

FFI RAPPORT

SENSORSYSTEMER FOR STYRKEBE- SKYTTELSE – Teknologispill til FS 07

DYRDAL Idar, PALM Hans Christian

FFI/RAPPORT-2006/01602

SENSORSYSTEMER FOR STYRKEBESKYTTELSE
– Teknologispill til FS 07

DYRDAL Idar, PALM Hans Christian

FFI/RAPPORT-2006/01602

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

FORSVARETS FORSKNINGSINSTITUTT (FFI)
Norwegian Defence Research Establishment

UNCLASSIFIED

P O BOX 25
 NO-2027 KJELLER, NORWAY
REPORT DOCUMENTATION PAGE

SECURITY CLASSIFICATION OF THIS PAGE
 (when data entered)

1) PUBL/REPORT NUMBER FFI/RAPPORT-2006/01602 1a) PROJECT REFERENCE FFI-I/874/911	2) SECURITY CLASSIFICATION UNCLASSIFIED 2a) DECLASSIFICATION/DOWNGRADING SCHEDULE -	3) NUMBER OF PAGES 35		
4) TITLE SENSORSYSTEMER FOR STYRKEBESKYTTELSE – Teknologinns spill til FS 07 Sensor Systems for Force Protection – Technology Input to FS 07				
5) NAMES OF AUTHOR(S) IN FULL (surname first) DYRDAL Idar, PALM Hans Christian				
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>Force Protection</u> b) <u>Electronic Surveillance</u> c) <u>Perimeter Surveillance</u> d) <u>Sensor System</u> e) <u>Unattended Ground Sensors</u> </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> IN NORWEGIAN: a) <u>Styrkebeskyttelse</u> b) <u>Elektronisk overvåking</u> c) <u>Perimeterovervåking</u> d) <u>Sensorsystem</u> e) <u>Autonome marksensorer</u> </td> </tr> </table>			a) <u>Force Protection</u> b) <u>Electronic Surveillance</u> c) <u>Perimeter Surveillance</u> d) <u>Sensor System</u> e) <u>Unattended Ground Sensors</u>	IN NORWEGIAN: a) <u>Styrkebeskyttelse</u> b) <u>Elektronisk overvåking</u> c) <u>Perimeterovervåking</u> d) <u>Sensorsystem</u> e) <u>Autonome marksensorer</u>
a) <u>Force Protection</u> b) <u>Electronic Surveillance</u> c) <u>Perimeter Surveillance</u> d) <u>Sensor System</u> e) <u>Unattended Ground Sensors</u>	IN NORWEGIAN: a) <u>Styrkebeskyttelse</u> b) <u>Elektronisk overvåking</u> c) <u>Perimeterovervåking</u> d) <u>Sensorsystem</u> e) <u>Autonome marksensorer</u>			
THESAURUS REFERENCE:				
8) ABSTRACT This report describes electronic sensors and sensor systems for use in force protection. Two types of systems are treated: 1) perimeter surveillance systems for protection of military camps and other permanent or semi-permanent installations, and 2) unattended ground sensors for protection of forces in temporary positions. The capabilities of such systems based on mechanical, electromagnetic and electro-optical sensors are discussed. Cost estimates are presented and issues relating to management, maintenance and logistics are described. Furthermore, the report gives a brief description of future trends in electronic surveillance for force protection.				
9) DATE 2006-06-23	AUTHORIZED BY This page only Jan Erik Torp	POSITION Director		

ISBN 82-464-10131-8

UNCLASSIFIED

SECURITY CLASSIFICATION OF THIS PAGE
 (when data entered)

INNHOOLD

SAMMENDRAG	7
1 INNLEDNING	8
2 ELEKTRONISK SIKRING	9
3 SENSORTYPER	11
3.1 Innledning	11
3.2 Mekaniske sensorer	12
3.2.1 Snubletråder og brytere	13
3.2.2 Trykkputer og trykkslanger	13
3.2.3 Vibrasjonsfølsomme punktsensorer	13
3.2.4 Vibrasjonsfølsomme kabler	14
3.2.5 Passive akustiske sensorer	14
3.2.6 Aktive akustiske sensorer	16
3.3 Elektromagnetiske sensorer	16
3.3.1 Elektriske sensorer	16
3.3.2 Magnetiske sensorer	17
3.3.3 Radar og mikrobølgesensorer	17
3.3.4 Lekkasje kabler	19
3.3.5 Koblet bølgeleder	19
3.4 Elektrooptiske sensorer	20
3.4.1 Aktive infrarøde sensorer	20
3.4.2 Passive infrarøde sensorer	21
3.4.3 Bildedannende sensorer	21
3.4.3.1 Videokameraer og termiske infrarøde kameraer	21
3.4.3.2 Laser-Radar avbildning	22
3.4.3.3 Hyperspektral avbildning	22
4 SENSORSYSTEMER FOR STYRKEBESKYTTELSE	23
4.1 Innledning	23
4.2 Sensorfusjon	24
4.3 Gjerdemonterte perimetersensorer	25
4.4 Frittstående eller nedgravde perimetersensorer	25
4.5 Marksensorsystemer	26
5 KRITISKE TEKNOLOGIOMRÅDER	27
6 YTELSER	28
7 DRIFT – LOGISTIKK – UTDANNING	30
8 KOSTNADSOVERSLAG	31
8.1 Innledning	31

8.2	Valgte alternativer	31
8.3	Kostnadsberegninger	32
8.3.1	Forutsetninger	32
8.3.2	Kostnader – tall og figurer	32
8.3.3	Kvalitative implikasjoner i forsvarsstrukturen	33
9	OPPSUMMERING	33
	Litteratur	35

SENSORSYSTEMER FOR STYRKEBESKYTTELSE – Teknologispill til FS 07

SAMMENDRAG

Styrkebeskyttelse står sentralt i alle militære operasjoner. Stabiliseringsfasen i Irak har med all tydelighet vist hvor sårbare både militære styrker og det sivile apparatet kan være selv etter en klar militær seier. Etter terrorangrepene i USA 11. september 2001 fremstår dessuten hensynet til samfunnsikkerhet som teknologidrivende på en helt annen måte enn før.

Den vestlige verden opplever som følge av dette vesentlige økninger i bevilgninger til både forskning, utvikling og anskaffelser innen sikringsystemer. Dette gjelder bl.a. utstyr for gjennomlysning av kjøretøyer/vesker/personer, systemer for deteksjon av eksplosiver og kjemiske stridsmidler, kameraovervåking og sensorgjerder og biometriske sensorer for gjenkjenning ogfølging av enkeltpersoner.

Sensorsystemer skal således kunne dekke et bredt spekter av oppgaver innenfor styrkebeskyttelse, som f.eks. adgangskontroll, ABC-overvåking, overvåking av leire og andre faste installasjoner og sikring av mobile avdelinger. Denne rapporten er imidlertid avgrenset til systemer for deteksjon av inntrengere i et sikret område, først og fremst en militær leir eller en midlertidig posisjon i felt.

Elektronisk overvåking blir bare i liten grad brukt for styrkebeskyttelse i Forsvaret i dag, men ventes å bli tatt i bruk i økende grad i fremtiden både i territorialforsvaret og i særlig grad under internasjonale operasjoner. Bruk av automatiske sensorsystemer for sikring av styrker i statiske posisjoner bidrar til økt overlevelsessevne og redusert personellbehov innen vakthold og sikring.

Rapporten tar for seg et utvalg av mekaniske, elektromagnetiske og elektrooptiske sensorer som kan brukes enkeltvis eller i kombinasjoner i komplette systemer for styrkebeskyttelse. Enkelte sensortyper og systemer kan også brukes for å fylle et oppklarings- og etterretningsbehov mht. egne operasjoner i felt (ISTAR).

Det ventes at prisen på relevant sensormateriell vil synke vesentlig i årene som kommer. Dette har sammenheng med den stadig økende sivile bruk av slikt utstyr for bl.a. sikring av industribygg, oljeraffinerier osv. Samtidig vil sensorene bli mer avanserte med hensyn til deteksjonsegenskaper, som et resultat av den generelle utviklingen innen elektronikk og signalbehandling. Fysisk størrelse, vekt og strømforbruk vil også bli redusert, mens nye kommunikasjonsløsninger vil gi mulighet til å overføre mer detaljert informasjon enn tidligere.

På mange områder er imidlertid selve sensortechnologien så etablert at ingen store nyvinninger kan ventes innenfor et tidsrom på 10–15 år. Dette gjelder i særlig grad mekaniske og i noen grad

elektromagnetiske sensorer. Nyvinningene ventes først og fremst å komme på signalbehandlings- og kommunikasjonssiden. Unntakene er enkelte elektrooptiske sensorer, i første rekke bildedannende sensorer (både visuelt og termisk) der man kan se for seg et vesentlig fremskritt i kamerateknologien i årene som kommer.

1 INNLEDNING

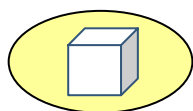
Denne rapporten er en av 20 rapporter om viktige teknologiområder ("Top20") (1) som inngår i leveransene fra FFI-prosjektet Tek14 – Teknologi og forsvar etter 2014 – til Forsvarsstudien 2007 (FS 07), og omfatter sensorer og sensorsystemer for bruk innen styrkebeskyttelse.

Styrkebeskyttelse står sentralt i alle militære operasjoner. Stabiliseringsfasen i Irak har med all tydelighet vist hvor sårbare både militære styrker og det sivile apparatet kan være selv etter en klar militær seier. Styrkebeskyttelse under internasjonale operasjoner blir tatt svært alvorlig (2), og det foregår betydelig forskning og utvikling på dette området.

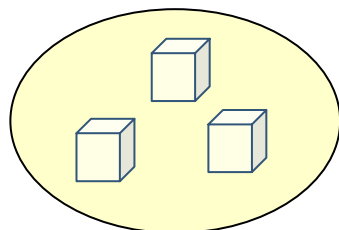
Denne rapporten omfatter i hovedsak sensormateriell og systemløsninger for sikring av en leir, et nøkkelobjekt eller en annen statisk posisjon (3). Dette inkluderer også autonome marksensorer som, selv om de har sin hovedanvendelse innen ISTAR, er godt egnet for sikringsformål i tilfeller der utstyret må være mobilt eller enkelt å flytte. Sensorsystemet skal bidra til styrkebeskyttelse gjennom å automatisk oppdage og varsle om fiendtlige inntrengere. Sensorer for deteksjon av nukleære, biologiske, kjemiske eller radiologiske trusler blir ikke behandlet her, heller ikke systemer for adgangskontroll eller søk etter våpen og eksplosiver osv.

Det skilles i hovedsak mellom tre ulike former for overvåking, hhv. objekt- område eller perimeterovervåking. Disse formene for overvåking kan benyttes innendørs, utendørs og i mange tilfeller også under vann. Alternativene er illustrert i figur 1.1.

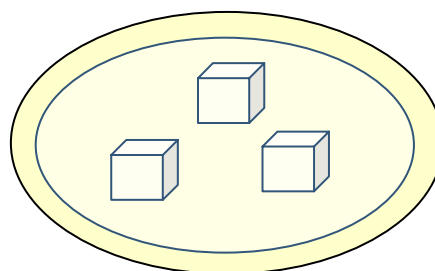
Objektovervåking



Områdeovervåking



Perimeterovervåking



Figur 1.1 Prinsipper ved elektronisk overvåking (overvåket område markert i gult).

Objektovervåking er observasjon av ett enkelt objekt innenfor et avgrenset område, der overvåkingen dekker selve objektet og området i umiddelbar tilknytning til dette. Det overvåkede området kan være markert eller umarkert, eventuelt avgrenset med et gjerde eller annet fysisk stengsel.

Såkalt *skallovervåking* er et spesialtilfelle av objektovervåking der man nøyer seg med observasjon av det ytre skallet til objektet. Dersom objektet er en bygning kan skallet bestå av dører, vegger, tak, gulv, vinduer osv. Sensorer kan være innfelt i skallet eller montert utenpå. Skall-overvåking av bygninger, samt innendørs overvåking, har stor sivil utbredelse, men utstyr for slik overvåking faller utenfor rammene av denne rapporten.

Områdeovervåking er observasjon av et større område med ett eller flere enkeltobjekter innenfor området. Sensorene dekker det definerte området, som kan ha vilkårlig geometrisk utbredelse. Sikringsobjektene er ofte omsluttet av overvåkingssonen, men ikke nødvendigvis alltid. Det overvåkede området kan være markert eller fysisk avgrenset.

Perimeterovervåking er i prinsipp observasjon av en grenselinje som vanligvis omslutter ett eller flere objekter. Inntrengere som krysser linjen observeres. Grenselinjen kan være markert med gjerde, nett eller lignende, men den kan også være helt umerket. Observasjonen skjer langs og i umiddelbar tilknytning til den definerte grenselinjen, hvilket vil si at observasjonssonen langs linjen har en endelig bredde. Sikringsobjektene er normalt ikke inneholdt i overvåkingssonen.

Perimeterovervåking vil være det mest nærliggende alternativ for sikring av en leir. Dette fordi overvåking av et stort antall enkeltobjekter innenfor leiren vil gi kort varslingstid og kunne bli svært kostbart, mens områdeovervåking blir vanskeliggjort av lovlig aktivitet innenfor leiren (sensorene kan ikke uten videre skille mellom inntrengere og eget personell). Den elektroniske overvåkingen bør derfor avgrenses til en veldefinert perimeter omkring det området som skal sikres.

Vanligvis vil det være snakk om deteksjon av personell til fots, men det kan også være av interesse å detektere kjøretøyer som nærmer seg leirområdet. For sikring av avsidesliggende objekter eller midlertidige stillinger i felt, kan deteksjon av kjøretøyer ha første prioritet. I så fall kan det være naturlig å overvåke veier som leder inn mot området som skal sikres, gjerne på stor avstand slik at man oppnår lengst mulig varslingstid.

Rapporten er organisert som følger: Kapittel 2 gir en innledning til elektronisk sikring for styrkebeskyttelse, mens en kort beskrivelse av aktuelle sensortyper er gitt i kapittel 3. Kapittel 4 beskriver bruken av slike sensorer for styrkebeskyttelse, mens kapittel 5 ser på kritiske teknologier innen elektronisk overvåking. Kapittel 6 skisserer systemytelser og kapittel 7 aspekter ved drift, logistikk og styring. Kostnader er angitt i kapittel 8, mens en oppsummering er gitt i kapittel 9.

2 ELEKTRONISK SIKRING

Elektronisk overvåking utføres ved hjelp av detektorer eller sensorer som registrerer en fysisk aktivitet som kan tyde på inntrenging eller forsøk på inntrenging. Detektoren er i denne sammenheng den enheten som registrerer hendelsen og omdanner den fysiske målestørrelsen til et elektrisk signal. Et sensorsystem består av en eller flere detektorer med tilhørende beslutningslogikk, dvs. logikk som primært gir alarm eller ikke alarm.

Det skiller mellom aktive og passive sensorer. *Aktive sensorer* sender ut energi, vanligvis i form av elektromagnetiske bølger i et gitt frekvensområde, og fanger deretter opp noe av energien som er reflektert fra omgivelsene. Alarm utløses dersom det oppstår en signifikant endring i det mottatte signalet, som kan være forårsaket av et fremmed objekt i deteksjonssonen. *Passive sensorer* reagerer på energi utstrålt fra inntrengeren eller utløst av inntrengerens aktivitet, og vil i seg selv ikke avgi stråling slik at de lett kan detekteres av fienden/inntrengeren. Av den grunn er passive sensorer mest vanlige i mobile systemer for feltetterretning (f.eks. marksensorsystemer), selv om utviklingen går i retning av mer bruk av aktive sensorer også i denne rollen. I overvåking av faste installasjoner brukes både passive og aktive sensorer, siden det sikrede området uansett vil være kjent for motparten.

Noe av hensikten med elektronisk overvåking for styrkebeskyttelse er å gi automatisk deteksjon så tidlig som mulig, slik at reaksjonsstyrkene får nødvendig tid til å rykke ut. Det er derfor en fordel å kombinere sensorer med fysiske hindringer der dette er praktisk mulig, dvs. et gjerde eller en barriere som forsinker inntrengeren og gir ekstra reaksjonstid. En kombinasjon av ulike sensortyper, f.eks. både frittstående og barriremonterte sensorer, vil ved hjelp av såkalt sensorfusjon kunne gi bedre sensorytelse og økt sikkerhet. Et eksempel (3) på en slik kombinasjon av fysisk hinder og elektronisk overvåking er vist i figur 2.1.



Figur 2.1 Pansret gjerde med sensorkabler på bakken foran gjerdet og på toppen av gjerdet (foto: WTD 91, Meppen, Tyskland).

Der det er behov for mer mobilt utstyr (sikring av midlertidige leiområder eller feltstillinger) kan det være mer aktuelt å benytte såkalte marksensorsystemer. Disse systemene består av batte-

ridrevne sensorenheter som kan utplasseres for hånd i terrenget omkring sikringsområdet, slik at det dannes en sammenhengende overvåkingsgate omkring området. Eventuelt kan sensorene plasseres langs veier eller traséer som leder inn mot området som skal sikres, dersom motparten mest sannsynlig vil rykke frem langs disse aksene.

Sensorenhetene sender meldinger om detektert aktivitet (personell eller kjøretøyer som passerer i nærheten av sensorene) over radio til en mottakerenhet som vaktmannskapene bærer med seg. Eksempler på marksensorer er vist i figur 2.2. Både marksensorsystemer og fastmonterte perimetersensorer beskrives nærmere i kapittel 4.



Figur 2.2 Eksempler på marksensorer. Bildet til venstre er en skisse av en akustisk marksensor for deteksjon og klassifisering av stridskjøretøyer (FFI). Bildet til høyre viser en seismisk marksensor (den kan også bruke en magnetisk sensor eller en passiv IR-detektor i tillegg) som er spesielt utviklet med tanke på sikring av midlertidige leiområder og feltstillinger (Thales). Denne sensoren er først og fremst beregnet for deteksjon av inntrengere til fots, men vil også kunne detektere kjøretøyer.

3 SENSORTYPER

3.1 Innledning

Ulike sensorer virker etter forskjellige fysiske prinsipper. Sensorene registrerer en fysisk størrelse eller endring av denne, for eksempel mekaniske krefter, elektriske felt, magnetfelt eller elektromagnetisk stråling. Enkelte sensorer er binære (AV/PÅ), og de detekterer kun hvorvidt situasjonen er normal eller unormal. Disse har ikke evnen til å skille mellom forskjellige kategorier av objekter. Eksempler er magnetkontakter for bruk i dører og vinduer. Andre sensortyper kan benytte signalnivået til å gi en indikasjon på objektets størrelse og eventuelt hastighet. Slike sensorer er vanlige i dagens sikrings- og overvåkingsystemer. Eksempler er vibrasjons- eller trykk-

følere og sensorer som registrerer endringer i elektromagnetiske felt. For perimeterovervåking kan slike sensorer graves ned i bakken eller monteres på et gjerde. Mer avanserte sensorsystemer foretar en nærmere analyse av signalene, f.eks. frekvensanalyse, for å gi bedre diskriminering mellom reelle alarmsituasjoner og annen ufarlig aktivitet.

Det finnes en rekke sensorsystemer på markedet som kan ha anvendelse innen perimeterovervåking av leirområder eller styrkebeskyttelse generelt (3, 4). Det meste av slikt utstyr er utviklet for sivile anvendelser og vil kreve tilpassinger for å være praktiske i militære anvendelser. Et unntak her er marksensorsystemer, som er utviklet spesielt for militær bruk.

Sensortypene som benyttes i slike løsninger kan ut fra det fysiske deteksjonsprinsippet grupperes i kategoriene:

- Mekaniske
- Elektromagnetiske
- Elektrooptiske.

Bruksmåten for de enkelte sensortypene vil avhenge av virkemåten. For perimeterovervåking vil enkelte sensorer være best egnet for montering på et gjerde eller en tyngre fysisk barriere. Andre vil være best egnet for å graves ned i bakken, mens noen bare vil fungere som frittstående sensorer på eller over bakken. Noen perimetersensorer krever rettlinjede grenselinjer med jevn overflate for å fungere tilfredsstillende, mens andre er terrengfølgende og egner seg bedre i kupert terreng.

Enkelte sensorer, f.eks. enkelte mekaniske sensorer, krever fysisk kontakt med mediet sensoren er plassert i eller strukturen den er festet til for at den skal gi alarm. Dette gjelder flere gjerde-monterte sensorer. Disse har derfor ingen deteksjonssone som strekker seg utenfor selve gjerdet. Andre sensortyper (bl.a. de fleste elektromagnetiske og elektrooptiske sensorer) er volumetriske, dvs. de vil registrere objekter som beveger seg innenfor en deteksjonssone av en viss romlig utstrekning.

De ulike sensorkategoriene blir gjennomgått nedenfor. For ytterligere detaljer om virkemåte og egenskaper henvises til (5, 6). Enkelte konkrete produkter som benytter disse sensortypene er beskrevet i (3, 4).

3.2 Mekaniske sensorer

Mekaniske sensorer registrerer forstyrrelser i gasser, væsker eller faste stoffer, i form av trykk, strekk, forflytning eller bølgebevegelser i mediet. Det finnes en rekke mekaniske sensorer som spenner fra enkle følere for statisk trykk til vibrasjonssensorer for måling av høyfrekvente signaler. De fleste må betraktes som lavteknologiske, og det forventes ikke noen store nyvinninger innen selve sensorteknologien for mekaniske sensorer. Eventuelle nyvinninger vil være å finne innen signalbehandlingen. Noen eksempler på sensortyper i denne kategorien er skissert i avsnittene nedenfor.

3.2.1 Snubletråder og brytere

Snubletråder har en lang historie som varslingssensor innen styrkebeskyttelse. De brukes fremdeles, men gjerne i kombinasjon med en elektrisk eller magnetisk bryter som utløses når tråden belastes eller kuttet. Bryteren er koblet til et elektronisk alarmsystem, ofte i kombinasjon med andre sensorer. Snubletråden kan spennes opp over bakken, ifm. midlertidig perimetersikring av et område, eller monteres på toppen av gjerde/fysisk barriere for mer permanent overvåking av et fast anlegg. Det finnes en rekke ferdige produkter av denne typen. Brytere har også stor utbredelse som sensorer i alarmsystemer for innbruddsdeteksjon (skallsikring), og monteres da på dører og vinduer for å registrere åpning av disse.

3.2.2 Trykkputer og trykkslanger

Disse sensorene registrerer endringer i statisk trykk forårsaket av mekanisk belastning. Sensorene vil typisk graves ned like under bakken i inngangspartier/passasjer eller langs en overvåket perimeter. Sensoren registrerer den ekstra belastningen som oppstår på bakken når en inntrenger beveger seg over sensoren. Trykkputer inneholder et såkalt *piezoelektrisk* materiale som genererer en elektrisk spenning når det belastes. Det finnes også større trykkfølsomme matter som inneholder en innvevd piezoelektrisk kabel. Slike matter kan legges ut på bakken og eventuelt dekket til med jord e.l. for å skjule dem for eventuelle inntrengere.

Trykkslanger er væskefylte gummislanger som graves ned i bakken. Slangene er koblet til en trykkmåler, slik at belastning på bakken fra et passerende objekt (f.eks. person eller kjøretøy) registreres som en trykkendring i slangene. Et slikt system gir god deteksjon av inntrengere, selv i tele og med moderate snømengder på bakken. Utplasseringen er imidlertid tidkrevende pga. de nødvendige gravearbeidene, slik at dette først og fremst er en aktuell løsning for perimeterovervåking av faste installasjoner.

3.2.3 Vibrasjonsfølsomme punktsensorer

Geofoner og akselerometre er eksempler på vibrasjonsfølsomme sensorer for nedgraving i bakken (geofoner) eller montering på et gjerde/bygning (akselerometre). Dette er punktsensorer som måler lokal hastighet eller akselerasjon på det stedet de er plassert. Sensorsignalene analyseres i en prosesseringsenhet, og alarm utløses på bakgrunn av signalnivå, frekvensinnhold og tidsforløpet til den mekaniske forstyrrelsen.

Geofoner er best egnet til å plukke opp de lavfrekvente overflatebølgene som typisk forplanter gjennom bakken. Akselerometre er mer egnet for bruk på bygningsskall (vegger, tak, dører) eller stive gjerder, for å registrere de mer høyfrekvente vibrasjonene som kan oppstå i slike strukturer. Enkelte systemer for skall- og gjerdemontering bruker imidlertid også geofoner.

For bruk i perimeterovervåking vil man være ute etter å detektere vibrasjoner som kan knyttes til en inntrenger, enten det nå er seismiske bølger forårsaket av en gående person (eller et kjøretøy) som passerer i nærheten, eller rystelser fra klatring på gjerder og husvegger, eventuelt bruk av verktøy for å trenge gjennom strukturen.

Geofoner brukes i eksisterende marksensorsystemer for deteksjon og klassifisering av personell og stridskjøretøyer vha. seismiske overflatebølger. Deteksjonsrekkevidden mot tunge kjøretøyer (stridsvogner) kan være 200–300 m under gode seismiske forplantningsforhold, og tilsvarende 10–20 m mot personell. Det finnes også ferdige alarmsystemer for geofonbasert perimeterovervåking. Enkelte av disse systemene er beregnet for bruk i bakken, andre for montering på stakittgjerder. Her benyttes sensorkjeder med noen få meters innbyrdes avstand mellom punktsensorene. Eksempler på seismiske sensorer er vist i figur 3.1.



Figur 3.1 Eksempler på seismiske sensorsystemer; marksensor med geofon (IDEWS, L-3 Communications) til venstre og perimetersensor med geofonkjede til høyre.

3.2.4 Vibrasjonsfølsomme kabler

Mekaniske bevegelser i bakken eller i faste strukturer kan også detekteres ved hjelp av vibrasjonsfølsomme kabler (ofte kalt mikrofonkabler). De fleste av disse er følsomme for bøyning, trykkbelastning, strekking og vridning forårsaket av mekaniske bølger i mediet/strukturen (piezoelektriske eller fiberoptiske kabler), enkelte også for bevegelse av selve kablen som helhet (induktive kabler). Direkte kabelbrudd, ved f.eks. sabotasje, blir selvsagt også detektert.

Slike kabler kan brukes som seismiske sensorer i bakken for deteksjon av personell og kjøretøyer, eller som vibrasjonssensorer på gjerder og bygninger for deteksjon av klatring og bruk av innbruddsverktøy. Kablene er følsomme i hele sin lengde slik at sammenhengende deteksjonssoner med lengder fra noen meter opp til titalls kilometer kan overvåkes under ett. Vanligvis er det ikke mulig å posisjonsbestemme en aktivitet mer nøyaktig enn til innenfor det området kablen dekker. Hvor mange enkeltkabler og analyseenheter som trengs for å overvåke en gitt perimeter vil derfor avhenge av hvor nøyaktig man ønsker å kunne lokalisere en inntrenger. Som perimetersensor i bakken vil slike kabler være mer tidkrevende å utplassere enn geofonkjeder, siden kablene må graves ned. Vibrasjonsfølsomme kabler vil derfor være mer egnet for sikring av faste installasjoner.

3.2.5 Passive akustiske sensorer

Passive akustiske sensorer registrerer lydbølger som forplantes gjennom luft eller vann fra målet til sensoren. Vi avgrensner oss her til luftakustikk, selv om undervannsakustisk overvåking av

f.eks. havneområder med passiv sonar er en svært aktuell problemstilling.

En luftakustisk sensor vil bestå av en eller flere mikrofoner koblet til en analyseenhet. Både kontinuerlige og impulsive lydkilder kan detekteres, eksempelvis stridskjøretøyer, fly, helikoptre, UAV, snikskytttere og artilleri. Også klassifisering, gjenkjenning, peiling, posisjonsbestemning og målfølgning er mulig, avhengig av måltype, avstand, sensorkonfigurasjon m.m. Deteksjonsrekkevidden kan være fra noe hundre meter til flere kilometer, avhengig av bl.a. måltype, terreng og meteorologiske forhold. Et eksempel på en luftakustisk sensorer er vist i figur 3.2.



Figur 3.2 Luftakustisk sensor for deteksjon og posisjonsbestemning av snikskytttere; bakkebasert system til venstre og mikrofonantenne montert på taket av pansret kjøretøy i bildet til høyre (PILAR, Metravib).

I likhet med de fleste mekaniske sensorer er passive akustiske sensorer uavhengige av fri sikt mellom mål og sensor, noe som er viktig ved overvåking i kupert og/eller skogbevokst terreng, og selvsagt også uavhengig av belysning og meteorologisk sikt.

Passive akustiske sensorer har flere mulige anvendelser innen styrkebeskyttelse generelt, f.eks. deteksjon av snikskytttere. Innenfor de problemstillinger som omfattes av denne rapporten vil det imidlertid være mest aktuelle å bruke dem som marksensorer for sikring av midlertidige feltstillinger. Enkle akustiske marksensorer finnes ikke på markedet i dag, men kan bli tilgjengelige i løpet av få år. FFI har bl.a. utviklet en prototyp av en slik sensor. En akustisk marksensorer vil kunne detektere bl.a. kjøretøyer (derimot ikke personell) som nærmer seg stillingen, og da med større deteksjonsrekkevidde enn det som typisk kan oppnås med dagens marksensorsystemer.

Passiv akustikk brukes også i enkelte innendørs alarmsystemer. Slike systemer opererer enten i det hørbare frekvensområdet eller på ultralydfrekvenser, og lytter etter aktivitet som kan skrive seg fra innbrudd (knusing av vinduer, bruk av verktøy, generell aktivitet i rommet m.m.).

3.2.6 Aktive akustiske sensorer

Aktive akustiske sensorer brukes i enkelte alarmsystemer for innendørs overvåking (innbrudds-deteksjon). Slike systemer består av sendere og mottakere som opererer i ultralydområdet, typisk 20–30 kHz. Sender og mottaker er vanligvis bygget inn i samme enhet. Mottakeren fanger opp det reflekterte signalet fra vegger, gulv, tak og inventar i rommet. Et objekt som beveger seg inn i rommet vil forårsake en endring av det reflekterte signalet. Alarm utløses dersom endringen har en størrelse og et forløp som tyder på innbrudd.

Ultralydsensorer har liten anvendelse utendørs pga. svært kort rekkevidde i dette frekvensområdet. På lavere (hørbare) frekvenser vil en slik “akustisk radar” lett bli forstyrret av naturlig bakgrunnsstøy.

Aktive sonarsystemer er i utstrakt bruk for overvåking under vann, og kan brukes til perimeterovervåking mot sjøsiden ved havner og industrianlegg (f.eks. oljeraffinerier). Slike sensorer faller imidlertid utenfor rammen av denne rapporten.

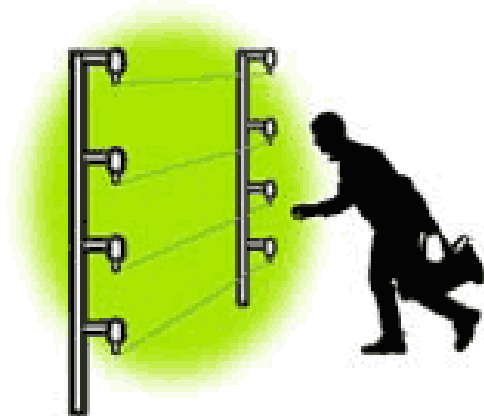
3.3 Elektromagnetiske sensorer

Til denne kategorien hører passive sensorer som registrerer relativt langsomme endringer i elektriske eller magnetiske felt, og aktive sensorer basert på elektromagnetisk stråling i radio- og mikrobølgeområdet. Sensorene kan dels monteres på et gjerde eller en fysisk barriere, dels benyttes som frittstående perimetersensorer, og kan detektere både personell og kjøretøyer.

Avsnittene nedenfor beskriver de vanligste typene i denne kategorien. Dette er eksempler på *volumetriske* sensorer, dvs. sensorer med et deteksjonsfelt av en viss romlig utstrekning, i motsetning til f.eks. gjerdemonterte vibrasjonssensorer der gjerdet må berøres for at alarm skal utløses.

3.3.1 Elektriske sensorer

Elektriske sensorer (såkalte elektrisk-felt sensorer og kapasitive sensorer) består av to eller flere parallelle ledninger koblet til en konstant eller oscillerende spenningskilde med tilhørende analyseenhet. Ledningene kan være spent opp mellom frittstående stolper eller mellom utriggere på et gjerde (se figur 3.3).



Figur 3.3 Illustrasjon av elektrisk feltsensor (Intelli-FIELD, Senstar-Stellar).

Det oppstår et lavfrekvent eller statisk elektrisk felt mellom ledningene innbyrdes eller mellom ledningene og jord, som kan være selve gjerdet eller bakken under. Feltet, som har en romlig utstrekning omkring ledningene, endres når elektrisk ledende objekter (mennesker, dyr, kjøretøyer osv.) beveger seg i nærheten. Derved endres også signalnivået i ledningene (elektrisk-felt systemer) og kapasitansen mellom ledningene og jord (kapasitive systemer). Sensorsystemet måler endringene og utløser alarm når nivået og tidsforløpet tyder på at en inntrenger befinner seg i overvåkingssonen.

3.3.2 Magnetiske sensorer

En magnetisk sensor (magnetometer) måler det lokale magnetfeltet, dvs. summen av det jordmagnetiske feltet og feltet fra magnetiske objekter i nærheten av sensoren. En magnetisk sensor vil detektere ferromagnetiske (i første rekke jernholdige) objekter, der materialet er magnetisert av det jordmagnetiske feltet. Sensorsignalet analyseres mht. feltstyrke og hurtighet i endringer, for å gi alarm om eventuelle passerende objekter.

Sensoren kan legges på bakken eller graves ned. Plassert i en veikant eller langs en overvåket perimeter, vil den detektere passerende kjøretøyer og personell som bærer med seg våpen/utstyr. Deteksjonsavstanden avhenger av mengden av magnetiserbart materiale i målet, fra i overkant av 20 m for tungt pansrede kjøretøyer (f.eks. stridsvogner) til et par meter for bevæpnet personell.

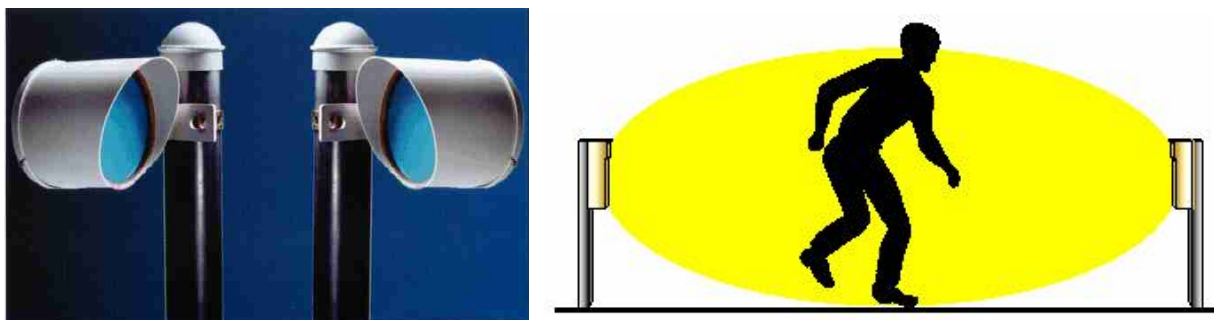
Magnetiske sensorer inngår i dagens marksensorsystemer (se avsnitt 4.5), og har anvendelse innen styrkebeskyttelse, spesielt for overvåking av veier inn mot egen leir eller statisk posisjon.

3.3.3 Radar og mikrobølgesensorer

Radarsystemer består av sendere og mottakere for elektromagnetisk stråling i radio- og mikrobølgeområdet. Deteksjon er basert på reflektert stråling fra målobjektet. Senderen emitterer pulser som reflekteres fra målet. Noe av energien i pulsen reflekteres tilbake til mottakeren. Styrken på den mottatte refleksjonen vil avhenge av avstand, målets størrelse og målets overflateegenskaper. Metalliske (elektrisk ledende) objekter gir kraftigst refleks. Retningen til målet er gitt av orienteringen til radaren i øyeblikket (radaren vil normalt sveipes mekanisk eller elektronisk for å dekke et stort område). Avstanden bestemmes ved å måle gangtiden for pulsen fra sender til målet og tilbake til mottakeren. I en såkalt *Dopplerradar* vil også objektets radielle hastighet kunne måles. Dette vil i seg selv bedre deteksjonsevnen mot bevegelige mål, ved å bruke hastighetsinformasjonen til å skille disse fra bakgrunnen.

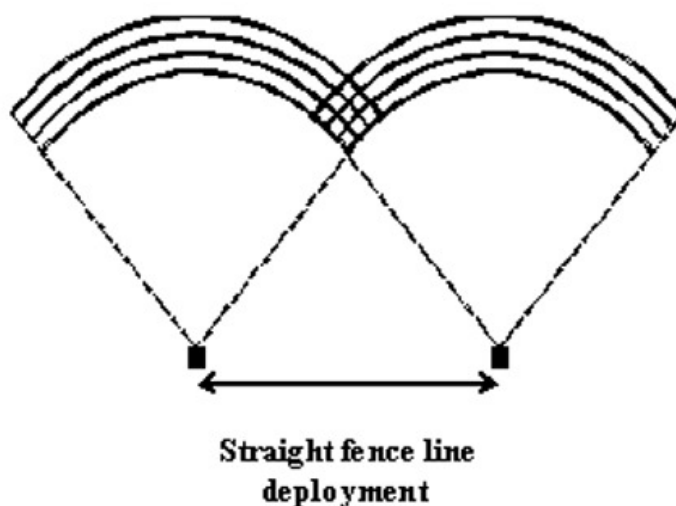
Det finnes en rekke systemer på markedet utviklet for militære formål. Radarsystemer egnet for bruk i styrkebeskyttelse benytter typisk frekvenser i området 1–20 GHz, dvs. bølglengder i området 1,5–30 cm (mikrobølgeområdet). Lavere frekvenser gir økt rekkevidde, men på bekostning av større antenne og lavere oppløsning. På høyere frekvenser blir den atmosfæriske absorpsjonen betydelig, og rekkevidden derved svært kort.

Et radarsystem kan være *bistatisk*, med sender og mottaker som separate enheter plassert på forskjellige steder, eller *monostatisk*, med sender og mottaker i samme enhet. Bistatiske systemer for perimeterovervåking består av sendere og mottakere plassert etter hverandre langs perimeteren for å detektere objekter som passerer mellom enhetene (se figur 3.4). Objektet vil her skjerme for strålingen fra senderen slik at mottakeren registrerer et tap i signalnivå.



Figur 3.4 Bistatisk radar (mikrobølgesensor) for perimeterovervåking (Intelli-WAVE, Senstar-Stellar).

Enkelte monostatiske systemer har et 360° synsfelt for områdeovervåking, mens andre kun dekker en smalere sektor. De sistnevnte kan brukes til perimeterovervåking ved å plassere dem etter hverandre langs perimeteren med synsfeltet rettet utover, for å detektere inntrengere som beveger seg inn mot det sikrede området. Et eksempel på en slik perimeterradar er vist i figur 3.5. Denne radaren har en horisontal åpningsvinkel på ca. 90° . Det finnes også radarsystemer med programmerbar åpningsvinkel.



Figur 3.5 Monostatisk radar for perimeterovervåking (QUPID, Curtiss-Wright). Sensorene kan settes etter hverandre langs perimeteren for å gi en sammenhengende deteksjonssone, som vist i skissen til høyre.

Høy falsk alarmrate er et generelt problem med de fleste radarsystemer, hovedsakelig pga. nedbør og vegetasjon eller løse objekter i synsfeltet som beveger seg i vinden. Systemer for prime-

terovervåking har imidlertid vist seg å ha *både* høy deteksjonssannsynlighet og lav falsk alarmrate (3). Dette forutsetter imidlertid at overvåkingsgaten følger forholdsvis flatt terreng og ryddes jevnlig for vegetasjon, snø og eventuelle løse gjenstander.

3.3.4 Lekkasjekabler

En lekkasjekabel er en koaksialkabel med perforert ytre leder, slik at et radiosignal som sendes gjennom kabelen delvis lekker ut i omgivelsene mens radiobølger i omgivelsene til en viss grad trenger inn i kabelen.

Et lekkasjekabelsystem består typisk av to parallelle kabler, der den ene kabelen er koblet til en radiosender og den andre til en mottaker. Sender og mottaker, som normalt opererer et sted mellom 30 og 200 MHz, er vanligvis bygget inn i én enhet sammen med sensorsystemets prosessor.

Senderkabelen “lekker” radiobølger ut i omgivelsene, og noe av den utstrålte energien fanges opp av mottakerkabelen. Organiske objekter (mennesker og dyr) og metalliske gjenstander (kjøretøyer m.m.) som beveger seg i nærheten av kablene, forstyrrer bølgefeltet og gir en endring i signalet som fanges opp av mottakerkabelen. Alarm blir utløst når endringen er tilstrekkelig stor og tilstrekkelig hurtig. Følsomheten til systemet kan justeres slik at man unngår alarmer fra f.eks. små dyr.

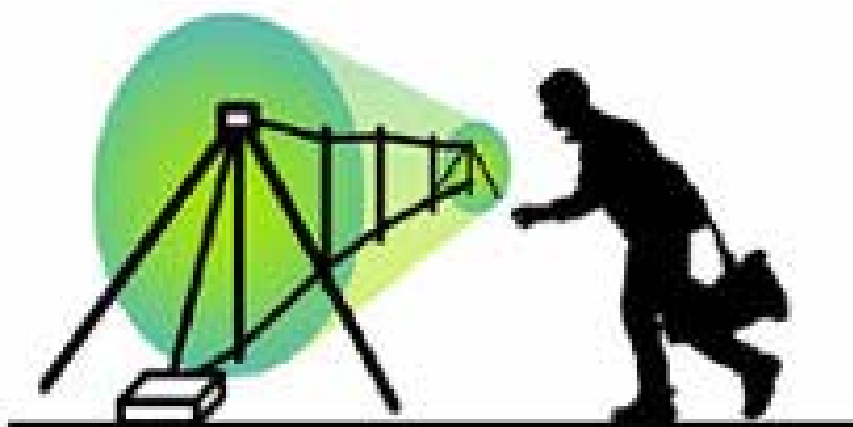
Slike lekkasjekabler kan utnyttes i perimetrovervåking som en sensor på bakken (se figur 3.6), som en nedgravd sensor eller som en gjerdesensor. Lekkasjekabler gir ved riktig montering og bruk generelt høy deteksjonssannsynlighet og lav falsk alarmrate.



Figur 3.6 Lekkasjekabler. Deteksjonsfelt for par av kabler på bakken er skissert i figuren til venstre. Bildet til høyre viser et portabelt lekkasjekabelsystem for å dekke en 100 m lang deteksjonssone (PSP-100, Auratek Security).

3.3.5 Koblet bølgeleder

Koblede bølgeledere benytter samme fysiske deteksjonsprinsipp som lekkasjekabler. Et slikt system består av en vanlig strømførende kabel (ikke koaksialkabel) som er spent opp ca. 1 m over bakken (se figur 3.7).



Figur 3.7 Koblede bølgeleder (Repels, Senstar-Stellar). Typisk deteksjonssone mht et voksent menneske er markert i grønt.

En radiosender er koblet til den ene enden av kabelen og en mottaker med analyseenhet til den andre. Kabelen stråler derved radiobølger ut i omgivelsene. Den elektromagnetiske vekselvirkningen mellom bølgefeltet og eventuelle inntrengere fører også her til en endring i signalnivået på mottakersiden. Alarm utløses når endringen er tilstrekkelig stor og/eller hurtig. Systemet vil typisk gi en deteksjonssone med en diameter på ca. 2 m med hensyn til en voksen person.

3.4 Elektrooptiske sensorer

Med elektrooptiske sensorer menes vanligvis sensorer som benytter seg av høyfrekvente elektromagnetiske bølger, fra millimeter- og submillimeter-området, via det infrarøde, til det visuelle området. I tillegg til å detektere ved strålebrudd eller endring i innstråling fra hele sensorens synsfelt (kan skyldes emisjon og/eller refleksjon fra objekter i synsfeltet), er det her mulig å konstruere billedannende sensorer som generelt gir mer informasjon om inntrengeren enn det som kan oppnås med mekaniske og elektromagnetiske sensorer. Aktuelle elektrooptiske sensorer for perimeterovervåking er beskrevet nedenfor.

3.4.1 Aktive infrarøde sensorer

Strålebrudddeteksjon basert på aktiv IR brukes i elektroniske overvåkingssystemer, både innendørs og utendørs. Infrarøde stråler fra lysdioder i en senderenhet fanges opp av fotoceller i en tilsvarende mottakerenhet. Objekter som passerer mellom sender og mottaker detekteres ved at strålene brytes midlertidig.

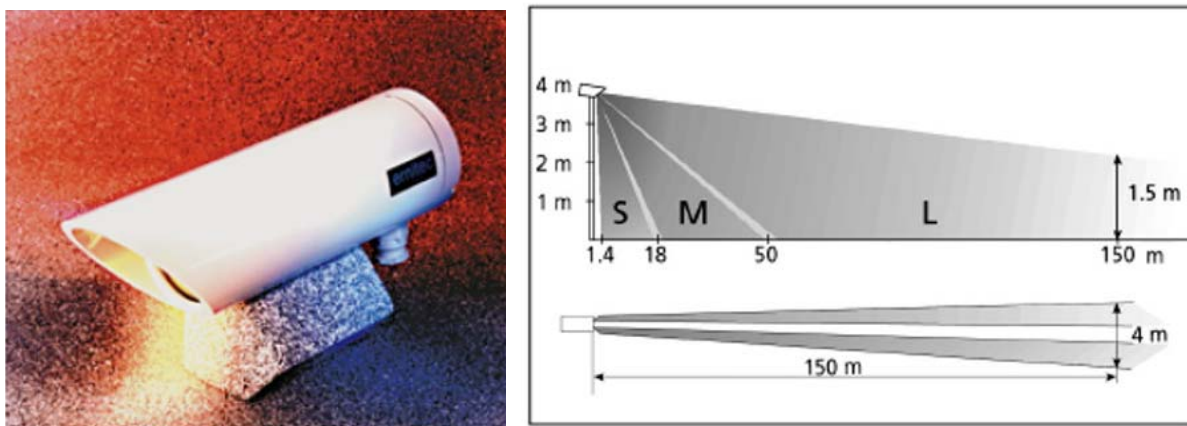
For perimeterovervåking kan flere par av sendere og mottakere settes etter hverandre, slik at det dannes et sammenhengende sensorgjerd langs perimeteren. Rekkevidden for aktive infrarøde sensorer (maksimal avstand mellom sender og mottaker) kan være opp til et par hundre meter, avhengig av systemets konstruksjon. Terreng- og siktforhold vil imidlertid være begrensende faktorer ved utendørs bruk.

Enkelte systemer benytter infrarød laser, der laserstrålen spres ut i et plan (vifteform) for å detektere objekter som krysser planet. I slike systemer er sender og mottaker montert i samme en-

het, og laserstrålene reflekteres fra en såkalt “retroreflektiv tape” festet til f.eks. en husvegg for å avgrense deteksjonssonen.

3.4.2 Passive infrarøde sensorer

Passiv infrarød (PIR) deteksjon er basert på den termiske egenstrålingen til objekter som beveger seg gjennom sensorens synsfelt. Mennesker og kjøretøyer er vanligvis varmere enn bakgrunnen, slik at PIR-sensoren registrerer en økt innstråling når slike objekter kommer inn i synsfeltet. I andre tilfeller kan den termiske kontrasten være reversert, men det er uansett tidsvariasjonen til den mottatte strålingen som ligger til grunn for deteksjon.



Figur 3.8 Passiv infrarød detektor med to smale synsfelt (Eagle PIR-250, Ernitec).

PIR-sensorer brukes i stor grad i innendørs alarmsystemer for innbruddsdeteksjon. Det finnes også egne PIR-sensorer for utendørs perimetrovervåking (se eksempel i figur 3.8). Disse har ett eller ofte to mye smalere synsfelt enn det som er vanlig i infrarøde sensorer for innendørs bruk. Tilsvarende (men mer kompakte) PIR-detektorer brukes også i marksensorsystemer for deteksjon av personell og kjøretøyer. Rekkevidden for utendørs PIR er i praksis opp til 100–150 m, men dårlig sikt og tap av termisk kontrast ved kraftig nedbør kan redusere yteevnen betraktelig.

3.4.3 Bildedannende sensorer

3.4.3.1 Videokameraer og termiske infrarøde kameraer

I kamerabaserte overvåkingssystemer benyttes bildedannende sensorer som avbilder scenen i synlig lys eller termisk IR. En rekke løsninger finnes på markedet. Disse benytter i dag praktisk talt utelukkende dagslyskameraer, slik at kunstig belysning er nødvendig for å oppnå nattkapasitet. Termiske IR-kameraer vil imidlertid bli mer aktuelle i de nærmeste årene, etter hvert som prisen på ukjølte kameraer synker. For øyeblikket koster de rimeligste kameraene omkring 100 000 NOK.

Uavhengig av kameratype kan de eksisterende løsningene grupperes i manuelle systemer, “Video Motion Detection” (VMD) systemer og “Video Intrusion Detection” (VID) systemer.

Manuelle systemer krever en kontinuerlig overvåking av en operatør, og er således uegnede for automatisk overvåking og varsling. I VMD-systemer blir kamerabildene analysert av en bildebehandlingsmaskin som detekterer endringer i bildene og gir alarm dersom endringene sannsynligvis skriver seg fra objekter som beveger seg i det overvåkede området. I noen slike systemer foretas en klassifisering av objekter til én av flere mulige klasser (mennesker, biler, dyr, bakgrunnsstøy osv.). Denne ekstra informasjonen utnyttes i alarmhåndteringen, men pga. forenklinger i signalbehandlingen har dagens systemer likevel kort deteksjonsrekkevidde og relativt høy falsk alarmrate.

VID-systemer benytter mer kompleks bildeanalyse, som i dag kan utføres med standard maskinvare, slik at objektklassifisering og alarmgivning blir langt sikrere. Fremfor alt blir falsk alarmraten svært lav, fordi systemet i langt større grad kan skille mellom virkelige inntrengere og annen (tilsynelatende) aktivitet som ville ha gitt alarm i et VMD-system. Securesone fra Sentry Security¹ er et eksempel på et slikt VID-system. Dette systemet er forøvrig basert på FFI-teknologi (3, 4).

3.4.3.2 Laser-Radar avbildning

Et LADAR-kamera kan enkelt sagt sees på som en laser-avstandsmåler som måler avstanden mellom sensoren og punkter i scenen og setter disse sammen til et avstandsbilde. Avstandsbildet kan igjen konverteres til punkter i et kartesisk koordinatsystem. Styrken på laserrefleksjonen benyttes til å lage et intensitetsbilde. På bakgrunn av avstandsbildet estimeres bakkeplan, og de enkelte punktenes høyde i forhold til dette måles. Dermed genereres 3D-informasjon som kan danne grunnlag for å detektere og gjenkjenne interessante objekter i scenen.

LADAR-kameraer bygger vanligvis opp bilder ved at det sender ut ladarpulser til ulike deler av scenen.² Derved tar det noe tid å bygge opp et bilde (tilsvarende som for IR-teknologien for 20 år siden). Kommersielle systemer er i dag tilgjengelige. Maksimalavstand er i praksis på rundt 500 meter for det beste av disse, og de genererer ikke bildene i sanntid (avstander beregnes for 2000—8000 piksler pr. sekund). Prisen er også i dag svært høy (> 1 MKr). Både bildegenerering i sanntid (bildefrekvensen bør være minimum 3 Hz) og langt lavere sensorpris må være på plass før teknologien kan få anvendelse i styrkebeskyttelse. Vi har vondt for å se at dette vil skje i løpet av de neste 10—15 årene.³

3.4.3.3 Hyperspektral avbildning

Det har nå blitt teknologisk mulig å lage kameraer som registrerer detaljert informasjon om ly-

¹ <http://www.sentrysecurity.no/>

² Det finnes et kommersielt tilgjengelig system for sanntidsavbildning (opp til 10—15 Hz) av en scene i tre dimensjoner. Rekkevidden er imidlertid ikke mer enn ca. 10 meter, noe som skyldes både utsendt lysmengde og målemetode. Den romlige oppløsningen er heller ikke stor (64x64 piksler). Det er store utviklingsoppgaver som gjenstår før denne teknologien vil få noen praktisk anvendelse i styrkebeskyttelse. Både rekkevidde og oppløsningen må bli vesentlig bedre. Vår vurdering er at dette ikke skjer innenfor denne rapportens tidshorisont. For mer informasjon henvises det til <http://www.canesta.com>

³ Det finnes i dag utviklingsprogrammer for missiler med LADAR-sensorer (f.eks. LAM), men disse sensorene er rimeligvis ikke tilgjengelige.

sets spektrum i hvert punkt i bildet. Dette kalles *hyperspektral avbildning*. Typiske hyperspektrale kameraer oppløser hundretalls ulike bølgelengder, mens et konvensjonelt fargekamera bare deler lyset inn i tre brede spektralbånd (øyets primærfarger). Hyperspektrale bilder inneholder følgelig mye mer informasjon om scenen, noe som gir nye muligheter for automatisk bildeanalyse. For eksempel er det mulig å detektere objekter ved at de har spektrale egenskaper som avviker fra naturlig bakgrunn, uavhengig av objektets form eller omriss. Det er også mulig å søke etter objekter med bestemte kjente spektrale signaturer.

Dagens teknologi er for en stor del linjescannende, slik at eksponeringstiden blir relativt lang i forhold til konvensjonelle kameraer. Med tanke på styrkebeskyttelse, er det imidlertid verdt å merke seg at scanfrekvensen er såpass høy (typisk 100 Hz) at en likevel vil kunne få dannet et bilde av scenen i løpet av ett sekund. På dagtid vil bruk av hyperspektral avbildning gi en sikker deteksjon av “unormaliteter” (anomalier) som på bakgrunn av et bilde fra et konvensjonelt kamera kan verifiseres av en operatør. På nattestid må scenen opplyses – hvilket reduserer sensorens “attraksjonsverdi”, eventuelt kan en sensor basert på hyperspektral avbildning i IR-båndet benyttes for å oppnå døgkontinuerlig overvåking. Sensorer som opererer i IR-båndet er i dag tilgjengelige – om enn ikke kommersielt. Dersom prisen på sensorer for hyperspektral avbildning blir så lav at de blir konkurransedyktige med andre velfungerende sensorer, er det en mulighet for at de vil kunne få anvendelse innen styrkebeskyttelse i løpet av de neste 10–15 årene.

4 SENSORSYSTEMER FOR STYRKEBESKYTTELSE

4.1 Innledning

De fleste av sensortypene beskrevet i foregående kapittel benyttes både sivilt og militært i eksisterende elektroniske sikringssystemer, men da hovedsakelig for overvåking av faste installasjoner. Mange slike kommersielt tilgjengelige systemer benytter imidlertid bare én enkelt sensortype, og gir derfor utilstrekkelig sikringsnivå for de fleste anvendelser innen styrkebeskyttelse. Dette kapitlet tar for seg gevinsten ved å fusjonere informasjonen fra to eller flere sensorer, og skisserer ulike systemløsninger i form av sensorkombinasjoner for både frittstående og gjerde-montert (barrieremontert) perimetrovervåking av leirer.

Det totale overvåkingssystemet for en leir kan bestå av ett av disse undersystemene, eller av begge to. I en slik kombinert løsning vil hensikten med de frittstående sensorene først og fremst være å gi et forvarsel om forsøk på å forsere barrieren. Det vil i så fall være gunstig å ha et ytre gjerde (eventuelt en juridisk grense) utenfor overvåkingsgaten, for å redusere muligheten for falske alarmer fra tilfeldig aktivitet nær leirområdet. Denne nøytrale sonen kan utrustes med personell- og kjøretøyhindringer for å gi ytterligere forsinkelse av inntrengeren.

Marksensorsystemer for sikringsanvendelser med større behov for mobilitet blir også presentert. Valget av system vil uansett være bestemt av trussel, sikringskrav, lokale forhold (klima, topografi osv.) m.m. Alle løsninger vil ikke være like egnet i alle sammenhenger.

Det sensormateriell som er tilgjengelig i dag er hovedsakelig beregnet på overvåking av faste anlegg og installasjoner i fredstid. Her kan utstyret monteres permanent og forholdene kan tilrettelegges for å sikre optimal ytelse til enhver tid. Styrkebeskyttelse stiller strengere krav mht. mobilitet og hurtig utplassering, samt høy sensorytelse under svært varierende forhold.

De overordnede kravene til et sensorsystem for styrkebeskyttelse er:

- Sensorsystemet skal fungere natt og dag, på alle tider av året og under alle forventede værforhold på stedet. Det bør således være tatt hensyn til de bakke, terreng og klimatiske forhold som kan forekomme på alle aktuelle etableringssteder.
- Systemet må også være robust mot mottiltak (narring eller jamming), og ha mekanismer for hurtig alarmverifikasjon.
- Systemet må videre være utformet slik at det er lett og kompakt mht. frakt, raskt å montere og enkelt å bruke med et minimum av opplæring. Kostnadene ved anskaffelse og drift bør også være så lave som mulig.

FFI har studert mulige overvåkingskonsepter og tilhørende sensorløsninger gjennom prosjektet “Euclid CEPA 3, RTP 3.24 – New structures and materials for military camps out-of-area”, som var et samarbeid mellom industri og forskningsinstitutter i Nederland, Danmark, Tyskland, Tyrkia og Norge (3, 4). Målsettingen var her å utvikle nytt materiell for både fysisk og elektronisk sikring av leirer i internasjonale operasjoner. Bl.a. skulle man komme frem til konkrete løsninger i form av sensorpakker som oppfyller forutsetningene ovenfor. Disse løsningene (4) er basert på et utvalg av sensortypene som er beskrevet i kapittel 3.

4.2 Sensorfusjon

Sammenliknet med å bruke én enkelt sensor, har bruk av systemer med flere sensorer, av samme eller forskjellig type, mange fordeler. Et multisensorsystem måler generelt flere fysiske egenskaper ved et objekt enn det én enkelt sensor kan gjøre. Dette gir mulighet til forbedret ytelse, bl.a. i form av økt deteksjonssynlighet og/eller redusert falsk alarmrate.

Flere sensorer av *forskjellig type* gir komplementær informasjon, slik at systemet vil være vanskeligere å narre. Flere sensorer av *samme type* gir økt redundans, slik at systemet vil være mer robust overfor feil i enkeltsensorer. Generelt gir bruk av flere sensorer også bedre mulighet til klassifisering og identifikasjon av trusler, og posisjonsbestemming og følgning av mål.

Gevinsten ved sensorfusjon avhenger av hvor avanserte teknikker det brukes i fusjoneringen (i dagens systemer er fusjonsmetodikken vanligvis så primitiv at en forbedring i deteksjonssannsynligheten går på bekostning av falsk alarmraten og omvendt). Ulike fusjonsmetoder anvendt på kombinasjoner av sikringssensorer er beskrevet i (7).

Sensorfusjon benyttes imidlertid bare i liten grad i eksisterende løsninger. I den grad flere sensortyper benyttes samtidig i det hele tatt, integreres disse i en felles alarmsentral der det er opp

til observatøren selv å foreta den endelige fusjonen av sensorinformasjonen.

4.3 Gjerdemonterte perimetersensorer

Det finnes en rekke ferdige sensorsystemer for montering på gjerder, murer eller vegger. Her benyttes vanligvis vibrasjonfølsomme kabler (mikrofonkabler eller optiske fibere), seismiske punktsensorer (geofoner), elektriske sensorer og lekkasjekabler (3, 4).

I prosjektet RTP 3.24 (se avsnitt 4.1) ble det bl.a. gjort forsøk med ulike sensorløsninger bestående av mikrofonkabler eller akselerometre i et pansret gjerde, kombinert med lekkasjekabler på toppen av gjerdet (se figur 4.1). Hensikten med vibrasjonssensorene i barrieren var å detektere klatring på, eller forsøk på å bryte gjennom gjerdet. Sensorene på toppen av barrieren hadde som formål å utvide den effektive overvåkingssonen i høyden, for å gjøre det vanskeligere å klatre over gjerdet uten å bli detektert. Sensorkonsepter og forsøksresultater er beskrevet i (4).



Figur 4.1 Pansret gjerde med lekkasjekabler (FSP-100, Auratek) på toppen (t.v.) og mikrofonkabel (Defensor, Geoquip) på baksiden av gjerdet (t.h.). Bilder fra forsøk med perimetersystem utviklet i RTP 3.24 (foto: WTD 91, Meppen, Tyskland).

4.4 Frittstående eller nedgravde perimetersensorer

Frittstående sensorer kan brukes sammen med, eller i stedet for gjerdemonterte sensorer. En kombinasjon av frittstående og gjerdemonterte systemer vil normalt gi bedre ytelse og høyere sikkerhet. Dersom frittstående sensorer plasseres utenfor den fysiske barrieren, vil man også oppnå økt reaksjonstid og derved full utnyttning av den tidsforsinkelsen barrieren har til hensikt å gi. Kommersielt tilgjengelig utstyr i denne kategorien benytter i stor grad infrarøde sensorer (både passive og aktive), seismiske sensorer (geofoner som stikkes ned i bakken), trykkslanger, mikrofonkabler, lekkasjekabler, videokameraer, infrarøde kameraer og radarsystemer.

I RTP 3.24 ble det utviklet konsepter med lekkasjekabler, passiv IR, geofoner og automatisk videoovervåking (se figur 4.2). Sensorkonsepter og forsøksresultater er beskrevet i (4).



Figur 4.2 Overvåkingsgate på utsiden av gjerdet i figur 4.1, med lekkasjekabler på bakken og overvåkingskamera og PIR-detektor på plattform i bakgrunnen. I bildet til venstre gjør to soldater et mislykket forsøk på å forsere overvåkingsgaten. Nærbilde av kamera og PIR-detektor til høyre (foto: WTD 91, Meppen, Tyskland).

4.5 Marksensorysystemer

For sikringsoppgaver der det er større krav til mobilitet, er såkalte marksensorysystemer mer aktuelle enn de løsninger som er beskrevet ovenfor. Slike systemer består av små, lette, batteridrevne enheter som utplasseres for hånd (8). Eksempler på hylleware i denne kategorien er REMBASS-II⁴, CLASSIC 2000⁵ og EIDS⁶.



Figur 4.3 Marksensorysystemet EIDS (Eagle Intrusion Detection System, Eagle Telonics). Bildet til venstre viser sensorenheten (bakerst) og de tre sensortypene som kan kobles til enheten, hhv. magnetometer (til venstre), PIR-detektor (i midten) og geofon (til høyre). Bildet til høyre viser infrarød detektor kamouflert av vegetasjon.

Disse systemene benytter enten seismiske sensorer (geofoner eller nedgravde mikrofonkabler), PIR-detektorer eller magnetiske detektorer (se figur 4.3). Akustiske marksensorysystemer kan også komme på markedet i løpet av få år (se avsnitt 3.2.5). Selve sensoren kobles til den batteridrev-

⁴ <http://www.L-3Com.com/cs-east>

⁵ http://www.thales-communications.ltd.uk/classic_2000.htm

⁶ <http://www.telonics.com/intrusion.html>

ne analyseenheten (sensorenheten) som kan ligge utplassert i autonom tilstand i opp til flere uker. Enheten inneholder en VHF-radiosender som sender meldinger om detekterte objekter (personell eller kjøretøy) til en håndholdt eller stasjonær mottaker som er felles for alle sensor-enheter i systemet.

Marksensorer kan benyttes både som taktiske sensorer for overvåking av fiendtlig trafikk lang veier eller traséer i terrenget, så vel som for perimeterovervåking omkring nøkkelpunkter, faste installasjoner eller midlertidige leirer. Slike trådløse sensorsystemer kan forøvrig kommunisere med fremtidige KKI-systemer på soldatnivå, slik at de kan inngå i det planlagte soldatnettverket, og derved inngå i NbF.

5 KRITISKE TEKNOLOGIOMRÅDER

Det kan ikke forventes at det oppdages nye fysiske prinsipper som kan taes i bruk for overvåkingsformål i løpet av de neste 10–15 år. Videre bygger de mest aktuelle sensortypene med få unntak på såpass veletablert teknologi at man heller ikke kan regne med noen vesentlige sensortechniske nyvinninger. Noen hovedretninger man i stedet kan anta at utvikling vil følge er (8):

- Ytterligere arbeider for å optimalisere informasjonsinnholdet fra flere typer sensorer i kombinasjon, dvs. *sensorfusjon*.
- Videreutvikling av algoritmer og teknikker for *signalbehandling* for bedre å kunne utnytte informasjonen fra de ulike sensorene.
- Utvikling av lettere og mer "*deployerbare*" systemer, som er enkle og raske å montere, og som kan fungere mer eller mindre autonomt og overføre informasjon på en rask og sikker måte.
- Utvikling av gode *brukergrensesnitt* for å presentere den stadig voksende informasjonsstrømmen for sluttbrukerne, på en slik måte at man kan dra nytte av den tilgjengelige informasjonen i stedet for å bli blindet av den.
- Integrering av sensorinformasjon i de *nettverk* som fremtidens soldatsystemer vil basere seg på.

På disse områdene vil man først og fremst dra nytte av den generelle, kontinuerlige utviklingen innen elektronikk og datateknikk, i form av ny maskinvare med større datakraft, mindre vekt og volum, lavere energiforbruk og lavere pris (MEMS-teknologi kan eksempelvis åpne for nye sensoranvendelser i årene som kommer).

Ett av unntakene der det kan ventes forbedringer i de nærmeste årene er konstruksjonen av infrarøde kameraer (også kalt termiske kameraer og varmekameraer). Her har det vært en klar utvikling de siste årene mot enklere, billigere og mer kompakte kameraer. Det forventes at denne utviklingen vil fortsette, noe som åpner for mer utstrakt bruk av termiske kameraer innen overvåking og varsling. Siden slike kameraer gir nattkapasitet uten bruk av kunstig belysning, vil dette eksempelvis åpne for bruk av kameraovervåking i marksensorsystemer slik at det kan oppnås

rask verifikasjon av alarmer generert av andre sensorer i systemet.

Laser-Radar (LADAR) og multi-/hyperspektral avbildning er også lovende teknologier. Begge oppviser et stort potensial i militære anvendelser. De vil kunne få praktiske anvendelser innen styrkebeskyttelse, men da først et godt stykke inn i fremtiden.

6 YTELSER

Tidligere i rapporten er det gitt en oversikt over mulige sensortyper og komplette systemer for deteksjon av inntrengere i et sikret område. Hva slags sensorsystem man skal velge for en gitt anvendelse er imidlertid bestemt av en rekke faktorer.

Kravene til systemytelse vil bl.a. avhenge av beskaffenheten til det sikrede området (militær leir, midlertidig feltstilling osv.), dimensjonerende trussel (tyver, sabotører, terrorister, regulære tropper etc.), sikringsbehov (bestemt av bl.a. operativ og økonomisk verdi), lokale forhold (områdets beliggenhet i forhold til bebyggelse og veier, topografi, grunnforhold og typiske værforhold kan legge føringer på valg av sensortyper) og ikke minst kostnadsrammer.

Viktige ytelsesparametere som det må tas hensyn til ved valg av en konkret sensorløsning er:

- Deteksjonssannsynlighet; sannsynligheten for at en inntrenger blir detektert innenfor sensorens deteksjonssone.
- Falsk alarmrate; antall feilaktige eller uønskede alarmer pr. dag, måned eller år, forårsaket av sensorenes egenstøy, vær fenomener, gjenstander som blåser med vinden, fugler, dyr og annet.
- Sårbarhet; sensorens følsomhet overfor påtrykte (tilsynelatende falske) alarmer og andre jammetiltak som ødelegger deteksjonsevnen (også fysisk ødeleggelse).
- Kostnad; kostnader ved anskaffelse, installasjon, opplæring, vedlikehold og drift av systemet.
- Logistiske forhold; systemets størrelse og vekt, tids- og ressursforbruk ved montering, brukervennlighet, krav til opplæring osv.

Deteksjonssannsynlighet og falsk alarmrate vil virke motstridende, slik at økt deteksjonssannsynlighet (økt sensorfølsomhet) generelt gir høyere falsk alarmrate. For enkelte sensortyper kan imidlertid en nærmere analyse av sensorsignalene gi tilleggsinformasjon om årsaken til alarmen, slik at man oppnår bedre diskriminering mellom falske/uønskede og reelle alarmer. Bruk av avansert sensorfusjon kan også gi økt ytelse (7).

Deteksjonsegenskapene for de mest aktuelle sensortypene er oppsummert i tabell 6.1. Her er deteksjonsevne, jammeresistens og falsk alarmrate angitt på en kvalitativ skala fra 1 til 5, der 1 er svært dårlig, 2 er dårlig, 3 er middels, 4 er bra og 5 er svært bra. Høy jammeresistens betyr lav sårbarhet, og omvendt. Tilsvarende betyr god karakter på falsk alarmrate at sannsynligheten for

falsk alarm er liten. Bruksmåte for sensortypene er også angitt, dvs. gjerdemontert, frittstående eller plassert på bakken (nedgravde sensorer er ikke tatt med).

Sensortype	Bruksmåte	Deteksjonsevne	Jamming	Falsk alarm
Seismisk punktsensor	Bakke	1–4	3	3
Vibrasjonsfølsom kabel	Gjerde	1–4	3	3–4
Elektrisk feltsensor	Gjerde	2–5	2	3
Monostatisk radar	Frittstående	4–5	2	2–5
Bistatisk radar	Frittstående	4–5	2	3
Lekkasjekabel	Bakke	4–5	2	2–5
Lekkasjekabel	Gjerde	4	2	3
Koblet bølgeleder	Frittstående	1–5	2	3
Aktiv IR	Frittstående	2–4	5	4–5
Passiv IR	Frittstående	1–3	4	3
Kamera (TV/TIR)	Frittstående	3–5	4	3–5

Tabell 6.1 Deteksjonsegenskaper for de mest aktuelle sensortypene, med angivelse av deteksjonsevne, motstandsdyktighet mot jamming/narring og falsk alarmrate. Angivelsene er på en skala fra 1 (svært dårlig) til 5 (svært bra).

Som man ser av tabellen vil alle sensorer virke godt under gode forhold, men for enkelte sensortyper kan det være store variasjoner. Eksempelvis vil seismiske sensorer være avhengige av godt jordsmonn for å gi tilfredsstillende deteksjon, mens koblet bølgeleder kan narres av en inntrenger som kjenner systemet. Videre vil passiv IR gi lav deteksjonsrate i fuktig vær.

Alle sensorer har svake sider. Konsekvensene av disse svakhetene kan reduseres ved å benytte flere sensortyper som fungerer etter forskjellige fysiske prinsipper, slik at de utfyller hverandre.

Forsøk med, og generelle vurderinger av ulike sensortyper viser at:

- Seismiske punktdetektorer (geofoner) fungerer godt når jordsmonnet er velegnet til å overføre rystelser. I eksempelvis sandholdig grunn blir rekkevidden kort.
- Vibrasjonsfølsomme sensorer på gjerde gir høy deteksjonssannsynlighet og lav falsk alarmrate, men krever at gjerdet blir berørt under innbruddet (inntrengeren kan derfor unngå deteksjon ved å omgå selve gjerdet).
- Radarer fungerer godt og gir høy deteksjonssannsynlighet. Falsk alarmraten er også lav i en statisk scene. Er det bevegelser i scenen, f.eks. vegetasjon eller løse gjenstander som beveger seg i vinden, vil falsk alarmraten kunne bli høy.
- Lekkasjekabler er svært følsomme; deteksjonssannsynligheten er høy, men sensoren har også høy falsk alarmrate fra aktivitet i nærheten av kablene. Sensoren kan narres/settes

ut av spill av en kunnskapsrik inntrenger.

- Koblet bølgeleder fungerer godt overfor inntrengere som ikke er kjent med virkemåten. Inntrengere med kjennskap til systemet vil ikke ha vanskeligheter med å passere udetektert. Falsk alarmraten er lav.
- Aktiv IR gir høy deteksjonssannsynlighet dersom inntrengeren faktisk krysser overvåkingsgaten (en inntrenger som bryter de infrarøde strålene *blir* detektert). Dersom inntrengeren derimot klarer å omgå strålene, gis *ingen* deteksjon (inntrengeren vil lett kunne se hvor deteksjonssonen er). Falsk alarmraten er lav, forutsatt at det ikke er mye husdyr eller ville dyr i området.
- Passiv IR fungerer bra under middels til gode forhold, men gir kort rekkevidde i dårlig sikt og tap av deteksjonsevne ved kraftig nedbør. Høy falsk alarmrate kan oppstå pga. (ofte vindgenererte) variasjoner i bakgrunnen.
- Videoovervåking fungerer svært bra, forutsatt tilstrekkelig sikt og belysning (kunstig belysning eller termisk kamera er alternativer). En høyere falsk alarmrate kan påregnes under vanskelige værforhold (tett snøvær, vegetasjon og løse gjenstander som beveger seg i vinden osv.).

En kombinasjon av vibrasjonsfølsomme kabler, lekkasjekabler og automatisk kameraovervåking vha. sensorfusjon, vil gi svært god deteksjonssannsynlighet og lav falsk alarmrate. En slik kombinasjon er derfor lagt til grunn for kostnadsestimatene som er presentert i kapittel 8.

Dersom kameraer *ikke* inngår som en sensor, vil en operatør likevel kunne ha behov for kamerainformasjon for å *verifisere* alarmer generert av andre sensorer. Dette vil særlig være aktuelt hvis det er lang avstand til sensorene (i forhold til tilgjengelig tid for verifisering av alarm) eller sensorene er utilgjengelig (f.eks. i en feltetterretningskontekst). Hvis kameraer uansett trengs for verifikasjon, vil det være fornuftig også å bruke bildeinformasjonen til deteksjon slik at kameraet fungerer som en automatisk sensor i seg selv.

For å kunne bruke kameraer som sensor i et trådløst system (f.eks. et marksensorsystem) vil lokal prosessering av kamerabildene være nødvendig pga. den begrensede båndbredden til kommunikasjonslinken. Eksisterende marksensorer har ikke tilstrekkelig regnekraft til dette, men dette er fullt ut realiserbart med dagens teknologi. Marksensorer med kameraer (først og fremst termiske kameraer) vil derfor kunne bli tilgjengelig i løpet av få år (se kapittel 5).

7 DRIFT – LOGISTIKK – UTDANNING

Et sensorsystem for styrkebeskyttelse vil være forholdsvis enkelt og lite arbeidskrevende å drifte. En overvåkingsgate omkring et leiområde vil kunne kreve noe vedlikehold, avhengig av hva slags sensorer som er brukt. Det kan f.eks. være nødvendig å rydde gaten for snø vinterstid, eller fjerne oppvoksende vegetasjon om sommeren. Noe teknisk ettersyn og vedlikehold av kabler og sensorer kan også være nødvendig, men dette antas ikke å utgjøre noen vesentlig kostnad. Mark-

sensorer krever svært lite vedlikehold i første linje utover bytting/lading av batterier (batterilevetiden for slike systemer kan være opp til flere uker).

Dagens utstyr er ikke dimensjonerende hva logistikk angår. Riktignok vil et kabelbasert system for perimeterovervåking være forholdsvis stort og tungt, med sensorkabler og kabler for strømforsyning og signaloverføring, men dette vil likevel utgjøre lite i forhold til materiell for fysisk beskyttelse av det samme leirområdet. Det antas at utviklingen i de neste 10–15 år går i retning av batteridrevne, trådløse systemer, med sensornær prosessering av rådata. Dette vil i så fall gi en betydelig reduksjon av størrelse og vekt på slike systemer. Marksensorsystemer er allerede svært lette og kompakte; et typisk patruljesett (3–5 sensorenheter og én mottaker) kan lett bæres i ryggsekk av én soldat alene.

Systemer av den typen som er beskrevet her krever et minimum av utdanning og trening. Et typisk marksensorsystem har vist seg å ha en opplæringstid på under én time. Et perimetersystem kan det ta noe lengre tid å bli kjent med, men de fleste av dagens (og fremtidens) soldater vil lære seg alle viktige funksjoner i et slikt system tilnærmet på egenhånd i løpet av et par timer. Montering/deployering av sensorsystemer (både perimetersystemer og marksensorsystemer) læres raskt ved enkel instruksjon på stedet av befal som har vært med på å sette opp systemet tidligere.

8 KOSTNADSOVERSLAG

8.1 Innledning

Dette kapitlet gir kostnadsoverslag for teknologien som er presentert i rapporten. Det er kun ment å gi en idé om kostnadenes størrelsesorden, og må på ingen måter oppfattes som en absolutt kostnadsberegning. Generelt er estimering av investerings- og driftskostnader forbundet med høy usikkerhet. De kostnadsestimatene som er presentert her, er ment å brukes som en del av beslutningsgrunnlaget for hvilke teknologier en bør prioritere i den videre utviklingen av forsvarsstrukturen. Estimatenes er ikke ment til investerings- eller budsjetteringsformål.

I kostnadsberegningene er det utført en analyse av kostnadene over hele systemets levetid, en såkalt Life Cycle Cost (LCC) - analyse. Kostnadene knyttet til investering, drift (inkludert vedlikehold), oppdateringer/oppgraderinger, direkte personellkostnader og avhendingskostnader er estimert. Nærmere beskrivelse av metodikk for kostnadsberegningene finnes i egen rapport (9).

8.2 Valgte alternativer

Separate kostnadsoverslag er utarbeidet for de to hovedtypene av sikringsystemer som behandles i denne rapporten, dvs. perimetersensorsystemer (alternativ 1) og autonome marksensorsystemer (alternativ 2).

Disse systemene har til oppgave å alarmere styrkene om fiendtlig personell eller kjøretøyer som

trenger inn i egen leir eller nærmer seg en statisk posisjon der egne styrker er deployert. Alternativ 1 omfatter systemer for sikring av faste installasjoner, f.eks. permanente eller semipermanente leirområder, mens alternativ 2 består av lett og mobilt utstyr som er godt egnet til sikring av midlertidige feltstillinger.

Kostnadsestimatene er basert på to leirer i internasjonale operasjoner i perioden frem til 2020. Det antas at alternativ 1 og 2 vil bli brukt sammen, dvs. at det er behov for ett perimetersensorsystem pr. leir, supplert av ett marksensorsystem (5 marksensorer og én sentralenhet) for mobile anvendelser utenfor leirområdet.

8.3 Kostnadsberegninger

8.3.1 Forutsetninger

Følgende antakelser er gjort:

Alternativ 1: Perimetersensorsystem

- Sikring av én leir betyr utstyr til å sikre leirens omkrets på antatt 1200 m i lengde.
- Det er beregnet kostnader for to leirer (dette er basert på Norges reelle styrkebidrag i internasjonale operasjoner pr. 2006).
- Anskaffelsespris pr. meter er 200 EUR. Prisen inkluderer vibrasjonsfølsomme kabler i det fysiske hinderet (gjerdet) omkring leiren, lekkasjekabler på toppen av gjerdet, lekkasjekabler på bakken i en overvåkingsgate utenfor gjerdet, og ett VID-system som overvåker den samme gaten.
- I omregningene er det benyttet en valutakurs for EUR på 8,00.
- Driftskostnadene er antatt å være 10 % av anskaffelseskostnaden.
- Systemet har en antatt levetid på 10 år.

Alternativ 2: Marksensorer

- 5 sensorenheter og en sentralenhet utgjør ett marksensorsett.
- Anskaffelsespris for marksensorer og sentralenhet er antatt å være 5000 EUR pr. stykk.
- I omregningene er det benyttet en valutakurs for EUR på 8,00.
- Driftskostnadene er antatt å være 10 % av anskaffelseskostnaden.
- Systemet har en antatt levetid på 10 år.

8.3.2 Kostnader – tall og figurer

Alternativ 1: Perimetersensorsystem

Totalkostnadene for perimetersystem for to leire i internasjonale operasjoner er 7,7 mill. NOK for 10 år. Investeringskostnadene utgjør 3,8 mill. og de årlige driftskostnadene er 0,4 mill. NOK. Etter 10 år må eventuelt hele systemet reanskaffes. Tabell 8.1 viser kostnadene for hvert år av systemets levetid.

År	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Investering	3.844	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Drift	384	384	384	384	384	384	384	384	384	384
Totalkostnader	4.228	384	384	384	384	384	384	384	384	384

Tabell 8.1 Årlige kostnader for systemet (alternativ 1 – perimetersensorer). Beløpene er i 1000 NOK (2005).

Alternativ 2: Marksensorer

Totalkostnadene for marksensorer for to sett av marksensorer (ett sett består av 5 sensorer og 1 sentralenhet) til internasjonale operasjoner er 1 mill. NOK for 10 år. Investeringskostnadene utgjør 0,5 mill. og de årlige driftskostnadene er 50 000 NOK. Etter 10 år må eventuelt hele systemet reanskaffes. Tabell 8.2 viser kostnadene for hvert år av systemets levetid.

År	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Investering	480	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Drift	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48
Totalkostnader	528	48	48	48	48	48	48	48	48	48

Tabell 8.2 Årlige kostnader for to sensorsett (alternativ 2 – marksensorer). Beløpene er i 1000 NOK (2005).

8.3.3 Kvalitative implikasjoner i forsvarsstrukturen

Forsvaret har ikke noe utstyr i dag som vil bli erstattet av disse nye systemene. Materiell omfattet av alternativ 1 er ikke i bruk i dag. Materiell omfattet av alternativ 2 blir i noen grad benyttet i internasjonale operasjoner, men da først og fremst i ISTAR-rollen.

Brukt innenfor styrkebeskyttelse vil slikt utstyr bidra til redusert risiko for styrkene og lavere kostnader knyttet til tap av materiell ved f.eks. tyveri og sabotasje.

Personellbehovet innenfor overvåking og sikring vil også bli redusert i forhold til dagens struktur, siden sensorsystemene kan overta en stor del av disse oppgavene uten tap av sikringsnivå. De årlige merkostnadene knyttet til sensorsystemene er forøvrig av samme størrelsesorden som kostnadene ved én soldat i internasjonale operasjoner.

Systemene kan driftes med liten personellinnsats. Utdanningsbehovet er minimalt og vil ikke medføre ekstra kostnader. Det blir heller ikke noe vesentlig endret logistikkbehov ved introduksjon av slikt materiell. Disse aspektene er beskrevet nærmere i kapittel 7.

9 OPPSUMMERING

Rapporten gir en oversikt over mulige sensortyper og sensorsystemer for styrkebeskyttelse. Dette omfatter materiell for perimeterovervåking av leirer i internasjonale operasjoner og marksensorsystemer for dekking av mer kortvarige sikringsbehov. Sensorytelse, kostnader og logistiske aspekter blir også behandlet.

Introduksjon av slikt materiell i forsvarsstrukturen, spesielt med tanke på bruk i internasjonale operasjoner, vil kunne gi gevinst i form av økt sikkerhet for personell, redusert tap av materiell ved tyveri og sabotasje og redusert personellbehov til vakthold og sikring. Reduksjon av kostnader er i seg selv en god begrunnelse for å anskaffe sensorsystemer. Slikt utstyret er generelt *svært billig* i forhold til annet materiell som trengs ved en utenlandsoperasjon. Eksempelvis vil de årlige kostnadene ved elektronisk perimetersikring av en leir tilsvare utgiftene til én enkelt vaktsoldat. Imidlertid skal man heller ikke se bort fra den sikkerhetsmessige gevinsten som ligger i tidlig varslings om innbrudd i leir eller anslag mot egne styrker i felt. Sensorinformasjonen vil i slike situasjoner også være nyttig med tanke på en rask og effektiv reaksjon mot inntrengere. Ved trådløs overføring av sensormeldinger, slik det er vanlig i dagens marksensorsystemer, kan sensorene forøvrig kommunisere direkte med fremtidige KKI-systemer på soldatnivå, slik at de kan inngå i det planlagte soldatnettverket.

Man kan ikke regne med store sensorteknologiske nyvinninger i de neste 10–15 år for den typen systemer som er beskrevet i rapporten. Videreutviklingen vil sannsynligvis først og fremst finne sted på elektronikk- og programvaresiden. Dette vil kunne gi mer kompakte systemer, som i større grad består av batteridrevne enheter med trådløs kommunikasjon. Prosesseringskapasiteten vil også øke betydelig, og gi rom for langt mer avansert signalbehandling slik at informasjonen i sensorsignalene kan utnyttes bedre.

I hvilken grad slike nyvinninger vil kunne nyttiggjøres med tanke på anskaffelser omkring 2010 er usikkert. Her må man sannsynligvis basere seg på eksisterende materiell. Dagens marksensorsystemer kan tas i bruk slik de er, og man kan heller ikke regne med noen videreutvikling av betydning i de nærmeste årene. For perimeterovervåking finnes det en rekke produkter på markedet. De fleste av disse systemene er imidlertid basert på én enkelt sensortype og er hovedsakelig konstruert for sivile anvendelser. Her bør det utvikles en egen sensorpakke, med fusjon av flere sensortyper, som er spesielt tilrettelagt for bruk innen styrkebeskyttelse.

Litteratur

- (1) Kråkenes Tony, Eggereide Bård, Wahl Terje (2005): *(U) Tek14: Viktige, militærteknologisk inspirerte temaer for Forsvarets langtidsplanlegging ("Top20")*, FFI/RAPPORT-2004/03955, Forsvarets forskningsinstitutt (Begrenset).
- (2) Syvertsen Knut, Fjeldly Tor Alexander (2005): *(U) Materiell for beskyttelse og sikring av leire i internasjonale operasjoner, Del 1 – Materiell for fysisk beskyttelse*, FFI/RAPPORT-2005/00306, Forsvarets forskningsinstitutt (Begrenset).
- (3) Dyrdal Idar, Palm Hans Christian (2005): *(U) Materiell for beskyttelse og sikring av leire i internasjonale operasjoner, Del 2 – Materiell for elektronisk overvåking*, FFI/RAPPORT-2005/01857, Forsvarets forskningsinstitutt (Begrenset).
- (4) Palm Hans Christian, Dyrdal Idar, Braathen Bjørn, Hugsted Bjørn (2005): *(U) Evaluation of sensor systems for perimeter surveillance – results from EUCLID RTP 3.24 field trial in Meppen*, FFI/RAPPORT-2005/01853, Forsvarets forskningsinstitutt (In Confidence).
- (5) Dyrdal Idar, Grinaker Stein, Helgesen Lars Harald, Jødahl Hege Kristin, Synnes Stig Asle, Tveit Bjørn (2000): *(U) Evaluering av overvåkingssensorer for sikring av forsvarets anlegg, Bind 1*, FFI/RAPPORT-2000/00215, Forsvarets forskningsinstitutt (Konfidensielt).
- (6) Dyrdal Idar, Grinaker Stein, Helgesen Lars Harald, Jødahl Hege Kristin, Synnes Stig Asle, Tveit Bjørn (2000): *(U) Evaluering av overvåkingssensorer for sikring av forsvarets anlegg, Bind 2*, FFI/RAPPORT-2000/00216, Forsvarets forskningsinstitutt (Konfidensielt).
- (7) Palm Hans Christian (2004): *Fusjon av informasjon fra perimeterovervåkingssensorer*, FFI/RAPPORT-2004/01721, Forsvarets forskningsinstitutt.
- (8) Gran Hans Christian, Berger Tor, Dyrdal Idar, Busmundrud Odd, Pedersen Bjørn (2002): *Overvåkings- og sikringssystemer for MFU03*, FFI/RAPPORT-2002/04122, Forsvarets forskningsinstitutt.
- (9) Jacobsen Therese Høy, Gulichsen Steinar (2006): *Teknologiinnspill til FS 07 – metodikk og kostnadsestimater*, FFI/RAPPORT-2006/00828, Forsvarets forskningsinstitutt.