plassert i boblelaget. Se (11) og (17).

For støybegrensede tilfeller (lite gjenklang) øker muligheten for å skille et ekko fra støy med økt utsendt signalnivå, økt vinkel- og avstandsopløsning og redusert transmisjonstap.

3.2.1.3 Gjenklingsbegrenset observasjon

Her vurderes variasjonen i gjenklingsnivå (ofte angis bare midlere gjenklingsnivå) fra samme oppløsningscelle som ekkonivået må sees i. Da signalnivået og dempingen er felles for ekkonivå og gjenklingsnivå, følger selve signal/støy-forholdet fra forholdet mellom ekkonivå og gjenklang alene.

Gjenklingsnivået er den tilsynelatende målstyrken til oppløsningscellen (uten trusselement). Denne er gitt ved gjenklingsstyrken per volumenhet S_V og oppløsningscellens volum V , og gjenklingsstyrken per flateenhet S_A og oppløsningscellens grenseflate A , gjennom formlene $RL_V = S_V 00 \log_{800} V$ og $RL_A = S_A 00 \log_{800} A$ i dB. Gjenklingsnivået skyldes tilbakespredning fra overflate eller bunn, og fra vannvolumet på grunn av bobler eller andre inhomogeniteter. Volumgjenklingsnivået er generelt lavt, men øker om det kommer inn for eksempel fiskestimer eller enkelte typer alger. Også volumgjenklingsnivået kan bli ganske stort som følge av vindgenererte bobler de første metrene under overflaten. Den kraftigste gjenklingsnivået vil gjerne komme fra overflate eller bunn om disse er med i oppløsningscellen, og da spesielt ved store streifvinkler (17). Deteksjon nær overflaten er spesielt vanskelig, da overflaten vil gi sterk og varierende gjenklang. Tabell 3.1 antyder styrken til gjenklingsnivået fra de ulike kildene.

2. Streifvinkelen er her vinkelen mellom innfallende bølge og overflaten

Miljøfaktor (evt. vindhast., streifvinkel)	Gjenklingsnivå	Referanser
Volumgjenklang, alle dybder	$S_v \geq -100 \text{ dB/m}^3$	[24] i (18)
Volumgjenklang, boblelag	$S_v \leq -60 \text{ dB/m}^3$	(17)
Gjenklang, overflatesjikt (1 m/s, 10–70°)	$S_a \in [-60 \text{ dB/m}^2, -40 \text{ dB/m}^2]$	(17)
Gjenklang, overflatesjikt (1 m/s, 70–90°)	$S_a \in [-40 \text{ dB/m}^2, 0 \text{ dB/m}^2]$	(17)
Gjenklang, overflatesjikt (10 m/s, 10–70°)	$S_a \in [-30 \text{ dB/m}^2, -20 \text{ dB/m}^2]$	(17)
Gjenklang, overflatesjikt (10 m/s, 70–90°)	$S_a \in [-20 \text{ dB/m}^2, 0 \text{ dB/m}^2]$	(17)
Gjenklang, bunn (30–70°)	$S_a \in [-30 \text{ dB/m}^2, -10 \text{ dB/m}^2]$	(17)
Gjenklang, bunn (70–90°)	$S_a \in [-10 \text{ dB/m}^2, 5 \text{ dB/m}^2]$	(17)

Tabell 3.1 Gjenklingsnivå fra ulike miljøfaktorer for høyfrekvent sonar. Verdiene for overflatesjiktet domineres trolig av selve overflategjenklungen da boblegjenklungen er såpass lav

Når signalet sees i forhold til gjenklang er rekkevidden bare avhengig av størrelsen til oppløsningscellen og tilbakespredningsstyrken til vannvolumet i den.

3.2.2 Tilgjengelige egenskaper

I dette kapittelet blir de ulike objekttegenskapene som kan være tilgjengelige med sonar gjennomgått, og det blir skissert hvilke krav disse stiller til sonaren og prosesseringen.

Målstyrke

Den enkleste tilgjengelige informasjonen er målstyrken innenfor en oppløsningscelle. Målstyrken følger av forskjellen i den akustiske impedansen (produktet mellom tetthet og lydhastighet) mellom vann og objekt, samt av størrelsen og orienteringen til objektet. Man kan også finne en intern fordeling av ekkoet fra objektet, men dette krever god oppløsning og er ikke alltid tilgjengelig ved overvåking fra stor avstand. Også de målte verdiene for målstyrken vil variere en del mellom ulike målinger. Målstyrke kan skaffes ved hjelp av enhver sonar som gir deteksjon.

Geometriske egenskaper

En akustisk avbildning gir romlig fordeling (eller teksturen) til ekkoet. En slik avbildning vil dermed kunne gi informasjon om geometrien og massetetthetsfordelingen til et objekt. For å avbilde svakt reflekterende deler kan det kreves svært høy følsomhet.

En avbildning er avhengig av tilstrekkelig høy oppløsning i to eller tre dimensjoner, og gjøres vanligvis utfra ett enkelt ping ved hjelp av multistrålesonar. Oppløsningen er vanligvis begrenset av vinkeloppløsningen. Dersom en transversaloppløsning på $\Delta x=0,10 \text{ m}$ antas tilstrekkelig kan denne nås for eksempel med en asimutoppløsning på $\alpha=0,5^\circ$ for avstander opptil $r=11 \text{ m}$ (gitt ved $\alpha \approx \frac{\Delta x}{r} \cdot \frac{080}{\pi}$). God oppløsning vil redusere mottatt støy, og ved neglisjerbar gjenklang økes signal/støy-forholdet med 10 dB for hver reduksjon av den romlige åpningsvinkelen til 1/10.

Avbildning kan også oppnås ved hjelp av ISAS³–prosessering. Ved ISAS–prosessering oppnås høy oppløsning ikke ved å bruke en lang antenne, men ved isteden å syntetisere en slik antenne ved å gjøre flere målinger på objektet idet det passerer sensoren. Det kreves at posisjonen til objektet er godt kjent over tid, og at objektet på en estimerbar måte endrer orienteringen sin i forhold til synsretningen.

Innsamling av ISAS–data vil gjerne gjøres ved å bruke en sonar for å finne posisjonen til objektet, samtidig som en annen sonar tar opp ekkostyrken. Ved å la den sistnevnte sonaren ha hovedlobe på størrelse med objektet og styre strålen mot det, reduseres støyen til et minimum. Sonaren må ha en tilsvarende høy følsomhet som for avbildningen over.

ISAS–prosessering er fortsatt i en utviklingsfase, og det er problemer blant annet med å få god nok posisjonsbestemmelse (må være bedre enn $\lambda/16$). Videre vil avbildning av objekter som endrer form, slik som dykkere, bli utydelig da eksponeringstiden er relativt lang. (For å få en transversaloppløsning på 0,10 m for en sonar på 20 kHz med SAS–prosessering må det gjøres rundt 40 målinger på objektet over et vinkelspenn på 20°, hvor objektet må posisjonsbestemmes med en relativ nøyaktighet på 5 mm for hver måling.)

Spektral informasjon

Ved å måle ekkostyrke over et bredt frekvensbånd, kan man finne frekvensavhengige variasjoner (spektral informasjon) til refleksjonen fra ulike objekter. Frekvensavhengigheten vil være bestemt av såvel overflate som av utstrekning og intern struktur til objektene.

Når spektral informasjon om reflektiviteten til objektene er samlet inn over et bredt frekvensbånd, kan man identifisere frekvensområdene som diskriminerer best mellom objektene, slik at dette kan benyttes for senere deteksjon og klassifikasjon. Kunnskap om hvilke frekvensbånd som er best egnet til dette er ennå svært begrenset.

Bevegelse

Når man i tillegg til å detektere et objekt også kan finne posisjonen til det over tid, har man en målfølging. Ved hjelp av målfølging kan bevegelsen kartlegges, og dermed kan egenskaper som hastighet, retning, orientering og bevegelsesmønster finnes.

Nøyaktigheten til en målfølging følger fra nøyaktigheten til etterfølgende lokaliseringer, perioden mellom disse og lengden av målfølgingen, og må sees i forhold til hastigheten og manøvrerbarheten til det aktuelle objektet.

Enhver pulset sonar kan bestemme avstanden ut til et objekt. Sensorer med høy vinkeloppløsning kan i tillegg bestemme retningen mot objektene. Radiell hastighet kan bestemmes ved hjelp av Doppler–informasjon, og ved å anta rettlinjert bevegelse kan også den absolute hastigheten finnes (18). Videre kan posisjonen til et objekt finnes innen en elektronisk formet stråle ved hjelp av splittbeam–metoden (11) med en forbedret nøyaktighet på rundt en faktor 10.

3.2.3 Synlige objekter

Ved lav oppløsning kan tette stimer av fisk gi samme signal(styrke) som trusselementene. Objekter som kan forveksles med trusselementene også ved høyere oppløsning antas i hovedsak å være svømmende pattedyr, sjøpattedyr og drivgods. I tillegg kan det finnes ikke-fiendtlige objekter av samme type som trusselementene. Disse kan vanskelig skilles ut ved hjelp av sonar under klassifikasjonen, men kanskje senere gjennom alarmkriteriene eller under verifikasjon.

3.2.4 Signatur

Signaturen deles opp i bidrag fra hver av objekttegenskapene.

Målstyrke

Målstyrkeverdier kan variere en hel del mellom ulike målinger og med frekvens.

Eksperimentelle verdier for målstyrken til svømmere er oppgitt til -15 dB i (16). Mer detaljert målstyrkedata for svømmer, for dykkere med åpent og lukket pustesystem, og for gummibåt med personer i kan finnes i (8).

Målstyrken til enkeltfisk med svømmeblære følger omtrent formelen $TS=19 \log l -23$, der l er lengden til fisken i meter (16). En voksen torsk vil gjerne ha en målstyrke på rundt -26 dB.

Geometriske egenskaper

For dykker med lukket pustesystem kommer ekkonet i hovedsak fra lungene og pustesystemet (11). Også svakere reflekterende deler kan avbildes, men da trengs det høyere følsomhet og helst også større oppløsning. I forhold til avbildning av luft i vann, må følsomheten økes med rundt 3 dB for avbildning av ben (hodeskalle mm), rundt 20 dB for avbildning av dykkerdrakt, og enda høyere for avbildning av kroppsevev / dykker uten drakt (11).

Elles er det trolig at man med god oppløsning kan skille mellom de avgrensede trusselementene og fiskestimer som er fordelt over et større område.

Bevegelse

Dersom bevegelsen til et mulig objekt kan estimeres godt, kan trolig bevegelsen i mange tilfeller benyttes til å skille trusselementer fra fiskestimer og sjøpattedyr.

Spektral informasjon

Frekvensavhengigheten i målstyrken til ulike objekter er ikke kartlagt, men vil trolig være godt egnet til å skille mellom objekter med ulike utstrekning, overflate og intern struktur.

3.3 Kamera med synkront sveipende laser

Et kamera registrerer mottatt elektromagnetisk stråling fra scenen innenfor dekningsområdet (synsfeltet). Scenen blir bestrålt fra en laser som sveiper scenen synkront med kameraets avbildning. Noe av laserens utsendte lys treffer objektene og blir reflektert i retning kameraet som foretar en avbildning. For nærmere beskrivelse se (7).

Sensorens følsomhet er gitt av dens evne til å skille mellom strålingsintensiteter innen det følsomme bølgelengdeområdet, og defineres som det laveste absolutte strålingsnivået sensoren kan skille ut fra egenstøyen. Sensoren må kunne se forskjell i strålingsintensitet mellom objekt og bakgrunn for at objektet skal kunne skilles fra bakgrunnen og oppdages, dvs det må være kontrast mellom objekt og bakgrunn.

Bildesensoren mottar stråling fra hele sitt synsfelt, fra både objekt og bakgrunn. Skal det være mulig å skille mellom et objekt i scenen og bakgrunnen, må det kunne skilles mellom strålingen innen romvinkler som omfatter objekt og romvinkler som omfatter bakgrunn. Sensorens oppløsning bestemmer hvor små romvinkler strålingen kan deles i. Tradisjonelt er en oppløsningscelle gitt ved romvinkelen for hvert bildelement alene, men ved å kombinere et synkront sveipende system med avstandsslusing kan det også oppnås oppløsning i avstand.

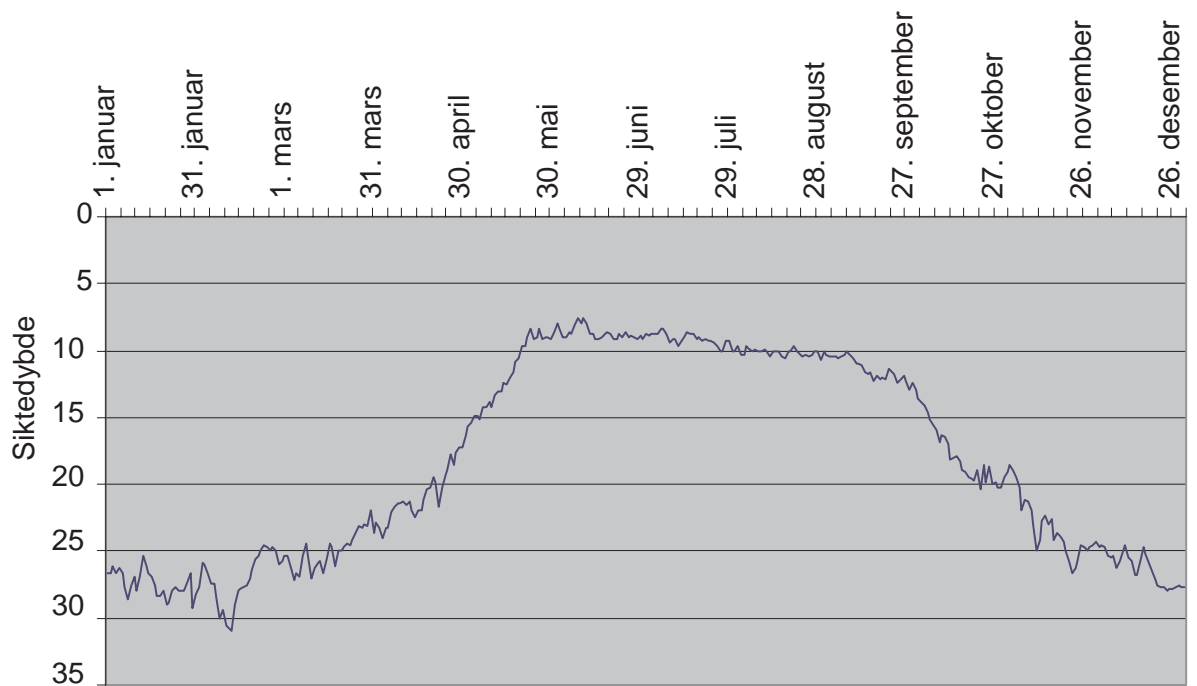
3.3.1 Miljøfaktorer

Av det lyset som sendes ut fra laseren og av det som reflekteres fra objektet i retning kameraet, er det bare en viss andel som når frem. Vannvolumet mellom kameraet og scene (objekt) inneholder i varierende grad forurensninger i form av plankton og ikke levende partikler. Avhengig av renheten til vannet blir strålingen dempet på grunn av spredning og absorpsjon. I tillegg til dempingen er også tilsløring på grunn av (forover)spredningen, samt tilbakespredning fra vannvolumet mellom kameraet og objektet et stort problem. Også undervannsvegetasjon og –dyreliv kan periodevis gi kraftige innvirkninger. I tillegg vil luftbobler nær overflaten som følge av vind, bølger og elveutløp påvirke sikten lokalt.

Plankton er det liv som svever fritt omkring i vannvolumet. Det omfatter alt fra bakterier, encellede planter og dyr til flercellede plantekolonier og flercellede dyr. Mengden av næringssalter (nitrogenforbindelser og fosfater) i havvannet har avgjørende betydning for planteplanktonets vekst og for antall arter. Tilførselen av næringssalter kommer dels fra atmosfæren og dels fra ferskvann ved avrenning fra landområdene. Algeoppblomstringen i kystnære farvann i sommerhalvåret er et resultat av den store avrenningen i vår- og tidlig sommersesong.

Havforskningsinstituttet har en serie med direkte siktedypmålinger fra Ocean Weather Station Mike (OWSM, 665N; 0025E, i Nordsjøen nordvest for Trondheim) hvor sikten er målt hver dag kl 12 UTC siden 1990. Siktedypet blir målt med en hvit skive, 30 cm i diameter, og med blank overflate. Det er forventet at utviklingen av siktedyp med tid følger samme mønster langs hele den norske kysten (unntatt fjordene) med noe forskyvning i tid fra sør til nord. Dvs at reduseringen i sikten man ser om våren starter tidligere (ca. 2–3

uker) i sør enn i nord, med OWSM i midten, mens økningen om høsten går det motsatte veien, tidligere i nord enn i sør. Figur 3.5 viser hvordan siktedybden varierte over året i gjennomsnitt for perioden 1990–1996.



Figur 3.5 Variasjon i siktedybde over året for perioden 1990 – 1996

3.3.2 Tilgjengelige egenskaper

Kamera med synkront sveipende laser gir fortløpende 2D (eller 3D) avbildninger av scenen. Objektene form, størrelse, posisjon, orientering, hastighet og bevegelsesmønster kan finnes. Videre gir bildene informasjon om lysreflektiviteten lokalt på objektene (tekstur) som funksjon av tid.

Som en direkte konsekvens av den relativt korte avstanden vil objektet ha en oppløsning i bildet første gang det observeres.

3.3.3 Synlige objekter

Kamera ser lys som er reflektert fra objekter i vannvolumet, og fra bakgrunnen. Lysstyrken vil være avhengig av reflektiviteten til objektene. For de aktuelle trusselementene blir reflektiviteten enten forsøkt holdt så lav som mulig, eller den blir forsøkt tilpasset reflektiviteten til omgivelsene. Trusselementene vil alltid gi noe refleksjon, men det kan være like nyttig at objektene ikke er gjennomsiktige, slik at de dermed kan observeres mot en bakgrunn.

Andre objekter som kan forveksles med de aktuelle trusselementene (ved enten automatisk prosessering eller av en operatør) kan være tare og tang som beveger seg med strømmen, sjøpattedyr, større fisk eller tette stimer av mindre fisk.

3.3.4 Signatur

Signaturen deles opp i bidrager fra hver av objektegenskapene.

Geometrisk utbredelse

For kamera under vann vil man på grunn av relativt kort rekkevidde nesten alltid ha høy nok oppløsning til at man kan finne den geometriske utbredelsen til objektet gjennom kontrasten mot bakgrunnen. Når refleksjonen er sterk kan også en viss tekstur trekkes ut, men trusselementene vil vanligvis være ensfargede i en mørk farge.

Bevegelse

Posisjon, orientering og bevegelse kan til en viss grad finnes gjennom 2D bilder. Ved avstandsslusing kan man bestemme avstanden til objektene, og dermed også størrelsen til disse.

3.4 Nett med bruddeteksjon

Nett med bruddeteksjon er en kombinasjon av fysisk beskyttelse og elektronisk sikring. Nettene gir deteksjon dersom de kuttes, og er basert på lystransmisjon gjennom optiske fibrer eller overvåking av elektrisk motstand ved bruk av ledere.

3.4.1 Miljøfaktorer

Nett med bruddeteksjon har tilnærmet fullgod deteksjonsevne når det er i stand, forutsatt at det er umulig å passere nettet uten å måtte klippe seg gjennom. Generelt vil dekning og deteksjon langs ytterkanten av nettet være av en mer usikker art, slik at det lett blir dette som blir avgjørende for ytelsen til sensoren.

Dersom nettet blir brutt ved skade (falsk alarm) forsvinner dekningen totalt over et område, og kommer ikke tilbake før nettet blir reparert.

3.4.2 Tilgjengelige egenskaper

For nett med bruddeteksjon kan det ikke skaffes mer informasjon enn brudd / ikke brudd, og eventuelt bruddsted. Ved å bruke flere nett innenfor hverandre kan hastighet antydes, men dette er lite aktuelt.

3.4.3 Synlige objekter

Brudd i nettet kan i hovedsak påføres av dykkere, eller av større fartøy. Man kan også godt tenke seg at drivgods kombinert med kraftig vind eller tidevann kan forårsake brudd over noe tid.

3.4.4 Signatur

Man kan anta at trusselementet eller objektet som lager hullet i nettet er større enn maskvidden, og kan dermed si noe om størrelse og form. Utover dette kan størrelse bare indikeres dersom etterfølgende masker overvåkes uavhengig av hverandre.

4 DETEKSJON, KLASSIFIKASJON OG VERIFIKASJON

For at et trusselement skal kunne detekteres må det skille seg ut fra bakgrunnen (normal-situasjonen i tid og rom). Deteksjon kan gjøres ved å se på signalstyrken fra hver enkelt oppløsningscelle, men der man har oppløsning kan man også søke gjennom observasjonsrommet etter signaturer som kan forventes fra trusselementene i tid eller rom. Det siste alternativet kan øke deteksjonsevnen, men vil kreve bruk av relativt omfattende data-behandling.

Klassifikasjonen skal skille mellom trusselementer og andre objekter, og så langt som mulig også skille ulike typer trusselementer fra hverandre. I kapittelet vurderes objekt-signaturene opp mot et krav om klassifikasjon.

Gjennom verifikasjon skal det bekreftes eller avkreftes hvorvidt et mulig objekt er et trusselement. Videre skal trusselementer med sikkerhet klassifiseres minst til operatørens behov. Verifikasjonen utføres av en operatør, men her gjennom informasjonen fra sensorene.

4.1 Aktiv sonar

Yteevnen til aktiv sonar kan økes ved å øke oppløsningen og dermed redusere gjenklangen. Dette gjelder spesielt for områder med sterk gjenklang, som ved overflaten. Bunnen kan også gi et sterkt ekko, men fordi ekkostyrken vil være ganske stabil er det mulig å trekke fra selve bunnekket, slik at endringer forårsaket av trusselementer lettere detekteres. For store streifvinkler og godt reflekterende bunn forutsetter slik deteksjon god dynamikk i sensoren. Å observere et objekt mot overflaten kan være svært vanskelig, da gjenklangs nivået varierer kraftig fra måling til måling ved noe sjø. Det ser likevel ut til at selv trusselementer med svak målstyrke, som for eksempel en svømmer i overflaten, kan detekteres ved å bruke høy oppløsning og streifvinkler under 60° – 70° , iallfall ved moderate vindstyrker.

Blir streifvinkelen ved overflaten for liten, kanskje under 10° – 20° , vil dempingen i vindgenererte boblelag bli stor. Bakgrunnsstøyen blir da raskt et problem ved at ekkonivået blir kraftig redusert. Et tilsvarende problem får man også ellers når dempingen i vannvolumet er stor. Problemet kan reduseres ved å øke utsendt signalnivå eller øke romvinkeloppløsningen til sonaren slik at mottatt støynivå reduseres. Bruk av lave streifvinkler gjør man også mer sårbar for endringer i lydbanene som følge av avbøyning.

I (18) kunne fartøyet HU Sverdrup II (deplasement 1400 tonn, $l=55$ m, $b=13$ m og $d=5,5$ m) detekteres med en omnidireksjonell 40 kHz sonar for vindstyrker opp til 9 m/s for streifvinkler mellom 31° og 65° fra 75 m dyp. En mer retningsbestemt sonar vil kunne detektere svakere objekter.

4.1.1 Deteksjon

For aktiv sonar kan man ofte regne med at de aktuelle trusselementene første gang observeres i en enkelt oppløsningscelle. Man er da henvist til å betrakte målstyrken alene, even-

tuelt som funksjon av avstand. De aktuelle trusselementene sortert etter avtagende målstyrke kan være: miniubåt, dykker med åpent pustesystem, undervanns-scooter, dykker med lukket pustesystem, svømmer og gummibåt. Målstyrken til alle de aktuelle trusselementene under vann er større enn for enkeltfisk, men er i samme størrelsesorden som fiskestimer, sjøpattedyr, svømmende pattedyr og drivgods.

Andre egenskaper enn målstyrke alene kan benyttes ved bruk av høyoppløselig multistrålesonar når trusselementet kommer inn i synsfeltet ved bare noen meters avstand. Man kan da søke gjennom observasjonsrommet etter objekter med en gitt romlig signatur, og derigjennom øke deteksjonsevnen. Videre kan objektene målstyrke ha en kjent variasjon med frekvens, og dette kan benyttes for å øke deteksjonsevnen. Bruk av slik spektral informasjon forutsetter imidlertid at trusselementene gir annen spektral respons enn det normale miljøet (bakgrunnen), og er kanskje best egnet ved noe høy oppløsning.

4.1.2 Klassifikasjon

De vanligste metodene for å klassifisere ved hjelp av sonar er å se på målstyrke eller å benytte målfølging. Målstyrken kan benyttes til å skille ut større fartøy, men med lav oppløsning kan for eksempel fiskestimer forveksles med trusselementer som dykkere. Klassifikasjon ut fra målstyrke alene er derfor ikke tilstrekkelig for overvåking mot de aktuelle trusselementene. I stedet kan målfølging benyttes for å skaffe informasjon i form av hastighet og bevegelsesmønster, og gi grunnlag for å skille ut mange uønskede deteksjoner. Målfølging gjøres gjerne ved hjelp av multistrålesonar.

Mindre utprøvde metoder er å benytte spektral informasjon eller avbildning. Opptak av målstyrke som funksjon av frekvens har stort potensiale til klassifikasjon, men forutsetter at man først finner signaturen til de aktuelle objektene. For avbildning kreves både høy følsomhet og høy oppløsning, noe som stiller store krav til sonaren og begrenser rekkevidden. Løsninger for avbildning vil helst implementeres som multistrålesonarer med elektronsik stråleforming, og kan gi avbildning enten i 2D eller i 3D. Det er mulig at også ISAS-prosessering kan benyttes for å gi avbildning. Metoden vil i så fall gi best bilder av objekter med fast form og lav manøvreringsevne, og vil trolig egne seg dårlig til avbildning av dykkere.

4.1.3 Verifikasjon

For aktiv sonar er verifikasjon per i dag bare mulig ved å skille form og størrelse til trusselementene fra andre objekter. Dette kan bare gjøres med høyoppløselig multistrålesonar med høy følsomhet, og medfører verifikasjonsavstander på i størrelsesorden 10 m.

Det er også mulig at frekvensvariasjoner i målstyrken til trusselementene vil skille mellom ulike objekttyper i tilstrekkelig grad, og at verifikasjon dermed kan oppnås over lengre avstander gjennom bredbånds spektralanalyse.

4.1.4 Delkonklusjon

Sonar er generelt godt egnet til deteksjon på dypt vann, men det kan lett oppstå problemer med deteksjon nær overflaten på grunn av varierende gjenklang ved grov sjø. Dette kan

avhjelpes noe ved å benytte høy oppløsning eller streifvinkler rundt 20° til 60°. Deteksjon på avstand i hovedsak ved hjelp av målstyrke. God rekkevidde oppnås ved å velge lav nok frekvens til at transmisjonen blir god, og høy nok oppløsning til at gjenklagen holdes nede.

Sonar kan skille ut store objekter som skip og ubåter ved å benytte målstyrken alene. For klassifikasjon av trusselementer med svakere målstyrke kan målfølgning gi en del informasjon. På kort avstand kan man trolig oppnå god klassifikasjon ved hjelp av avbildning, mens det er mulig at frekvensvariasjoner i målstyrken til ulike objektet kan gi god klassifikasjon også på lengre avstand.

Sonar kan benyttes til verifikasjon på kort avstand ved bruk av høyoppløselig multistråle-sonar med høy følsomhet.

4.2 Kamera med synkront sveipende laser

Kamera med synkront sveipende laser kan gi 3–6 ganger lengre rekkevidde enn et dagsly-skamera med tradisjonell belysning. Dette kan tilsi opp mot 40 m rekkevidde ved gode forhold, men rekkevidden kan også begrenses til under 10 m ved dårlig sikt. Rekkevidden vil være svært sesong- og dybdeavhengig. Boblelag nær overflaten, som ved grov sjø, vil også redusere sikten. Kraftig belysning fra andre kilder (som sollys) vil reflekteres fra partikler i vannet, og dermed redusere kontrasten og deteksjonsevnen.

4.2.1 Deteksjon

På grunn av kombinasjonen høy oppløsning og relativt kort rekkevidde, vil objektet ha en geometrisk oppløsning omtrent samtidig som deteksjon er mulig. Da deteksjon på grunnlag av intensiteten innen hver enkelt oppløsningscelle lett vil gi alt for høy rate av falske deteksjoner, vil nettopp deteksjon på grunnlag av den geometriske utstrekningen være den mest aktuelle for undervanns kameraovervåking. Alternativt kan en deteksjon på grunnlag av intensitet fra enkeltceller umiddelbart følges opp med krav om geometrisk utbredelse.

Trusselementene vil forsøke å velge overflater som gir lite optisk refleksjon, men om ikke objektene detekteres direkte, kan iallfall skyggene deres detekteres mot bakgrunnen. Foruten trusselementene antas det at større fisk, fiskestimer, svømmende pattedyr, sjøpattedyr, drivgods og undervannsvegetasjon vil bli detektert.

Det finnes en rekke automatiske kamerabaserte overvåkingssystemer beregnet for bruk på land (5). Teknikkene benyttet her kan også brukes sammen med kamera med synkront sveipende laser, men de automatiske systemene vil ikke i overskuelig fremtid kunne tolke bilder like godt som en operatør.

4.2.2 Klassifikasjon

Systemets relativt korte rekkevidde (opptil 30–40 m) medfører at klassifikasjon basert på oppløsning vil være hovedmetoden, mens informasjon om bevegelse kommer i andre rek-

ke. Form- og intensitetsegenskaper til aktuelle objekter beskrives, og detekterte objekter fordeles etter likheten med disse.

4.2.3 Verifikasjon

For kamera med laserbelysning kan verifikasjon utføres ved å se på formen til objektene. På grunn av kombinasjonen høy oppløsning og relativt kort rekkevidde, vil et objekts geometriske utstrekning være synlig samtidig som deteksjon er mulig. Verifikasjon vil være mulig, og avstander fra noe under 40 m ved gode forhold til under 10 m ved dårlige forhold er sannsynlige. Også her vil spesielt alger, bobler ved overflaten, undervannsvegetasjon og eksternt lys gi problemer.

4.2.4 Delkonklusjon

Kamera med laserbelysning kan benyttes til deteksjon, men kan lett gi falske deteksjoner for flere typer objekter enn f eks sonar. Rekkevidden varierer fra rundt 40 m ved gode forhold til under 10 m ved dårlige forhold. Spesielt vil alger, bobler ved overflaten, undervannsvegetasjon og eksternt lys gi problemer.

Kamera med laserbelysning kan benyttes til klassifikasjon omtrent samtidig med deteksjonen med sensoren. Ytelsen til en automatisk klassifikasjon vil være svært avhengig av algoritmen som benyttes. Som for deteksjon vil rekkevidden variere fra rundt 40 m ved gode forhold til under 10 m ved dårlige forhold, og spesielt alger, bobler ved overflaten, undervannsvegetasjon og eksternt lys kan gi problemer. Kamera kan gi bedre klassifikasjonsgrunnlag enn sonar på grunn av høyere oppløsning.

Kamera med laserbelysning kan benyttes til verifikasjon på noe under avstanden for deteksjon, eller under 40 m for gode forhold og under 10 m for dårlige forhold.

4.3 Nett med bruddeteksjon

Ytelsen til nett med bruddeteksjon er tilnærmet sikker, så ofte vil dekningen langs ytterkanten av nettet være avgjørende for ytelsen til sensoren. Et nett vil også sperre vannvolumet for ferdsel, noe som ikke alltid kan tillates. Videre vil brudd på nettet totalt fjerne dekningen for en hel seksjon frem til skaden er reparert.

4.3.1 Deteksjon

Nett med bruddeteksjon gir en nedre størrelse til objektet, gitt ved maskevidden, i og med at nettet må klippes for at større objekter skal kunne passere. Sensoren gir en kraftig endring av det overvåkede signalet ved første brudd, og deteksjon må gjøres på grunnlag av denne endringen. Bare objekter som bryter nettet vil bli detektert.

4.3.2 Klassifikasjon

For nett med bruddeteksjon kan det ikke skaffes mer informasjon enn brudd / ikke brudd med en enkelt sensor, og klassifikasjon er derfor ikke mulig. Imidlertid vil selve alarmklas-

sen for nett med bruddeteksjon omfatte svært få falske deteksjoner i forhold til de andre sensorer vil gi.

4.3.3 Verifikasjon

Nett med bruddeteksjon gir ikke informasjon som kan benyttes til å skille mellom trusselementer og andre objekter.

4.3.4 Delkonklusjon

Nett med bruddeteksjon gir tilnærmet sikker deteksjon for området det dekker, men løsningen for deteksjon langs ytterkanten av nettet vil være avgjørende for den totale ytelsen. Nett vil i utgangspunktet hindre egen ferdsel.

Nett med bruddeteksjon har ingen mulighet for klassifikasjon, men vil i utgangspunktet ha svært lav rate av falske deteksjoner i forhold til andre sensorer.

Nett med bruddeteksjon er uegnet for verifikasjon.

5 DELKONSEPTER

I figur 2.1 ble det skissert hvordan overvåking tar utgangspunkt i deteksjon, og kan følges opp av klassifikasjon og verifikasjon, før varsling medfører iverksetting av reaksjon. Avgjørende for å stoppe et trusselement er deteksjon og varsling, estimat av aktørens kapasitet, verifikasjon av trusselement og kapasitet, samt pålitligheten til disse dataene gitt ved raten av falske varsler og graden av feilestimering av kapasitet.

I dette kapittelet blir det først vist hvordan ulike sensorer for undervannsovervåking kan benyttes til deteksjon, og dermed starte prosessen frem mot eventuell varsling og reaksjon. Deretter blir det gitt en oversikt over løsningene som kan benyttes til klassifikasjon. Dette innebærer bruk av sensorer som gjennom signalbehandling kan bidra til å få frem forskjellene mellom trusselementer og øvrige objekter, og som helst også kan gi informasjon om typen trusselement. Til slutt beskrives mulige løsninger for verifikasjon.

All overvåking starter med deteksjon, men behovet for klassifikasjon og verifikasjon vil være avhengig av hvor stor raten av falske deteksjoner er, og av følgene ved unødvendige reaksjoner. Dersom følgene av reaksjon ved varsling rett etter deteksjon er for store, må raten av feilaktige varslinger reduseres gjennom klassifikasjon og/eller verifikasjon. Dette behandles nærmere under sammenstillingen av konseptløsninger i kapittel 6, og her presenteres bare delkonseptene i form av løsningsforslag for hvert av overvåkingstrinnene deteksjon, klassifikasjon og verifikasjon.

Delkonseptene som foreslås, bygges rundt de beste bruksområdene til hver sensorløsning. Det kompenseres for identifiserte svakheter ved enkeltsensorene ved hjelp av andre sensorer, slik at man ender opp med helhetlige løsninger. For hvert delkonsept defineres så bruksområdet, før selve konseptet beskrives med bruk av sensorene. Til slutt angis forventet ytelse. For hvert overvåkingstrinn behandles først løsninger basert på nett med brudddeteksjon, deretter sonarbaserte løsninger og til slutt kamerabaserte løsninger. Til hvert av delkonseptene knyttes en forkortelse bestående av en bokstav D, K og V for respektive deteksjon, klassifikasjon eller verifikasjon, samt et delkonseptnummer. En oversikt over betegnelse kan finnes på utbrettsarket i vedlegg A.

5.1 Delkonsepter for deteksjon

Idet nett med brudddeteksjon er en distribuert sensor, må nettet plasseres i selve planet som skal overvåkes. Sonar, som er den tradisjonelt mest brukte undervannssensoren, er en punktsensor. Sonarens synsfelt må styres mot området som skal overvåkes, og det finnes mange ulike konfigurasjoner for dette. Kamera er også en punktsensor, og denne har høyere geometrisk oppløsning enn sonar, men kortere rekkevidde.

5.1.1 Nett med brudddeteksjon uten port / åpning, D1

Hovedsensoren

Nett med brudddeteksjon er en distribuert sensor og plasseres i selve planet som skal overvåkes. Nett med brudddeteksjon er nærmere beskrevet i (7), mens ytelse og svakheter for deteksjon er behandlet i kapittel 4.3.

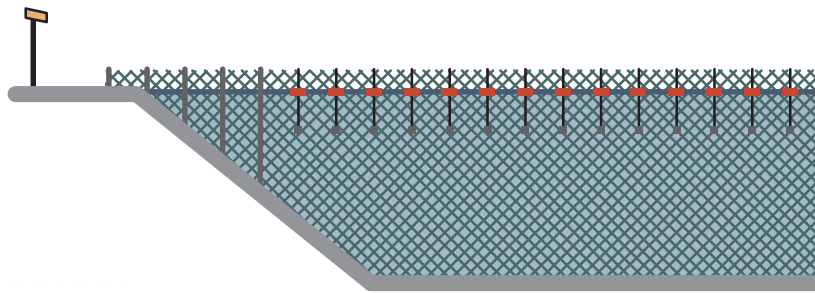
Aktuelle tilleggssensorer

- For nett som strekkes opp over overflaten kan ulike sensorer for perimetersikring i gjerder benyttes for deteksjon av klatring over nettet, se (5). De mest aktuelle er kanskje termisk IR kamera og i enkelte tilfeller oppspent tråd, men det kan også finnes andre løsninger. Sensorene for deteksjon av klatring vil generelt ikke være bruddsensorer, og man må forvente at ytelsen vil være dårligere enn for selve nettet.

Delkonseptet

Bruksområdet er perimeterovervåking i grunne områder som skal være stengt for all ferdsel.

Nett med brudddeteksjon spennes fast i bunn og/eller vegg rundt området som skal overvåkes. Festeordningene må lages slik at forsøk på å frigjøre nettet medfører alarm. Dersom overvåkingssonen strekker seg helt opp til overflaten strekkes nettet over denne, og overkant av nettet overvåkes av en annen sensor. Det bør velges en sensor med en ytelse som er nær den til resten av delkonseptet. En skisse over et slikt delkonsept er vist i figur 5.1.



Figur 5.1 Eksempel på perimeterovervåking ved bruk av nett med brudddeteksjon, her sett fra siden

Delkonseptet kan karakteriseres som meget sikkert, og vil ha god deteksjonsevne og en svært lav rate av falske alarmer for inntrenging under vann. Over vann vil raten av falske alarmer trolig være noe høyere.

5.1.2 Nett med brudddeteksjon med åpning og eventuelt port, D2

Hovedsensoren

Nett med brudddeteksjon er beskrevet under delkonsept D1.

Aktuelle tilleggssensorer

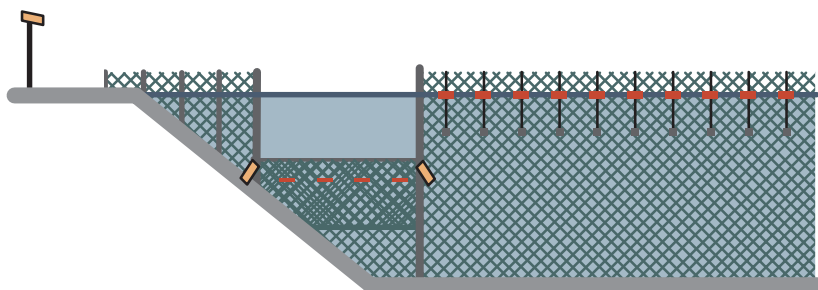
- Sensor trengs for deteksjon av klatring over nettet, som i kapittel 5.1.1.
- For å åpne for lovlig ferdsel kan man benytte en åpning som overvåkes av en annen sensor. Bredden til åpningen kan tilpasses fartøyene som skal passere, og som overvå-

kingssensor benyttes enten kamera med (laser)belysning eller aktiv sonar. I tillegg kan det benyttes en port (av nett), der kantene rundt denne overvåkes av bruddsensorer eller brytere.

Delkonseptet

Bruksområdet er perimeterovervåking i grunne områder som skal være åpne for egen ferdsel.

Delkonseptet tar utgangspunkt i delkonsept D1, men i tillegg kan det benyttes en port av nett. Ved lite trafikk holdes porten stort sett lukket, og ytterkanten av porten overvåkes med en bruddsensor eller en form for brytere. Ved trafikk åpnes porten, evt holdes åpen, og åpningen overvåkes ved hjelp av kameraer plassert under åpningen. Løsningen må dermed også inkludere delkonsept D8 eller D9 (eventuelt D4/K3). En skisse over et slikt delkonsept er vist i figur 5.2.



Figur 5.2 Eksempel på perimeterovervåking ved bruk av nett med bruddeteksjon og kamera for overvåking av port, her sett fra siden

Når porten er åpen blir man avhengig av undervannskameraene, og ytelsen vil svekkes noe. Ved lukket port blir ytelsen til systemet omtrent som for delkonsept D1, mens ved langvarig åpen port blir ytelsen som for delkonsept D8 eller D9.

5.1.3 Horisontalorientert multistrålesonar for perimeter, D3

Hovedsensoren

Med horisontalorientert multistrålesonar menes multistrålesonar med stor åpningsvinkel og høy oppløsning horisontalt, og en mindre åpningsvinkel vertikalt. Bare unntaksvis har disse sensorene en oppløsning vertikalt. Multistrålesonar er nærmere beskrevet i (7) og (11), mens ytelse og svakheter til multistrålesonar for deteksjon er behandlet i kapittel 4.1.

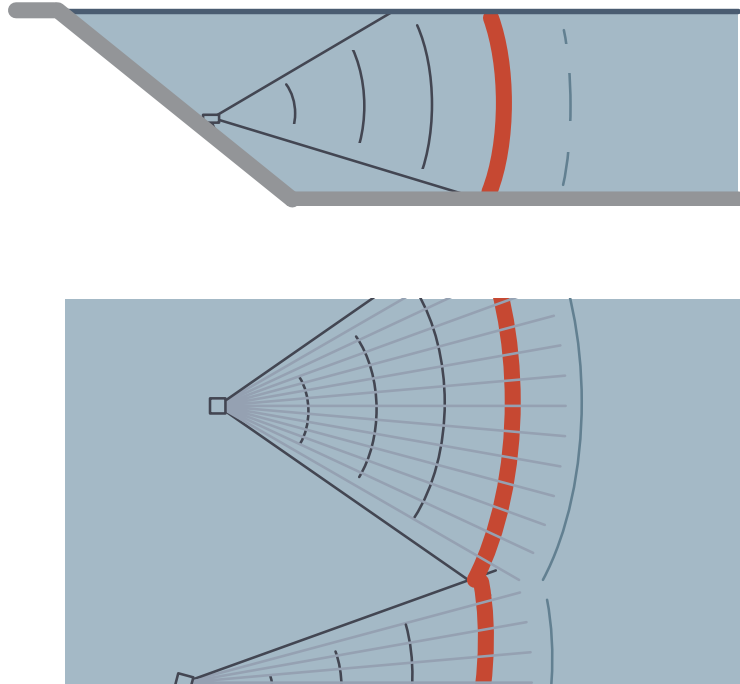
Aktuelle tilleggssensorer

- I områder med dårlig dekning kan nett med bruddeteksjon benyttes. Dette gjelder spesielt i strandsonen, men det kan også benyttes nett i overflatesjiktet.
- Deler av strandsonen kan fylles til, slik at overvåkingen kan flyttes opp fra vannet.

Delkonseptet

Bruksområdet er perimeterovervåking for noe grunne farvann.

Multistrålesonarar kan se ut fra sikringsobjektet eller området som skal overvåkes, slik at den over en viss avstand observerer hele vannsøylen. Beste egenskaper ved overflaten oppnås trolig når lydets vinkel med overflaten er mellom 20° og 60° . Deteksjon utføres gjennom terskling på målstyrke. En skisse over et slikt delkonsept er vist i figur 5.3. I eventuell strandsone benyttes nett med bruddeteksjon som hovedsensor, se delkonsept D1.



Figur 5.3 Eksempel på perimeterovervåking ved bruk av horisontalorientert multistrålesonar sett fra siden (øverst) og ovenfra (nederst). Mulig perimeter er merket med rødt

Deteksjonsevnen til delkonseptet vil variere fra meget god ved rolig sjø til middels god ved grov sjø. Det forventes at fiskestimer og bølger kan forårsake falske deteksjoner.

5.1.4 Horisontalorientert multistrålesonar for mindre objekter, D4

Hovedsensoren

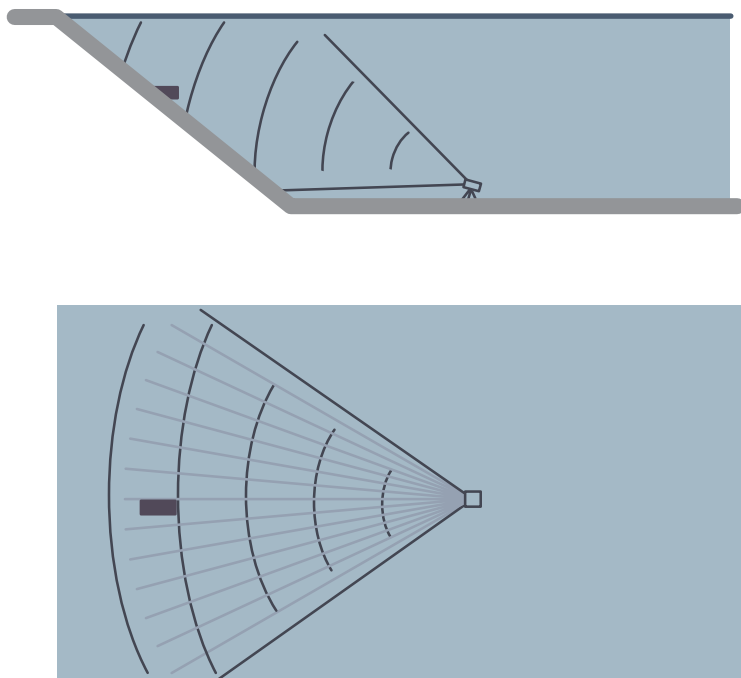
Horisontalorientert multistrålesonar er beskrevet under delkonsept D3.

Delkonseptet

Bruksområdet er overvåking av mindre objekter.

Multistrålesonarar kan rettes mot mindre sikringsobjekter og detektere objekter i umiddelbar nærhet. Ved overvåking av overflaten oppnås de beste egenskapene når lydets vinkel

med overflaten er mellom 20° og 60° . Deteksjon utføres enklest gjennom terskling på målstyrke, men på kort avstand kan også geometrisk utstrekning benyttes. En skisse over et slikt delkonsept er vist i figur 5.4. I eventuell strandsone er nett med bruddeteksjon som hovedsensor aktuell, se delkonsept D1.



Figur 5.4 Eksempel overvåking av mindre objekt ved bruk av multistrålesonar, sett fra siden (øverst) og ovenfra (nederst)

For undervannsobjekter vil deteksjonsevnen være meget god, men man må forvente en del falske deteksjoner fra fisk. Når også overflaten skal dekkes avtar deteksjonsevnen og raten av falske alarmer øker.

5.1.5 Vertikalorientert multistrålesonar for perimeter, D5

Hovedsensoren

Med vertikalorientert multistrålesonar menes multistrålesonar med stor åpningsvinkel og høy oppløsning vertikalt, samt smalt synsfelt horisontalt. En slik sensor kan brukes til et sensorgjerde, der synsfeltet dekker planet som skal overvåkes. Multistrålesonar er beskrevet i (7) og (11), mens ytelse og svakheter til multistrålesonar for deteksjon er behandlet i kapittel 4.1.

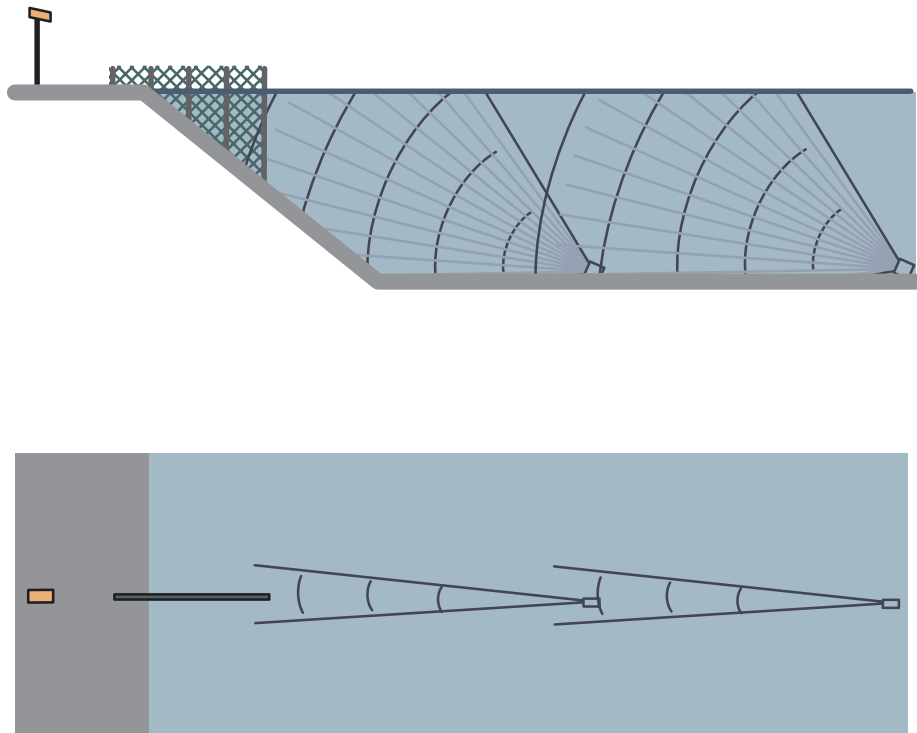
Aktuelle tilleggssensorer

- Spesielt sidesøkende sonar kan være egnet til å dekke eventuelle blindsoner langs bunnen.
- Nett med bruddeteksjon kan benyttes i strandsonen.

Delkonseptet

Bruksområdet er perimeterovervåking i moderat dype farvann.

Bunnplasserte multistrålesonarer ser fra langs bunnen og opp til en vinkel med overflaten på rundt 60° . Multistrålesonarene plasseres slik at der innfallsvinkelen kommer under 20° eller avstanden blir for stor overtar neste sensor. Enkle sidesøkende sonarer kan benyttes til å dekke eventuelle blindsoner langs bunnen. Overflaten nærmest land kan dekkes ved hjelp av nett med bruddeteksjon som hovedsensor, jmfør delkonsept D1. En skisse over et slikt delkonsept er vist i figur 5.5.



Figur 5.5 Eksempel på perimeterovervåking ved bruk av vertikallorientert multistrålesonar og nett, sett fra siden (øverst) og ovenfra (nederst)

Spesielt ved smalt synsfelt horisontalt forventes god ytelse med høy deteksjonsevne, en middels rate av falske deteksjoner fra fisk og overflaterrefleksjoner.

5.1.6 Sidesøkende sonar for perimeter, D6

Hovedsensoren

Med sidesøkende sonar menes her sender-/mottaker enheten fra et sidesøkende system som beskrevet i (7) og (11), brukt stasjonært. Denne sonaren har en stor åpningsvinkel vertikalt (30° – 80°) og liten åpningsvinkel transversalt (gjærne rundt 1°). Ytelse og svakheter til sonar generelt for deteksjon er behandlet i kapittel 4.1.

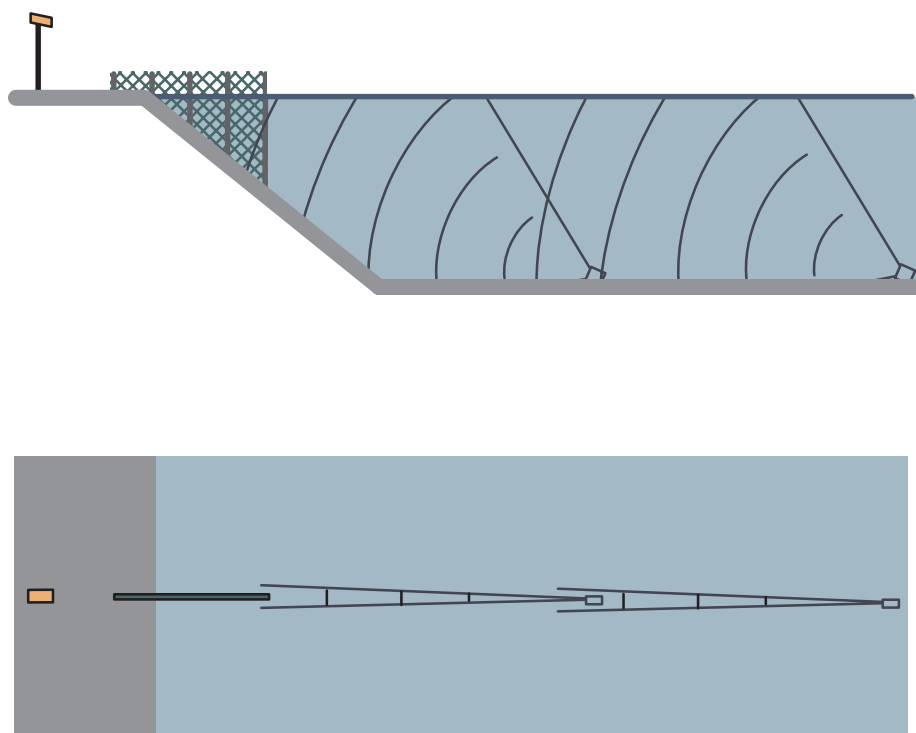
Aktuelle tilleggssensorer

- I områder med dårlig dekning kan nett med bruddeteksjon benyttes. Dette gjelder spesielt i strandsonen.
- Da sensoren er relativt rimelig og enkel vil den bli beskrevet som tilleggssensoren i kombinasjon med andre sensorer. Flere kombinasjoner tas derfor ikke med her.

Delkonseptet

Bruksområdet er perimeterovervåking i smule og relativt grunne farvann.

Bunnplasserte sidesøkende sonarer ser fra langs bunnen og opp til en vinkel med overflaten på rundt 60° . Sonarene plasseres slik at der innfallsvinkelen kommer under 20° eller avstanden blir for stor overtar neste sensor. Egne sidesøkende sonarer kan rettes mot eventuelle blindsoner langs bunnen. Overflaten nærmest land kan dekkes ved hjelp av nett med bruddeteksjon som hovedsensor, jamfør delkonsept D1. En skisse over et slikt delkonsept er vist i figur 5.6.



Figur 5.6 Eksempel på perimeterovervåking ved bruk av sidesøkende sonar og nett, sett fra siden (øverst) og ovenfra (nederst)

Deteksjonsevnen kan være god, men raten av falske deteksjoner fra fiskestimer og overflateekko kan også bli høy.

5.1.7 Vidvinkel sonar for overvåking av mindre objekter, D7

Hovedsensoren

Omnidireksjonell eller vidvinkel sonar er beskrevet i (7) og (11), mens ytelse og svakheter til sonar benyttet for deteksjon er behandlet i kapittel 4.1.

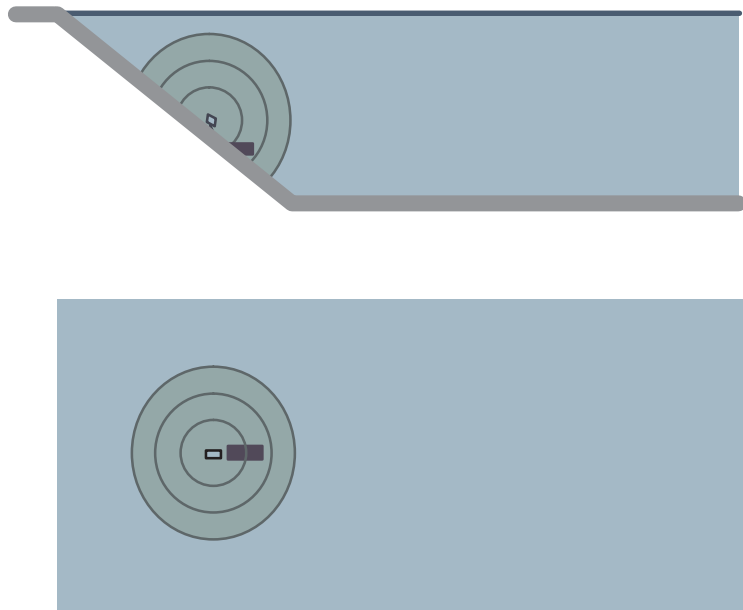
Aktuelle tilleggssensorer

- Vidvinkel sonar tenkes her brukt alene. Da sensoren er rimelig og enkel vil den dessuten bli beskrevet som tilleggssensoren i kombinasjon med andre sensorer.

Delkonseptet

Bruksområdet er overvåking av mindre undervannsobjekt.

Sensoren plasseres på undervannsobjektet, eller rettes mot det fra kort avstand. Deteksjon utføres gjennom terskling på målstyrke. En skisse over et slikt delkonsept er vist i figur 5.7.



Figur 5.7 Eksempel på overvåking av mindre objekt med omnidireksjonell sonar, sett fra siden (øverst) og ovenfra (nederst)

Delkonseptet vil ha god deteksjonsevne, men kan også få svært høy rate av falske deteksjoner fra fisk.

5.1.8 Kamera med belysning ved kameraet, D8

Hovedsensoren

For kamera med belysning ved kameraet vil synkron sveiping med laserbelysning øke rekkevidden med 3 til 6 ganger fra normal belysning, som beskrevet i (7). Ytelsen og svakheter til systemet er beskrevet i kapittel 4.3.

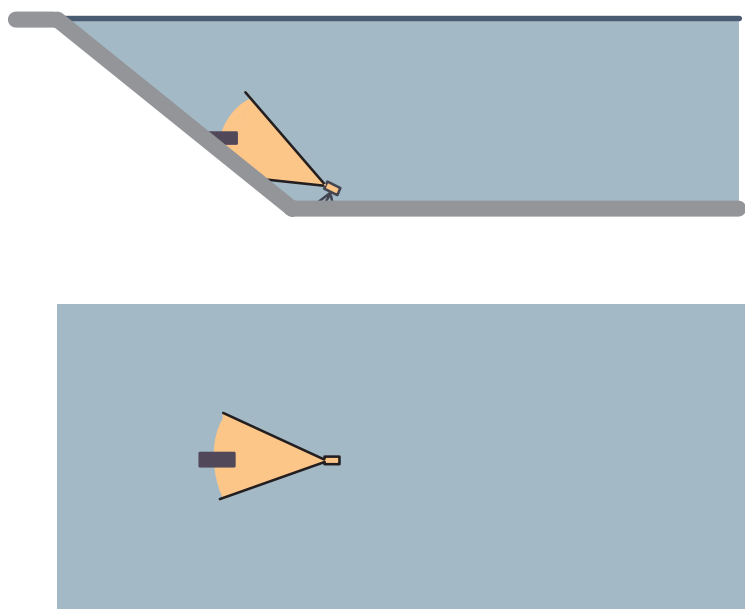
Aktuelle tilleggssensorer

- Blindsoner og områder med dårlig sikt eller med objekter i bevegelse må dekkes av andre sensorer. Her kan spesielt nett med bruddeteksjon være en hovedsensor, se delkonsept D1.

Delkonseptet

Bruksområdet er overvåking av innløp eller mindre objekter.

Kamera med laserbelysning plasseres ved innfarer. Deteksjon gjøres automatisk ut fra intensitet og utstrekning. Undersiden av fartøy kan også kontrolleres, men dette må trolig gjøres manuelt. En skisse over et slikt delkonsept er vist i figur 5.8.



Figur 5.8 Eksempel på overvåking av mindre objekt med kamera, med belysning ved kameraet, sett fra siden (øverst) og ovenfra (nederst)

Deteksjonsevnen vil være god, men kan reduseres ved dårlig sikt. Det må også forventes en høy rate av falske deteksjoner fra fisk, undervannsvegetasjon og drivgods. Dersom objektet som skal overvåkes ligger i overflaten vil også bølger forårsake falske deteksjoner.

5.1.9 Kamera med motbelysning, D9

Hovedsensoren

Undervannskamera kan benyttes med motbelysning for deteksjon av objekter (skygger) som beveger seg mellom lyskilden og kameraet. I forhold til normal belysning ved kameraet unngår man problemet med tilbakespredning, og rekkevidden økes. Posisjonen til selve kameraene blir heller ikke avslørt like lett.

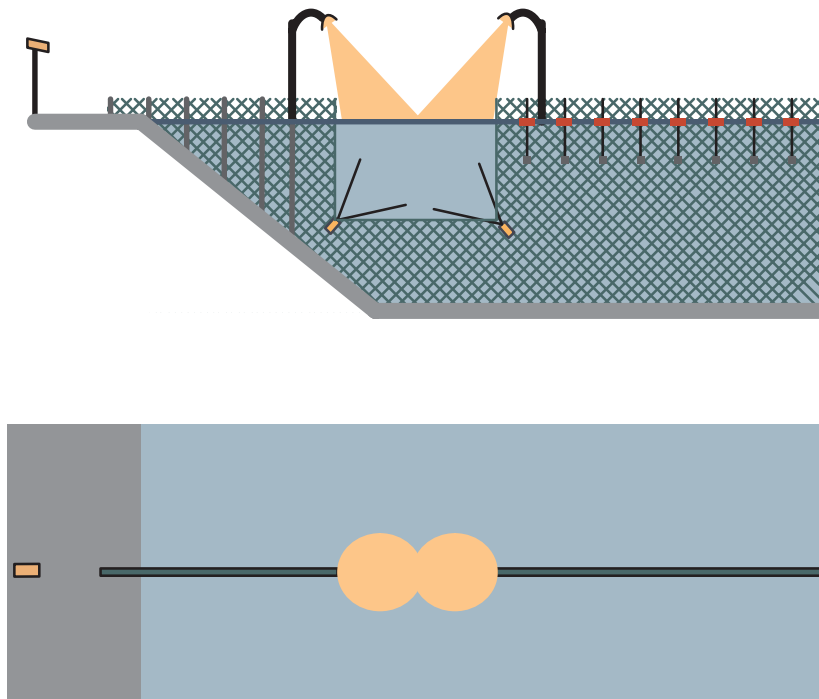
Aktuelle tilleggssensorer

- Blindsoner må dekkes med andre sensorer. Her kan spesielt nett med bruddeteksjon være aktuell som hovedsensor, se delkonsept D1.

Delkonseptet

Bruksområdet er overvåking av innløp.

En lyskasterkjede plasseres over en innløp og kamera plasseres under vann. Deteksjon gjøres automatisk ut fra intensitet og utstrekning. En skisse over et slikt delkonsept er vist i figur 5.9.



Figur 5.9 Eksempel på bruk av undervannskamera med motlys, sett fra siden (øverst) og ovenfra (nederst). Her brukt sammen med nett

Deteksjonsevnen vil være god, men kan reduseres ved dårlig sikt. Det må også forventes en høy rate av falske deteksjoner forårsaket av fisk, drivgods, oljesøl, drivende undervannsvegetasjon og skarpe bølger.

5.2 Delkonsepter for klassifikasjon

Kravet til klassifikasjonen er (fra kapittel 2.3.2) at den skal skille ut falske deteksjoner, og om mulig skille mellom dykkere og dykkere med mindre og større fremkomstmidler. I den følgende gjennomgangen er mulige delkonsepter sortert etter hovedsensoren for klassifikasjon.

5.2.1 Horisontalorientert multistrålesonar, K1

Hovedsensoren

Ytelse og svakheter til multistrålesonar for klassifikasjon er behandlet i kapittel 4.1.

Aktuelle tilleggssensorer

- For overvåking i strandsonen kan nett med bruddeteksjon benyttes, eller området kan fylles igjen, slik at overvåkingen kan flyttes ut av vannet.

Delkonseptet

Bruksområde er objektovervåking og perimetrovervåking av relativt grunne farvann.

Delkonseptet er en utvidelse av delkonseptene D3 og D4 for deteksjon. Etter deteksjon kan det mulige trusselementet følges over tid, og hastighet og bevegelsesmønster brukes sammen med målstyrken til klassifikasjon. Ved tilstrekkelig oppløsning kan også form og størrelse benyttes til klassifikasjon. Strandsonen dekkes av nett med bruddeteksjon eller fylles til.

Skisser over delkonseptet med klassifikasjon kan være som figur 5.3 og figur 5.4.

Raten av falske klassifikasjoner ved målfølging er avhengig av strekningen objektet kan følges over og lokaliseringsnøyaktigheten. Ved høy oppløsning kan trolig også enkelte distribuerte "objekter" som fiskestimer skilles ut på bakgrunn av form og størrelse.

5.2.2 Vidvinkel sonar, K2

Hovedsensoren

Ytelse og svakheter til vidvinkel sonar (ekkolodd) for klassifikasjon er behandlet i kapittel 4.1.

Aktuelle tilleggssensorer

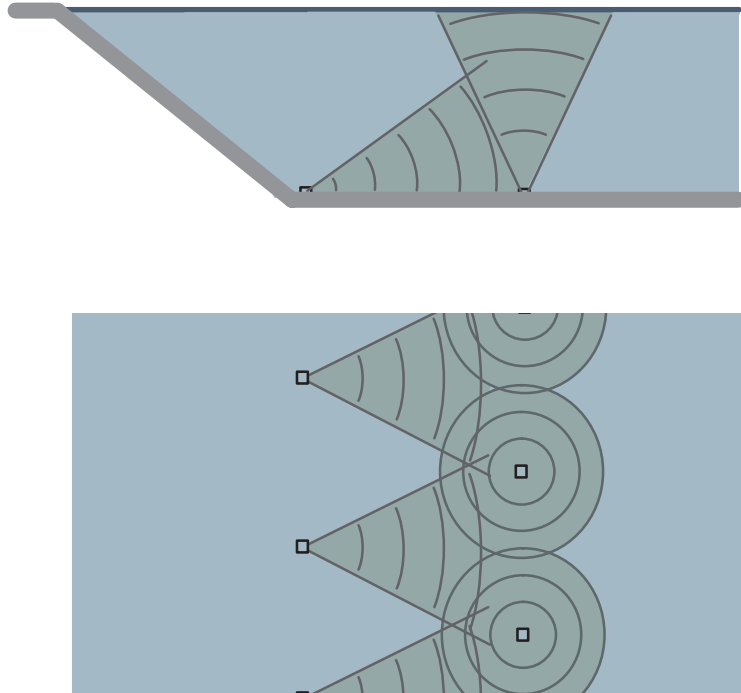
- For overvåking i strandsonen kan nett med bruddeteksjon benyttes, eller området kan fylles til og overvåkingen flyttes opp fra vannet.

Delkonseptet

Bruksområdet for enkeltsensorer er overvåking av mindre objekter, mens mange sensorer i system kan benyttes til perimetrovervåking.

En til fire vidvinkel sonarer benyttes til å estimere posisjon, hastighet, retning og bevegelsesmønster. Sammen med målstyrken benyttes disse dataene til klassifikasjon. Strandsonen dekkes av nett med bruddeteksjon eller fylles til.

For mulige anvendelser av delkonseptet, se figur 5.7 for overvåking av mindre objekter og 5.10 for perimeterovervåking.



Figur 5.10 Eksempel på perimeterovervåking ved bruk av vidvinkel sonar (ekkolodd), sett fra siden (øverst) og ovenfra (nederst)

For å holde raten av falske deteksjoner nede er man avhengig av å følge objektet over en viss strekningen med en viss lokaliseringnøyaktighet. Systemet fungerer dårlig med flere kraftige ekko innen sensorens overvåkingsområde. Det kan bare i liten grad skilles mellom ulike trusselementer.

5.2.3 Akustisk kamera / 3D multistrålesonar, K3

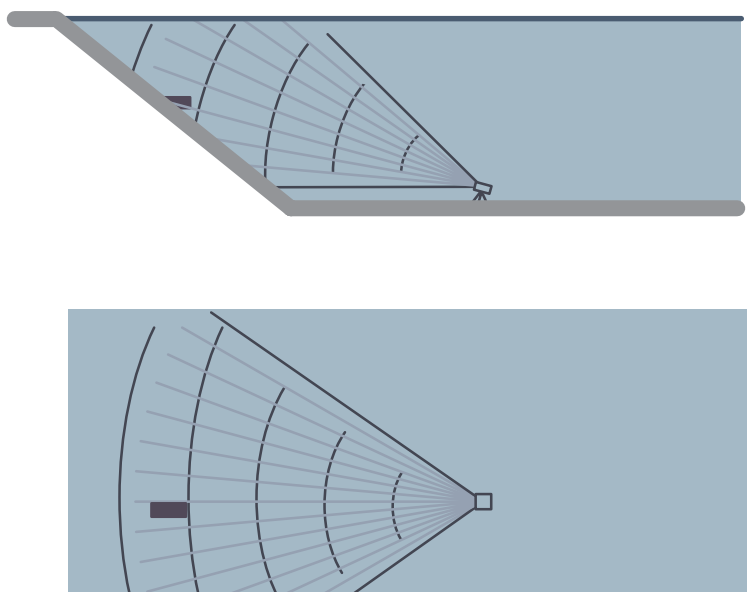
Hovedsensoren

Med akustisk kamera, eller 3D multistrålesonar, menes multistrålesonar med høy oppløsning i tre retninger. Rettet horisontalt vil et slikt kamera få høy oppløsning både horisontalt, vertikalt og i avstand. 3D multistrålesonar er nærmere beskrevet i (7) og (11), mens ytelse og svakheter for klassifikasjon er behandlet i kapittel 4.1.

Delkonseptet

Bruksområde er overvåking av mindre objekter.

Delkonseptet kan minne om delkonsept D4 for deteksjon, men 2D multistrålesonar er erstattet her med 3D multistrålesonar. I hovedsak er det avbildningen av objektet som sammen med målstyrken kan benyttes for klassifikasjon. Målfølgning kan gi noe tilleggsinformasjon. En skisse over et slikt delkonsept er vist i figur 5.11.



Figur 5.11 Eksempel på overvåking av mindre objekter med akustisk kamera / 3D multistrålesonar sett fra siden (øverst) og ovenfra (nederst)

Klassifikasjonsevnen kan bli god, men er avhengig av gode klassifikasjonsalgoritmer. For objekter nær overflaten blir det vanskeligere å klassifisere objektene og raten av falske alarmer øke.

5.2.4 Sonar med spektralinformasjon, K4

Hovedsensor

Bredbåndet sonar kan benyttes for klassifikasjon ved at den samler inn frekvensavhengig målstyrke for objektet. Metoden er ikke fullt utviklet, men antas å ha stort potensiale. Mer om bredbåndet sonar for opptak av spektralinformasjon kan finnes i (11). En kort vurdering av ytelse og svakheter for klassifikasjon er gitt i kapittel 4.1.

Aktuelle tilleggssensorer

- Sensor for deteksjon og lokalisering. Horisontalorientert multistrålesonar med vertikalløppløsning (kan bygge på delkonsept D4) eller vertikalorientert multistrålesonar som i

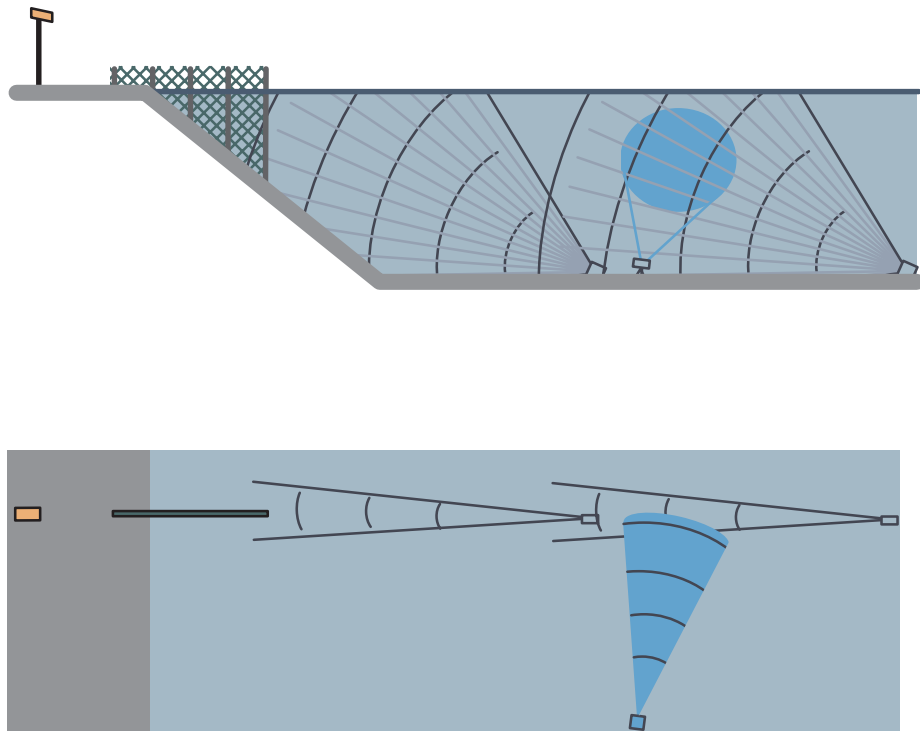
delkonsept D5 er best egnet, men nett med bruddeteksjon oppdelt i mange seksjoner kan også benyttes.

- For overvåking i strandsonen kan nett med bruddeteksjon benyttes, eller området kan fylles til og overvåkes over vann.

Delkonseptet

Bruksområde er i hovedsak perimeterovervåking i grunne farvann.

Delkonseptet baserer seg på at 3D-posisjonen til objektet finnes med en annen sensor, da en slik løsning antas å være langt rimeligere enn en multistråleløsning for selve bredbåndssonaren. Ved lokalisering styres en smalvinklet bredbåndssonar mot den angitte posisjonen, og spektralinformasjon tas opp. Målstyrken som funksjon av frekvens benyttes så til klassifikasjon. En skisse over et slikt delkonsept er vist i figur 5.12.



Figur 5.12 Eksempel på perimeterovervåking med klassifikasjon ut fra spektralinformasjon, sett fra siden (øverst) og ovenfra (nederst)

Raten av falske alarmer fra et slikt system er ikke kjent, men potensialet for å oppnå en lavere rate enn for mange andre sonarsystem antas å være til stede.

5.2.5 Kamera med belysning ved kameraet, K5

Hovedsensor

Kamera med belysning fra avstand er beskrevet i kapittel 4.2, sammen med en vurdering av ytelse og svakheter til systemet.

Aktuelle tilleggssensorer

- For overvåking i strandsonen kan nett med bruddeteksjon benyttes, eller området kan fylles til og overvåkes over vann.

Delkonseptet

Bruksområde er overvåking av innløp og små undervannsobjekter.

Konseptløsningen bygger på delkonsept D8, men kameraene benyttes nå for automatisk klassifikasjon.

For en skisse over et slikt delkonsept, se figur 5.8.

Raten av falske deteksjoner kan reduseres til moderat, og det er i utstrakt grad mulig å skille mellom de ulike trusselementene.

5.2.6 Kamera med motbelysning, K6

Hovedsensor

Undervannskamera med motbelysning for deteksjon av objekter som beveger seg mellom lyskilden og kameraet er kort beskrevet under punkt 5.1.9.

Aktuelle tilleggssensorer/tiltak

- For overvåking i strandsonen kan nett med bruddeteksjon benyttes, eller området kan fylles til og overvåkes over vann.

Delkonseptet

Bruksområde er i hovedsak overvåking av innløp.

Delkonseptet bygger på konsept D9, men kameraene benyttes nå for automatisk klassifikasjon.

For en skisse over et slikt delkonsept, se figur 5.9.

Det er i utstrakt grad mulig å skille mellom trusselementer og andre objekter, slik at potensialet for å oppnå en lav rate av falske alarmer er til stede.

5.3 Delkonsepter for verifikasjon

Gjennom verifikasjon skal en operatør kunne bekrefte eller avkrefte om et objekt er et trusselement, og med sikkerhet klassifisere objektet minst til det operative behovet.

5.3.1 Akustisk kamera / 3D multistrålesonar, V1

Hovedsensoren

Akustisk kamera, eller 3D multistrålesonar, er kort beskrevet under delkonsept K3. 3D multistrålesonar er nærmere beskrevet i (7) og (11), mens ytelse og svakheter for verifikasjon er behandlet i kapittel 4.1.

Delkonseptet

Bruksområde er verifikasjon på kort avstand.

Delkonseptet kan være omtrent som delkonsept K3, der akustisk kamera rettes mot det detekterte objektet som må verifiseres. Dersom en sensor skal dekke større områder kan den monteres på en mobil plattform (se kapittel 5.4). Den akustiske avbildningen presenteres på en skjerm for operatøren som utfører verifikasjonen.

En skisse over et slikt delkonsept for stasjonær overvåking er vist i figur 5.11.

Verifikasjon kan være mulig for avstander opptil størrelsesordenen 10 m. Spesielt kan mye luftbobler skape problemer.

5.3.2 Kamera med belysning ved kameraet, V2

Hovedsensor

Verifikasjon gjennom bruk av kamera med belysning ved kameraet er beskrevet i kapittel 4.2 sammen med en vurdering av ytelse og svakheter til systemet.

Delkonseptet

Bruksområde er verifikasjon på kort avstand.

Sensoren kan benyttes stasjonært til overvåking av innløp eller små undervannsobjekter, eller på en mobil plattform for å dekke et større område.

For en skisse over et slikt delkonsept for stasjonær overvåking, se figur 5.8.

Verifikasjon vil være mulig for avstander opptil 40 m ved gode forhold, men under 10 m ved dårlige forhold. Spesielt vil alger, bobler, undervannsvegetasjon og eksternt lys gi problemer.

5.3.3 Kamera med motbelysning, V3

Hovedsensor

Undervannskamera med motbelysning for deteksjon av objekter som beveger seg mellom lyskilden og kameraet er kort beskrevet under punkt 5.1.9.

Delkonseptet

Bruksområde er overvåking av innløp.

Delkonseptet bygger på konsept D9 og K6, men kameraene benyttes nå for manuell verifikasjon. Sensoren egner seg lite for en mobil plattform, da lyskilde og kamera må være på motsatte sider av trusselementet.

For en skisse over et slikt delkonsept, se figur 5.9.

Verifikasjon vil trolig være mulig på rundt 5 til 20 m avstand, avhengig av sikten. Spesielt kan alger, bobler, undervannsvegetasjon, annet lys og bølger gi problemer.

5.4 Mobile plattformer

Enkelte sensorer kan være så dyre eller ha så kort rekkevidde at det blir lønnsomt med få mobile sensorer fremfor mange stasjonære sensorer. For å sikre sikt og mobilitet også ved grov sjø bør forflytningen av sensorene trolig gjøres under vann. Dette kan da gjøres langs skinner eller med ubemannede undervannsfarkoster. Skinner er trolig egnet for grunne områder, mens undervannsfarkoster trolig er bedre egnet i dypere områder.

6 KONSEPTLØSNINGER

En konseptløsning for undervannsovervåking er en generisk løsning som gjennom lokale tilpasninger kan benyttes ved forskjellige sikringsobjekter. For hvert enkelt sikringsobjekt velges den konseptløsningen som sammen med fysisk beskyttelse og reaksjonstiltak oppfyller sikringskravet til lavest mulig kostnad.

Det stilles ofte store krav til dekningen til de forskjellige overvåkingsløsningene. Bruksområde for sensorene som inngår og eventuell rekkevidde er derfor av stor betydning. Etter dekningen karakteriseres en konseptløsning først og fremst gjennom ytelsen i form av sannsynlighet for å varsle om ulike trusselementer og forventet rate av falske varsler i et gitt miljø. Videre kan det være av interesse hvorvidt konseptløsningen kan lokalisere eller antyde kapasiteten til trusselementene, og hvor sikre disse estimatene er. I mange tilfeller kan også muligheten for å verifisere årsaken til en alarm ut fra sensordata være svært viktig.

De ulike konseptløsningene for undervannsovervåking baseres på delkonseptene fra kapittel 5. Her blir det sett på hvilke delkonsepter som utfyller hverandre og gir grunnlag for konseptløsninger. Hvordan ytelse og kostnader varierer med konseptløsningene blir også vist, før det blir skissert en metode for valg av riktig konseptløsning ut fra et sett kriterier.

6.1 Forslag til konseptløsninger

I dette kapitlet blir det vist hvordan delkonsepter kan inngå i helhetlige konseptløsninger. Det tas utgangspunkt i figur 2.1 med de skisserte vegene gjennom et overvåkingsystem, fra deteksjon frem mot reaksjon. For utledningen av konseptløsninger blir det tatt utgangspunkt i hvilket av overvåkingstrinnene deteksjon, klassifikasjon eller verifikasjon som er forut for en eventuell reaksjon.

Vedlegg A inneholder et utbrettsark med en oppsummering av forkortelsene for delkonseptene. Dette vil være til hjelp for å lese kapitlet.

6.1.1 Alternativ 1: Bare deteksjon

Som vist av alternativ 1 i figur 2.1 kan det varsles og reageres etter deteksjon alene. Alle delkonseptene for deteksjon (D1 til D9) kan brukes direkte som konseptløsninger for undervannsovervåking for sine aktuelle bruksområder.

6.1.2 Alternativ 2: Deteksjon og klassifikasjon

Alternativ 2 i figur 2.1 viser varsling og reaksjon etter deteksjon og klassifikasjon. Gjennom klassifikasjonen trekker man ut mer informasjon om de antatte trusselementene, slik at raten av falske alarmer kan reduseres og reaksjonen kan tilpasses klassen.

For klassifikasjon med horisontalorientert multistrålesonar (K1) kan alle deteksjonsløsningene fra D1 til D6 benyttes. D7 utelates fordi bruk av klassifikasjonssensoren til deteksjon

vil gi bedre ytelse til lavere kostnader. For D8 og D9 kan deteksjonssensorene brukes direkte til klassifikasjon. Ytelsen ved bruk av K1 er sterkt avhengig av hvor langt og lenge hvert mål kan følges.

Klassifikasjon med vidvinkel sonarer (K2) er også mulig ved hjelp av målfølging, men løsningen er lite robust. Den kan likevel gi en del tilleggsinformasjon til deteksjonsløsning D1, D2, D5, D6 og D7.

Akustisk kamera eller 3D multistrålesonar (K3) for klassifikasjon er en dyr, relativt sikker løsning, men med kort rekkevidde. Den bør derfor kombineres med relativt sikre løsninger for deteksjon, og for delkonsept D4 kan samme sensor benyttes. Delkonsept K3 kan også benyttes sammen med D1 eller på mobil plattform sammen med delkonsept D3.

Bruk av bredbånds spektralinformasjon (K4) for klassifikasjon er ennå ikke fullt utviklet, men kan tenkes å bli viktig etterhvert. Delkonseptet har trolig potensiale for å brukes sammen med alle delkonseptene for deteksjon.

Kamera med belysning ved kameraet (K5) kan gi meget god klassifikasjon på korte avstander. Dets løsning D8 benytter samme sensor og passer godt sammen med K5. Deteksjonsløsningene som ble benyttet sammen med delkonsept K3 er også aktuelle (D1, D3 og D4), men i tillegg også D7.

Til slutt gir også kamera med motbelysning (K6) god klassifikasjon på korte avstander. Da sensoren har høy deteksjonsevne kan den brukes alene, men den kan ha noe høy rate av falske alarmer. Da sensoren også har verifikasjonsmulighet er det mest aktuelt å benytte denne muligheten. Dette blir beskrevet i kapittel 6.1.3.

6.1.3 Alternativ 3 og 4: Deteksjon, evt klassifikasjon, verifikasjon

I de to siste alternativene i figur 2.1 inngår verifikasjon, etter deteksjon alene i alternativ 3 og etter deteksjon og klassifikasjon i alternativ 4. Gjennom verifikasjon skal det med sikkerhet kunne avgjøres om man har et trusselement eller ikke, slik at man normalt slipper å rykke ut ved falske alarmer. Videre skal kapasiteten til trusselementer kunne bestemmes minst til reaksjonstiltakenes behov, slik at reaksjonen kan tilpasses trusselen.

For verifikasjon tas det utgangspunkt i delkonsept V1, V2 og V3. Både akustisk kamera (V1) og optisk kamera med (laser)belysning ved kameraet (V2) kan benyttes mobilt i tillegg til stasjonært, mens kamera med motbelysning (V3) i hovedsak kan brukes stasjonært.

Optisk kamera med motbelysning kan benyttes både for deteksjon (D9), klassifikasjon (K6) og verifikasjon (V3). På grunn av noe høy rate av falske alarmer kan det være ønskelig å benytte andre delkonsepter for klassifikasjon. Delkonsept V3 har imidlertid lavere dekningsrate for verifikasjon enn V2, så ved behov for å forbedre ytelsen vil gjerne hele sensoren erstattes.

Optisk kamera med (laser)belysning ved kameraet (V2) vil vanligvis ha noe større rekkevidde for verifikasjon enn akustisk kamera (V1), og foreslås derfor som delkonsept for verifikasjon for de fleste konseptløsningene. Den generelt høyere ytelsen til V2 følger av at sensoren har høyere oppløsning, men forholdet mellom den akustiske og optiske sikten kan også påvirke ytelsesforholdet. Det vil dermed også være tilfeller der V1 bør benyttes fremfor V2. Muligheten for å operere mer kamouflert kan også være en grunn for å benytte V1.

Ved bruk av akustisk kamera (V1) for verifikasjon i en stasjonær løsning kan samme sensor benyttes for deteksjon og klassifikasjon. Dette tilsier en kombinasjon med D4 og eventuelt K3. Delkonseptet kan også gjøres mobilt, og fungerer trolig best sammen med D3, da denne muliggjør målfølgning over lengre avstander.

I utgangspunktet foreslås optisk kamera med belysning ved kameraet (V2) for verifikasjon for alle andre klassifikasjonsløsninger enn D4/K3 og D9/K6. Delkonsept K1 og til dels også K2 kan lede en mobil verifikasjonssensor mot et mål, slik at her kan alternativt mobile sensorer benyttes. Delkonsept V2 for verifikasjon er spesielt aktuell når delkonsept D8/K5 benyttes, da de benytter samme sensor. For mindre overvåkede områder vil V2 også være aktuell sammen med D1 eller D2 alene.

6.1.4 Oversikt over alle konseptløsningene

I tabell 6.1, 6.2 og 6.3 gis en samlet oversikt over konseptløsningene for undervannsovervåking med antydende verdier for parametre som kan påvirke valget av løsning. Tabellene viser hvilke delkonsepter som inngår i de ulike konseptløsningene, samt ytelsesparametre og innbyrdes kostnader for deteksjon og eventuell klassifikasjon. Innbyrdes kostnader med verifikasjon er ikke gitt, men der deteksjons- og klassifikasjonssensorene ikke kan benyttes for verifikasjon er antatt beste løsning for verifikasjon indikert (med nedtonet font). Kostnadene for et delkonsept for verifikasjon kan være høye, men også besparelsene kan være betydelige da man slipper å rykke ut ved falske alarmer.

Hvilke parametre som er viktige for valg av konseptløsning er utledet i vedlegg B. Ytelsesparametrene som benyttes i tabell 6.1, 6.2 og 6.3 er først $P_{d,k|mål}$, "sannsynlighet for varsling om trusselement etter eventuell automatisk klassifikasjon med fjerning av antatt falske deteksjoner". Deretter følger tilhørende forventet antall falske alarmer over et tidsrom, $N_{FA}(\Delta T)$. En falsk alarm er her definert som enhver alarm hvor en person må involveres, og alarmen ikke er forårsaket av et trusselement. Denne definisjonen er valgt for å vise

arbeidskapasiteten som følger med hver av konseptløsningene. Til slutt angis det i hvilken grad det er mulig å skille mellom kapasiteten til ulike trusselementer ved hjelp av konseptløsningen (klassifikasjon etter kapasitet). I tillegg er det altså vist hvorvidt konseptløsningen omfatter verifikasjon, eller hvilket delkonsept som anbefales for en slik mulighet.

Kolonnene for kostnad gir en innbyrdes vurdering av konseptløsninger av samme sikringsform (perimeter-, objekt- eller områdeovervåking).

Verdiene som benyttes i tabellene er lav, noe lav, middels, noe høy og høy. 'L' under deteksjon står for mulighet for lokalisering av inntrenger, mens 'T' under deteksjon eller klassi-

fikasjon står for transport av sensor og 't' for mulig løsning både med og uten transport. '?' under ytelse indikerer at verdien er særdeles usikker, da teknikken som sensorene bygger på ennå ikke er utbredt. Delkonseptene for verifikasjon i parentes er ikke en del av konseptløsningen, men gir anbefalt delkonsept ved krav om verifikasjon.

Vedlegg A inneholder et utbrettsark med en oppsummering av forkortelsene for delløsningene.

Nr	Delkonsepter			Ytelse			Kostnad før ver.
	Det	Klass	Ver	$P_{d,k m\grave{a}l}$	$N_{FA}(\Delta T)$ (det, klass)	Klass. e. kapasitet	
1	D1	–	(V2)	høy	lav	–	høy
2	D1	K1	(V2+t)	høy	lav	høy	høy
3	D1	K2	(V2)	høy	lav	lav	høy
4	D1	K3+t	V1+t	høy	lav	høy	høy
5	D1+L	K4	(V2)	høy	lav	?	høy
6	D1	K5+t	V2+t	høy	lav	høy	høy
7	D2*	–	(V2)	høy	noe lav	–	høy
8	D2*	K1	(V2+t)	høy	lav	høy	høy
9	D2*	K2	(V2)	høy	noe lav	lav	høy
10	D2*+L	K4	(V2)	høy	noe lav?	?	høy
11	D3	–	(V2)	noe høy	høy	–	middels
12	D3	K1	(V2+t)	noe høy	middels	høy	middels
13	D3	K3+t	V3+t	noe høy	middels	høy	høy
14	D3	K4	(V2)	noe høy	noe lav?	?	noe høy?
15	D3	K5+T	V2+T	noe høy	middels	høy	høy
16	D5	–	(V2)	noe høy	middels	–	noe høy
17	D5	K1	(V2+t)	noe høy	noe lav	høy	høy
18	D5	K2	(V2)	noe høy	middels	noe lav	høy
19	D5	K4	(V2)	noe høy	noe lav?	?	høy
20	D6	–	(V2)	noe lav	høy	–	lav
21	D6	K2	(V2)	noe lav	noe høy	lav	noe lav
22	D6+L	K4	(V2)	noe lav	noe høy?	?	middels?
23	D9	K6	V3	høy	noe høy	noe høy	middels

Tabell 6.1 *Konseptløsninger for perimeterovervåking med indikasjon av ytelse og kostnader. Delkonsepter for deteksjon og klassifikasjon er vist, mens aktuelt delkonsept for verifikasjon er antydnet der konseptløsningene ikke medfører verifikasjon*

*) Når porten i nettet er åpen benyttes konseptløsning 23, 39 eller 45

Nr	Delkonsepter			Ytelse			Kostnad før ver.
	Det	Klass	Ver	$P_{d,k m\hat{a}l}$	$N_{FA}(\Delta T)$ (det, klass)	Klass. e. kapasitet	
24	~ D3	–	(V2+T)	middels	høy	–	noe lav
25	~ D3	K1	(V2+T)	noe høy	middels	høy	middels
26	~ D3	K4	(V2+T)	noe høy	noe lav?	?	noe høy?
27	~ D3	K5	V1	noe høy	noe lav	høy	noe høy
28	~ D3	K5+T	V1+T	middels	høy	høy	høy
29	~ D7	–	(V2+T)	noe lav	noe høy	–	lav
30	~ D7	K2	(V2+T)	noe lav	noe høy	noe lav	noe lav

Tabell 6.2 *Konseptløsninger for områdeovervåking med indikasjon av ytelse og kostnader. Delkonsepter for deteksjon og klassifisering er vist, mens aktuelt delkonsept for verifikasjon er antydnet der konseptløsningene ikke medfører verifikasjon*

Nr	Delkonsepter			Ytelse			Kostnad før ver.
	Det	Klass	Ver	$P_{d,k m\hat{a}l}$	$N_{FA}(\Delta T)$ (det, klass)	Klass. e. kapasitet	
31	D1	–	(V2)	høy	lav	–	noe høy
32	D1	K1	(V2+t)	høy	lav	høy	høy
33	D1	K2	(V2)	høy	lav	lav	noe høy
34	D1	K3+t	V1+t	høy	lav	høy	høy
35	D1+L	K4	(V2)	høy	lav	?	høy
36	D1	K5+t	V2+t	høy	lav	høy	høy
37	D4	–	(V2)	noe høy	noe høy	–	noe høy
38	D4	K1	(V2+t)	noe høy	middels	middels	noe høy
39	D4	K3	V2	noe høy	noe lav	høy	høy
40	D4	K4	(V2)	noe høy	middels?	?	noe høy?
41	D4	K5	V2	noe høy	noe lav	høy	noe høy
42	D7	–	(V2)	middels	høy	–	lav
43	D7	K2	(V2)	middels	noe høy	lav	lav
44	D7	K5	V2	middels	noe lav	høy	noe høy
45	D8	K5	V2	høy	middels	høy	noe høy

Tabell 6.3 *Konseptløsninger for objektovervåking med indikasjon av ytelse og kostnader. Delkonsepter for deteksjon og klassifisering er vist, mens aktuelt delkonsept for verifikasjon er antydnet der konseptløsningene ikke medfører verifikasjon*

6.2 Metode for valg av konseptløsning

For å finne gode konseptløsninger for et gitt anlegg må man søke etter delkonseptet som kan oppfylle sikringskravet til lavest mulige kostnader.

Med utgangspunkt i kravet til sikring identifiseres aktuelle reaksjonstiltak og tilhørende krav om verifikasjon eller klassifikasjon etter kapasitet. Verifikasjon kan vise seg å være rimligere enn utrykning ved falske alarmer, og må da vurderes opp mot tilleggstiden dette påfører reaksjonen.

Med utgangspunkt i objektets størrelse, fysisk beskyttelse og mulige reaksjonstider, velges objekt-, perimeter- eller områdeovervåking. Tabell 6.1, 6.2 og 6.3 benyttes deretter til å identifisere konseptløsningene som gir tilstrekkelig sannsynlighet for varsling om trussel-elementet etter deteksjon og eventuell automatisk klassifikasjon. Konseptløsninger som ifølge beskrivelsen i kapittel 5 er uegnet til det aktuelle bruksområdet utelates.

Forventet antall falske alarmer over et tidsrom multipliseres med kostnadene for verifikasjon (eller for reaksjon om verifikasjon er utelatt) og legges til anskaffelses- og vedlikeholdskostnadene.

Når sikringsløsningene vurderes opp mot hverandre bør sparte tap ved tilleggssikring trekkes fra ekstrakostnadene ved slik sikring.

Om mulig velges en konseptløsning som tillater en trinnvis oppgradert sikring ved høyere beredskapsnivå.

Oppsummering

Metoden for valg av konseptløsning for undervannsovervåking kan oppsummeres som følger:

- Identifiser aktuelle reaksjonsmidler
- Antyd overvåkingsform (perimeter/ område/ objekt)
- Identifiser konseptløsninger med tilstrekkelig god ytelse
- Sorter aktuelle konseptløsninger ut fra kostnader (fratrasket sparte tap)
- Vurder mulighet for trinnvis oppgradering av sikringen

6.3 Eksempel på valg av sikringsløsning

Her følger et eksempel på valg av sikringsløsning for sikring på sjøsiden av et fartøy ved en tenkt havn. Det tas utgangspunkt i en kartlegging av eksterne krav. Deretter identifiseres tilgjengelige reaksjonstiltak og mulig fysisk beskyttelse, før mulige konseptløsninger for undervannsovervåking vurderes og en løsning blir valgt.

Eksterne krav

Fartøyene ved en relativt grunn havn ved en tenkt marinebase skal sikres. Militært kontrollert område er begrenset til rundt 150 m ut fra kai. For et høyt beredskapsnivå antas det krav om å stoppe forsøk på sabotasje med høy sannsynlighet, og de mest aktuelle truslene fra sjøsiden er hurtige småbåter, gummibåter, svømmere og dykkere med lukket pustesystem.

Reaksjonstiltak og fysisk beskyttelse

Tilgjengelig reaksjonsstyrke antas å være mannskap om bord i patruljebåter og om bord i skip ved kai. Reaksjonsmiddel er i hovedsak håndvåpen, samt sprengladninger som kan slippes ut mot sabotasjetrusler under vann. Bruk av lette rakettvåpen kan også vurderes, og i tillegg kan fartøyenes sonarer til en viss grad benyttes som reaksjonsmiddel. Dekningsområdet til hvert av reaksjonsmidlene må kartlegges. Trusselementene må etter deteksjon også lokaliseres og følges med en nøyaktighet tilsvarende det aktuelle reaksjonsmiddelets dekningsområde.

På grunn av den begrensede utstrekningen til det kontrollerte området blir det lite tid til å skille en tilfeldig inntrenger fra en sabotør inne i området. Dersom dødelige reaksjonstiltak skal benyttes bør det militære området derfor være fysisk adskilt fra områder med sivil ferdsel. Utenfor bør det opprettes en oppmerket og patruljert sikkerhetssone hvor alle informeres om følger ved å trenge inn i militært område. Det bør stilles krav om sakte fart, og annet enn nødvendig ferdsel må bortvises.

Dersom det militære området strekker seg rundt 150 m ut fra fartøyene som i vårt eksempel, anbefales oljelenser el.l. som markering av militært område, gjerne kombinert med lys og skilting med varsel om bruk av makt. Dersom avstanden er vesentlig kortere bør grensen være av en art som ikke kan passeres av raske båter.

Overvåking og varslings

Det antas så høy beredskap at det, gitt den fysiske beskyttelsen, ikke stilles krav om verifikasjon. Ved bruk av overvåkingssensorer som benytter akustiske eller optiske bølger for deteksjon, stilles det imidlertid krav om lav rate av falske alarmer. Dette fordi reaksjonsmidlene mot undervannstrusler kan redusere sikten til disse sensorene kraftig.

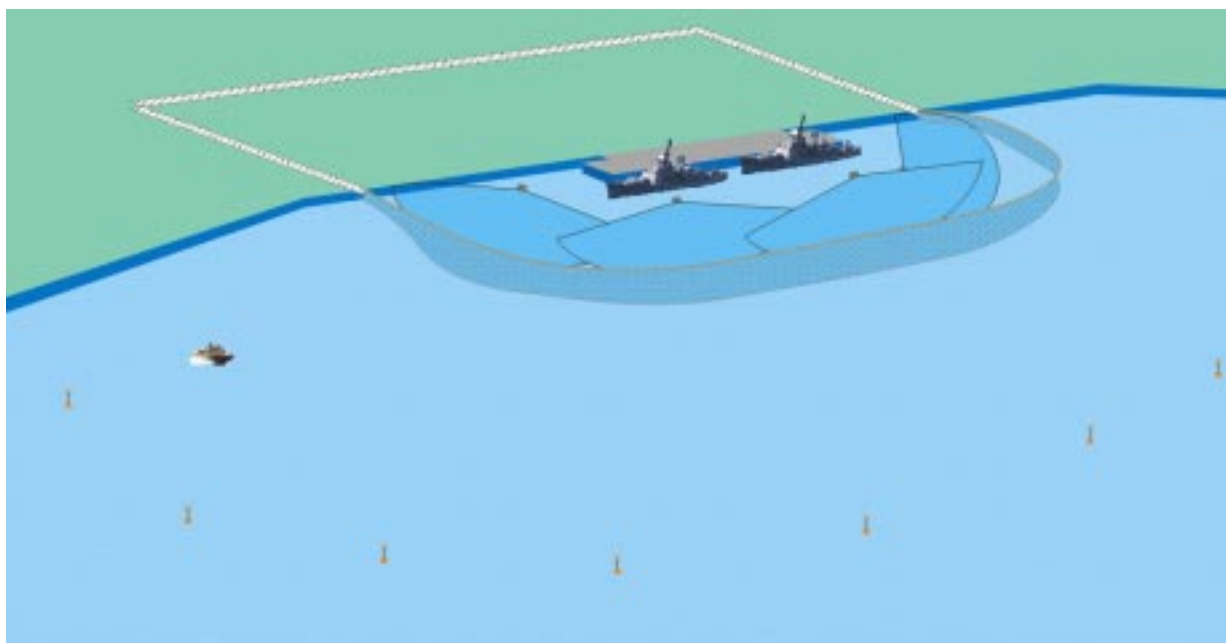
Før reaksjonstiltakene kan iverksettes trenger man noe tid, og det anbefales derfor perimetrovervåking, gjerne med målfølgning, eller eventuelt områdeovervåking.

Ut fra tabell 6.1, 6.2 og 6.3 identifiseres løsninger for undervanns perimetre- og områdeovervåking med tilstrekkelig høy deteksjonssannsynlighet, lav til middels rate av falske alarmer og middels til god målfølgning. De aktuelle løsningene blir da nummer 2, 3, 8 og 9, og muligens også nummer 12, 17 og 18. Det vil si at nett med bruddeteksjon er det eneste sensoren som med sikkerhet kan gi høy nok sannsynlighet for deteksjon over et større område, selv om det ikke kan utelukkes at også multistrålesonarere kan gi tilstrekkelig høy de-

teksjonssannsynlighet. Ytelsen til multistrålesonar er imidlertid mer miljøavhengig i grunne kystfarvann. For målfølging anbefales multistrålesonar, men avhengig av kravet til lokaliseringnøyaktighet er det mulig at en løsning med flere vidvinkelsonarer også kan benyttes.

Unntatt for svært avskjermede og lite trafikkerte farvann bør nett med bruddeteksjon benyttes for deteksjon av undervannstrusler for at kravet til sikring skal kunne oppnås. For målfølging anbefales multistrålesonar. Ved lavere beredskapsnivå kan denne sonaren også være aktuell for deteksjon. Det bør også vurderes hvorvidt fartøyenes multistrålesonarer kan benyttes.

Nett med bruddeteksjon må kombineres med en sensor for deteksjon av klatring eller kjøring over gjerdet. I tillegg til ulike sensorer for plassering på gjerdet kan termisk IR kamera benyttes både her og sammen med multistrålesonar. Til slutt må landsiden sikres til samme krav som sjøsiden. Sikringsforslaget er skissert i figur 6.1.



Figur 6.1 Mulig løsning for sikring av havn

Oppsummering

En mulig løsning for sikring av fartøyene ved kai i høyt beredskapsnivå kan dermed oppsummeres som følger:

- Reaksjonsstyrke: Det opprettes reaksjonsstyrke ombord i fartøyene som skal sikres og i egne patruljebåter. Reaksjonsstyrken bevæpnes med håndvåpen og eventuelt lette rakettpåpen, samt sprengladninger til bruk mot dykkere.
- Fysisk grense: Det militære området adskilles fysisk fra sivil område med oljelenser el.l., gjerne kombinert med lys, her ca 150 m ut fra fartøyene.

- Sikkerhetssone: Det opprettes en sikkerhetssone med redusert adgang utenfor det militære området. Her stilles det krav om sakte fart og det informeres om følgene ved å trenge inn i militært område.
- Perimeterovervåking: Grensen til det militære området overvåkes ved hjelp av nett med bruddeteksjon og en sensor for å varsle om klatring eller kjøring over nettet.
- Målfølging: Etter deteksjon følges trusselementene ved hjelp av multistrålesonar slik at reaksjonen kan ledes til rett sted også for undervannstrusler.

7 KONKLUSJON

Det er utarbeidet et sett generiske konseptløsninger for undervannsovervåking. Beskrivelsen av konseptløsningene er av overordnet art for å få med det store spennet i anvendelser, men knytter mulige sensorløsninger opp mot ulike anvendelser. For konkrete sikringsobjekter er det mulig å løse konseptene opp i delkonsepter og måleteknikker, og derigjennom vurdere ytelsen opp mot miljøet og de aktuelle trusselementene.

Ulike konsepter for undervannsovervåking vil ha ulik deteksjonsevne og sterkt varierende rate av falske alarmer. For de fleste sensorene vil det være nødvendig med en grad av klassifisering for å skape et større skille mellom trusselementer og øvrige objekter, men et unntak kan være nett med bruddeteksjon som i de fleste tilfeller vil ha en langt lavere rate av falske alarmer enn øvrige undervannssensorer. Der klassifisering er påkrevd kan denne utføres av personell som blir forelagt en presentasjon av sensordata, eller automatisk gjennom bruk av avanserte signalbehandlingsalgoritmer. I en del tilfeller kan det også være nødvendig med data fra tilleggssensorer.

Sensorer som er egnet for verifikasjon har rekkevidde i størrelsesorden 10 meter og er relativt dyre. For å kunne utføre verifikasjon langs en lengre perimeter eller over et større volum må det trolig utvikles løsninger med mobile verifikasjonssensorer.

Konsepter for ren undervannsovervåking med verifikasjon under vann er i dag bare realiserbare for overvåking av mindre områder på grunn av den korte rekkevidden til verifikasjonssensorene.

Litteratur

- (1) Forsvarsdepartementet (1997): Ot prp nr 49 (1996–97) Om lov om forebyggende sikkerhetstjeneste (sikkerhetsloven)
- (2) Forsvarets Overkommando (1990): Direktiv for sikring av Forsvarets materiell (DSFM) (Begrenset)
- (3) Synnes S A, Grinaker S (1999): Teoretisk grunnlag for sikring av Forsvarets funksjonar, anlegg og materiell, FFI/RAPPORT–99/04662
- (4) Liljegren C, Berger T, Kvifte L, Halsør M (2000): Metode for fysisk sikring av Forsvarets objekter, FFI/RAPPORT–2000/06432
- (5) Dyrdal I, Grinaker S, Helgesen L H, Jødahl H K, Synnes S A, Tveit B (2000): Evaluering av overvåkingssensorer for sikring av forsvarrets anlegg, Bind 1, FFI/RAPPORT–2000/00215 (Konfidensielt)
- (6) Synnes S A (2000): Teoretisk grunnlag for undervanns overvåkingssensorer, FFI/NOTAT–2000/02746
- (7) Tveit B, Helgesen L H, Jødahl H K, Synnes S A (2001): Overvåkingssensorer for sikring av sjøforsvarets anlegg fra sjøsiden, FFI/RAPPORT–2001/00251 (Begrenset)
- (8) Jødahl H, Berger T, Synnes S A (2000): (U) Målstyrke for sabotasjetrusler mot sjøforsvarets anlegg, målinger med fiskerisonar EY500, FFI/RAPPORT–2000/05459 (Konfidensielt)
- (9) Tveit B (2001): Målinger med sidesøkende sonar og IR-kamera, FFI/RAPPORT–2001/00447 (Begrenset)
- (10) Jødahl, H K (2001): Simulering av lydbaner i norske kystfarvann, FFI/RAPPORT–2001/03550
- (11) Synnes S A (2001): Undervannsovervåking mot sabotasjetrusler med aktiv sonar, FFI/NOTAT–2001/00172
- (12) Jensen T E (1999): Evaluering av sensorer for UV-beskyttelse, SFK memo datert 1999–11–17
- (13) Synnes S A (2000): Simulering av EM felt i saltvann med Maxwell 3D, FFI/NOTAT–2000/03670
- (14) Whalen A D (1971): Detection of signals in noise, Academic Press Inc, 411

- (15) Royal Norwegian Navy Materiel Command (2000): Model Description for LYBIN 2.0 SGP-108(C) Part C
- (16) Urick R J (1983): Principles of underwater sound, 3rd ed, Peninsula Publishing, Los Altos, 423
- (17) Synnes S A (2001): Akustisk dempning og refleksjoner fra boblelag og overflate, FFI/NOTAT-2001/04238
- (18) Bjerketveit B (1996): Demping og gjenklang fra boblelag, FFI/RAPPORT-96/01794

APPENDIKS

A FORKORTELSER FOR DELKONSEPTENE

Tabell A.1 til A.3 inneholder en oppsummering av forkortelsene for delkonseptene med forklaring.

Deteksjon	Beskrivelse
D1	Nett uten åpning/port
D2	Nett og åpning/port med kamera
D3	Horisontalorientert multistrålesonar for perimetrovervåking
D4	Horisontalorientert multistrålesonar mot sikringsobjekt
D5	Vertikalorientert multistrålesonar for perimetrovervåking
D6	Sensor fra sidesøkende sonar for perimetrovervåking
D7	Vidvinkel sonar
D8	Kamera med belysning ved kameraet
D9	Kamera med motbelysning

Tabell A.1 Delkonsepter for deteksjon

Klassifikasjon	Beskrivelse
K1	Horisontalorientert multistrålesonar for målfølgning
K2	Vidvinkel sonar for parametrisering
K3	Akustisk kamera / 3D multistrålesonar, kort avstand
K4	Bredbånds spektralinformasjon
K5	Kamera med belysning ved kameraet
K6	Kamera med motbelysning

Tabell A.2 Delkonsepter for klassifikasjon

Verifikasjon	Beskrivelse
V1	Akustisk kamera / 3D multistrålesonar
V2	Kamera med belysning ved kameraet
V3	Kamera med motbelysning

Tabell A.3 Delkonsepter for verifikasjon

B KRITERIER FOR VALG AV UNDERVANNSOVERVÅKING

I dette vedlegget blir det utledet hvilke parametre som er viktige for valg av konseptløsning for undervannsovervåking. Resultatet er grunnlag for valget av parametre som er presentert i tabell 6.3 og 6.2. Det tas utgangspunkt i de overordnede kravene til sikring. Disse brytes ned, og kravene de stiller til de ulike sikringskomponentene identifiseres.

De overordnede kravene til sikring er:

- Kravet til sikring må oppfylles. Dette sikrer i hovedsak at den militære kapasiteten opprettholdes på et akseptabelt nivå.
- Tilleggssikring vurderes etter en kost/nytte analyse. Dette minimerer summen av kostnader til sikring og økonomisk tap ved skade.
- Overvåkings- og reaksjonsmidlene må velges i samsvar med norske lover og internasjonale avtaler.

De overordnede kravene til sikring, som identifisert over, kan brytes ned for å få frem følgene for hver av komponentene i konseptløsningene. Dette blir gjort under for hvert av punktene reaksjon, varsling og kostnadsanalyse.

Reaksjon

- Er det snakk om dødelige reaksjonstiltak? I fred og vanligvis godt ut i en krise stiller dette vanligvis krav om sikker verifikasjon.
- Skal reaksjonen tilpasses kapasiteten til trusselementet? Dette stiller i så fall krav om enten verifikasjon eller tilstrekkelig klassifikasjon.

Varsling om trusselementer

- Sannsynligheten for deteksjon må være minst like høy som kravet til sannsynlighet for reaksjon.
- Ved bruk av klassifikasjonsalgoritmer stilles det krav til sannsynligheten for riktig klassifikasjon.

Kostnader

- Hva er kostnadene for innkjøp, installasjon og opplæring?
- Hva er raten av falske varsler?
- Følger av falsk varsel med verifikasjon: Kostnaden ved verifikasjon.
- Følger av falsk varsel uten verifikasjon: Kostnaden ved reaksjon.

Fra punktene over kan et sett parametre som stiller krav til overvåkingssystemene trekkes ut. Disse er “sannsynlighet for varsling om trusselement, etter eventuell automa-

tisk klassifikasjon med fjerning av antatt falske deteksjoner”, $P_{d,k|mål}$, tilhørende “forventet antall falske alarmer over et tidsrom”, $N_{FA}(\Delta T)$, og “til hvilken grad det er mulig å skille mellom kapasiteten til ulike trusselementer ved hjelp av automatisk klassifikasjon” (klassifikasjon etter kapasitet). Disse parametrene er tatt med under “ytelse” i tabell 6.3 og 6.2. I tillegg er kostnader for innkjøp, installasjon og opplæring gitt i kolonnen “kostnader”. Kostnader knyttet til hver enkelt falsk alarm er avhengig av om det utføres verifikasjon eller om man går direkte til reaksjon. Dette er blant annet avhengig av hvilket reaksjonstiltak som benyttes. Kostnader knyttet til falske alarmer kan derfor ikke knyttes direkte til overvåkingskonseptet, og tas derfor heller ikke med i tabellene.

FORDELINGSLISTE

FFIBM Dato: 1 juni 2001

RAPPORT TYPE (KRYSS AV)			RAPPORT NR	REFERANSE	RAPPORTENS DATO			
<input checked="" type="checkbox"/>	RAPP	<input type="checkbox"/>	NOTAT	<input type="checkbox"/>	RR	2001/03259	FFIBM/791/350	1 juni 2001
RAPPORTENS BESKYTTELSESGRAD				ANTALL EKS UTSTEDT	ANTALL SIDER			
UGRADERT				56	65			
RAPPORTENS TITTEL				FORFATTER(E)				
KONSEPTLØSNINGER FOR UNDERVANNS- OVERVÅKING				SYNNES Stig Asle, TVEIT Bjørn, BERGER Tor				
FORDELING GODKJENT AV FORSKNINGSSJEF:				FORDELING GODKJENT AV AVDELINGSSJEF:				

EKSTERN FORDELING

INTERN FORDELING

ANTALL	EKS NR	TIL	ANTALL	EKS NR	
1		FO/FST	14		FFI-Bibl
1		FO/SST	1		Adm direktør/stabssjef
1		v/Komkapt M Einbu	1		FFIE
1		FKS	1		FFISYS
1		v/Orlkapt K M Ommedal	5		FFIBM
1		FKN	1		Stein Grinaker, FFIBM
1		v/Orlkapt H P Myrseth	1		Jarl Johnsen, FFIBM
1		HOS/ST	1		Tor Berger, FFIBM
1		v/Komkapt T Thodesen	1		Bjørn Bjerketveit, FFIBM
1		v/Orlkapt S Belsvik	1		Per Espen Hagen, FFIBM
1		FO/E	1		Marius Halsør, FFIBM
1		v/Kaptlt A Lund	1		Roy E Hansen, FFIBM
1		Kysteskadren	1		Lars H Helgesen, FFIBM
1		v/Komkapt A Nordhuus	1		Hege K Jødahl, FFIBM
1		SFK	1		Lars Kvifte, FFIBM
1		v/Overing S Sundsback	1		Cecilie L Hodnebrog, FFIBM
1		HVST/SjøHVinsp	1		Petter Lågstad, FFIBM
1		v/Komkapt S Ose	1		Øivind Midtgaard, FFIBM
1		MJK	1		Stig A Synnes, FFIBM
		www.ffi.no			Bjørn Tveit, FFIBM
					FFI-veven