

KONFIDENSIELT

KONFIDENSIELT

i h.t. Sikkerhetsinstruksen

FFIE

Intern rapport E-268

Referanse: Jobb 285/113

Dato: Januar 1977

AVGRADERT

Dato: 16.11.07 Sign: SE

BEHANDLING AV SENSORDATA FOR  
KONTROLL- OG VARSLINGSFORMÅL

av

S Heier

Godkjent

Kjeller, 27 januar 1977

*Bjørn Landmark*  
Bjørn Landmark  
Forskningsjef

FORSVARETS FORSKNINGSINSTITUTT

Norwegian Defence Research Establishment

Postboks 25 - 2007 Kjeller

Norge

KONFIDENSIELT

KONFIDENSIELT

i h.t. Sikkerhetsinstruksen

KONFIDENSIELT

KONFIDENSIELT

i h. t. Sikkerhetsinstruksen  
FFIE

Intern rapport E-268

Referanse: Jobb 285/113

Dato: Januar 1977

BEHANDLING AV SENSORDATA FOR  
KONTROLL- OG VARSLINGSFORMÅL

av

S Heier

Godkjent

Kjeller, 27 januar 1977

*Bjørn Landmark*  
Bjørn Landmark  
Forskningsjef

FORSVARETS FORSKNINGSINSTITUTT

Norwegian Defence Research Establishment

Postboks 25 - 2007 Kjeller

Norge

KONFIDENSIELT

KONFIDENSIELT

i h. t. Sikkerhetsinstruksen

INNHALDSFORTEGNELSE

	Side	
1	INNLEDNING	3
2	BESKRIVELSE AV SENSORER OG SAMBAND	4
2.1	Mobile radarer	4
2.2	Luftvaktposter	7
2.3	Manuelt rapporterende radarer	9
2.4	Silo radarer	11
2.5	NADGE	11
3	SYSTEMLØSNING	12
4	FORFILTRERING	15
4.1	Mobile radarer	15
4.1.1	Sender/mottaker og plotekstraktor	18
4.1.2	Meldingsbehandling	18
4.1.3	Operatørpanel og elektronisk skjerm	18
4.1.4	Displayprosess	18
4.1.5	Målfølgeprosess	19
4.1.5.1	Parameteranalyse av Kalman-filter	19
4.1.5.2	Simulering av målfølgeprosessen	22
4.1.6	Kommunikasjonsprosess	27
4.2	Manuelt rapporterende radarer	27
4.3	Luftvaktposter	27
5	SAMORDNING AV LUFTBILDET	27
5.1	Simulering av målfølgning i FS2	32
6	KONKLUSJON	37
	Referanser	39

BEHANDLING AV SENSORDATA FOR  
KONTROLL - OG VARSLINGSFORMÅLSUMMARY

This report reviews the work on sensor-netting carried out as a part of a project for design of an improved Control and Reporting system. A system solution on how information from mobile radars, manually reporting radars and ground observers may be integrated with information from the existing dataprocessing-system NADGE, is discussed. An estimate on the required accuracy on data from the manually reporting radars are obtained using computer simulations. It is proposed that local tracking on the mobile radar site takes place because this eases the bandwidth requirements for the data-communicationsystem. The goodness of a tracking-filter is estimated using computer simulations. (Processing of sensor-data for the purpose of Control and Reporting).

1

INNLEDNING

Under jobb 285-E/113 "Supplering/styrkelse av kontroll og varslingsystemet, TOR", er det foreslått tiltak for å

- øke dekningsgrad og seighet på sensorsiden
- øke seighet i sambandsopplegget
- bedre behandling, overføring og lagring av informasjon.

På sensorsiden er det foreslått nye sensorer: silo radarer (ref 1), mobile radarer (ref 2) og luftvaktposter med enkle hjelpemidler (ref 3).



På sambandssiden er det bl a foreslått opprettelse av nød-samband fra eksisterende radarer i Nord-Norge til Sørreisa og Reitan (ref 4). Dette sambandet er basert på en HF kanal med spredd spektrum modulasjonsteknikk og meget lav datatakt.

På datasiden er det foreslått et datanett med 4 - 5 knute-punkter som skal knyttes sammen som et rent maskenett (NORAIRCCIS). Det er et knutepunkt på Sørreisa og et på Reitan.

Den økende informasjonsmengde som blir generert pga bedret samband og sensordekning, må på en hensiktsmessig måte til-flyte det eksisterende prosesseringssystem som idag i hovedsak består av NADGE.<sup>1)</sup>

Denne rapporten sammenfatter det arbeidet som er gjort på området sensordata-behandling. Hovedtyngden av arbeidet har vært lagt på

- systemløsning (ref 5)
- målfølgning i forbindelse med mobile radarer (ref 6)
- målfølgning med manuelt entrede data (ref 7).

I rapporten er det benyttet følgende notasjoner:

Spor - i betydning "track".

Målfølgning - i betydning "tracking".

Tokt - i betydning virkelige flytokt, kan bestå av ett eller flere fly.

## 2 BESKRIVELSE AV SENSORER OG SAMBAND

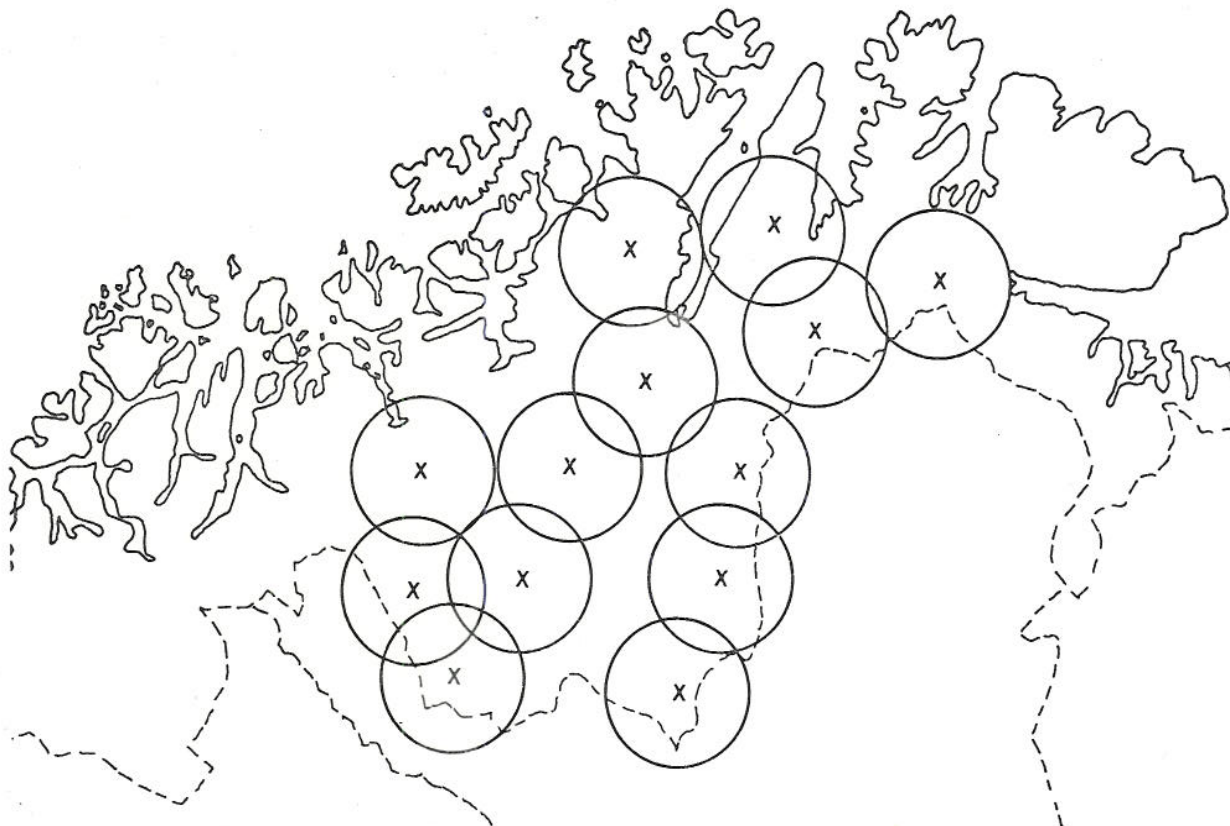
### 2.1 Mobile radarer

Det mobile radarkonseptet består av 10 til 20 små radarer plassert utover et relativt stort område. Konseptet er karakterisert ved følgende:

- lav fysisk og elektronisk sårbarhet
- god lavdekning
- mobilt, hver radar er plassert på et kjøretøy av størrelse Volvo-bandvogn
- hver radar har kort rekkevidde, ca 30 km

<sup>1)</sup>NADGE - Nato Air Defence Ground Environment

Figur 2.1 viser et eksempel på deployering av 3 radarer på Finnmarksvidda.



Figur 2.1 Eksempel på deployering av mobile radarer på Finnmarksvidda

Hver radars ytelse vil ligge omkring følgende verdier:

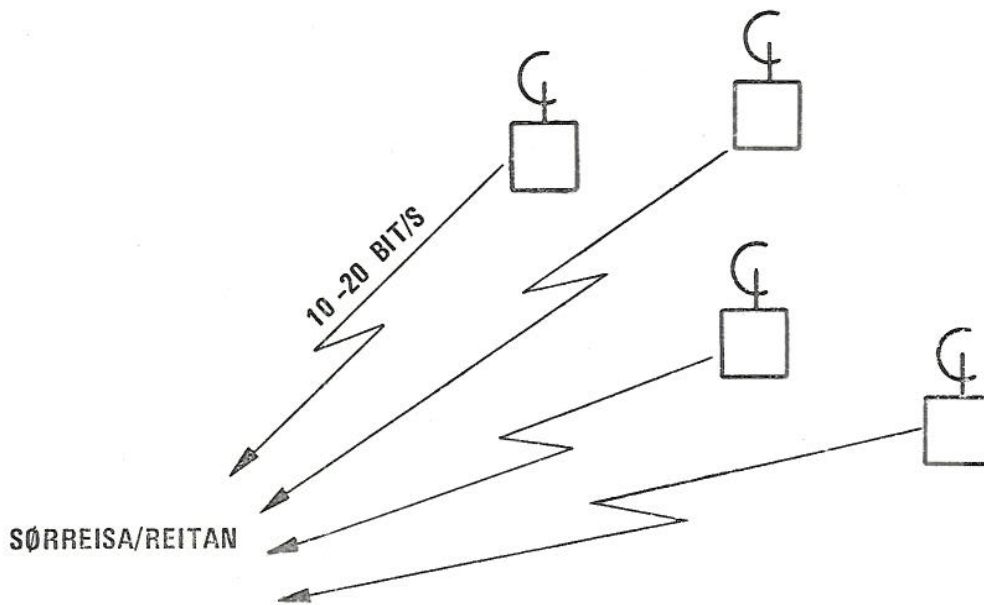
- Antenneomdreiningstid = 3 s.
- Målenøyaktighet (standardavvik):
  - i avstand  $\sigma_R$  = 130 m
  - i asimut  $\sigma_\phi$  =  $0,4^\circ$
  - i elevasjon  $\sigma_\theta$  =  $1,0^\circ$

For rapportering av informasjon om luftaktiviteter til sentrale brukere (Sørreisa/Reitan), eksisterer det to sambandsalternativer (ref 8) og (ref 9).

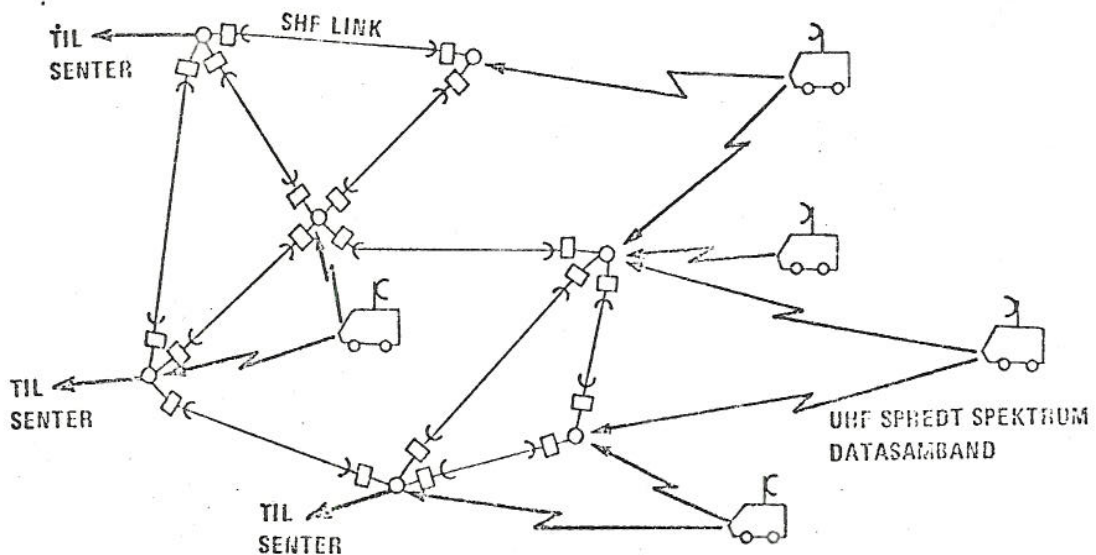
1. Spredd spektrum - modulert HF-samband med meget lav databåndbredde, 10 - 20 bit/s. Dette krever overføring av informasjon på spor-nivå.

2. Spredd spektrum modulert UHF-samband inntil et SHF-link maskenett-system med full reruting. Dette gir en databåndbredde på ca 1200 bit/s og muliggjør overføring av plot.

Se figur 2.2 og 2.3.



Figur 2.2 Lavdatatakt samband



Figur 2.3 Konsept for overføring av 1200 bit/s.

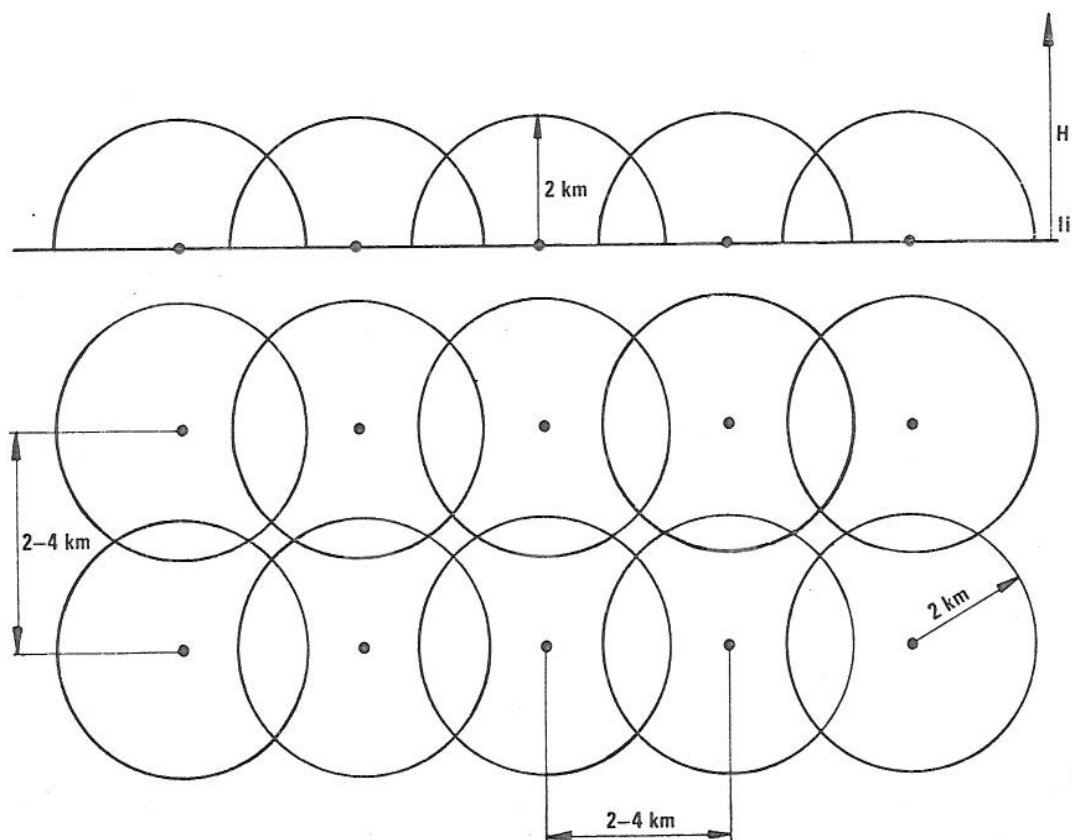
Informasjon fra sentralt hold til de mobile radarene er tenkt basert på kringkasting uten noen form for selektiv oppkalling.

## 2.2

Luftvaktposter

Luftvaktkonseptet består av flere passive enkeltsensorer benyttet til en manuell betjent registreringsenhet.

Luftvaktpostene kan tenkes utstyrt med infrarødt søkeutstyr og/eller akustiske sensorer. Figur 2.4 viser dekningsdiagram for en luftvaktpost med akustiske sensorer i en mulig konfigurasjon.

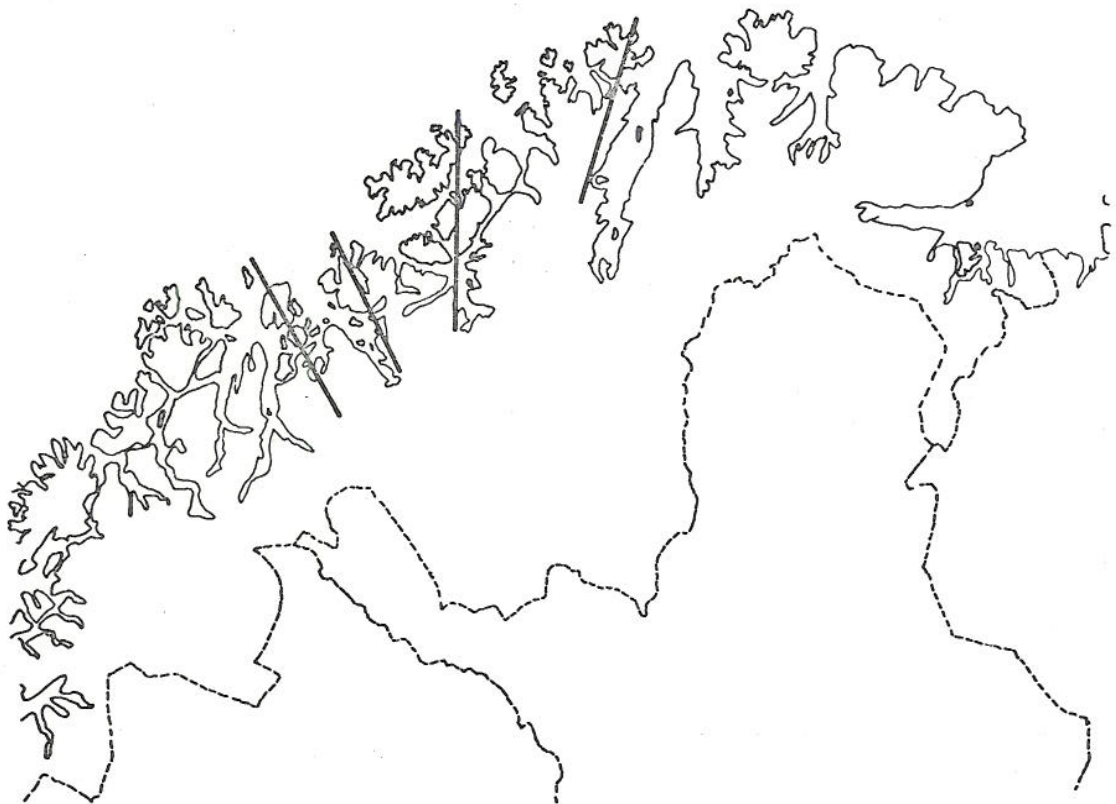


Figur 2.4 Typisk dekningsdiagram for en luftvaktpost I-  
horisontalplan, II - vertikalplan



Hver luftvaktpost vil ha liten dybdekkning. Deres primærfunksjon er å gi tidlig-varsel om flytokt i lav høyde (<2000 m).

Figur 2.5 viser eksempel på deployering.



Figur 2.5 Eksempel på deployering av luftvaktposter

Informasjonen fra postene vil sendes i form av fast formaterte meldinger. Hver melding inneholder:

- Retning  $\pm 30^\circ$
- Antall fly (1, <10, >10)
- Flytype (jetfly, propellfly, helikopter)

Luftvaktpostene vil bli tilknyttet sambandssystemet for de mobile radarer eller tilknyttet det statiske link-systemet i Nord-Troms direkte.

### 2.3 Manuelt rapporterende radar

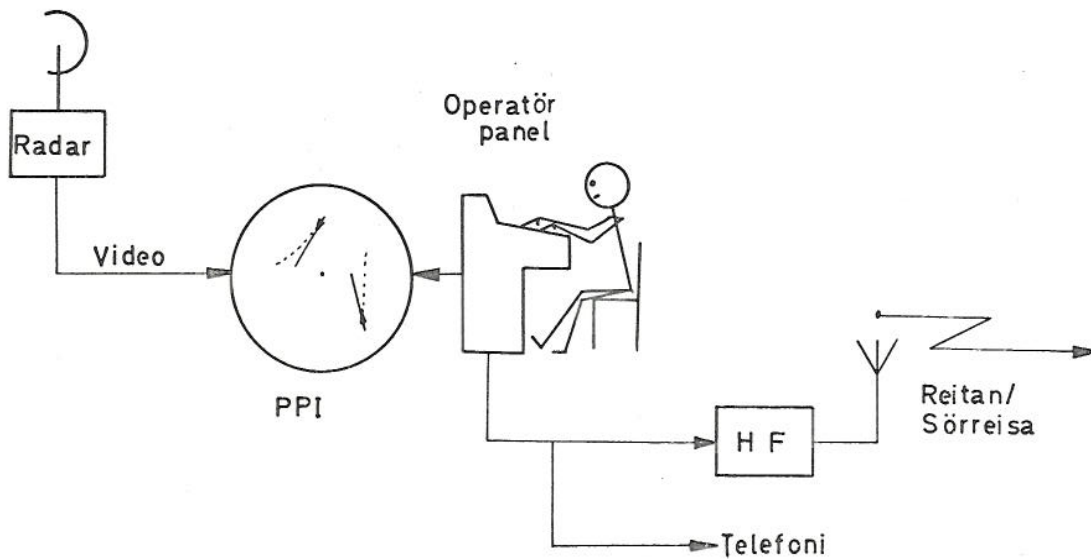
Manuelt rapporterende radarer (MR-radarer) er eksisterende radarer uten LINK 1 eller videolinksamband til Sørreisa eller Reitan. MR-radarene har opprettet et nødsamband for overføring av manuelt oppsatte meldinger til Sørreisa/Reitan. Betegnelsen dekker også radarer som idag ikke er knyttet til NADGE som KARI-anlegg og GCA'er.

Overgang til manuell rapportering fra en radar kan forårsakes av enten linjebrudd eller av at en NADGE-datamaskin er ute av drift.

Hver radar som skal kunne operere som MR-radar, må utstyres med:

- PPI med lang etterglødningstid.
- Operatørenhet for innlesing av meldinger.
- Logikkenhet som lagrer meldingene som er sendt, presenterer meldingene på PPI'en vha et symbol og tegner inn toktenes predikterte posisjoner på bakgrunn av meldingene som er sendt.
- Sambandsutstyr for sending av meldinger til Reitan/Sørreisa. I fred kan telefonkanaler benyttes. I krig kan det være behov for MR-radarer lengst i nord å benytte et nødsamband basert på spredd spektrum modulert HF-samband, 1-20 bit pr sekund.

Figur 2.6 viser prinsippskjema for en MR-radar.



Figur 2.6 Manuelt rapporterende radar

Meldingene om tokt som sendes inneholder følgende informasjon (Tallene i parentes angir typisk nøyaktighet).

- 1 Posisjon (ca  $\pm$  10 km)
- 2 Kurs (ca  $\pm$   $10^\circ$ )
- 3 Hastighet (ca  $\pm$  50 m/s)
- 4 Høyde (ca 4 intervaller) (Bare for radarer med tilgjengelig høydeinformasjon)
- 5 Antall fly (ca 4 intervaller)
- 6 Lokalt spornummer (1 av 32)
- 7 Informasjon om toktet har manøvrert.
- 8 Tidspunktet for generering av meldingen.

Nøyaktigheten på dataene er begrenset av operatøren og kommunikasjonslinjens overføringskapasitet.

Meldinger om nye tokt og om tokt som har manøvrert prioriteres av operatøren.

#### 2.4 Siloradar

I de bakre områder hvor flyaktiviteten forventes å bli meget høy, men hvor man også venter å ha luftoverlegenhet i de første faser av en konflikt, foreslåes et sensor-konsept basert på langtrekkende moderne radarer med høy ytelse, som kan senkes ned i beskyttede siloanlegg ved direkte angrep. Radarene tenkes nyttet både til varsling og kontroll (ref 1).

Siloradarene vil sannsynligvis bli knyttet til NADGE vha såkalt "multi sensor tracking". Siloradarer behandles ikke nærmere i denne rapporten.

#### 2.5 NADGE

NADGE er systemet som idag benyttes for prosessering og presentasjon av luftbildeinformasjon. Systemet baserer seg på informasjon fra fast monterte radaranlegg. Hver NADGE-stasjon kan ha tilknyttet en eller flere radarer. Informasjon om spor kan overføres mellom NADGE-stasjoner på datalink (LINK 1-format) vha såkalte kryss-tell rutiner.

Luftbildet som produseres av NADGE danner grunnlaget for luftbildet som presenteres for SOC/ADOC.

NADGE inneholder rutiner til hjelp ved avskjæring, kontroll osv.

Det er ønskelig at informasjonen fra de nye sensorer også kan tilflyte NADGE og integreres med den eksisterende luftbildeinformasjonen.

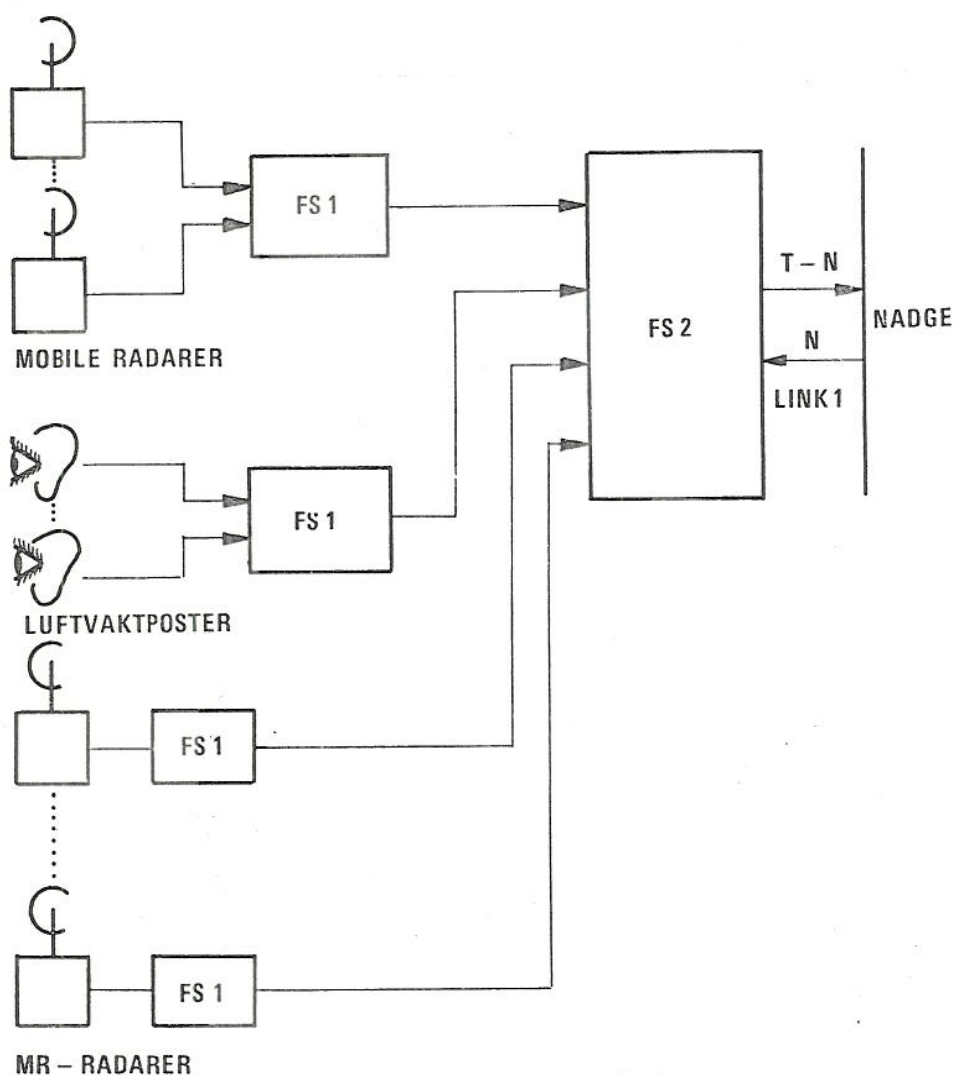


3

SYSTEMLØSNING

Informasjonen som blir generert ved realisering av de foreslåtte nye sensorer, må på en hensiktsmessig måte tilflytte NADGE. De nye sensorene genererer informasjon delvis på en form som ikke kan tas direkte inn i NADGE. Det må derfor utføres en konvertering av informasjonen i grensesnittet mellom NADGE og de nye sensorene.

Figur 3.1 viser blokkskjema for den foreslåtte systemløsning.



Figur 3.1 Blokkskjema for systemløsningen

Konverteringen av informasjonen mellom sensorer og NADGE er delt opp i to nivåer. Første nivå består av flere såkalte filtersenter 1 (FS1) som mottar informasjon fra sensorene og produserer spor fra det området sensorene dekker. Informasjonen om spor overføres så til et filtersenter 2 (FS2). FS2 mottar også luftbildeinformasjonen som er lagret i NADGE (N på figuren). I FS2 filtreres det ut spor som dekker samme tokt. FS2 produserer altså det totale luftbildet på bakgrunn av informasjon på spornivå fra NADGE og fra de nye sensorene.

Den delen av det totale luftbildet som NADGE ikke har dekket av sine egne sensorer føres tilbake til NADGE (T-N i figur 3.1). Dermed vil NADGE ha lagret det totale luftbildet og alle NADGE-rutiner kan benyttes også på den nye del av luftbildet.

Kommunikasjonen mellom FS2 og NADGE foregår vha LINK 1-meldinger. FS2 oppfattes av NADGE som en "Remote site". Det skulle derfor ikke være nødvendig å foreta store forandringer i NADGE.

Det vil være plassert et FS2 på Reitan og et på Sørreisa for å øke sikkerheten mot degradasjon av systemet. Normalt er bare en av disse aktive av gangen. Blir forbindelsen mellom Sørreisa og Reitan brutt, går begge over i aktiv modus. All FS 1-informasjon sendes til begge FS2.

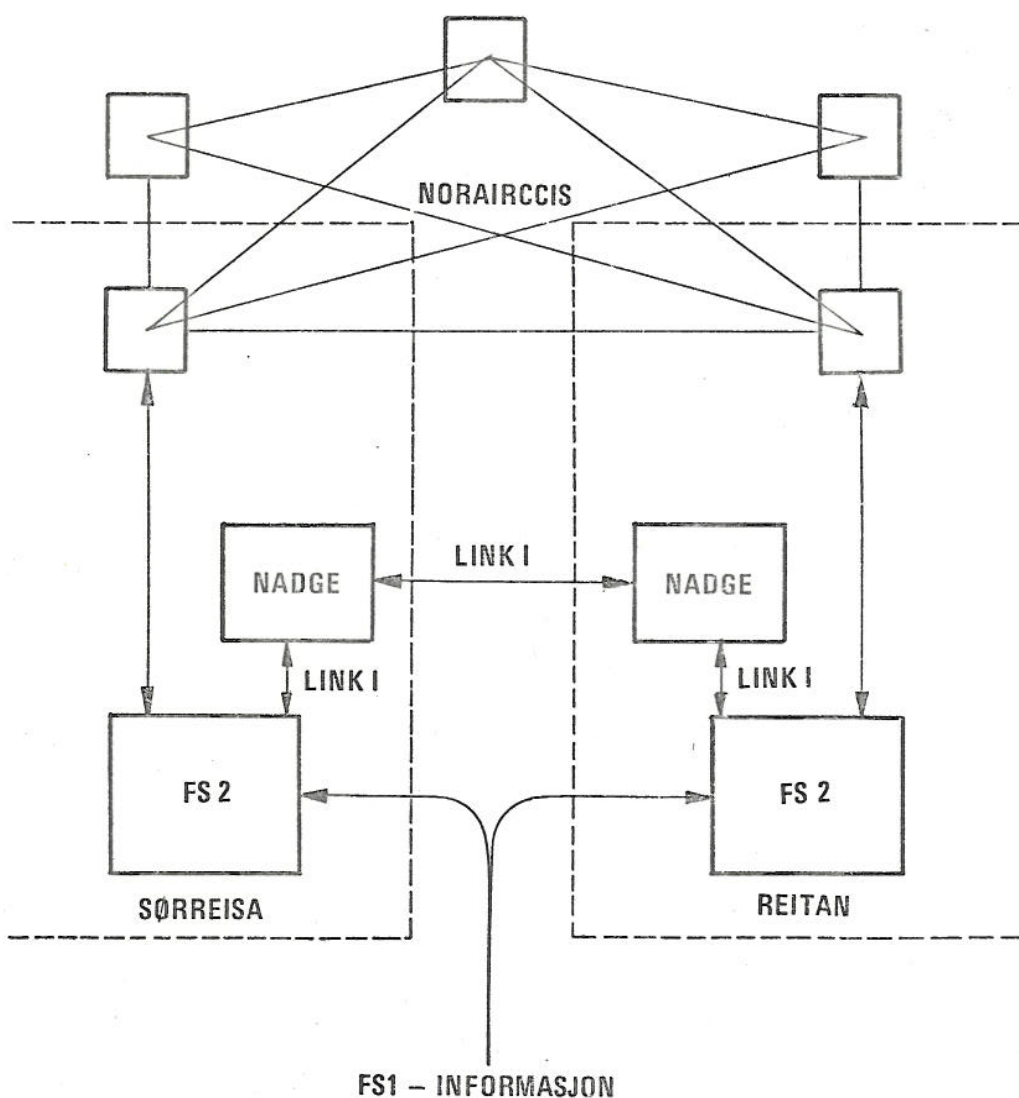
NORAIRCCIS<sup>1)</sup> foreslås nyttet for distribusjon av luftsituasjonsbildet til brukere som ikke har NADGE displayer.

<sup>1)</sup> NORAIRCCIS - Norwegian Airforce Command Control and Information System.

NORAIRCCIS i Nord-Norge består av fem knutepunkter, hvorav ett ligger på Sørreisa og ett på Reitan. Luftbildeinformasjon kan tappes fra NORAIRCCIS som alfanumerisk eller grafisk informasjon.

NORAIRCCIS kan på denne måten også benyttes som et rerutingsalternativ for LINK 1-forbindelsen mellom Sørreisa og Reitan.

Figur 3.2 viser kobling NORAIRCCIS, FS2 og NADGE.



Figur 3.2 Kobling NORAIRCCIS, NADGE og FS2

Se forøvrig (ref 5).

4

FORFILTRERING

I det følgende beskrives FS1 for de nye sensorene.

4.1

Mobile radar

Det forelå to hovedalternativer for løsning av FS1:

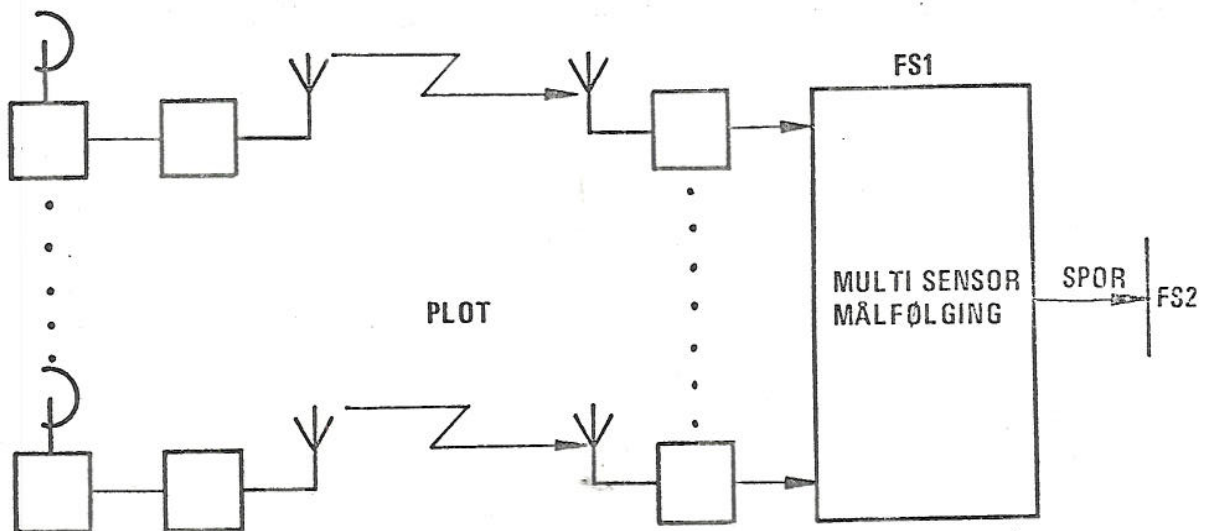
## a) Sentral målfølgning.

Plot overføres fra radarene til et senter hvor målfølgning foregår vha en eller annen form for "multi sensor målfølgning".

## b) Desentral målfølgning.

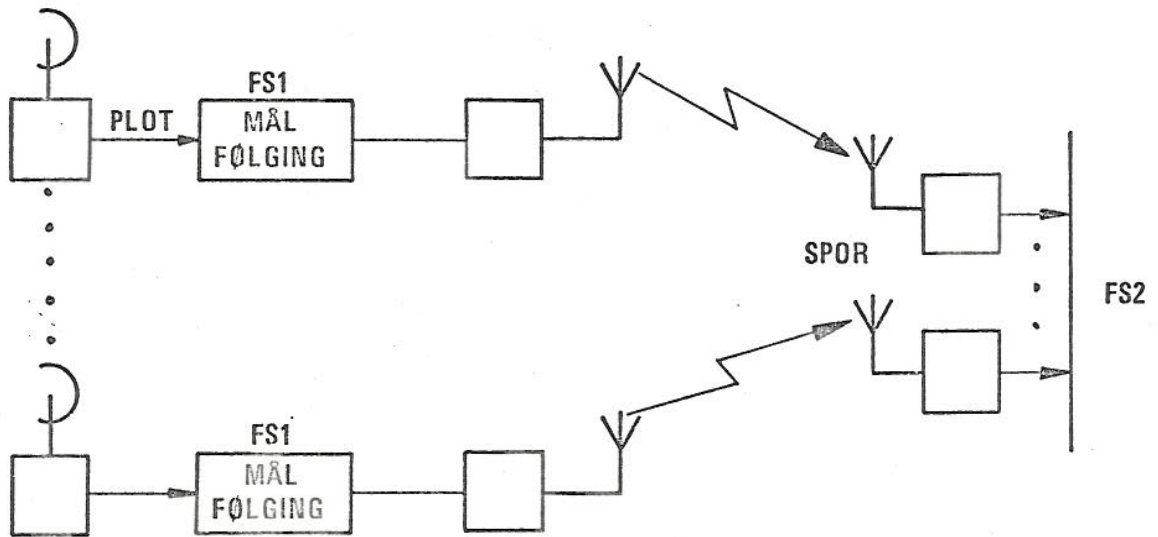
Målfølgning foretas lokalt på hver radar. Spor fra alle radarene overføres til et senter (FS2). En prosess her filtrerer ut dobbelt spor i områder med overlapp i dekingen og følger tokt fra radar til radar.

Se figur 4.1 og 4.2.



Figur 4.1 Sentral målfølgning





Figur 4.2 Desentral målfølging

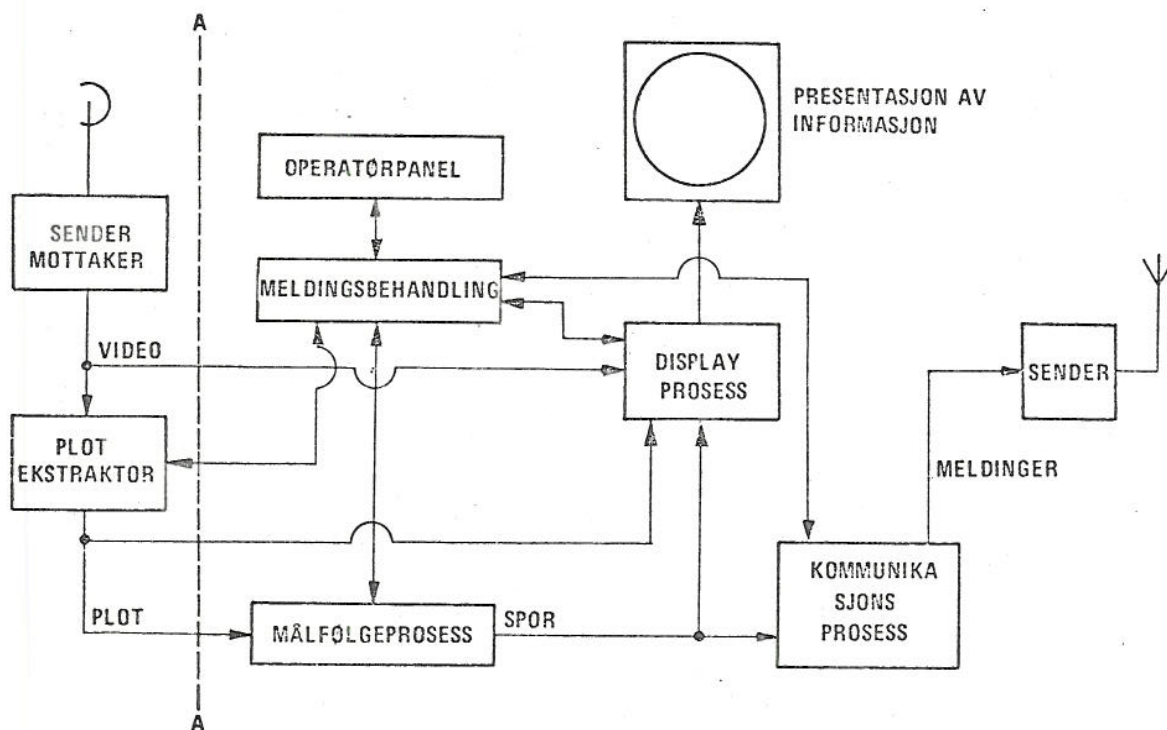
Systemløsning med desentral målfølging ble valgt. Det oppnås derved:

- Lite krav til databåndbredde på overføringslinjen fra hver radar til FS2. Et ett-hopps samband basert på spredd spektrum modulert HF kan dermed benyttes (ref 8). Det ble lagt stor vekt på dette punktet.
- Radaren kan benyttes som uavhengig systemkomponent av f eks hæravdelinger.
- Radarpersonellet vil ha bedre oversikt over luftaktiviteten innenfor radarens egen dekning og vil derfor kunne detektere angrep mot seg selv.

Det er videre antatt at radarenes dekningsdiagram ikke overlapper i så stor grad at man oppnår noen vesentlig bedre målfølging ved å utføre den sentralt (Se figur 2.1).

Valg av målfølgning desentralt medfører at hver mobil radar blir å betrakte som et FS1. Figur 4.3 viser blokkskjema over hovedfunksjonene i radaren. FS1-funksjonene ligger til høyre for linjen A - A. Figuren beskriver funksjoner og informasjonsstrømmer mellom funksjonene og viser ikke hvordan funksjonene kan/skal realiseres.

Det er forutsatt at målfølgningen utføres automatisk med automatisk initiering av spor. Operatøren kan vha operatørpanel og elektroniske skjermer overvåke målfølgningen og eventuelt overskrive resultatene, forandre filterparametre osv.



Figur 4.3 Blokkskjema over hovedfunksjonene i radaren

I det følgende skal en del av funksjonene beskrives nærmere.

#### 4.1.1 Sender/mottaker og plotekstraktor

Disse enhetene utgjør de primære signal og informasjons-givere i systemet. Bare grensesnittet A - A mot disse skal behandles her. Fra sender/mottaker mottas video signalene som må kunne presenteres på en skjerm. Fra plotekstraktoren mottas de ferdige prosesserte plot som er primærinformasjonen for målfølgeprosessen. Det må være mulig å kommunisere med sender/mottaker og plotekstraktor vha operatørpanelet.

#### 4.1.2 Meldingsbehandling

Denne prosessens hovedfunksjoner kan deles i to:

- a) Ren meldingsformidling mellom prosessene. Hovedstrøm mellom operatørpanelet og de resterende prosesser.
- b) Automatisk overvåking av de andre prosessers status, prosessering av feilmeldinger osv.

#### 4.1.3 Operatørpanel og elektronisk skjerm

Operatørpanelet og skjermen er operatørens grensesnitt mot radaren. Operatøren mottar informasjon om radarens status, resultat av målfølgeprosessen osv på skjermen og vha indikatorer. Operatøren kan gi informasjon til forskjellige prosesser i radaren vha tastatur, vendere, potensiometere, markører osv.

#### 4.1.4 Displayprosess

Displayprosessen mottar informasjon som skal presenteres på skjermen, som spor, plot, video og alfa-numerisk informasjon og styrer skjermen. Informasjon fra operatørpanelet bestemmer hvilken informasjon som skal presenteres, i hvilken form, skalastørrelse osv.

## 4.1.5 Målfølgeprosess

Prosessen initierer og følger mål automatisk på bakgrunn av informasjon som kommer fra plotekstraktoren. En del variable parametre kan innleses vha operatørpanelet (målets forventede manøvrering, "clutter" områder osv). Målfølgeprosessen kan også manuelt styres vha operatørpanelet. Resultatet av prosessen, spor, overføres til kommunikasjonsprosessen og displayprosessen. Derved kan sporene presenteres på skjermen og overføres til et mottakersenter.

Som målfølgefilter i prosessen benyttes et Kalman-filter. Det er utviklet to regnemaskinprogram for å analysere filterets ytelser.

## 4.1.5.1 Parameteranalyse av Kalman-filter

Kalman-filteret gir automatisk et estimat av forventet målfølgefeil. Dvs filteret gir et estimat av kovariansmatrisen,  $\underline{P}$ , for hvert spors tilstandsvektor  $\bar{X}$ .

Anta at et spor er representert ved tilstandsvektoren:

$$\bar{X} = \begin{pmatrix} x \\ \dot{x} \\ \ddot{x} \\ \ddot{x} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} \quad ; \quad \dot{x} = \frac{dx}{dt}$$

Kovariansmatrisen er da gitt av:

$$\underline{P} = \begin{pmatrix} p_{11} & p_{12} & p_{13} \\ p_{21} & p_{22} & p_{23} \\ p_{31} & p_{32} & p_{33} \end{pmatrix}$$

hvor  $p_{ij} = E\{[x_i - E(x_i)] \cdot [x_j - E(x_j)]\}$

$$i = 1, 2, 3$$

$$j = 1, 2, 3$$



Hvert element i  $\bar{X}$  er antatt normalfordelt  $N(0, \sigma_i)$ .

Målfølgefeilen er en funksjon av bl a:

- Radarens målenøyaktighet.
- Radarantennens omdreiningstid.
- Antall dimensjoner som radaren observerer.
- Målenes manøvrering.
- Radarens deteksjonssannsynlighet.
- Radarens evne til å undertrykke falske plot.
- Målfølgingsalgoritmens kvalitet.

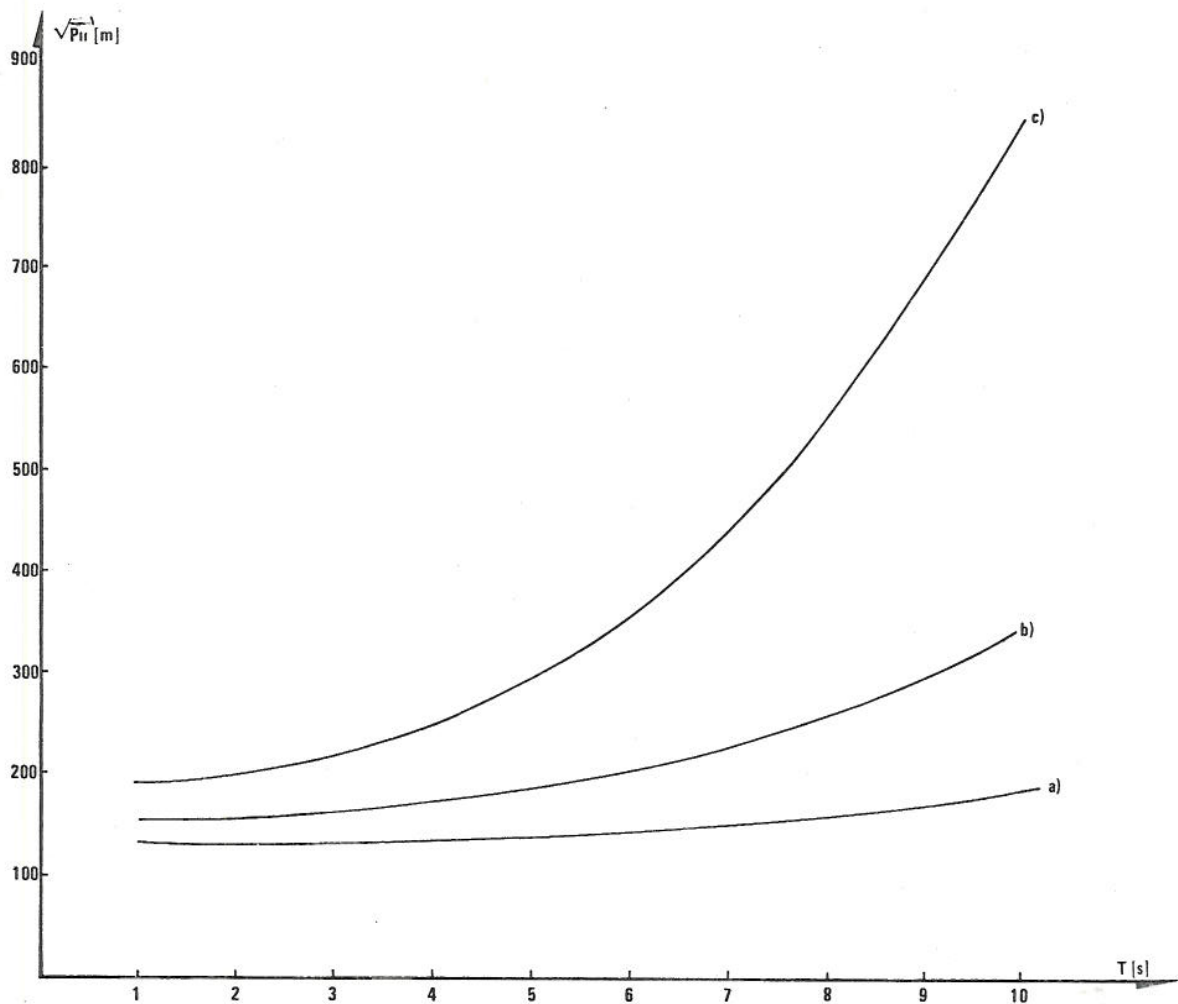
Et parameteranalyse-program er utviklet for et Kalman-filter. Programmet gir estimat av kovariansmatrisen  $P$  som funksjon av tiden. Analysen er foretatt i en dimensjon  $x = \text{"range"}$ . Følgende er forutsatt:

- Antennens omdreiningstid  $T = \text{variabel}$ .
- Målefeilen i avstand ("range") er normalfordelt  $N(0, \sigma_R)$ ,  $\sigma_R = 225/\sqrt{T}$ .
- Tre tilfeller av manøvrering ble antatt:
  - a) Lite manøvrering, 1 g akselerasjon i 5% av tiden.
  - b) Middels manøvrering, 2 g akselerasjon i 10% av tiden.
  - c) Mye manøvrering, 4 g akselerasjon i 20% av tiden.
- Et fly flyr gjennom en radars dekningsområde med gjennomsnittshastighet  $v = 200 \text{ m/s}$ , i avstand 10 km fra radaren. Dvs flyet er innenfor dekning

i ca 190 sekunder og blir oppdatert  $N \approx 190/T$  ganger.

Element  $p_{11}$  i kovariansmatrisen  $\underline{P}$  ble beregnet hvert 1/10 sekund og midlet over hele gjennomflyvningstiden (190 s).

Figur 4.8 viser  $\sqrt{p_{11}}$  for de tre manøvreringstilfellene som funksjon av antennens omdreiningstid  $T$ .



Figur 4.8  $\sqrt{p_{11}}$  som funksjon av  $T$ .

Kurvene viser at målfølgefeilen synker med avtagende T uansett antatt manøvrering. Når T nærmer seg et sekund flater kurvene ut. Dvs det er marginalt hva en oppnår ved å senke omdreiningstiden under  $T \approx 2,5s$  for c,  $T \approx 4s$  for b,  $T \approx 7s$  for a.

Når omdreiningstiden for radaren skal bestemmes, er det fra et målfølgings synspunkt generelt ønskelig å velge T så lav som mulig. På bakgrunn av parameteranalysen, synes en øvre grense for  $T \approx 4$  sekunder å være rimelig.

Se (ref 6) for flere detaljer og resultater.

#### 4.1.5.2 Simulering av målfølgeprosessen

For å kunne studere målfølgeprosessen i mer detalj enn det parameteranalyse-programmet kan gi, er det utviklet et program som simulerer målfølgeprosessen.

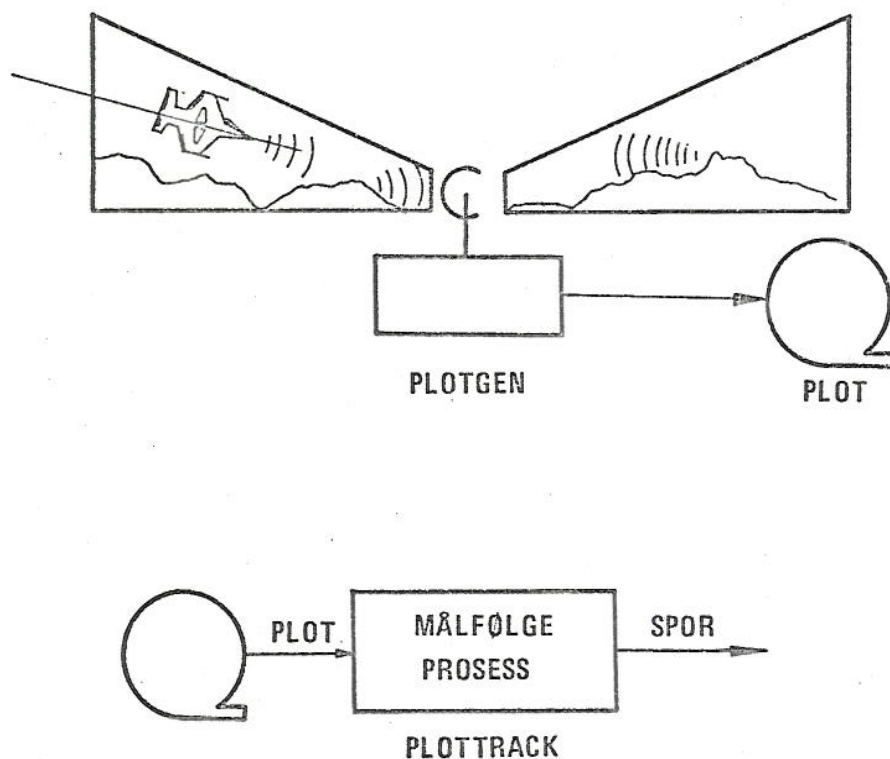
Vha programmet var det ønskelig å oppnå følgende:

- Generelt oppnå økt innsikt i målfølgeproblemer
- Teste forskjellige algoritmer for initiering, oppdatering og terminering av spor.
- Teste forskjellige former for glatte-filter og kursdeteksjonslogikker.
- Undersøke i hvilken grad bruk av høyde og doppler informasjon kan øke målfølgemyaktigheten og dermed redusere sannsynligheten for falske spor.
- Undersøke sammenheng mellom antall falske plot, fordeling av falske plot og antall falske spor.

Programmet modellerer følgende:

- En radar i støyomgivelser.
- Et vilkårlig antall flytokt.
- Generering av plot fra radarens dekningsområde.
- Målfølgeprosessen.

Se figur 4.9.



Figur 4.9 Blokkskjema over modellene i programmet

Programmet er foreløpig benyttet til å studere antall falske spor som funksjon av antall falske plot og som funksjon av høydeinformasjonsnøyaktighet.

Det skilles i programmet mellom systemspor og tentative spor. Et tentativt spor initieres hvis plot fra to påfølgende antenneomdreininger ligger i en avstand som gir rimelig hastighet for målet. Et systemspor initieres hvis et tentativt spor har vært oppdatert med plot minst 5 ganger i løpet av 7 antenneomdreininger. Det er bare



systemspor som presenteres for brukerne.

Radaren antas å ha følgende egenskaper:

- Maksimum deteksjonsavstand (RMAX) = 30 km.
- Minimum deteksjonsavstand (RMIN) = 2 km.
- Maksimum elevasjonsvinkel ( $\theta$ MAX) =  $30^\circ$ .
- Antennens rotasjonstid (T) = 3 s.
- Målefeilen er antatt normalfordelt med middelvei null og standardavvik i
 

avstand	$\sigma_R$ = 130 m
azimut	$\sigma_\phi$ = $0,38^\circ$
elevasjon	$\sigma_\theta$ = variabel

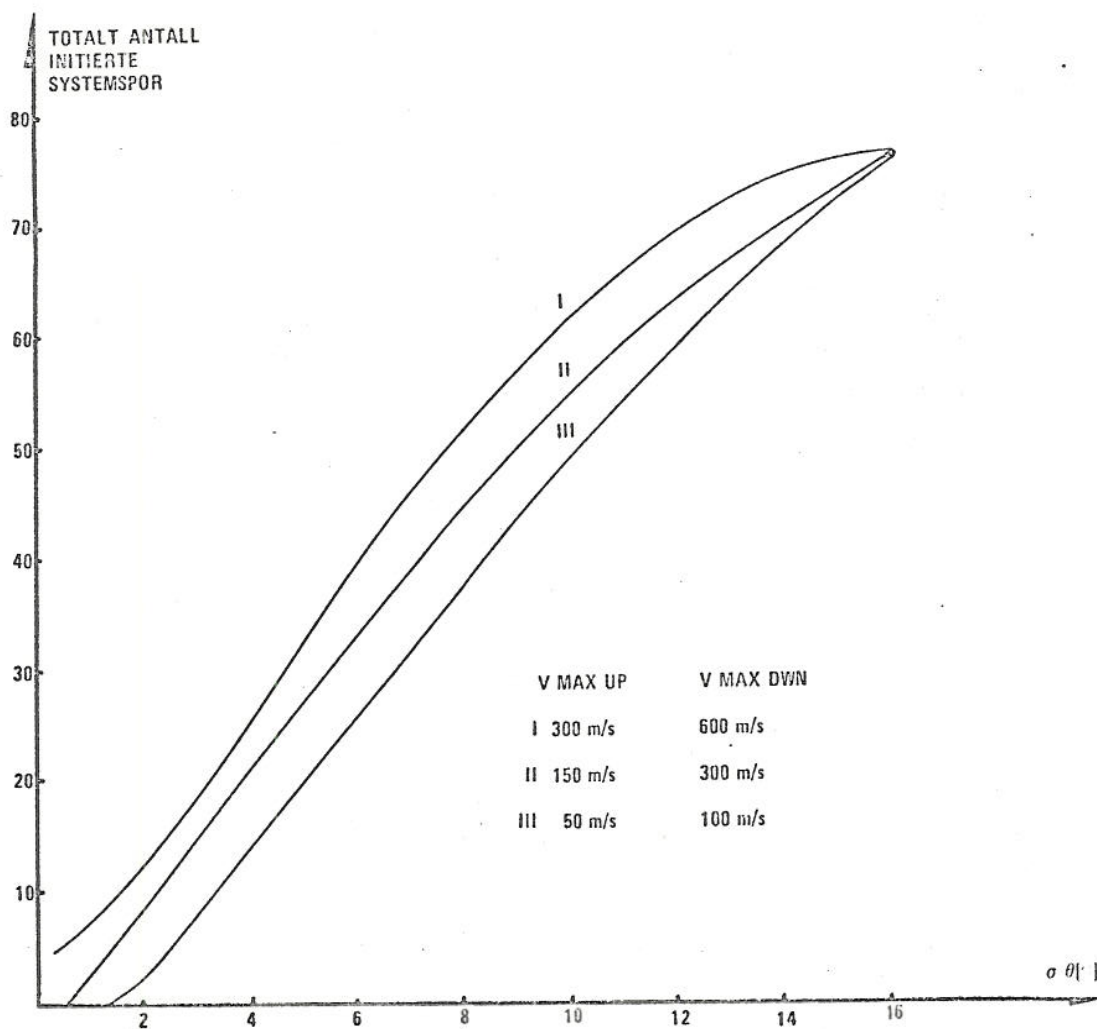
$\sigma_\theta$  ble variert for å finne antall falske spor som funksjon av målenøyaktigheten i elevasjon. Tre forskjellige krav til maksimal vertikal hastighet oppover og nedover ble satt:

	MAX OPP	MAX NED
I:	300 m/s	600 m/s
II:	150 m/s	300 m/s
III:	50 m/s	100 m/s

$\sigma_\theta$  ble variert fra  $0,25^\circ$  til  $16^\circ$ . Det ble i middel generert 36 falske plot pr antenneomdreining i en  $90^\circ$  s sektor av radarens dekningsdiagram.

Resultatet er vist i figur 4.10 som antall falske systemspor som ble initiert i løpet av 20 minutter som funksjon av  $\sigma_\theta$ .

Kurvene viser at høydeinformasjonens kvalitet er av meget stor betydning for å redusere antall falske systemspor. Ved å begrense maksimalt tillatt vertikal hastighet, reduseres også antall falske systemspor vesentlig. Et rimelig krav til høydenøyaktighet synes å være  $\sigma\theta = 1^\circ$ .

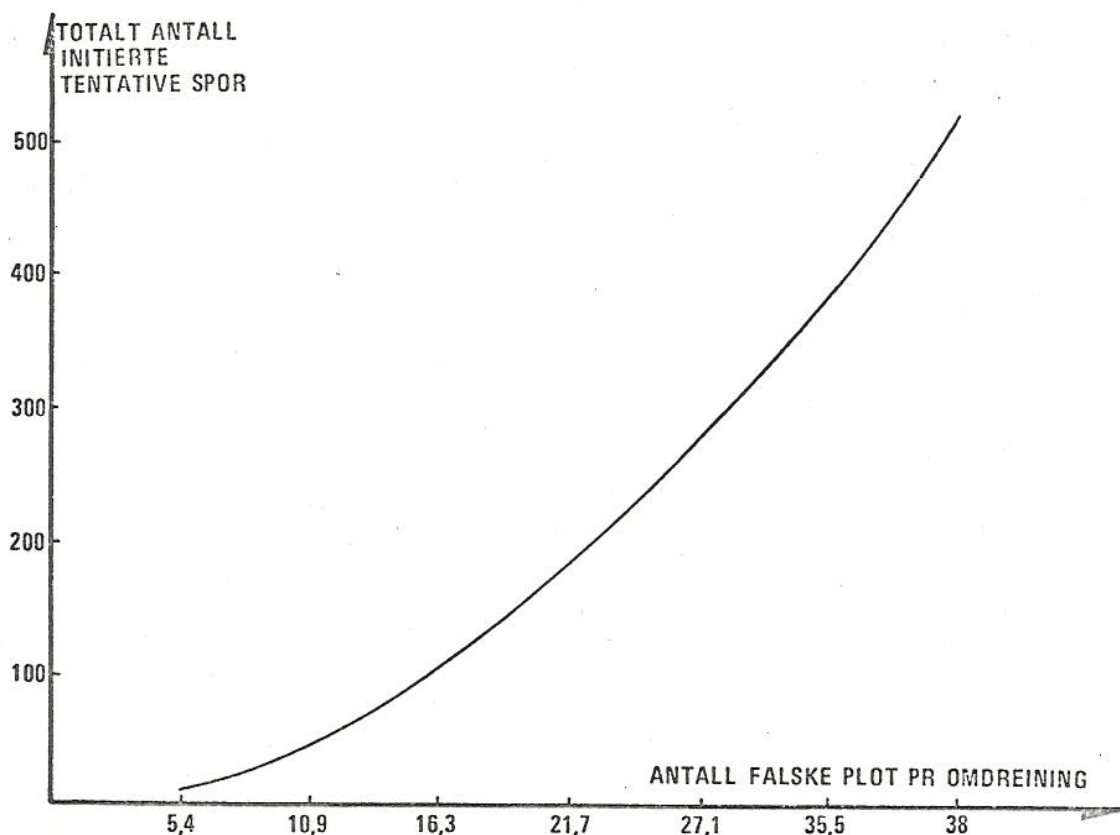


Figur 4.10 Antall falske systemspor som funksjon av  $\sigma\theta$

En serie med simuleringer ble kjørt for å finne antall initierte falske spor som funksjon av antall falske plot. De falske plottene er antatt uniformt fordelt over hele radarens dekningsvolum.

Midlere antall falske plot pr antenneomdreining ble variert fra 5.4 til 38.

I løpet av simuleringstiden (20 minutter) ble det ikke initiert systemspor for noen av kjøringene. Figur 5.11 viser totalt antall initierte tentative spor som funksjon av antall falske plot pr omdreining.



Figur 4.15 Totalt antall initierte tentative spor som funksjon av antall falske plot pr omdreining

#### 4.1.6 Kommunikasjonsprosess

Denne prosessen kontrollerer sending av meldinger. Hovedtyngden av meldinger gjelder spor-informasjon. Prosessen mottar informasjon om sporene fra målfølgeprosessen og koder informasjonen på en "optimal" måte. I tillegg kommer meldinger fra operatøren til senteret, status meldinger, meldinger ved oppstarting av radaren osv.

For å overføre informasjon om 10 spor fra en radar til FS2, er det behov for mellom 10 og 20 bit pr sekund.

#### 4.2 Manuelt rapporterende radarer

Operatørene på MR-radarene foretar den nødvendige forfiltrering manuelt. Til dette brukes hjelpemidler som er spesifisert i avsnitt 2.3.

Hver MR-radar blir altså å betrakte som et FS1 som genererer informasjon på spor-nivå.

#### 4.3 Luftvaktposter

På samme måte som MR-radarer, sender luftvaktpostene informasjon på spor-nivå og hver luftvaktpost kan betraktes som et FS1.

### 5 SAMORDNING AV LUFTBILDET

Informasjonen fra alle FS1 og informasjonen fra NADGE er generert av sensorer (sensorgrupper) som kan ha til dels sterkt overlappende dekning. Det er derfor nødvendig med en funksjon i FS2 som filtrerer ut dobbeltdekning av tokt og følger tokt fra et dekningsområde til et annet.



Sensorene som er tilknyttet FS2 kan naturlig deles i to grupper:

- I Sensorer med høy oppdateringsfrekvens og stor nøyaktighet i estimat av et tokts tilstandsvektor (Mobile radarer, radarer som sender informasjon via NADGE)
- II Sensorer med lav oppdateringsfrekvens og liten nøyaktighet i estimat av et tokts tilstandsvektor (MR-radarer, luftvaktposter).

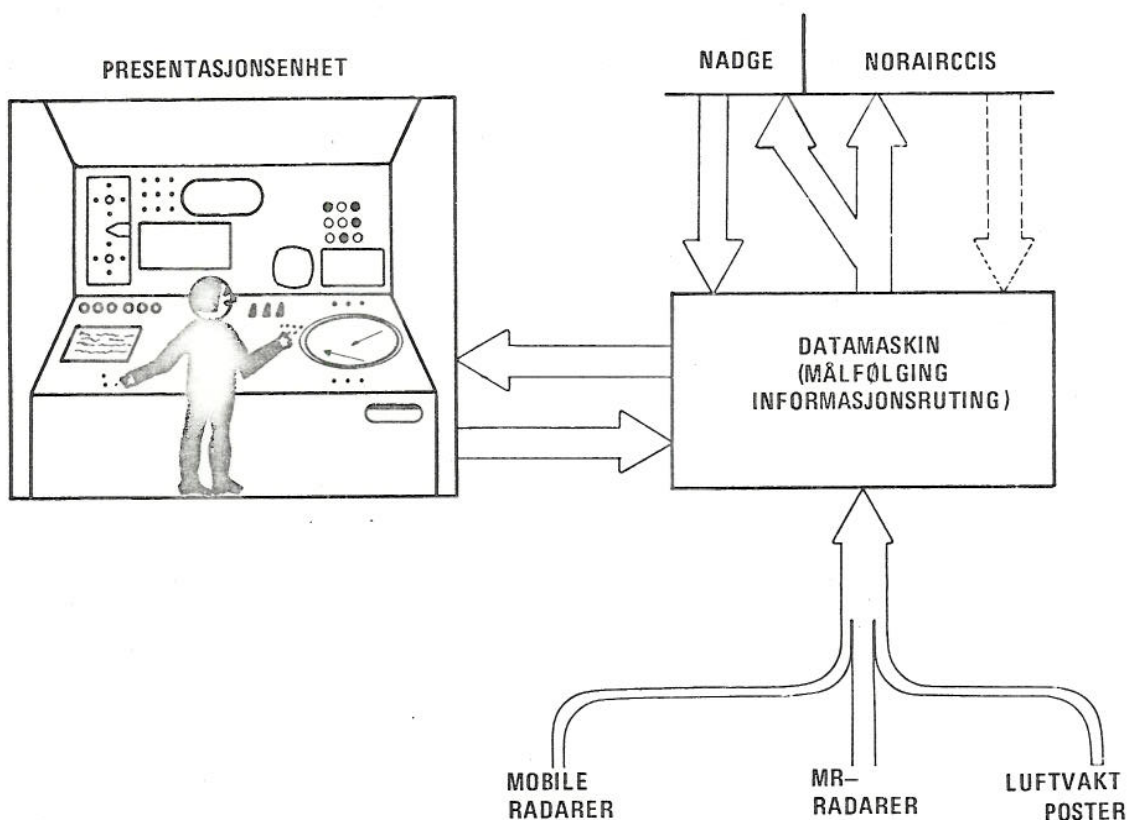
Det er viktig at det endelige luftsituasjonsbildet som FS2 produserer ikke inneholder for mye redundant informasjon og heller ikke falsk informasjon. Det er informasjon fra gruppe II som vil skape de største problemene og spesielt MR-radarene. Mange MR-radarer kan tilsammen generere en mengde unøyaktig informasjon som kan forstyrre bildet og delvis ødelegge det. Det er derfor nedlagt en vesentlig innsats for å klarlegge hvilke nøyaktighetskrav som må settes til MR-radarene (ref 7). (Se avsnitt 5.1).

Figur 5.1 viser et blokkskjema av FS2.

FS2 består av en presentasjonsenhet med operatør (en eller flere), en datamaskin og grensesnitt mot NADGE, NORAIRCCIS og alle FS1.

Datamaskinens to hovedoppgaver er:

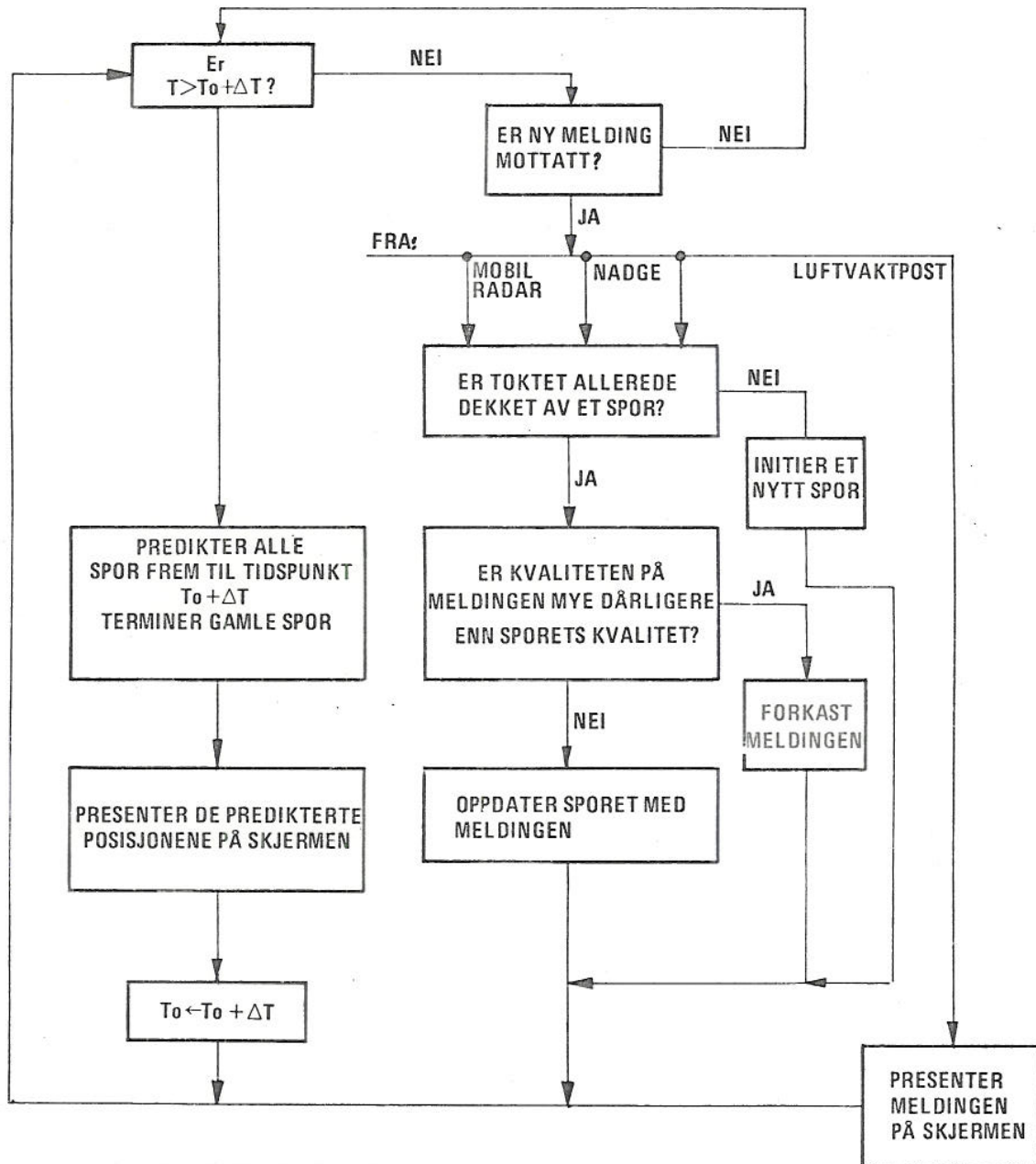
- Målfølgning av flytokt på bakgrunn av informasjon fra NADGE og alle FS1.
- Ruting av informasjon mellom enhetene.



Figur 5.1 Filtersenter 2

Flytskjema over hovedalgoritmen for FS2 er vist i figur 5.2.

Meldinger fra luftvaktposter presenteres direkte uten noen form for filtrering. Dvs en melding fra en luftvakt-post kan hverken initiere et nytt spor eller oppdatere et gammelt. Den vises på operatørens skjerm en viss tid.

Figur 5.2 Hovedalgoritme for FS2

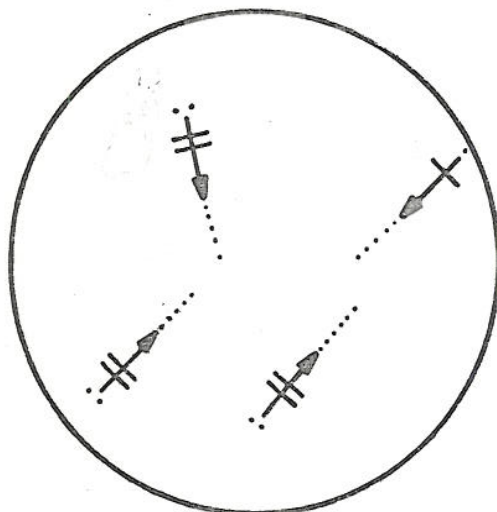
Alle spor i systemet er karakterisert ved en tilstandsvektor som inneholder informasjon om bl a:

- Tidspunkt for siste oppdatering.
- Posisjon, kurs, hastighet, høyde, antall og kjenning ved siste oppdatering.
- Sporets kvalitet (en funksjon av hvilke sensorer som har generert meldingene og hvor lenge det er siden det sist ble oppdatert).

Hvert spors tilstandsvektor presenteres på skjermen vha et symbol (pil). Se figur 5.3.

Med faste tidsintervall ( $\Delta T$ ) predikteres toktets posisjon frem. Dette angis på skjermen med en stiplet linje.

Hvis det går for lang tid uten at et spor blir oppdatert av en melding, termineres det.



Figur 5.3 Eksempel på presentasjon av spors tilstandsvektor og prediktert posisjon



NORAIRCCIS inneholder en base med informasjon om alle spors tilstandsvektorer. Basen oppdateres hver gang et spors tilstandsvektor forandres.

Informasjon til NADGE overføres på LINK 1-format og FS2 må oppfattes som en "remote site" av NADGE. Det må derfor sendes oppdateringsmeldinger til NADGE med den frekvensen som dette krever. Oppdateringene til NADGE må bygge på sporenes tilstandsvektor og en prediktering av posisjonen. Det er bare informasjon om tokt som NADGE ikke har fra før som overføres.

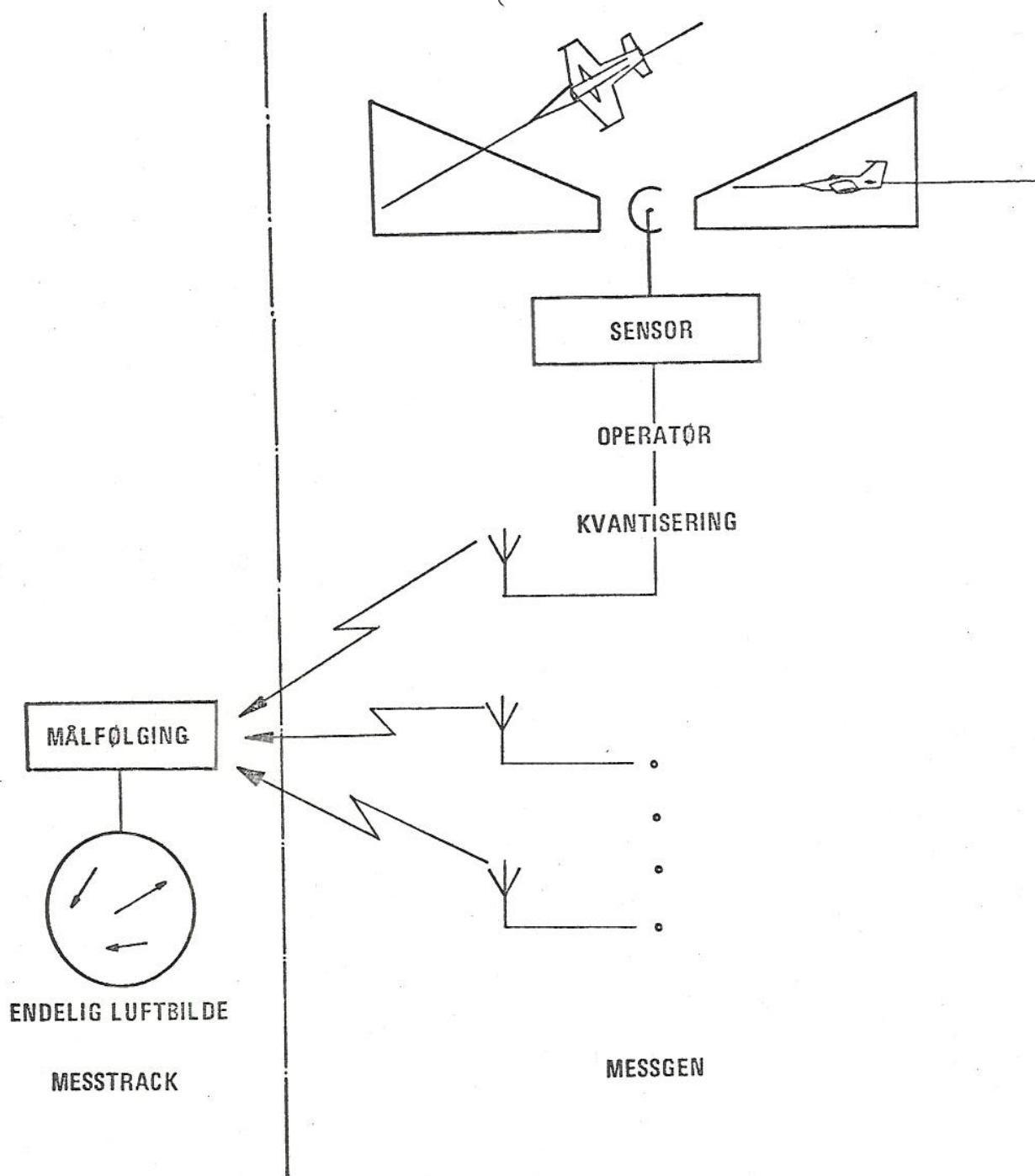
### 5.1 Simulering av målfølging i FS2

For å studere målfølgealgoritmen mer i detalj og spesielt finne krav til nøyaktighet og oppdateringsfrekvens for MR-radarer, ble det utviklet et simuleringsprogram.

Følgende er modellert i simuleringsprogrammet:

- Et vilkårlig antall MR-radarer som er karakterisert ved
  - radarens dekningsdiagram
  - operatørens avlesningsnøyaktighet og oppdateringsfrekvens
  - overføringskapasitet for linjen mellom radaren og FS2.
  
- Den sentrale målfølgeprosess.

Figur 5.4 viser et blokkskjema over modellene i programmet.



Figur 5.4 Blokkskjema over modellene i programmet

Følgende forutsetninger er gjort:

- Flytoktene flyr rettlinjet med instantane manøvreringer.
- Operatøren sender meldinger om flytoktene med jevne mellomrom.

- Manøvreringer detekteres av operatøren på MR-radaren og en melding om dette sendes uavhengig av oppdateringssyklusen.

Da simuleringene ble påbegynt, var det usikkerhet mht hvilken overføringskapasitet som det var mulig å få vha det foreslåtte konseptet med spredd spektrum modulert HF-samband. Det ble derfor tatt utgangspunkt i antatt nedre grense, ca 1 bit/s. Forskjellige kombinasjoner av operatørstøy og overføringskapasitet ble simulert.

Fem flytokt ble fløyet tilfeldig over et område som tilsvarer ca 1 tokt pr 4000 km<sup>2</sup>. Se figur 5.5. Dette tilsvarer ca 75 tokt innenfor hele kartrammen i figur 5.5.

For hver simulering ble følgende ytelsesindekser for målfølgingen beregnet:

- $Q_d$  - midlere målfølgefeil.
- A - gjennomsnittlig antall spor.
- N - totalt antall initierte spor i løpet av 4 timer.

For hver kombinasjon operatørstøy/overføringskapasitet ble en "optimal" meldingslengde for overføring av toktinformasjon funnet.

Operatørstøyen er antatt normalfordelt med middelvei null og standardavvik:

- Posisjon :  $\sigma_R$  i % av MR-radarens maskimale dekningsavstand.
- Kurs :  $\sigma_\theta$  - i grader.
- Hastighet :  $\sigma_V$  - i m/s.



Figur 5.5 Toktenes ruter i løpet av 4 timer



Hovedkonklusjon av simuleringene kan formuleres slik:

Med en overføringskapasitet på 3 bit pr sekund eller mer, var operatørstøyen den begrenende faktor. Når operatørstøyen ble større enn:

$$\sigma_R = 4\%$$

$$\sigma_\theta = 10^\circ$$

$$\sigma_V = 100 \text{ m/s}$$

brøt målfølgingen sammen. Dvs meldinger om tokt fra MR-radarene ble i utstrakt grad tilordnet gale spor i FS2. "Luftbildet" som ble produsert ga derfor lite informasjon om de virkelige toktene, utover at det var luftaktivitet i området.

Med halvert operatørstøy,

$$\sigma_R = 2\%$$

$$\sigma_\theta = 5^\circ$$

$$\sigma_V = 50 \text{ m/s}$$

gikk målfølgingen bra med overføringskapasitet ned til ca 0,8 bit pr sekund.

For 0,8 bit pr sekund overføringskapasitet ble det oppnådd følgende midlere målfølgefeil:

- Posisjon : ca 9 km
- Kurs : ca  $12^\circ$ .

Det var i middel ca 7% flere spor enn antatt virkelige tokt. Det var minimalt med feiltilordninger av meldinger til spor og det produserte "luftbildet" ga god oversikt over de virkelige tokts "bevegelser".

Ytterligere halvering av operatørstøyen til

$$\sigma_R = 1\%$$

$$\sigma_\theta = 2,5^\circ$$

$$\sigma_V = 25 \text{ m/s}$$

ga god målfølgning ned til 0,5 bit pr sekund overført informasjon. Det ble ikke funnet formålstjenlig å forsøke med lavere overføringskapasitet enn dette.

0,5 bit pr sekund ga følgende midlere målfølgefeil:

- Posisjon : ca 8 km
- Kurs : ca 15°

Det var i middel 3% for mange spor i forhold til antall virkelige tokt.

Den relativt store verdi for midlere kursavvik kommer av den store kursfeil som oppstår etter hver manøvrering. Dette gjør seg sterkest gjeldende når toktene forandrer kurs ca 180° og melding om manøvreringen forsinkes mye pga lav overføringskapasitet.

6

### KONKLUSJON

Denne rapporten sammenfatter arbeidet som er utført i forbindelse med integrering av informasjon fra nye sensorer med luftbildet produsert av NADGE.

Ved valg av systemløsning er det bla a lagt vekt på følgende:

- Systemet må være modulært oppbygget. Eventuelle forandringer etter at systemet er installert (som tilføyelse av nye sensortyper) må ikke kreve dyptgripende forandringer.

- Det må være behov for få forandringer i det eksisterende prosesseringssystem (NADGE) både programmessig og utstyrmessig.
- Operatørenes rutiner bør forandres så lite som mulig.
- Målfølgning bør i den utstrekning det er mulig foretas automatisk.

Den foreslåtte systemløsningen er karakterisert ved følgende:

- Målfølgning av fly på grunnlag av informasjon fra nye sensorer foretas i et filtersenter (FS2) utenfor NADGE. FS2 kommuniserer med NADGE på LINK 1-format og "teller" over informasjon om tokt som NADGE ikke har dekket av egne radarer.
- Filtersenter 2 (FS2) mottar informasjon fra de nye sensorene på spor-nivå. Dette er bl a for å redusere kravet til sambandets overføringskapasitet.
- Målfølgning foretas lokalt på de mobile radarene. Målfølgingen er automatisk med mulighet for manuell interaksjon. Meldinger om spor sendes til FS2 på et smalbands spredd spektrum modulert HF-samband.
- Manuell rapporterbare radarer (MR-radarer) sender meldinger om flytokt over et smalbands nødsamband eller talekanal. Meldingene settes opp manuelt av en operatør. Meldingene fra MR-radarene benyttes ved automatisk målfølgning i FS2.
- Luftvaktposter sender meldinger om flytokt via mobilradarenes samband eller via det statiske linksamband. Meldingene fra luftvaktpostene benyttes kun som tidligvarsel og inngår ikke i målfølgeprosessen.

Referanser

- (1) Eggestad, M
- Et konsept for harde silomonteerte radaranlegg i luftforsvarets kontroll og varslings-tjeneste.  
Intern rapport E-249 FFI (1975)  
Konfidensielt.
- (2) Grønlie, Ø
- Konsept for mobilt radarsystem.  
Teknisk notat E-801 FFI (1976)  
Konfidensielt.
- (3) Skaug, R
- Luftvaktposthjelpemidler.  
Intern rapport under utarbeidelse.
- (4) Kruuse-Meyer, J
- Alternative radiosamband for sensorer i Finnmark.  
Teknisk notat E-735 FFI (1975)  
Hemmelig.
- (5) Heier, S  
Arnekleiv, J  
Svingen, B
- Forslag til integrering av luftbildeinformasjon fra nye og gamle K&V sensorer i N-Norge.  
Teknisk notat E-817 FFI (1976)  
Konfidensielt.
- (6) Heier, S
- Målfølgeprosess for mobil radar.  
Teknisk notat E-832 FFI (1976)
- (7) Heier, S  
Arnekleiv, J
- Målfølgelogikk for manuelt rapporterende radarer.  
Teknisk notat E-833 FFI (1976)  
HEMMELOG.



KONFIDENSIELT  
KONFIDENSIELT  
i h. t. Sikkerhetsinstruksen

- (8) Skaug, R
- HF-sprekkspektrumsamband for mobile enheter i Finnmark. Teknisk notat E-837 FFI (1976) BEGRENSET.
- (9) Olaisen, H  
Skaug, R
- Radio-samband for plot-data fra mobile radarer i Finnmark (under utarbeidelse) FFI

KONFIDENSIELT  
KONFIDENSIELT  
i h. t. Sikkerhetsinstruksen