

FFI RAPPORT

BEREGNING AV DETEKSJONS- SANSYNLIGHET FOR MONO-, BI- OG MULTISTATISKE RADARSYSTEMER

GUNDERSEN Rune

FFI/RAPPORT-2002/01750

FFIE/170/726

Godkjent
Kjeller 13 juni 2002

John-Mikal Størdal
Forskningsjef

**BEREGNING AV DETEKSJONSSANSYNLIGHET
FOR MONO-, BI- OG MULTISTATISKE
RADARSYSTEMER**

GUNDERSEN Rune

FFI/RAPPORT-2002/01750

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

FORSVARETS FORSKNING SINSTITUTT (FFI)
Norwegian Defence Research Establishment

UNCLASSIFIED

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

SECURITY CLASSIFICATION OF THIS PAGE
 (when data entered)

1) PUBL/REPORT NUMBER FFI/RAPPORT-2002/01750 1a) PROJECT REFERENCE FFIE/170/726	2) SECURITY CLASSIFICATION UNCLASSIFIED 2a) DECLASSIFICATION/DOWNGRADING SCHEDULE -	3) NUMBER OF PAGES 25
4) TITLE BEREGNING AV DETEKSJONSSANSYNLIGHET FOR MONO-, BI- OG MULTISTATISKE RADARSYSTEMER THE PROBABILITY OF DETECTION WITH MONO-, BI- AND MULTISTATIC RADAR SYSTEMS		
5) NAMES OF AUTHOR(S) IN FULL (surname first) GUNDERSEN Rune		
6) DISTRIBUTION STATEMENT Approved for public release. Distribution unlimited. (Offentlig tilgjengelig)		
7) INDEXING TERMS IN ENGLISH: IN NORWEGIAN: a) <u>RADAR</u> a) <u>Radar</u> b) <u>RADAR Cross-Sections</u> b) <u>Radartverrsnitt</u> c) <u>RCS-Prediction</u> c) <u>Radartverrsnittsberegninger</u> d) _____ d) _____ e) _____ e) _____		
THESAURUS REFERENCE: INSPEC 1999. ISBN 0 85296 966 X		
8) ABSTRACT This report describes results from a mono-, bi- and multistatic radar cross-section simulator. Results presented show that a multistatic radar system has a significantly higher probability of detecting a low-signature target (stealthy object) than a mono- static radar system. Simulation results presented show the relation between the number of transmitters used and the probability of detection. By increasing the number of transmitters the probability of detection grows. Simulation results show that the probability of detection is higher at a frequency of 5.5GHz than at 9.5GHz, due to scattering. We have obtained equal results from calculations and measurements.		
9) DATE 13 June 2002	AUTHORIZED BY This page only John-Mikal Størdal	POSITION Director of Research

ISBN-82-464-0634-5

UNCLASSIFIED

SECURITY CLASSIFICATION OF THIS PAGE
 (when data entered)

INNHOOLD

	Side	
1	INNLEDNING	7
2	BAKGRUNN	7
3	SIMULERINGSRESULTATER	7
3.1	Litt om beregningene	7
3.2	RCS-beregning av plane plater	9
3.3	RCS beregning av en kule	11
3.4	RCS-beregning av en pyramide	12
3.5	RCS-beregning av en vingeprofil	14
3.6	RCS-beregning av en helikopterrotor	15
3.7	RCS-beregning av et lavsignaturfly	17
4	MONO-, BI- OG MULTISTATISK DETEKSJONSSANNSYNLIGHET	18
4.1	Modellering av scenario	18
4.2	Mono-, bi- og multistatisk deteksjonssannsynlighet for en pyramide	19
4.3	Mono-, bi- og multistatisk deteksjonssannsynlighet for et lavsignaturfly	20
5	KONKLUSJON	22
	Litteratur	24
	Fordelingsliste	25

BEREGNING AV DETEKSJONSSANSYNLIGHET FOR MONO-, BI- OG MULTISTATISKE RADARSYSTEMER

1 INNLEDNING

I denne rapporten presenteres noen av beregningsresultatene som er gjort med radartvernsnittsberegningsprogrammet beskrevet i (1). Vi presenterer både mono-, bi- og multistatiske resultater. I tillegg sammenligner vi romlig deteksjonssansynlighet for mono-, bi- og multistatiske radarsystemer.

Kapittel 2 inneholder bakgrunnen for aktiviteten Digital Multistatisk Radar (DiMuRa) ved FFI. I kapittel 3 presenteres beregningsresultater for forskjellige utvalgte objekter, mens beregninger rundt romlig deteksjonssansynlighet for mono-, bi- og multistatisk radar presenteres i kapittel 4. Oppsummering og konklusjoner presenteres i kapittel 5.

2 BAKGRUNN

Ved FFI har det pågått en aktivitet hvis hovedformål har vært å studere bi- og multistatiske radarsystemer. Dette konseptstudiet har hatt som formål å identifisere og løse eventuelle tekniske problemstillinger forbundet med bruk av bi- og multistatiske radarsystemer. Vi har bl a gjennomført fire grunnleggende studier for å kartlegge eventuelle teknologiske utfordringer rundt bi- og multistatisk radar. Disse studiene innbefatter:

- Beskrivelse av teknisk konsept for bruk av bi- og multistatisk radar for kortholds luftvern (2)
- Analyse og sammenligning av mono-, bi- og multistatisk deteksjonssansynlighet (3)
- Synkronisering (4)
- Utvikling av en mono-, bi- og multistatisk radar deknings simulator (5)

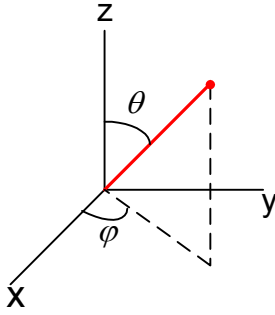
I tillegg har vi tatt frem en eksperimentell bistatisk radar for å understøtte de teoretiske studiene vi har gjennomført. Med den bistatiske radaren har vi gjennomført en rekke målekampanjer.

3 SIMULERINGSRESULTATER

I dette kapittelet vil vi gi resultater fra radartvernsnittsberegningsprogrammet beskrevet i (1).

3.1 Litt om beregningene

For å lette tolkningen av resultatene er det i Figur 3.1 vist hvordan forskjellige akser og vinkler (φ og θ) er definert. φ defineres ut i fra positiv x-akse i xy-planet og θ defineres ut i fra positiv z-akse. For detaljer og teorien bak beregningsprogrammet henvises det til (1).



Figur 3.1 Definisjon av vinklene φ og θ . φ defineres ut i fra positiv x-akse i xy-planet og θ defineres ut i fra positiv z-akse.

Polarisasjonsretningene er definert på følgende måte:

for sender:

$$\begin{aligned}\hat{E}_{T_x V} &= [\sin(\varphi), \cos(\varphi), 0], \text{ V-polarisasjon} \\ \hat{E}_{T_x H} &= (\hat{E}_{T_x V} \times \hat{T}_x), \text{ H-polarisasjon}\end{aligned}\quad (3.1)$$

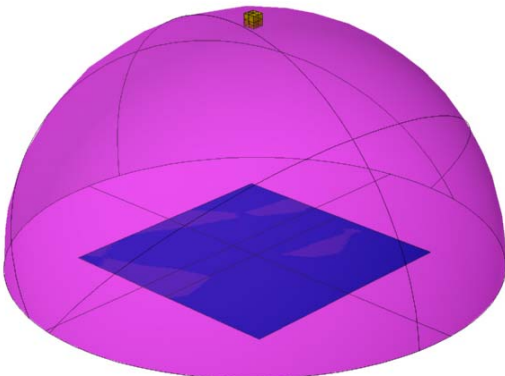
Hvor \hat{T}_x er retningen på senderens elektriske felt.

for mottager:

$$\begin{aligned}\hat{E}_{R_x V} &= [-\cos(\theta)\cos(\varphi), -\cos(\theta)\sin(\varphi), \sin(\theta)], \text{ V-polarisasjon} \\ \hat{E}_{R_x H} &= (\hat{E}_{R_x V} \times \hat{R}_x), \text{ H-polarisasjon}\end{aligned}\quad (3.2)$$

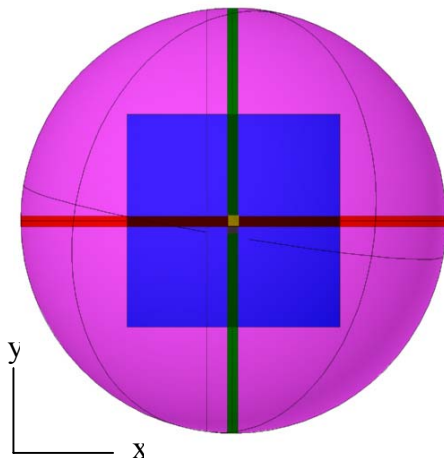
Hvor \hat{R}_x er retningen på mottagerens elektriske felt.

For beregningene i dette kapittelet har vi plassert objektet som skal analyseres i xy-planet, i nærheten av origo, og satt mottageren ut langs den positive z-akse. Senderen har vi flyttet rundt på et kuleskall over objektet langs positiv z-akse som illustrert i Figur 3.2. Den blå firkanten illustrerer objektet som skal analyseres, den gule boksen, på toppen av kuleskallet, er mottageren og den rosa halvkulen illustrerer senderens mulige bevegelsesplan.



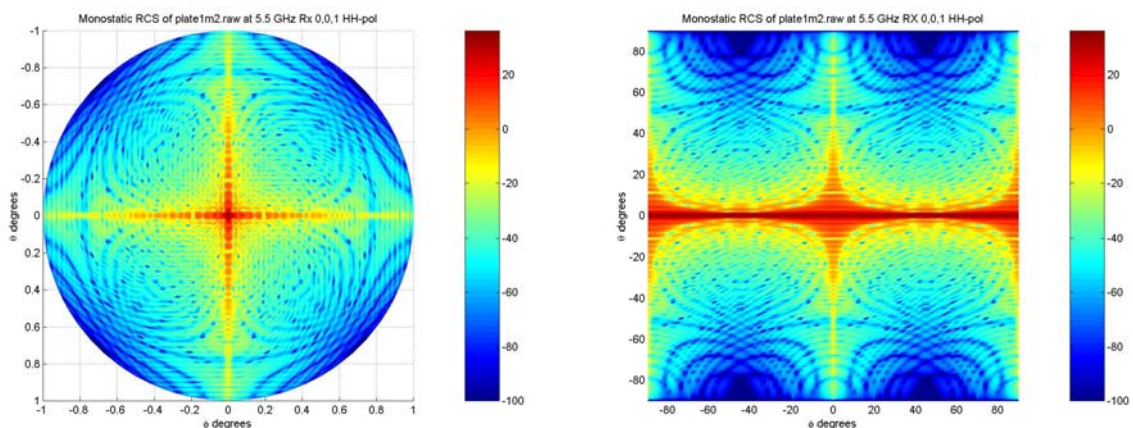
Figur 3.2 Illustrasjon av forflyttningsmønsteret til senderen for en "kuleskallsberegning". Den blå firkanten illustrerer objektet som skal analyseres. Den rosa halvkulen er senderens mulige bevegelsesplan. Mottageren er illustrert som den gule boksen og står langs positiv z-akse over objektet som skal analyseres.

I Figur 3.3 viser vi hvordan φ og θ er definert i forhold til kuleskallet, det røde båndet representerer φ og det grønne båndet θ .



Figur 3.3 Illustrasjon av beregningsmetode; φ følger det røde båndet og θ følger det grønne båndet

I Figur 3.4 viser vi sammenhengen mellom firekantet og sirkulær måte å fremstille resultater på. Horisontalt varierer vi φ og vertikalt varierer vi θ . Intensitetsvariasjoner (i dB) beskrives med fargekoding og er for hver figur vist på høyre side. Rødt er kraftig ekko og blått er svakere ekko. I den firekantede figuren er resultatet for $\theta = 0$ og $-90 \leq \varphi \leq 90$ tegnet som en linje mens det i den sirkulære figuren kun er et punkt. Tilsvarende er endepunktene og hjørnene i det firekantede plottet dratt sammen i den sirkulære versjonen.

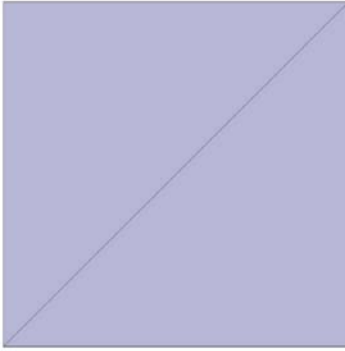


Figur 3.4 Begge figurer viser beregnet monostatisk RCS for en plate med areal 1 m^2 . Forskjellen er at figuren til høyre er kvadratisk mens figuren til venstre er sirkulær eller et polarplott.

Vi vil heretter kun presentere resultater med sirkulære plot siden dette gir en mer intuitiv forståelse av kuleskallsberegningene.

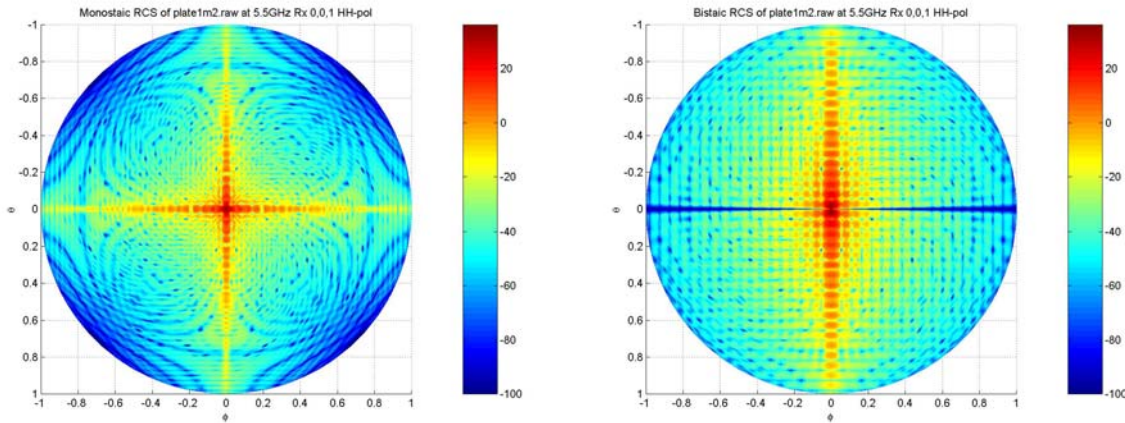
3.2 RCS-beregning av plane plater

Vi starter med det enkleste objektet vi har beregnet radartverrsnittet av, en plan flat plate. Platen kan beskrives med to trekanten / fasetter som vist i Figur 3.5.



Figur 3.5 Flat plate beskrevet med to trekanter

I Figur 3.8 er resultatene fra simuleringer på platen med både monostatisk og bistatisk konfigurasjon vist. Resultatene er for en plan plate med areal på $A = 1 \text{ m}^2$ og for en frekvens på $f = 5.5 \text{ GHz}$. Mottageren er plassert normalt over platen og for den bistatiske beregningen er senderen beveget rundt platen på et halvkuleskall som illustrert i Figur 3.2. Monostatisk er sender og mottager alltid plassert i samme punkt (de flyttes sammen rundt på halvkuleskallet).

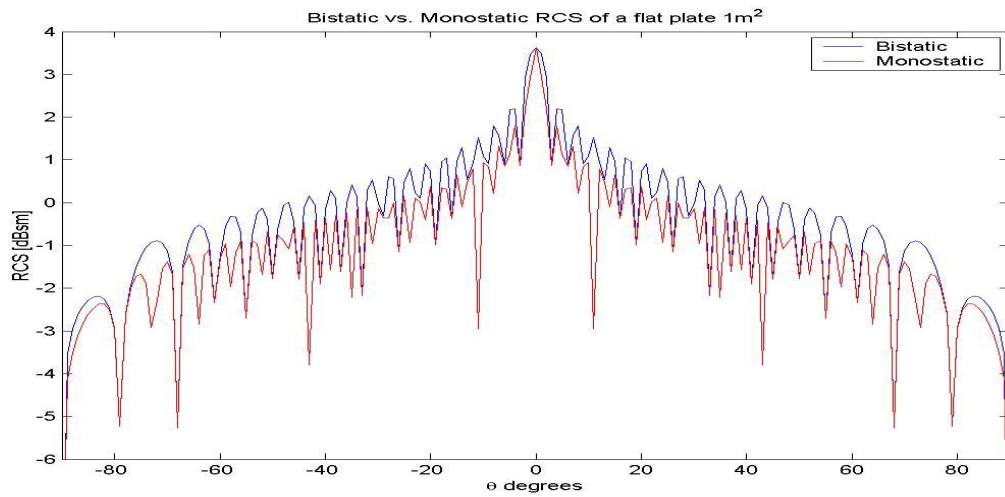


Figur 3.6 Beregnet RCS for en flat plate på 1 m^2 ved en frekvens $f = 5.5 \text{ GHz}$ og HH-polarisasjon. Til høyre monostatisk RCS og til venstre bistatisk RCS.

Maksimal monostatisk RCS for platen er gitt av:

$$\sqrt{\sigma} = \frac{4\pi A^2}{\lambda^2} \quad (3.3)$$

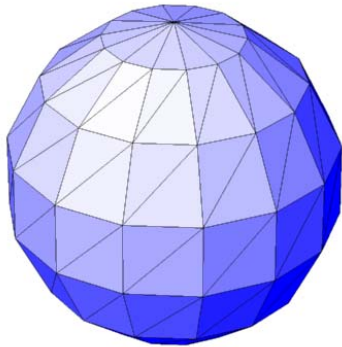
for en plate på 1 m^2 og en frekvens på 5.5 GHz er maksimal RCS = 22.86 dBsm dette stemmer bra med resultatene fra beregningene. Når vi sammenligner de mono- og bistatiske resultatene er det fremtredene forskjeller; polarisasjonseffekten og bredheten på hovedrefleksjonsloben. Samt avstanden mellom nullpunkter som er halvert for den bistatiske oppstillingen som vist i Figur 3.7. For den monostatiske beregningen er alltid sender og mottager polarisasjonen 100% , mens for den bistatiske beregningen vil polarisasjonen til sender og mottager kun være 100% i fase for $\varphi = 0$. For økende verdi av $|\varphi|$ vil polarisasjonen gå mot null. Dette kan sees fra plottet der det beregnede ekko er -100 dBsm som er laveste verdi ut fra simulatoren.



Figur 3.7 Sammenligning av refleksjonsmønstre for mono- og bistatisk refleksjon fra en plan plate

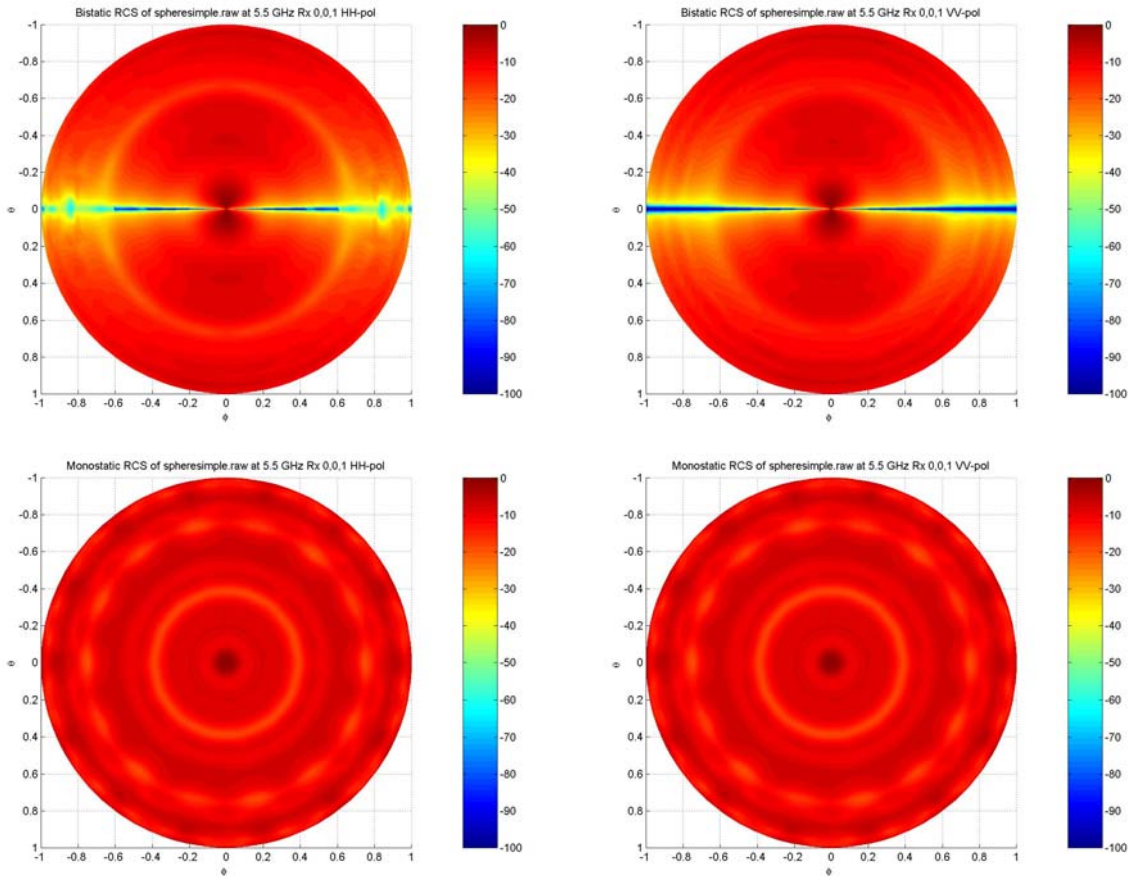
3.3 RCS beregning av en kule

Kulen, illustrert i Figur 3.8, som vi har utført beregninger på er beskrevet med 164 fasetter.



Figur 3.8 Illustrasjon av kulen brukt under beregningene i dette avsnittet

De mono- og bistatiske beregningene for HH- og VV- polarisasjon ved en frekvens på $f=5.5$ GHz av denne kule er vist i Figur 3.9.

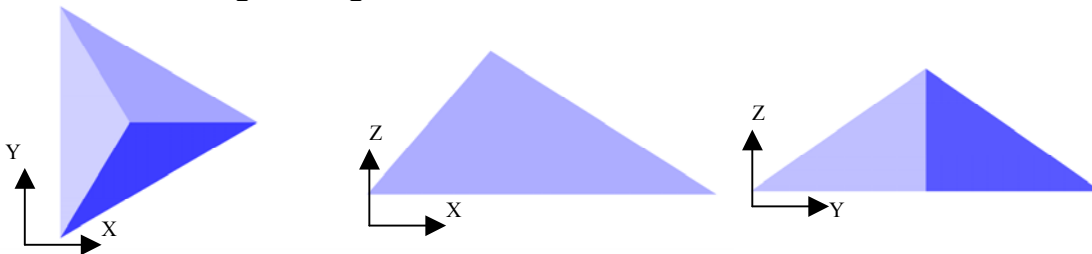


Figur 3.9 RCS av kula fra Figur 3.8 ved en frekvens på $f=5.5$ GHz. De to øverste figurene er bistatisk og de to nederste er monostatisk, til høyre HH-polarisasjon og til venstre VV-polarisasjon.

Av figurene ser vi at de monostatisk beregningene viser, som forventet, at RCS er uavhengig av vinkel til kula og av polarisasjonen. De bistatiske resultatene viser at det kun er polarisasjonen som drar resultatet til minimalverdi ved krysspolarisasjon. Mønsteret som kan sees i figurene skyldes oppløsningen på fasettene i CAD-modellen.

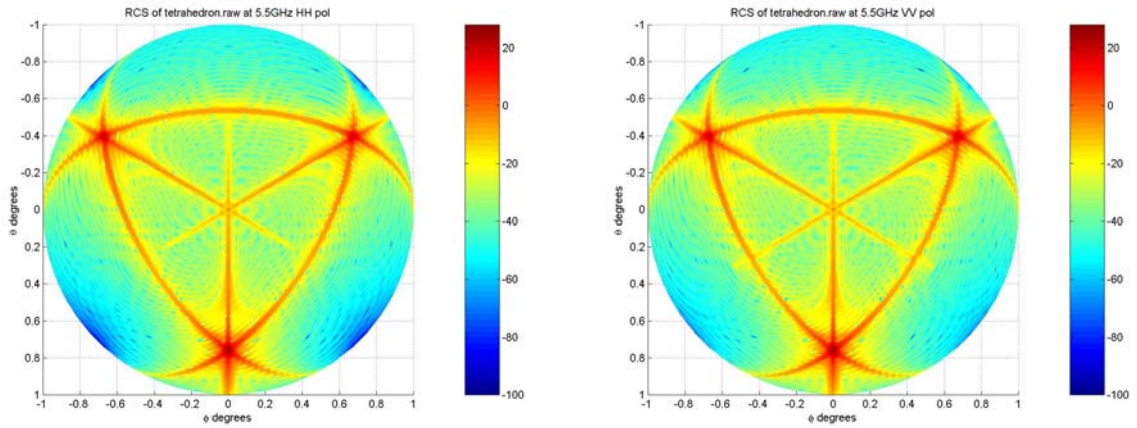
3.4 RCS-beregning av en pyramide

Pyramiden i Figur 3.10 er brukt som input til beregningene i dette avsnittet, pyramidens sidekant har et areal på ca 0.37 m^2 . Pyramiden ble brukt under feilsøking i programmet da en pyramide med sine tre fasetter gir et meget karakteristisk ekko.

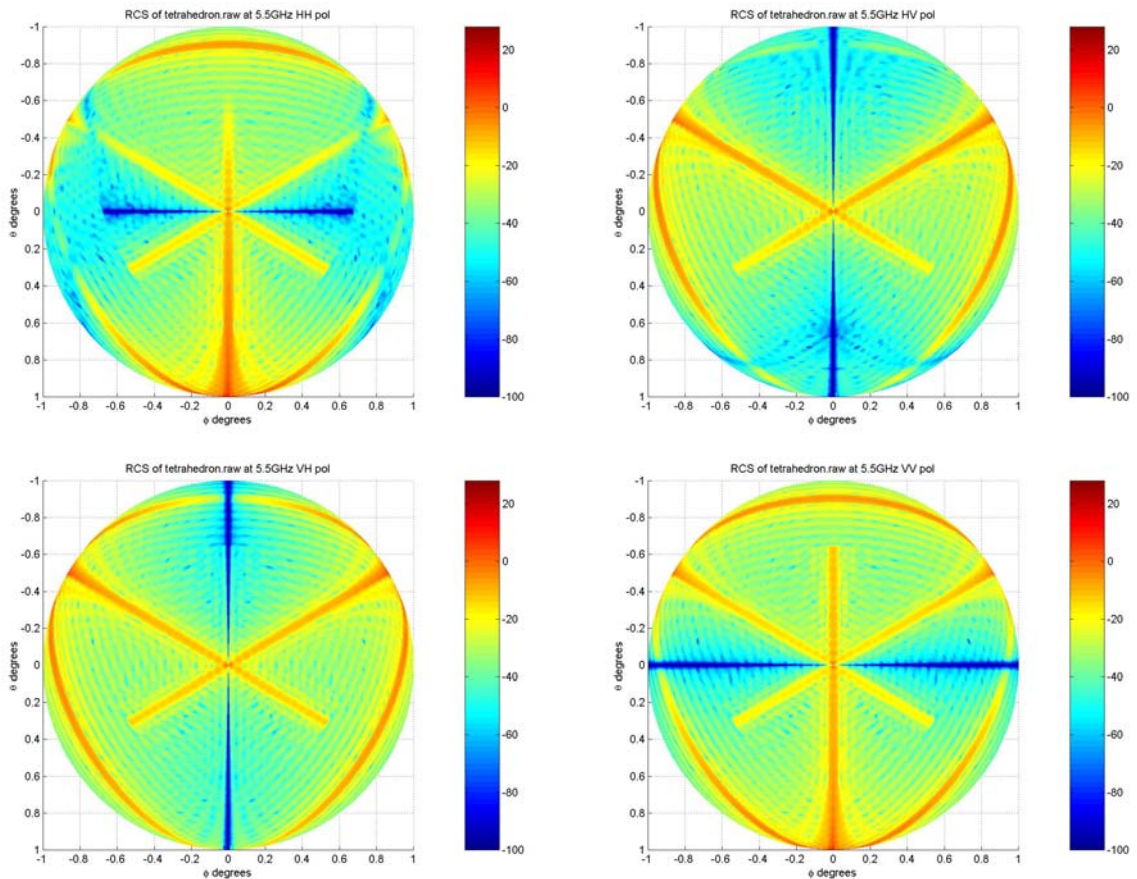


Figur 3.10 Illustrasjon av pyramiden som er brukt som input til beregningene presentert i dette avsnittet

Som vi ser av de monostatiske beregningene i Figur 3.11 er det sterke reflekser når sender og mottager står normalt på en av sidekantene (fasett) til pyramiden for begge polarisasjoner. I de bistatiske beregningene vist i Figur 3.12 er mottageren plassert på den positive z-aksen (mao rett over toppen på pyramiden).



Figur 3.11 Monostatisk RCS av pyramiden vist i Figur 3.10.. HH-polarisasjon til venstre og VV-polarisasjon til høyre ved en frekvens på 5.5 GHz.

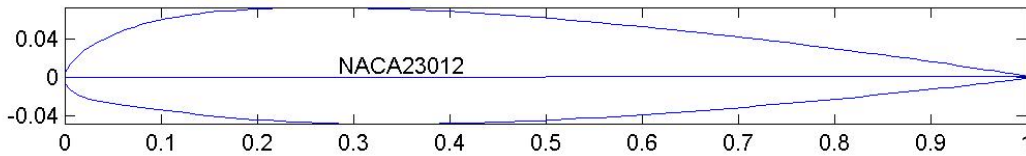


Figur 3.12 Bistatisk RCS av pyramiden vist i Figur 3.10. HH-, HV-, VH- og VV-polarisasjon sett fra venstre topp. Frekvensen er 5.5 GHz.

Figur 3.12 viser den beregnede bistatiske refleksjonene for pyramiden i Figur 3.10 for alle fire polarisasjoner. Den mest fremtredende forskjellen mellom beregningene er polarisasjonseffektene. Sammenligner vi med de monostatiske beregningene, er bredden på ekko og intensiteten den mest fremtredende forskjellen. Når det gjelder intensiteten skal man her huske på at for de monostatiske beregningene står sender og mottager normalt over flatene til enhver tid. Hvilket naturlig resulterer i et sterkere ekko.

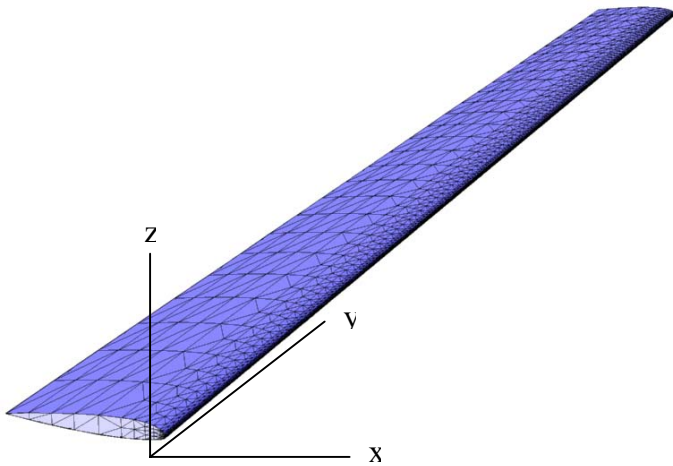
3.5 RCS-beregning av en vingeprofil

En beregning ble utført på vingeprofilen NACA¹ 23012 for å finne dens radartverrsnitt. Dette ble gjort for å sammenligne resultater med reelle målinger mot helikopter utført med vårt bistatiske radarsystem. Helikopteret vi benyttet har en tilsvarende vingeprofil på rotoren. Vingeprofilen er illustrert i Figur 3.13 Den har en tykkelse i forhold til lengde på 12% og maksimal tykkelse er ved 30% av lengden regnet fra forkanten. Profilen har en camber på 20%.



Figur 3.13 Vingeprofilen NACA-23012 som er brukt i beregningene

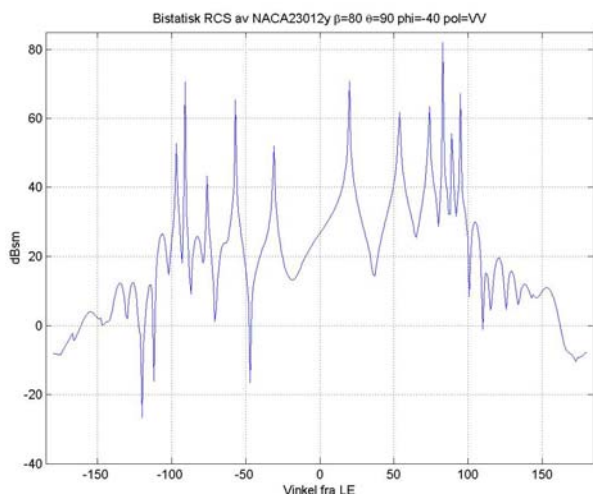
En vinge bygd med NACA-23012 profilen i hele sin lengde og er illustrert i Figur 3.14. Denne vingen er i simuleringene beskrevet med 978 trekkanter.



Figur 3.14 Vingen brukt som input til beregningene i avsnittet, vingens profil er NACA-23012.

Resultatet av beregningen på vingen er vist i Figur 3.15 for en bistatisk oppstilling med bistatisk vinkel på 40° og HH-polarisasjon. For denne beregningen har vi rotert vingen på tvers av lengderetningen slik at det er vingeprofilens refleksjon vi har analysert.

¹ National Advisory Committee for Aeronautics

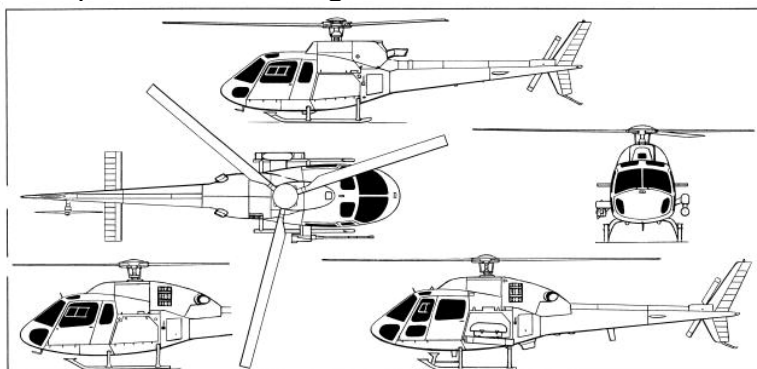


Figur 3.15 Beregningsresultat for vingen i Figur 3.14. Ved $\pm 180^\circ$ er vingen sett rett bakfra og ved -90° rett fra undersiden og ved 90° rett ovenifra. Ved denne oppløsningen på vingeprofilen er det fasettene som beskriver vingen som gir toppene.

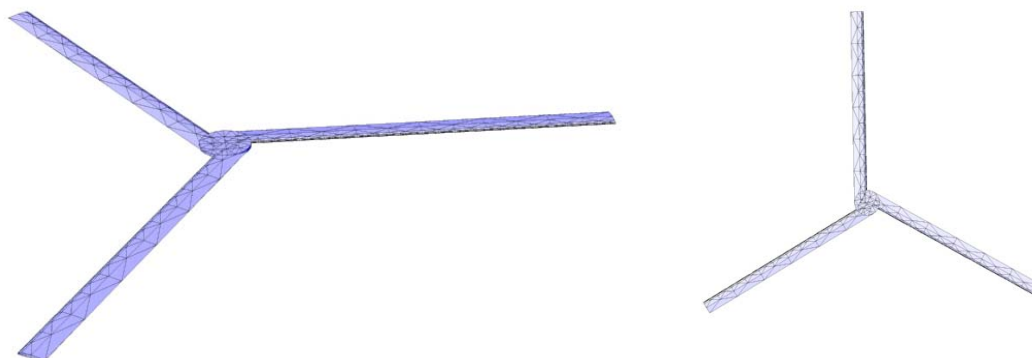
Det vi kan lese ut av disse beregningene er at vi tydelig ser fasettene vingen er beskrevet med.

3.6 RCS-beregning av en helikopterrotor

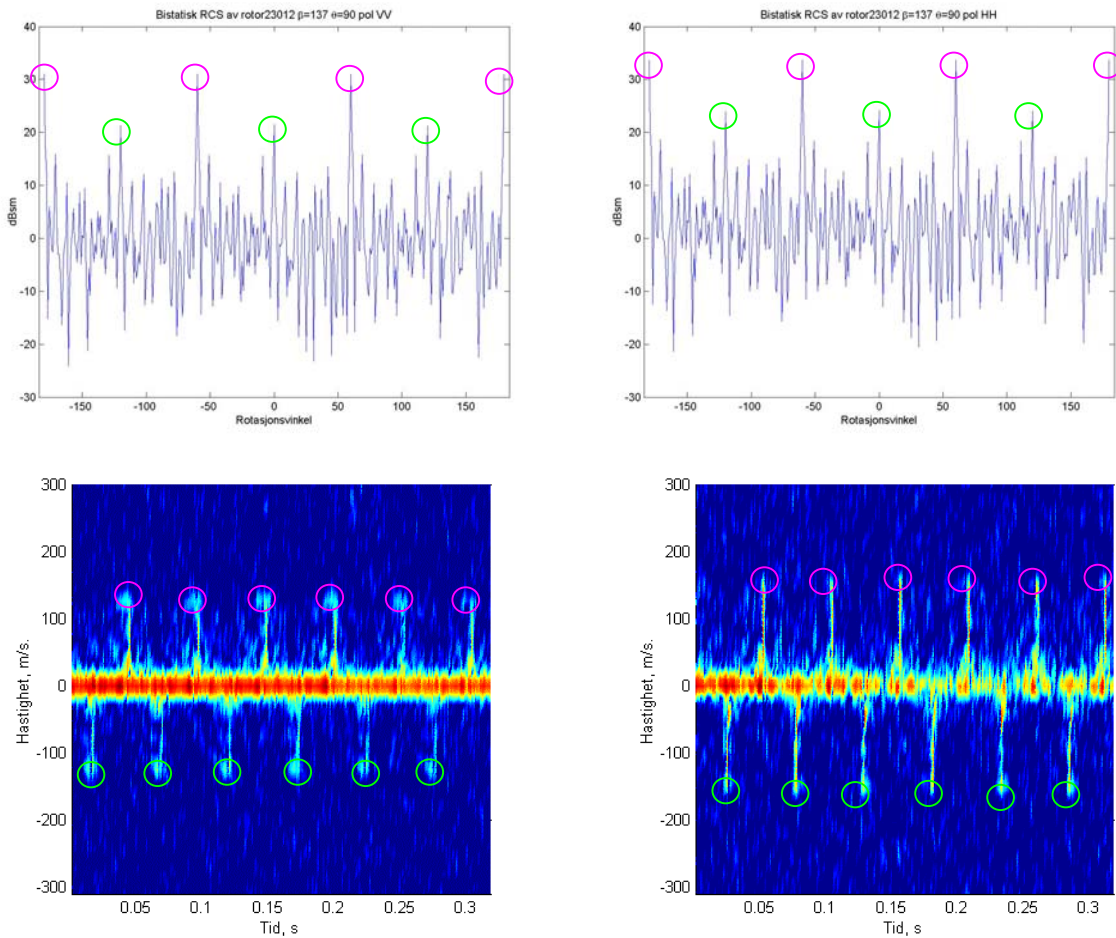
Bakgrunnen for denne beregningen er resultater fra en målekampanje ned bistatisk radar utført med vårt eksperimentelle bistatiske radarsystem. Helikopteret målingene ble utført mot er et Eurocopter AS350 B2, se treplansskisse vist i Figur 3.16. Helikopterrotoren som vi beregner radartvernsnittet av benytter vingeprofilen fra avsnitt 3.5. En illustrasjon av den modellerte helikopterrotor er vist i Figur 3.17.



Figur 3.16 Treplansskisse av Eurocopter AS350 B2

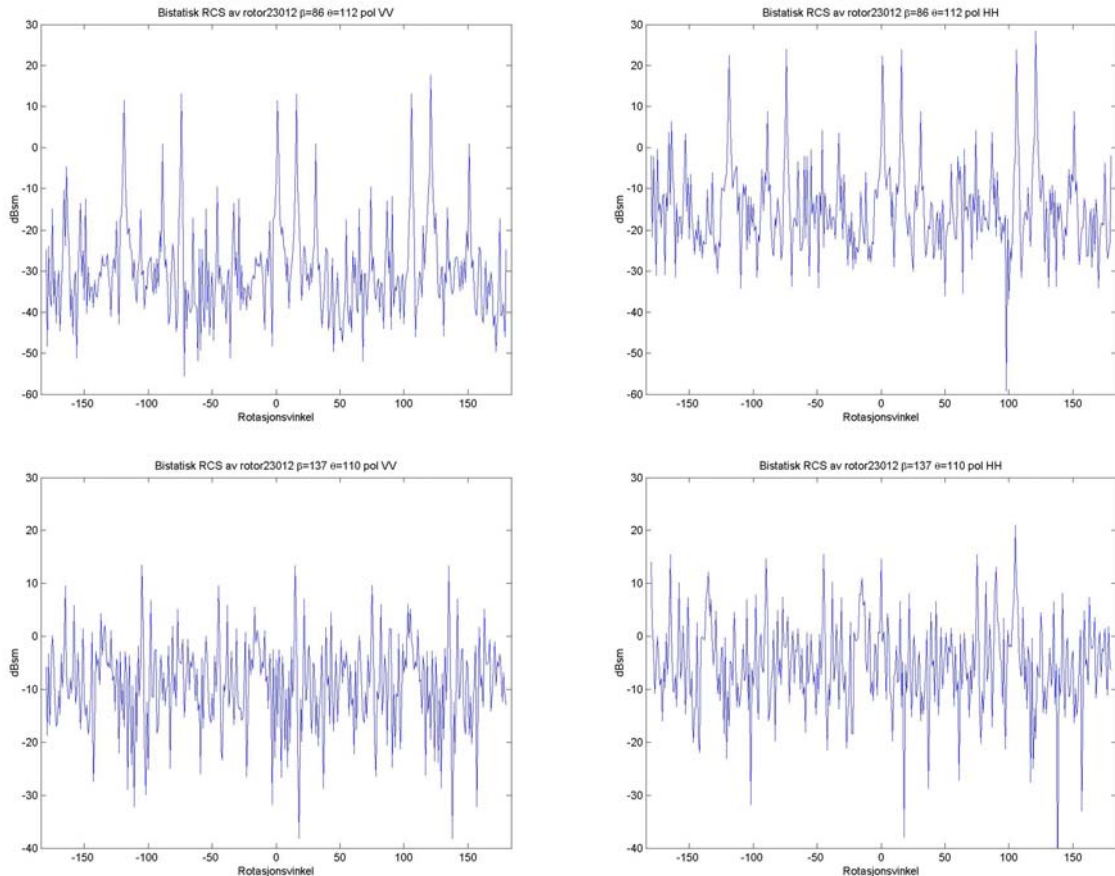


Figur 3.17 Modellering av helikopterrotoren til en Eurocopter AS350 B2. Rotordiameter er 10.69m med en korde på 0.35m modellert vingeprofil er NACA-23012.



Figur 3.18 De to øverste plottene viser beregnet bistatisk RCS for en helikopterrotor ved en frekvens på 5.9 GHz. VV-polarisasjon til venstre og HH-polarisasjon til høyre. Bistatisk vinkel for beregningene er $\beta = 137^\circ$. Både sender og mottager er plassert i rotorens rotasjonsplan. Rosa sirkel er refleksjon fra rotorens forside mens grønn sirkel er refleksjon fra rotorens bakside. De to nederste plottene viser resultater fra helikopter målinger utført med prosjektets bistatiske radar. Strekene oppover (positiv hastighet) er refleksjoner fra fronten av rotoren og strekene nedover (negativ hastighet) er refleksjoner fra baksiden av rotoren. Når man sammenligner beregnede verdier med måledata er det.

Fra de beregnede verdiene presentert i Figur 3.18 ser vi tydelig at rotoren gir distinkte refleksjoner hver gang vi ser rett på et rotorblad forfra og bakfra. Refleksjonen er kraftigere sett forfra pga rotorens areal er større forfra enn bakfra. Polarisasjonen har også betydning for refleksjonen, refleksjonen er kraftigst for horisontal polarisasjon hvilket er en naturlig følge av rotorens geometri. Måleresultatene viser klare likhetstrekk med de beregnede verdiene.



Figur 3.19 Beregnet bistatisk RCS for helikopterrotoren fra Figur 3.17. De to øverste plottene viser beregnet RCS for en bistatisk vinkel på $\beta = 86^\circ$ og 22° under rotorens rotasjonsplan. De to nederste plottene viser beregnet RCS for en bistatisk vinkel på $\beta = 137^\circ$ og 20° under rotorens rotasjonsplan. Til venstre VV-polarisasjon og til høyre HH-polarisasjon.

Både for bistatisk vinkel $\beta = 86^\circ$ og $\beta = 137^\circ$ ser vi klart tre par av hovedrefleksjoner fra fronten av rotoren. Refleksjonen fra baksiden av rotoren forsvinner noe i strøpspredning fra andre deler av rotoren. RCS for HH-polarisasjon er noe høyere enn for VV-polarisasjon.

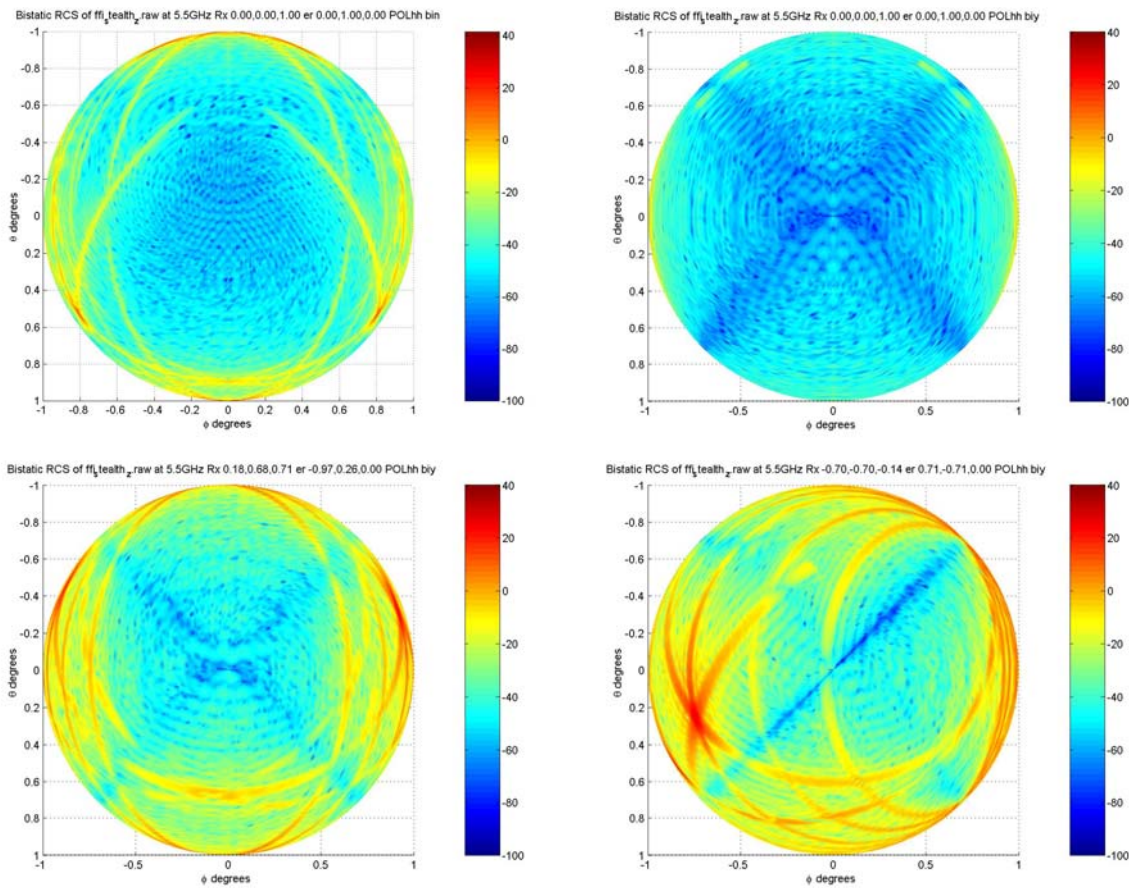
3.7 RCS-beregning av et lavsignaturfly

I dette avsnittet presenterer vi beregninger gjort mot et generisk lavsignaturobjekt vist i Figur 3.20. Dimensjoner for flyet er: vingespenn 3m, kroppslengde 4.5m og høyde 0.5m.



Figur 3.20 Lavsignaturflyet, som er brukt som input til lavsignaturanalysen.

I Figur 3.21 viser vi resultatene fra RCS-beregningene mot lavsignaturflyet vist i Figur 3.20. Frekvensen er 5.5 GHz og polarisasjonen er HH. For den bistatiske beregningen var mottageren plassert rett foran flyet.



Figur 3.21 To øverste plott viser mono- og bistatisk RCS- diagram for lavsignaturflyet fra Figur 3.20. Frekvensen er 5.5 GHz og polarisasjonen er HH. I den bistatiske beregningen er mottageren plassert rett foran objektet. De to nederste viser bistatiske plott. Til venstre med mottager plassert 5° over horisontalplanet langs x-aksen. Til høyre med mottager plassert 8° under horisontalplanet 225° ut fra positiv x-akse. På bakgrunn av resultatene ser man at mottatt refleksjon er svært geometri avhengig.

Som vi ser av resultatene, presentert i de to øverste plottene, er det forskjeller mellom det mono- og bistatiske resultatet. Det man skal merke seg er at flyet i det bistatiske tilfellet er sett rett forfra, hvor det er optimalisert for lav signatur. Hovedårsaken til de kraftige refleksjonene i det monostatistiske tilfellet er at vi står normalt ut i fra fasettene. I den bistatiske beregningen er mottageren stasjonært plassert rett i front av flyet og vi får, som forventet, ingen spekulær refleksjon. For de to nederste plottene er mottager plassert, for venstre plott, 5° over horisontalplanet langs x-aksen og i høyre plott med mottager plassert 8° under horisontalplanet 225° ut fra positiv x-akse. Resultatet presentert i de venstre plottet viser at man med et bistatisk radarsystem kan ha en høyere deteksjonssannsynlighet enn med et monostatisk radarsystem.

4 MONO-, BI- OG MULTISTATISK DETEKSJONSSANNSYNLIGHET

Motivasjonen for å gjøre disse beregningene var at vi ønsket å belyse mono-, bi- og multistatisk deteksjonssannsynlighet.

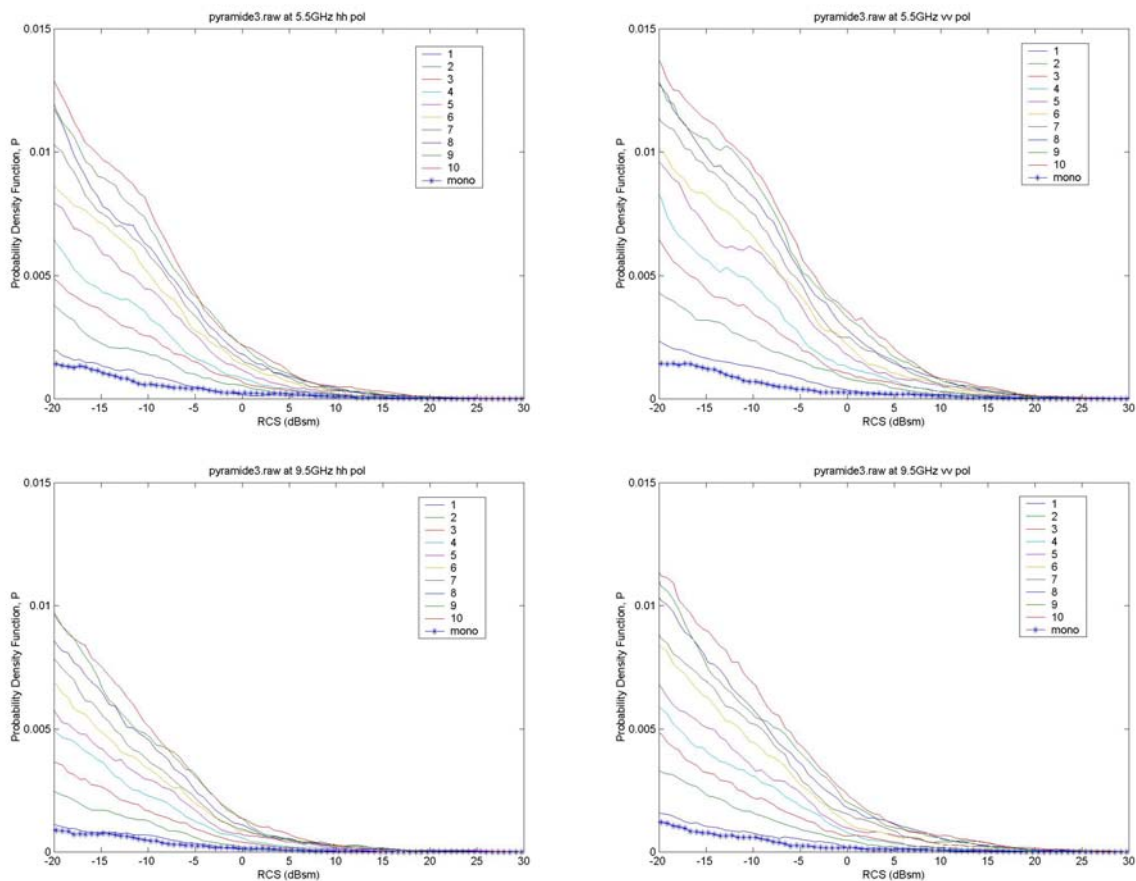
4.1 Modellering av scenario

Her vil vi gi en beskrivelse av betingelsene som ble satt for deteksjonssannsynlighets-

beregningene. Vi deler oppsettet i to; monostatistiske og bi- og multistatiske bergninger. For den monostatistiske er sender og mottager plassert på samme punkt, for de bi- og multistatiske konfigurasjonene er sender(e) og mottager lokalisert på forskjellige punkter. For den multistatiske beregningen har vi én mottager og N sendere. For hver runde i beregningsprogrammet trekkes tilfeldig mottagerens lokasjon. Deretter trekkes N senderlokasjoner og vi beregner deteksjonssannsynligheten for denne konfigurasjonen. På denne måten får vi plassert sender(e) og mottager tilfeldig rundt objektet vi analyserer. For hvert av de N sender og mottager parene beregner vi objektets RCS. Det paret med høyest RCS verdi blir tatt vare på fra denne beregningen. Dette gjentar vi M ganger, for beregningene presentert i denne rapporten er M alltid 10000 . Størrelsen på M er en avveining mellom tiden det tar å gjøre beregningene og variansen til resultatene. Hvis den tilfeldige lokasjonen alt er i bruk blir den forkastet, slik forsikrer vi oss mot at ingen sendere er lokalisert på samme punkt.

4.2 Mono-, bi- og multistatisk deteksjonssannsynlighet for en pyramide

Figur 4.1 viser beregnet romlige deteksjonssannsynlighet, for pyramiden vist i Figur 3.10, som en funksjon av antall sendere. Frekvensen er $f=5.5\text{ GHz}$ og 9.5 GHz , polarisasjonen er HH og VV. Antall sendere er variert fra 1-10.



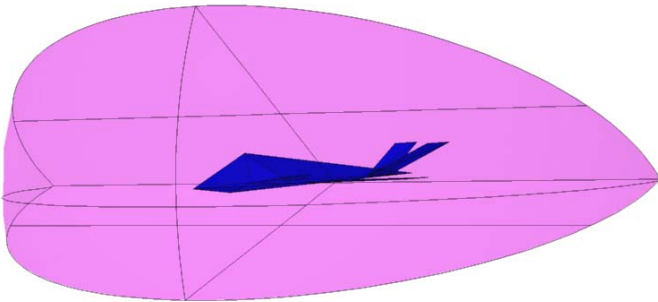
Figur 4.1 Beregnet romlig deteksjonssannsynlighet for pyramiden i Figur 3.10. Frekvensen er for de to øverste figurene 5.5 GHz og 9.5 GHz for de to nederste. Til venstre har vi i HH-polarisasjon og til høyre VV-polarisasjon. Blå linje med stjerner viser monostatisk deteksjonssannsynlighet, mens de andre linjene viser resultatene for bi- og multistatisk konfigurasjon. Figuren viser at deteksjonssannsynligheten øker med antall sendere.

Plottene i Figur 4.1 viser den romlige deteksjonssannsynligheten for pyramiden i Figur 3.10. Langs x-aksen varieres mottatt RCS verdi fra -20 dBsm til 30 dBsm . Hvis vi går inn på x-aksen

for -10 dBsm og leser av y-aksen finner vi sannsynligheten for at mottageren skal "se" en refleksjon med intensitet på -10 dBsm reflektert fra pyramiden. Figur 4.1 viser at den romlige deteksjonssannsynligheten øker med økende antall sendere. Fra plottene kan man også se at ved spekulærrefleksjon har man intet å vinne på å gå fra mono- til bistatisk radar. Dette fordi når man ser normalt inn på en reflektor alt har maksimal refleksjon. Deteksjonssannsynligheten øker jevnt til vi når ca 8 sendere da avtar økningen noe. Vi legger også merke til at vi har en noe høyere deteksjonssannsynlighet ved 5.5 GHz enn ved 9.5 GHz. Resultatene viser små variasjoner mellom de forskjellige polarisasjoner.

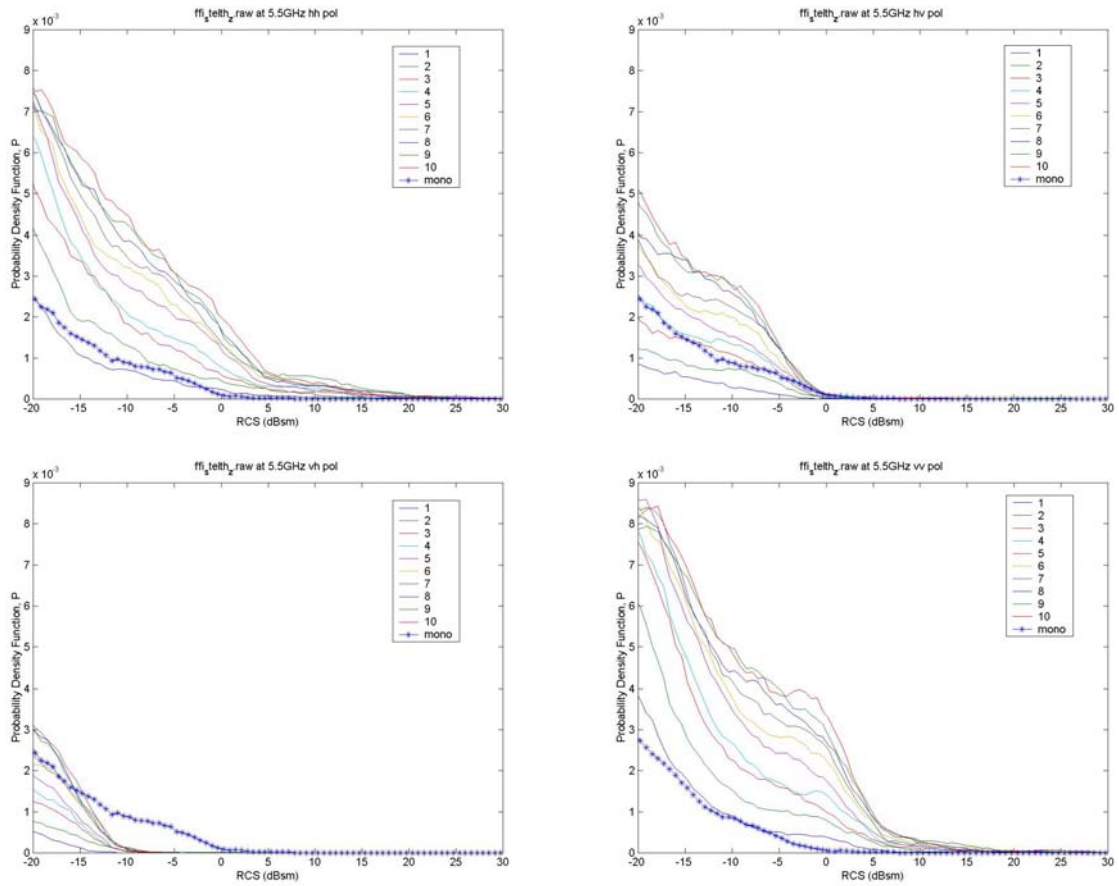
4.3 Mono-, bi- og multistatisk deteksjonssannsynlighet for et lavsignaturfly

For å gjøre mer realistiske simuleringer beregnet vi mono-, bi- og multistatisk romlig deteksjonssannsynlighet av lavsignaturmålet fra Figur 3.20. Vi satte begrensninger på hvor i rommet objektet kunne være: elevasjon mellom -20° og 10° og asimut mellom -90° og 90° . Disse vinklene er gitt relativt til objektets lokale nullpunkt. Dette er forsøkt illustrert i Figur 4.2. Vi mener dette avspeiler et reelt operativt scenario.

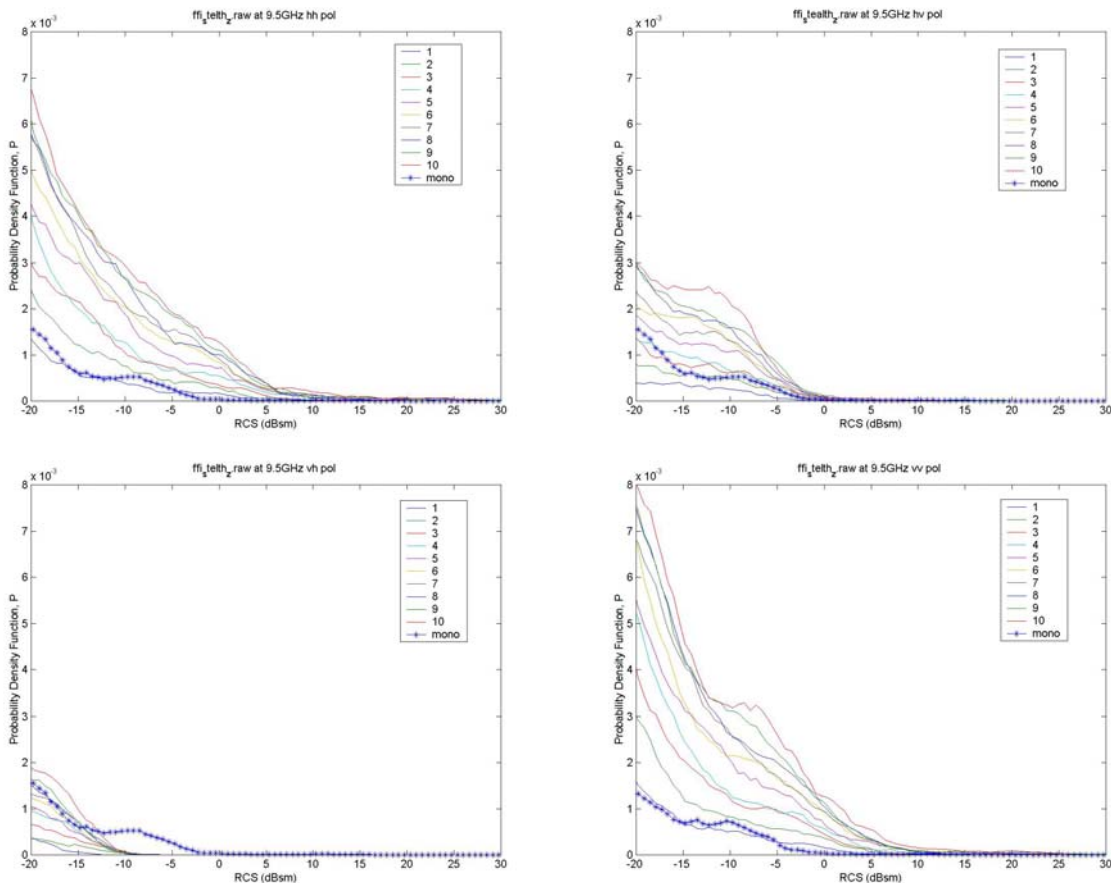


Figur 4.2 Illustrasjon av randbetingelsene for sannsynlighetsberegningene utført mot flyet fra Figur 3.20. Begrensninger på hvor i rommet objektet kan være er: elevasjon mellom -20° og 10° og asimut mellom -90° og 90° disse vinklene er relativt til objektets lokale nullpunkt Objektet kan roteres fritt om alle tre aksene.

Figur 4.3 og Figur 4.4 viser den romlige deteksjonssannsynligheten beregnet for 5.5 og 9.5 GHz for HH-, HV-, VH- og VV-polarisasjon.



Figur 4.3 Beregnet deteksjonssannsynlighet for lavsignaturflyet i Figur 3.20. For en frekvensen på 5.5 GHz. Sett fra øverste venstre hjørne har vi resultater for HH-, HV-, VH- og VV-polarisasjon.



Figur 4.4 Beregnet deteksjonssannsynlighet for lavsignaturflyet i Figur 3.20. For en frekvensen på 9.5 GHz. Sett fra øverste venstre hjørne har vi resultater for HH-, HV-, VH- og VV-polarisasjon

Beregningene både for 5.5 og 9.5 GHz viser at den romlige deteksjonssannsynligheten øker med antall sendere som belyser objektet. Videre viser resultatene at for spekulærrefleksjoner er det ikke noe å hente på å bruke flere sendere, men for spredning utenfor hovedrefleksjonsloben er det mye å hente på å benytte et multistatisk radarsystem. Et annet interessant resultat er at man ikke vinner noe ved å gå fra mono- til bistatisk radar. Konklusjonen er at man må bruke et multistatisk radarsystem med to eller flere sendere for å få en høyere deteksjonssannsynlighet enn med et monostatisk radarsystem. Forskjellen mellom resultatene for 5.5 og 9.5 GHz er at man for 9.5 GHz har en noe lavere deteksjonssannsynlighet enn ved 5.5 GHz. Dette kommer primært av at hovedspredningsloben er smalere ved 9.5 GHz enn ved 5.5 GHz. Sagt på en annen måte trenger en færre sendere ved 5.5 GHz enn ved 9.5 GHz for å oppnå samme deteksjonssannsynlighet. Et annet poeng her er at lokasjonene til sender(e) og mottager ble trukket tilfeldig. I en operativ sammenheng vil man nøye vurdere plassering for å få optimal dekningsgrad. Hvilket sannsynligvis vil medføre langt høyere deteksjonssannsynlighet enn den vi har vist med våre beregninger.

5 KONKLUSJON

Simuleringsresultatene presentert i denne rapporten viser at et multistatisk radarsystem har en signifikant høyere deteksjonssannsynlighet enn et monostatisk radarsystem mot et lavsignaturobjekt. Simuleringene viser også at desto flere sendere som belyser et objekt desto større blir sannsynligheten for å fange opp noe av den reflekterte energien og dermed detektere og følge objektet.

Vi har også vist at et objekts radartverrsnitt forandrer seg med frekvens, hvilket gjenspeiles i deteksjonssannsynlighetsberegningene. Hvor vi har vist at man ved en frekvens på 5.5 GHz har en høyere deteksjonssannsynlighet enn ved 9.5 GHz . Fra deteksjonssannsynlighetsberegningene ser man at ved spekulærrefleksjon har man intet å vinne på å gå fra mono- til bistatisk radar. Dette fordi når man ser normalt inn på en reflektor alt har maksimal refleksjon.

Sammenligning mellom beregnede verdier og måledata viser klare sammenhenger.

Det skal dog bemerkes at alle beregningene er utført med en modell som er basert på fysikalsk optikk og strålefølging. Annen ordens effekter, diffraksjonsspredning og egenspredning er ikke inkludert i beregningsmodellen.

Litteratur

- (1) GUNDERSEN R (2002): Mono- og bistatisk radartverrsnittsberegningsprogram, 2002/01749, ugradert
- (2) Norland R, Gundersen R (2001): A Multistatic Low Probability of Intercept Concept for Low-level Air Defence, NATO-RTO Symposium on Passive and LPI Radio Frequency Sensors, Warsaw, Poland, 23-25/4-2001, NATO RESTRICTED
- (3) Gundersen R, Norland R (2001): Spatial predictions of the probability of detection of low signature targets using bistatic and multistatic radar systems versus monostatic radar systems, NATO-RTO Symposium on Passive and LPI Radio Frequency Sensors, Warsaw, Poland, 23-25/4-2001
- (4) Johnsen T (2001): Synchronisation of a Multistatic Radar System using Reference Oscillators Disciplined to GPS, NATO-RTO Symposium on Passive and LPI Radio Frequency Sensors, Warsaw, Poland, 23-25/4-2001, NATO RESTRICTED
- (5) Olsen K E, Johnsen T (2001): Predictions of multistatic radar coverage over hilly terrain, NATO-RTO Symposium on Passive and LPI Radio Frequency Sensors, Warsaw, Poland, 23-25/4-2001

FORDELINGSLISTE

FFIE
Dato: 13 juni 2002

RAPPORTTYPE (KRYSS AV) <input checked="" type="checkbox"/> RAPP <input type="checkbox"/> NOTAT <input type="checkbox"/> RR		RAPPORT NR. 2002/01750	REFERANSE FFIE/170/726	RAPPORTENS DATO 13 juni 2002
RAPPORTENS BESKYTTELSESGRAD UGRADERT		ANTALL EKS UTSTEDT 29	ANTALL SIDER 25	
RAPPORTENS TITTEL BEREGNING AV DETEKSJONSSANSYNLIGHET FOR MONO-, BI- OG MULTISTATISKE RADARSYSTEMER		FORFATTER(E) GUNDERSEN Rune		
FORDELING GODKJENT AV FORSKNINGSSJEF John-Mikal Størdal		FORDELING GODKJENT AV AVDELINGSSJEF: Johnny Bardal		

EKSTERN FORDELING
INTERN FORDELING

ANTALL	EKS NR	TIL	ANTALL	EKS NR	TIL
1		Major Sverre Vestad, LVI	14		FFI-Bibl
1		Rådgiver Tore Belsnes, FO/E	1		Adm direktør/stabssjef
1		FO/SST	1		FFIE
1		IKT System Partner AS	1		FFISYS
		P.O.Box 5061	1		FFIBM
		NO-1503 Moss	1		FFIN
			1		Forfatter
			5		Restopplag til Bibl.
					Elektronisk fordeling:
					Ivar Tansem, FFIE
					Steinar Johnsrud, FFIE
					Per Sørnes, FFIE
					Morten Søderblom, FFIE
					Rune Gundersen, FFIE
					Svein Erik Hamran, FFIE
					Hans Øhra, FFIE
					Kirsten Kvernsveen, FFIE
					Stein Malerud, FFISYS
					Frode Berg Olsen, FFIE
					Jahn Andreas Mæland, FFIE
					John-Mikal Størdal, FFIE
					Halvor Bjordal, FFIE
					Karl Erik Olsen, FFIE
					Terje Johnsen, FFIE
					FFI-veven

FFI-K1

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