

HEMMELIG

i h.t. Sikkerhetsinstruksen

FFIE

Intern rapport E-267

Referanse: 285-E/113

Dato: Mars 1977

Eksp. nr 3 av 20

71 sider

AVGRADERT

Dato: 11.11.09

Sign.: SE

MOBILT RADARSYSTEM FOR FINNMARK

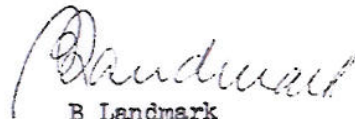
av

Ø Grønlie

Denne publikasjon er HEMMELIG.  
og tilhører FFIs bibliotek.  
Mottakeren er ansvarlig for at den  
opbevares sekret iforhold til.  
Publikasjonen kan ikke utlejes  
videre til andre. Returneres til  
biblioteket snarest.

Godkjent

Kjeller 9 mars 1977

  
B Landmark  
Forskningsjef

FORSVARETS FORSKNINGSINSTITUTT

Norwegian Defence Research Establishment

Postboks 25 - 2007 Kjeller

Norge

HEMMELIG

i h.t. Sikkerhetsinstruksen

HEMMELIG

i h. t. Sikkerhetsinstruksen

FFIE

Intern rapport E-267

Referanse: 285-E/113

Dato: Mars 1977

Eksp. nr 3 av 20

71 sider

MOBILT RADARSYSTEM FOR FINNMARK

av

Ø Grønlie

Denne publikasjon er HEMMELIG.  
og tilhører FFIs bibliotek  
Låntageren er ansvarlig for at den  
oppbevares forsakringsmessig.  
Publikasjonen kan ikke LÅRES  
videre til andre. Returneres til  
biblioteket snarest.

Godkjent

Kjeller 9 mars 1977

*B Landmark*

B Landmark  
Forskningsjef

FORSVARETS FORSKNINGSINSTITUTT

Norwegian Defence Research Establishment

Postboks 25 - 2007 Kjeller

Norge

HEMMELIG

i h. t. Sikkerhetsinstruksen

INNHOLDSFORTEGNELSE

		Side
1	INNLEDNING	4
2	HISTORIKK	5
3	PROBLEMFOMULERING	6
4	DEN FYSISKE OG ELEKTRONISKE TRUSEL	8
4.1	Fysisk trusel	8
4.2	Elektronisk trusel	8
5	VALG AV SYSTEMKONSEPT	9
5.1	System med lett mobile radarer	9
5.2	Diskusjon av alternative løsninger	10
5.3	Antall radarer, fysisk størrelse og rekkevidde	12
6	NØDVENDIG MOBILITETSGRAD, VALG AV KJØRETØY	15
7	AVVEINING MELLOM ANTALL RADARER OG RADAR REKKEVIDDE	16
8	INFORMASJONSKRAV (GENERELL DISKUSJON)	18
9	SAMMENDRAG AV SPESIFIKASJONGRUNNLAG FOR MOBIL RADAR	22
10	SYSTEMSTUDIE AV EN MOBIL RADARENHET	22
10.1	Radarspesifikasjoner	23
10.2	Resultat av studien	24
10.3	Sammendrag av radarparametre	25
11	PARAMETERANALYSE, VALG AV RADARPARAMETRE	25
11.1	Frekvensvalg	25
11.2	Oppdateringsfrekvens (antenneomdreiningshastighet)	27

		Side
11.2.1	Deteksjon under jamming	28
11.2.2	Følgeegenskapene	30
12	IMPLEMENTERING AV EN MOBIL RADARENHET	33
12.1	Effekt og vektbudsjett	33
12.2	Produksjonskostnadsoverslag for en mobil radar	35
13	SAMBAND OG DATAFILTRERING	36
13.1	Generelle krav til sambandssystemet	36
13.2	Lokal målfølging	37
13.3	Lavhastighets datasamband	39
14	OPERASJON OG ORGANISASJONSKONSEPT	43
14.1	Deployering	44
14.2	Den enkelte radarenhet	44
14.2.1	Personell	44
14.2.2	Opptreden i felt	46
14.3	Holdetider	46
14.4	Fredsorganisasjon	46
14.4.1	Personell og økonomi	47
15	SÅRBARHET	47
15.1	Elektronisk sårbarhet	48
15.1.1	Relativ varslingsstid	48
15.1.2	Målfølgeegenskaper	51
15.1.3	Følsomhet for endringer i scenariet	53
15.2	Fysisk sårbarhet	53
15.2.1	Luftangrep	54
15.2.2	Angrep av bakkestyrker	57
16	SLUTTBEMERKNINGER	58
Appendiks		
1	Eliminering av blindhastigheter med multippel prf	60
2	Nødvendig sendereffekt som funksjon av bølgelengden	64
3	Signal til clutterforhold	67
	Litteratur	70

## M O B I L T   R A D A R S Y S T E M   F O R   F I N N M A R K

SUMMARY

This report contains information on a mobile radar system planned to operate in the Finnmark area. The system is one component in a future sensor system for control and warning. This should be taken into account when assessing the limitations and solutions presented herein.

The proposed system represents a solution to the problem of low and intermediate level sensor coverage in a forward area. It's physical and electronic vulnerability is analyzed and found adequate.

A proposition is made with regard to system implementation, which includes the mobile radar unit as well as a data filtering and communication concept.

1      INNLEDNING

Et mobilt radarsystem for bruk i Luftforsvarets K&V system er beskrevet i FFI TN-E-801 (september 1976) (1). Notatet er en foreløpig dokumentasjon, og er på enkelte punkter ufullstendig.

I denne rapport tar en sikte på å gi en mer fullstendig beskrivelse av systemet, samt en bedre underbygget argumentasjon for valg av systemkonsept og systemparametre.

Denne rapport er sammen med TN-E-801 en fullstendig sluttdokumentasjon av mobilradarsystemet.

2 HISTORIKK

Som et supplement til det eksisterende K&V system for bedring av dekning og økning av fysisk seighet har en sett på noen alternativer for bruk av enkle og lette radarer.

En så først på mulighetene til å forbedre det eksisterende luftvaktpost-system ved hjelp av aktive elektromagnetiske sensorer. Det ble her studert et bistatisk radarsystem med belysning ved hjelp av eksisterende TV og FM sendere (2).

En antydte videre en del muligheter for å utstyre luftvaktpostene med enkle bærbar monostatiske radarer (3). Samtlige løsninger er imidlertid siden forkastet. Grunnen til dette er blant annet at:

- De gir få og unøyaktige data
- Bruk av eksisterende TV og FM sendere gir stor fysisk sårbarhet
- Vanskelig teknisk å realisere utstyr i bærbar utførelse med tilstrekkelig ytelse
- En har senere funnet det vesentlig mer fordelaktig å benytte passive akustiske og elektrooptiske hjelpemidler til dette formål

Som en mellomting mellom de enkle luftvaktpostradarer og de store EW-stasjonene antydte en også forholdsvis enkle radarer med middels rekkevidde (3) som skulle tjene som:

- En begrenset reserve for det eksisterende K&V system
- Ett supplement til det eksisterende K&V system m h t lavdekning

Ut fra de topografiske forhold i Nord-Norge, og med bakgrunn i ønske om et fleksibelt system m h t dekningsområde, fant en at radaren burde være av mobil type med 30-40 km rekkevidde.

Selv om mobile radarer opprinnelig kun var tiltenkt oppgaven som et supplement til det eksisterende K&V system, har det videre arbeid resultert i at et mobilt radarsystem anbefales som en verdifull komponent i et neste generasjons K&V system.

3 PROBLEMFOMULERING

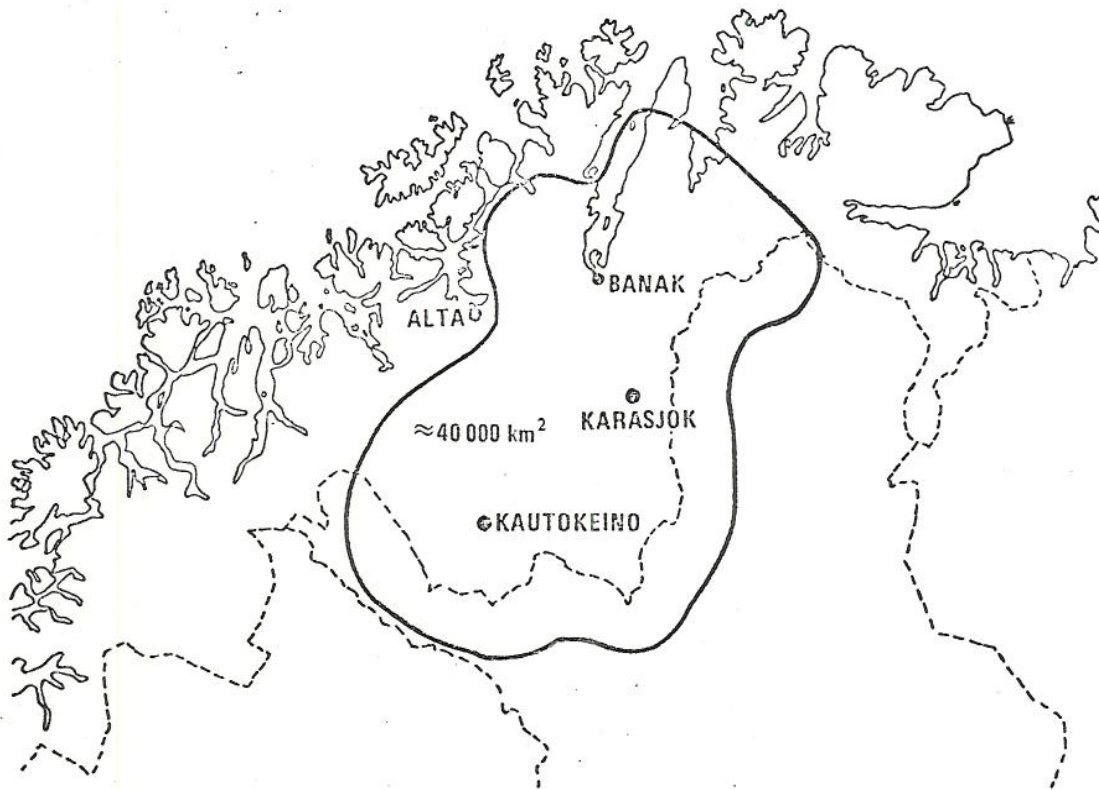
Primærproblemet er å fremskaffe tilstrekkelig tidlig varsel og ellers mest mulig informasjon om luftangrep som er rettet mot mål i Troms, dvs hæravdelinger, flystasjoner og andre installasjoner av militær betydning. Med "tilstrekkelig tidlig" menes her at det er mulig med et slikt varsel å oppnå engasjement med en angriper i minimum 50 km avstand fra det mål som skal forsvares ved bruk av avskjæringsjagere fra Bardufoss, Andøya eller Evenes flystasjoner.

Med mobilradarsystemet tar en sikte på å skaffe fremskutt dekning mot angrep fra øst til nordøst i lave og midlere høyder. Antatt dekningsområde er vist på figur 3.1.

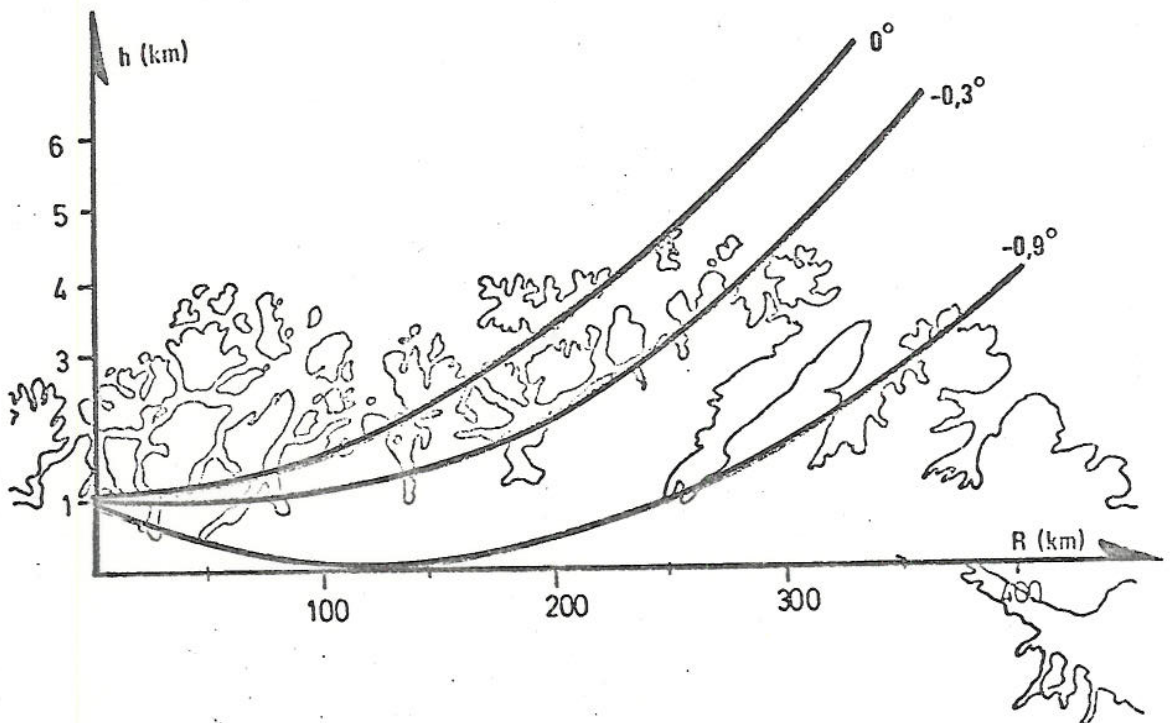
En bør regne med at både jagerbombere og middelstunge bombefly med 1980-årenes navigasjonsutstyr og treningsopplegg vil kunne operere i lav høyde i all slags vær. Hastigheter på opp til 500 knots i 300-500 fots høyde er realistisk. Radarsystemet bør derfor ha god dekning ned til 300 fot eller ca 100 m høyde. Dette krav gjør at clutterproblemet kommer inn med full tyngde, og vil være bestemmende for valg av radartype.

Bakre områder og større høyder dekkes av et mindre antall harde radaranlegg (silo-anlegg) (Eggestad (4)) i Troms-området. Figur 3.2 viser begrensning i dekning som skyldes jordkrumningen for en tenkt siloradarposisjon i 1000 m høyde. En horisontvinkel på  $-0,9^{\circ}$  representerer vinkelen til den "sanne" horisont, og er neppe realiserbar for noen aktuelle radarposisjoner. Mer realistisk vil det være å regne  $-0,3^{\circ}$ .

Av figuren fremgår da at det mobile system bør ha dekning opp til ca 6000 m for å gi sammenhengende dekning i alle høyder i hele området. Dekning i større høyder kan være ønskelig ved en eventuell degradering av de stasjonære anleggene.



Figur 3.1 Antatt dekningsområde for mobilt radarsystem



Figur 3.2 Begrensning i dekning som skyldes jordkrumningen for en tenkt tilbaketrukket siloradarposisjon i 1000 m høyde for horisontvinkler på 0°-0,3° og -0,9°



#### 4 DEN FYSISKE OG ELEKTRONISKE TRUSEL

##### 4.1 Fysisk trusel

Dersom et radarsystem gir informasjon om angrep som fører til en vesentlig økning i effektiviteten av forsvarsmidlene, må en regne med at fienden vil prøve å sette systemet ut av funksjon. Dette kan gjøres enten ved fysisk ødeleggelse av installasjonene, eller ved bruk av elektronisk jamming. En forutsetning er da at fienden øker effektiviteten av angrepene mot primærmålene mer enn det som tilsvarer den innsats som må settes inn mot radarsystemet.

Flere våpensystemer og angrepsformer kan tenkes benyttet for å sette systemet ut av drift, blant disse er:

- Styrte og heimende missiler
- Fastvingede fly bevæpnet med kanoner, raketter og clusterbomber
- Helikoptre bevæpnet med kanoner og styrte/ustyrte raketter
- Motoriserte oppklaringspatruljer
- Ikke motoriserte oppklaringspatruljer

Finnmark-området ligger meget fremskutt, og en kan derfor regne med at alle disse angrepsformer er aktuelle.

En må regne med at fienden vil være overlegen både i luften og på bakken, og at alle veier, kommunikasjonsknutepunkter og andre punkter av militær betydning relativt kort tid etter et krigsutbrudd vil beherskes av fiendtlige bakkestyrker.

##### 4.2 Elektronisk trusel

Som nevnt kan et radarsystem også helt eller delvis settes ut av funksjon ved bruk av jamming. En skiller gjerne mellom:

- Bakgrunnsjamming
- Eskortejamming
- Egenjamming

Bakgrunnsjamming med bredbåndet hvit støy vil normalt representere den alvorligste trusel mot et søkeradarsystem. Etter det en kjenner til har russerne spesialutrustede fly av typen CUB for dette formål. Et slikt fly kan støyjamme med 20 stk 500 W sendere, hver over et 100 MHz bredt frekvensbånd. Konsentreres all effekt i ett 100 MHz bånd, kommer en i prinsippet opp i en effekt-tetthet på 0,1 mW/Hz. Økning av jammebåndbredden vil gå på bekostning av effekt-tettheten. For en generell diskusjon av EK-problemstillingen henvises til (5). Den aktuelle trusel er noe mer detaljert behandlet i (6).

## 5 VALG AV SYSTEMKONSEPT

### 5.1 System med lett mobile radarer

Et radarsystem bestående av mange lett mobile radarenheter er det som på den beste måten løser de primæroppgavene som er diskutert i avsnitt 3, under den antatte fysiske og elektroniske trusel.

Med et mobilt radarsystem venter en å oppnå lav fysisk sårbarhet ved at:

- Radarposisjonene er ukjente for fienden.
- Mobiliteten kan utnyttes til taktiske forflytninger mens systemet er i drift for å vanskeliggjøre søk etter radarer.
- Deteksjonssannsynligheten reduseres ved at en bruker små enheter som lett kan kamufleres.
- Ved å benytte et stort antall radarer med stor geografisk spredning. Mange radarer må slås ut før dekningen reduseres vesentlig.
- Systemet vil i prinsippet lett kunne omgrupperes for å opprettholde dekningen når enkelte stasjoner blir slått ut. Fienden vil således ikke så lett kunne slå en permanent "bresje" i systemet.

En venter å oppnå lav elektronisk sårbarhet ved at:

- Radarer spres over et stort geografisk område
- Et stort antall radarer spres i frekvens over et stort frekvensbånd

- Mobiliteten gir mulighet til taktisk å utnytte terrengets skjermende virkning mot bakgrunnsjamming
- Et stort antall radarer gir mulighet til følgende av flere egenjammere ved triangulering

Med mange radarer i hensiktsmessig valgte posisjoner vil god lavdekning også kunne oppnås.

En har antatt fiendtlig luftherredømme, og at alle veier og kommunikasjonsknutepunkter kort tid etter et krigsutbrudd vil beherskes av fienden.

Systemet må derfor ikke bindes til å operere fra eller like i nærheten av veg. Antall veger i områder som er dimensjonert for tyngre kjøretøyer er sterkt begrenset. Søk etter radarene vil kunne begrenses til vegene, og lokalisering og ødeleggelse blir en relativt enkel oppgave.

Bruk av helikoptre til deployeringen anses lite aktuelt, idet dette ville medføre stor luftaktivitet i området før et eventuelt krigsutbrudd er et faktum. Bruk av helikoptre til taktiske forflytninger er helt uaktuelt, blant annet med tanke på at en skulle operere i fiendtlig kontrollert luftrom.

En kan derfor trekke den konklusjon at radarene må være fast monterte på terrenggående kjøretøy, som har god fremkommelighet i det aktuelle terreng hele året.

## 5.2 Diskusjon av alternative løsninger

En diskusjon omkring valg av systemkonsept vil ikke være fullstendig uten at også andre alternativer blir drøftet, blant disse er:

- System med få stasjonære radarer med stor rekkevidde (300 km).
- System med flere mindre stasjonære anlegg med middels rekkevidde (100 km).
- System med flyttbare radarer med middels rekkevidde. Radarene kan flyttes til alternative posisjoner med helikopter eller lastebil.
- System med mobile radarer med middels rekkevidde montert på lastebil.

Stasjonære radaranlegg av alle kategorier ble forkastet av følgende grunner:

- Ved bruk av forholdsvis få radarer vil den enkelte radars dekning utgjøre en stor andel av den totale dekning. Dette gjør hver enkelt til et viktig mål.
- Ved bruk av flere mindre radarer vil fienden ved å slå ut et mindre antall radarer kunne slå en permanent bresje i systemet.
- Anleggene må plasseres høyt, fritt og fremskutt for å gi tilstrekkelig lavdekning.
- Anleggenes beliggenhet og andre karakteristika vil være godt kjent for fienden gjennom etterretning.
- Anleggene vil binde store styrker til nærforsvar.
- De vil være meget utsatt for sabotasje og lignende i tiden forut for en konflikt.

Konklusjonen er at de vil være meget vanskelige å forsvare, selv om de er gjort "harde" mot luftangrep.

Systemer med flyttbare radarer ble også vurdert:

- Radarer av denne type er karakterisert ved forholdsvis lang transport og oppriggingstid og vil til dels være avhengige av at bygningsmessige forberedelser er gjort i de aktuelle posisjoner.
- Skal systemet kunne tre i funksjon i tide, må radarene være utplassert i fred, idet en er avhengig av helikoptre og tyngre kjøretøyer ved utplasseringen.
- Sett i relasjon til antatt fiendtlig overherredømme i luften og på bakken er omplasseringer av radarene etter et krigsutbrudd lite aktuelt.

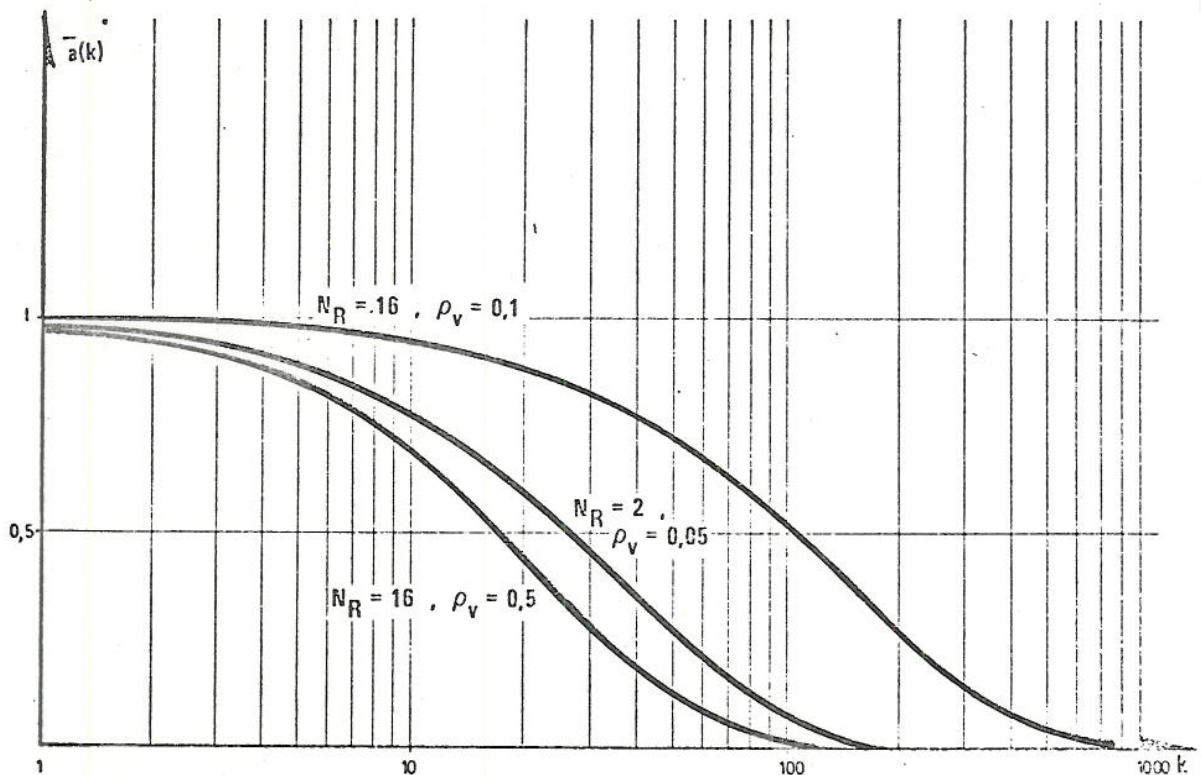
Et system med radarer av denne type oppviser derfor egenskaper som et system med stasjonære anlegg.

### 5.3 Antall radarer, fysisk størrelse og rekkevidde

Et system bestående av et stort antall radarer gir følgende fordeler:

- Stort antall reduserer systemets fysiske sårbarhet. Antallet er den beste garanti mot fysisk ødeleggelse, blant annet med tanke på den fremtidige utvikling av avanserte våpen for bruk mot radarer.
- Stort antall reduserer systemets elektroniske sårbarhet. En har mulighet for stor geografisk spredning og frekvensspredning. Dette gir gode EK-egenskaper uansett hvilken type jamming som benyttes. En gjør seg derved ikke avhengig av bruk av mer eller mindre tvilsomme "lure kretser".
- Stort antall reduserer rekkeviddebehovet. Kortere rekkevidde gir lavere effektforbruk som igjen resulterer i mindre og lettere utstyr. Enhetene blir enklere å kamuflere og kan gjøres mer mobile.
- En vil kunne få et brukbart luftbilde når enkelte radarer er "tause" fordi den enkelte radar bidrar lite til systemets totale dekning.

Sammenhengen mellom "seighet" og antall radarer er vist på figur 5.1 (1). "Seighet" er her målt i dekningsareal etter at fienden har avsluttet et angrep mot systemet med en bestemt innsats.



Figur 5.1 Forventet normalisert dekningsareal som funksjon av antall sorties  
 $N_R$  = antall radarer,  $\rho_v$  = sårbarhet for den enkelte radar

Sammenheng mellom antall og rekkevidde for kontinuerlig lavdekning (ned til 100 m) er vist i tabell 5.1.

R km	$N_r$
5	509
10	127
15	56
20	32
25	20
30	14
35	10
40	8
50	8

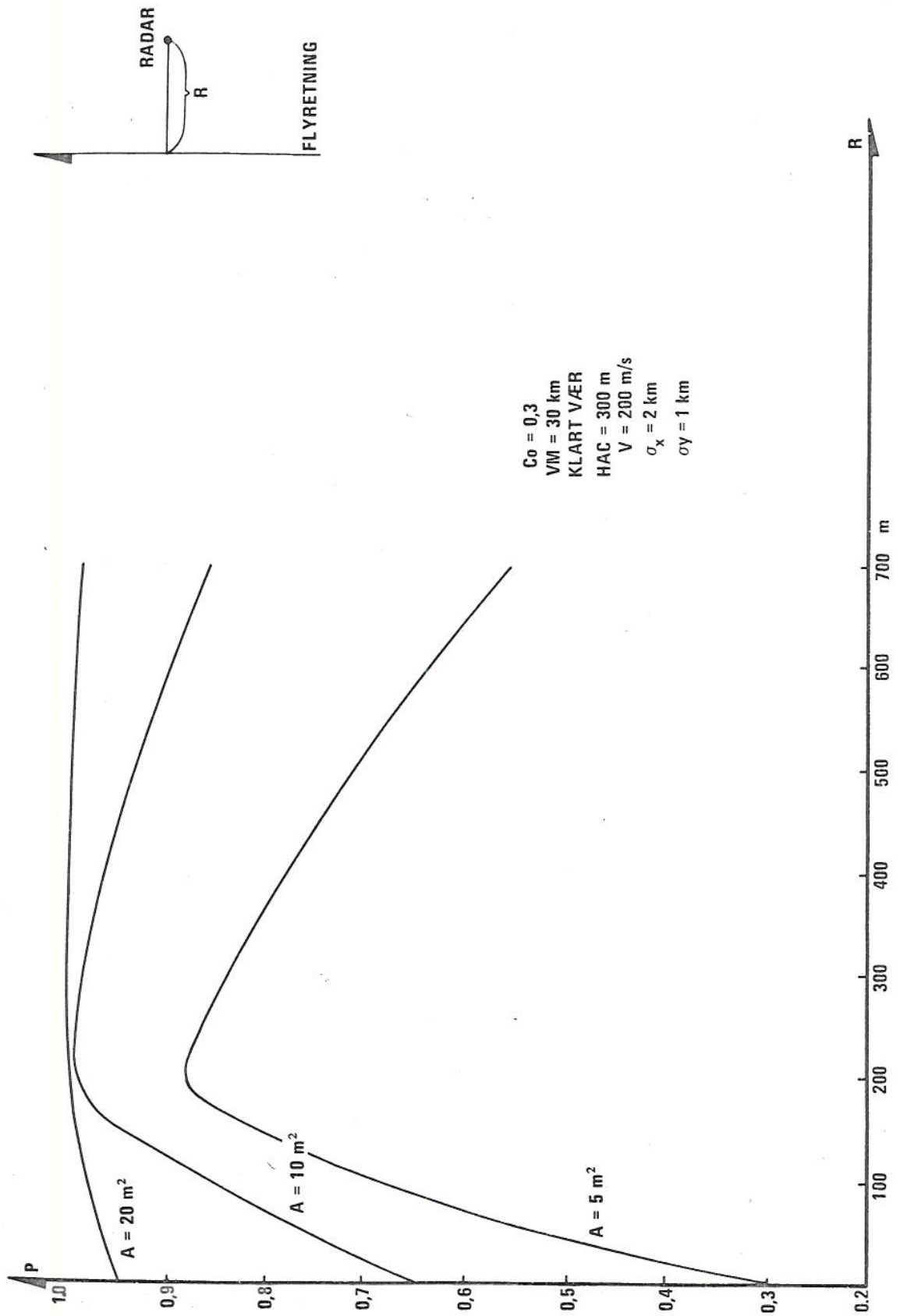
Tabell 5.1 Sammenheng mellom radarrekkevidde og antall for sammenhengende lavdekning

Ulemper forbundet med et stort antall radarer er:

- Det totale personellbehov kan bli meget stort
- Administrasjon av systemet med samband blir vanskeligere

Benyttes et mindre antall tyngre radarer (typisk 100 km rekkevidde) kan personellbehovet gjøres moderat samtidig som systemet blir relativt enkelt å administrere. Det knytter seg imidlertid en del vesentlige ulemper til en slik løsning:

- Jordkrumningen begrenser lavdekningen til 30-40 km (dekning ned til 100 m). Skal en rimelig grad av lavdekning kunne opprettholdes, må en likevel benytte et relativt stort antall radarer (tabell 5.1).
- Skal den større rekkevidde kunne utnyttes, må radarene plasseres høyt og fritt. Sårbarheten øker derved idet en ikke i vesentlig grad kan ta kamouflasjemessige hensyn ved valg av posisjoner.
- Bruk av større enheter reduserer kamouflasjemulighetene idet det er vanskeligere å bryte konturene på store objekter, slik at de faller inn i en type terreng som mangler slike særtrekk. Utstyrets størrelse bør tilsvare terrengdetaljer selv om kontrasten mot bakgrunnen kan gjøres lav.



Figur 5.2 Akkumulert deteksjonssannsynlighet som funksjon av passeringsavstand med sårbart areal som parameter

- Øket volum, antennessørrelse og antennehøyde vil direkte øke det sårbare areal, hvilket letter deteksjonsmulighetene og øker treffsikkerheten for de anvendte våpen.
- Større og tyngre radarer betyr økt sårbarhet som følge av redusert mobilitet i den kritiske deployeringsfasen.

Figur 5.2 viser akkumulert deteksjonssannsynlighet ved visuell deteksjon av et objekt på bakken fra fly som funksjon av passeringsavstand med sårbart areal som parameter. Figuren er fremstilt ved hjelp av et regnemaskinprogram som er benyttet i (7). Den viser en signifikant økning av deteksjonssannsynligheten med arealet.

Med dette synes det å være tilstrekkelig underbygget at den beste løsning er et system av relativt mange lette mobile radarer med kort rekkevidde (typisk 30 km).

Det gjenstår å fastlegge parametre som:

- Nødvendig mobilitetsgrad (kjøretøy)
- Antall radarer
- Radar rekkevidde

## 6 NØDVENDIG MOBILITETSGRAD, VALG AV KJØRETØY

Krav til mobilitet er direkte knyttet til systemets fysiske sårbarhet.

Deployeringsfasen er meget kritisk idet radarene fra bestemmelse om aktivering av systemet er tatt meget raskt må kunne bringes ut til posisjoner i tilstrekkelig stor avstand fra vegene (jfr avsnitt 4).

Omplassering for å tette hull i dekingen bør kunne gjennomføres på kortest mulig tid, både av dekningsmessige årsaker, og fordi et objekt i bevegelse vil være mer sårbart enn et som er godt kamuflert i en ukjent posisjon.

Har en mistanke om at en er oppdaget av for eksempel et rekognoseringsfly, kan det være ønskelig å flytte radaren til en ny posisjon (taktisk



forflytning). Denne type operasjon krever kort ned- og oppriggingstid, og selve forflytningen må også kunne gjennomføres på kortest mulig tid.

I søk etter aktuelle terrenggående kjøretøyer er en blitt stående ved Volvo beltevogn BV-202-N. Grunnene til dette er følgende:

- Det er ikke aktuelt å utvikle et kjøretøy spesielt for dette formål.
- Dette kjøretøyet har etter det en kjenner til de beste terreng-egenskaper av de som er tilgjengelig på markedet.
- Den har en rimelig lastekapasitet (800 kg).
- Den er i ferd med å bli "standard" i det norske Forsvar. Dette er en meget stor fordel av drifts- og vedlikeholdsmessige grunner.
- Av sikkerhetsmessige årsaker (sabotasje) bør radarvognene avvike minst mulig fra øvrige militære kjøretøyer.

En del karakteristiske data for beltevognen er gjengitt i (1).

Kjøretøyvalget setter begrensninger på radarutstyrets vekt, volum, effektforbruk og antennestørrelse.

Sett i relasjon til beltevognens fysiske dimensjoner og lasteevne er en kommet til at følgende begrensninger er rimelige:

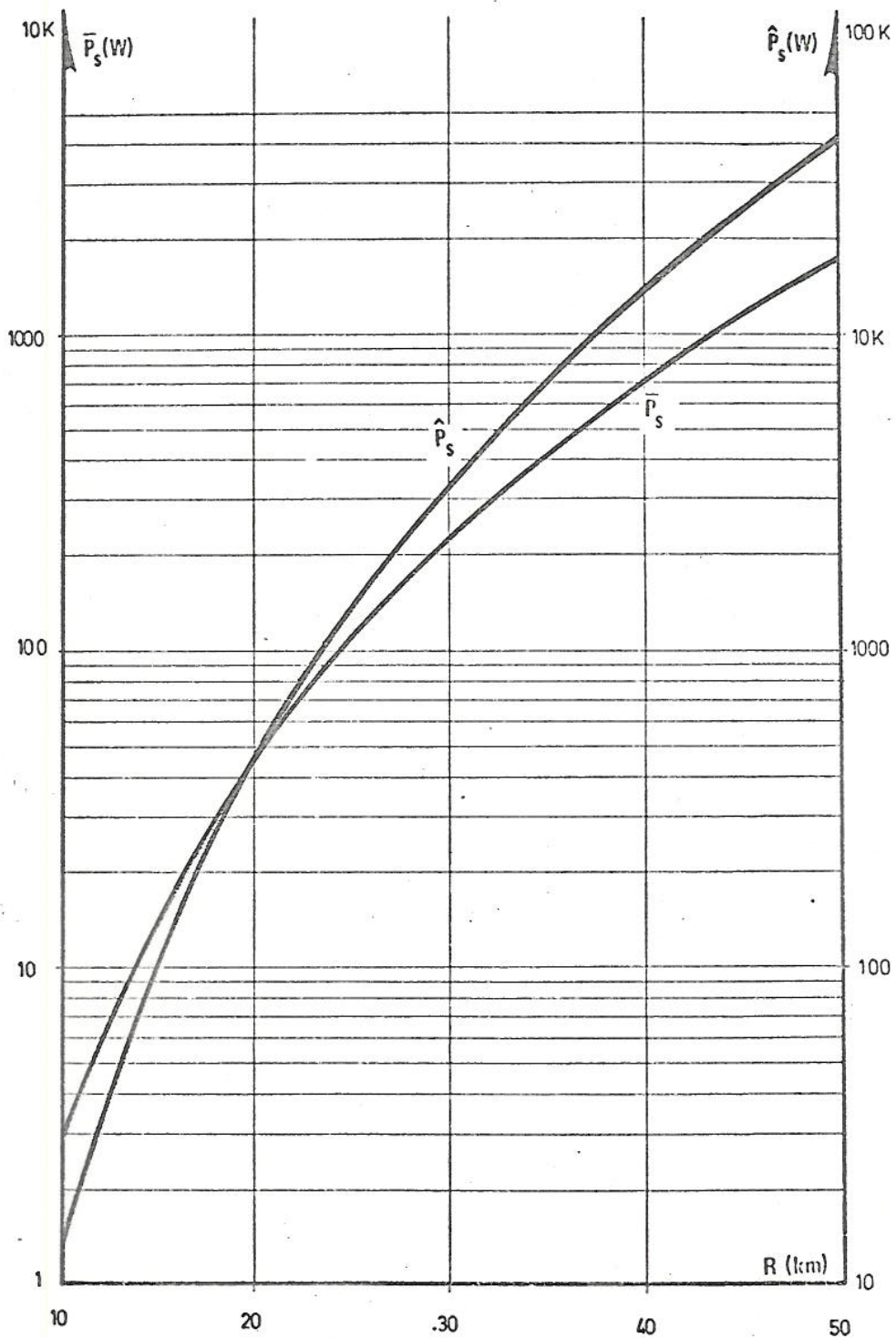
- |                              |        |
|------------------------------|--------|
| - Maksimal vekt              | 500 kg |
| - Horisontal antenneaperture | <2 m   |
| - Maksimal primæreffekt      | 5 kW   |

7

#### AVVEINING MELLOM ANTALL RADARER OG RADAR REKKEVIDDE

Blant de faktorer som må vurderes ved valg av radar rekkevidde er:

- Krav til lav-dekning
- Effektforbruk
- Tekniske forhold ved realisering av radaren
- Nødvendig antall radarer
- Fysisk sårbarhet
- Elektronisk sårbarhet



Figur 7.1 Midlere effekt  $\bar{P}_s$  og pulseffekt  $\hat{P}_s$  som funksjon av radar rekkevidde  $R$

Med de begrensninger kjøretøyvalget setter på effektforbruk, vekt og antenneapertur (avsnitt 6), kan en komme fram til et estimat av oppnåelig radar rekkevidde. En har antatt maksimal primæreffekt på 5 kW. Regner en at antennemotor, radarmottaker, kommunikasjonsutstyr og diverse display og kontrollutstyr til sammen bruker ca 1500 W og en sendervirkningsgrad på 20%, blir maksimal tilgjengelig midlere sender-effekt 700 W. En sammenheng mellom radareffekt og rekkevidde er vist i figur 7.1 (1).

En ser at 700 W tilsvarer en rekkevidde på 40 km. Da en samtidig vet at jordkrumningen begrenser lavdekningen (ned til 100 m) ut til ca 40 km (1), synes det rimelig å velge rekkevidden mindre enn dette.

For å unngå at vekt og volumbegrensninger skal skape alvorlige problemer ved realisering av radaren, er det ønskelig å arbeide med relativt stor margin. En velger derfor 30 km som gir en effektmargin på ca 3,5 ggr. For kontinuerlig lavdekning tilsvarer dette 14 radarer (tabell 5.1). Dette antall virker rimelig med tanke på de problemer en får med å administrere systemet og skaffe samband til enhetene.

Det gjenstår å se om en med dette radarantall får et system med tilstrekkelig stor fysisk og elektronisk seighet.

## 8 INFORMASJONSKRAV (GENERELLL DISKUSJON)

Krav til type og kvalitet av informasjon fra det mobile radarsystemet kan vanskelig vurderes kvantitativt uten i sammenheng med en effektivitetsvurdering av hele K&V systemet, hvor det overordnede mål er reduksjon i effektivitet av fiendtlige kampfly.

Mobilradarsystemet skal gi sitt bidrag til det totale luftbilde. Det luftrom som observeres av de mobile radarer ligger i et fremskutt område hvor en, som tidligere nevnt, må regne med fullstendig fiendtlig luftherredømme.

Engasjement vil praktisk talt aldri kunne oppnås innenfor dekning av

de mobile radarer. Det vil derfor ikke bli tale om å drive "kontroll", d v s sentralt lede egne fly til engasjement med inntrenger ved hjelp av informasjon fra systemet.

En form for mål-tilordning kan være aktuelt. Med dette menes at systemet følger det fiendtlige tokt, og holder avskjæringsflyet informert om målets posisjon, kurs, fart og evt høyde. Dette gjøres inntil avskjæringsflyet befinner seg i en slik posisjon at det kan finne målet ved hjelp av egne søke- og siktemidler.

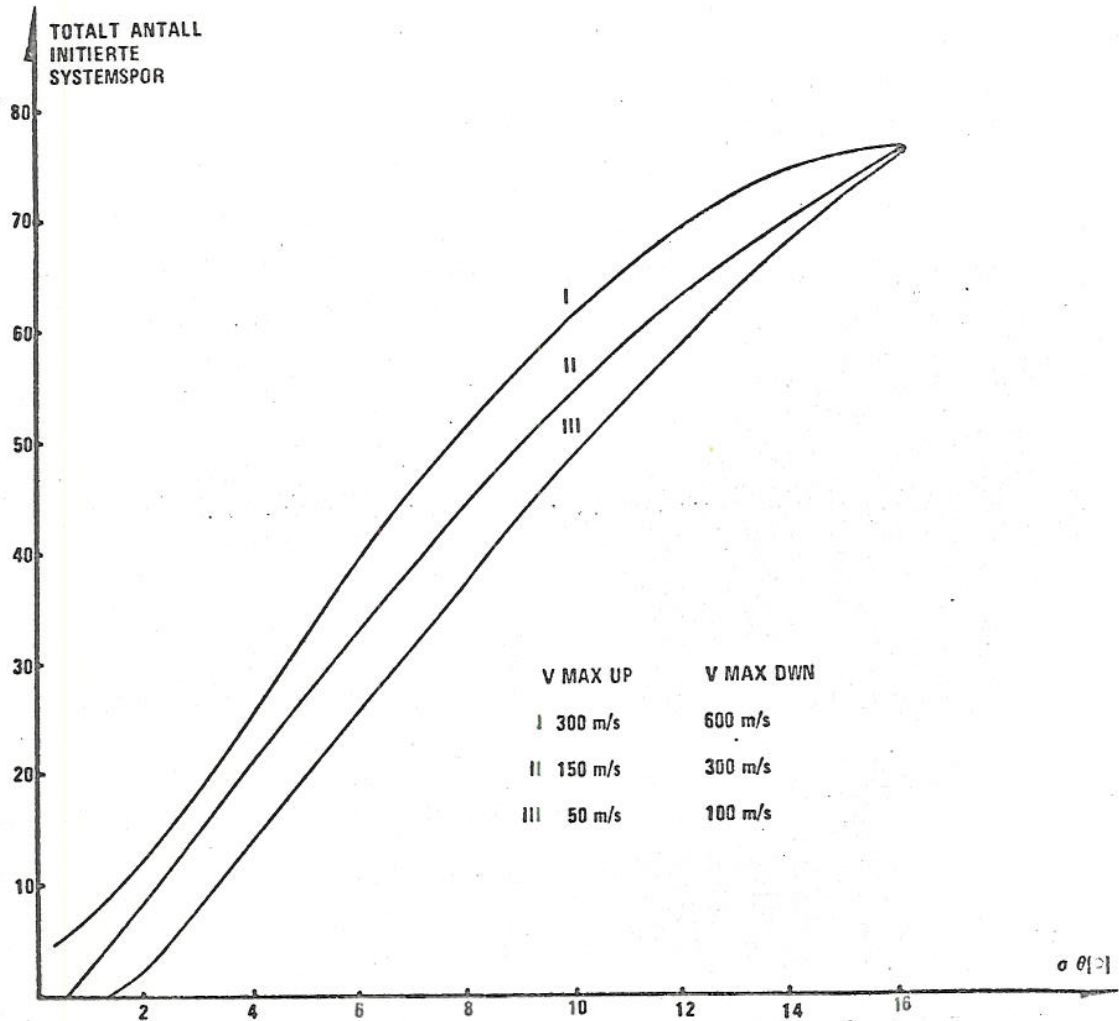
En kan også tenke seg situasjoner hvor det kan være hensiktsmessig for blå fly å være radartause lengst mulig inntil sluttfasen av en avskjæringsoperasjon nærmer seg, videre at bruk av egen radar er vanskeligjort på grunn av jamming. I disse tilfeller vil nøyaktig og pålite-  
lig informasjon fra K&V systemet være nødvendig.

For å ivareta de funksjoner som er skissert i det foregående trenger en et rent varsel tilstrekkelig tidlig, og i tillegg også gode estimat av målets posisjon, kurs og fart og høyde.

Høydeinformasjon anses som nødvendig av følgende grunner:

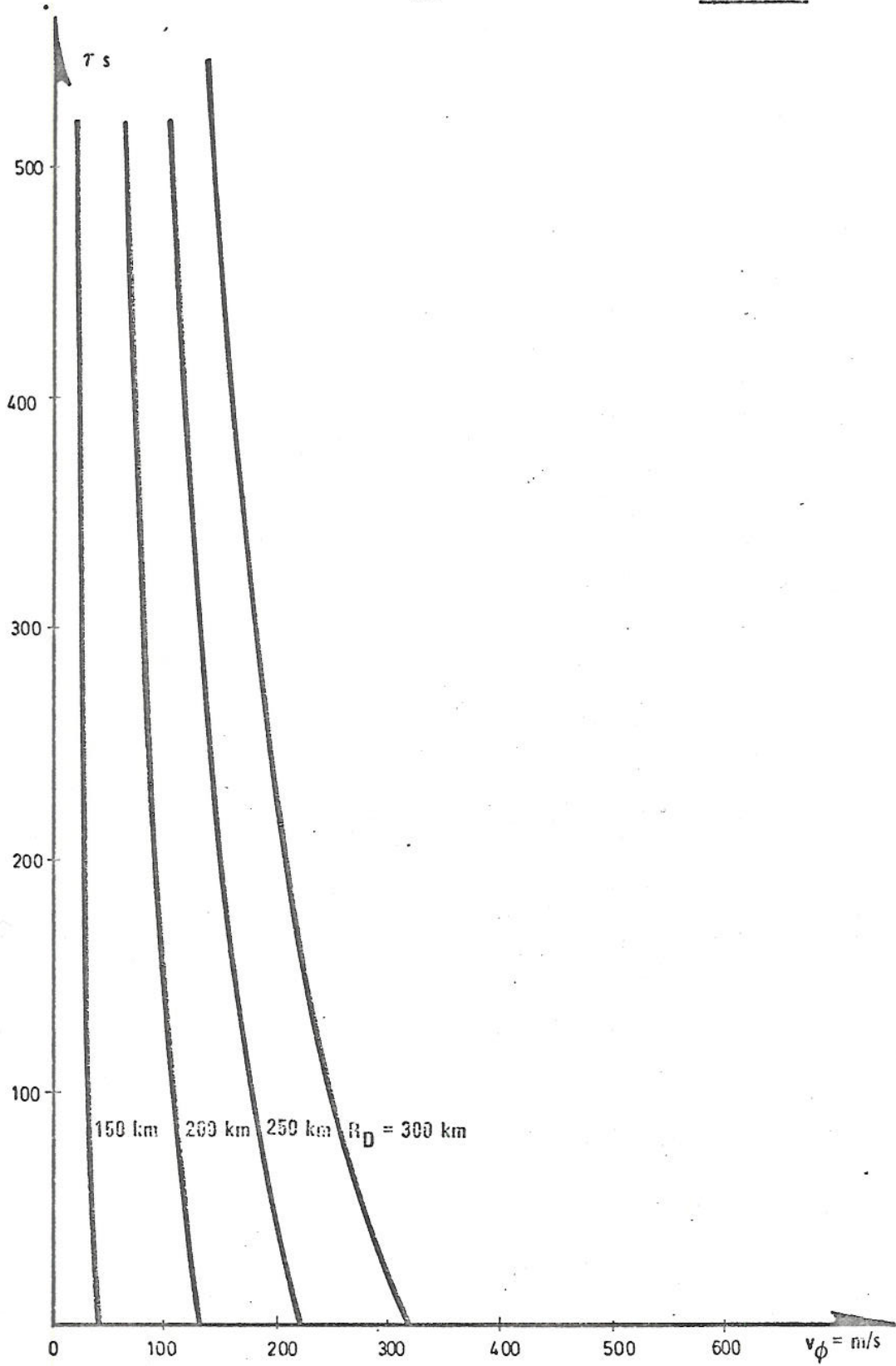
- Sett på bakgrunn av den korte varslingstiden vil avgjørende tid kunne spares idet avskjæringsflyet slipper å søke over et stort luftvolum for derpå å komme seg i riktig posisjon og høyde til å foreta avskjæring eller oppta luftkamp.
- Høydedata er absolutt nødvendig for å vurdere om et fly som er detektert representerer en trusel mot radaren.
- Tilsvarende forhold gjelder dersom radaren skal benyttes til andre formål, for eksempel til varslings av luftangrep mot en hæravdeling.
- Høydedata er av stor betydning ved filtrering av data fra radaren for reduksjon av antall falske initierte track (systemtrack). Dette er viktig fordi en ønsker størst mulig datareduksjon av hensyn til sambandet.
- Avskjæring vil normalt foregå innenfor dekning av en siloradar. Dersom denne er jammet, nede på grunn av ventet angrep, ødelagt eller av andre grunner uten av drift, vil avskjæring måtte foretas utelukkende med informasjon fra mobile radarer. Høydeinformasjon er da absolutt nødvendig for at avskjæring skal kunne foretas.

For å gi en indikasjon på betydningen av høyde-informasjon ved filtrering av data er antall initierte falske track som funksjon av elevasjonsnøyaktigheten i grader vist på figur 8.1. Det fremgår tydelig at god elevasjonsnøyaktighet i vesentlig grad forbedrer filtreringsprosessen (8).



Figur 8.1 Antall initierte systemtrack (spor) som funksjon av elevasjonsnøyaktigheten

På figur 8.2 er varslingsmarginen i sekunder vist som funksjon av fiendtlig flys hastighet med deteksjonsavstanden som parameter (1). Kurvene gjelder for forsvar av bakkestyrker i Skibotn-området med fly fra Bardufoss flystasjon på 2 min beredskap. Transmisjons- og behandlingsforsinkelse i K&V systemet er antatt lik 30 sek. Aktuelle data for YF-16 er benyttet. Dette eksemplet er kun ment som en indikasjon på at en har tidsnød, og for å understreke betydningen av høydeinformasjon. Får en varsel idet angriperen krysser grensen mellom Finland og Norge,  $R_D = 300$  km, og han flyr med en hastighet av 300 m/s, har en kun en mar-



Figur 8.2 Varslingsmargin  $\tau$  som funksjon av orange flys hastighet  $v_\phi$  med deteksjonsavstanden  $R_D$  som parameter  
 Kurvene gjelder for forsvar av bakkestyrker i Skibotn-området med 2 min beredskap

gin  $\tau$  på ca 20 sek. En må ha  $\tau > 0$  om engasjement skal være mulig i ønsket avstand fra målområdet.

## 9 SAMMENDRAG AV SPESIFIKASJONGRUNNLAG FOR MOBIL RADAR

Antall radarer	14
Rekkevidde	30 km
Kjøretøy	Volvo beltevogn BV-202
Data	3D
Maksimal vekt	500 kg
Primæreffekt	$\leq 5$ kW
Horisontal antenneapertur	$\leq 2$ m
Lavdekning	ned til 100 m over terreng
Høydedekning	opp til 6000 m

## 10 SYSTEMSTUDIE AV EN MOBIL RADARENHET

For å skape et bedre utgangspunkt for det videre arbeid med systemet, ble det utført en systemstudie av en mobil radarenhet (9). For å få gjort dette var det nødvendig å utvide spesifikasjonsgrunnlaget. På en del punkter er dette derfor basert på skjønn og rimelige antakelser. Senere arbeider har i noen grad ført til forandringer, mens antakelsene på andre punkter er verifisert. En skal komme tilbake til dette i senere avsnitt. Hovedresultatene fra systemstudien er imidlertid fremdeles gyldige.

Spesifikasjonene som dannet grunnlaget for studien er listet nedenfor.

10.1 Radarspesifikasjoner

## Radarfunksjon:

Radaren skal detektere mål og måle deres posisjon.

## Søkområde:

Maksimum søkavstand:	$R_{\max} = 30 \text{ km}$
Minimum søkavstand:	$R_{\min} \leq 2 \text{ km}$
Maksimum mål høyde:	$H_{\max} = 6 \text{ km}$
Asimut-dekning:	$360^{\circ}$
Elevasjonsdekning:	$0-30^{\circ}$

## Radarytelse:

Deteksjonssannsynlighet:	$P_D = 80\%$
Midlere tid mellom falske alarmer:	Minst 1 sek
Avstandsøyaktighet:	300 m
Asimut-øyaktighet:	$2^{\circ}$
Høydenøyaktighet:	500 m
Antenne-omdreiningstid:	3 sek
Minimum mål hastighet for deteksjon i bakkeclutter:	30 m/s
Oppløsning av blindhastigheter:	Annenhvert scan dersom hvert scan er et problem

## Målegenskaper:

Midlere radartverrsnitt:	$\sigma_t = 1 \text{ m}^2$
Statistisk modell:	Swerling I
Maksimum hastighet:	600 m/s
Minste høyde:	100 m
Typiske mål:	Fra Northrop F-5A til Lockheed C-130

## Interferens:

Terrengtype:	Bølget myrlandskap med busker og til dels spredt skog. Variasjon i terrenghøyde maksimum 100 m. Muligens høye fjell utenfor maksimum søkavstand.
Nedbørsintensitet:	4 mm/time



EMT: Frekvensspredning over 200 MHz. Antennesidelobenivå  $\leq$  -25 dB.

Begrensninger:

Vekt, inkludert kraftforsyning og antenne:	$\leq$ 500 kg
Primæreffekt, inkludert kommunikasjonsutstyr:	$\leq$ 5 kW
Maksimum antennebredde:	2 m
Tilgjengelige frekvensbånd:	1215 - 1300 MHz 2700 - 3400 MHz 5250 - 5850 MHz 8500 - 10000 MHz 13400 - 14000 MHz 15700 - 17700 MHz

## 10.2 Resultat av studien

Med utgangspunkt i et generelt ønske om enkelhet, kom en fram til at en for å måle høyden skal benytte to skråstilte antenner for å danne et V-formet antenne-diagram. Høyden kan da beregnes ved hjelp av tidsforsinkelsen mellom deteksjon i de to antennestrålene.

Radaren skal primært benyttes til lavdekningsformål. Dette medfører at bakkerefleksjoner vil medføre et vesentlig problem. Koherent pulstog er den signalform som har de beste egenskaper m h t undertrykkelse av bakkerefleksjoner, og ble derfor valgt.

Når det gjelder mottakerstruktur sto valget mellom en "matched filter"-type (d v s pulsdoppler) og enklere løsninger som konvensjonell MTI. Det ble vist at en med en MTI mottaker ikke kunne oppnå tilstrekkelig ytelse og samtidig bevare enkelheten.

Det endelige valg ble derfor en pulsdoppler-radar med oppløsning av blindhastighetene ved å benytte flere pulsrepetisjonsfrekvenser (multippel prf).

Et sammendrag av radarparametrene er listet nedenfor. Disse er basert

dels på (9), dels på egne arbeider ((1), avsnitt 11 og 15. Se også avsnitt 11 i denne rapport).

### 10.3 Sammendrag av radarparametre

Radartype:	pulsdoppler
Høydemåling:	"V-beam" metoden
Frekvensområde:	C-bånd ( $\lambda = 0,056$ m)
Antall prf'er:	2
Tidsdekning mellom søk og høydemåling	
Pulsbredde:	13 $\mu$ s
Middeleffekt:	250 W
Pulseffekt:	Ca 3,8 kW
Antennebredde:	2 m
Avstandsopløsning:	1200 m
Antenneomdreiningshastighet:	20 omdr/min

## 11 PARAMETERANALYSE, VALG AV RADARPARAMETRE

I dette avsnitt skal en se nærmere på en del av radarparametrene.

### 11.1 Frekvensvalg

Den system-design-studien som er utført (9) viser at om mobilradar-systemet betraktes isolert er S-bånd (2,7 - 3,4 GHz) det beste frekvensområde med de gitte design-spesifikasjonene. Et ønske om å endre frekvensområde for mobilradarsystemet springer ut fra en totalvurdering av hele sensorkonseptet for K&V systemet.

S-bånd er det eneste aktuelle frekvensområde for de statiske siloanleggene (4). Den eneste realistiske måte å unngå gjensidig interferens mellom de to systemene er å foreta en "fornuftig" frekvensallokering (10), d v s legge siloradarer og mobile radarer i forskjellige frekvensbånd.

For å øke K&V systemets motstandsdyktighet mot jamming er det fordelaktig å fordele radarfrekvensene over de tilgjengelige frekvensbånd.

Ut fra disse argumenter bør det mobile radarsystemet legges i C-bånd (5,25 - 5,85 GHz). Dersom en velger å la hensynet til EK veie tyngst, må en akseptere noe redusert ytelse for systemet når det ikke utsettes for jamming.

Faktorer som må diskuteres ved en økning av frekvensen er følgende:

- Den sendereffekt som kan genereres uten å gå til parallellkobling av flere rør i senderen reduseres.
- Dersom kravet til fullstendig oppløsning av blindhastigheter innenfor intervallet 30-600 m/s opprettholdes, må antall pulsrepetisjonsfrekvenser økes fra to til tre. Dette vil direkte føre til en økning av mottaker-kompleksiteten. Indirekte fører det til en økning av den nødvendige sendereffekt fordi den tilgjengelige "dwelltid" må deles mellom tre pulstog.
- For å opprettholde kravet til høydedekning må den vertikale antenneaperturen reduseres. Dette medfører at den nødvendige sendereffekt øker.
- Den diffuse tilbakespredningen fra bakken øker lineært med frekvensen. Denne økningen kompenseres imidlertid av redusert cluttercelle når den horisontale antenneaperturen holdes konstant. Imidlertid vil, fordi den horisontale antennestrålebredden reduseres, "dwelltiden" bli mindre når antenneomdreiningshastigheten holdes konstant. Når samtidig "dwelltiden" må deles mellom flere pulstog med forskjellig prf, vil den realiserbare clutterundertrykkelsen reduseres vesentlig med økende frekvens. Dette kan kompenseres noe ved å øke avstandsopløsningen, men det fører igjen til en vesentlig økning av mottaker-kompleksiteten.
- Med den korte rekkevidden vil ikke den økning i dempningen i atmosfæren en får med en frekvensøkning fra S- til C-bånd bety noe vesentlig.
- Den spekulære tilbakespredning fra bakken reduseres med økende frekvens. Dette gir bedre lavdekning med mindre antennehøyde (reduert lobing).

Ifølge (1) avsnitt 3.6 skulle en uten vesentlige problemer kunne generere en midlere sendereffekt på 250 W i C-bånd mot ca 300 W i S-bånd. (Disse tall kan en vente vil endre seg vesentlig i løpet av få år.)

Fra appendiks 2, figur A.2.1, ser en at den nødvendige sendereffekt øker med ca 4 dB = 2,5 ggr når en skal ha tilsvarende ytelse på C-bånd ( $\lambda = 0,06$  m) som på S-bånd ( $\lambda = 0,1$  m).

Uten å gå til en økning i avstandsopløsningen vil signal til clutter forholdet før detektor i det ugunstigste tilfellet med  $R = 30$  km og  $\sigma_t = 1 \text{ m}^2$  reduseres med ca 4 dB fra 17 dB til 13 dB.

Ut fra dette synes det som om en kan få problemer med å generere tilstrekkelig sendereffekt og at en vil operere helt marginalt m h t clutterundertrykkelse. Problemet med sendereffekten skal en komme tilbake til i avsnitt 15. Ifølge figur A.1.1 kan en med 2 prf'er i C-bånd realisere en multiplikasjonsfaktor  $K_p = 2,75$  mens kravet er  $K_p = 4$ . Dette kravet er imidlertid basert på en maksimal målhastighet  $V_{\max} = 600$  m/s og full oppløsning av blindhastighetene. Med tanke på at radaren primært skal dekke lave og midlere høyder kan imidlertid  $V_{\max} = 600$  m/s synes noe høyt. Videre vil en i praksis kunne akseptere enkelte blinde hastighetsområder idet aspektvinkelen, og dermed den radielle hastighetskomponenten til målet, vil endre seg med tiden slik at deteksjon blir mulig selv om målet beveger seg med en av radarens blindhastigheter. En må da forutsette at de blinde hastighetsområdene ikke blir for brede.

Kan en akseptere en maksimal målhastighet på  $V_{\max} = 400$  m/s (ligning (A.1.4)) eller en del blindhastigheter i intervallet 400-600 m/s, vil en kunne klare seg med 2 prf'er på C-bånd. Dette medfører at økningen i nødvendig sendereffekt bare blir ca 2 dB og reduksjon i signal-clutterforhold blir ca 2 dB (fra 17 til 15 dB).

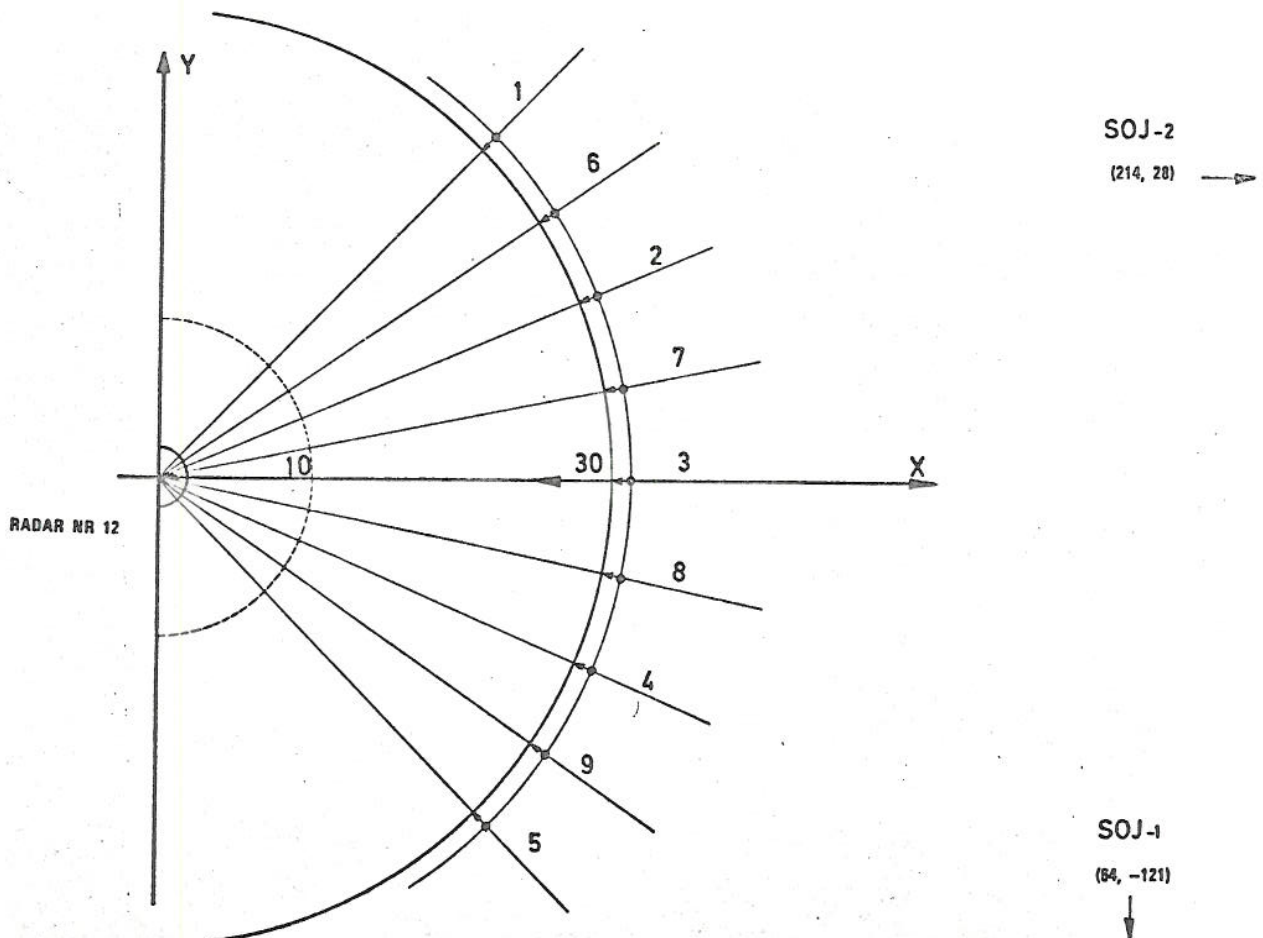
Fordelene m h t EK, de reduserte interferensproblemene og bedringen i lavdekningen, synes derfor å tilsi at en velger C-bånd som frekvensområde for mobilradarsystemet.

## 11.2 Oppdateringsfrekvens (antenneomdreiningshastighet)

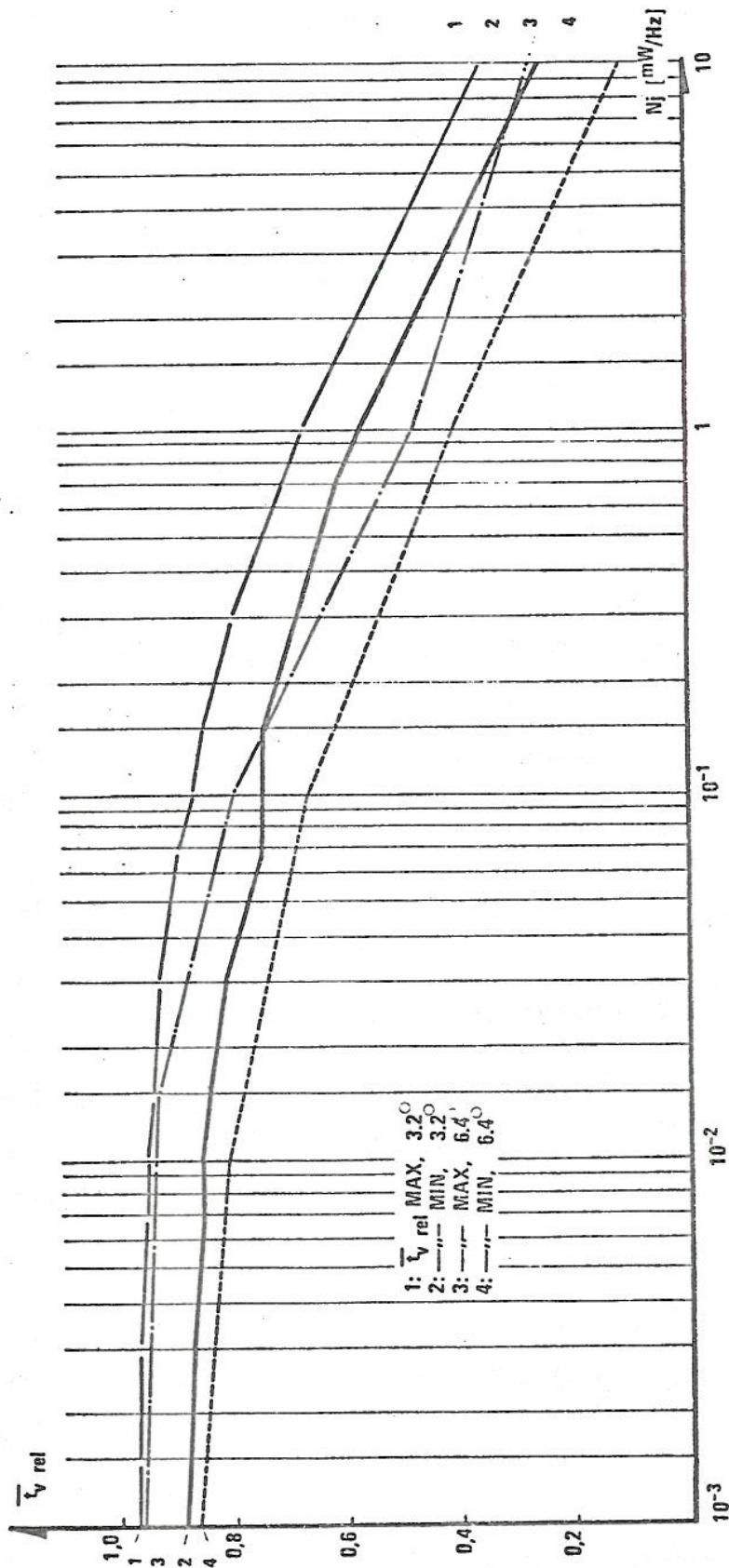
I avsnitt 10 valgte en antenneomdreiningshastighet  $\Omega = 20$  omdr/min. Dette valget er basert på skjønn, og det var derfor av interesse å studere hvilken følsomhet radarens ytelse har for endringer i denne. Det er i denne forbindelse utført to simuleringer (6,8).

## 11.2.1 Deteksjon under jamming

En teoretisk studie av en mobilradars sårbarhet for angrep fra luften (7) bygger blant andre på den forutsetning at radarbetjeningen skal kunne detektere en trusel som er rettet mot radaren, før angriperen er kommet nærmere enn 10 km. Et minimumskrav til radarytelsen må derfor være at et fly som nærmer seg radaren må være detektert med meget stor sannsynlighet før det er nærmere enn 10 km under en realistisk jamme-trusel. For å undersøke dette nærmere er det utført en simulering (6). Scenariet for denne simulering er vist på figur 11.1. En har beregnet midlere relativ varslingsstid  $t_{v \text{ rel}}$  for de 9 flyene som funksjon av jammeintensiteten, og med en antenneomdreiningshastighet og horisontal antennestrålebredde som ble variert mellom hhv 5 og 30 omdr/min og  $3,2^{\circ}$  og  $6,4^{\circ}$  (figur 11.2). Grense for kumulativ deteksjonssannsynlighet er 99%, d v s at 99% av alle fly vil være detektert. 10 km tilsvarer  $t_{v \text{ rel}} = 0,33$

Figur 11.1 Simuleringsscenario

MACH = 0.9  
 CDL = 0.99  
 $\Omega = [5.30]$   
 $\alpha z_0 = [3.2 \text{ OG } 6.4]$



Figur 11.2 Relativ varslingstid som funksjon av gjennomsnittlig intensitet

for  $R = 30$  km. Ut fra dette kan en finne krav til nødvendig radareffekt når en antar en realistisk jammeintensitet. Det viser seg imidlertid at dette krav blir slappere enn det som må settes ut fra krav til systemets følgeegenskaper. Dette skal en komme nærmere tilbake til i avsnitt 15.

Betrakter en en gitt jammeintensitet vil varslingstiden variere med antenne-omdreiningshastigheten. Denne sammenheng er vist på figur 11.3. Det fremgår at en bør velge rotasjonshastighet  $\Omega > 10$  omdr/min og at følsomheten i varslingstid er liten, rundt  $\Omega = 20$  omdr/min.

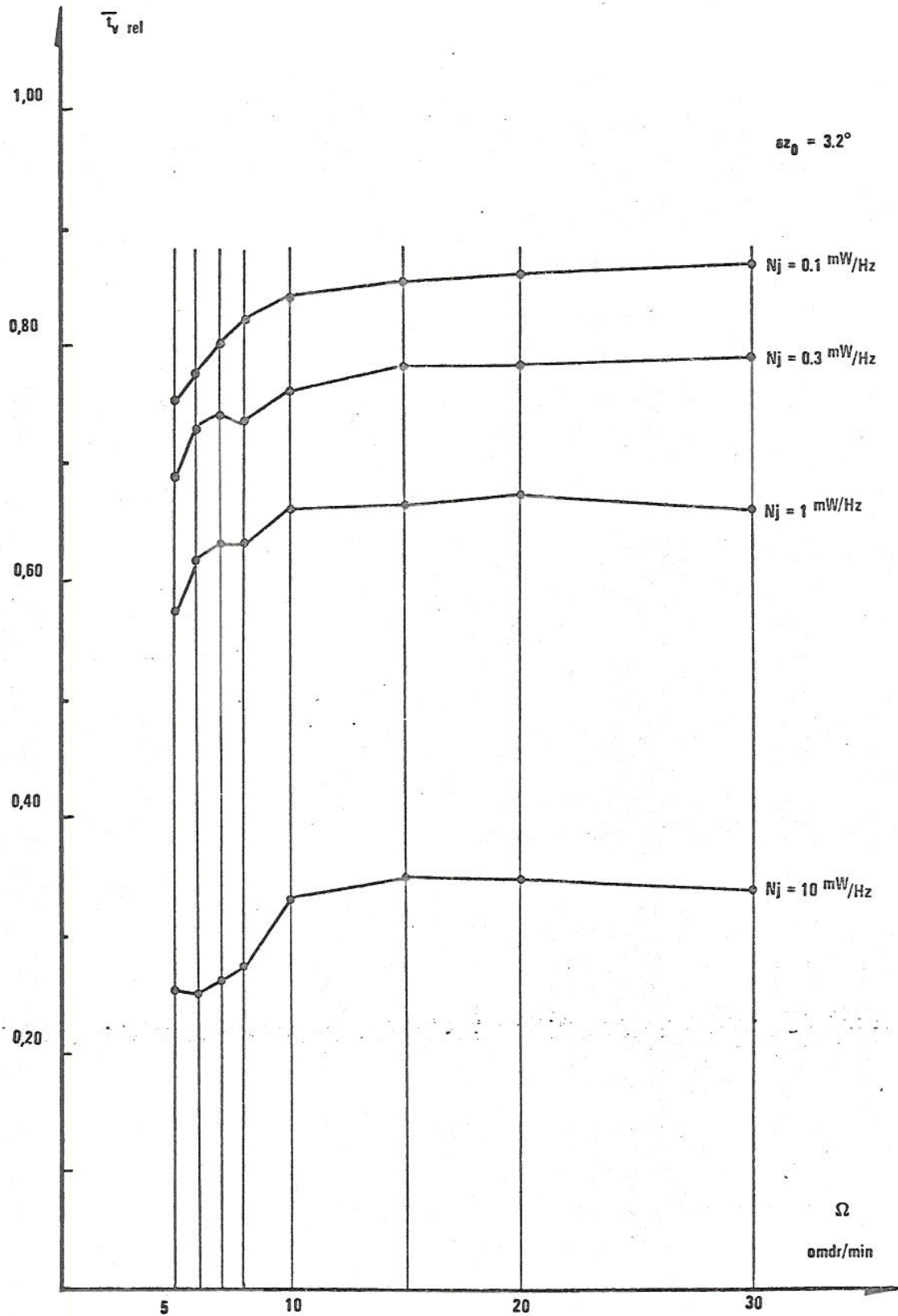
### 11.2.2 Følgeegenskapene

Oppdateringsfrekvensen virker også inn på følgeegenskapene. For å undersøke denne sammenheng nærmere, har en utført en simulering (8). Scenariet består av en radar og ett fly som med en midlere hastighet på 200 m/s flyr i en minste avstand på 10 km fra radaren. Scenariet er vist på figur 11.4.  $\sigma_m$  er en manøvreringsindeks som er gitt som standardavviket for akselerasjonen som har en antatt fordeling som vist. En har kjørt for tre verdier av  $\sigma_m$  tilsvarende stor ( $\sigma_m = 26,3 \text{ m/s}^2$ ), middels ( $\sigma_m = 9,6 \text{ m/s}^2$ ) og liten ( $\sigma_m = 3,7 \text{ m/s}^2$ ) manøvrering.

Figur 11.5 viser standardavviket for følgefeilen kontinuerlig midlet over tid. Da det er en viss usikkerhet m h t antakelsene om manøvrering, er det ønskelig at følgefeilen skal være lite følsom overfor  $\sigma_m$ . Videre bør maksimalverdier av følgefeilen holdes under en rimelig grense. Feilen viser en markant økning for oppdateringstider større enn 4 sek som tilsvarer 15 omdr/min, og blir mindre jo hurtigere antennen roterer.

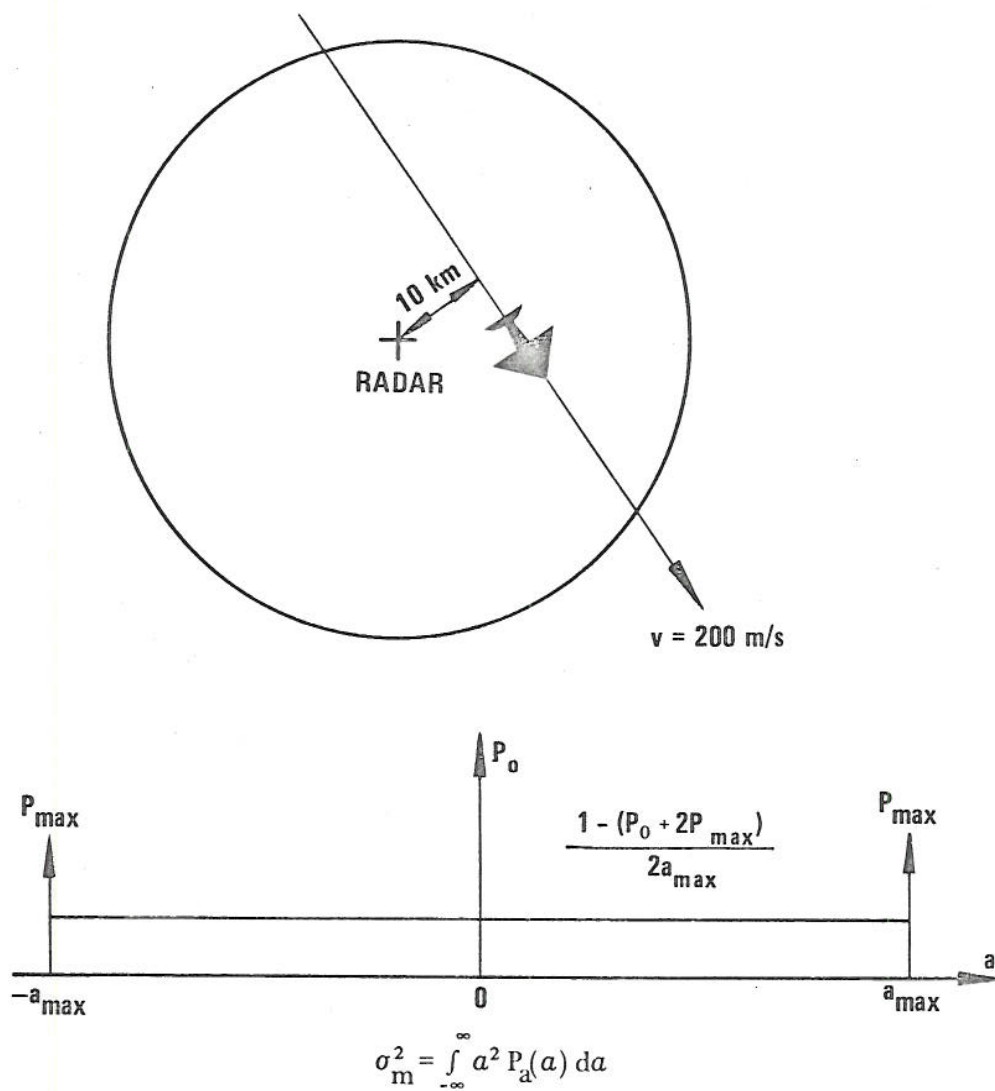
Mekaniske betraktninger, og effektforbruket til antennemotoren tilsier imidlertid at antennen ikke bør rotere meget forttere enn 30 omdr/min. Videre trengs en minimum "dwelltid" av hensyn til clutterundertrykkelsen.

Alle de nevnte faktorer tatt i betraktning finner en ingen rimelig grunn til å avvike fra  $\Omega = 20$  omdr/min som er valgt tidligere.



Figur 11.3 Relativ varslingsstid som funksjon av antennerotasjons-  
hastighet med jammeintensitet som parameter

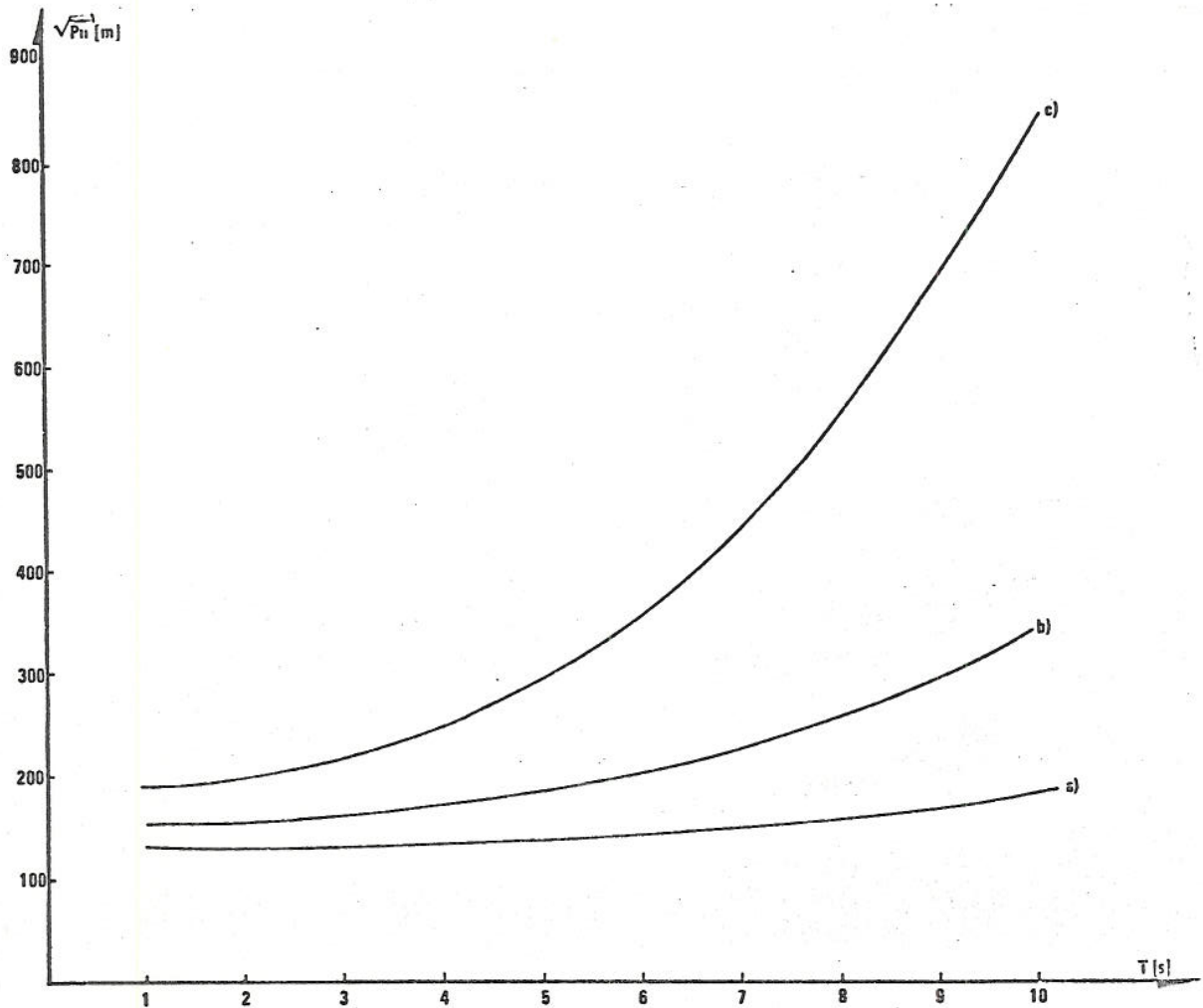




HVER MANØVER VARER I MIDDEL 10 SEK.  
 RADARENS MÅLEFEIL ER GAUSSFORDELTE MED  
 NULL MIDDELVERDI OG STANDARDVIK

$$\sigma_R = 225 / \sqrt{T}$$

Figur 11.4 Scenario for studie av antenneomdreiningstidens innvirkning på målfølgefeilen



Figur 11.5 Målfølgefeil som funksjon av antenneomdreiningstid for stor (c), middels (b) og liten (a) manøvrering

## 12 IMPLEMENTERING AV EN MOBIL RADARENHET

### 12.1 Effekt og vektbudsjett

Selv om det spesifikasjonsgrunnlaget for den systemstudien av en mobil radarenhet som er behandlet i avsnitt 10 inneholder vekt, volum og effektbegrensninger, ga ikke denne studien (9) noe svar på om det faktisk er mulig å implementere en mobil radarenhet med de ønskede elektriske ytelser på en bandvogn (Bv-202).

Det er derfor utført en relativt detaljert undersøkelse med henblikk på

å komme fram til et realistisk vekt, volum og effektbudsjett for radar-enheten (11). I denne undersøkelsen har en nærmere studert:

- Kjøretøy for radaren
- Konstruksjon av kabin
- Elektronikkheter, herunder sender, mottaker, signalprosessor, kontroll og indikasjonsutstyr, sambands- og navigasjonsutstyr
- Realisering av antennen. En teoretisk analyse av denne er beskrevet i en egen rapport (12)
- Kraftforsyning

For normal drift av radarutstyret vil en trenge et aggregat til å produsere den nødvendige effekten (11). Det antatte effektbehovet kan summeres på følgende måte:

Senderenhet i C-bånd	3500 W
Mottakersystemet med MF	100 "
Signalprosessor	85 "
Sambandsutstyr	100 "
Indikatorutstyr	400 "
Roterende kopling	100 "
Navigasjonssystem	<u>50 "</u>
Det samlede effektbehov	<u>4335 W</u>

Et aggregat stort nok til å forsyne denne effekt er BSKA 5 fra Robert Bosch. Det har en ytelse på ca 5 kVA. Vekten av aggregatet er ca 90 kg med bredde 50 cm, høyde 52 og lengde 84 cm.

En har satt opp et "vekt budsjett" over de forskjellige enheter som vil inngå for en mobil overvåkningsradar. Enkelte av vektene er antatt noe løslig og vil avvike mer eller mindre fra en endelig løsning. Den summerte totalvekten vil derfor foreløpig bare være en indikasjon om muligheten av å kunne frakte den antatte radar på beltevogn Bv-202.

En har antatt følgende vekter:

Kabin (avhengig av styrkeberegning)	100 kg
Sender m/kraftforsyning (liten)	243 "
Antenne med rotorkopling	61 "
Sambandsutstyr	40 "
Indikatorutstyr	70 "
Mottaker	10 "
Prosesor m/kraftforsyning	10 "
Navigasjonssystem	<u>30 "</u>
Totalvekt av kabin og elektronikk	564 kg
Nivelleringsutstyr	50 "
Kamuflasjeutstyr (nylon - bomull)	15 "
Innredning og diverse i kabinen	<u>171 "</u>
Total	<u>800 kg</u>

Maksimum last for kjøring i terreng med beltevognen er satt til 800 kg og 1000 kg for kjøring på landevei og lett terreng. Vektmessig er det derfor mulig å benytte Bv-202 som radarbærer.

## 12.2 Produksjonskostnadsoverslag for en mobil radar

Antenne	kr 50 000
Roterende kopling	" 50 000
Motor	" 30 000
Radar sender	" 500 000
Radar mottaker	" 50 000
Signalprosesor	" 200 000
Databehandlingsenhet	" 100 000
Indikator	" 100 000
Kontrollutstyr	" 50 000
Operatørposisjon	" 50 000
Kommunikasjonsutstyr	" 100 000
Kraftforsyning	" 30 000
Varme og ventilasjon	" 50 000
Kjøretøy med kabin	" 250 000
Navigasjonsutstyr	" 200 000
Diverse	<u>" 190 000</u>
Total	<u>kr 2 000 000</u>

13 SAMBAND OG DATAFILTRERING13.1 Generelle krav til sambandssystemet

Et fysisk og elektronisk seigt radarsystem har liten verdi uten et sambandssystem med tilsvarende kvaliteter.

En har to sambandsbehov, for det første et datasamband for overføring av meldinger fra radarene - for det andre et administrasjonssamband. Strukturen i det siste er avhengig av den detaljerte utforming av operasjonskonseptet, dette blir behandlet i neste avsnitt.

I (1) ble det stilt noen generelle krav til datasambandet:

- Datasambandet skal sikre en pålitelig formidling av meldinger fra de enkelte radarer tilbake til filtersenteret
- Sambandsdekningen må være så god at valg av radarposisjoner ikke begrenses av denne
- Sambandet må ha en fysisk og elektronisk seighet som er avpasset til radarsystemets
- Sambandet bør ikke kunne avlyttes

Et foreløpig sambandskonsept for overføring av plotmeldinger fra radarene basert på et mobilt SHF radiolinje-maskenett ble også omtalt. Dette og andre sambandskonsepter for plotmeldings-overføring er mer detaljert behandlet i (13). Det viste seg at det var vanskelig å etablere sikre sambandskanaler for plotdataoverføring (typisk 1200 baud) m h t jamming og fysisk sårbarhet fra de mobile enhetene. Slike samband er også taktisk og operativt vanskelig å opprette og holde i drift.

Denne konklusjon førte til at en valgte å se på mulighetene for å foreta en ytterligere datareduksjon lokalt på radaren (8).

13.2 Lokal målfølging

Ytterligere datareduksjon oppnås bare ved å utføre målfølging lokalt. Med lokal målfølging oppnår en også:

- Radaren kan benyttes som en uavhengig systemkomponent av f eks hæravdelinger.
- Radarpersonellet vil ha bedre oversikt over luftaktiviteten innenfor radarens dekning og derfor kunne detektere angrep mot seg selv.
- Ved målfølging lokalt vil man også ha doppler informasjon tilgjengelig. Ved å benytte denne informasjonen i målfølgeprosessen, må en forvente en vesentlig forbedring av nøyaktigheten. Dermed vil også sannsynligheten for falske spor minke.

Målfølging lokalt vil kreve en viss regnemaskinkapasitet (en mikroprosessor) og lagerbehov på mindre enn 64 K ord á 16 bit. Det er videre behov for en PPI som i tillegg til å presentere plot, også må kunne tegne symboler. Tatt i betraktning utviklingstendensen for bl a elektroniske lagere, burde i utstyret som trengs for lokal målfølging veie mindre enn 10 kg.

Hvilken databåndbredde det er behov for på sambandet fra en mobil radar til filtersenteret, er bl a avhengig av hvilken flyaktivitet som forventes, forventet manøvrering, krav til nøyaktighet på den mottatte informasjon o s v. Det følgende er forutsatt for beregning av behovet for databåndbredde:

- Informasjon om 10 spor skal overføres
- Flyene manøvrerer med 2 g i 20% av tiden, ellers flyr de rettlinjet
- Flyenes hastighet: 300 m/s
- Feilen i estimatet av:
  - Posisjon : 150 m
  - Hastighet : 10 m/s
  - Kurs : 1°
- Antennens omdreiningstid: 3 sekunder.

- Melding om et spor består av:

Posisjon X, Y, Z ( $\pm 100$ m, $\pm 100$ m, $\pm 100$ m)	22 bit
Hastighet (10 m/s)	6 "
Kurs ( $1,4^\circ$ )	8 "
Lokalt spor nummer (32)	5 "
Antall fly	2 "
Status	3 "
Sjekkbit o s v	<u>14 "</u>
Total	<u>60 bit</u>

Ved å sende melding til filtersenteret om alle spor hvert 15 sekund, holdes posisjonsfeilen  $\epsilon$  under 2 km. Dette krever en databåndbredde på  $(10 \cdot 60)/15 = 40$  bit/s.

Behovet for databåndbredde kan minskes hvis feilen  $\epsilon$  observeres lokalt på radaren og en melding bare sendes når  $\epsilon > 2$  km. Ved rettlinjert spor vil det være behov for oppdatering ca hvert 150 sekund for å holde feilen  $\epsilon < 2$  km. Man oppnår derved å redusere nødvendig sambandskapasitet med nesten en fjerdedel.

En ytterligere reduksjon kan oppnås ved å dele meldingene i to kategorier:

A - Initiering av spor	60 bit
B - Oppdatering av spor, inneholdende:	
Korreksjon $\epsilon(\Delta X, \Delta Y, \Delta X)$	15 bit
Korreksjonshastighet	4 "
Kurs	8 "
Lokalt spornummer	5 "
Status	3 "
Sjekkbit o s v	<u>14 "</u>
Totalt	<u>49 bit</u>

Dette reduserer behovet for databåndbredde til:

$$0,2 \cdot 40 + 0,8 \cdot ((10 \cdot 49)/150) = 10,5 \text{ bit/s}$$

Hvis man legger inn "slakk" for ekstra sjekkbiter, hode og hale, i meldingen og feil i forutsetningene skulle et krav om 20 bit/s være på den sikre side.

Den viktigste konklusjon som trekkes i (8) er at systemløsningen bør bygge på lokal målfølgning og sentral følgning på spor-nivå. Grunnen til dette er at:

- en ønsker små krav til sambandslinjens databåndbredde
- radaren bør være en systemkomponent som kan operere i autonom modus
- det er lettere for radarpersonellet å detektere angrep på radaren

Dette alternativet vil kreve noe ekstra personell til overvåkning av målfølgeprosessen. Det forutsettes at det benyttes automatisk initiering av spor. I tillegg forventes relativt lav trafikkintensitet innenfor en radars dekningsvolum. Arbeidet bør derfor delvis kunne dekkes av det tekniske personell som fra før er stasjonert på hver radar. Totalt behov for 1-2 mann synes rimelig.

Overføring av spor fra radar til senter krever relativt lav dataakt. For oppdatering av 10 spor, er det behov for fra 10 til 20 bit/s.

Dette kravet til sambandskapasitet åpner muligheten for å benytte et ett-hopp samband basert på en spredd-spektrum modulert HF-kanal.

### 13.3 Lavhastighets datasamband

Teoretiske beregninger som er utført (14) tyder på at det er mulig å tilpasse et spredd-spektrum system til en HF ionosfærekanal med de aktuelle hoppavstander.

Denne løsningen er attraktiv fordi den muliggjør et punkt til punkt samband fra mobile enheter til kontrollsenteret. HF ionosfærekanalen gir imidlertid svært begrenset båndbredde og det vil være vanskelig å drive frekvensadministrasjon i et system av kanskje opptil 15-20 mobile enheter. En form for multippel aksess løsning er derfor påkrevd. Spredd-spektrum-



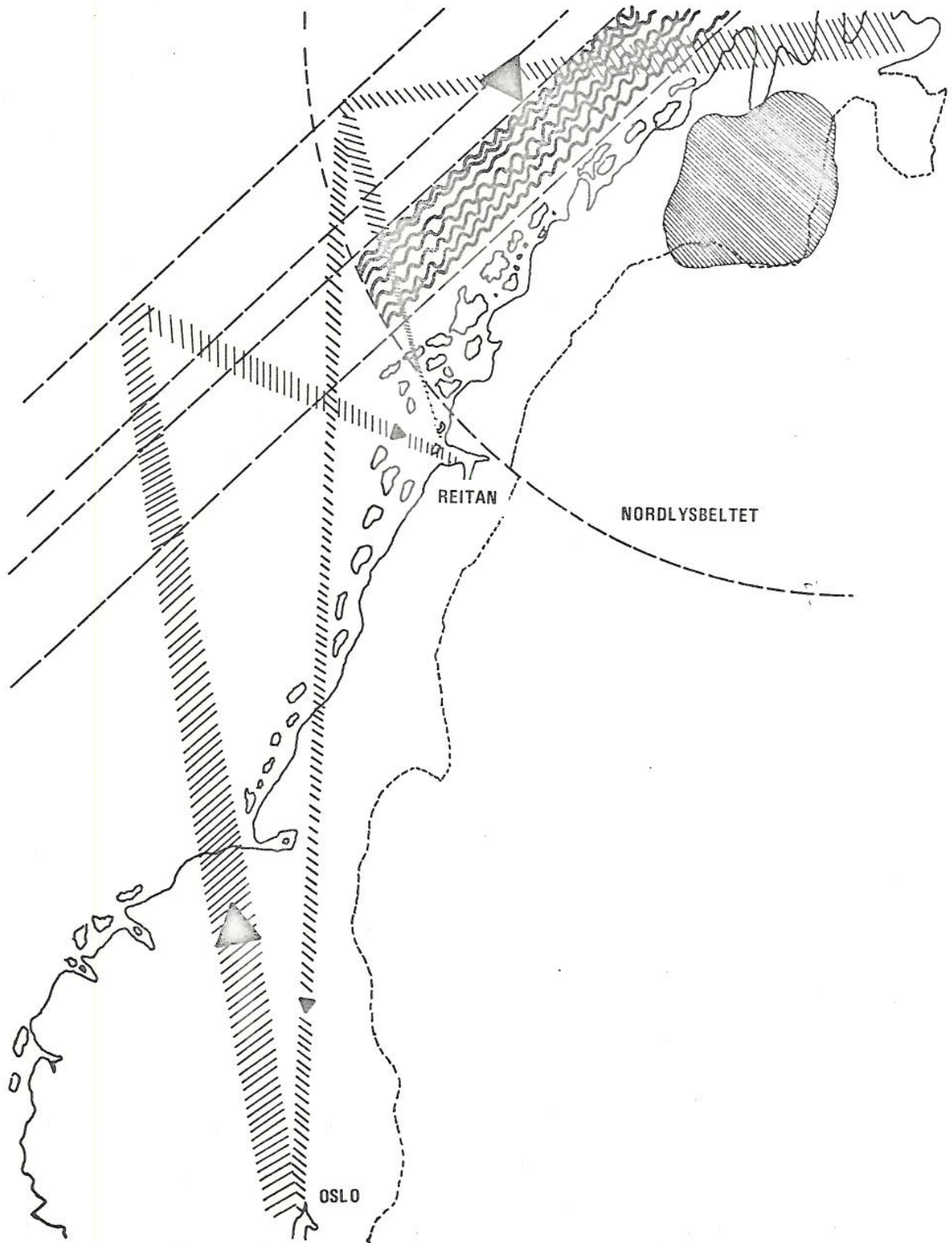
teknikk med støymodulasjon kan muliggjøre bruk av samme rf-kanal til samme tid for et større antall brukere. Ved siden av multippel aksess egenskapene kan sambandet også gjøres motstandsdyktig mot jamming og annen interferens.

Det aktuelle sambandet skal operere mellom mobile enheter og et kontroll-senter (Sørreisa, Reitan). HF-kanalen vil for dette sambandet befinne seg i nordlysbeltet, noe som fører til stor usikkerhet og variasjon i sambandsmuligheter og "godhet". Teoretisk kan disse problemene minskes ved en omrutning av sambandet via Sør-Norge, se figur 13.1. En slik omrutning fører til hopplengder av størrelse 1500 km.

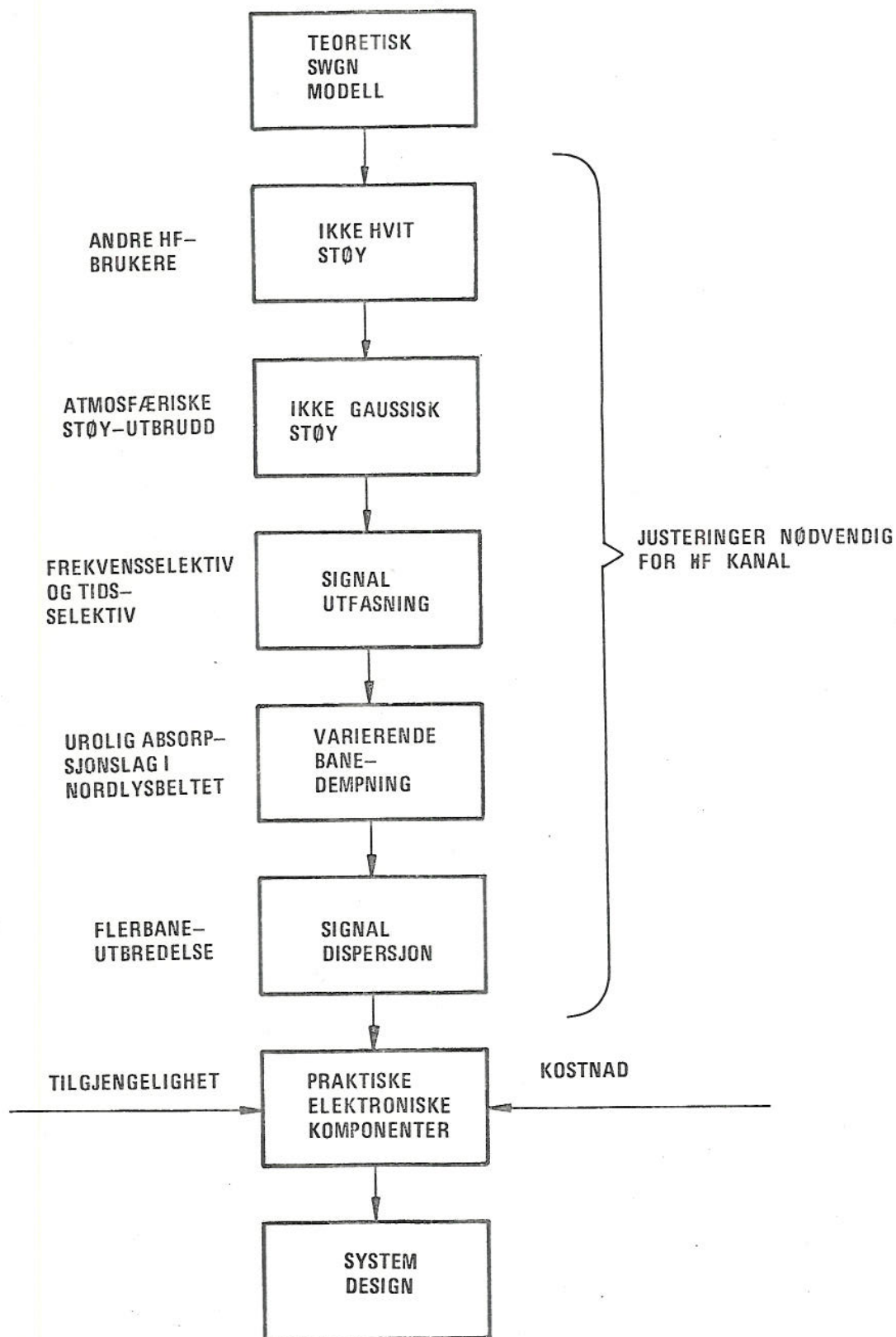
På grunn av ionosfæreutbredelsen vil det være store geografiske områder hvor HF-brukere vil forårsake interferens for dette systemet. Å plassere seg i et "ledig" frekvensområde vil derfor være lite realistisk. Det er derfor ikke tilstrekkelig å formulere et optimalt spredd-spektrum-system analytisk for det ideelle tilfellet med stasjonær hvit gaussisk støy (SWGN). En rekke justeringer er påkrevd før man kan komme fram til et realistisk system. En del nødvendige justeringer er illustrert i figur 13.2.

På grunn av små koherente båndbredder på den aktuelle HF-kanal, vil det ikke gi tilstrekkelig prosesseringsgevinst å spre det datamodulerte signal til en båndbredde begrenset av krav til koherens. På grunn av interferens fra andre HF-brukere, jamming og krav om multippel aksess egenskaper, er det også lite attraktivt å benytte et frekvenshoppende (ikke koherent) system direkte.

Det er nødvendig med tiltak som begrenser innvirkningen av andre HF-brukere. Dette kan tilvirkes med metoder som gjør støyen fra andre brukere mest mulig hvit. Dersom det benyttes PN direkte-kodemodulasjon av det datamodulerte signal før det frekvenshoppes, vil interferenskindene være mindre virkningsfulle. Med koherente båndbredder på minimum 2,5 kHz kan et PN kodemodulasjonssystem spre datasignalet til 2,5 kHz, deretter hoppes ikke-koherent innenfor 100-200 kHz. Dette kan også løse de problemer den uavhengige hoppingen av flere sendersignaler i samme RF-kanal fører til. Hver sender må da benytte sin spesielle PN kode.



Figur 13.1 Omruting av HF samband via Sør-Norge



Figur 13.2 Faktorer som influerer på valg av HF sambandssystem

Idet det her er aktuelt med enveis kommunikasjon vil det ikke bli gitt noen direkte kvittering for at sambandet mellom mobile enheter og kontrollsenteret er opprettholdt. Systemet må være operasjonelt enkelt å betjene og kreve et minimum av justeringer over tid. Det vil derfor være utenkelig med et system hvor en har kompliserte prosedyrer for frekvensadministrasjon. En mulig løsning på dette problem er antydnet i (14).

På grunnlag av disse teoretiske betraktninger synes det rimelig å trekke den slutning at et sambandssystem av denne type kan benyttes.

Imidlertid vil feltforsøk med innhenting av kanalkarakteristika og utprøvning av spredd-spektrumssystem-komponenter på kanalen være nødvendig før noen endelig konklusjon kan trekkes og systemparametre fastlegges.

14

#### OPERASJON OG ORGANISASJONSKONSEPT

Et konsept for operasjon av mobil radarsystemet i krig er antydnet i (1, avsnitt 2). Disse antydninger er imidlertid altfor vage til at en derav kan avlede hvilke økonomiske og personellmessige konsekvenser dette systemet medfører i fred og krig.

Når systemkomponentene (radarer og sambandssystem) er veldefinerte, er det imidlertid mulig å utarbeide et mer detaljert operasjonskonsept hvor en tar hensyn til de begrensninger som ligger i systemets mobilitet og yteevne.

Systemets fysiske overlevelsessevne er kritisk avhengig av utformingen av operasjonskonseptet. Dersom de tekniske begrensningene ikke gir tilstrekkelig frihet i utformingen av dette, vil en måtte ta systemparametre og ytelseskrav opp til ny vurdering.

Et relativt detaljert utkast til et operasjons- og organisasjonskonsept er utarbeidet (15).

I det følgende skal en oppsummere noen hovedpunkter.

### 14.1 Deployering

Mobilradarenhetene bør i fred plasseres i garasjer spredt, men helst i tilknytning til eksisterende militære installasjoner. Dette vil gi lavest sårbarhet og kortest uttrykningstid. Ved utrykning kan personellet transporteres fra fredsforlegningen med bil.

Deployering av radarenhetene bør iverksettes ved spente situasjoner, og ellers hyppig i øvelsesøyemed. Utkjøring fra garasjer til utgangsposisjoner (A-posisjoner) må kunne skje meget raskt, helst før eventuelle krigshandlinger (jfr avsnitt 4).

I A-posisjonene ventes på nærmere ordre før en rykker ut til ett av et sett forhåndsplanlagte radarposisjoner (B-posisjoner). Disse er plukket ut med henblikk på at de skal være gode radarposisjoner samtidig som en har tatt taktiske og kamouflasjemessige hensyn. Fremrykningsveger til de alternative radarposisjonene må være utprøvd i fred.

Et forslag til B-posisjoner er vist på figur 14.1. For detaljer vedrørende alternative plasseringer i området, kamouflasjemuligheter, forsyningsopplegg og fremrykningsveger henvises til (15).

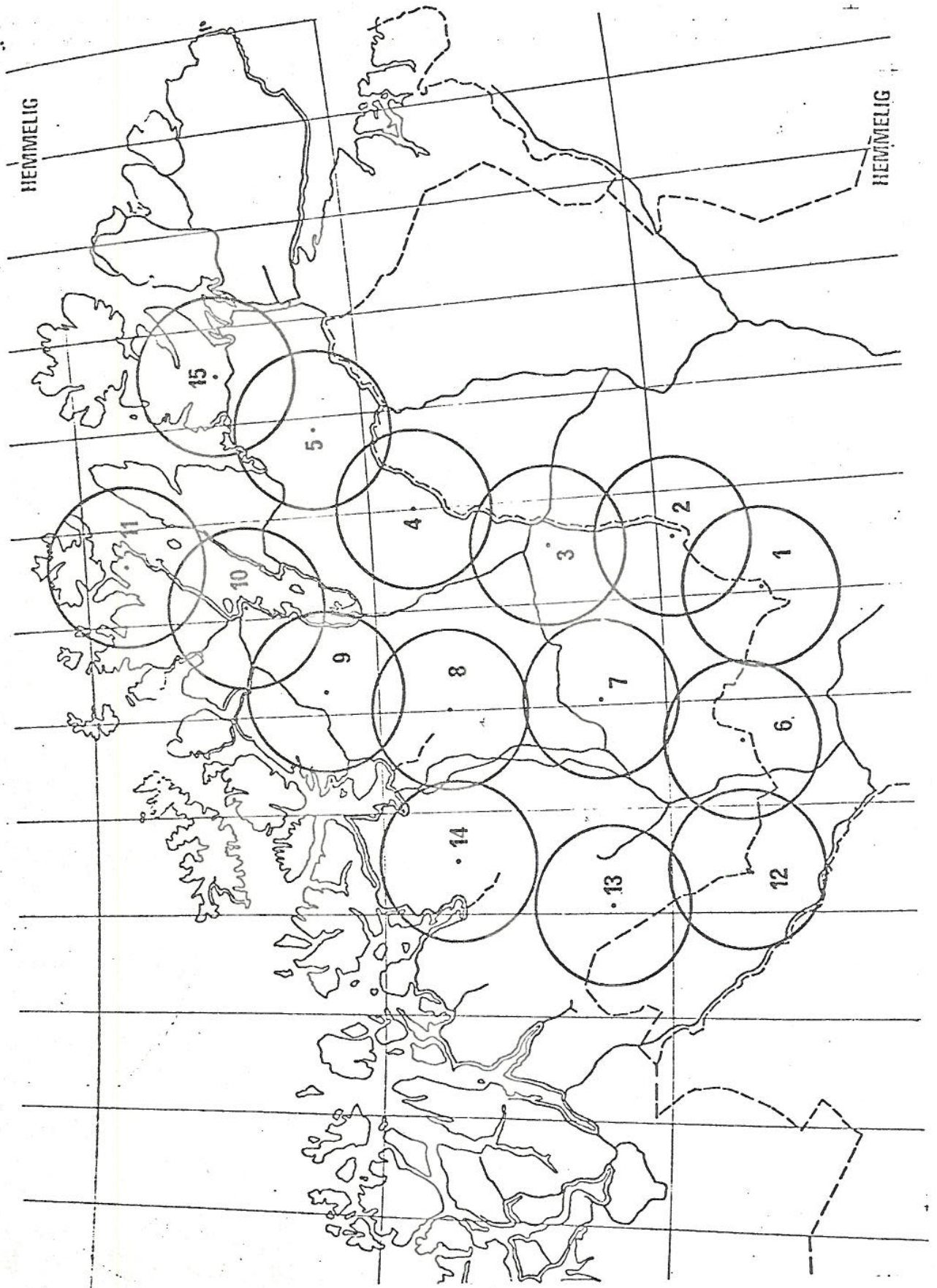
### 14.2 Den enkelte radarenhet

En vurdering av krav til fremkommelighet under de ulike terreng, føre og værforhold en må vente konkluderer med at Volvo Bv-202 er best egnet som kjøretøy for radarenhetene. Hver enhet bør bestå av to slike vogner, en radarvogn og en forsyningsvogn. Radarenheten bør medbringe forsyninger til ca 1 ukes operasjon. Forøvrig medbringes nødvendig personlig utstyr, kamouflasjeutstyr, våpen, verktøy og begrenset opplegg av reservedeler.

#### 14.2.1 Personell

En radarenhet bemannes med 5 mann:

- 1 sjef (offiser)
- 1 sambands/radarteknikker
- 3 operatører



Figur 14.1 Forslag til radarposisjoner (B)

Samtlige må kunne operere Bv-202, radar- og sambandssystemet og alle våpen. Besetningen må være fast personell (befal og vervede).

#### 14.2.2 Opptreden i felt

Flytting bør skje så snart den enkelte radarenhet får en indikasjon på at han er oppdaget av observasjonsfly. Drives søk i området av fly eller helikopter, slås radaren av, antennen stoppes, og en bør flytte så snart en kan fastslå med relativt stor sikkerhet at det ikke er fiendtlig personell i området. Bruk av passive akustiske og elektrooptiske hjelpemidler til dette formål bør vurderes.

Flytting av radarenheten må vurderes mot den økte risiko spor under vinterforhold medfører for lokalisering og deteksjon. Flytting under vinterforhold bør fortrinnsvis skje når det er vind eller snefall, generelt i ly av mørke eller dårlig vær. Kamouflasje bør utnyttes maksimalt.

#### 14.3 Holdetider

Mobilradarsystemet bør kunne være operativt i ca 1 uke etter et krigsutbrudd.

Et system med etterforsyninger bør legges opp slik at operasjonstiden ikke blir begrenset av mangel på forsyninger dersom situasjonen ellers skulle tillate fortsatt operasjon. Etterforsyningsopplegget bør ses i sammenheng med valg av A-posisjoner (14.1).

Etter endt operasjon må sannsynligvis radarenhetene anses som tapte.

#### 14.4 Fredsorganisasjon

Med bakgrunn i de system og sårbarhetsvurderinger som er utført under jobb 285 Tor, er en kommet til at en vil ha begrenset nytte av CRP Kautokeino i en eventuell krigssituasjon. Stasjonen ligger fremskutt, er fysisk og elektronisk meget sårbar og dens kontrollfunksjon er av tvilsom verdi, idet det i en krigssituasjon med liten sannsynlighet

vil befinne seg norske fly i området. Stasjonens fredsfunksjon kan fullt ut dekkes ved at stasjonen reduseres til RP og at data overføres til et annet kontrollsenter (Sørreisa). (Tilsvarende gjelder også CRP Honningsvåg.)

Det foreslås at de personellmessige ressurser som derved frigjøres benyttes til mobilradarsystemet. Det naturlige vil da være at systemets hovedbase også blir Kautokeino, derved kan også de eksisterende etableringer best utnyttes. For øvrige detaljer m h t organisasjonsplan, kommandoforhold, vedlikehold, trening og beredskap henvises til (15) hvor noen forslag til løsninger er skissert.

#### 14.4.1 Personell og økonomi

Med 15 operative radarenheter og 5 mann pr enhet vil en trenge 75 mann. I avsnitt 12.2 er vist et foreløpig kostnadsoverslag for en mobil radar (radarvoggen). Tas også forsyningskjøretøyet og øvrig nødvendig utstyr med (avsnitt 14.2), skulle likevel hver radarenhet koste mindre enn 3 Mkr. Totalt blir dette ca 45 Mkr. Hvilke personellmessige og økonomiske konsekvenser dette medfører m h t investeringer ut over radarenhetene og drift av systemet i fred, kan en vanskelig uttale seg om før hele det nye K&V system er sett i sammenheng (luftvaktpostsystem og siloanlegg).

15

#### SÅRBARHET

I dette avsnitt vil en gi en vurdering av systemets elektroniske og fysiske sårbarhet.

For å vurdere den elektroniske sårbarhet har en antatt et bestemt scenario og analysert systemet ved hjelp av et simuleringsprogram.

Vurdering av den fysiske sårbarhet er dels basert på teoretiske betraktninger og dels på praktiske forsøk når det gjelder luftangrep. Bakke-truselen er bare gitt en kvalitativ vurdering.



## 15.1 Elektronisk sårbarhet

Ett av mobilradarsystemets fordeler sammenliknet med en stor radar med tilnærmet samme dekningsvolum, er at en alltid vil få et gunstig avstandsforhold mellom mål-radar og radar bakgrunnsjammer. Videre vil vinkelavstanden mellom mål og jammer forandre seg meget når målet passerer gjennom systemets dekningsområde.

En analyse av mobilradarsystemets elektroniske sårbarhet er utført ved hjelp av et simuleringsprogram. Som godhetskriterier er hhv midlere varslings- og midlere deteksjonssannsynlighet benyttet for vurdering av systemets deteksjons- og følgeegenskaper (6).

### 15.1.1 Relativ varslings- og midlere deteksjonssannsynlighet

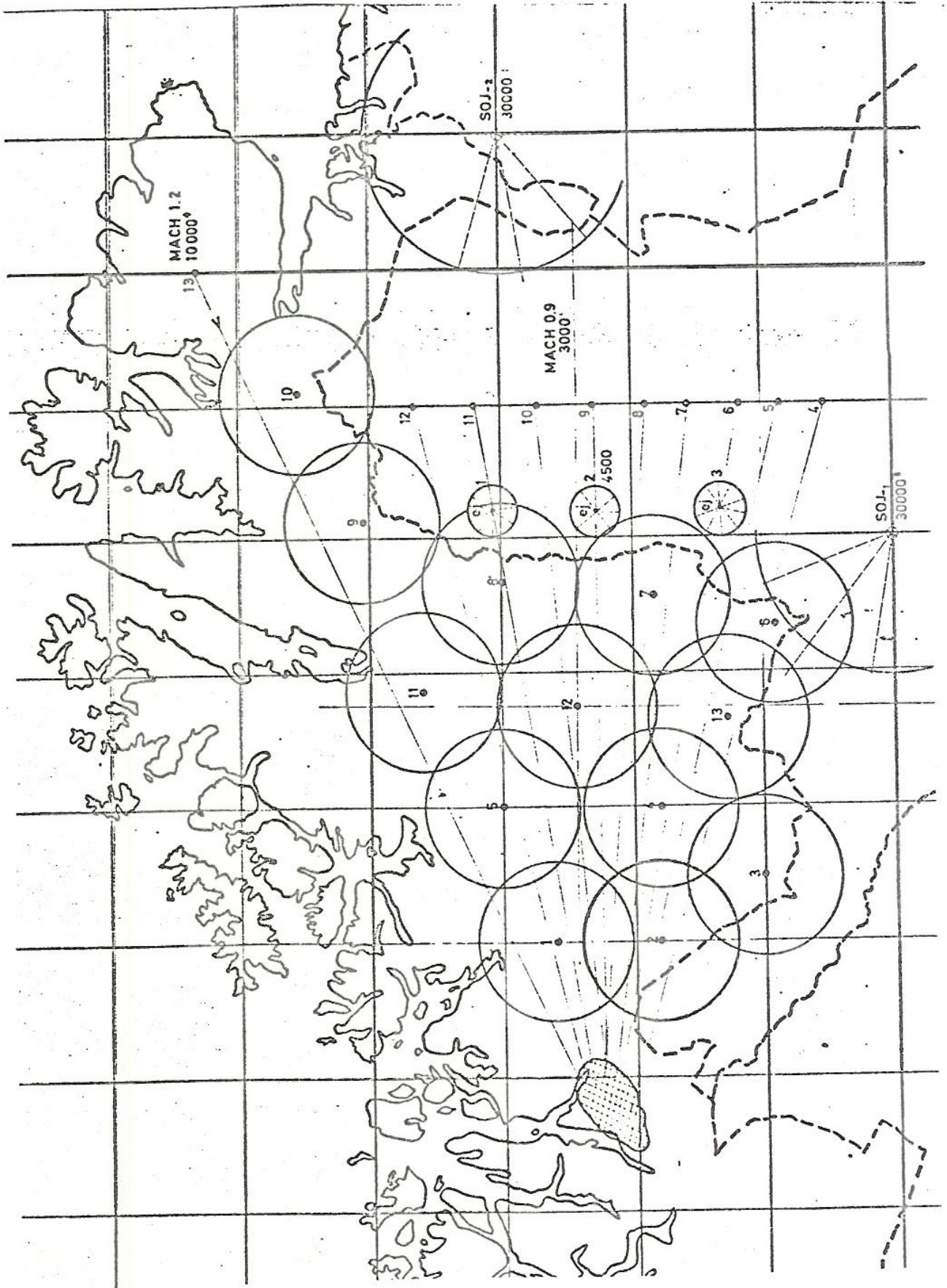
Systemets varslings- og midlere deteksjonssannsynlighet,  $t_v$ , er definert ved at minst 99% av alle tokt er detektert en tid  $t_v$  før de når fram til måleområdet. Starter en simuleringene når toktene kommer innenfor radarsystemets instrumenterte rekkevidde, vil den relative varslings- og midlere deteksjonssannsynlighet, ved konstant flyhastighet, være lik systemets rekkevidde relativt instrumentert rekkevidde, definert ved en grense for kumulativ deteksjonssannsynlighet på 99% (2).

Den midlere deteksjonssannsynlighet  $Q$  er beregnet for intervallet  $t_v$ , dvs fra det tidspunkt  $T_K$  toktet er detektert med en sannsynlighet på 99%, til det er fremme i målområdet (2).

Scenariet som ble benyttet i simuleringen er vist i figur 15.1.

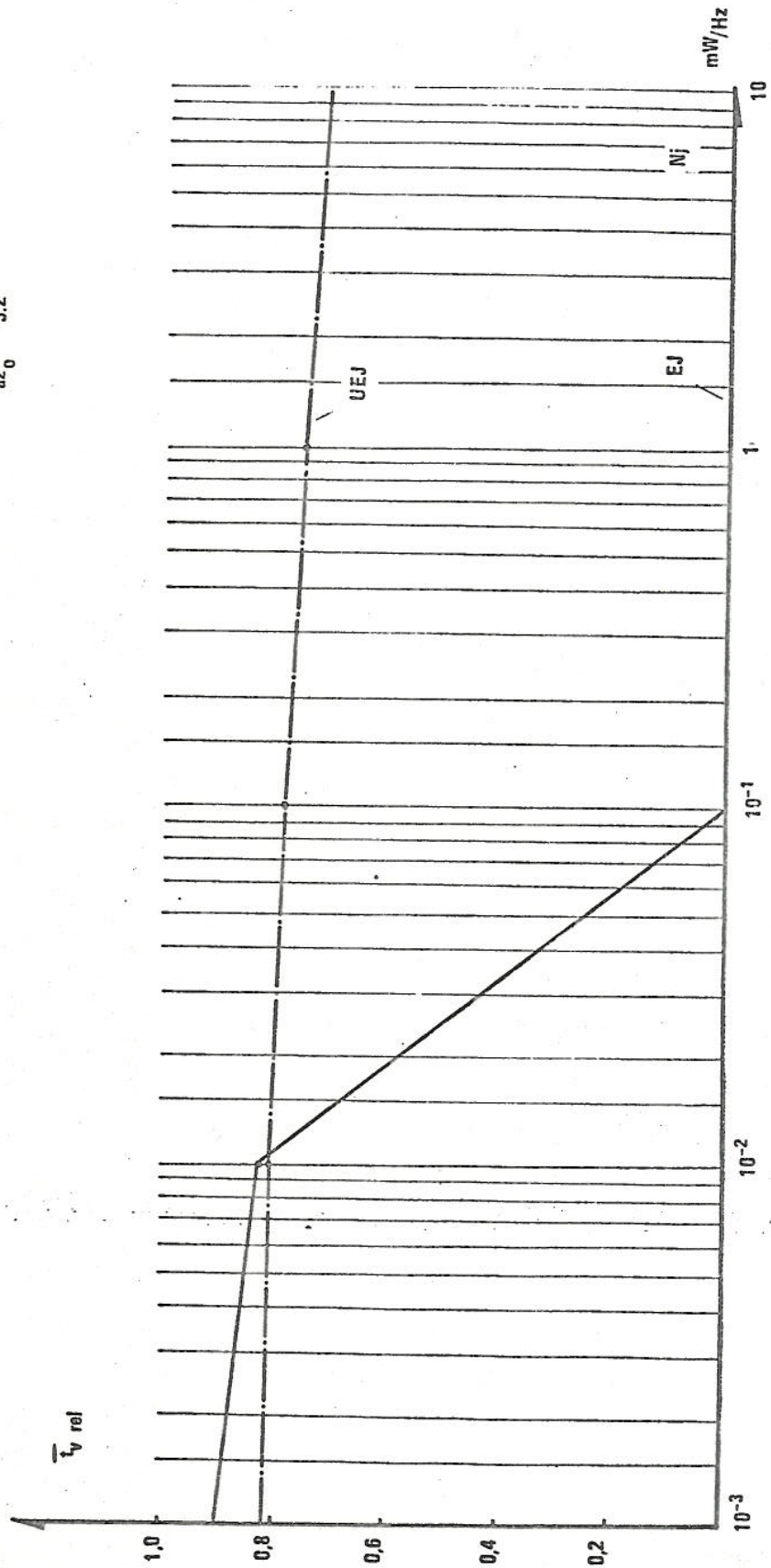
Figuren viser i alt 13 fly som trenger inn fra øst på veg mot målområdet som er skravert på figuren. Fly 1, 2 og 3 bærer jammeutstyr (EJ), og eskorterer hver sin gruppe på tre fly. I tillegg til eskortejammerne utsettes en for bakgrunnsjamming fra 2 jammere (SOJ) som ligger stille i posisjoner som vist på figuren.

For øvrige data vises til (6). For dette scenariet har en beregnet midlere relativ varslings- og midlere deteksjonssannsynlighet for hhv fly 4-13 (UEJ) (hvor virkningen av samtlige jammere er med) og fly 1, 2 og 3 (EJ) som funksjon av jammeutstyrtettheten (figur 15.2).



Figur 15.1 Simuleringsscenario

MACH 0.9  
 CDL 0.99  
 $\Omega$  20°/MIN  
 $\alpha z_0$  3.2°



Figur 15.2 Midlere relativ varslingsid som funksjon av jammeintensitet

Med en realistisk jammeintensitet på 0,1 mW/Hz (se avsnitt 4) får en ingen signifikant reduksjon av varslingstiden for de fly som selv ikke jammer. Varslingstiden er heller ikke særlig følsom for selv store variasjoner i jammeintensiteten. Årsaken til dette er at radarsystemet består av mange radarer med geografisk spredning, slik at en vil få gunstige avstandsforhold mellom hhv radar-mål og radar-jammer.

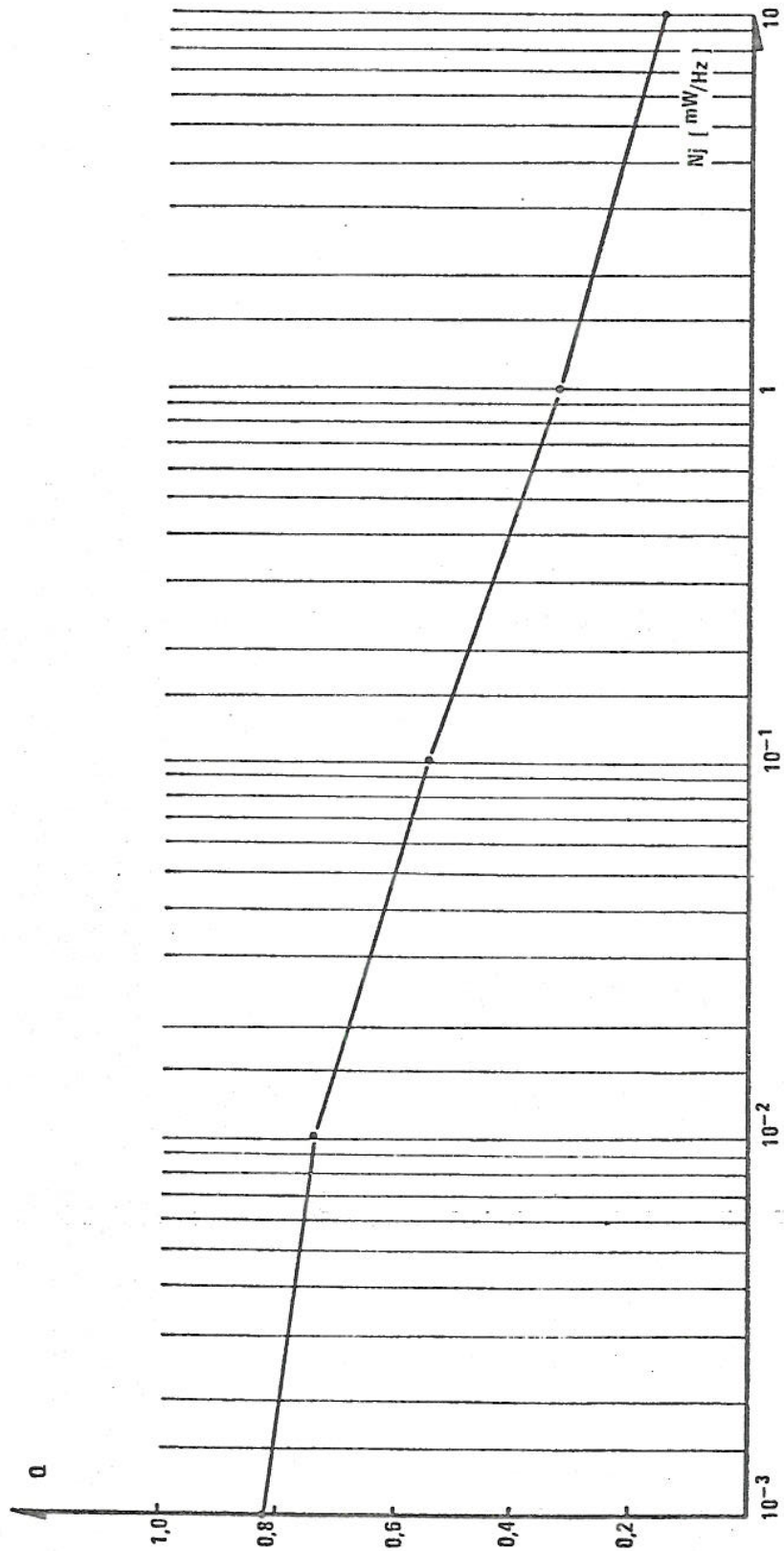
Det fremgår videre av figur 15.2 at eskortejammerene ikke vil bli varslet i det hele tatt dersom  $N_j \geq 0,1$  mW/Hz. Dette indikerer at radarene må kunne overføre informasjon om retningen til jammerene, slik at disse kan trianguleres og følges sentralt.

#### 15.1.2 Målfølgeegenskaper

En indikasjon på systemets følgeegenskaper vil få ved å betrakte den midlere deteksjonssannsynlighet (over alle fly) midlet over tidsintervallet  $t_v$ , d v s tid fra flyene er varslet med 99% sannsynlighet til de er fremme i målområdet. Midlere deteksjonssannsynlighet  $Q$  er vist på figur 15.3 som funksjon av jammeintensiteten.

Simuleringene er utført med et parametersett noe forskjellig fra det aktuelle. I det aktuelle tilfellet forutsettes at "dwelltiden" deles mellom søk og høydemåling og at det benyttes 2 prf'er. Videre forutsettes at en skal benytte C-bånd ( $\lambda = 0,056$  m). Av implementeringsgrunner er det realistisk å regne med en øvre grense på radarens middel-effekt på 250 W i C-bånd. Ser en bort fra de to nærmeste sidelover, må det regnes som realistisk at det maksimale sidelobenivået kan reduseres til -30 dB. Dette medfører at  $N_j$ -aksen i figur 15.2 og 15.3 må divideres med en faktor 0,54 om figuren skal kunne benyttes i det aktuelle tilfellet (6). Den maksimale jammeintensitet (effekttettheten) en kan regne med er ca 0,1 mW/Hz (avsnitt 4), som tilsvarer  $0,1/0,54$  mW/Hz = 0,2 mW/Hz på figur 15.3.

Den tilsvarende verdi på  $Q$  blir da  $Q = 0,48$ , hvilket betyr at et tokt vil kunne følges ca 48% av tiden etter at det er detektert.



Figur 15.3 Midlere deteksjonssannsynlighet for alle fly som selv ikke jærmer

### 15.1.3 Følsomhet for endringer i scenariet

I (6) er det antatt at 4 bakgrunnsjammere benyttes i et angrep mot Nord-Norge. I det scenariet som er benyttet her (figur 15.1) regner en med at to av disse benyttes mot mobilradar-systemet og de to andre mot de statiske radarinstallasjoner. Dersom alle 4 benyttes mot mobilradar-systemet, eller to av de 4 beregnet på den sydlige del av nordflanken, trekkes nordover, vil dette grovt være ekvivalent med en økning av jammeintensiteten med 2 ggr.

Dette kan kompenseres for ved at radarsystemet bedre utnytter den tilgjengelige båndbredde ved scan til scan frekvenshopping og at radartasjonene tildeles frekvenser fordelt over et stort frekvensbånd. Systemets frekvensspredning bør uten problemer kunne være 300 MHz (5% relativ båndbredde). Skal radarsystemet effektivt jammes, må derfor jammeintensiteten reduseres med en faktor 3 p g a begrensning i tilgjengelig effekt. Dette tilsvarer med 4 bakgrunnsjammere ca  $Q = 0,5$ .

Under disse forutsetninger vil systemet gi en neglisjerbar reduksjon i varslingsstid når det utsettes for den maksimale jammetrusel en kan forvente.

Systemet vil kunne følge et tokt i mer enn 50% av den tiden toktet befinner seg innenfor dets nominelle dekningsområde. Dette resultatet er gyldig også for en dobling av antall bakgrunnsjammere til 4 dersom ikke avstandsforholdene endres vesentlig.

### 15.2 Fysisk sårbarhet

Den fysiske trusel og de hovedfaktorer som er av betydning for mobilradar-systemets fysiske sårbarhet ble kort diskutert i avsnitt 4 og 5.

Truselen kan grovt deles i angrep av bakkestyrker og luftangrep. En mobilradarenhets sårbarhet for luftangrep er gitt en relativt grundig analyse (7). Analyseresultatene er også etterprøvet med praktiske prøver (16).

### 15.2.1 Luftangrep

Mobilradaren og dens betjening må anses som et meget bløtt mål overfor de avanserte våpensystemer som moderne kampfly og helikoptere er utstyrte med. Dersom radarenheten lokaliseres, er det lite rimelig å regne med at et angrep utført med fly eller helikoptere ikke vil lykkes i å sette radarenheten ut av drift mer eller mindre permanent, dersom radarbetjeningen ikke har tilgang til noen form for luftvern. Dersom radarenheten derimot utstyres med bærbare bakke til luft raketter, f eks av typen Stinger, vil kan hende dette stille seg noe anderledes, uten at det er gjort forsøk på å evaluere effekten av slike våpen.

Det er antatt at angripende fly/helikoptere må utføre selvstendig søk for definitivt å lokalisere og identifisere radarenhetene, selv om det i søksprosedyren kan tas hensyn til på forhånd innhentede etterretningsdata. Nytteten av slike etterretningsdata forsøkes minimalisert ved at det i mobilradarkonseptet forutsettes at radarenheten på meget kort varsel kan forandre lokalitet. Herved er en angriper nødt til å regne med at enheten vil kunne befinne seg hvorsomhelst innen et areal begrenset av antatt maksimal kjørelengde i tidsrommet siden siste lokalisering. For nærmere å lokalisere radarenheten innenfor dette området, antas angrepsfly/helikoptere å anvende radarvarsler/søkemottaker til krysspeiling. Dersom mobilradarens sendeeffekt slås av før angrepsflyene har rukket å lokalisere og identifisere radaren, må et areal bestemt ved krysspeilenøyaktigheten avses systematisk ved gjentatte overflygninger. Søket antas utført visuelt, eventuelt assistert av optiske/elektrooptiske instrumenthjelpemidler.

På grunn av sin mobilitet vil den enkelte radarenhet kunne skifte posisjon etter et fast opplagt, eller dersom det er ønskelig, tilfeldig tidsmønster. De kan eventuelt flyttes mellom på forhånd utvalgte posisjoner eller til tilfeldige, selvvalgte posisjoner. En eventuell angriper vil derfor ikke kunne planlegge et angrep mot disse ut fra på forhånd innhentede rekognoserings- eller etterretningsrapporter, da posisjonene på kort tid vil kunne forandres. Radarbetjeningen vil også ha fordelene av å velge gunstige posisjoner, valgt ikke minst ut fra kamouflasjemessige effekter som bakgrunnsfarge og eventuelt skjermende vegetasjon.

I vinterhalvåret vil forflytninger måtte utføres med større varsomhet, da spor avsatt i snøen i visse tilfeller vil kunne lette deteksjon av radarenheten, særlig i sluttfasen av flysøket.

Radarenhetens mobilitet er kun tatt hensyn til ved at fienden ikke på forhånd vet annet om radarens posisjon enn at et gitt antall enheter befinner seg innenfor relativt vidt definerte arealer. Arealet vil tilnærmet kunne fastlegges ut fra siste kjente posisjon, radarens antatte bevegelighet i terrenget og tiden siden siste posisjonsfastsettelse eventuelt foretatt ved fotorekognosering.

Det er antatt at fienden før et eventuelt angrep, sitter inne med en del kunnskaper om mobilradarsystemet, så som antall stasjoner, sendefrekvens(er) og omtrentlige posisjoner.

For å hindre at angripende fly/helikoptre skal kunne ledes direkte mot målet v h a søkemottaker, forutsettes det at radaren skal kunne slås av når fly som radarbetjeningen anser som en direkte trusel mot radaren befinner seg nærmere enn en på forhånd definert avstand, og f eks i en viss høyde. Eventuelle angripende fly/helikoptre vil herved måtte utføre et systematisk søk over et større eller mindre område, avhengig av nøyaktigheten av peilingen utført ved hjelp av søkemottakeren.

Ut fra de beregnede data over avskjæringssannsynligheter fremgår det at mobilradarene vil være meget vanskelige mål å detektere fra fly (6). I beregningene er det benyttet kontrastparameterverdier for målobjekt/bakgrunn  $C_0 = 0,3$  som er typisk for et objekt av denne klassen med en viss form for kamouflasje. Avhengig av terrengforhold, f eks vegetasjon o l, vil det være mulig å forbedre dette forholdet ved bruk av tilpassede kamouflasjetiltak.

Ut fra de premisser beregninger er basert på kan en slutte at sannsynligheten for avskjæring og hermed også sannsynligheten for å ødelegge radaren med angrep av fastvingede fly typisk vil være av størrelse 10-20% med innsats av ett fly. Tilsvarende for heliopter er 20-35%.

For å utfylle disse teoretiske beregningene er det utført praktiske prøver med deteksjon fra fly og helikopter (16). Forsøkene ble gjennom-



ført under barmarksforhold i området Lakselv - Karasjok 7 og 8 oktober 1976.

Målobjektene besto av Volvo beltevogner, modell BV202 og lastebiler av type M621. Halvparten av kjøretøyene var plassert i åpent terreng, og den andre halvparten i skogsterreng. Det er imidlertid verdt å merke seg at skogsterreng i dette forsøket i de aller fleste tilfeller er naken løvskog, hvorav denne til dels er meget glissen. Halvparten av kjøretøyene i åpent terreng og halvparten av kjøretøyene i skogsterreng var kamuflert. Resten var ukamuflert.

Søk fra jagerfly ga resultatet 3 positive deteksjoner av 129 mulige, d v s 2,3% deteksjonssannsynlighet.

Tar man for seg kun de ukamuflerte kjøretøyene i åpent terreng, blir sannsynligheten 8%, mens de andre målkategoriene: i skog og kamuflert ikke ble oppdaget i det hele tatt.

Forsøkene mot lastebilene resulterte i 5 positive deteksjoner av 30 mulige, d v s 17% av deteksjonssannsynlighet. Dette høye tallet kan ha sammenheng med at lastebilene er noe større enn beltevognene, og at lastebilene ikke kunne settes ute i terrenget i samme grad som beltevognene. Lastebilene måtte parkeres ved vei, dog ble hovedveien unngått.

De få deteksjonsavstander som ble registrert (5 stk) varierte fra 1 km til 150 m, med gjennomsnitt på 450 m. Dette er vel å merke gjennomsnitt for de objekter som ble oppdaget.

Søk fra helikopter ga en deteksjonssannsynlighet på nærmere 60% med deteksjonsavstander på fra 100 til 700 m avhengig av kamuflasjegrاد.

Med ukamuflert beltevogn i åpent terreng som utgangspunkt varierte den midlere deteksjonsavstand med kamuflasjegraden på følgende måte:

- Deteksjonsavstanden ble nesten halvert ved anvendelse av kamuflasjenett
- Deteksjonsavstanden ble godt og vel halvert ved å plassere beltevognene i skogsterreng
- Deteksjonsavstanden ble redusert til vel fjerdeparten for beltevogn kamuflert med nett i skogsterreng

En gjennomgående kommentar fra de deltagende observatører, fra både jagerflygere og fra helikopterobservatører, var at dette terrenget er ypperlig til å gjemme bort så små kjøretøyer i. Kjøretøyenes størrelse er nemlig sammenliknbar med andre flekker og objekter i naturen, f eks steiner og lyngtuer. Med terrenget dekket av snø ville disse fordeler reduseres, samtidig som spor vil lette deteksjon.

Med disse resultater som bakgrunn er det rimelig å anta at angrep fra luften mot de mobile radarene vil være lite aktuelt, spesielt så lenge bakken ikke er dekket av snø.

### 15.2.2 Angrep av bakkestyrker

Mobilradarsystemets fysiske seighet er som tidligere nevnt blant annet basert på følgende tre hovedfaktorer (avsnitt 5):

- Ukjente radarposisjoner
- Kamouflasje
- Stort antall radarer

Skal enhetene kunne ødelegges, må de derfor først peiles. Når en radar-enhet først er lokalisert, må en anta at fienden, dersom han ønsker det, kan sette enheten ut av funksjon med en rimelig innsats av bakkestyrker. Mottiltak i form av radartaushet og forflytning vil neppe ha stor effekt når bakkestyrker allerede er i området. Imidlertid kan prisen for å nedkjempe en slik radar variere avhengig av forsvarerens taktikk og i hvilken grad egenvarslingsutstyr tas i bruk.

For å kunne gi et svar på om systemet er tilstrekkelig seigt (det bør kunne holde i 5-6 dager etter krigsutbrudd) må en del spørsmål avklares (22). Blant disse er:

- Status og forventet utvikling av orange peileutstyr
- Tidsforbruk ved peiling av en radarenhet
- Antatt nøytraliseringsmetode

En regner med at orange har godt mobilt peileutstyr montert på lastebiler eller tilhengere. I prinsippet kan slikt utstyr også monteres på belte-

kjøretøyer. En har ikke kjennskap til bærbart eller helikopterbåret utstyr i det aktuelle frekvensområdet. En regner med at slikt utstyr ville ha vesentlig dårligere peilenøyaktighet og følsomhet (23).

En antar at orange ved bruk av mobilt bakkeutstyr i løpet av vel én dag kunne posisjonsbestemme tre radarenheter som ligger nær hverandre og i rimelig avstand fra veg (23). Dette er imidlertid ikke tilstrekkelig til å lage en åpen korridor i systemet (se figur 14.1). Videre vil mobiliteten kunne utnyttes til å bedre mangelfull dekning i et område.

Det store tidsforbruket forbundet med å posisjonsbestemme alle radarene i systemet gjør dette uinteressant (23).

En antar at en radar best kan nøytraliseres med helikopterbårne styrker etter at den er lokalisert ved hjelp av mobilt peileutstyr (23). Bruk av helikoptre gir imidlertid radarbetjeningen en mulighet for å detektere truselen og treffe mottiltak.

Selv om en i 80-årene må regne med bedre og mer avansert orange peileutstyr, er likevel de grunnideer systemets fysiske seighet er basert på fremdeles gyldige (stort antall og høy mobilitet).

Ut fra dette vurderes det foreslåtte mobilradarsystem som meget seigt, og det skulle være mulig å holde systemet operativt i flere dager (23).

16

SLUTTBEMERKNINGER

Ut fra de utførte analyser og prøver synes det mulig å operere et mobilt radarsystem i Finnmark. Dekningsmessig vil et slikt system gi et verdifullt bidrag til det totale K&V system.

Gjennom simuleringer har en vist at systemet har relativt lav elektronisk sårbarhet i relasjon til den forventede jamme-trusel.

Det synes også som om systemet kan gis en fysisk seighet som gjør det mulig å holde det operativt i flere dager etter et krigsutbrudd.

Usikkerheten omkring realisering av en radar med ytelse som spesifisert i denne rapport bør avklares gjennom bygging og utprøving av en feltmessig prototyp. Det samme gjelder det foreslåtte datafiltrerings- og sambandskonsept.

Gjennom utprøving av en prototyp vil en også kunne erverve verdifull erfaring av rent operativ art, og skaffe et bedre grunnlag for utforming av organisasjons- og operasjonskonseptet.

## APPENDIKS 1

## ELIMINERING AV BLINDHASTIGHETER MED MULTIPPEL PRF

Det entydige dopplerintervall kan økes med en faktor  $K_p$  ved bruk av  $p$  forskjellige pulsrepetisjonsfrekvenser (1, appendiks 4).  $K_p$  er gitt ved

$$K_p = \begin{cases} \chi^{-1} & p = 2 \\ (\chi^2 - \chi - 1)\chi^{p-3} & \text{for } p \geq 3 \end{cases} \quad (\text{A1.1})$$

hvor  $\chi$  er pulsrepetisjonsfrekvensen normalisert m h p bredden av det blinde dopplerintervall  $\Delta v_b$

$$\chi = \frac{f_r}{\Delta v_b} \quad (\text{A1.2})$$

Det blinde dopplerintervall er gitt ved

$$\Delta v_b = \frac{4 \dot{R}_{cl}}{\lambda} \quad (\text{A1.3})$$

hvor  $\dot{R}_{cl}$  er clutterets hastighetsspredning og  $\lambda$  bølgelengden.

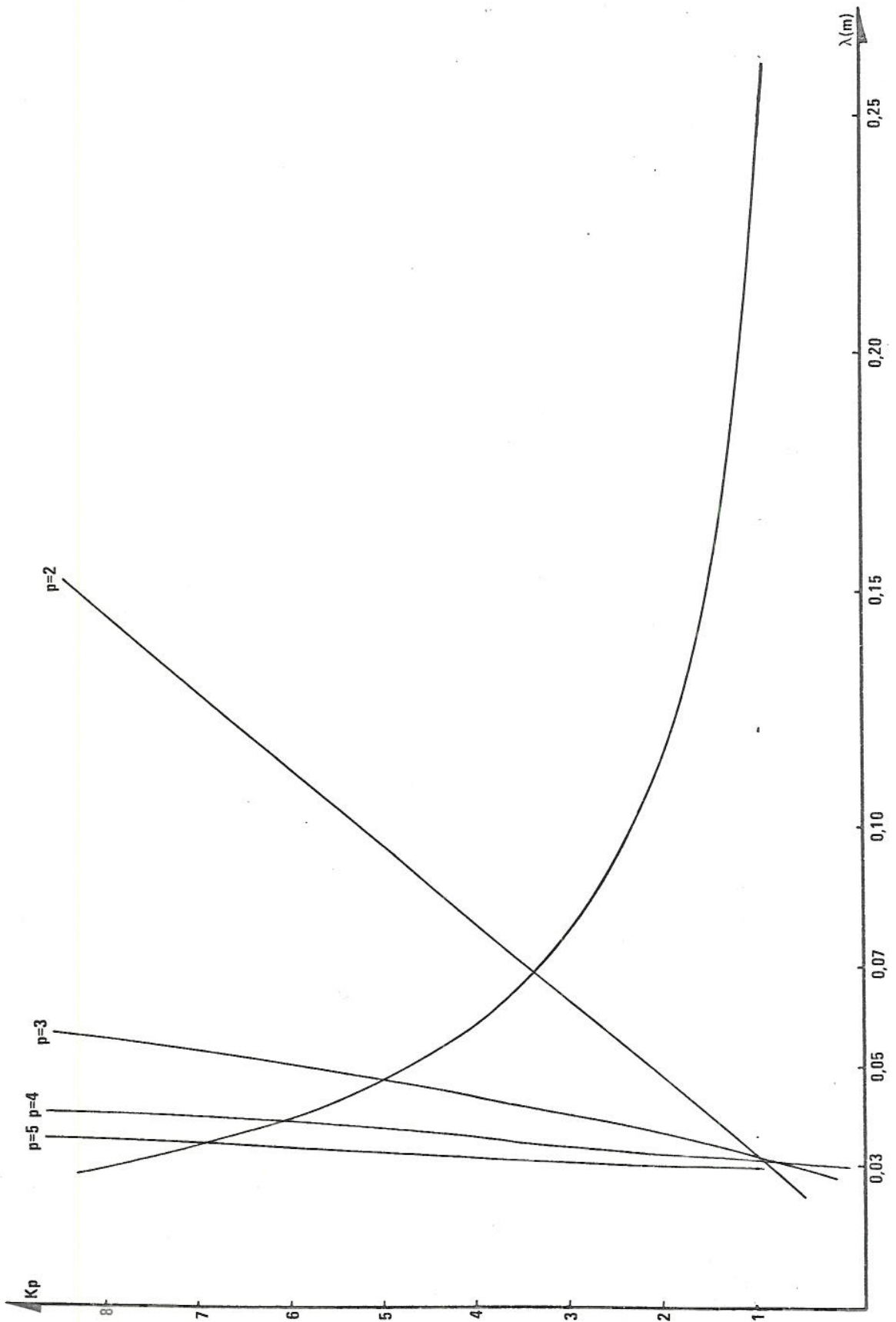
Dersom  $R$  er radarens rekkevidde,  $v_{max}$  den høyeste aktuelle målhastighet og  $c$  er lyshastigheten, kan kravet til multiplikasjonsfaktoren settes til

$$K_p \geq \frac{4 v_{max} R}{\lambda c} \quad (\text{A1.4})$$

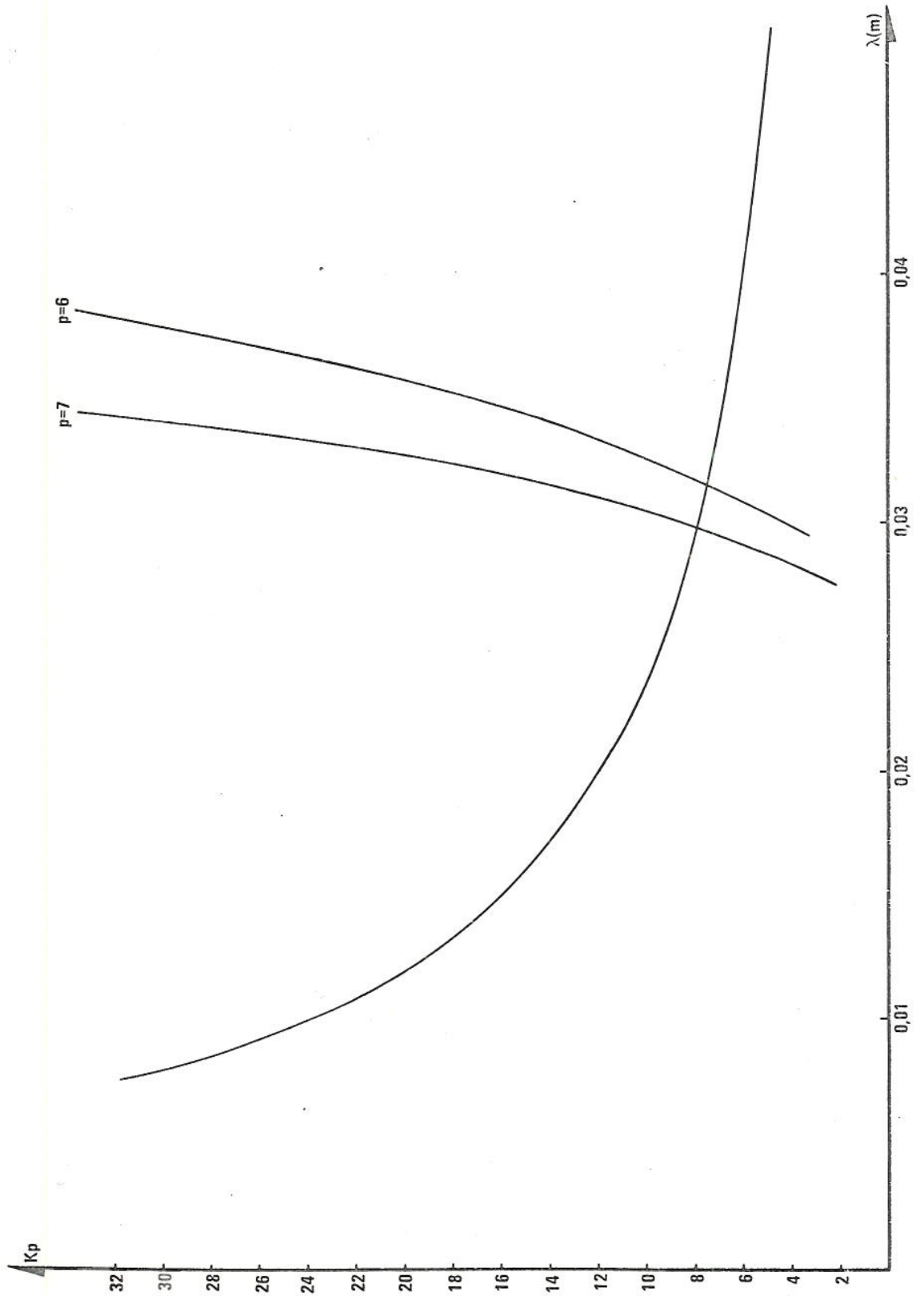
Med en gitt clutteretspredning  $\dot{R}_{cl}$  og grunn-prf kan (A1.1), (A1.2) og (A1.3) kombineres til å gi den realiserbare multiplikasjonsfaktor som funksjon av bølgelengden. Sammen med kravet i ligning (A1.4) er denne fremstilt i figur A1.1 og A1.2 med antall prf'er  $p$  som parameter. Det er her benyttet:

$$\begin{aligned} R &= 30 \text{ km} \\ f_r &= 5 \text{ kHz} \\ \dot{R}_{cl} &= 20 \text{ m/s} \\ v_{max} &= 600 \text{ m/s} \end{aligned}$$

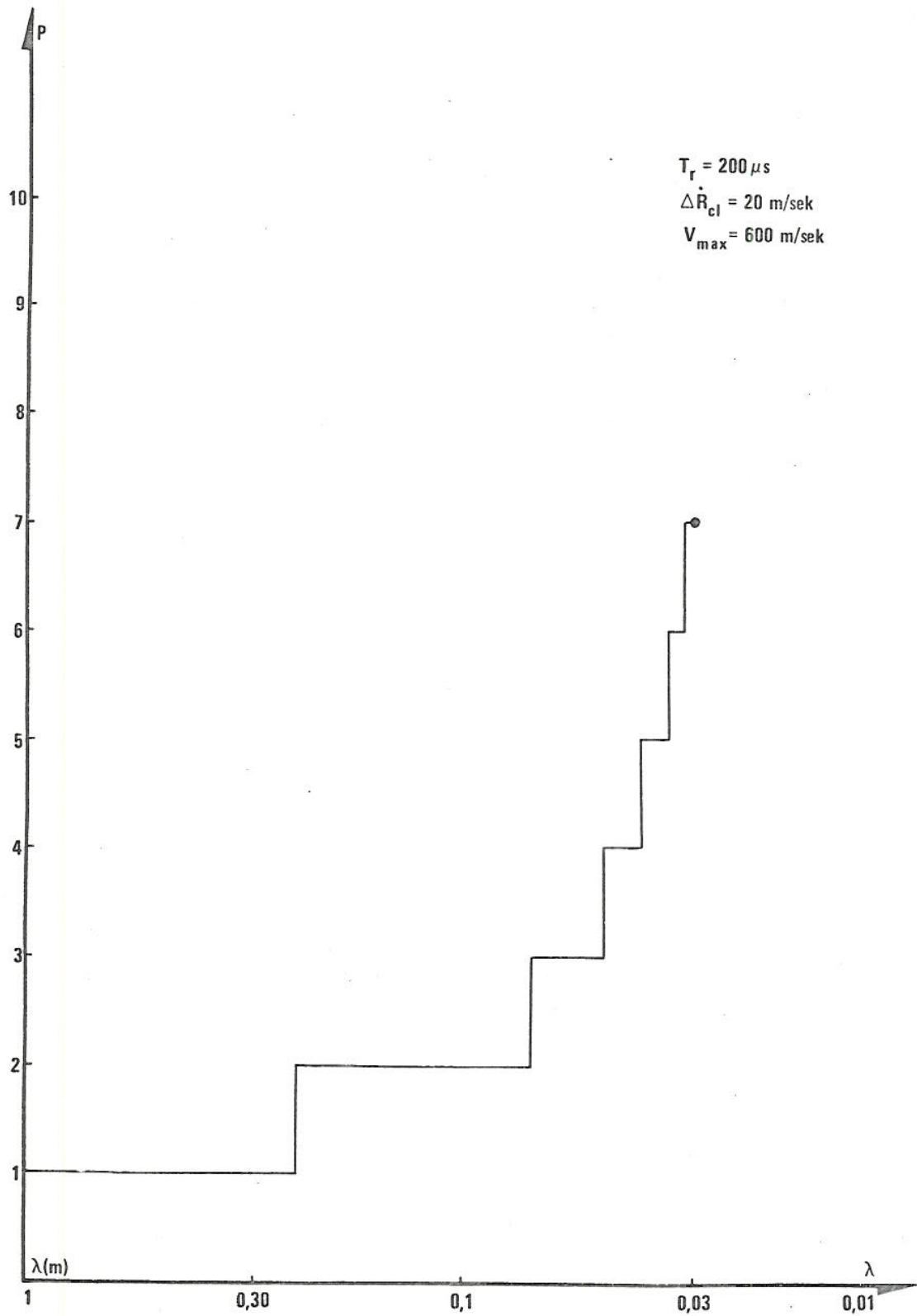
Verdier av  $p$  som gir en  $K_p$  som tilfredsstillter (A1.4) er på grunnlag av figur A1.1 og A1.2 plottet som funksjon av bølgelengden i figur A1.3.



Figur A1.1 Realiserbar multiplikasjonsfaktor som funksjon av bølglengden med antall repetisjonsfrekvenser som parameter



Figur A1.2 Realiserbar multiplikasjonsfaktor som funksjon av bølglengden med antall repetisjonsfrekvenser som parameter



Figur A1.3 Nødvendig antall repetisjonsfrekvenser som funksjon  
bølgelengden



## APPENDIKS 2

## NØDVENDIG SENDEREFFEKT SOM FUNKSJON AV BØLGELENGDEN

Den tilgjengelige integrasjonstid  $T_p$  kan skrives

$$T_p = \frac{T_d}{2p} \quad (\text{A2.1})$$

hvor  $T_d$  er den totale dwelltid og  $p$  er antall prf'er. En har videre forutsatt at  $T_d$  deles likt mellom søk og høydemåling.

Nødvendig sendereffekt er proporsjonal med nødvendig mottatt effekt  $\bar{P}_r$  og omvendt proporsjonal med produktet av antennevinning  $G$  og antenneaperturen  $A_e$

$$\bar{P}_s \propto \frac{\bar{P}_r}{A_e \cdot G} \quad (\text{A2.2})$$

Nødvendig mottatt signaleffekt er proporsjonal med mottakerens støybåndbredde

$$P_r \propto B_n = \frac{1}{T_p} \quad (\text{A2.3})$$

Antenneaperturen  $A_e$  kan skrives

$$A_e = W_a W_e = W_a \frac{\lambda}{\theta_{el}} \quad (\text{A2.4})$$

hvor  $W_a$  og  $W_e = \lambda/\theta_{el}$  er hhv antennens horisontale og vertikale aperture,  $\lambda$  bølgelengden og  $\theta_{el}$  antennestrålebredden i elevasjon. Antennevinningen  $G$  kan skrives

$$G = \frac{4\pi}{\theta_{az} \cdot \theta_{el}} \quad (\text{A2.5})$$

Total dwelltid  $T_d$  er lik

$$T_d = T_s \cdot \frac{\theta_{az}}{2\pi} \quad (\text{A2.6})$$

hvor  $T_s$  er rotasjonstiden for antennen og  $\theta_{az}$  antennestrålebredden i asimut. Kombineres (A2.4), (A2.5) og (A2.6) får en

$$T_d A_e G = \frac{2T_s W_a \lambda}{\theta_{el}^2}$$

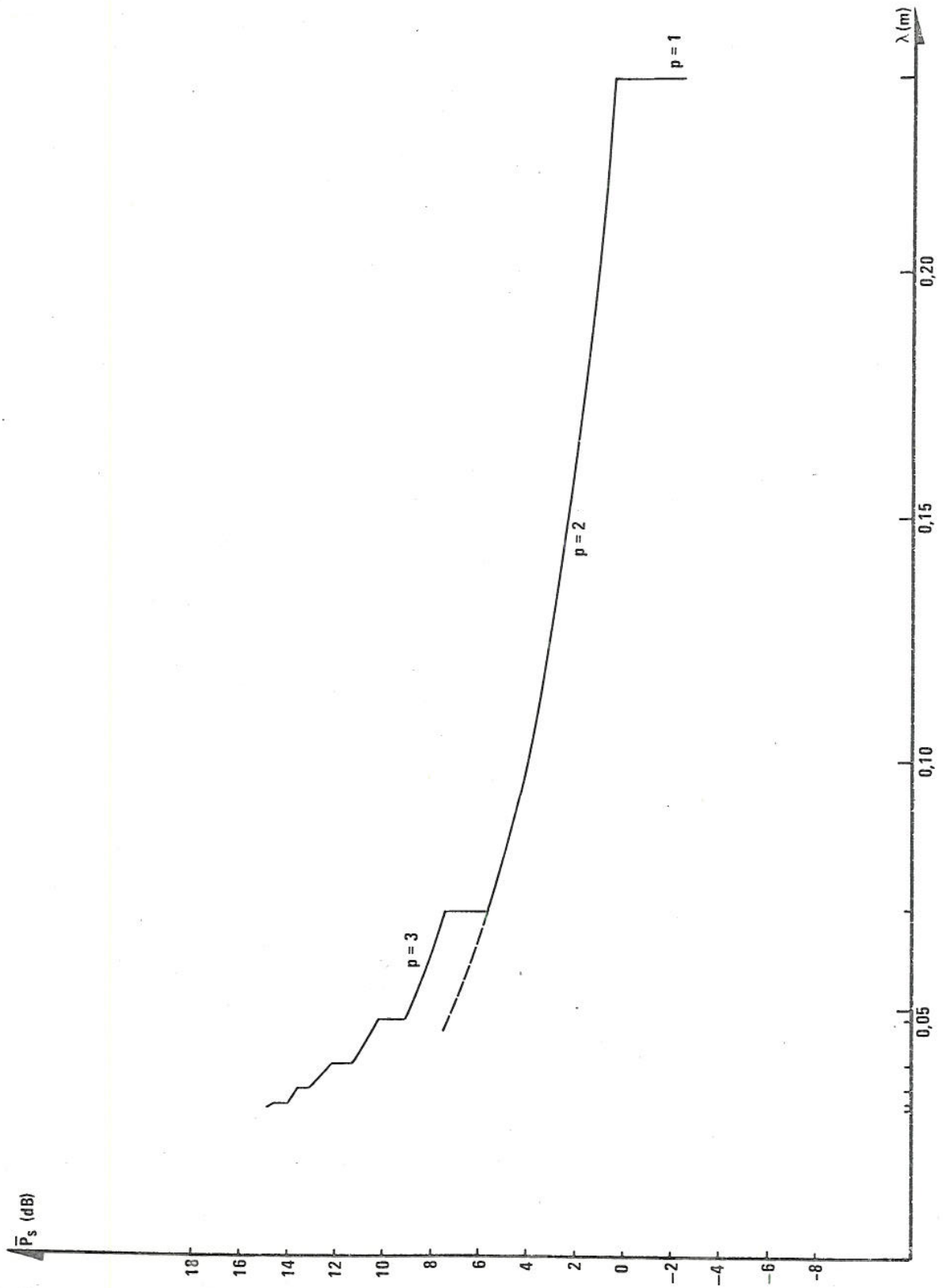
Av (A2.1), (A2.2) og (A2.3) får en videre

$$\bar{P}_s \propto \frac{\bar{P}_r}{A_e G} = \frac{1}{T_p \cdot A_e G} = \frac{2p}{T_d A_e G}$$

eller

$$\bar{P}_s \propto \frac{\theta_{el}^2 p}{T_s W_a \lambda} \propto \frac{p}{\lambda} \quad (\text{A2.7})$$

hvor en har innført for  $T_d A_e G$  og  $\theta_{el}$ ,  $T_s$  og  $W_a$  oppfattes som konstanter. Ligning (A2.7) er fremstilt i figur A2.1 hvor aktuelle verdier for  $p = p(\lambda)$  er hentet fra figur A1.3.



Figur A2.1 Nødvendig sendereffekt som funksjon av bølgelengden

## APPENDIKS 3

## SIGNAL TIL CLUTTERFORHOLD

Tilbakespredningskoeffisienten (for diffus tilbakespredning) kan tilnærmes med

$$\sigma_o = \frac{0,00032}{\lambda} m^2/m^2 \quad (A3.1)$$

hvor  $\lambda$  er bølgelengden.

Cluttercellens areal  $A_c$  kan skrives

$$A_c = R \theta_{az} \Delta R \quad (A3.2)$$

hvor  $R$  er avstanden,  $\Delta R$  avstandsopløsningen og  $\theta_{az}$  horisontal antennestrålebredde. Videre har en

$$\theta_{az} = 1,2 \frac{\lambda}{W_a} \quad (A3.3)$$

hvor  $W_a$  er horisontal antenneaperture og faktoren 1,2 gjelder for en veid belysningsfunksjon. Cluttercellens radartverrsnitt kan derved skrives

$$\sigma_{cl} = A_c \sigma_o = 0,000384 \cdot \frac{R \cdot \Delta R}{W_a} \quad (A3.4)$$

hvor en har benyttet (A3.1), (A3.2) og (A3.3).

En bør uten vesentlige problemer kunne realisere en clutterundertrykkelse (9)

$$F = 10^4 \cdot N \quad (A3.5)$$

hvor  $N$  er antall koherent prosesserte pulser. Forutsettes at varigheten av pulstogene ved de forskjellige prf'er er like og tidsdeling mellom søk og høydemåling får en

$$N = f_r \cdot T_p = f_r \cdot T_s \frac{\theta_{az}}{2\pi} \cdot \frac{1}{2p}$$

hvor en har benyttet (A2.1) og (A2.6). Innføres for  $\theta_{az}$  fra (A3.3) får en

$$N = f_r T_s \cdot \frac{1,2}{2} \cdot \frac{\lambda}{W_a} \cdot \frac{1}{2p} \quad (\text{A3.6})$$

Benyttes følgende tallverdier

$$f_r = 5 \text{ kHz}$$

$$T_s = 3 \text{ sek}$$

$$W_a = 2 \text{ m}$$

får en til slutt fra (A3.5) og (A3.6)

$$F = 7,16 \cdot 10^6 \frac{\lambda}{p} \quad (\text{A3.7})$$

Signal til clutterforholdet før detektor kan derved skrives som

$$\left(\frac{s}{c}\right) = \frac{\sigma_t}{\sigma_{cl}} \cdot F = \frac{\sigma_t \cdot \lambda \cdot W_a}{p \cdot R \cdot \Delta R} \cdot 1,87 \cdot 10^{10} \quad (\text{A3.8})$$

hvor en har benyttet (A3.4) og (A3.7). Innføres

$$\sigma_t = 1 \text{ m}^2$$

$$W_a = 2 \text{ m}$$

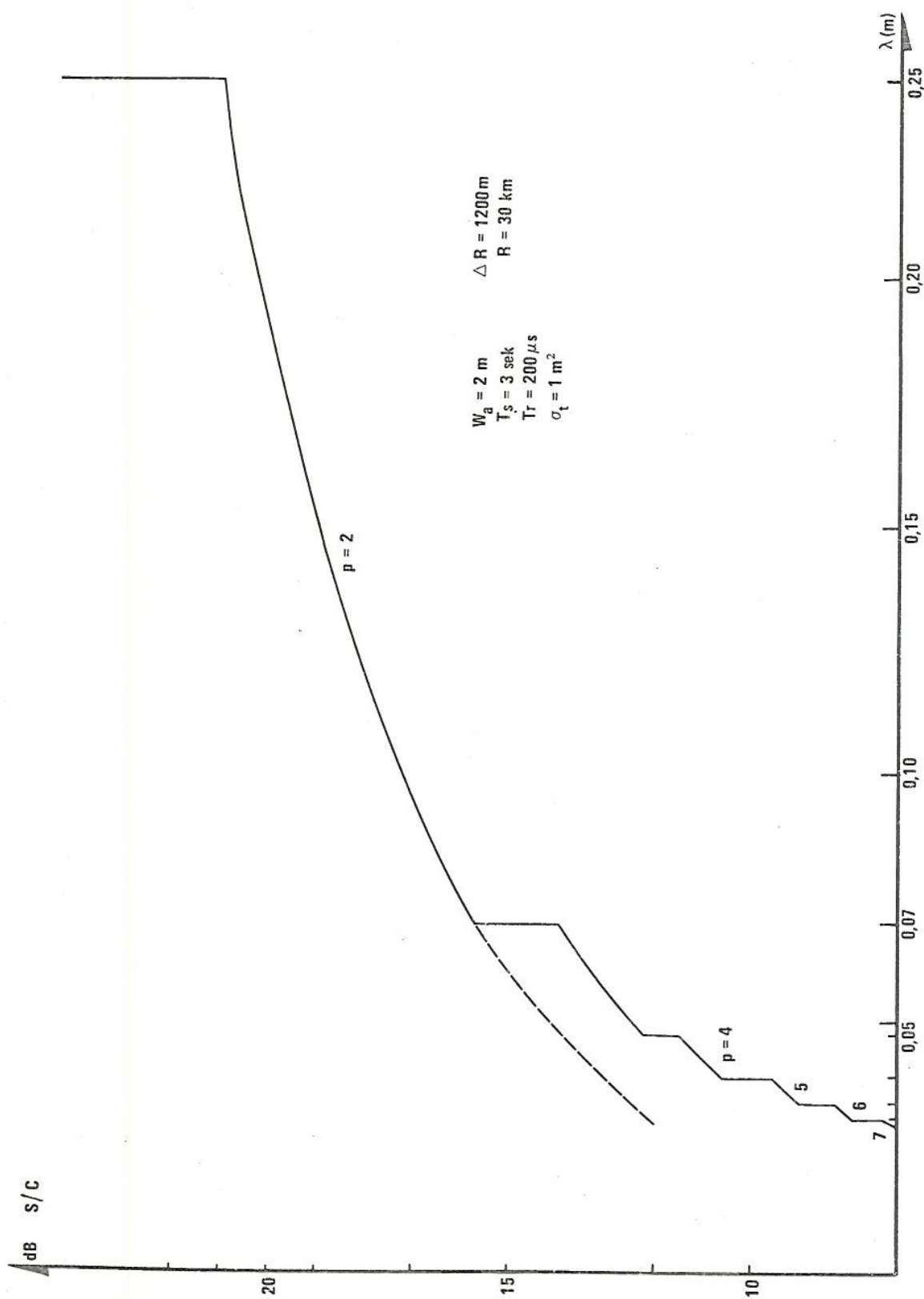
$$R = 30 \text{ km}$$

$$\Delta R = 1200 \text{ m (9)}$$

får en

$$\frac{s}{c} \approx 10^3 \cdot \frac{\lambda}{p} \quad (\text{A3.9})$$

Ligning (A3.9) er fremstilt i figur A3.1. Samhørende verdier av  $p$  og  $\lambda$  er hentet fra figur A1.3.



Figur A3.1 Signal/clutterforhold som funksjon av bølgelengden

Litteratur

- (1) Grønlie, Ø - Konsept for et mobilt radarsystem, Teknisk notat E-801, Forsvarets forskningsinstitutt (1976) Konfidensielt
- (2) Ekholdt, R - Bistatisk radarsystem for luftvaktposter, Teknisk notat E-613, Forsvarets forskningsinstitutt (1974) Hemmelig
- (3) Endresen, T  
R Ekholdt - Forberedelse til K&V jobb, Teknisk notat E-530, Forsvarets forskningsinstitutt (1973) Hemmelig
- (4) Eggestad, M - Et konsept for "harde" silomonterte radaranlegg i Luftforsvarets kontroll- og varslingsjeneste, Intern rapport E-249, Forsvarets forskningsinstitutt (1975) Konfidensielt
- (5) Eggestad, M - Effektive elektroniske beskyttelsestiltak i kontroll- og varslingsystemene, Teknisk notat E-777, Forsvarets forskningsinstitutt (1976) Konfidensielt
- (6) Grønlie, Ø  
J Kruuse Meyer - Analyse av et søkeradarsystem i et spesifisert EK miljø, Teknisk notat E-827, Forsvarets forskningsinstitutt (1976) Hemmelig
- (7) Aurdal, T - Sårbarhet av radarenheter i K&V systemet TOR, DEL 1 - Mobilradar, Intern rapport F-627, Forsvarets forskningsinstitutt (1976) Konfidensielt
- (8) Heier, S - Målfølgeprosess for mobil radar, Teknisk notat E-832, Forsvarets forskningsinstitutt (1976)
- (9) Rihaczek, A W - Design study for a mobile surveillance radar, Final report MRI-116-3 (1975)
- (10) Skaug, R - Interferens mellom mobile radarer, Teknisk notat E-762, Forsvarets forskningsinstitutt (1975)
- (11) Hoel, L S - Implementering av en mobile radarenhet på Volvo beltevogn BV-202, Teknisk notat E-840, Forsvarets forskningsinstitutt (1977)
- (12) Buer, Ø - Analyse av antennesystem for mobil søkeradar, ELAB report STF-44-F76174 (1976) Fortrolig

HEMMELIG

HEMMELIG  
i h. t. Sikkerhetsinstruksen

- (13) Olaisen, H  
R Skaug - Teknisk notat under bearbeidelse
- (14) Skaug, R - HF spredspektrumsamband for mobile enheter i Finnmark, Teknisk notat E-837, Forsvarets forskningsinstitutt (1976) Begrenset
- (15) Wähler, - Under utarbeidelse
- (16) Strømman, E - Hvor lett er det å detekttere Volvo beltevogn fra luften under barmarksforhold? Resultater fra et feltforsøk, Teknisk notat F-304, Forsvarets forskningsinstitutt (1976) Konfidensielt
- (17) Kruuse Meyer, J - SIMJAM, et program for beregning av et radarsystems yteevne i et EK-miljø, Teknisk notat E-826, Forsvarets forskningsinstitutt (1976)
- (18) Hoel, L S - Simulering av en overvåkningsradar med konstant falsk alarm prosessering, Teknisk notat E-790, Forsvarets forskningsinstitutt (1976)
- (19) Grønlie, Ø - Mobil 3-D radar, Teknisk notat E-681, Forsvarets forskningsinstitutt (1974) Konfidensielt
- (20) Weisteen, B - Aktuelle radarer for et mobilt system, Teknisk notat E-713, Forsvarets forskningsinstitutt (1975) Konfidensielt
- (21) Grønlie, Ø  
B Weisteen - Orientering om TMD lavdekningsradarsystem ved Siemens AG og det tyske luftforsvar, Reiserapport E-131, Forsvarets forskningsinstitutt (1974) Hemmelig
- (22) - Oppdrag til FO/E fra FFI vedrørende peiling av mobile radar, FFI saksnr H-1741/76 Hemmelig
- (23) - Svar fra FO/E vedrørende peiling av mobile radarer, H-3528/76, Hemmelig FFI saksnr H1001/77

HEMMELIG

i h. t. Sikkerhetsinstruksen  
HEMMELIG