

FFI RAPPORT

MULTISTATISK CW RADAR - KONSEPT

JOHNSEN Terje, OLSEN Karl Erik, JOHNSRUD Steinar,
GUNDERSEN Rune, BJORDAL Halvor, TANSEM Ivar, SØRNES Per

FFI/RAPPORT-2002/01767

FFIE/726/170

Godkjent
Kjeller 28 mai 2002

John-Mikal Størdal
Forskningsjef

MULTISTATISK CW RADAR - KONSEPT

JOHNSEN Terje, OLSEN Karl Erik, JOHNSRUD Steinar,
GUNDERSEN Rune, BJORDAL Halvor, TANSEM Ivar,
SØRNES Per

FFI/RAPPORT-2002/01767

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-2002/01767	2) SECURITY CLASSIFICATION UNCLASSIFIED	3) NUMBER OF PAGES 23
1a) PROJECT REFERENCE FFIE/726/170	2a) DECLASSIFICATION/DOWNGRADING SCHEDULE -	
4) TITLE MULTISTATISK CW RADAR - KONSEPT MULTISTATIC CW RADAR - CONCEPT		
5) NAMES OF AUTHOR(S) IN FULL (surname first) JOHNSEN Terje, OLSEN Karl Erik, JOHNSRUD Steinar, GUNDERSEN Rune, BJORDAL Halvor, TANSEM Ivar, SØRNES Per		
6) DISTRIBUTION STATEMENT Approved for public release. Distribution unlimited. (Offentlig tilgjengelig)		
7) INDEXING TERMS IN ENGLISH: IN NORWEGIAN:		
a) <u>radar</u>	a) <u>radar</u>	
b) <u>radar transmitters</u>	b) <u>radarsendere</u>	
c) <u>radar receiver</u>	c) <u>radarmottager</u>	
d) _____	d) _____	
e) _____	e) _____	
THESAURUS REFERENCE: INSPEC 1999		
8) ABSTRACT A technical concept study of digital multistatic radar has been executed in project 726. The concept is based on the use of a number of low cost lightweight transmitters and an advanced high-priced passive receiver unit. In an ARM attack the separation of transmitter and receiver ensures the safety of the radar operators that are located at the receiver. The efficiency of jamming is reduced as the receiver is not co-located with the transmitter. At the same time, using several transmitters increases the probability of detection of a target as different illumination angles result in scattering towards the receiver of different amount of energy.		
9) DATE 28. May 2002	AUTHORIZED BY This page only John-Mikal Størdal	POSITION Director of Research

ISBN 82-464-0629-9

UNCLASSIFIED

SECURITY CLASSIFICATION OF THIS PAGE
 (when data entered)

INNHOOLD

	Side	
1	INNLEDNING	7
1.1	Bistatisk Radar - Historikk	7
2	MULTISTATISK RADAR	8
2.1	Systemets sårbarhet for ARM	9
2.2	Deteksjon av objekter med lavt radartverrsnitt, RCS	10
2.3	Elektroniske mottiltak	11
2.4	CW signaler på spredt spektrum	12
2.5	Utplassering, dekning og loper	13
2.6	Synkronisering av sendere og mottager	17
2.7	Eksempler fra bruk av bistatisk radar	19
3	OPPSUMMERING OG KONKLUSJON	20
	Litteratur	22
	Fordelingsliste	23

MULTISTATISK CW RADAR - KONSEPT

1 INNLEDNING



Figur 1.1 Illustrasjonen viser en multistatisk radar hvor to senderenheter med brede lober belyser et passerende missil, mens den passive mottagerens smale lobe fanger opp spredt energi fra det belyste volumet.

Prosjekt 726, Digital Multistatisk Radar, har arbeidet både teoretisk og praktisk med et multistatisk radarkonsept. Prosjektet har utviklet en sender- og en mottagerenhet som er brukt til å gjøre bistatiske målinger. Denne rapporten fokuserer på konseptet og gir ikke detaljerte beskrivelser av den utviklede bistatiske radaren (demosystem), målinger eller andre verktøy for utplassering og lobeinnstilling som er dokumentert i andre rapporter fra prosjektet ((2)-(9)). Denne rapporten fokuserer på grunnleggende tanker og erfaringer opparbeidet gjennom arbeidet med prosjekt 726.

1.1 Bistatisk Radar - Historikk

Bi- og multistatiske radarer har vært i fokus i flere perioder gjennom historien. Tidlige eksperimenter med radar i 1920 og 30-årene gjorde bruk av adskilt sender og mottager med kontinuerlig utsendt signal (Continuous Wave - CW) (1). Det kan således sies at radar i utgangspunktet var bistatisk. Eksperimenter ble utført i flere land: USA, England, Tyskland,

Sovjet, Italia og Japan. Oppfinnelsen av duplekseren gjorde at hovedfokus ble rettet mot monostatisk pulsed radarer. I perioden 1950-60 ble det igjen oppmerksomhet rundt bistatisk radarsystemer og det ble utviklet forskjellige bi- og multistatistiske systemer for deteksjon av satellitter og ballistiske missiler, hvorav flere med høy effekt og lave frekvenser (MHz-området). Utviklingen av missiler som navigerer mot mål belyst med en radar fra bakken, er også en viktig bruk av bistatisk radar som ble tatt fram i denne perioden. Neste periode med interesse rundt bi- og multistatisk radar kom i perioden 1975-85, med bakgrunn i utviklingen av radarheimende missiler (Anti Radiation Missiles - ARM) og bruken av jammestrober. I dag er interessen rundt bistatisk radar igjen tilstede. Hovedinteressen er nå rettet mot Passive Coherent Location (PCL), hvor en passiv mottager bruker eksisterende signalkilder (for eksempel TV, FM) som kilder til å haik på. Utviklingen har gitt vesentlig økt regnekraft, økte minnestørrelser og raskere databusser som åpner for nye muligheter som ikke var tilstede tidligere, både for PCL og for bistatisk radar generelt.

2 MULTISTATISK RADAR

En bi- og/eller multistatisk radar har kompleksiteter ved seg som monostatisk radarer ikke har. Sender og mottager har ulike synsfelt som må tilpasses observasjonsområdet, deteksjonsavstander ved konstante signal til støyforhold følger generelt ikke sirkelbaner, men kan beskrives ved de såkalte Cassini ovaler. Mål som detekteres med en gitt forsinkelse av utsendt signal tilsvarer en avstand (isorange) som kan ligge på en ellipse rundt sender-mottager par og ikke på en sirkel som i det monostatisk tilfellet. En kontur med konstant dopplerforskyvning er dessuten geometrihengig. Kompleksiteter som dette samt økte kostnader ifbm anskaffelsen av to eller flere enheter har vært medvirkende årsaker til at så få bi- og multistatistiske radarsystemer har blitt realisert.

Prosesseringskraft og annen hardware og software teknologi blir hele tiden raskere og bedre. Tanken er derfor at senderenheter i en bi- og/eller multistatisk radar kan gjøres vesentlig mindre med dagens og fremtidens teknologi. Dette vil gjøre enhetene lette å utplassere med snøscooter, feltkjøretøy eller eventuelt bæres ut. Med reduserte kostnader per enhet og med de fordelene et slikt system har, vil en multistatisk radar kunne komme i betraktning ved en fremtidig oppgradering for eksempel av luftvernet. I dette konseptet ser vi for oss at senderne er så rimelige at vi kan ha mange operative utplasserte enheter med en eller et fåtalls påkostede mottagere. En vesentlig fordel er at mottageren er passiv. Den er dermed vanskelig å detektere og blir derfor ikke utsatt for eventuelle mottiltak. Personell er kun utplassert ved mottageren og er dermed ikke utsatt for ARM angrep. Senderen på dagens system har en utgangseffekt på 1W. Om dette signalet detekteres av et vanlig jagerfly i dag er usikkert. Antallet sendere samt prisen, gjør at systemet har en viss seighet, tap av en sender degraderer systemet i liten grad, samt at nye sendere kan utplasseres etter behov. Jamming mot systemet har heller ikke den samme effekten som mot en monostatisk radar. Det forventes at lavsignaturtiltak optimalisert mot monostatisk radarer ikke er tilsvarende effektive mot et radarsystem med bistatisk konfigurasjon. Systemet vil dermed ha bedre egenskaper for å oppdage stealth-mål (4). Sentrale deler av konseptet vil bli belyst mer utfyllende i punktene videre.

2.1 Systemets sårbarhet for ARM

En konvensjonell monostatisk radar sender et pulset eller kontinuerlig signal med betydelig effekt. Dette kan detekteres på relativt lang avstand da det her kun er enveis propagasjon. Våpen kan så anvendes for å ta ut radaren. Bruken av ARM, se Figur 2.1, er en alvorlig trussel for radarsendere, noe som resulterer i at bruken av radaren i visse tilfeller reduseres til et minimum.



Figur 2.1 Bildet viser en ARM av typen AS-17 'Krypton' (Kh-31P)

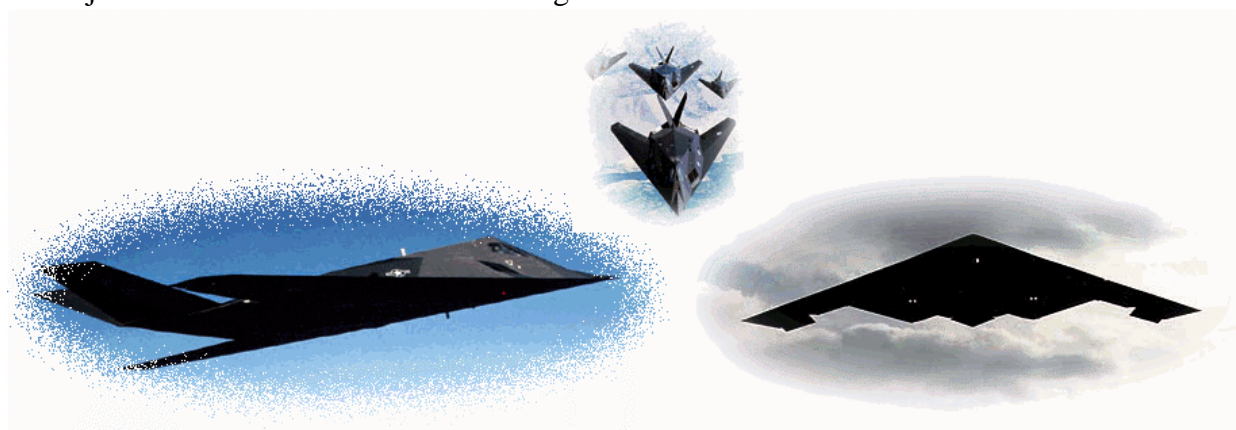
Den senere tids konflikter har tydelig vist hvor viktig det er å ta ut sendere tidlig i en konflikt for å få kontroll med luftrommet. Dette legger klare begrensninger på bruken av monostatiske systemer. Tiden senderen er aktiv bør være minimal (for emittere som enkelt lar seg posisjonere) for å forlenge levetiden. Dette medfører at de ikke blir utnyttet til sitt fulle potensiale. I et multistatisk radarsystem er det flere sendere som gir bidrag til radarbildet. Dersom en eller flere av senderne blir tatt ut medfører ikke det umiddelbart at systemet som helhet er ute av funksjon. Det kan i enkelte tilfeller medføre en degradering av dekningsområdet. Et multistatisk system vil således ha en større seighet enn en monostatisk stasjonær radar. Et sentralt element i konseptet er at senderne skal være billige, slik at et større antall kan anskaffes. Ødelagte sendere kan således erstattes med nye relativt raskt og bringe systemet tilbake i full operasjon. Prismessig vil utplasseringen av en ny sender være mindre enn kostnadene av ARM missilet. Mottageren er passiv og er ikke utsatt for ARM. Denne kan derfor være en påkostet plattform med eventuelt en skannende array-antenne.



Figur 2.2 Bildene viser eksempler på ulike typer UAVer som er operative i dag

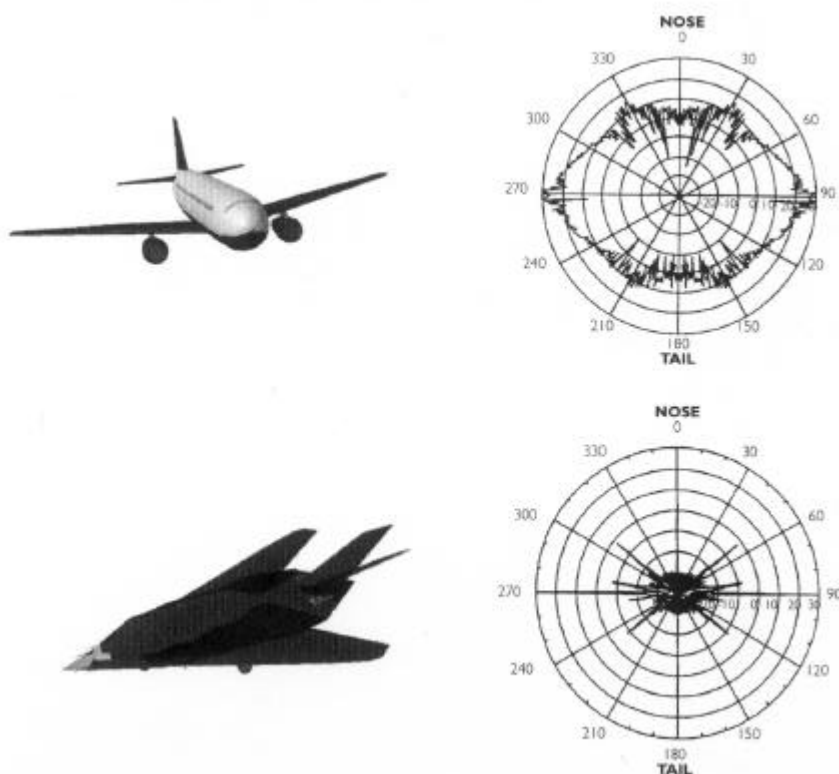
2.2 Deteksjon av objekter med lavt radartverrsnitt, RCS

En annet utfordring som møter dagens og fremtidens radarer er deteksjon av objekter med lavt radartverrsnitt (Radar Cross Section – RCS). Dette kan være i form av UAVer på rekognoseringsoppdrag eller med våpenlast (UCAV), kryssermissiler eller jagerfly og bombefly med såkalt ”stealth” egenskaper. I Figur 2.2 er det vist eksempler på ulike UAVer. Det forventes at de fleste nyere fly som konstrueres vil ha fokus på RCS reduserende tiltak. Dette vil være i form av formgivning kombinert med utstrakt bruk av radardempende materialer. Eksempler fra noen av dagens stealth fly er vist i Figur 2.3 hvor bilder av F-117 og B2 er vist. Den tilbakespredte energien er for gitte vinkler svært liten og deteksjon med radar vil dermed kun være mulig på kort avstand. Dersom flyet avleverer våpenlast kan den korte deteksjonsavstanden være for liten til å reagere med mottiltak.



Figur 2.3 Bildene viser eksempler på dagens moderne fly med lavt radartverrsnitt. Bildet til høyre viser en B2 mens bildet til venstre og midten viser F-117.

I Figur 2.4 er det vist eksempler på hvilke typiske RCS nivåer man kan forvente fra et kommersielt passasjerfly og et stealth-jagerfly. Plottene til høyre viser RCS nivåer for ulike vinkler i horisontalplanet.



Figur 2.4 Typiske radartverrsnittsnivåer for kommersielt passasjerfly og stealth fly. Plottene til høyre viser RCS-nivå som funksjon av observasjonsvinkel i horisontalplanet.

Disse plottene viser kun tilbakespredning for et monostatisk system. Eksisterende systemer er alt overveiende monostatisk og optimalisering med hensyn på lavt RCS er i hovedsak gjort med tanke på monostatisk systemer. Ved å benytte seg av bi- og multistatiske systemer øker sannsynligheten for deteksjon (4). Dette vil heve deteksjonsavstanden for systemet sammenlignet med monostatisk.

2.3 Elektroniske mottiltak

Elektroniske mottiltak i form av direkte blokkjaming og intelligent jaming i form av Digital Radio Frequency Memory (DRFM) jaming forsøker å redusere radarens evne til å operere korrekt. I Figur 2.5 er det vist noen eksempler hentet fra moderne elektronisk krigføring representert ved Jet Falcon og jammeutstyret COSAK utviklet ved FFI. En konvensjonell monostatisk radar kan bli totalt blendet av en direkte rettet jammestrobe. I et multistatisk radarsystem vil en jammestrobe rettet mot senderen ikke nødvendigvis påvirke mottageren, som er plassert et annet sted. Effekten av jamingen vil avhenge av jammestrobens effekt i retning av mottageren. Bruken av intelligent jaming vil trolig også være vanskelig å anvende effektivt mot en multistatisk radar, da mottageren kan bruke flere sendere med ulike koder. Dersom

senderne i tillegg settes opp til å hoppe i frekvens, kode og bitrate vil jammeforsøket ha en redusert effekt.



DA-20 Jet Falcon

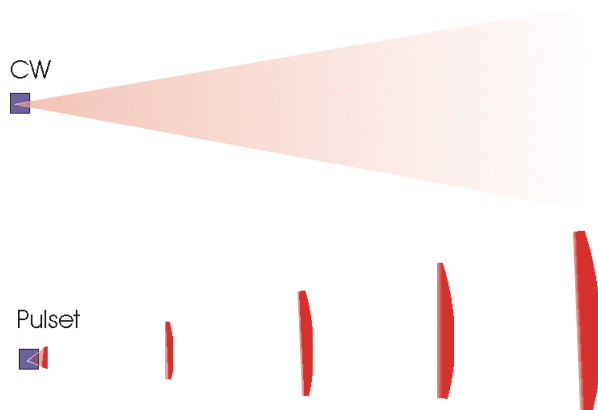


NO/ALQ-400 COSAK

Figur 2.5 Plattform og utstyr brukt i forbindelse med elektronisk krigføring

2.4 CW signaler på spredt spektrum

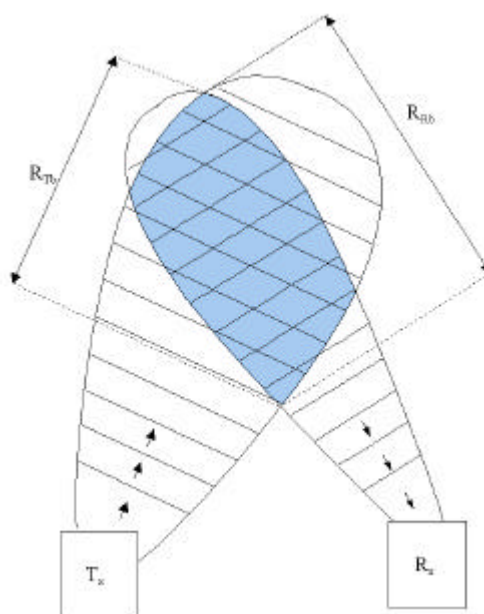
Senderne i den multistatiske radaren sender CW signaler med lav effekt, typisk noen få watt. De vil således være vanskeligere å detektere enn radarsignaler med høy effekt. En illustrasjon av forskjellen mellom en pulset og en CW radar er gitt i Figur 2.6 hvor fargen angir effektstyrken på signalet. Det kontinuerlige signalet kodes og bitraten på koden bestemmer oppløsningen i avstand og samtidig båndbredden til signalet. CW signalet vil oppfattes som et kontinuerlig svakt signal spredt ut over en bestemt båndbredde. Det er tvilsomt om fly uten spesialutstyr for elektronisk krigføring vil detektere at den blir belyst av en slik bredbåndet laveffekts radar. Systemet kan derfor karakteriseres som en Low Probability of Intercept (LPI) radar. Dersom signalet blir detektert og oppfattet som en trussel så er det ikke gitt at det enkelt lar seg manipulere ved bruk av smart DRFM jamming. Kodene kan være lange og flere kodete signaler vil typisk være i luften samtidig fra ulike sendere. Det vil således være vanskelig å avgjøre når en kode slutter og når neste begynner. Et område som belyses av en rekke sendere, vil samtidig ha en avskrekkende virkning, og fly vil trolig trekke seg ut av området.



Figur 2.6 Illustrasjon av forskjellen mellom CW og pulset utsendelse. Energien over tid er lik for de to, men det pulsede systemet fokuserer energien inn i korte pulser, derav den mørkere rødfargen. Den konstante intensiteten i rødfargen for det pulsede signalet skyldes tegneprogrammet.

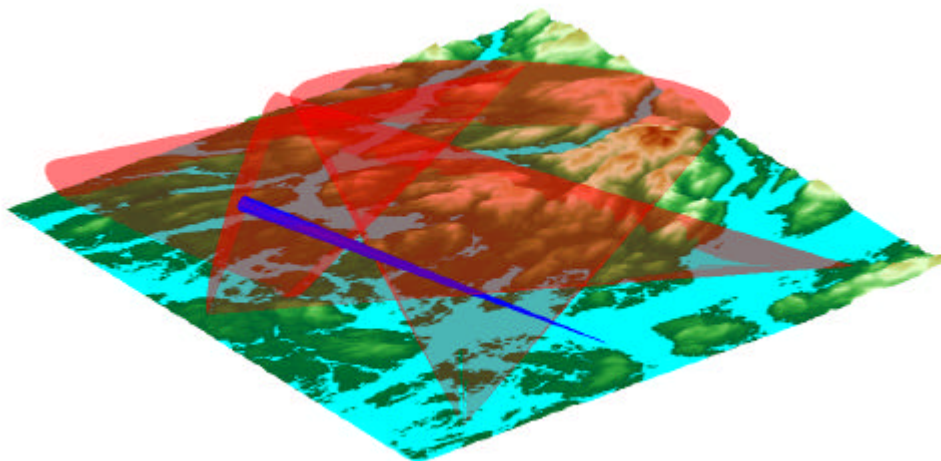
2.5 Utplussing, dekning og løber

En multistatisk radar vil på samme måte som en monostatisk radar, kun detektere objekter i volumet som samtidig belyses av senderloben og mottagerloben. For en monostatisk radar er disse identiske og bestemmelse av volumet er trivielt. For en multistatisk radar vil hver sender måtte ha et felles volum for senderlobe og mottagerlobe for å kunne gjøre deteksjon. Utviklingen av gode verktøy knyttet til kartdatabaser vil være nødvendig og svært viktig ved utplussing og innstilling av lobene. Dette bestemmer observasjonsvolumene som bør optimaliseres for maksimal utnyttelse av utsendt effekt. I Figur 2.7 er observasjonsvolumet vist for et sender-mottager par ved det blå området som dekkes av begge lobene. Det samlede observasjonsvolumet for en multistatisk radar er gitt av summen av observasjonsvolumene for hvert enkelt felles sender-mottager volum i radarsystemet. I operativ bruk kan det være nyttig å knytte deteksjoner til det sender-mottager volum hvor deteksjon av mål er foretatt. Et mål kan således opptre i flere observasjonsvolum samtidig dersom RCS verdien for geometriene tilsier deteksjon. For bedre å kunne bestemme måls posisjon og hastighet kan deteksjoner fra ulike observasjonsvolum kombineres.

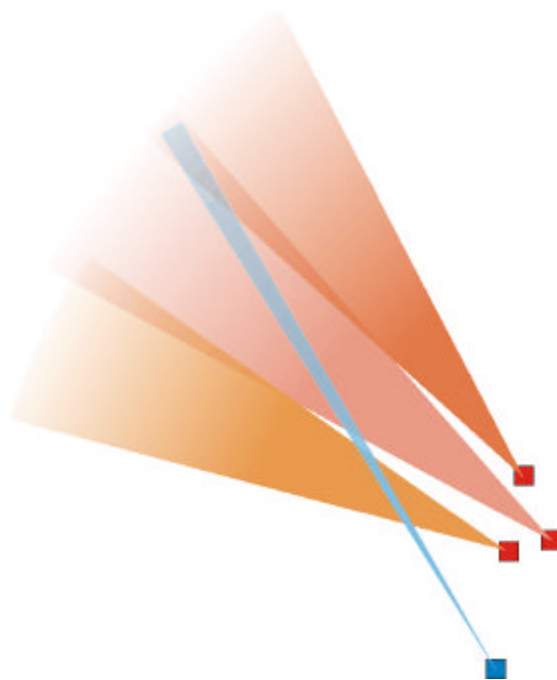


Figur 2.7 Observasjonsvolumet for et sender-mottager par er merket med blått. Avstandbestemmelsen vil være utvetydig hvis signalet i observasjonsvolumet er mindre eller lik en kodelengde.

Det samlede observasjonsvolum kan utgjøre et komplekst volum som illustrert i en 3D-visualisering, vist i Figur 2.8. Lobene fra tre ulike sendere er tegnet med rødt, mens mottageren har en smal lobe (blå) som søker gjennom et predefinert volum, det totale observasjonsvolum, som funksjon av tid. Avveininger må gjøres med hensyn på krav om gjennomløpstid og antallet mottagerlober som benyttes for å søke gjennom belyste volumer.

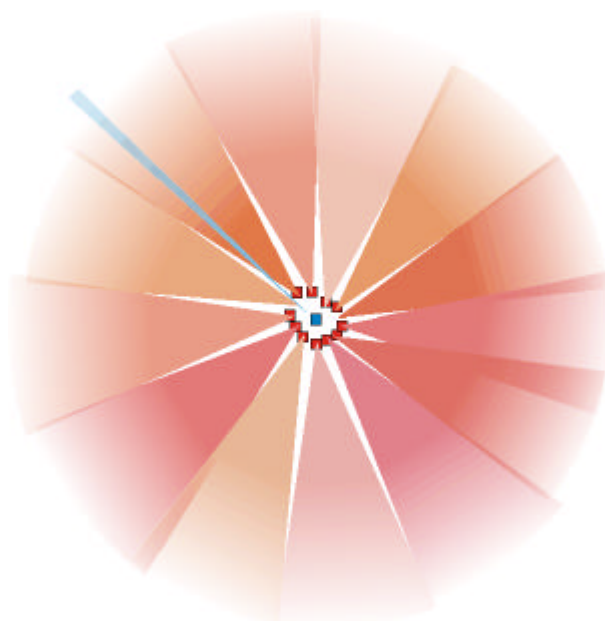


Figur 2.8 Bildet viser et eksempel på en utplassering av tre sendere med brede lober (rød) og en mottager med smal lobe (blå) i et kystområde



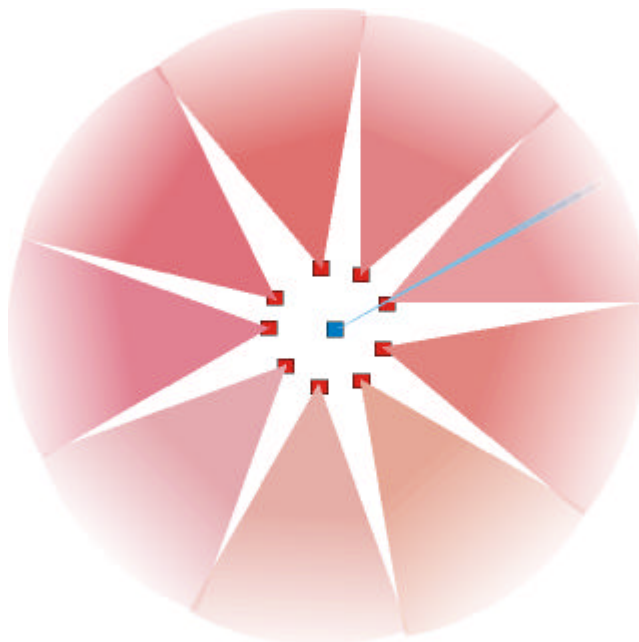
Figur 2.9 Illustrasjon av tre senderlober som er konfigurert til å dekke et område med overlapp av lobene

For å dekke et volum med en viss utstrekning utover bredden på enkeltlobene i senderne kan man tenke seg en utplassering som vist i Figur 2.9. I denne konfigurasjonen er tre senderlober med brede lober gitt en belyningsretning som er parallelle i forhold til hverandre. Avhengig av innbyrdes avstand, vil lobene overlape i en gitt avstand. Stor fleksibilitet med hensyn på lobebredder, overlapp og observasjonsvolumer er tilstede i et multistatisk system og kan tilpasses oppgaven som skal løses.



Figur 2.10 Dekning på 360 grader med bruk av 13 senderlober med 30 graders åpning

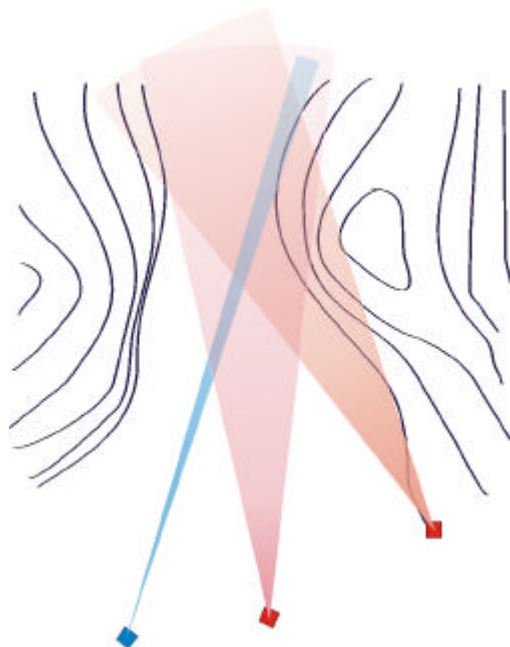
En dekningsgrad på 360 grader er ofte kravet til en roterende monostatisk radar. En slik dekning kan også oppnås ved bruk av en multistatisk radar. To mulige konfigurasjoner er vist i Figur 2.10 og Figur 2.11, hvor senderlobene er henholdsvis på 30 og 50 grader. Mottageren roterer og volumene skannes med en smal lobe. Den økte kompleksiteten oppveies av den store fordelingen av at senderne er ubemannede. Samtidig er den bemannede mottageren passiv.



Figur 2.11 Dekning på 360 grader med bruk av 9 senderlober med 50 graders åpning

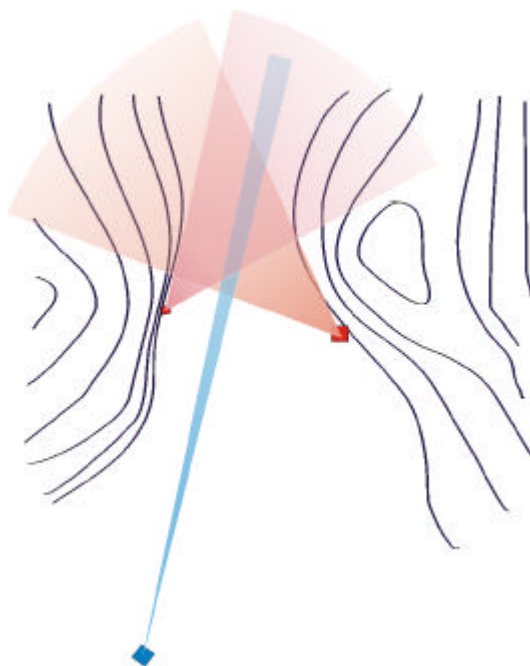
Fleksibilitet er et nøkkelord i en multistatisk radar. I stedet for at radaren skal ha i oppgave å overvåke hele volumet kan den anvendes som en "gap filler" hvor den utplasseres for å fylle igjen huller i radardekningen fra de monostatisk radarene. Det kan være å overvåke en fjordarm

eller dal som illustrert i Figur 2.12. To sendere er her plassert på linje med mottageren med overlapp av lober for bedre seighet og økt deteksjonssannsynlighet. En slik utplassering av sendere i nærheten av mottageren kan være hensiktsmessig pga tiden det tar å plassere ut en rekke sendere langt unna mottageren eller pga liten kontroll med området forut.



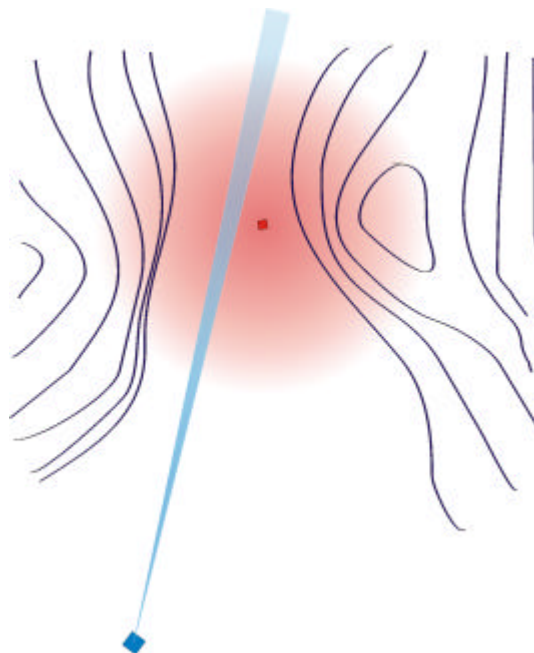
Figur 2.12 Dekning av et dedikert område med to sendere plassert på linje med mottageren

Et alternativ er å utplassere senderne i en fremskutt stilling som vist i Figur 2.13. For å dekke samme volum må lobebreddene økes som vist i figuren. På grunn av den reduserte avstanden sender-mål vil deteksjon kunne opprettholdes på samme nivå med bredere lober.



Figur 2.13 Dekning av et dedikert område med to sendere plassert i fremskutte posisjoner

I aller enkleste versjon kan man tenke seg å bruke rundstrålende antenner i for eksempel en dalbunn som vist i Figur 2.14. Innstilling vil dermed være uproblematisk, men rekkevidde må kompenseres for med høyere sendereffekt hvis nødvendig. Dette vil avhenge av typisk avstand til mål ved gitt utplassering.

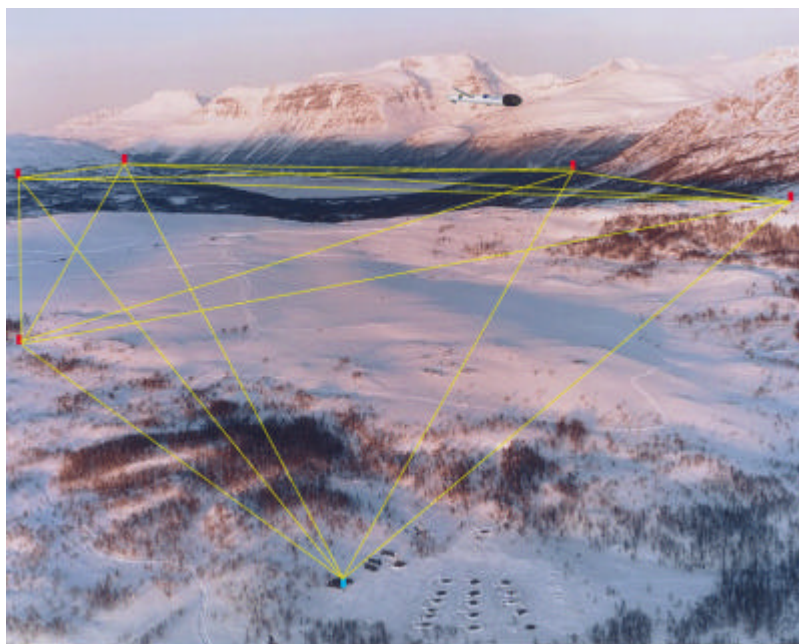


Figur 2.14 Dekning av et dedikert område med en rundstrålende antenne

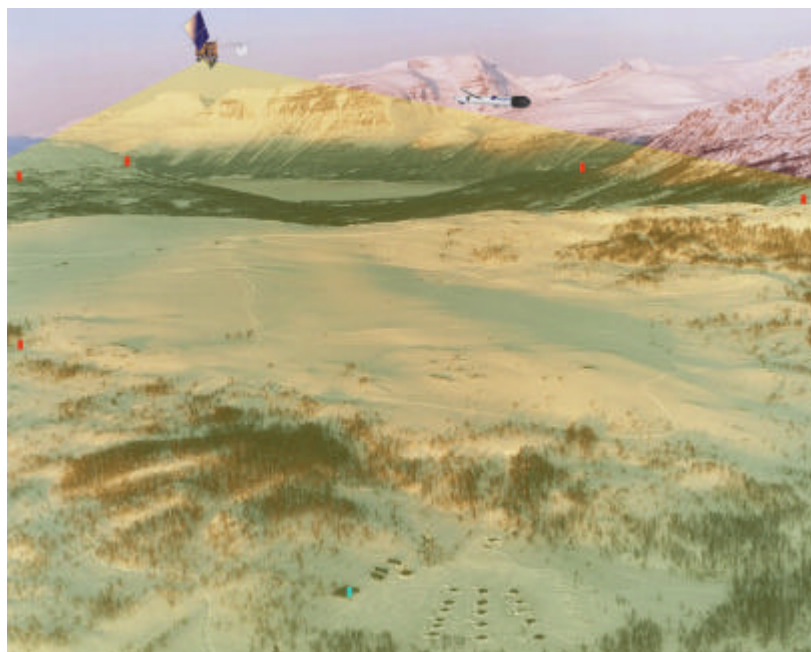
2.6 Synkronisering av sendere og mottager

Senderne skal være lette og kunne plasseres ut med for eksempel snøscooter, 4-hjuls ”motorsykkkel” eller beltevogn. Personellet som skal foreta utplasseringen trenger ingen spesialutdanning. Senderne skal kun startes opp og lobene innstilles i angitte retninger. Videre opererer senderne autonomt og personell er kun nødvendig for å etterfylle drivstoff til strømaggregatet. For å gjøre systemet lett flyttbart og raskt å utplassere bør man unngå at det ikke rulles ut fiber eller kabel mellom sendere og mottager, som indikert i Figur 2.15, for å synkronisere de ulike enhetene. I det multistatiske radarsystemet kan for eksempel synkronisering i tid og frekvens gjøres via Global Positioning System (GPS) (9). Ved å bruke stabile oscillatorer, for eksempel Rubidium, som er disiplinert til GPS sikres god synkronisering. Bruken av stabile oscillatorer vil i tillegg sikre synkronisering dersom GPS signalene jammes for et visst tidsrom. Det er forventet at ytterligere forbedring i stabilitet og nøyaktighet vil komme med neste generasjons GPS satellitter samt utviklingen av det europeiske satellittsystemet GALILEO. I Figur 2.16 er det vist en illustrasjon hvor alle sendere og mottagere mottar synkroniseringssignaler via GPS (her vist i svært lav bane).

Kommunikasjon med alle senderne kan være hensiktmessig for å endre koder eller kodesekvenser, frekvenser, bitrater utgangseffekt osv eller å hente ut status fra enhetene. Dette vil være sporadiske meldinger som går mellom enhetene og antas ikke å utgjøre noen fare for deteksjon av mottageren.



Figur 2.15 Bildet viser en rekke sendere (røde) og en mottager (blå) med linjer mellom enhetene for å illustrere synkroniseringen som må være på plass

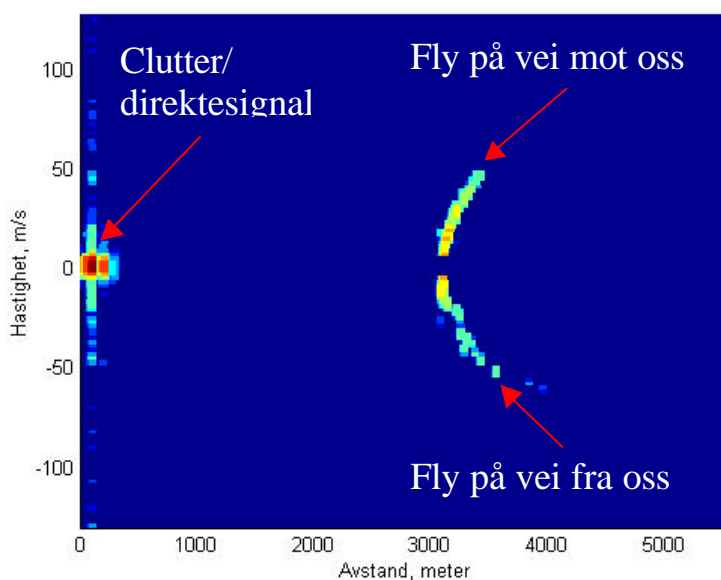


Figur 2.16 Den multistatiske radaren synkroniserer alle sender- og mottagerenheter via GPS disiplinerte lokale referanser. Dette er illustrert ved en satellitt som belyser enhetene.

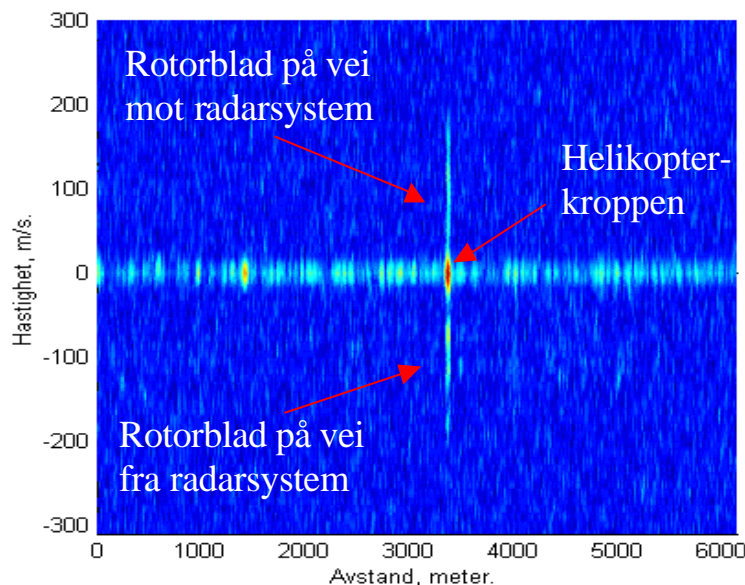
2.7 Eksempler fra bruk av bistatisk radar

Den bistatiske demonstratoren som er utviklet under prosjekt 726 for å teste ut det multistatiske konseptet, har vært benyttet i en rekke målekampanjer (3). Målingene viser at konseptet fungerer og de teknologiske utfordringene er løst.

Deteksjon og følgning av fly og helikopter, som vist i Figur 2.17 og Figur 2.18, er eksempler på bruk som viser at systemet kan finne mål og gi hastighets og avstandsdata. I målingene mot passerende fly i Figur 2.17 er oppstillingen tilnærmet monostatisk og bidrag fra clutter og direktesignal bidrar kraftig ved en hastighet på 0 m/s, mens helikoptermålingene i Figur 2.18 er utført ved en bistatisk vinkel som resulterte i lite direktesignal. Målingene viser klart at systemet har et potensial og videre studier av systemet samt utvidelse til full multistatisk operasjon bør følges opp i senere prosjekter.



Figur 2.17 Figuren viser følgning av et passerende fly sett med det bistatiske radarsystemet. Det bistatiske radarsystemet har i tilnærmet monostatisk oppstilling målt avstand og hastighet på flyet over en tidsperiode på 45 sekunder. Til venstre i radarbildet kan vi se direktesignal og nærclutter dominere på grunn av den tilnærmede monostatiske oppstillingen av radarsystemet.



Figur 2.18 Figurene viser resulterende radarbilder uterskjet fra et måleintervall på 0,3s. Radarbildet er fra en bistatisk måleoppstilling hvor avstanden sender-mottaker er ca 2000m og vi har lite direktesignal og clutter som kunne kamuflere helikopterkroppen. Bildet viser at rotoren kan detekteres med hastigheter fra 0 m/s til maks hastighet ytterst på rotortuppen.

3 OPPSUMMERING OG KONKLUSJON

Prosjekt 726 har utført en teknisk konseptstudie av en digital multistatisk radar hvor en demonstrator av en sender og en mottager er blitt bygget. Konseptet er basert på bruk av lette billige sendere som utplasseres i et antall. Prosjektet har sett for seg at det er kun én påkostet mottager i systemet, men det er ingen prinsipielle grunner til at ikke også antallet mottagere kan økes eller gjøres billigere. Senderne sender et kodet CW signal med lav utgangseffekt i en bred senderlobe. Mottageren kan i et endelig system ha en skannende antenne som gjennomløper det belyste volumet med en smal lobe.

Sender og mottagers felles belyste volum vil ha en mer kompleks form enn for en monostatisk radar. For å dekke et gitt observasjonsområde må det utplasseres et antall sendere med gitte lobebredder. Det er samtidig viktig å balansere effekten man sender ut og den deteksjonsavstanden systemet skal ha. Et multistatisk radarsystem kan dekke 360 grader ved utplassering av et antall sendere med bestemte lobebredder. I stedet for en full overvåking av luftrommet kan systemet tilpasses en ”gap filler” funksjon, for eksempel for å dekke en dal. Senderne kan da utplasseres enten med lobene rettet inn i dalen fra avstand eller i en fremskutt posisjon med bredere lober. Systemet er fleksibelt og kan tilpasses ulike anvendelsesområder.

Separasjon av sender og mottager gir bemanningen på mottageren sikkerhet for mottiltak i form av ARM, noe som er tillagt stor vekt. De ubemannede senderne kan detekteres og tas ut, men systemet degraderes bare gradvis da flere sendere er aktive. En rimelig sender vil sikre at

reservesendere er tilgjengelige for utplassering, eventuelt at utplasserte reservesendere kan aktiveres ved behov. Systemet kan således operere med full kapasitet etter kun et kortere opphold.

Systemet har gode egenskaper overfor jamming fordi jamming av senderne ikke nødvendigvis påvirker mottageren som er lokalisert et annet sted. Ved at flere sendere er aktive samtidig, med ulike koder, frekvenser, bitrater etc kan intelligent jamming vise seg å ha redusert effekt. Det er samtidig usikkert om jagerfly som ikke er utstyrt for avansert avlytting vil være i stand til å detektere om de blir belyst av et laveffekts CW signal spredt over en gitt båndbredde. Systemet kan således karakteriseres som en LPI radar.

Atskilte sendere og mottager stiller krav til synkronisering på annet vis enn for en monostatisk radar. I vår bistatiske demonstrator er indirekte synkronisering via GPS disiplinerte referanser anvendt. Lokale Rubidium referanser har vært benyttet for å bevare synkronisering ved bortfall av GPS signaler, for eksempel ved jamming. Dette gav gode resultater og har vært benyttet med stort i hell i de målingene som har vært foretatt.

Med forskjellige vinkelkombinasjoner av sender-mål-mottager vil et mål reflektere energi ulikt fra ulike sendere. Mottageren vil derfor motta spredt energi fra målet med forskjellig signalstyrke fra ulike sendere. Objekter med lavt RCS er i første omgang designet med tanke på monostatisk radarer. Bi- og/eller multistatiske radarsystemer kan således fange opp et sterkere spredt signal for gitte vinkelkombinasjoner enn et konvensjonelt monostatisk system. Beregninger foretatt på et generisk stealth-fly har vist at bruken av flere sendere med forskjellige sender-mål-mottager geometrier har en større sannsynlighet for deteksjon enn en monostatisk radar (4).

En oppsummerende konklusjon av konseptets hovedpunkter inneholder passiv mottager hvor personellet ikke er utsatt for ARM, seighet i systemet ved at flere sendere benyttes, fleksibelt system som kan tilpasses anvendelsesområdet, jammeresistans og en høyere sannsynlighet for deteksjon av lavsignaturmål.

Sett i lys av de egenskapene et slikt system har og de erfaringene prosjektet har fått med den bistatiske demonstratoren, anser prosjektet det som viktig at dette arbeidet følges opp i et oppfølgende prosjekt, hvor demonstratoren utvides med flere sendere til et virkelig multistatisk radarsystem. Dette, sammen med utredninger av krav til og bruken av et slikt system i luftvernsammenheng vil være avgjørende for å kunne gi råd om hvordan og hvor et multistatisk radarsystem kan/bør benyttes. Det vil være ønskelig i et oppfølgende prosjekt også å se på muligheter for å ta inn signaler fra eksisterende sendere (andre radarer, radio, TV osv), såkalt haikende radar, for å kunne utnytte radarsystemet i en helt passiv modus også.

Litteratur

- (1) Willis N. J. (1991): Bistatic Radar, Artech House, London.
- (2) JOHNSEN Terje, GUNDERSEN Rune, OLSEN Karl Erik, JOHNSRUD Steinar, TANSEM Ivar, SØRNES Per (2002): Bistatiske radarmålinger av helikopter, FFI/RAPPORT-2002/01764
- (3) OLSEN Karl Erik, JOHNSEN Terje, JOHNSRUD Steinar, GUNDERSEN Rune, BJORDAL Halvor, TANSEM Ivar, SØRNES Per (2002): Radarmålinger med bistatisk CW radar, FFI/RAPPORT-2002/02373, Begrenset
- (4) GUNDERSEN Rune (2002): Deteksjonssannsynlighet med mono, bi- og multistatisk radar, FFI/RAPPORT-2002/01750
- (5) GUNDERSEN Rune, JOHNSEN Terje, JOHNSRUD Steinar, SØRNES Per (2002): RF-maskinvare for digital radar, FFI/RAPPORT-2002/01751
- (6) GUNDERSEN Rune (2002): Mono- og bistatisk radartverrsnittsberegningsprogram, FFI/RAPPORT-2002/01749
- (7) OLSEN Karl Erik (2002): Radardekkningssimulator - fysikk, FFI/RAPPORT-2002/02372
- (8) JOHNSRUD Steinar, TANSEM Ivar (2002): Digital multistatisk radar, sender og mottaker, FFI/RAPPORT-2002/01931
- (9) JOHNSEN Terje (2002): Frekvens- og tidssynkronisering ved bruk av GPS disiplinerte referanser, FFI/RAPPORT-2002/00701, Begrenset

FORDELINGSLISTE

FFIE
Dato: 28 mai 2002

RAPPORTTYPE (KRYSS AV)		RAPPORT NR.	REFERANSE	RAPPORTENS DATO	
<input checked="" type="checkbox"/> RAPP	<input type="checkbox"/> NOTAT	<input type="checkbox"/> RR	2002/01767	FFIE/726/170	28 mai 2002
RAPPORTENS BESKYTTELSESGRAD			ANTALL EKS UTSTEDT	ANTALL SIDER	
UGRADERT			41	23	
RAPPORTENS TITTEL			FORFATTER(E)		
MULTISTATISK CW RADAR - KONSEPT			JOHNSEN Terje, OLSEN Karl Erik, JOHNSRUD Steinar, GUNDERSEN Rune, BJORDAL Halvor, TANSEM Ivar, SØRNES Per		
FORDELING GODKJENT AV FORSKNINGSSJEF			FORDELING GODKJENT AV AVDELINGSSJEF:		
John-Mikal Størdal			Johnny Bardal		

EKSTERN FORDELING
INTERN FORDELING

ANTALL	EKS NR	TIL	ANTALL	EKS NR	TIL
1		Major Sverre Vestad, LVI	14		FFI-Bibl
1		Rådgiver Tore Belsnes, FO/E	1		Adm direktør/stabssjef
1		FO/SST	1		FFIE
1		Bjørn Dyrøy, FLO/Sjø/Teknisk	1		FFISYS
1		Oblt Svein-Ove Gangnes, LVI	1		FFIBM
1		Oblt Willy Borg-Lundquist, LVI	1		FFIN
1		Oberst Dag Strømsæther, SSLV	1		John-Mikal Størdal, FFIE
1		Major Ove Jørn Luktvaslimo, SSLV	1		Halvor Bjordal, FFIE
1		Major Trond Inge Olsen, FLO/Luft	1		Rune Gundersen, FFIE
1		Major Lars Laudal, FLO/Luft	1		Terje Johnsen, FFIE
			1		Karl Erik Olsen, FFIE
			1		Steinar Johnsrud, FFIE
			1		Ivar Tansem, FFIE
			1		Per Sørnes, FFIE
			1		Svein-Erik Hamran, FFIE
			1		Hans Øhra, FFIE
			1		Kirsten Kvernsveen, FFIE
			1		Stein Malerud, FFISYS
			1		Tore Smestad, FFIE
			1		Arne Petter Bartholsen, FFIE
			1		Arne Skogstad, FFIN
			1		Harald Mathisen, FFISYS
			1		Jahn Andreas Mæland, FFIE
			1		Stig Løddøen, FFIE
			1		Arne Cato Jenssen, FFIE
			5		Arkiv, FFIE
					FFI-veven

FFI-K1

Retningslinjer for fordeling og forsendelse er gitt i Oraklet, Bind I, Bestemmelser om publikasjoner for Forsvarets forskningsins titutt, pkt 2 og 5. Benytt ny side om nødvendig.