

# **FFI RAPPORT**

## **MONO- OG BISTATISK RADARTVERRSNITTSBEREGNINGS- PROGRAM**

GUNDERSEN Rune

**FFI/RAPPORT-2002/01749**



FFIE/726/170

Godkjent  
Kjeller 29 mai 2002

John-Mikal Størdal  
Forskningsjef

**MONO- OG BISTATISK  
RADARTVERRSNITTSBEREGNINGS-PROGRAM**

GUNDERSEN Rune

FFI/RAPPORT-2002/01749

**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-2002/01749 1a) PROJECT REFERENCE FFIE/726/170	2) SECURITY CLASSIFICATION UNCLASSIFIED 2a) DECLASSIFICATION/DOWNGRADING SCHEDULE -	3) NUMBER OF PAGES		
4) TITLE MONO- OG BISTATISK RADARTVERRSNITTSBEREGNINGS-PROGRAM  PREDICTION OF MONO- AND BISTATIC RCS				
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: <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;">           a) <u>  Radar  </u>            b) <u>  Radar Cross-Section  </u>            c) <u>  RCS-Prediction  </u>            d) <u>  Bistatic Radar  </u>            e) <u>                          </u> </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top;">           IN NORWEGIAN:            a) <u>  Radar  </u>            b) <u>  Radartverrsnitt  </u>            c) <u>  Radartverrsnittsberegninger  </u>            d) <u>  Bistatisk radar  </u>            e) <u>                          </u> </td> </tr> </table>			a) <u>  Radar  </u> b) <u>  Radar Cross-Section  </u> c) <u>  RCS-Prediction  </u> d) <u>  Bistatic Radar  </u> e) <u>                          </u>	IN NORWEGIAN: a) <u>  Radar  </u> b) <u>  Radartverrsnitt  </u> c) <u>  Radartverrsnittsberegninger  </u> d) <u>  Bistatisk radar  </u> e) <u>                          </u>
a) <u>  Radar  </u> b) <u>  Radar Cross-Section  </u> c) <u>  RCS-Prediction  </u> d) <u>  Bistatic Radar  </u> e) <u>                          </u>	IN NORWEGIAN: a) <u>  Radar  </u> b) <u>  Radartverrsnitt  </u> c) <u>  Radartverrsnittsberegninger  </u> d) <u>  Bistatisk radar  </u> e) <u>                          </u>			
THESAURUS REFERENCE: INSPEC 1999. ISBN 0 85296 966 X				
8) ABSTRACT <p>In this report we describe a simulator, which is capable of predicting mono-, bi- and multistatic Radar Cross Section (RCS) of Computer Aided Design (CAD)-generated objects. The model is based on physical optics (PO) and ray tracing. The model was developed because we wanted to know if we could expect a higher probability of detection of stealthy objects from a multistatic radar system than from a monostatic radar system. The simulator described in this report is the result of this work.</p>				
9) DATE  29. May 2002	AUTHORIZED BY This page only  John-Mikal Størdal	POSITION  Director of Research		

ISBN-82-464-0633-7

**UNCLASSIFIED**

**SECURITY CLASSIFICATION OF THIS PAGE**  
 (when data entered)



**INNHOOLD**

	<b>Side</b>	
1	INNLEDNING	7
2	BAKGRUNN	7
3	TEORI	8
3.1	Definisjon av radartverrsnitt	8
3.2	Polarisasjon	8
3.3	Bistatisk radartverrsnitt	9
4	ENTYDIG DEFINISJON AV OBJEKTER/GEOMETRIER	10
5	BEREGNINGESRESULTATER	11
5.1	Presentasjonsform av resultatene	11
5.2	Resultater	12
6	BEGRENSNINGER	13
6.1	Frekvensbegrensninger	14
6.2	Diffraksjons effekter	14
6.3	Egenskygging	14
6.4	Egenspredning	14
7	VEIEN VIDERE/FREMTIDIGE MODIFIKASJONER	15
8	KONKLUSJON	15
	Litteratur	17
	Fordelingsliste	19





## **MONO- OG BISTATISK RADARTVERRSNITTSBEREGNINGS-PROGRAM**

### **1 INNLEDNING**

I denne rapporten beskrives et radartverrsnittsberegningsprogram utviklet ved FFI. Ved hjelp av programmet kan objekters mono- og bistatiske radartverrsnitt beregnes. Programmet er i sin helhet utviklet ved FFI da det ved arbeidets oppstart ikke eksisterte kommersielt tilgjengelige programmer for beregning av bistatisk radartverrsnitt. Motivasjonen for å utvikle programmet var å undersøke om et bi- eller multistatisk radarsystem har en høyere sannsynlighet for å oppdage og følge lavsignatur objekter enn et monostatisk radarsystem.

Kapittel 2 inneholder litt om bakgrunnen for aktiviteten Digital Multistatisk Radar (DiMuRa) ved FFI.

Kapittel 3 er en gjennomgang av den grunnleggende teorien som beregningsprogrammet er bygd opp rundt.

I kapittel 4 beskriver vi hvordan vi definerer de geometriske objektene brukt som input til beregningene.

I kapittel 5 omtales de begrensningene som ligger i programmet og dermed i resultatene.

Kapittel 6 beskriver vi hva vi ser for oss å gjøre med programmet i fremtiden.

Kapittel 7 er viet oppsummering og konklusjoner.

### **2 BAKGRUNN**

Ved FFI har det pågått en aktivitet hvis hovedformål har vært å studere og evaluere et bi- og multistatiske radarsystem. 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:

- Bruk av bi- og multistatisk radar for kortholds luftvern (3)
- Analyse og sammenligning av mono-, bi- og multistatisk deteksjonssannsynlighet (4)
- Synkronisering (5)
- Utvikling av en mono-, bi- og multistatisk radardekningsgradssimulator (6)

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 TEORI

Noen full gjennomgang av elektromagnetisk teori og utledning av formelverket er ikke hensikten med dette kapitlet. Vi kommer derfor bare til å ta det helt nødvendige for å få en full forståelse av hvilke fysiske prinsipper beregningsprogrammet bygger på og hvilke begrensninger som ligger i programmet og gyldighetsområdet for resultatene det produserer.

#### 3.1 Definisjon av radartverrsnitt

Et objekt som belyses med elektromagnetiske bølger vil reflektere disse bølgene i alle retninger i rommet. Objektets evne til romlig å reflektere energien i de innkommende elektromagnetiske bølgene kaller vi objektets spredningsevne. Energien av de reflekterte bølgene som når en radarmottager utgjør objektets radarekko. Dette ekkoet kaller vi objektets radartverrsnitt (RCS) og dette er definert som:

$$\sigma = \lim_{R \rightarrow \infty} 4\pi R^2 \frac{|E_s|^2}{|E_0|^2} \quad (3.1)$$

hvor  $E_s$  er styrken på det elektriske feltet ved objektet og  $E_0$  er styrken på det elektriske feltet som reflekteres fra objektet og plukkes opp av radaren.  $R$  er avstanden fra objektet til en radarmottager som er plassert langt fra nærfeltsområdet til objektet.

#### 3.2 Polarisasjon

Radartverrsnittet er en funksjon av polarisasjonen til den utsendte og reflekterte bølgen. Vi har fire mulige kombinasjoner av polarisasjoner: horisontal - horisontal (HH), horisontal - vertikal (HV), vertikal - horisontal (VH) og vertikal - vertikal (VV). Gjennom hele rapporten vil første bokstav henvise til senderens polarisasjon og andre bokstav til mottagerens polarisasjon.

Polarisasjonen er i programmet definert som :

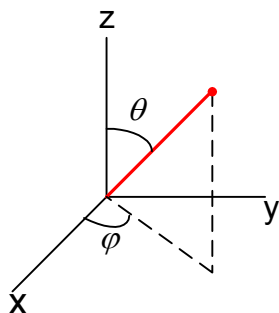
for sender:

$$\begin{aligned} \hat{E}_{T_x V} &= [\sin(\varphi), \cos(\varphi), 0] \text{ for V-polarisasjon} \\ \hat{E}_{T_x H} &= (\hat{E}_{T_x V} \times \hat{T}_x) \text{ for H-polarisasjon} \end{aligned} \quad (3.2)$$

for mottager:

$$\begin{aligned} \hat{E}_{R_x V} &= [-\cos(\theta)\cos(\varphi), -\cos(\theta)\sin(\varphi), \sin(\theta)] \text{ for V-polarisasjon} \\ \hat{E}_{R_x H} &= (\hat{E}_{R_x V} \times \hat{R}_x) \text{ for H-polarisasjon} \end{aligned} \quad (3.3)$$

hvor  $\hat{T}_x$  og  $\hat{R}_x$  er vektorer fra et lokalt origo til senderens ( $T_x$ ) og mottagerens ( $R_x$ ) posisjon.  $\hat{E}_{T_x V}$ ,  $\hat{E}_{T_x H}$ ,  $\hat{E}_{R_x V}$  og  $\hat{E}_{R_x H}$  er retningen på det elektriske feltet ved henholdsvis sender og mottager med polarisasjon angitt ved V og H.  $\varphi$  og  $\theta$  er definert i figuren under.



Figur 3.1 Definisjon av vinklene  $\varphi$  og  $\theta$ .  $\varphi$  defineres ut i fra positiv x-akse i xy-planet og  $\theta$  defineres ut i fra positiv z-aksen.

$\varphi$  er definert som vinkelen fra positiv x-akse i xy-planet og  $\theta$  er definert som vinkelen fra positiv z-akse. Som et eksempel kan vi tenke oss en mottager,  $R_x$ , med koordinater  $R_x = [0, 0, 1]$ . Denne mottageren vil da stå ut langs den positive z-aksen. Dette gir  $\theta = 0$  og  $\varphi$  ubestemt i intervallet  $(0 - 2\pi)$ .

Simuleringsresultatene vil avvike fra den virkelige verden når det gjelder polarisasjon. Dette fordi vi i den virkelige verden alltid har en viss depolarisasjon. Selv om vi sender horisontalt polariserte bølger vil vi alltid motta noen vertikalt polariserte bølger pga depolarisasjon. Dette er ikke tilfelle i simulatoren, der vertikalbidraget vil være null.

### 3.3 Bistatisk radartverrsnitt

Knott (1) presenterte et uttrykk, basert på en artikkel av Gordon (7), for å beregne et objekts bistatiske radartverrsnitt basert på fysikalsk optikk (PO) for en plate med et tilfeldig antall kanter. Uttrykket for en plate med  $M$  kanter er:

$$\sqrt{\sigma} = -\frac{\hat{n} \cdot \hat{e}_r \times h_i}{\sqrt{\pi T}} e^{ik\bar{r}_0 \cdot \bar{w}} \sum_{m=1}^M (\hat{p} \cdot \bar{a}_m) e^{ik\bar{r}_m \cdot \bar{w}} \frac{\sin(k\bar{a}_m \cdot \bar{w} / 2)}{k\bar{a}_m \cdot \bar{w} / 2} \quad (3.4)$$

hvor:

$\sigma$  = platas bistatiske radartverrsnitt

$\hat{i}$  = enhetsvektor langs det innkommende vektorfelt

$\hat{s}$  = enhetsvektor langs det reflekterte vektorfelt

$\hat{n}$  = enhetsnormalvektoren til den belyste overflaten

$\hat{e}_r$  = enhetsvektor langs mottagerens elektriske polarisasjonsfelt

$\hat{h}_i$  = enhetsvektor langs det innkommende magnetfelt

$\bar{r}_0$  = posisjonsvektoren til et origo i nærheten av objektet

$\bar{w} = \hat{i} - \hat{s}$

$\bar{a}_m$  = en vektor som beskriver lengden og orienteringen til kant nummer m på plata,

som er orientert slik at de ligger etter hverandre tupp mot ende rundt periferien til plata

$\bar{r}_m$  = posisjonsvektoren til midtpunktet av  $\bar{w}$  nedfelt i platas plan

$T$  = lengden av  $\bar{w}$  projisert ned i platas plan

$$\hat{p} = \frac{\hat{n} \times \bar{w}}{|\hat{n} \times \bar{w}|} = \text{enhetsvektor i platas plan normalt p\u00e5 } \bar{w}$$

$M$  = antall kanter p\u00e5 plata

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

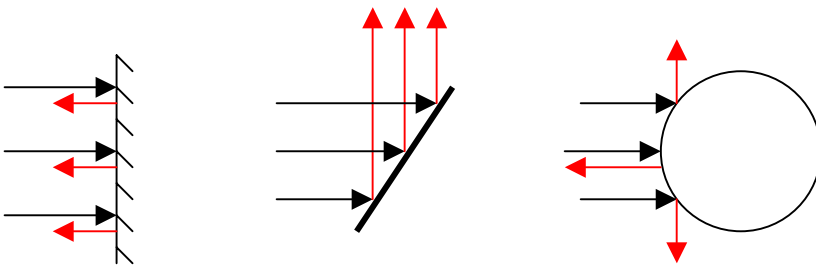
Hvis  $T = 0$  er det ingen komponent av  $\hat{i} - \hat{s}$  i platas plan og ligning (3.4) reduseres til:

$$\sqrt{\sigma} = -\frac{ikA}{\sqrt{\pi}} \hat{n} \cdot \hat{e}_r \times h_i e^{ik\bar{r}_0 \cdot \bar{w}} \quad (3.5)$$

hvor  $A$  er det belyste arealet til plata. For hver belyste fasett beregnes ligning (3.4) eller (3.5) avhengig av verdien til  $T$ . Det totale radartverrsnittet for alle  $N$  belyste fasetter finner man ved \u00e5 gj\u00f8re en koherent summasjon over alle  $N$  fasetter gitt ved:

$$\sigma = \left| \sum_{n=1}^N \sqrt{\sigma_n} \right|^2 \quad (3.6)$$

Disse formlene er grunnlaget for alle beregninger som gj\u00f8res i programmet. Det eneste som mangler p\u00e5 beregningssiden her er formlene for diffraksjonsbidrag for \u00e5 gi et helhetlig bilde av objektets spredning. Diffraksjon vi bli lagt til p\u00e5 et senere tidspunkt. I Figur 3.2 har vi illustrert hvordan refleksjoner kan sprees i rommet.

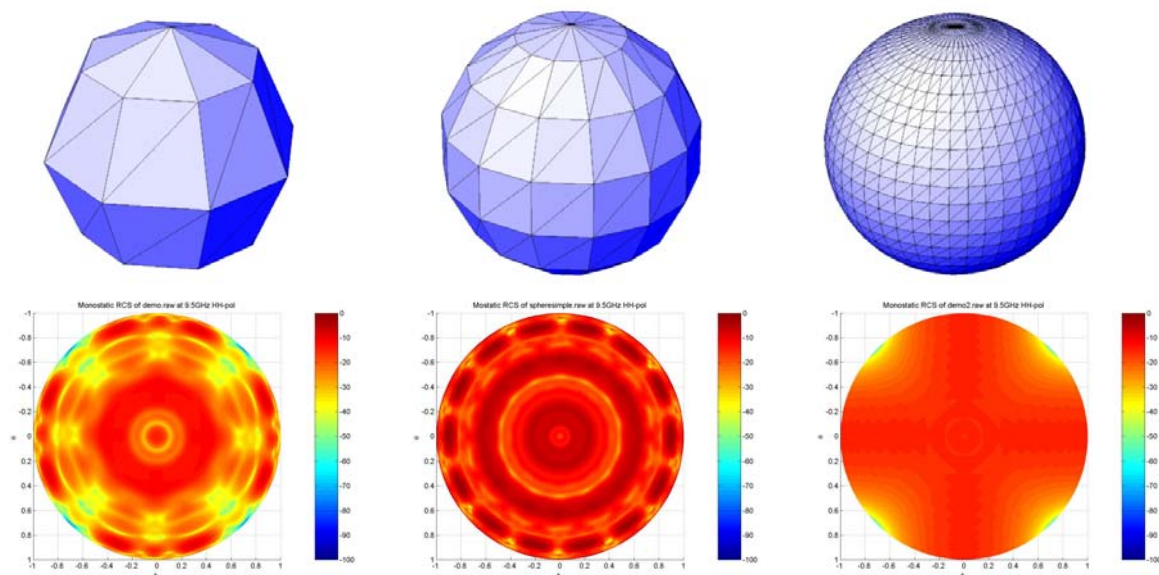


Figur 3.2 En forenklet illustrasjon p\u00e5 hvordan tre objekter spres en innkommende b\u00f8lgefront. De sorte piler illustrerer det innkommende elektromagnetiske felt og de r\u00f8de pilene det reflekterte felt.

#### 4 ENTYDIG DEFINISJON AV OBJEKTER/GEOMETRIER

For \u00e5 bestemme et objekts radartverrsnitt m\u00e5 vi gi en entydig beskrivelse av objektet. Det er ogs\u00e5 et krav at denne beskrivelsen kan brukes som input til beregningsprogrammet. For \u00e5 beskrive objektene som skal analyseres har vi valgt \u00e5 bruke et Computer-Aided Design (CAD) verkt\u00f8y. Dette er blitt den vanligste m\u00e5ten \u00e5 beskrive geometriske objekter p\u00e5 ved konstruksjon og det eksisterer derfor slike beskrivelser for mange objekter. Ved \u00e5 bruke et CAD-verkt\u00f8y som input, har vi frigitt oss fra tidligere programmets begrensninger som bestod i \u00e5 bygge opp objekter basert p\u00e5 enkle byggesteiner som: plater, sylindere, kuler etc (1). Vi valgte \u00e5 bruke

CAD-programmet Rhinoceros (2) til å beskrive de objektene vi har analysert med programmet. Filformatet vi bruker er *raw* eller *raw triangle format*. Dette formatet gir oss objektet beskrevet med trekanten som er plassert side ved side. Alle jevne flater kan tilnærmet beskrives ved hjelp av trekanten som er plassert side ved side. Avviket fra den virkelige overflaten er avhengig av trekantenes- eller fasettstørrelsen. Avviket gjør seg spesielt gjeldende ved dobbeltkrummede flater hvor avviket kan bli betydelig hvis ikke god nok oppløsning brukes (små nok fasetter). I Figur 4.1 illustreres sammenhengen mellom fasettstørrelse og nøyaktighet/avvik på simuleringsresultatene.



Figur 4.1 De tre øverste figurene viser tre kuler og er fra venstre beskrevet med 48, 164 og 2024 fasetter. Under hver kule er det en figur som viser simuleringsresultatet som fremkommer når geometrien brukes som input til radartverrsnittsberegningsprogrammet.

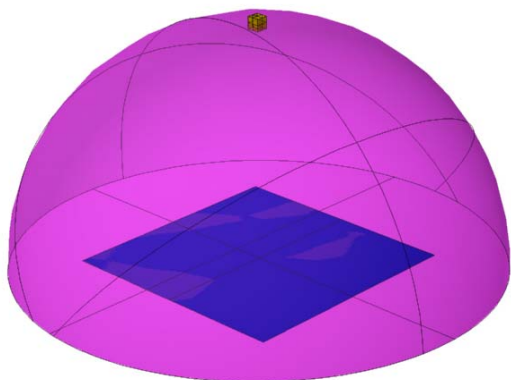
Et viktig poeng her er at tiden det tar å beregne et objekts radartverrsnitt øker lineært med antall fasetter i objektet. Derfor er det viktig å ha et bevisst forhold til detaljgraden i forhold til problemet man ønsker å analysere. Beregningstiden for kule lengst til høyre er ca. 40 ganger lengre enn den lengst til venstre.

## 5 BEREGNINGESRESULTATER

Vi vil i dette kapittelet gi noen smakebiter på beregninger gjort med programmet.

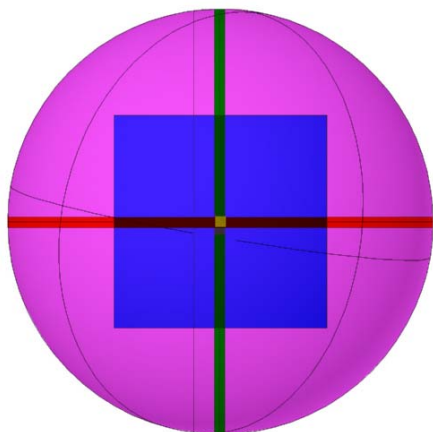
### 5.1 Presentasjonsform av resultatene

For beregningene i dette kapittelet har vi plassert objektet som skal analyseres i xy-planet og satt mottageren ut langs en positiv z-akse. Senderen har vi flyttet rundt på et kuleskall over objektet som er illustrert i Figur 5.1. Den blå firkanten illustrerer objektet som skal analyseres, den gule boksen, på toppen av kuleskallet, er mottageren og den rosa halvkulen illustrerer senderens bevegelsesplan.



Figur 5.1 *Illustrasjon av forflyttingsmønsteret til senderen for en "kuleskallsberegning". Den blå firkanten illustrerer objektet som skal analyseres. Den rosa halvkulen er senderens bevegelsesplan. Mottageren er illustrert som den gule boksen og står normalt over objektet som skal analyseres.*

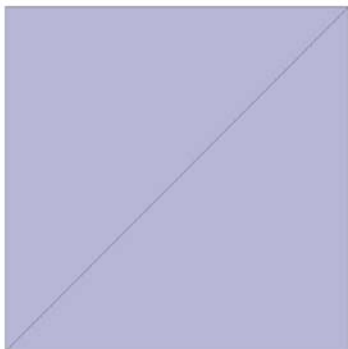
I Figur 5.2 viser vi hvordan  $\varphi$  og  $\theta$  er definert i forhold til kuleskallet, det røde båndet representerer  $\varphi$  og det grønne båndet  $\theta$ . (Figur 5.2 er Figur 5.1 sett rett ovenifra).



Figur 5.2 *Illustrasjon av beregningsmetode;  $\varphi$  følger det røde båndet og  $\theta$  følger det grønne båndet. (Figur 5.2 er Figur 5.1 sett rett ovenifra).*

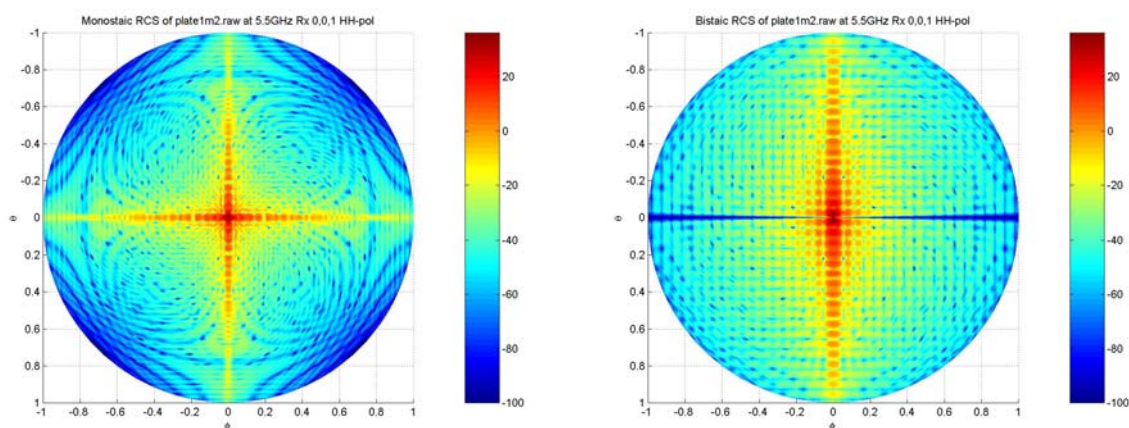
## 5.2 Resultater

Vi starter med det enkleste objektet vi har beregnet radartverrsnittet av, en plan flat plate. Platen er beskrevet med to trekanter eller fasetter og er illustrert i Figur 5.3.



Figur 5.3 Plan flat plate beskrevet med to trekanter

Resultatene presentert i Figur 5.4 er for en plate med areal på  $A = 1 \text{ m}^2$  og en frekvens på  $f = 5.5 \text{ GHz}$ . Mottageren er plassert normalt over plata. For den bistatiske beregningen er senderen beveget rundt platen på et halvkuleskall som illustrert i Figur 5.1. Monostatisk er sender og mottager alltid plassert i samme punkt (de flyttes sammen rundt på halvkuleskallet).



Figur 5.4 Beregnet RCS for en flat plate på  $1 \text{ m}^2$  ved en frekvens  $f = 5.5 \text{ GHz}$  og HH-polarisasjon. Til høyre monostatisk RCS og til venstre bistatisk RCS. Usymmetrien i det bistatiske plottet skyldes polarisasjonseffekter.

Når vi sammenligner de mono- og bistatiske resultatene er det fremtredene forskjeller; polarisasjonseffekten og bredden på hovedrefleksjonsloben. 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 absoluttverdi av  $\varphi$  vil polarisasjonen gå mot null. Dette kan sees fra plottet hvor det beregnede ekko er  $-100 \text{ dBsm}$  som er nedre grenseverdi på resultater fra simulatoren.

## 6 BEGRENSNINGER

I et beregningsprogram som har til hensikt å beregne prosesser fra virkelighetens verden vil det ofte være store begrensninger i svarenes gyldighetsområde. Disse begrensningen skal man være seg bevisst når man analyserer beregningene. I dette kapitlet presenteres programmets mest fremtredende begrensninger.

## 6.1 Frekvensbegrensninger

Simulatoren er laget for bruk i et frekvensområde fra 1 GHz og oppover. For vesentlig lavere frekvenser kan man ikke regne med fornuftige resultater.

## 6.2 Diffraksjons effekter

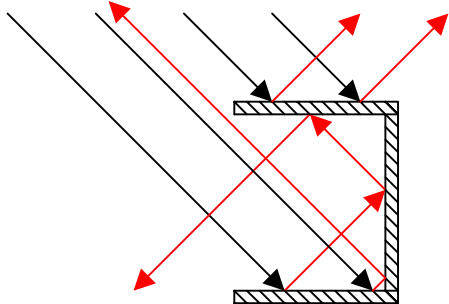
Av programmets begrensninger er diffraksjon den mest fremtredene. Hvis vi tenker oss ekko fra en plan plate så vil det beregnede ekko avvike fra måleresultater mer og mer desto lenger fra den spekulære refleksjonsvinkelen vi beveger oss. Dette fordi diffraksjonsbidraget fra kantene blir mer fremtredende når vinkelen sender/mottager danner med plata øker. I en beta versjon av beregningsprogrammet har vi lagt inn "The Incremental Length Diffraction Coefficient" som er en diffraksjons beregningsmetode som bygger på fysikalsk optikk og som enkelt lar seg kombinere med spredningsbidraget fra ligning (3.6).

## 6.3 Egenskygging

Egenskygging opptrer når en del av et objekt skygger for deler eller resten av objektet. Som et eksempel kan vi tenke oss en boks. Ser vi på boksen direkte ovenfra, er ikke bunnen synlig. Den ligger i skyggen av toppen på boksen. De fasettene som er i skyggesonen gir ikke noe bidrag og skal derfor ikke bidra til resultatet. Som et første sorterings kriterium for om en plate gir bidrag eller ikke er prikkproduktet mellom det innkommende elektriske feltet,  $\hat{e}_r$ , og normalvektoren,  $\hat{n}$ , til fasetten beregnet. Hvis  $\hat{n} \cdot \hat{e}_r \leq 0$  ser vi fra ligningene (3.4) og (3.5) at fasettens bidrag er null. Denne form for egenskygging er implementert i programmet. Det som mangler er en pre-prosessering av CAD-datane for å finne fasettene som ligger i en "lokal skygge".

## 6.4 Egenspredning

Egenspredning står for en betydelig del av det totale ekkoet fra objekter. Studier (8) har vist at vi må ha med 8-9 nivåer med egenspredning for å få med de betydeligste bidragene. Figur 6.1 viser egenspredning, de sorte pilene illustrerer det innkommende elektriske felt, de røde pilene illustrerer overflaterrefleksjoner. Egenspredning er ikke inkludert i beregningsprogrammet, men er av de tingene som vil bli lagt til.



Figur 6.1 Sorte piler illustrerer det innkommende elektromagnetiske felt og de røde pilene det reflekterte felt

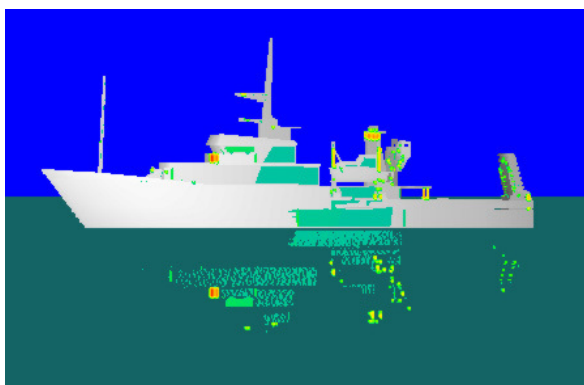


## 7 VEIEN VIDERE/FREMTIDIGE MODIFIKASJONER

Vi vil i dette kapittelet komme med de manglene vi mener må utbedres for å få et program som kan brukes som et reelt analyseprogram for radartverrsnittsberegninger. Det må utvikles et grafisk brukergrensesnitt. Dette er en overkommelig jobb siden programmet er utviklet i MatLab som har god støtte for utvikling av grafiske grensesnitt.

For at programmet skal generere resultater som er nærmere den virkelige verden, må det legges inn følgende algoritmer og funksjonalitet:

- Diffraksjon eller spredning fra kanter, her skiller vi mellom to typer:
  - ◆ Spredning fra virkelige kanter.
  - ◆ Spredning fra kanter som følge av overflatens utforming.
- Inkludere høyere ordens effekter (egenspredning).
- Få med virkningen av selvskygging.
- Legge inn refleksjonskoeffisienter for å beregne virkningen av radarabsorberende materiale (RAM).
- Visualisere hvilke fasetter/del av overflaten det er refleksjonene kommer i fra og utnytte dette i konstruksjons sammenheng for å redusere/kontrollere objekters radartverrsnitt, se Figur 7.1.
- Forbedre pre-prosesseringen slik at komplekse objekters radartverrsnitt kan beregnes uten manuell inngripen.
- Automatisk fasettsammenslåing slik at objekter kan beskrives med fasetter med mer enn tre sider. Dette vil senke prosesseringstiden betraktelig for objekter som er beskrevet med mange fasetter.



*Figur 7.1 Visualisering av en ønsket tilleggsfunksjonalitet i programmet. Her ser vi hvilke fasetter/del av overflaten som genererer hovedrefleksjonene*

## 8 KONKLUSJON

Radartverrsnittsberegningsprogrammet som er beskrevet i denne rapporten ble utviklet for å underbygge et av fire grunnleggende studier for å belyse problemstillinger rundt bi- og multistatiske radarsystemer. Hovedgrunnen til programvareutviklingen var at vi ønsket svar på om man med bi- eller multistatisk radar har en høyere deteksjonssannsynlighet mot lavsignatur mål enn man har med monostatisk radar. Et biprodukt av denne analysen er et

beregningsprogram som gjør oss i stand til enkelt å analysere komplekse strukturers mono-, bi- og multistatiske radartverrsnitt, samt å gjøre statistiske analyser av deteksjonssannsynligheter. Programmet har sine klare begrensninger både ved bruk og gyldighetsområde, men når man har dette i mente så kan resultatene benyttes for å øke forståelsen av spredningsmekanismen til elektromagnetiske bølger.

Ved å videreføre arbeidet med radartverrsnittsberegningsprogrammet vil man sikre kontinuitet og kompetanseutvikling innen fagområdet. Før slikt arbeide iverksettes må man på nytt undersøke tilgjengelighet og funksjonalitet på kommersielt tilgjengelige programvarepakker. Hvis tilgjengelige programmer løser instituttets behov for radar analyser anses det ikke som forsvarlig å videreføre utviklingen av programmet.

## Litteratur

- (1) Knott E.F, Schaeffer J.F, Tuley M.T Radar Cross Section, Artech House Inc 1993
- (2) Rhinoceros: <http://www.rhinoceros.com>.
- (3) 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
- (4) 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
- (5) 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
- (6) 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
- (7) Gordon W.B. (1975): Far-Field Approximations to the Kirchhoff-Helmholtz Representation of Scattered Fields, *IEEE Trans. on Antennas and Propagation* **41**, 1.
- (8) NATO AC323 SET-TG15 (1998-2002): Radar Signatures in Littoral Environment.



## FORDELINGSLISTE

**FFIE**
**Dato: 29 mai 2002**

RAPPORTTYPE (KRYSS AV) <input checked="" type="checkbox"/> RAPP <input type="checkbox"/> NOTAT <input type="checkbox"/> RR		RAPPORT NR. 2002/01749	REFERANSE FFIE/726/170	RAPPORTENS DATO 29 mai 2002
RAPPORTENS BESKYTTELSESGRAD  UGRADERT		ANTALL EKS UTSTEDT  29	ANTALL SIDER  19	
RAPPORTENS TITTEL MONO- OG BISTATISK RADARTVERRSNITTSBEREGNINGS-PROGRAM		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.