



**FORSVARSMINISTERENS
RÅDGIVNINGS- OG ANALYSEGRUPPE**

RYVANGS ALLÉ 1 - POSTBOKS 2521 - 2100 KØBENHAVN Ø

TLF. 01-29 05 22

TELEX 22679 FLSKBH DK

MULIG ANVENDELSE AF
SYNTHETIC APERTURE RADAR I F-16
I FORBINDELSE MED OVERVÅGNING

NOVEMBER 1986

RAG 0-3/1986

FORSVARSMINISTERENS
RÅDGIVNINGS- OG ANALYSEGRUPPE

MULIG ANVENDELSE AF
SYNTHETIC APERTURE RADAR I F-16
I FORBINDELSE MED OVERVÅGNING

NOVEMBER 1986

RAG 0-3/1986

INDHOLDSFORTEGNELSE

	Side
RESUME	5
1. INDLEDNING	7
2. TEKNOLOGI	9
2.1 Generel beskrivelse af "Synthetic Aperture Radar"	9
2.2 Måldetektion	12
2.3 Målidentifikation	13
2.4 Aktive elektroniske modmidler	14
2.5 Den luftbårne platform	15
2.6 Konventionel eller syntetisk antennteknik	18
3. KONFIGURATION OG PRIS	21
3.1 Valg af konfiguration	21
3.2 Data-link og databaseproblemet	23
3.3 Teknisk gennemførlighed	24
3.4 Oversigt over sammenhæng mellem pris og konfiguration for et repræsentativt SAR-system	25
3.5 Andre udgifter	26
4. OPERATIVE MULIGHEDER	29
4.1 Sammenhæng mellem SAR konfiguration, operationsvilkår og tidsfaktorer	29
4.2 Sårbarhed	36
4.3 Indsættelsesmuligheder for SAR-bærende fly	38
4.4 Forslag til kommandoforhold	41
4.5 Informationsdistribution	42
4.6 Værnenes nuværende muligheder	43
4.7 Anvendelse af SAR	44
4.8 Udholdenhed	45
5. KONKLUSION	47

BILAG 1: Oversigt over litteratur samt studier/rapporter fra eksterne myndigheder, der danner grundlag for rapporten.

BILAG 2: Oversigt over interne RAG-studier.

BILAG 3: Teknisk beskrivelse af et SAR-system.

RESUME

En syntetisk apertur radar (SAR) er en radar, der ved hjælp af en særlig teknik gør radarantennen betydelig større, end den i virkeligheden er. Herved opnås en meget stor opløsningsevne, der bl.a. gør radaren særligt anvendelig til overvågning af landområder, ligesom anvendelse mod sømål er muligt.

Identifikation af objekter i de betragtede områder er et særligt problem. Rapporten anbefaler, at der bør anskaffes supplerende elektronisk udstyr til delvis løsning af dette problem.

Kampfly kan anvendes som bærer af en SAR. Imidlertid peger rapporten på en række problemer ved anvendelse af sådanne fly og anbefaler transportflyet GULFSTREAM som en mere egnet bærer.

Rapporten konkluderer, at det med indsættelse af SAR-bærende fly er muligt at løse store dele af overvågningsopgaven mod landmål, som forsvaret i dag kun i ringe grad er i stand til at løse.

Et SAR-bærende fly er et velegnet supplement til overvågning af søterrioriet, ligesom det kan anvendes som måludpegningsensor for sømålsmissil-enheder og kampfly.

Afslutningsvis konkluderer rapporten, at et SAR-system, omend bredt anvendt, blot er en del af det samlede, meget komplekse overvågningssystem. En evt. anskaffelse af et SAR-system vil stille krav om betydelige drifts- og investeringsmidler. Det er derfor vigtigt at gøre sig klart, at det samlede overvågningssystem - såfremt det beskæres proportionalt med SAR-investeringen - nemt kompromitteres, i fald de få SAR-systemer måtte gå tabt.

1. INDLEDNING

BAGGRUND

Ved FMN skr. 1.kt. 230-15 af 25 FEB 1985 blev det pålagt Forsvarsministerens Rådgivnings- og Analysegruppe (RAG) at foretage en undersøgelse af "Mulig anvendelse af Synthetic Aperture Radar (SAR) i F-16 i forbindelse med overvågning". Nærværende rapport er resultatet af denne undersøgelse.

INDHOLD

RAG er således blevet pålagt at analysere mulighederne for og konsekvenserne af at indføre et helt specifikt overvågningssystem i et særligt udpeget fly - F-16.

I løbet af undersøgelsen blev det klart, at en evt. indførelse af SAR på F-16 ville medføre en række såvel tekniske som operative begrænsninger i brugen heraf. RAG fandt det derfor hensigtsmæssigt at inddrage såvel F-35 DRAKEN som G III GULFSTREAM i undersøgelsen. Ligeledes blev det fundet hensigtsmæssigt ikke alene at undersøge SAR, men også Side Looking Airborne Radar (SLAR), der i modsætning til SAR anvender en konventionel antennteknik.

I undersøgelsen foretages der en teknisk beskrivelse af de mulige systemer, konsekvenserne og de operative muligheder ved deres indførelse samt endelig et overslag over omkostningerne herved.

BEGRÆNSNINGER

Overvågning omfatter en lang række forskellige processer lige fra observation til følgeing og evt. nærmere udforskning af et givet objekt (mål). Formålet med overvågning i fredstid er primært at sikre retstilstanden i det overvågede område, sekundært at give bidrag til et nødvendigt varsel.

For at anskueliggøre kompleksiteten i overvågningsbegrebet har RAG - ud over en række andre baggrundsstudier som angivet i bilag 2 - udarbejdet et notat om overvågning generelt (RAG P-2/1986). Notatet pæpper bl.a.,

at en samlet systembetragtning må gennemføres for at optimere overvågningsprocessen. En hjørnesteen i en sådan samlet betragtning er naturligvis (civile såvel som militære) brugeres informationsbehov og her ganske specielt det informationsminimum, brugerne kan klare sig med og stadig løse deres opgaver tilfredsstillende.

RAG finder dog, at en egentlig opgørelse heraf falder uden for den meget konkret stillede opgave, ligesom gruppen finder anledning til at påpege, at fremkomsten af nærværende rapport ikke er et udtryk for, at et SAR-system ud fra en militærfaglig vurdering er vigtigere end mange andre overvågnings- og opklaringsmidler.

Som det fremgår, vil en evt. indførelse af SAR stille krav om betydelige investerings- og driftsmidler. Da det ikke af opgaveformuleringen fremgår, om de nødvendige midler vil blive selvstændigt bevilget eller evt. skal udspares af forsvarrets øvrige virke, har gruppen fundet det rigtigst blot at knytte nogle generelle bemærkninger til det økonomiske behov samt til evt. nødvendige prioriteringer, i fald midlerne skal udspares af såvel drifts- som investeringsbudgettet.

Teknologisk har RAG valgt at tage udgangspunkt i systemer, der vil være til rådighed inden for de næste ca. 5 år, ligesom de betragtede systemer lever op til etablerede militære materielstandarder. RAG er vidende om, at alternative systemer er under udvikling, hvoraf nogle måske er mere nøjagtige og måske til sin tid relativt billigere, end de her beskrevne. Erfaringsmæssigt stiger usikkerheden (faren for fiasko) imidlertid ved at satse på udstyr, der befinder sig på et tidligt udviklingsstadium. RAG har derfor ikke fundet det hensigtsmæssigt at betragte teknologisk usikre SAR-koncepter.

Slutteligt skal det understreges, at der i undersøgelserne ikke er taget hensyn til standardisering eller interoperabilitet mellem et nationalt dansk SAR-system og tilsvarende NATO-systemer.

2. TEKNOLOGI

2.1 GENEREL BESKRIVELSE AF "SYNTHETIC APERTURE RADAR"

Almindelige radarsystemer, der f.eks. bruges i skibe, anvender en antenne, som roterer om en lodret akse.

Når radarantennen under rotationen udsender pulser, bliver der ved refleksioner fra objekter (skibe, havne, kystlinier m.v.) dannet et billede ("kort") over det område, radaren dækker. Dette billede kan vises på en cirkulær "dataskærm", der præsenterer billedet, som om antennen har sit centrum midt i skærmen. Det horisontale område, en sådan radar kan dække, er imidlertid relativt lille, fordi antennen befinder sig tæt på jord- eller havoverfladen.

For at bedre på dette kan man hæve antennen, f.eks. ved at anbringe den på et fly. For at kunne "se" små objekter (f.eks. 5 m x 5 m) på store afstande, kræves det, at radarantennen er stor, hvilket så igen kræver stor løftekapacitet af flyet.

For at undgå den roterende antenne er der konstrueret en radar, hvor antennen er anbragt på langs ad flyet, og hvor den "ser" vinkelret ud til siden fra dette. Systemet kaldes en SLAR (engelsk for "Side Looking Airborne Radar"). Antennens rotation er her afløst af flyets bevægelse gennem luften. Antennestrålen er udformet, så den vandrette strålebredde er meget lille (ca. 1°), mens den lodrette strålebredde er stor, således at området fra flyet og ud til horisonten bliver belyst af antennestrålen. Afhængig af flyvehøjde og lodret strålebredde kan der typisk dækkes et område fra 20 - 50 km.

Radarbilledet optages på film, som efter endt flyvning ved hjælp af passende behandling og apparatur kan vises på en TV-skærm. Billederne kan også sendes ned fra flyet via en "data-link" (radioforbindelse), som kan have en rækkevidde på op til 360 km.

Såfremt man ønsker at kunne se små objekter (mål) på store afstande, kræves der en meget smal vandret strålebredde. Dette medfører, at der skal anvendes en høj radarfrekvens og en lang antenne. De i praksis anvendte antennelængder er 3 - 6 m, hvilket typisk kan give en opløsning på ca. 40 m x 350 m i godt 35 km afstand fra et fly i en flyvehøjde på ca. 3,5 km.

En sådan opløsning er til overvågningsformål i almindelighed utilstrækkelig, da de fleste måltyper har en udstrækning, der er mindre end den omtalte opløsningssevne.

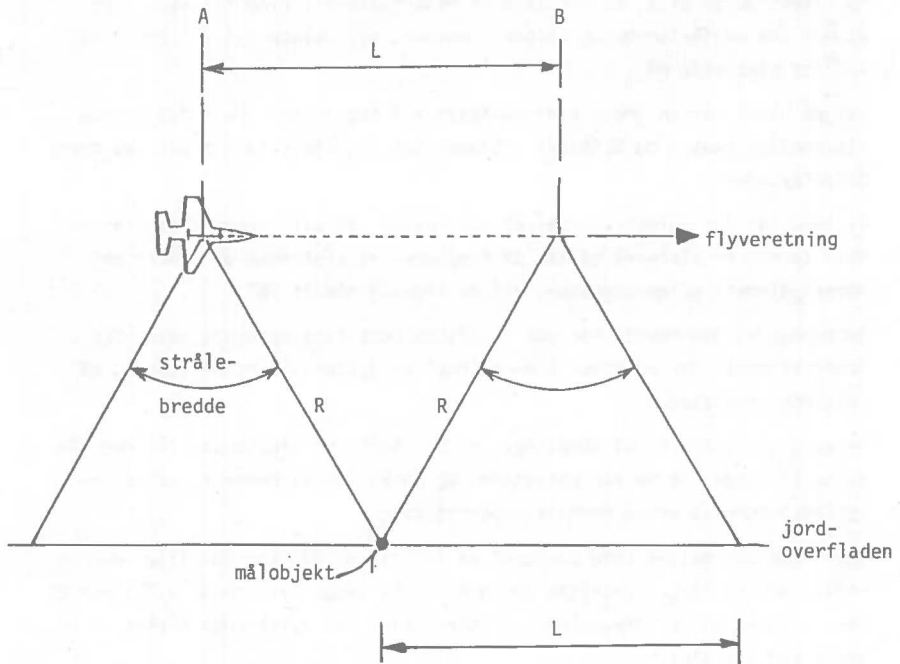
For at opnå en bedre opløsning skal der anvendes en såkaldt kohærent radar. Anvendelse heraf medfører, at de pulser, som reflekteres fra objektet under radarstrålens passage, kan sammenlægges til ét signal.

Dette princip udnyttes i en syntetisk apertur radar eller SAR (engelsk for "Synthetic Aperture Radar"), hvor aperturen er et mål for radarantennens areal, og det syntetiske fremkommer ved, at antennen fra et radarsynspunkt er længere end dens rent fysiske længde, se figur 1, der skitsemæssigt illustrerer dette forhold.

Forbedringen, der kan opnås, fordrer dog en meget betydelig forøgelse af kravet til databehandlingskapacitet. Der anvendes til dette formål såvel optisk som elektronisk databehandling. Der arbejdes i disse år intensivt ved mange udviklingscentre og virksomheder på at fremstille datamater, som er i stand til at præsentere "billeder" i sand tid (altså løbende med "optagelsen") til brug såvel ombord på fly som på jorden. Billederne kan også i dette tilfælde optages på film, men bliver oftere lagret på magnetbånd.

Bilag 3 indeholder en mere dybtgående teknisk beskrivelse af en SAR.

SAR Princip



Målobjektet på jordoverfladen kommer ind i antennestrålen, når flyet er i punkt A, og forlader den igen ved punkt B, efter at flyet har fløjet distancen $L = \text{strålebredden i afstanden } R$. Heraf følger, at $L = \text{den syntetiske antennelængde}$.

Hvis strålebredden er 1° og målobjektet er beliggende i 50 km afstand fra antennen, er den syntetiske antennelængde $L = \text{ca. } 875 \text{ m}$.

Figur 1

2.2 MALDETEKTION

Måldetektion er bl.a. en funktion af radarsystemets evne til at skelne et mål fra omgivelserne og opløsningsevnen, dvs. evnen til at skelne mellem tæt placerede mål.

Mål på havet har en meget stor kontrast til baggrunden. De i dag kendte almindelige radar- og SLAR/SAR systemer kan detektere selv meget små overfladefartøjer.

På land kan der detekteres mål af størrelser ned til personbilstørrelser. Hvis to mål er placeret så tæt på hinanden, at afstanden er mindre end radarsystemets opløsningsevne, vil de fremstå som ét mål.

Sammenholdes ovennævnte med den tidligere beskrevne opløsningsevne for radarsystemer, der anvender konventionel og syntetisk antennteknik, må følgende konstateres.

De mål, der optræder på åbent hav, er så store og normalt adskilt med sådanne afstande, at de kan detekteres og adskilles af begge typer radarsystemer og også andre normale radarsystemer.

Over land kan målene være placeret så tæt, at de kun kan adskilles med en radar, der anvender syntetisk antennteknik. Denne type radar vil i øvrigt være i stand til at præsentere et "kort" over det betragtede område af en meget høj kvalitet.

Ved hjælp af flyets inertinavigationssystem kan der lægges et geografisk koordinatsystem ind på radarbilledet.

I begge typer radarsystemer kan i dag anvendes yderligere en signalbehandlingsteknik, der gør det muligt at skelne mellem stationære mål og mål, der bevæger sig. Sidstnævnte mål skal dog bevæge sig med en hastighedskomponent bort fra eller imod radarsystemet, typisk på mindst 5 km/t.

På land vil det enkelte radarbillede indeholde en meget stor datamængde. Billedet vil bestå af et "kort" over området, hvorpå der præsenteres bebyggelse, veje, jernbaner, broer, højspændingsledninger m.m. På billedet optræder yderligere en række mål, hidrørende fra bestemte aktiviteter.

Det kan være landevejs-, jernbane- eller flod- og kanaltrafik eller militære enheder, der er deployeret til det pågældende område. Hvis man betragter de stationære mål på et billede, vil det ikke umiddelbart være muligt at konstatere, hvad der er faste installationer, og hvad der er mobile mål, der i det pågældende øjeblik ikke er i bevægelse.

For at løse dette problem er der udviklet en bestemt teknik, der kaldes "change detection". Denne teknik indebærer, at der etableres en database bestående af billeder af de områder, man ønsker at holde under observation. Et nyoptaget radarbillede sammenholdes derefter med det samme billede i databasen. Sammenligningen kan foregå ved, at de to billeder lægges over ét, hvorefter de skiftevis hurtigt præsenteres på den samme billedskærm. Herved opnår man, at alle ændringer vil optræde, som om de blinker på det nye billede.

2.3 MALIDENTIFIKATION

Som følge af den relativt ringe opløsning, der kan opnås med en konventionel antennteknik, er det ikke muligt udelukkende på baggrund af den enkelte radarobservation at foretage nogen identifikation eller klassifikation med radarsystemer, der anvender denne teknik.

Med anvendelse af en SAR er det muligt at bestemme den omtrentlige form og størrelse af visse måltyper. Således kan overfladefartøjers omtrentlige længde og bredde bestemmes, et luftfartøj kan kategoriseres (stort, lille, antal motorer el. helikopter), ligesom det er muligt f.eks. at konstatere større skader på startbaner og broer.

Med SAR teknik alene er det derimod ikke muligt at identificere køretøjer eller blot at klassificere disse.

Såfremt et mål er udstyret med radar, og hvis målet sender med denne radar, kan identifikationsproblemet imidlertid til dels afhjælpes ved at kombinere radarsystemet med udstyr til elektronisk opklaring (engl. "Electronic Warfare Support Measures" = ESM). Et sådant system kan bestå af et antal modtagere, der afsøger relevante frekvensbånd. Når et signal opdages, vil det blive præsenteret for operatøren i form af de målte

radarparametre og en retning til senderen. Det er yderligere muligt at identificere radarsystemer, hvis parametrene på forhånd er kendte. Disse parametre kan være indeholdt i et katalog, der evt. kan være en integreret del af systemets database. Der kan herefter foretages en positionsbestemmelse ved tri-angulering. Ved at sammenholde denne position med radarbilledet er det muligt at henføre et givet signal til et bestemt radarmål.

Dette kan i f.m. skibsmål anvendes som yderligere identifikationshjælpe-middel. I f.m. landmål kan systemet anvendes til at identificere de mål, der indeholder radarsystemer. Det skal dog understreges, at det kun er et fåtal af det samlede antal landmål, der indeholder radarsystemer, hvorfor der bliver et betydeligt antal landmål tilbage, hvortil der ikke kan henføres et radarsignal.

En mulighed for identifikation af disse ikke radierende mål foreligger i form af anvendelse af andre sensorer som f.eks. små førerløse luftfartøjer (engl. "Unmanned Aircraft" = UMA) udrustet med optiske sensorer. På baggrund af radarbilledet, indhentet ved hjælp af SAR, kunne man indsætte UMA mod mål af særlig interesse. Fra UMA ville det være muligt at transmittere et billede af målet tilbage til en jordstation, hvor den endelige målidentifikation kunne foregå. Det skal dog påpeges, at forsvaret ikke for tiden råder over sådanne UMA, ligesom anvendelse af UMA (som et penetrerende system) kun kan anvendes i krigstid og altså ikke har værdi over land i freds- og spændingsperioder.

2.4 AKTIVE ELEKTRONISKE MODMIDLER

Ethvert radarsystem er i større eller mindre grad sårbart over for aktive elektroniske modmidler. En SLAR har dog en ringe sårbarhed, uanset hvilken antennteknik der anvendes. Dette skyldes følgende:

Radarantennen er monteret således, at der sendes ud til siden. Dette bevirker, at et givet punkt på jorden belyses i kort tid. Dette levner kort tid til dels at opfange signalet og dels at iværksætte effektive elektroniske modmidler, ligesom der anvendes en transmissionsform, hvor der

hyppigt skiftes frekvenser. Dette stiller forøgede krav til det udstyr, der skal anvendes til elektroniske modforanstaltninger i form af frekvensdækning, sendereffekt eller evne til at følge frekvensskift i SLAR.

SAR anvender, som tidligere omtalt, en kohærent radarteknik, der indebærer, at man udnytter både amplitude- og faseinformation i det reflekterende signal. Dette resulterer i, at signalet, der reflekteres fra et mål, har en større styrke i forhold til støjsignalet, end ved anvendelse af ikke-kohærent signalbehandlingsteknik, hvilket medfører yderligere resistens over for modmidler.

2.5 DEN LUFTBÅRNE PLATFORM

2.5.1 Kampfly

Flyvevåbnet råder i dag over to typer kampfly, F/RF-35 DRAKEN og F-16. De efterfølgende kommentarer har lige stor relevans for begge typer.

Et kampfly, udrustet med en SLAR/SAR monteret i en udvendig beholder, har følgende fordele i relation til den her behandlede opgave:

- a. Flyet har en høj marchhastighed, hvorfor det hurtigt kan komme frem til operationsområdet og hurtigt kan bringe rekorderede resultater tilbage.
- b. Et kampfly kan i lav højde nærme sig et område, hvorfor risiko for detektion og nedkæmpelse er formindsket. Flyet kan herefter foretage en brat stigning til en større højde, optage enkelte "billeder" af udvalgte mål og returnere til lav højde under hjemflyvning.
- c. I kraft af dets manøvrevevne og de medførte aktive og passive selvforsvarsmidler har kampflyet en høj grad af overlevelses-evne.

Kampflyet har imidlertid følgende ulemper i forhold til denne opgave:

- a. Dets marchfart er for stor til, at der med SLAR med konventionel antennteknik kan opnås en acceptabel billedkvalitet, ligesom farten nedsætter mulighederne for at detektere mål, der bevæger sig.

- b. Mange SLAR systemer, der anvender konventionel antennteknik, har en antenne, der er for stor til, at den kan medføres af et kampfly.
- c. P.g.a. pladsproblemer og mangel på muligheder for at medføre ekstra besætningsmedlemmer er det ikke muligt at præsentere de indhentede data i flyet under selve flyvningen.
- d. Et kampfly er for lille til, at radarsystemet kan kombineres med kendte elektroniske opklaringssystemer (ESM).
- e. Kampflyet har en relativ kort flyvetid (maksimalt ca. 2 timer). Det kan således ikke i længere tid anvendes til at overvåge et bestemt område. Hvis hele flyvetiden omsættes til distance, kan kampflyet dog gennemføre opklaring mod et stort antal mål eller over et stort område.
- f. P.g.a. den relativt korte flyvetid skal kampflyet stationeres nær operationsområdet. Der er således begrænsede muligheder for at gennemføre en stationering uden for operationsområdet og samtidigt foretage operationer inden for dette i længere tid.
- g. Sidst, men ikke mindst, skal det anføres, at antallet af danske kampfly er begrænset. Hvis man valgte en løsning, der indebærer anvendelse af F-16 til SAR-rekognoscering, ville man svække luftforsvaret med det antal fly, der blev taget ud til denne rolle.

Som følge af ovenstående er der to muligheder for dataudnyttelse. Flyet kan udrustes med optageudstyr, der rekorderer de indsamlede data. Disse afspilles og analyseres herefter på jorden. Sådanne oplysninger har derfor kun værdi, når det gælder "ikke tidssensitive" mål. Dette vil i realiteten sige faste installationer eller bevægelige mål, der vil være lang tid om at kunne udgøre en trussel. Den anden mulighed er anvendelse af data-link. Her transmitteres data til jorden i den takt, hvormed de indhentes. Ved jordstationen foregår der herefter løbende en rekordering og analyse af de indsamlede oplysninger. Herigennem kan der hurtigt reageres også på "tidssensitive" mål.

2.5.2 Transportfly

Flyvevåbnet råder over to transportflytyper, C-130 HERCULES OG G III GULFSTREAM. Af en række taktiske og tekniske årsager er det lidet hensigtsmæssigt at medføre en SLAR/SAR beholder på en C-130. Hovedårsagerne er, at antennen p.g.a. manglende frihøjde på C-130 ikke kan monteres på undersiden af selve flykroppen. Montering på ophæng ("pylons") under vingen vil medføre for stor mekanisk ustabilitet (rystelser, der vanskeliggør fokuseringen), ligesom der introduceres uønskede radarrefleksioner forårsaget af propellernes rotation. Af disse årsager bør C-130 lades ude af betragtning.

Anvendelse af SLAR/SAR på en G III (hvor ovennævnte vanskeligheder ikke er gyldige) indebærer følgende fordele:

- a. I forhold til kampfly har G III en meget lang flyvetid. Dette medfører, at flyet kan blive lang tid (6 - 8 timer) i et bestemt område og overvåge dette. Flyet kan også stationeres langt fra operationsområdet og alligevel blive en rimelig tid i dette. Endelig betyder flyets rækkevidde, at flyet med en stationering tæt på operationsområdet kan dække et meget stort område på en enkelt flyvning.
- b. En G III kan medføre en SLAR med såvel konventionel som syntetisk antennteknik.
- c. P.g.a. løfte- og lasteevnen i en G III kan radarsystemet kombineres med andre sensorer. Dette åbner mulighed for udnyttelse af visse af de identifikationsteknikker (ESM), der er nævnt tidligere.
- d. En G III er stor nok til at medføre præsentrations- og rekorderingsudstyr og det nødvendige antal operatører. Dette, kombineret med et passende system til rapportering, vil give mulighed for næsten øjeblikkelig udnyttelse af de indhentede informationer. G III løsningen kræver således ikke nødvendigvis anvendelse af data-link.
- e. Anvendelse af G III vil i krig friholde kampfly for at skulle løse SAR-rollen.

Ulemper ved anvendelse af G III:

- a. En G III er mere sårbar end et kampfly. Det har en langt ringere manøvrevevne, og det er ikke for tiden udrustet med våben til selvforsvar og elektronisk selvbeskyttelsesudstyr.
- b. En G III kan i lighed med et kampfly anflyve målområdet i lav højde, men flyets stigning til operationshøjden vil foregå langsommere.

2.5.3 Delkonklusion

Et kampfly er alle forhold taget i betragtning mindre egnet som overvågningsplatform. Kort flyvetid, mangel på kombinationsmuligheder med andre sensorer og manglende muligheder for præsentation af de indhentede oplysninger om bord er dominerende.

G III er mere egnet end kampflyet p.g.a. den længere flyvetid og større rækkevidde, mulighed for præsentation om bord og mulighed for kombination med andre sensorer.

2.6 KONVENTIONEL ELLER SYNTETISK ANTENNETEKNIK

2.6.1 SLAR med konventionel antennteknik

Denne radar har, som tidligere gennemgået, en ringe opløsningsevne, der forværres med afstanden til målet. Radarsystemer af denne type er hovedsageligt egnet til anvendelse mod skibsmål. Systemet giver ringe mulighed for målklassifikation, og målidentifikation er næsten udelukket. Denne radartype er mere sårbar over for elektroniske modmidler end en SAR.

2.6.2 SLAR med syntetisk antennteknik (SAR)

Denne radartype har en meget stor opløsningsevne, der kun forværres i ringe grad med stigende afstand til målet. Systemet giver en høj grad af mulighed for klassifikation og nogen mulighed for identifikation af visse søsmål. Systemet er i langt mindre grad end andre radartyper sårbar over for aktive elektroniske modmidler.

2.6.3 Delkonklusion

En SLAR, der anvender en konventionel antennteknik, er hovedsageligt anvendelig mod sømål. Mulighederne for klassifikation/identifikation er så forsvindende små, at systemet skal kombineres med ESM-udstyr for at være effektivt. Systemet er for stort til, at det kan bæres af et kampfly. En SAR har en høj grad af anvendelighed mod såvel sø- som landmål, og systemet har (uden ESM-udstyr) gode muligheder for at klassificere visse skibsmål og luftfartøjer på jorden. Kombineret med ESM-udstyr kan radartransmitterende landmål identificeres.

Som følge af ovenstående vil der i det efterfølgende kun blive behandlet løsninger, der indebærer anvendelse af en SAR.

3. KONFIGURATION OG PRIS

3.1 VALG AF KONFIGURATION

På baggrund af den foregående tekniske beskrivelse kan der opstilles et antal mulige konfigurationer (udrustningsvarianter) for en flybåren overvågnings-/indhentningsplatform:

KONFIGURATION	KAN BÆRES AF	
1. SAR med rekorderingsudstyr	F-35/F-16	G III
2. SAR med data-link	F-35/F-16	G III
3. SAR med rekorderingsudstyr og data-link	F-35/F-16	G III
4. SAR med rekorderingsudstyr og præsentation i luften		G III
5. SAR med rekorderingsudstyr, præsentation i luften og data-link		G III
6. SAR med rekorderingsudstyr, præsentation i luften og ESM		G III
7. SAR med rekorderingsudstyr, præsentation i luften, data-link og ESM		G III

3.1.1 SAR med rekorderingsudstyr

Denne konfiguration kan fremføres af F-35, F-16 og G III. Løsningen indebærer, at alle de indhentede informationer rekorderes for først at blive præsenteret og behandlet på jorden. Det er under flyvningen ikke muligt at monitere billedkvaliteten. Systemet indebærer således en tidsforsinkelse på flyvetiden (2 - 8 timer) og behandling på jorden (15 min - 8 timer), i alt op til 16 timer. P.g.a. denne tidsforsinkelse er en sådan konfiguration kun egnet til rekognoscering i fredstid, og den er lidt egnet i spænding og krig.

3.1.2 SAR med data-link

Denne konfiguration kan fremføres af såvel F-35 og F-16 som G III. Konfigurationen indebærer, at de indhentede informationer sendes via data-link til en jordstation, hvor der løbende kan foregå rekordering, behandling, udnyttelse og videre transmission af de indhentede informationer. Hvis data-linken svigter, går de indhentede informationer tabt, og missionen må afbrydes. Hvis data-link modtagestationen sættes ud af spillet, kan systemet ikke udnyttes. Systemet kan anvendes i fred, spænding og krig, og informationerne vil løbende foreligge med kort tidsforsinkelse. Systemets anvendelighed er begrænset af data-linkens rækkevidde (ca. 360 km). Systemet kan således ikke anvendes langt op i Østersøen, med mindre der etableres passende relæstationer.

3.1.3 SAR med rekorderingsudstyr og data-link

Konfigurationen er anvendelig på både F-35, F-16 og G III. Den eliminerer svagheden ved den rene data-link løsning (rækkevidde og sårbarhed), men på den del af flyvningen, hvor flyet er uden for data-link rækkevidde, har man de problemer, der er relateret til den rene rekorderingsløsning. Denne løsning er brugbar i såvel fred, spænding som krig.

3.1.4 SAR med rekorderingsudstyr og præsentation i luften

Denne konfiguration kan bæres af G III. Den indebærer, at de indhentede informationer løbende præsenteres i luften på hertil egnet udstyr. Informationerne kan derfor i et vist omfang bearbejdes og udnyttes med kort tidsforsinkelse. Detektion af nye landmål, der ikke bevæger sig, er vanskeliggjort, hvis "change detection" teknikken ikke anvendes i luften, ligesom identifikation af disse måltyper i praksis er meget problematisk. En hurtig udnyttelse af visse af de indhentede informationer kræver sikre radioforbindelser til brugerne med resistens over for elektroniske modmidler. Konfigurationen er brugbar i fred, spænding og krig.

3.1.5 SAR med rekorderingsudstyr, præsentation i luften og data-link

Denne konfiguration kan bæres af G III, og den har de samme fordele som den foregående. Stationære mål på land kan løbende analyseres på jordstationen, men dog kun så længe data-linkens rækkevidde kan udnyttes.

3.1.6 SAR med rekorderingsudstyr, præsentation i luften og ESM

SAR-mæssigt er denne konfiguration identisk med konfigurationen nævnt i pkt. 3.1.4. Kombinationen med ESM muliggør identifikation med en høj grad af sikkerhed af sømål og landmål, til hvilke der kan henføres et kendt radarsignal. Konfigurationen giver dog stadig ikke mulighed for med sikkerhed at konstatere nye stationære landmål.

3.1.7 SAR med rekorderingsudstyr, præsentation i luften, ESM og data-link

Denne komplette konfiguration besidder alle de ovennævnte fordele, og den eliminerer mange af de ovenstående svagheder.

3.2 DATA-LINK OG DATABASEPROBLEMET

Såvel sender som modtagerdel af data-link anvender en retningsbestemt antenne. Det er derfor kun muligt at sende signaler til én data-link station ad gangen. Man har herefter tre muligheder. Man kan sende de modtagne informationer videre i ubehandlet stand til en række brugere under anvendelse af et særligt jordbaseret data-link net. Hvis denne løsning skal anvendes på landmål, kræver det, at alle brugere er i besiddelse af en analysestation og databasen, for at de kan anvende "change detection" teknikken, hvorimod behandling af sømål ikke kræver "change detection".

Den anden mulighed består i, at data vedr. sømål øjeblikkeligt retransmitteres ubehandlet til en række brugere, men at landmål først underkastes "change detection" teknikken, hvorefter et ny-genereret billede, hvorpå nye mål er udpeget, videretransmitteres. Dette kræver link-forbindelser til brugerne og en dataskærm hos disse.

Den tredje mulighed indebærer, at landmål behandles som anført umiddelbart ovenfor. Søsmål klassificeres i analysecentret, den nøjagtige position fastslås, og billedet nummereres inden retransmission.

Det skal i forbindelse med videredistribution af informationerne bemærkes, at det omtalte jordbaserede udstyr ikke er umiddelbart til rådighed. Der er dog to kommando- og kontrolsystemer, der kunne være egnede. Dels det etablerede "Flag Officer Denmark, Command, Control and Information System" (FOD CCIS), dels "Allied Command Baltic Approaches, Command, Control, and Information System" (ACBA CCIS), som er under indfasning og forventes klar i løbet af 1988. Der er imidlertid ikke i disse systemer for nærværende taget højde for behandling og præsentation af de omtalte informationer.

3.3 TEKNISK GENNEMFØRLIGHED

Visse SAR-systemer er allerede i operativ tjeneste. Rekorderingsudstyr og data-link er ligeledes operativt. Derimod er det flybårne præsentations- og databehandlingsudstyr endnu ikke færdigudviklet, men forventes dog produktionsklart i 1988. Eksisterende SAR-systemer findes bl.a. i en beholdermonteret version, der kan ophænges i de på F-16, F-35 eller G III eksisterende ophængspunkter. For at systemet kan fungere på et fly, skal dette modificeres med kabler, der forbinder beholderen med bl.a. flyets inerti-navigationsystem. Et evt. data-link system eller rekorderingsystem kan ligeledes monteres i beholderen.

Ønsker man at anvende en konfiguration med luftbåren præsentation, skal der i flyet monteres det (efter færdigudvikling) nødvendige signal- og databehandlingsudstyr. Dette udstyr kan indbygges i konsoller, der kan føres ind og ud af G III lastedør. Anvendelse af disse udstyr kræver yderligere kabler med fastmonterede stik i flyets gulv. Det er således klart, at de pågældende fly skal modificeres med ledningsføringer, stik, nødvendige ændringer af flyets elektriske system etc., således at en modificeret G III kan løse alle de G III normalt pålagte opgaver i de hertil nødvendige konfigurationer. Rekonfigurering til SAR konfiguration indebærer

fjernelse af et mindre antal sæder, montering af SAR-beholder, montering af operatørkonsoller, operatørstole og behandlingsudstyr.

Ledningsmodifikationen kan gennemføres på et af flyvevåbnets hovedværksteder. Den hertil medgående tid vil ganske afhænge af den valgte udførelse. Når modifikationen er gennemført, kan ændring af konfiguration foregå på eskadrilleniveau, tidsforbruget til konfigurationsændring er skønnet til at være ca. 3 timer.

3.4 OVERSIGT OVER SAMMENHÆNG MELLEM PRIS OG KONFIGURATION FOR ET REPRÆSENTATIVT SAR-SYSTEM

Investeringsudgifter

Indgår i konfigurationen (se. pkt. 3.1)

	MIO \$ US (JAN 86)	1	2	3	4	5	6	7
SAR	7,050	x	x	x	x	x	x	x
Data-link	0,765		x	x		x		x
Flybårent præsentations- udstyr	0,100				x	x	x	x
Flybårent rekorderings- udstyr	0,550	x		x	x	x	x	x
Jordudstyr	4,950	x	x	x	x	x	x	x
Reserve dele i 2 år	2,225	x	x	x	x	x	x	x
Dokumentation og kurser	1,650	x	x	x	x	x	x	x
Programstøtte	2,150	x	x	x	x	x	x	x
ESM	5,0						x	x
Data-link jordstation	2,600		x	x		x		x
Behandlings- og rekorderings- udstyr	5,575		x	x		x		x
Præsentations- og analyse- udstyr (4 stationer)	4,825	x	x	x	x	x	x	x
Jordudstyr til vedligeholdelse af data-link	0,655		x	x		x		x
Reserve dele	0,230		x	x		x		x
Dokumentation og kurser	0,315		x	x		x		x
Bygningsmæssige foranstaltninger	0,5	x	x	x	x	x	x	x
Total pris for et system	ca.	23,9	33,5	34,0	24,0	34,6	29,0	39,1
Ekstra udgifter for efterfølgende systemer	ca.	7,6	7,8	8,3	7,7	3,4	12,7	13,4

3.5 ANDRE UDGIFTER

3.5.1 Modifikationsudgifter

I investeringsudgifterne er indeholdt et beløb på 5 mio. kr. til flymodifikation. Dette forudsætter imidlertid, at flyets nuværende strømforsyning er tilstrækkeligt dimensioneret. Eventuelle ekstra generatorer er ikke inklusive.

3.5.2 Eventuelle ekstra fly

I denne rapport er det forudsat, at en SAR-bærer skal findes blandt flyvevåbnets nuværende fly. Det skal derfor nævnes, at såfremt F-16 eller F-35 indsættes i SAR-rollen uden forøgede investerings- og driftsmidler (ekstra fly og besætninger), vil det betyde en proportional begrænsning i træning og udførelse af krigsopgaverne. Dette vil være særdeles kritisk, da denne indsats allerede i dag blot modsvarer såvel nationalt militærfaglige som NATOs mindstekrav herfor. Ganske vist medvirker F-16 og F-35 til farvandsovervågningen for nærværende med ca. 500 flyvetimer årligt. Men som det senere vil fremgå, bør overvågningen også kunne udføres med andre midler end SAR. Dette for at sikre fortsat overvågning, i fald de få SAR-bærere måtte gå tabt. Hertil skal føjes, at F-35 udfører vitale fotooptagelser, der ikke kan erstattes af SAR.

For G II's vedkommende skal nævnes, at udgifterne til disse fly afholdes over forsvarsbudgettets civilafsnit. G III udfører primært fiskeriinspektion ved Færøerne og Grønland samt særlige flyvninger for forsvarsministeriet, i alt ca. 1750 timer årligt. Løsning af disse opgaver lader sig næppe indskrænke i nævneværdigt omfang - og det skal nævnes, at flyene er udset til andre opgaver i en krigssituation. For at angive en omtrentlig størrelsesorden kan det oplyses, at indkøb af f.eks. tre G III, incl. initialanskaffelse af reservedele, vil andrage ca. 400 - 450 mio. kr. Som alternativ kan flyene sandsynligvis erhverves brugte, hvilket vil reducere investeringen med ca. 100 mio. kr. Af standardiseringshensyn kunne det være hensigtsmæssigt at vælge en sådan løsning.

3.5.3 Driftsudgifter

Den årlige drift af selve radarsystemet ("hardware" såvel som "software") vil, afhængig af den valgte konfiguration, andrage ca. 15 - 25 mio. kr.

Den årlige drift af f.eks. tre G III må anslås til ca. 30 mio. kr.

4. OPERATIVE MULIGHEDER

4.1 SAMMENHÆNG MELLEM SAR KONFIGURATION, OPERATIONSVILKAR OG TIDSAKTØRER

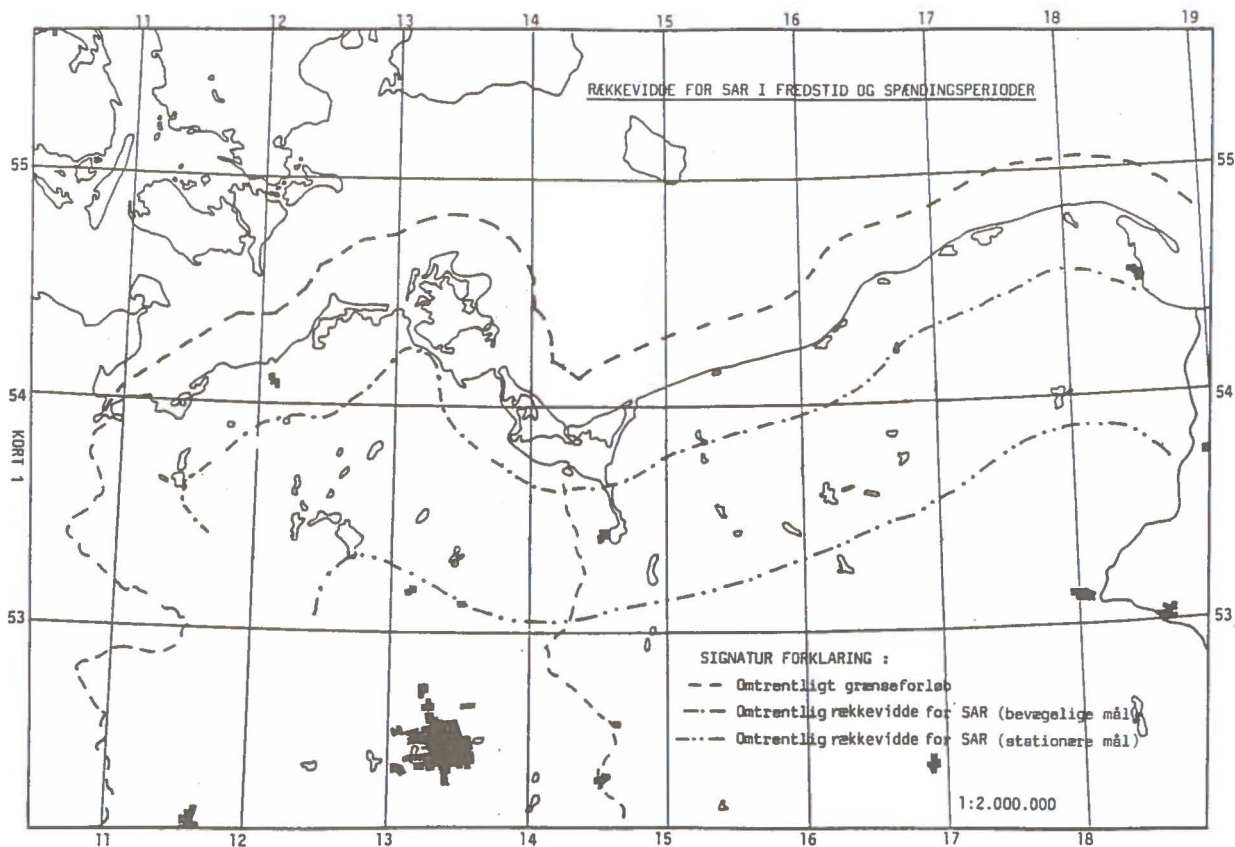
4.1.1 Fredstid

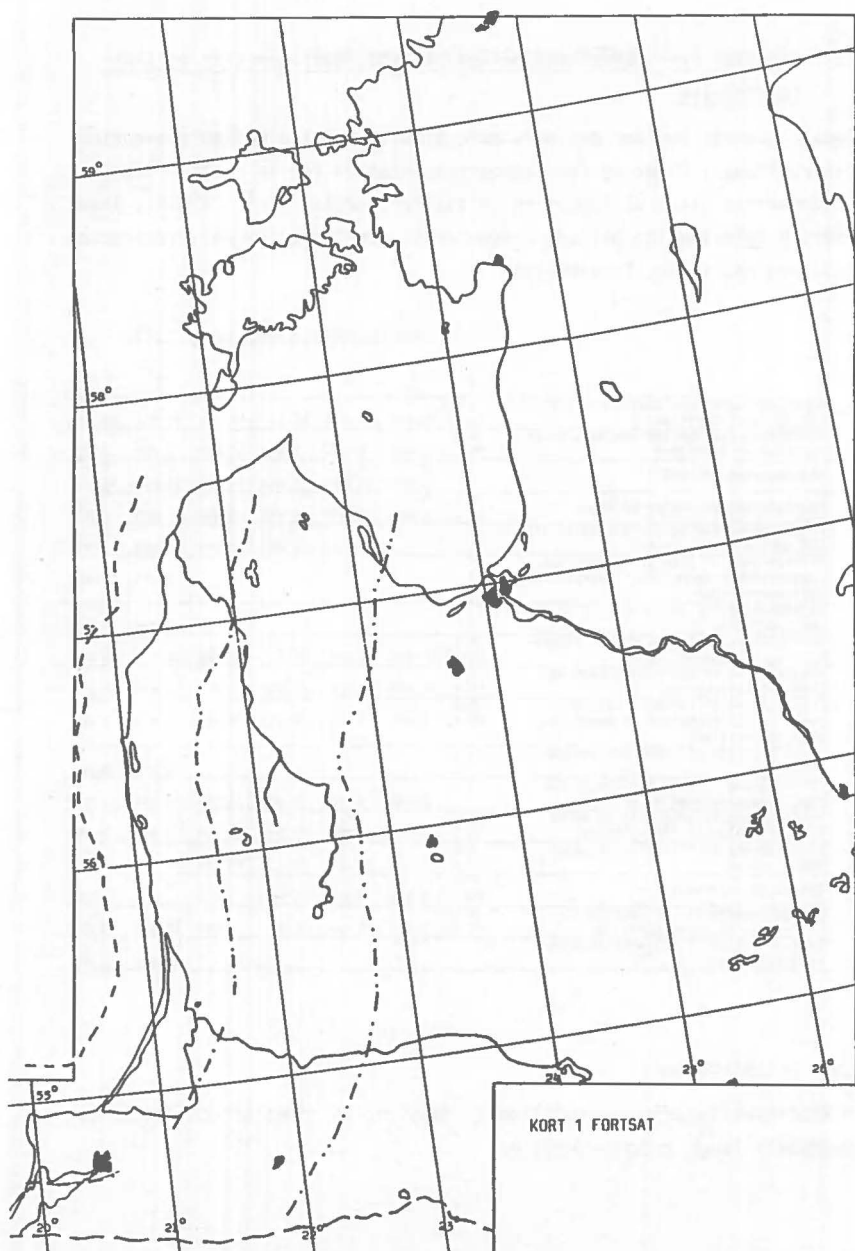
I fredstid kan SAR missioner teknisk gennemføres uden restriktioner i dansk og internationalt luftrum. Eventuelle politiske restriktioner er ikke nærmere undersøgt. Der kan herunder dækkes det område, der er vist på kort 1. Afhængig af det område, der dækkes af radarstrålen på jorden, skal der foretages et vist antal "løb" (enkelte stræk af en hel flyvning) for at få et helt område dækket.

I visse af de opstillede konfigurationer baserer rekordering og præsentation af de indhentede oplysninger sig udelukkende på data-link. Flyet er her begrænset til at holde sig inden for rækkevidde af modtagestationen. Dette begrænser i nogen grad systemets anvendelighed mod områder i den østlige Østersø.

I de konfigurationer, hvor rekordering foregår ombord, har flyet ikke denne begrænsning. Til gengæld er der en vis tidsforsinkelse, inden de indhentede informationer kan udnyttes. Denne er afhængig af flyets flyvetid, hvortil skal lægges den tid, det tager at behandle det rekorderede materiale. Den totale tidsforsinkelse kan nemt blive det dobbelte af missionens varighed. Hvis der kun er blevet gennemført rekognoscering mod en række punktmål, er den tid, der forbruges til analyse, dog meget mindre, skønsmæssigt 5 - 15 min. for hvert større landmål.

Endelig findes der de konfigurationer, hvor der foregår præsentation i luften. Her er det muligt løbende at foretage en hurtig bearbejdning og f.eks. erkende markante ændringer i udvalgte, væsentlige områder eller erkende en markant ændring i et aktivitetsniveau.





4.1.2 Oversigt over sammenhæng mellem måltype, konfiguration og tidsforsinkelse

Tallene i skemaet angiver den maksimale tidsforsinkelse mellem generering af radarbillede i flyet og førstegangspræsentation for én central bruger. Til nedennævnte tal skal lægges en initialforsinkelse på 1 - 4 min., inden det første fuldstændige billede præsenteres. Nydetekterede mål præsenteres løbende med ca. 1 sek. forsinkelse.

KONFIGURATION (se pkt. 3.1).

	1	2	3	4	5	6	7
Konstatering af nye stationære/faste mål og deres position	4 t 16 t	15 min	15 min	16 t	15 min	16 t	15 min
Konstatering af bevægelige mål, deres position og hastighed	4 t 16 t	2 min	2 min	2 min	2 min	2 min	2 min
Målpudpegning for UMA		2 - 15 min	2 - 15 min	2 min	2 - 15 min	2 - 15 min	2 - 15 min
Konstatering af skader på broer	4 t 16 t	2 min	2 min	2 min	2 min	2 min	2 min
Målpudpegning for og dirigering af fly mod mobile mål og broer				2 min	2 min	2 min	2 min
Konstatering af type af og position på radarsystemer og mobile, radarstyrede luftværnsenheder						5 min	5 min
Målpudpegning for og dirigering af fly mod ovennævnte						5 min	5 min
Konstatering af havne, disses udformning og nyinstallationer	4 t 16 t	15 min	15 min	16 t	15 min	16 t	15 min
Konstatering af fartøjer i havn og deres klassifikation	4 t 16 t	15 min	15 min	15 min	15 min	15 min	15 min
Konstatering af fartøjer til søs, deres antal, formation, klassifikation og position	4 t 16 t	5 min	5 min	5 min	5 min	5 min	5 min
Identifikation af sømål der anvender radar						5 min	5 min
Målpudpegning ud over horisonten for sømålsmisilenheder eller fly		2 min	2 min	2 min	2 min	2 min	2 min
Konstatering af antal fly og deres klassifikation på flyvepladser	4 t 16 t	5 min	5 min	5 min	5 min	5 min	5 min
Konstatering af flyvepladser under konstruktion	4 t 16 t	15 min	15 min	16 t	15 min	16 t	15 min
Skader på startbaner	4 t 16 t	5 min	5 min	5 min	5 min	5 min	5 min
Mulige permanente luftværnsmissilstillinger og deres position	4 t 16 t	5 min	5 min	16 t	5 min	16 t	5 min
Identifikation af aktive luftværnsmissilstillinger						5 min	5 min

4.1.3 Delkonklusion

Alle konfigurationer er anvendelige i fredstid, da ingen af dem indebærer uacceptabelt lange tidsforsinkelser.

4.1.4 Spændingsperioder

Dækningsområdet er principielt det samme som i fredstid (se kort 1), med mindre der pålægges politiske restriktioner på flyvning i Østersøen. Indledningsvis kan der formentlig accepteres relativt lange tidsforsinkelser mellem informationsindhentning og præsentation. Men hvis WP styrkeopbygning påbegyndes, stiger kravene til præsentationshastighed. SAR-systemet bliver her et værktøj til taktisk varsling, og en informationskilde på baggrund af hvilken beslutninger kan træffes i krisestyringen. I denne fase samler interessen sig bl.a. om forskydning af hærenheder til det forreste område (ca. 100 km fra den indre tyske grænse), amfibieenheder mindre end 6 timers sejlads fra potentielle landgangsområder og flystyrker i interesseområdet til ca. 17^o østlig længde. De tidsforsinkelser, der er acceptable, vurderes at være af 1 - 2 timers varighed.

4.1.5 Delkonklusion

Disse krav kan kun honoreres med konfigurationer, der baseres på data-link eller præsentation om bord, kombineret med rekordering.

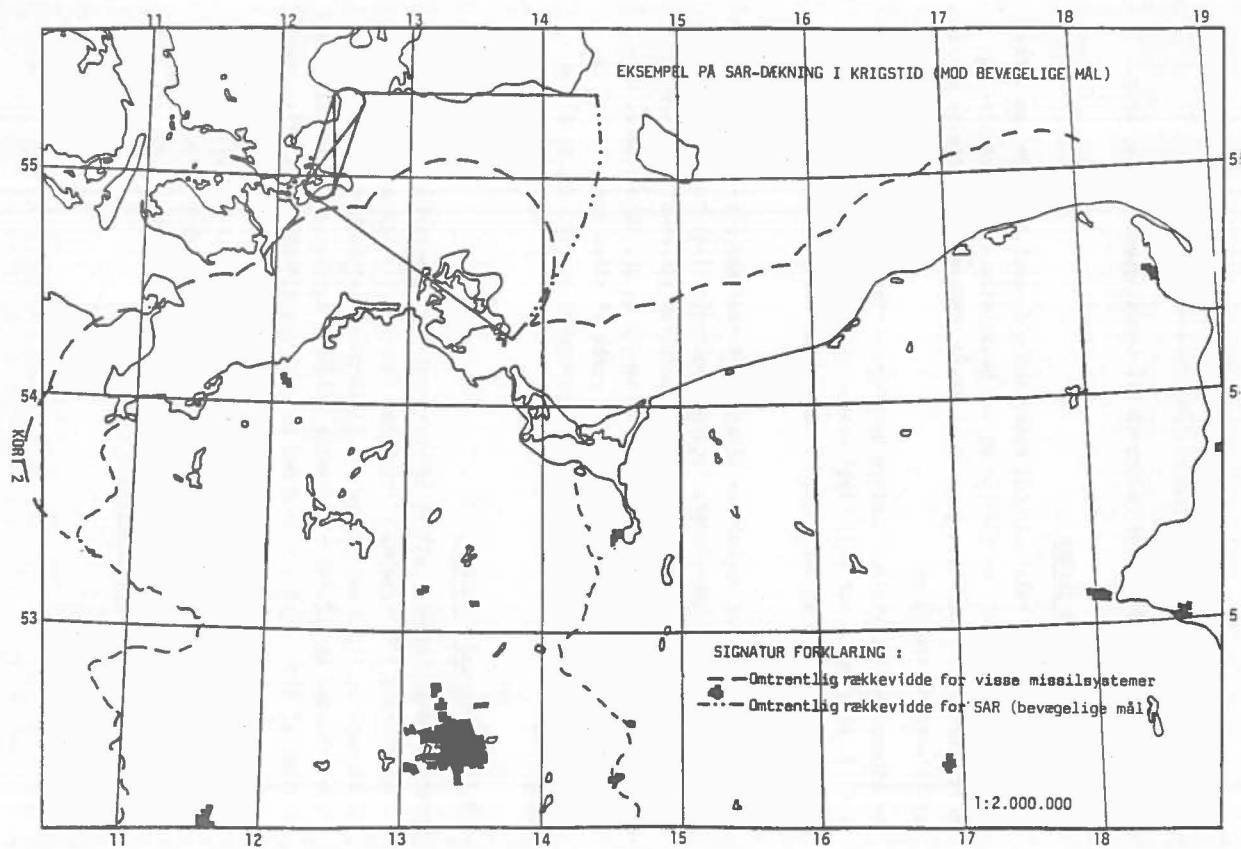
4.1.6 Krig

I krig vil det være særdeles vanskeligt at gennemføre missioner ud i Østersøen i den nødvendige flyvehøjde. Et enligt rekognosceringsfly ville hurtigt pådrage sig WP luftforsvars fulde opmærksomhed. Selv ældre WP luft-til-luft missilsystemer har en rækkevidde, der giver piloten valget mellem at krænke svensk luftrum eller flyve inden for rækkevidde af WP jord-til-luft missilsystemer. Et SAR udrustet fly er således normalt begrænset til at gennemføre operationerne i NATO luftrum, se kort 2, der viser et eksempel på SAR-dækningen mod bevægelige mål. Det skal bemærkes, at flyveretningen (profilen) kan drejes eller flyttes, f.eks. til Slesvig-Holsten, hvorved væsentlige områder af det nordlige og nordvestlige DDR kan dækkes. Flyvning på denne måde åbner mulighed for anvendelse af data-link/rekorderingskonfigurationer.

Den acceptable tidsforsinkelse mellem informationsindhentning og -præsentation er endnu mindre end i spændingsperioder.

4.1.7 Delkonklusion

I krigstid er der behov for en konfiguration med data-link eller flybåren præsentation, begge kombineret med rekordering.



4.2 SÅRBARHED

Sårbarheden er hovedsageligt relateret til spændingsperioder og krig.

4.2.1 Sårbarhed på jorden

Et kampfly vil være relativt godt beskyttet mod såvel sabotage som luftangreb ved parkering i et shelter og ved bevogtnings-, nærforsvars- og nærluftforsvarsforanstaltninger, der i øvrigt indgår i beskyttelse af flyvestationen/flyvepladsen.

Med mindre der iværksættes særlige bygningsmæssige foranstaltninger, skal en G III parkeres i det fri. Flyet er her sårbart over for virkningen af alle flybårne våben og sabotage, f.eks. gennemført ved beskydning på afstand.

Alle flys evne til at operere er afhængig af rådighed over et ubeskadiget banestræk af visse dimensioner, ligesom nødvendige logistiske støttefunktioner må være til stede. I en SAR konfiguration kan såvel F-16 som en G III operere fra en bane på ca. 1000 m længde og ca. 15 m bredde. Der er i Danmark og Slesvig-Holsten ca. 100 stræk af disse dimensioner. En nøjere analyse af startbanekompleksets sårbarhed er p.t. ved at blive gennemført.

4.2.2 Sårbarhed i luften

Under spændingsperioder vil et SAR-udrustet fly være sårbart ved operationer overalt i Østersøen. Sårbarheden for en G III kan dog reduceres ved at udruste flyet med udstyr til elektronisk selvbeskyttelse (chaff/flare udkaster og ALQ-162 elektronisk vildledningsudstyr) og luft-til-luft missiler af AIM-9 type i lighed med de engelske NIMROD patruljefly. Udgifterne til disse systemer skal lægges til de tidligere nævnte udgifter til SAR-systemet. Endelig skal det anføres, at intervention med eller uden våbenmagt mod et NATO rekognosceringsfly i internationalt luftrum i sig selv er en god varslingsindikator, da et angreb på et sådant fly selvsagt må betragtes som en krigshandling.

I krig forudses et SAR-udrustet fly at operere i NATO luftrum. WP råder over et antal jord-til-luft missilsystemer, der kan true flyet ud til den afstand, der er vist på kort 2. WP råder yderligere over et system, der udgør en trussel i mellemstor og op til meget stor højde på store afstande. Hvis flyvningen planlægges således, at de førstnævnte systemer undgås, er kun det sidste system en trussel. Dette system kan imødegås med de tidligere nævnte systemer til elektronisk krigsførelse.

En anden trussel mod et SAR-bærende fly er WP jagere, der indsættes i NATO luftrum. Disse står over for to hovedproblemer. For det første skal WP kontrol- og varslingsystem kunne udskille det SAR-bærende fly fra den øvrige lufttrafik. Dette problem kan løses ved over en periode at iagttage potentielle flys opførsel og flyvehøjde. Yderligere udsender SAR et karakteristisk signal, der i et begrænset område kan opsnappes. Problemet er dog ikke løst hermed for WP. Jagerflyene skal også trænge frem til det SAR-bærende fly. Over dansk område skal der dels passeres et antal NATO jagerfly og i visse områder også igennem IHAWK forsvarede områder. Er det SAR-bærende fly indsat over Slesvig-Holsten, skal WP jagerne trænge igennem et område, der er forsvaret af IHAWK og PATRIOT.

4.2.3 Sårbarhed over for elektroniske modmidler

Sårbarheden over for aktive elektroniske modmidler er tidligere behandlet under den generelle beskrivelse af SAR. Det skal her blot gentages, at en SAR generelt er lidet sårbar over for aktive elektroniske modforanstaltninger.

En anden mulighed for elektroniske modmidler er passiv vildledning/maskering. Det er muligt at anvende radarreflektorer, der kan illudere militære enheder til lands eller vands, eller som kan anbringes på køretøjer og fartøjer for at forstærke disses radarsignaturer. Køretøjer kan dernæst indsættes i et forsøg på at skabe et vildledende trafikmønster.

Passiv elektronisk maskering kan iværksættes ved opstilling af "skærme" af reflekterende/absorberende materiale om enheder, der ønskes skjult. I krigstid vil der være mulighed for indsættelse af supplerende systemer

(UMA) bl.a. med optiske sensorer, der kan afsløre disse vildledningsforsøg, idet der henvises til tidligere fremsatte bemærkninger herom. Forsøg på vildledning af denne karakter vil således være vanskelig at erkende i freds- og spændingsperioder.

4.2.4 Data-link sårbarhed

Indsættelse af elektroniske modmidler mod data-link kompliceres af, at den platform, der medfører modmidlet, skal være anbragt meget nær eller i linien mellem sender og modtager.

Dette indebærer, at modmidlet skal være anbragt i et fly. Da SAR-flyet i krig opererer i NATO luftrum, skal et fly med elektroniske modmidler altså operere langt inde i NATO luftrum, hvor det er overordentligt sårbart.

Den største trussel mod data-link systemet er sabotage eller luftangreb. Sabotagerisikoen kan væsentligt reduceres ved anbringelse af data-link stationen ved en lokation, der i forvejen er godt bevogtet, f.eks. en flyvestation eller ved et krigshovedkvarter.

Ved flyangreb er data-link antennen den mest sårbare komponent i systemet, præsentationsudstyret kan formentlig anbringes i en eksisterende bunker-facilitet.

4.2.5 Delkonklusion

Som det fremgår af ovenstående, bør en SAR-konfiguration vælges blandt dem, der indeholder et flybårent rekorderingsudstyr og enten data-link eller flybårent præsentationsudstyr.

4.3 INDSÆTTELSESMULIGHEDER FOR SAR-BÆRENDE FLY

4.3.1 Indsættelse i fredstid

Indledningsvis vil indsættelsen af et SAR-bærende fly være centreret om etablering af en database. Hele interesseområdet skal dækkes bl.a. fra de højder og ad de flyveruter, der påregnes anvendt i spændingsperioder og i krig. Database lagres i digitaliseret form ved et analysecenter. Her-

efter kan der gennemføres tilbagevendende rekognoscering mod de områder og objekter, der måtte have speciel interesse. Databasen bør etableres for hele interesseområdet og for havne og flyvepladser nær USSR Østersø-kyst op til Riga-bugten.

Der etableres på ovennævnte måde dels et materiale, hvorpå det er muligt at foretage opdatering af kort, dels en beskrivelse af de mål, der måtte være aktuelle i krig. Der kan konstateres et trafikmønster, der viser det normale fredstidsbillede, og der kan etableres den base, der er forudsætningen for, at "change detection" teknikken kan anvendes.

Enhver efterfølgende mission kan herefter gennemføre rekognoscering mod et specifikt mål, og databasen vil samtidigt blive opdateret.

4.3.2 Indsættelse i spændingsperioder

Missioner gennemføres principielt som i fred, men det vil være nødvendigt at intensivere overvågningen mod visse områder. Først og fremmest mod områder, hvor der ud fra aktiviteten kan fastslås varslingsindikatorer, men også mod mål og områder, hvor der sker ændringer i de stationerede styrkers art og antal. I denne forbindelse har SAR især værdi mod trafik til lands, havne og fartøjer i disse og normalt ubelagte flyvepladser. Afhængig af missionslængde kan det være af betydning øjeblikkeligt at kunne udnytte de indhentede informationer. Dette er især nødvendigt under forhold med en høj grad af spænding mellem parterne.

Indhentningsmissioner i denne fase gennemføres i Slesvig-Holsten og i internationalt luftrum langs Østersø-kysten op til Riga-bugten.

4.3.3 Indsættelse i krigstid

Det SAR-bærende fly overgår nu fra at være en indhentnings-/rekognosceringsplatform til at være en decideret overvågnings- og måludpegningsplatform. Flyet indsættes a.h.t. truslen i NATO luftrum. Missionerne vil i krig typisk kunne omfatte følgende former:

- a. Overvågning af området indeholdende WP styrker, der står over for LANDJUT styrker. Hvis WP jord-til-luft missiler skal undgås, kan dette gøres til en dybde ca. 70 km ind i WP holdt territorium. Hertil kræves 4 løb, hvortil vil medgå en flyvetid på ca. 30 min.
- b. Overvågning af den nordlige del af DDR bl.a. med henblik på at konstatere trafik, der bevæger sig vestpå. Samtidigt kan visse udpegede broer overvåges med henblik på konstatering af evt. skader. Det er også muligt herunder at gennemføre overvågning af alle havne og flyvepladser i området. Hvis der kun skal overvåges broer, havne og flyvepladser, kan missionen gennemføres med et eller to løb. Hvis hele området skal overvåges, kræves 4 løb, hvilket indebærer en flyvetid på ca. 1 t 30 min.
- c. Overvågning af havområdet syd for Sverige mellem Møn og Bornholm og nord for Rygen. Det vil herunder være hensigtsmæssigt at anvende flyets indbyggede, fremadrettede radar til en generel overvågning. SAR anvendes først, hvis den indbyggede radar erkender mål, der ønskes klassificeret, eller hvis denne radar udsættes for elektroniske modmidler. Hvis hele området skal af søges med en SAR, skal der flyves i et særligt mønster, som vist på kort 2, herunder flyves i alt 28 løb, dette giver en total flyvetid på ca. 2 t 40 min. Det skal bemærkes, at F-35 ikke har indbygget radar.
- d. Måluadpegning for evt. nyanskaffede UMA. Dette kan gøres både under mission a. og b. Mission a. er mest velegnet til måluadpegning mod bevægelige mål. Måldata overføres enten på radio på baggrund af præsentation i luften eller via data-link via analysecentret til den enhed, der er ansvarlig for indsættelse af UMA.

- e. Måludpegning for fly mod landmilitære mål. Dette kan gøres på såvel mission a som b. Via radio er det muligt at opgive positionen, f.eks. på en kolonne af køretøjer, der herefter kan angribes. Mod sømilitære mål er det ligeledes muligt at opgive position for overfladeenheder til fly, der herefter kan angribe disse.
- f. Ekstern sensor for sømålsmissilenheder med henblik på detektion af mål, der er under missilenhedens radarhorisont. Denne opgave kan løses løbende samtidigt med mission c. Det er som tidligere beskrevet muligt at opgive antal, klassifikation og position på en formation af overfladefartøjer. Måloplysninger kan overføres via radio eller data-link, evt. direkte til brugeren.

Til anvendelsesformerne d, e og f skal dog bemærkes, at såfremt det SAR-bærende fly anvendes til måludpegning af relativt hurtige mål, vil den generelle overvågning svækkes svarende til den tid, der medgår, indtil våbenbæreren eller UMAen selv kan erkende målet. Såfremt begge opgaver skal løses samtidigt, må der indsættes flere SAR-bærende fly i operationsområdet. Som det tidligere i analysen er konkluderet, er kampflyet den mindst egnede SAR-bærer. Der er her derfor grund til at påpege, at forsvaret kun råder over i alt 3 G III fly og hertil svarende besætninger.

4.4 FORSLAG TIL KOMMANDOFORHOLD

SAR-bærende fly vil være af stor betydning i den generelle krisestyring, da det vil være et vigtigt værktøj til rekognoscering, indhentning, overvågning og evt. måludpegning. Især i spænding og krig vil der være mange behov og ønsker om disse få systemers indsættelse. Da disse behov og ønsker kan være modstridende, er det nødvendigt, at prioritering af opgaverne foregår på et højt kommandoniveau, hvor den dimensionsgivende faktor er den nytte, gennemførelse af en mission har for forsvaret som helhed.

På ovennævnte baggrund skal følgende kommandoforhold foreslås:

- Fredstid. Operativ kontrol udøves af Forsvarskommandoen. Taktisk kontrol af den enkelte mission udøves af Flyvertaktisk Kommando.
- Spændingsperioder. Operativ kontrol udøves af Forsvarskommandoen eller Chefen for Forsvarets Operative Styrker, når denne er overdraget den operative ledelse af de til ham udpegede styrker. Taktisk kontrol udøves som i fred.
- Perioden efter at operativ ledelse er overgivet til NATO. Operativ kontrol udøves af COMBALTAP, taktisk kontrol over den enkelte mission udøves af COMAIRBALTAP.

Operativ kontrol i denne sammenhæng omfatter bl.a.:

- Myndighed til at prioritere og godkende eller afvise anmodninger om missioner.
- Myndighed til selv at iværksætte en mission.
- Myndighed til at udpege og prioritere målområder eller punktmål.

Taktisk kontrol indebærer bl.a. beordring af iværksættelse af den enkelte mission ad den mest hensigtsmæssige rute og evt. koordination med de enheder/myndigheder, der er involveret i missionen.

4.5 INFORMATIONSDISTRIBUTION

4.5.1 SAR konfiguration med rekordering og flybåren præsentation

Højt prioriterede tidssensitive mål rapporteres ved hjælp af radio med angivelse af position, antal radarekkoer og om muligt klassifikation. Efter en missions afslutning foretages en grundig analyse af de indhentede informationer. Herunder foretages, hvor muligt, en nøjere klassifikation af erkendte mål, og de enkelte billeder annoteres (dvs. gives et nummer, navn eller bemærkning, så de kan findes igen), hvorefter der fremstilles en kopi i digitaliseret form. Denne kopi kan om ønsket (ved højt prioriterede mål) videretransmitteres i form af et videosignal til rekvirenten. I analysecentret udfærdiges en analyserapport, der ligeledes kan transmitteres som beskrevet ovenfor.

4.5.2 SAR konfiguration med rekordering og data-link

Ved anvendelse af denne konfiguration foregår der en stadig transmission af informationer. Disse bliver løbende omsat til TV-billeder, analyseret, annoteret og videretransmitteret til brugerne. Informationsbehandlingen og distributionen foregår i øvrigt som beskrevet ovenfor.

4.6 VÆRNEENS NUVÆRENDE MULIGHEDER FOR OVERVAGNING

På baggrund af de foretagne undersøgelser må følgende konstateres, idet der her ses bort fra ESM, patruljer og ukonventionelle operationers bidrag:

- a. WP landterritorium. I krigstid kan hæren (HRN) med egne midler foretage overvågning, opklaring og mål opklaring i en dybde af maksimalt ca. 20 km mod visse måltyper. Efter de af DDR foretagne udvidelser af territorialfarvandet er hverken HRN, søværnet (SVN) eller flyvevåbnet (FLV) i freds- eller spændingsperioder i stand til at overvåge WP territorium. FLV har stærkt begrænsede muligheder for rekognoscering over land i krigstid.
- b. Havområder. I freds- og spændingsperioder overvåges større havområder af såvel SVN som FLV enheder. SVN giver med sine faste installationer et kontinuerligt billede af overfladesituationen ud til en afstand af ca. 50 km fra kysten. Aktivitet herudover erkendes bl.a. gennem overvågning af "interessante" områder med fremskudte SVN og FLV enheder. Billedet uden for det faste overvågningsnet opdateres kun efter behov. Til forskel fra et kampfly kan et overfladefartøj i lang tid kontinuerligt følge en given aktivitet. I krigstid må overvågningen eventuelt indskrænkes som dikteret af fjendens operationer.
- c. Måludpegning for sømålsmissilenheder af mål under radarhorisonten for en overfladeenhed kan finde sted med indsættelse af fremskudte enheder i trusselsretningen.
- d. ESM. Alle tre værn anvender i større eller mindre grad ESM i f.m. overvågning, opklaring og måludpegning. Med ESM er det

muligt at detektere mål, der foretager transmissioner på radio eller med radar. Med ESM er det således muligt at opnå indsigtscyklus mod visse landmål og de fleste sømål ud over de ovenfor anførte. Sømålsmisilengagementer kan gennemføres alene på baggrund af ESM oplysninger.

- e. De eksisterende radarsystemer. Ved hjælp af SVN radarsystemer baseret på land eller på et skib etableres der i dag et overfladebillede inden for systemernes dækningsområde. Dette billede giver en løbende præsentation af de detekterede måls position, kurs og hastighed. Billedet opdateres med en hastighed svarende til antennens omløbstid (5 - 12 sek.).

4.7 ANVENDELSE AF SAR

4.7.1 WP landterritorium

- a. Med indsættelse af et SAR-bærende fly bliver det muligt i freds- og spændingsperioder at opnå en dybde af indsigt af WP territorium på SAR rækkevidde minus dybden af det pågældende lands territorialfarvand. Se kort 1.
- b. I krig opnås en indsigtscyklus på SAR rækkevidde minus rækkevidden for de overflade-til-luft missilsystemer, man ønsker at undgå. Se kort 2.

4.7.2 Havområder

- a. Over vand kan der i freds- og spændingsperioder med to hertil udpegede (dedikerede) G III etableres tilbagevendende overvågning over Østersøen mellem Møn og Gdansk, hvilket er det mest "interessante" område. Billedet vil her kunne opdateres med ca. 3 timers mellemrum.
- b. I krig kan der med mindst to hertil dedikerede G III etableres nogenlunde konstant overvågning over havområdet SE for Stevns ud til en afstand på ca. 130 km. Flyet kan i dette område optræde som sensor for sømålsmisilenheder og give måludpegning for fly.

4.7.3 Måludpegning

Der kan i krig ligeledes foretages måludpegning for evt. nyanskaffede UMA, der måtte blive indsat til rekognoscering eller måludpegning, eller for fly, der indsættes mod bevægelse.

4.8 UDHOLDENHED

Såfremt det i spændingsperioder og krig ønskes, at mindst to G III fly skal kunne indsættes på skift i SAR-rollen, hvilket er et minimum for en blot nogenlunde konstant overvågning, kræver det, at der indkøbes udstyr til og modificeres mindst tre stk. G III, idet reparationer og vedligeholdelse naturligvis også forekommer under disse forhold.

Det skal hertil bemærkes og understreges, som også nævnt i indledningen, at et SAR-bærende fly blot må betragtes som et led i den samlede overvågning. Hvis der således satses på en SAR-løsning på bekostning af andre overvågningskomponenter, vil det samlede systems præstationsevne falde drastisk og ikke kunne genoprettes, såfremt flyene måtte gå tabt.

5. KONKLUSION

Det er med indsættelse af SAR-bærende fly muligt at løse store dele af overvågningsopgaven mod landmål, som forsvaret i dag kun i ringe grad er i stand til at løse.

Et SAR-bærende fly er et velegnet supplement til overvågning af søterrioriet, ligesom det kan anvendes som måludpegningssensor for sømålsmissiler og kampfly. SAR-flyet vil kunne udvirke en hensigtsmæssig indsættelse af evt. nyanskaffede, langtrækkende opklaringsmidler (UMA).

SAR-konfigurationen med rekordering og præsentation om bord vil kunne løse overvågningsopgaverne med de angivne tidsforsinkelser. Identifikationsproblemet kan for radierende landmål afhjælpes ved at supplere systemet med ESM, som også vil være gavnligt i identifikationen af sømål. I krig vil det være nødvendigt, at systemet er suppleret med data-link. Dette vil reducere tidsforsinkelsen mellem informationsindhentning og præsentation for brugerne til et acceptabelt niveau for de fleste måltypers vedkommende.

F-35 og F-16 er, som det fremgår, begrænset anvendelige som SAR-bærere, ligesom luftforsvaret i krig - dels p.g.a. færre våbenplatforme til rådighed, dels p.g.a. lavere træningsstandard for piloterne - vil blive svækket, hvilket specielt har gyldighed for F-16 vedkommende, med mindre der anskaffes ekstra fly og besætninger.

G III er en meget anvendelig SAR-bærer. Forsvaret råder i dag over tre fly af denne type. For at sikre en blot nogenlunde konstant overvågning i spændings- og krigstid bør der indkøbes udstyr til alle tre, ligesom de alle modificeres til at bære udstyret. Det skal dog bemærkes, at udgifterne til G III afholdes via forsvarsbudgettets civilafsnit, ligesom G III såvel i fred som i krig udfører opgaver, der næppe vil kunne løses på anden vis. De eksisterende G III fly kan derfor ikke uden videre ind sættes som SAR-fly.

Prisen for anskaffelse af de tre sæt SAR-udstyr (der anses som et absolut nødvendigt minimum) kan ikke opgives nøjagtigt, før der er foretaget en egentlig markedsundersøgelse. Men prisen kan overslagsmæssigt fastsættes til ca. 330 - 550 mio. kr. (JAN 86 niveau, \$ kurs: 8,50 d.kr.) afhængig af valgt konfiguration. Hertil kommer, at FOD CCIS og ACBA CCIS skal programmeres til at behandle og distribuere informationerne. Mulighederne herfor samt omkostningerne herved er ikke inklusive.

Afslutningsvis må det konkluderes, at et SAR-system, omend bredt anvendeligt, blot er en del af det samlede overvågningssystem. Såfremt de øvrige overvågningskomponenter beskæres proportionalt med investeringen i SAR, løbes der en betydelig risiko for, at overvågningssystemet kompromitteres, i fald de få SAR-fly i krig måtte blive nedskudt eller på anden måde går tabt. Også af denne grund bør standardisering eller interoperabilitet i forhold til kommende fælles-NATO udviklede flybårne overvågningssystemer sikres.

T R Y K
FOV-REPRO

BILAG 1, 2 og 3

til



**FORSVARSMINISTERENS
RÅDGIVNINGS- OG ANALYSEGRUPPE**

RYVANGS ALLÉ 1 - POSTBOKS 2521 - 2100 KØBENHAVN Ø

TLF. 01-29 05 22

TELEX 22679 FLSKBH DK

MULIG ANVENDELSE AF
SYNTHETIC APERTURE RADAR I F-16
I FORBINDELSE MED OVERVÅGNING

NOVEMBER 1986

RAG 0-3/1986

Bilag 1 til RAG rapport vedr. "Mulig anvendelse af Synthetic Aperture Radar i F-16 i forbindelse med overvågning".

OVERSIGT OVER LITTERATUR SAMT STUDIER/RAPPORTER FRA
EKSTERNE MYNDIGHEDER, DER DANNER GRUNDLAG FOR RAPPORTEN

- Harger, R.O.: "Synthetic Aperture Radar Systems Theory and Design", (Academic Press, New York, 1970).
- Rihaczek, A.W.: "Principles of High Resolution Radar", (Mark Resources, Inc./Marina del Rey, California, 1977).
- Moore, K.R.: "Manual of Remote Sensing".
- Ulaby, F.T. (et al.): "Microwave Remote Sensing, Active and Passive, Vol. II: Radar Remote Sensing and Surface Scattering and Emission Theory", (Addison-Wesley Publishing Company, 1982).
- Hovanesian, S.A.: "Radar System Design and Analysis", (Artech House, 1984).
- Ellis, A.B.E.: "The Processing of Synthetic Aperture Radar Signals", (GEC Journal of Research, Vol. 2, No. 3, 1984).
- "Telemålings Kursus", (Elektromagnetisk Institut, Danmarks tekniske Højskole, 1985).
- Stimson, G.W.: "Introduction to Airborne Radar", (Hughes Aircraft Corporation, El Segundo, California, 1983).
- de Loor, G.P. (editor): "Radar Remote Sensing", (Remote Sensing Reviews, Harwood Academic Publishers).
- AC/243(Panel I)D/122 (NS) JUN 85: "Report by the ad hoc study group on over-the-horizon target alert technology for interdiction".
- AC/243(LTSS)D/30A (NS) MAR 81: "Implications of new technologies for land operations in the NATO Central Region".
- AGARD Advisory Report No. 163: "Project 2000 Detection, Location and Recognition of Ground Targets" (NS) MAR 1980).
- IRIS, "Integrated Radar Imaging System".

- UPD-8, "All-Weather Radar Reconnaissance".
- Digital Recording, processing and exploitation to improve the AN/UPD-8 Radar Reconnaissance System.
- Synthetic Aperture Radar intelligence applications:
 - Ground Forces
 - Naval Forces
 - Air Forces
 - Lines of communication.
- Resolution - The Key to Detection and Interpretations of Targets on Reconnaissance Radar Imagery. Goodyear Aerospace, GIB-9559, July 1982.
- "SLAMMR". All Weather, Wide Area Surveillance over land and sea, Motorola, Scottsdale, Arizona.
- Das Seitensicht radar AN/UPD-6 (TTJ).

Bilag 2 til RAG rapport vedr. "Mulig anvendelse af Synthetic Aperture Radar i F-16 i forbindelse med overvågning".

OVERSIGT OVER INTERNE RAG STUDIER

RAG har som baggrund for rapporten udarbejdet en række beskrivelser og foretaget specialundersøgelser som angivet nedenfor:

- Overvågning, november 1986. RAG P-2/1986.
 - Søværnets opklaringsmidler. RAG 681.1-561 af 5 NOV 85 (FTR).
 - Overfladebilledet i fred og spændingsperioder. RAG 681.1-560 af 5 NOV 85 (FTR).
 - Hærens opklaringsmuligheder. RAG 681.1-283 af 9 AUG 85.
 - Radar cross section. Notat uden nr.
 - Beskrivelse af et antal WP køretøjer og transportmidler, der bevæger sig ad de mulige kommunikationsveje og i forskellige typer terræn. RAG 681.1-327 af 28 AUG 85 (FTR).
 - WP flådeenheders formationer. FTR notat af 11 SEP 85.
 - Søværnets evne til overvågning, TTJ notat uden nr.
 - Flyvevåbnets opklaringsmuligheder.
 - Flyvevåbnets freds- og krigstidsbasering 1989.
 - Dansk luftforsvar.
 - Miljøets indflydelse på detektion.
- } RAG 681.1-307 af
20 AUG 85 (HEM).
- Summarisk beskrivelse af WP luftkrigspotentiel mod styrker, der indsættes fra dansk område.
 - Startbanesårbarhed.

TEKNISK BESKRIVELSE AF ET SAR-SYSTEM

Radarsystem med roterende antenne

I almindeligt kendte radarsystemer, som de findes i lufthavne eller om bord på skibe, anvendes antenner, som roterer om en lodret akse.

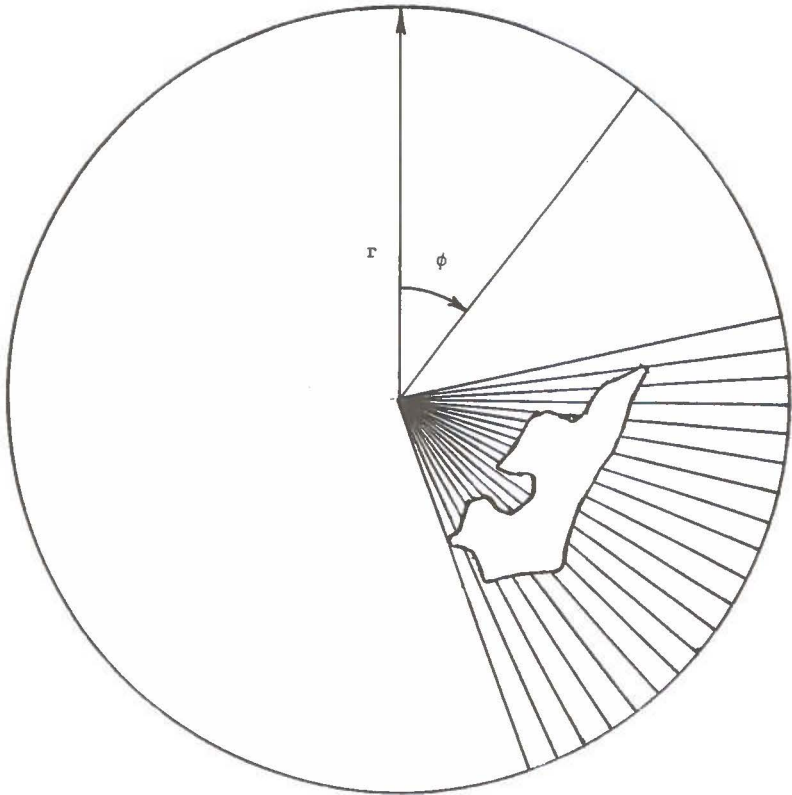
Betragtes et øjebliksbillede, foregår målingen ved, at en radarpuls udsendes i den retning, antennestrålen peger. Ved at registrere den tilbagekastede puls styrke som en funktion af tiden (ækvivalent med afstanden fra antennen), måler man, hvor kraftig radarrefleksionen er som funktion af afstanden fra radaren. Befinder der sig et objekt (bygning, skorsten el. lign.) i antennestrådens retning, vil dette give anledning til en radarrefleksion, som er kraftigere end den, der er resultatet af den øvrige refleksion langs antennestrålen.

Ved radarantennens rotation får man på denne måde et "kort" over et område omkring radaren, som kan afbildes i et polært koordinatsystem (r, ϕ), som vist på figur 1.

Til brug ved "kortlægning" er en jordbaseret radarantenne af en del forskellige grunde ikke særligt velegnet. Bl.a. er det område, der kan "kortlægges" (normalt kaldet dækningsområdet), relativt lille, fordi antennen er tæt ved jordoverfladen.

For at bedre dette forhold vil det være formålstjenligt at hæve antennen f.eks. ved at anbringe radarsystemet på et fly. Da der imidlertid kræves stor opløsning i azimuth, dvs. ϕ retningen, skal der bruges en relativt stor roterende antenne, hvilket medfører krav til stor løftekapacitet for flyet, altså store fly. For at overkomme dette er der konstrueret et radarsystem til fly uden roterende antenne, en såkaldt SLAR (engelsk for Side Looking Airborne Radar).

"Kortlægning" med roterende antenne.



Eksempel på "kortlægning" ved hjælp af roterende radarantenne med afbildning i et polært koordinatsystem (r, ϕ)

Figur 1

Princip for SLAR

En SLAR antenne er monteret således på flyet, at dens stråle peger vinkelret på flyveretningen. Antennens udstrålingskarakteristik (altså antennestrålens "form") er udformet således, at den horisontale bredde (azimuth) er meget lille, typisk ca. 1° , mens den vertikale bredde er stor således, at hele området fra under flyet til horisonten belyses af antennen. Dette kræver en lang og smal antenne.

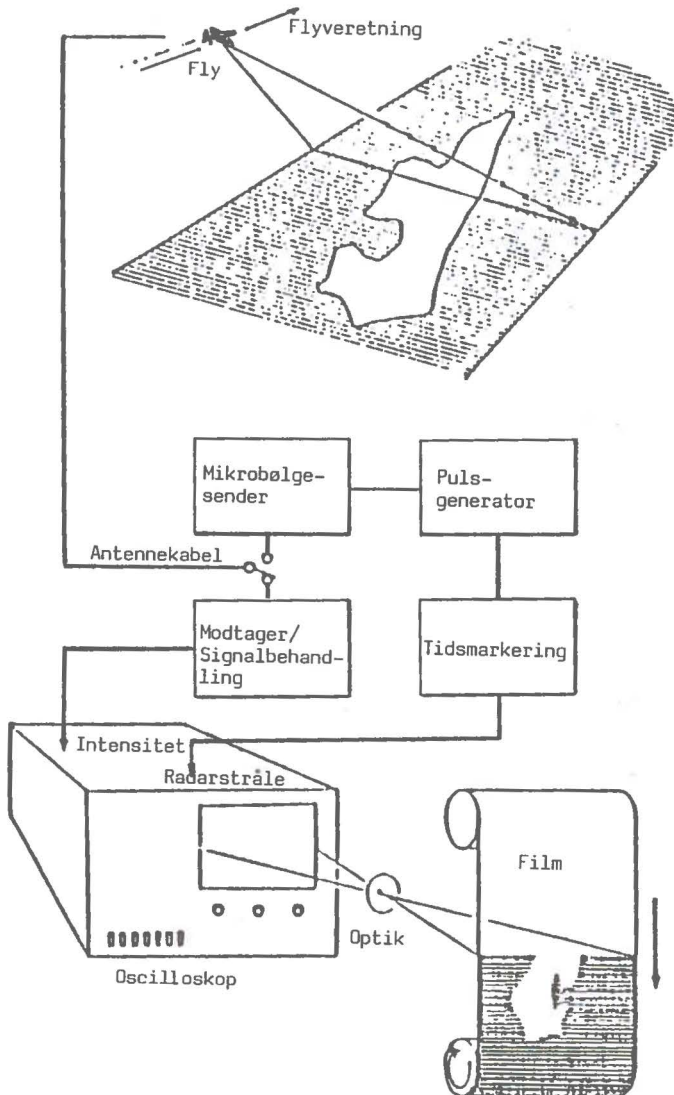
Den todimensionale måling, som ved radaren med roterende antenne fremkom dels ved udsendelse af pulser (afstand) og dels ved antennens skandering (afsøgning) i horisontal retning, opnås afstand også her ved at udsende pulser, mens skanderingen fremkommer ved, at antennen flyttes ved flyets bevægelsesretning.

Der opbygges på denne måde et todimensionalt billede af radarrefleksionen i et bælte parallelt med flyveretningen. Bredden af dette bælte er typisk 20 - 50 km, bestemt af flyvehøjden og den vertikale strålebredde.

Radarsystemets virkemåde er vist som principskitse på figur 2. Radarbilledet bliver her opbevaret på film. Det kan også efter forudgående konvertering fra analog til digital form (A/D-konvertering) opbevares på magnetbånd. Disse bånd kan da efter endt flyvning atter afspilles ved hjælp af et passende apparatur, og billederne vises på en TV-monitor. Det er endelig muligt at sende billederne via data-link til en jordstation i op til 360 km afstand fra flyet. Dette forudsætter fri sigt mellem fly og jordstationens modtageantenne.

Det er radarsystemets karakteristika, som er bestemmende for opløsningsniveauen, dvs. graden af detaljer, som kan vises på billedet. I afstand er det alene pulsbredden, som bestemmer opløsningsevnens, jo kortere puls desto større opløsning (uafhængigt af i hvilken afstand, der måles). I azimuth er det radarantennens strålebredde og afstanden fra antennen, som bestemmer opløsningen. For at få en stor opløsning på lange afstande må der altså kræves en meget lille strålebredde. Denne er imidlertid bestemt af radarsystemets sendefrekvens og antennens længde således, at jo større frekvensen og længden af antennen er, desto mindre bliver strålebredden.

SLAR PRINCIP



Eksempel på SLARs virkemåde med signalbehandling og billeddannelse på film

Figur 2

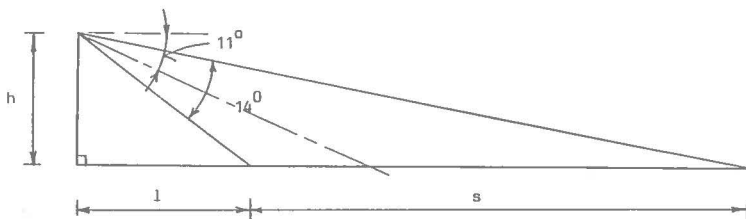
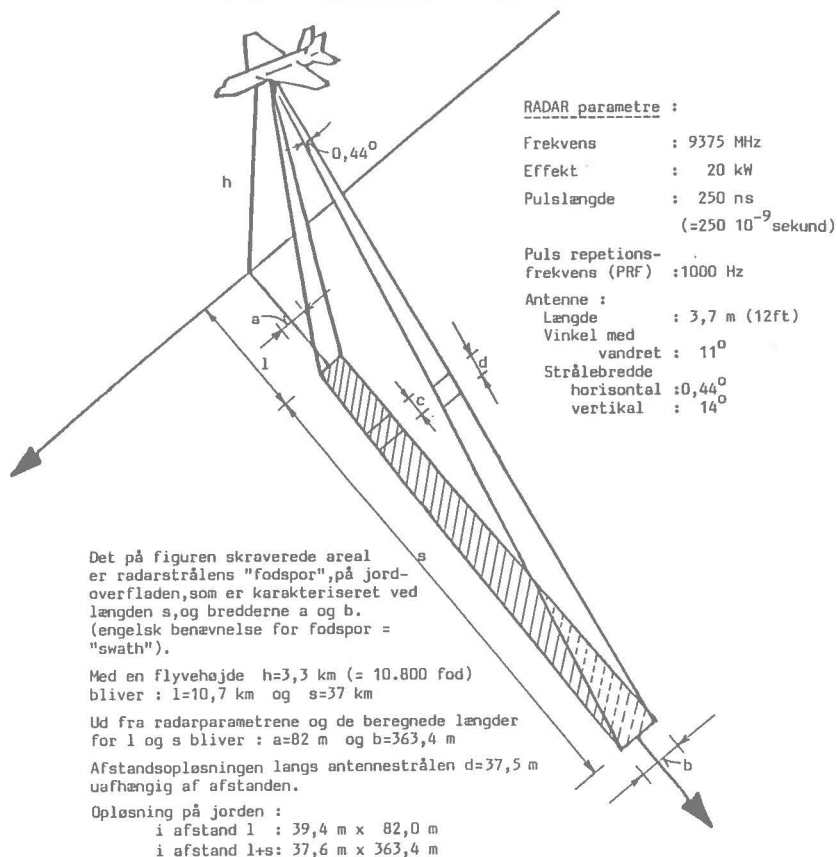
Dette medfører, at frekvensen skal være meget høj og antennen lang for at give stor opløsningsevne. I praksis anvendes antennelængder på ca. 3 - 6 meter, hvilket medfører, at også mindre fly kan anvendes som antenneplatform. På figur 3 er der vist et eksempel på en SLARs opløsningsevne med et givet sæt radarparametre.

Princip for SAR (engl. "Synthetic Aperture Radar")

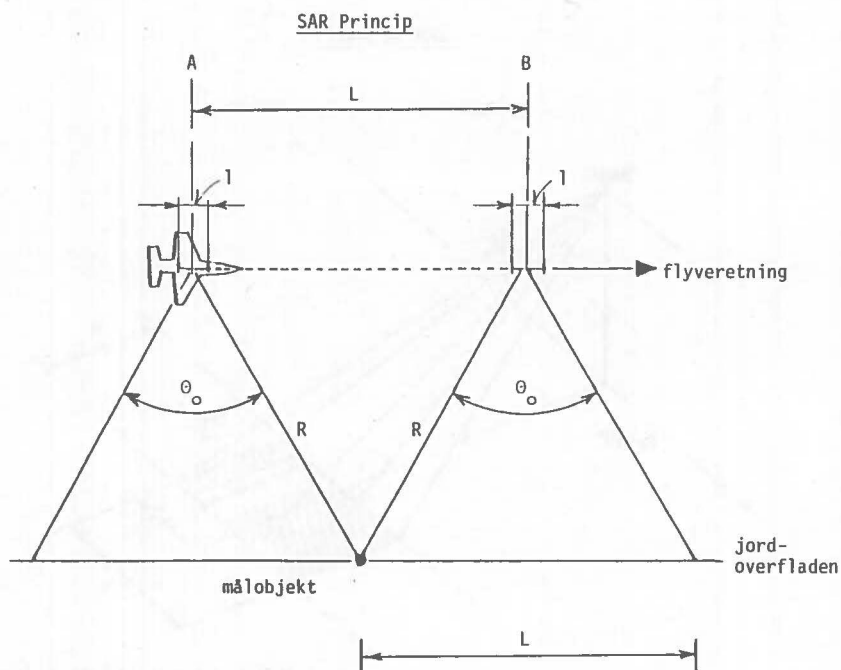
Ved anvendelse af de indtil nu omtalte radarsystemer tages der ved måling af det reflekterede signal principielt kun hensyn til dettes styrke (amplitude) og ikke dets fase (fasen er signalets vinkeldrejning fra en valgt nul-stilling. Vinkeldrejning fremkommer, når radarpulsen reflekteres fra målobjektet). Dette medfører, at flere refleksioner fra samme objekt ikke kan sammenlægges til én refleksion, men på radarskærmen optræder som enkeltrefleksioner. For at overkomme dette, er der konstrueret radarsystemer, hvor faseforholdene kan kontrolleres. Dette gøres ved, at der i princippet udsendes pulser af et referencesignal med meget stabil frekvens. Herved opnås, at der bliver kontinuitet eller overensstemmelse imellem successive radarpulsers faser, hvorved det bliver muligt at måle og kompensere for faseændringer af de reflekterede radarsignaler således, at disse kan lægges sammen (integreres) til ét signal. En sådan radar kaldes kohærent, og det er denne teknik, som anvendes i en syntetisk apertur radar (SAR), hvor aperturen er et mål for antennens effektive areal, mens det syntetiske fremkommer ved, at antennen fra et radarsynspunkt er længere end dens fysiske længde, se figur 4. Antennen er i øvrigt anbragt på samme måde på flyet som en SLAR.

Den bedste opløsning, der teoretisk kan opnås ved anvendelse af SAR teknik, er angivet på figur 5, som viser SAR geometrien. I praktiske anvendelser kan disse opløsninger ikke opnås, hvilket blandt andet skyldes, at afstanden fra antenne til målobjekt ændres under radarstrålens passage. Dette er mest udpræget for målobjekter, som ligger relativt tæt ved radaren, idet der her optræder utilsigtet interferens langs den fysiske antenne, hvilket afstedkommer "uskarpe" billeder af jordoverfladen. For at udligne dette lagres (rekorderes) de modtagne signaler separat og "fokuseres"

EKSEMPEL PÅ SLAR KARAKTERISTIKA.



FIGUR 3



l = antennens fysiske længde (typisk 3 - 5 meter)

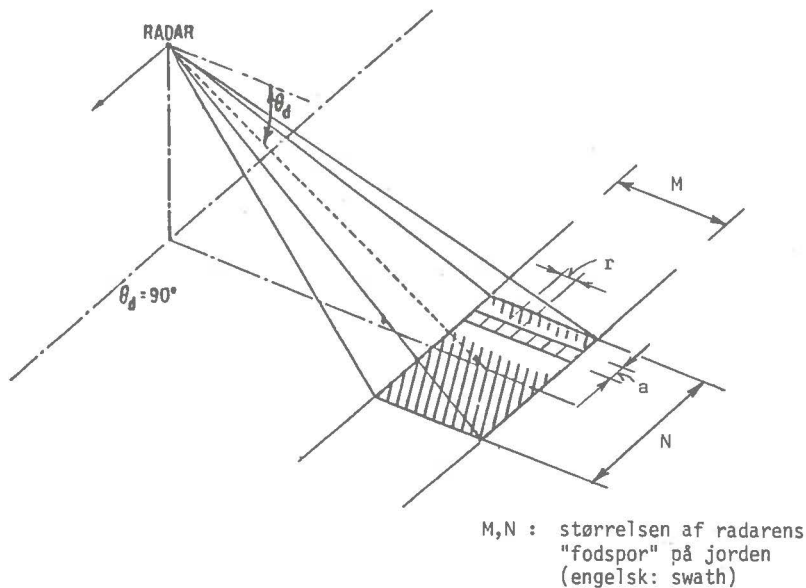
θ_0 = antennens fysiske strålebredde i azimuth (typisk ca. 1°)

Målobjektet på jordoverfladen kommer ind i antennestrålen, når flyet er i punkt A, og forlader den igen ved punkt B, efter at flyet har fløjet distancen L = strålebredden i afstanden R . Heraf følger, at L = den syntetiske antenlængde.

Hvis strålebredden er 1° og målobjektet er beliggende i 50 km afstand fra antennen, er den syntetiske antenlængde L = ca. 875 m.

Figur 4

SAR Geometri



Den teoretiske opløsning i azimuth (a)

$$a = \frac{\lambda}{2} \cdot l$$

hvor l =den fysiske antenlængde

Den teoretiske opløsning i afstand (r)

$$r = \frac{\lambda}{2} \cdot \frac{c}{B} \cdot \frac{1}{\cos \theta_d}$$

hvor : c = lysets hastighed

B = frekvensbåndbredden af det udsendte signal

θ_d = antennestrålens hældning med vandret

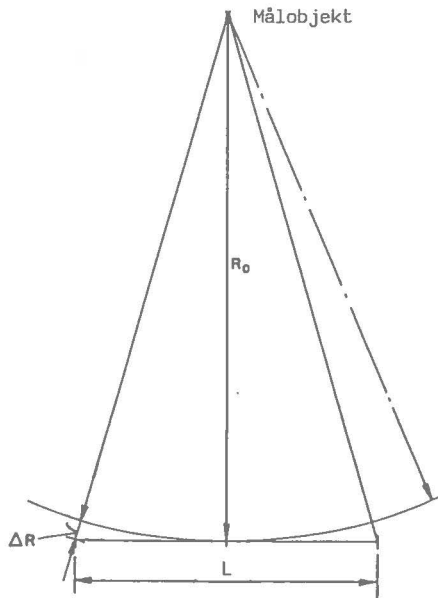
Figur 5

der næst ved signalbehandling enten ved optiske metoder eller ved digital behandling i en datamat. Der skelnes i SAR teknikken mellem ufokuseret SAR, hvor ovennævnte behandling ikke finder sted, og fokuseret SAR. Det er væsentligt at bemærke, at den store databehandlingskapacitet, som er nødvendig til signalbehandling i forbindelse med syntetisk apertur radar (SAR) sammenlignet med reel apertur radar (SLAR), er foranlediget af fokuseringen og ikke af princippet for generering af syntetisk apertur. På figur 6 er vist et geometrisk billede af fokuseringsproblemet.

Der er yderligere en lang række andre faktorer, som har indflydelse på kvaliteten af og dermed opløsningsevnen for en SAR. Her skal endnu kun omtales en forvrængning af billederne, som forårsages af flyets små utilsigtede bevægelsesændringer omkring dets egne akser. For at kompensere delvis herfor kræves et følsomt og hurtigt reagerende flynavigationssystem. Her til kommer, at disse ændringer giver anledning til bl.a. meget små accelerationsændringer, som måles ved hjælp af accelerometre anbragt direkte på antennen. Målingerne fra navigationssystemet og accelerometrene kan overføres til datamaten, hvor kompensationsberegningerne udføres. Problemet med fejlkompensation af de små utilsigtede bevægelsesændringer er den primære begrænsning på den opløsning, som kan opnås med en SAR. Hvis denne type fejl ikke optrådte, kunne opløsninger ned til under 1 meter forventes. På grund af, at disse fejl optræder, er det vanskeligt at nå ned til blot nogle få meters opløsning. For en antenne på 3 meters længde vil opløsningen være ca. $2,5 \times 2,5$ m på ca. 18 km og 6×6 m på ca. 130 km afstand.

Det er, som omtalt, ikke kun fokuseringen, der kræver signalbehandlingskapacitet. Også den information, der modtages fra de enkelte opløsningsceller (se figur 7), skal behandles. Ved elektronisk databehandling kræves der et meget stort lager (magnetbånd eller pladelager) og stor databehandlingskapacitet, hvis informationen skal behandles og billedet præsenteres i sand tid. Der arbejdes ihærdigt ved mange udviklingscentre og virksomheder på at udvikle datamater, som kan give tilstrækkelig kapacitet til sandtidspræsentation. Optiske processorer er almindeligt brugte ved informationsbehandlingen og til præsentation. Anvendelsen heraf er dog ikke problemfri, idet brugerens krav til efterfølgende billedbehandling varierer meget, hvilket medfører behov for informationsbehandling ud over den, som udføres i den egentlige SAR processor.

SAR Fokusering, Geometri



Afstanden fra målobjektet til den syntetiske apertur (antenne) varierer ved passage til maksimalt $R_0 + \Delta R$

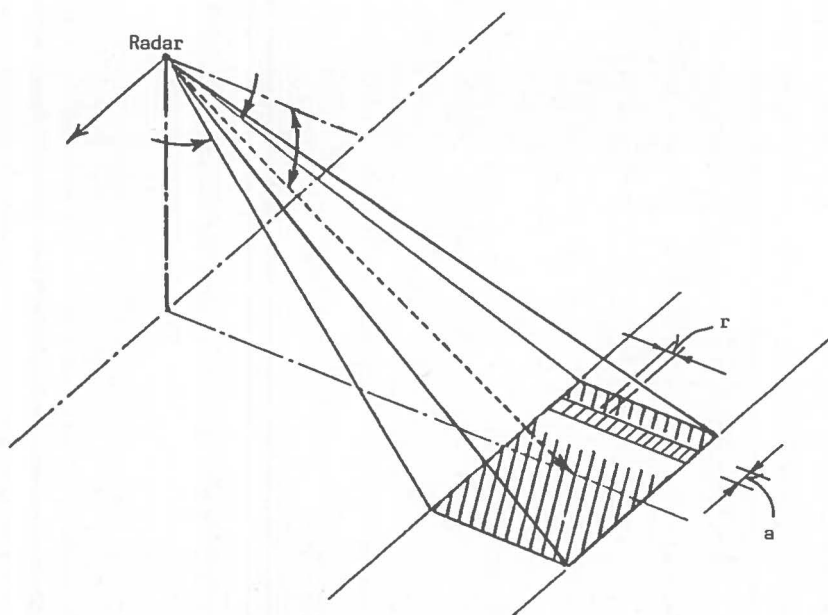
ΔR vokser kontinuert fra 0 til $\frac{1}{8} \cdot \frac{L^2}{R_0}$

hvor L igen er længden af den syntetiske apertur.

SARen fokuseres ved kompensationen for denne ændring.

Figur 6

SAR Opløsningscelle



Opløsningscelle for SAR med dimensionen r i afstand og a i azimuth.

Figur 7

T R Y K
FOV-REPRO