

FFI RAPPORT

BISTATISKE RADARMÅLINGER AV HELIKOPTER

JOHNSEN Terje, GUNDERSEN Rune, OLSEN Karl Erik, JOHNSRUD
Steinar, TANSEM Ivar, SØRNES Per

FFI/RAPPORT-2002/01764

FFIE/726/170

Godkjent
Kjeller 30 mai 2002

John-Mikal Størdal
Forskningsjef

**BISTATISKE RADARMÅLINGER AV
HELIKOPTER**

JOHNSEN Terje, GUNDERSEN Rune, OLSEN Karl
Erik, JOHNSRUD Steinar, TANSEM Ivar, SØRNES Per

FFI/RAPPORT-2002/01764

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

FORSVARETS FORSKNINGSINSTITUTT (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-2002/01764	2) SECURITY CLASSIFICATION UNCLASSIFIED	3) NUMBER OF PAGES 25
1a) PROJECT REFERENCE FFIE/726/170	2a) DECLASSIFICATION/DOWNGRADING SCHEDULE -	
4) TITLE BISTATISKE RADARMÅLINGER AV HELIKOPTER BISTATIC RADARMEASUREMENTS OF HELICOPTER		
5) NAMES OF AUTHOR(S) IN FULL (surname first) JOHNSEN Terje, GUNDERSEN Rune, OLSEN Karl Erik, JOHNSRUD Steinar, TANSEM Ivar, SØRNES Per		
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>helicopter</u>	b) <u>helikopter</u>	
c) <u>radar detection</u>	c) <u>radar deteksjon</u>	
d) <u>RCS prediction</u>	d) <u>RCS beregninger</u>	
e) _____	e) _____	
THESAURUS REFERENCE: INSPEC 1999		
8) ABSTRACT A civilian helicopter was used for measurements with our bistatic CW radar. The flashes of the helicopter rotor blades as well as the helicopter body were detected. Detection of the helicopter body depended on the level of clutter interference whereas the flashes had a speed relative to the body and consequently stood out from the stationary clutter or direct signal. Dependent on geometry (bistatic angle and helicopter orientation) and distance, blade flashes of the main rotor and tail rotor were detected with different characteristics (speed and interval) that matched the specifications. Differences in RCS levels were found from energy returned from the front side and backside of the main rotor. Similar results were obtained from RCS calculations based on a model of a helicopter rotor made in a CAD program. This report does not cover measurements for all possible geometries and parameter setting but it shows the potential for detection and possible identification by a bi- or multi-static CW radar.		
9) DATE 30 May 2002	AUTHORIZED BY This page only John-Mikal Størdal	POSITION Director of Research

ISBN-82-464-0628-0

UNCLASSIFIED

SECURITY CLASSIFICATION OF THIS PAGE
 (when data entered)

INNHOOLD

	Side	
1	INNLEDNING	7
2	MÅLEOPPSTILLING	7
3	RESULTATER	10
4	BEREGNING AV RCS FOR HELIKOPTERROTOR	20
4.1	RCS-beregning av en vingeprofil	20
4.2	RCS-beregning av en helikopterrotor	21
5	KONKLUSJON	23
	Litteratur	24
	Fordelingsliste	25

BISTATISKE RADARMÅLINGER AV HELIKOPTER

1 INNLEDNING

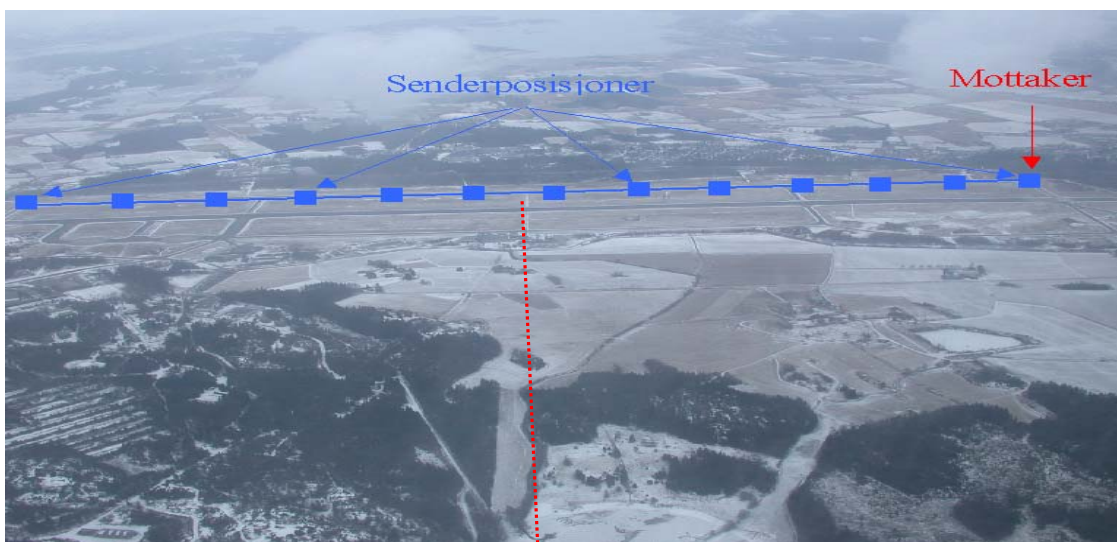
Prosjekt 726 "Digital Multistatisk Radar" har utviklet en bistatisk radar, som en del av et multistatisk radar system (3)(4). Radaren sender et kontinuerlig kodet signal, Continuous Wave (CW) med en justerbar sendereffekt på maksimalt 1 watt. Mottatt signal samples, prosesseres og presenteres i et avstand-hastighet plott. For en fullstendig dokumentasjon av prosesseringen refereres det til (1). Radaren er tidligere testet mot stillestående mål, flygende fly og tilfeldig passerende helikoptre. Radaren er bygget inn i standard 19" kasser, og lar seg enkelt flytte til nye lokaliteter. En mer kontrollert måleserie ble utført på et innleid sivilt helikopter ved Rygge flystasjon. hvor radarens evne til å detektere og karakterisere refleksjoner fra et helikopter ble studert.

Et helikopter har evnen til å hovre (stå stille i luften) og refleksjer fra helikopterkroppen vil da ikke gi noe dopplerskift. I en CW-radar mottas refleksjoner fra alle avstander kontinuerlig og svake mål uten hastighetskomponenter kan lett bli borte hvis det er sterke clutterbidrag eller direktesignal. Refleksjoner fra helikopterkroppen kan således lett bli kamuflert i bakkeclutter. Radaren må i slike situasjoner detektere rotorbladene som vil gi en dopplerforskyvning fra null hastighet og opp til hastigheten på rotortuppen. I motsetning til en tradisjonell pulset radar vil en CW-radar rettet mot et helikopter kunne fange opp reflektert signal kontinuerlig fra rotorblader og helikopterkropp. Bruken av CW har her en fordel ved at alle blink kan detekteres og en raskere deteksjon og karakterisering kan foretas.

Målekampanjen er utført for å avklare om en bi- eller multistatisk radar i den form prosjektet har utviklet vil kunne detektere og eventuelt gi karakteristiske mål på rotorparametre til et helikopter og hvorledes ulike bistatiske vinkler/helikopterposisjoner virker inn på målingene.

2 MÅLEOPPSTILLING

Sender og mottaker var posisjonert på reserveflystripa på Rygge flystasjon. Mottakeren hadde fast posisjon i den ene enden av flystripa, mens senderens posisjon ble endret under målingene som indikert i Figur 2.1.



Figur 2.1 Bildet viser plassering av sender og mottaker på reserveflystripa på Rygge flystasjon. Mottakeren hadde en fast posisjon i den ene enden av rullebanen mens senderen ble posisjonert i ulike avstander fra senderen som vist med blå merker i figuren. Sender ble flyttet fra høyre mot venstre på bildet.

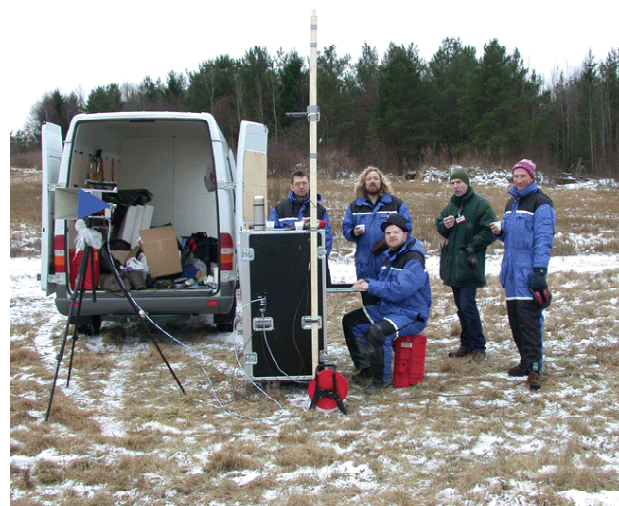
Målet, helikopteret, beveget seg langs en linje vinkelrett på flystripa som indikert ved den røde stiplede linjen i figuren. Helikopteret som ble benyttet under målingene var av typen Eurocopter AS350B2 som vist i Figur 2.2 og Figur 2.3.



Figur 2.2 Bildet viser helikopteret som ble brukt i målingene, av typen Eurocopter AS350B2



Figur 2.3 Detaljert bilde av halerotoren som viser strukturer som skjermer halerotoren deler av tiden



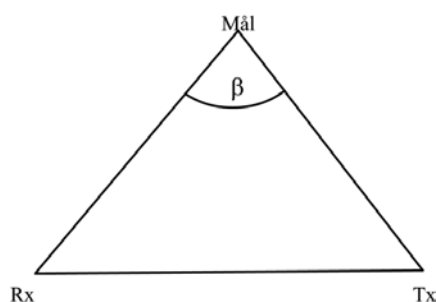
Figur 2.4 Sender er montert på bil for enkelt å kunne forflytte seg langs flystripa, mens mottakeren til høyre var fast plassert i enden av rullebanen

Figur 2.4 viser bilder av senderenheten montert på en pickup, venstre bilde, og mottaker utplassert til høyre. Kommunikasjon med tårnet på Rygge var nødvendig og bilen med sender ble utstyrt med kommunikasjonsutstyr.

For å bestemme riktige avstander, hastigheter og vinkler ble GPS data lagret for sender, mottaker og helikopter gjennom hele forsøket.

3 RESULTATER

Målingene mot helikopteret ble foretatt med ulike avstander og bistatiske vinkler. Generelt kan geometrien i en bistatisk måleoppstilling beskrives ut fra det bistatiske planet, utspent av sender-mottaker-mål vektorene, som vist i Figur 3.1. Den bistatiske vinkelen β er gitt av vinkelen mellom vektorene: mål-sender og mål-mottaker. Mottakeren, R_x , var stasjonær i den sørvestlige enden av flystripa som indikert i Figur 2.1. Senderen var plassert på et lasteplan og ble flyttet til bestemte posisjoner langs flystripa som indikert med blå firkanter i Figur 2.1. Helikopteret ble beordret i posisjoner med angitt høyde og avstand til flystripa. Avstanden ble angitt som en lengde langs en linje på bakken som var vinkelrett ut fra midten av flystripa. I de fleste målingene hovret helikopteret i angitt høyde, og kroppen hadde dermed liten hastighet.



Figur 3.1 Generell geometri for bistatisk måleoppstilling hvor T_x er sender, R_x mottaker og β er bistatisk vinkel

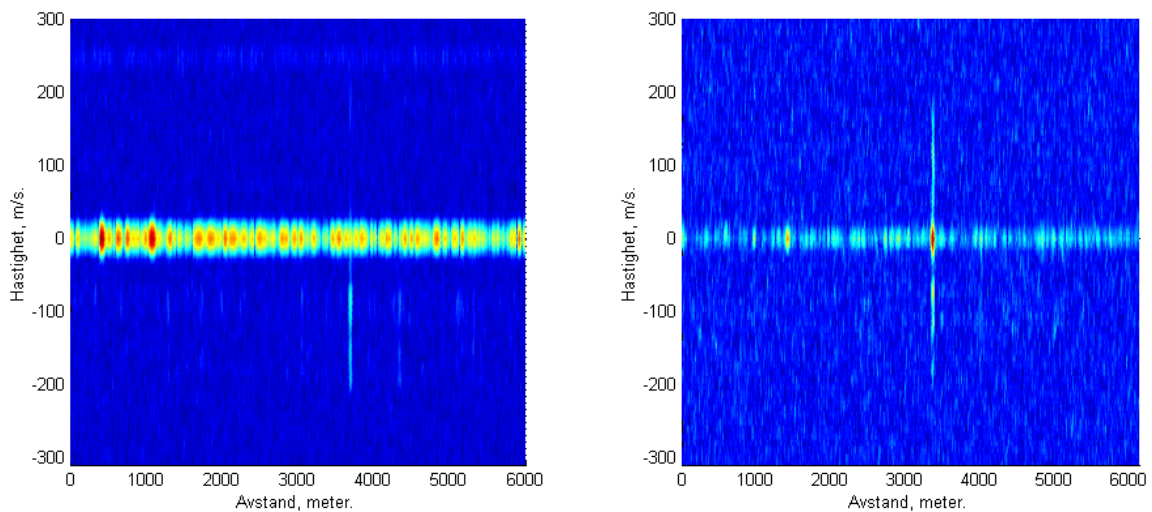
Det tilbakespredte signalet fra et hovrende helikopter vil inneholde komponenter både med og uten dopplerskift pga rotorbevegelsene og den stillestående kroppen. Dersom ikke deler av helikopterkroppen skygger for deler av rotoren vil det målte dopplerskiftet kunne ha hastigheter på rotoren både fra oss og mot oss fra 0 m/s til \pm den maksimale hastigheten av rotortuppen v_{\max} . Fra hovedrotorens diameter $d = 10,69$ m og rotorhastighet $v_r = 400$ rpm vil tuppen av hovedrotoren ha en hastighet på $v_{\max} = 224$ m/s. For halerotoren er maksimalhastigheten 204 m/s. Disse hastighetene vil generelt ikke være de hastighetene som måles som maksimal hastighet. Det maksimale dopplerskiftet radaren vil måle er gitt ved

$$f_b = \left[\frac{dR_{Tx}}{dt} + \frac{dR_{Rx}}{dt} \right] / \lambda, \quad (3.1)$$

hvor $\frac{dR_{Tx}}{dt}$ og $\frac{dR_{Rx}}{dt}$ er hastighetskomponentene av v_{\max} i retning mot henholdsvis sender (Tx) og mottaker (Rx) og λ er sendefrekvensen.

I Figur 3.2 ser vi to eksempler på resultater fra målinger hvor bidraget fra hovedrotoren ses tydelig som refleksjonspunkter som spenner et stort hastighetsområde. Plottene er generert ved å prosessere hele det samlede tidsintervallet på 0,3s i intervaller på 2,6ms. Maksimalverdien er så hentet ut for hver avstand-hastighet celle i plottet. I plottet til venstre hadde vi en tilnærmet monostatisk måleoppstilling med en avstand sender-mottaker på ca 50 m. Et sterkt direktesignal eller clutter gir en korrelasjonstopp med sidelover som kamuflerer det svake signalet til

helikopterkroppen på 3000 meters avstand. I plottet til høyre er avstanden sender-mottaker økt til ca 2000 m og svakt clutter og direktesignal gjør at helikopterkroppen kan observeres til tross for at den har tilnærmet null hastighet. Vi observerer også at rotoren har tydelig forskjellig refleksjonsnivå når rotoren går med hastighet fra oss (negativ hastighet) enn med hastigheter mot oss (positiv hastighet) for den monostatistiske konfigurasjonen i plottet til venstre. Rotoren har en vingeprofil med forskjellig geometri foran og bak. Dette sammen med forskjellig vinkling på bladene i forhold til det bistatiske planet gir ulike radartverrsnitt på blader som beveger seg fra oss og mot oss. Endringer i bistatisk vinkel vil også endre nivåene. Det er ikke intensjonen til denne rapporten å gjøre en kartlegging av radartverrsnittet som funksjon av forskjellige vinkler.



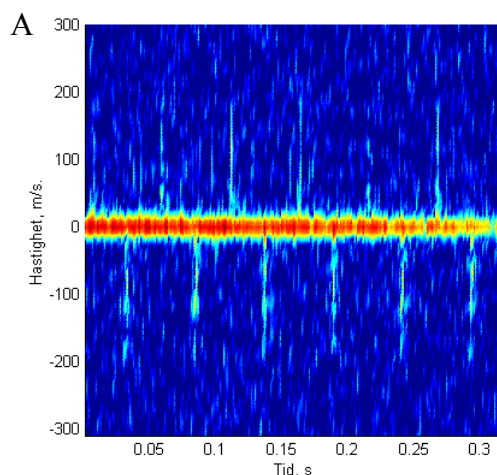
Figur 3.2 Figurene viser radarbilder etter at maksimalverdier for hver avstand-hastighet celle er hentet ut for et måleintervall på 0,3s. I bildet til venstre er avstanden sender-mottaker ca 50m (tilnærmet monostatisk), og et sterkt direktesignal eller clutter er tilstede. I bildet til høyre er det ikke et sterkt direktesignal som kamuflerer helikopterkroppen. Dette siste bildet er fra en bistatisk måleoppstilling hvor avstanden sender-mottaker er ca 2000m.

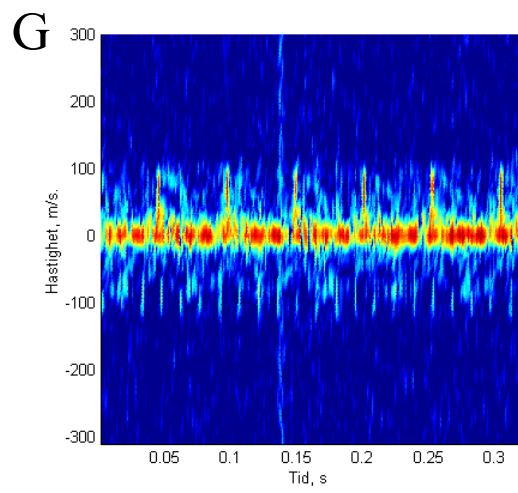
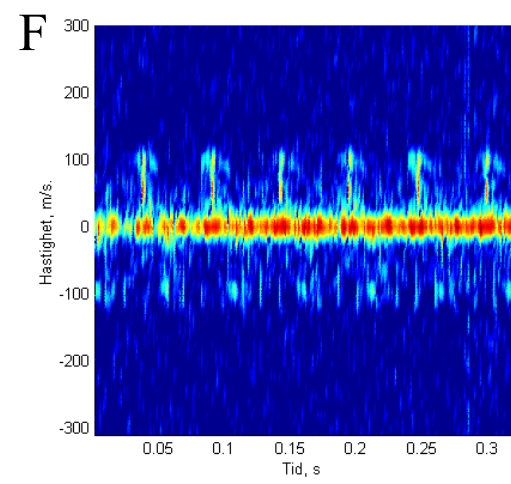
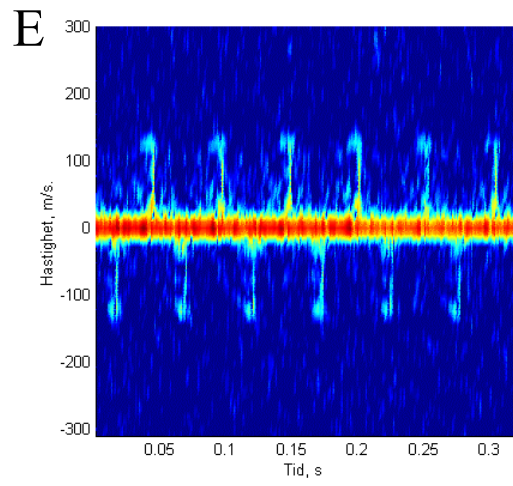
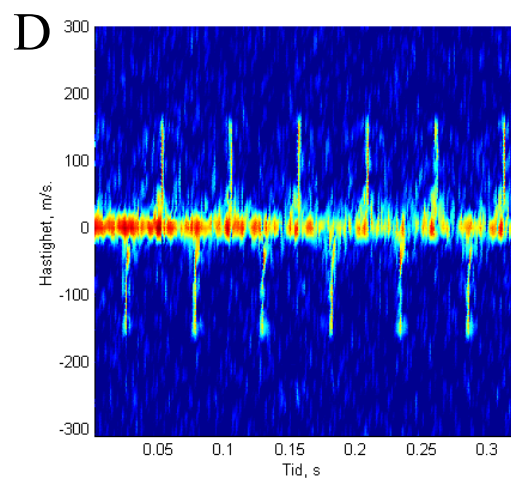
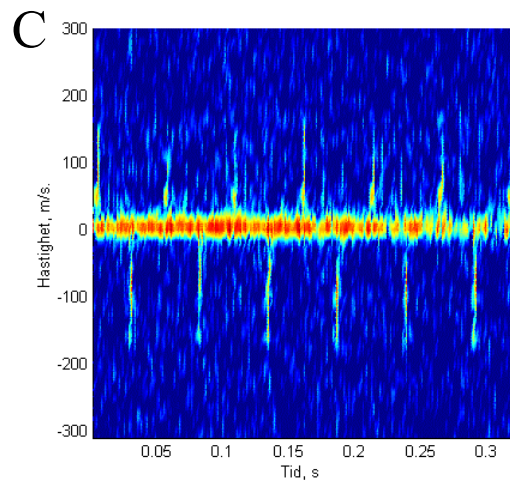
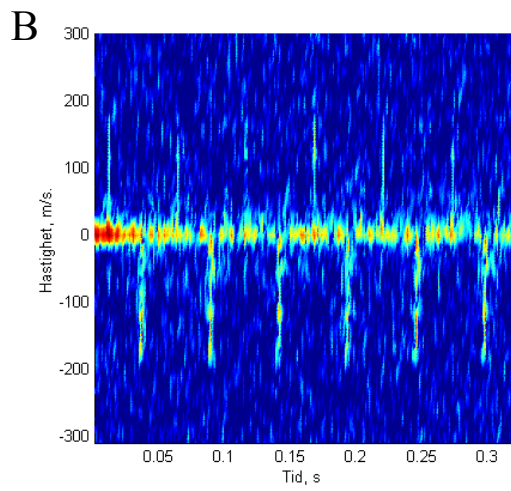
Helikopteret som ble benyttet har tre hovedrotorblader og to halerotorblader (se Figur 2.2 og Figur 2.3). Avstanden til helikopteret er ca 3000m og det er kun hovedrotoren som ble detektert på denne avstanden. Rotorene vil mye av tiden være i posisjoner som gir liten tilbakespredning til mottakeren. I målingene vil således bidrag fra rotorblader opptre i korte ”blink” med jevne mellomrom. I Figur 3.2 er maksimalverdiene for alle prosesserte avstand-hastighet celler plottet for en måleperiode på ca 0,3 s. Dette gjør at rotorblader med hastighet mot oss og fra oss kommer opp i plottet samtidig. Denne modusen er her benyttet som en enkel helikopterdetektor.

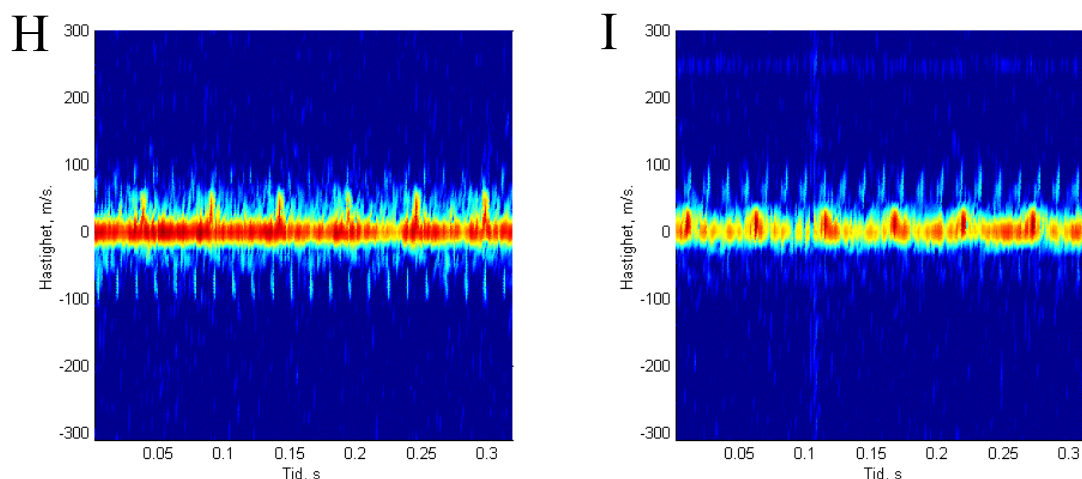
Måling	Tx-Mål m	Rx-Mål m	Tx-Rx m	Høyde m	Bistatisk vinkel grader	Bistatisk hastighet m/s
<i>A</i>	3266	3428	1914	903	33	207
<i>B</i>	2794	2948	2109	818	43	200
<i>C</i>	2118	2292	2111	712	57	186
<i>D</i>	1716	1900	2111	659	71	166
<i>E</i>	1420	1652	2111	621	86	140
<i>F</i>	1241	1500	2111	570	100	116
<i>G</i>	1168	1454	2111	538	107	104
<i>H</i>	1089	1281	2111	499	127	57
<i>I</i>	1068	1205	2111	454	137	25

Tabell 3.1 Måling mot helikopter med tilnærmet fast avstand mellom sender og mottaker for forskjellige bistatiske vinkler. Avstander og vinkler er beregnet ut fra GPS posisjoner.

En rekke målinger ble foretatt med lik avstand mellom sender og mottaker på ca 2000m, men med forskjellig avstand til målet som gir ulik bistatisk vinkel (se Tabell 3.1). Bistatisk vinkel og maksimal bistatisk hastighet ytterst på hovedrotoren er beregnet fra lagrede GPS posisjoner og satt opp i tabellen. Den maksimale bistatiske hastigheten avtar fra 207 m/s ved $\beta = 33$ grader (måling *A*) til 25 m/s ved $\beta = 137$ grader (måling *I*). Prosesserte data for målingene *A* til *I* er presentert i Figur 3.3. Hvert plot viser refleksjoner i helikopterets avstand som funksjon av tid. Hovedrotorens vekslende hastighetsretning kommer tydelig fram og maksimal detektert hastighet stemmer godt med beregnede verdier for alle målingene *A-I*. For målingene *F-G* kommer bidrag fra halerotorbladene fram samtidig som maksimalhastighetene for hovedrotorbladene synker.







Figur 3.3 Figurene viser målt nivå i ulike hastigheter som funksjon av tid for målingene A-I i helikopterets avstandscelle. Detaljerte avstandsinformasjon og hastighetsdata for hovedrotor er listet i Tabell 3.1.

Blinkene fra haleratoren kommer i begge retninger samtidig, i motsetning til blinkene fra hovedrotor. Dataene viser også at styrken på refleksjonen i ulike hastighetsretninger er geometriavhengig. Dette kan skyldes bladenes ulike form bakfra og forfra samt at kropp og haleror kan skygge i noen geometrier. Frekvensen på blinkene er beregnet ut fra målingene til 0,05 s for hovedrotorblader og 0,014 s for halerotorblader. Dette stemmer overens med oppgitte rotorhastigheter.

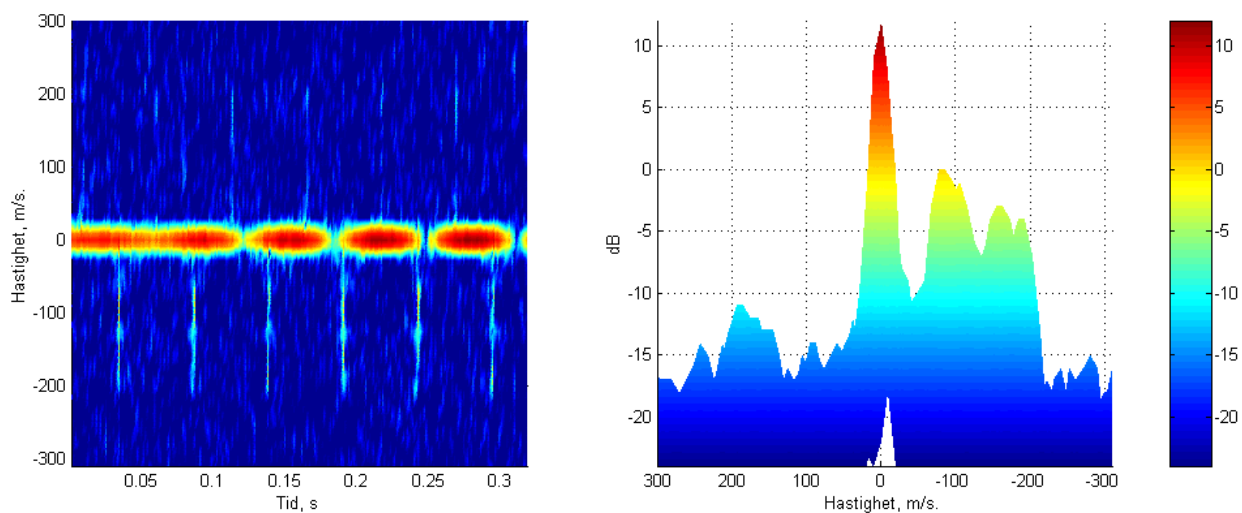
I en serie målinger listet i Tabell 3.2 var helikopteret i samme posisjon mens avstanden sender-mottaker ble variert. Den bistatiske vinkel ble endret fra $\beta = 0,4$ grader i måling *J* til $\beta = 34,4$ grader i måling *S*. Den bistatiske maksimale hastighet fra hovedrotor endrer seg lite.

Måling	Tx-Mål m	Rx-Mål m	Tx-Rx m	Høyde m	Bistatisk vinkel grader	Bistatisk hastighet (max), m/s
<i>J</i>	3463	3502	48	921	0.4	217
<i>K</i>	3450	3551	202	957	2.9	216
<i>L</i>	3196	3377	469	938	7.6	215
<i>M</i>	3190	3418	683	920	11.2	215
<i>N</i>	3016	3260	881	922	15.5	213
<i>O</i>	2992	3222	1087	901	19.7	212
<i>P</i>	3052	3290	1297	921	23.2	211
<i>Q</i>	3159	3358	1686	882	30.0	209
<i>R</i>	3269	3433	1913	911	33.1	207
<i>S</i>	3476	3632	2109	936	34.4	207

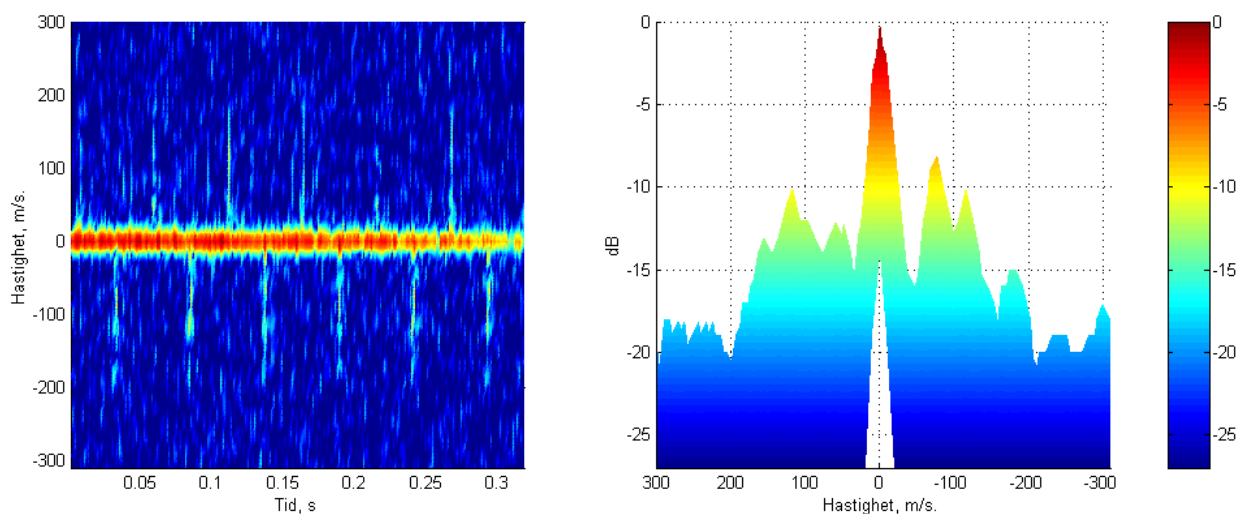
Tabell 3.2 Måling mot helikopter i omtrent fast posisjon mens avstand mellom sender og mottaker ble økt med intervaller på ca 200m. Avstander og vinkler er beregnet ut fra GPS posisjoner.

I Figur 3.4 og Figur 3.5 er resultatene presentert for måling *J* og *R* som representative ytter-

punkter i denne måleserien. Figurene viser tilbakespredning fra helikopterkropp og hovedrotor over et hastighetsintervall som funksjon av tid. Nivået angir beregnet RCS relativt til sterkeste refleksjonsnivå fra rotoren i tilnærmet monostatisk oppstilling som vist i måling *J*, se Figur 3.4. Plottene til høyre i Figur 3.4 (tilnærmet monostatisk) og i Figur 3.5 (bistatisk) viser at RCS nivået synker for rotorblader fra oss (positiv hastighet) med ca 8 dB. Refleksjoner fra rotorblader mot oss (negativ hastighet) er tilnærmet uforandret i nivå for disse endringene i bistatisk vinkel.

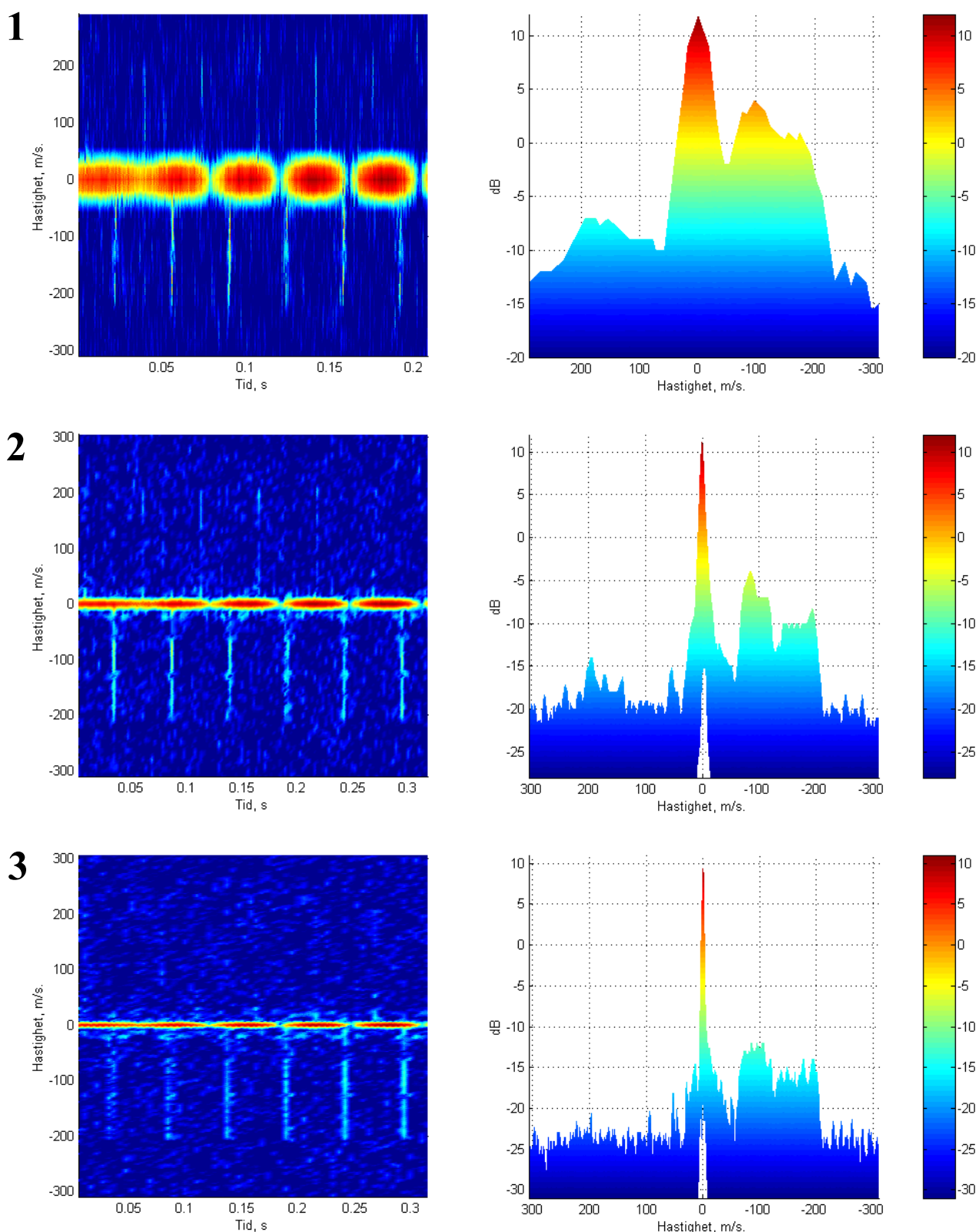


Figur 3.4 *Prosesserte data fra måling J: (venstre) Hastighetsbidrag som funksjon av tid i helikopterets avstand. (høyre) Samme datasett sett fra siden med tiden innover i plottet.*

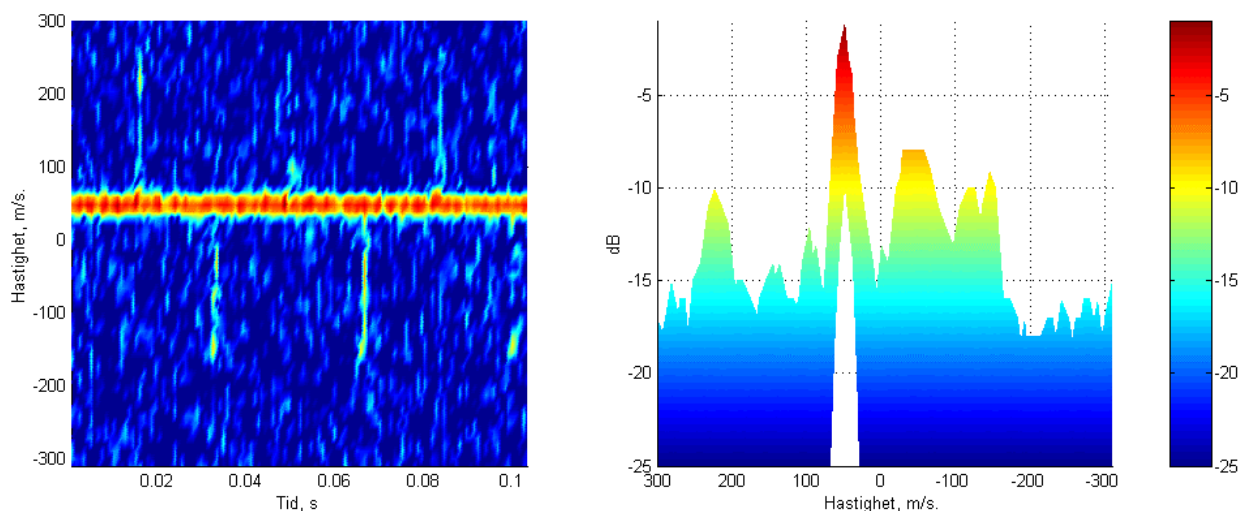


Figur 3.5 *Prosesserte data fra måling R: (venstre) Hastighetsbidrag som funksjon av tid i helikopterets avstand. (høyre) Samme datasett sett fra siden med tiden innover i plottet.*

Blinket fra rotorbladene har kun en kort varighet, i størrelsesorden 1-2 ms. Dette utgjør ikke noe problem for radaren da den sender et kodet kontinuerlig signal. I prosesseringen bestemmer antallet koder vi prosesserer hastighetsoppløsningen (1). Resultatene presentert tidligere i rapporten er for prosessering av 64 koder, noe som tilsvarer et tidsintervall på 2,62ms. Et blink vil dermed ikke bidra for alle koder i hele prosesseringstiden. I Figur 3.6 er måling *J* prosessert med tider på henholdsvis 1,31ms (32 koder), 5,24ms (128 koder) og 10,48ms (256 koder). Figur 3.4 viser samme måling prosessert over 2,62 ms (64 koder). Med en grovere oppløsning vil refleksjoner fra en lengre del av rotoren bidra i samme hastighetscelle enn ved en finere oppløsning. Dette vil medføre at nivået i de prosesserte dataene vil avta med økende oppløsning. I rad 1 (1,31ms) blir hastighetsoppløsningen grovere mens nivået på rotorrefleksjonene øker med ca 3dB som forventet i forhold til en prosesseringstid på 2,62ms. I rad 2 (5,24ms) og 3 (10,48ms) avtar nivået på grunn av en stadig finere oppløsning i hastighet.



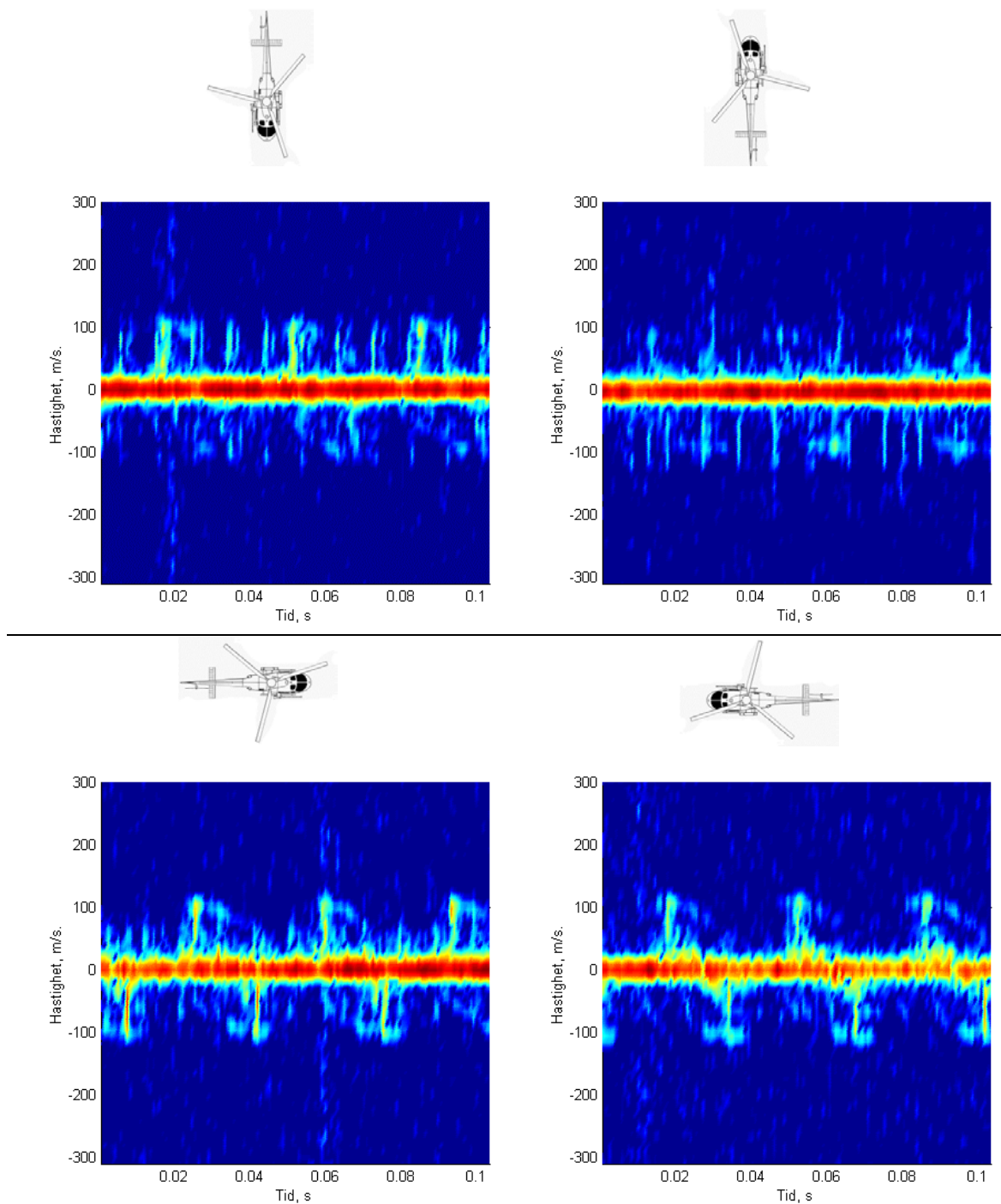
Figur 3.6 *Prosesserte data fra måling J hvor rad 1, 2 og 3 angir prosesseringstid på henholdsvis 1,31ms (32 koder), 5,24ms (128 koder) og 10,48ms (256 koder). (venstre) Hastighetsbidrag som funksjon av tid i helikopterets avstand. (høyre) Samme datasett sett fra siden med tiden innover i plottet.*



Figur 3.7 Plottet viser resultater fra en måling hvor helikopteret har en hastighet på ca 50m/s. Hvilket fører til en forskyvning av hele plottet med 50m/s. Målingen er foretatt ved en bistatisk vinkel på 29 grader i en avstand av ca 4000 m.

I Figur 3.7 er resultatene vist for en måling hvor helikopteret har en bistatisk hastighet på ca 50 m/s. Målingen er tatt i en avstand av 4000 m med en bistatisk vinkel på 29 grader. Maksimal rotorhastighet for denne geometrien er beregnet til 212 m/s. Fra figuren ser vi at dette stemmer godt med de målte hastighetene hvis man legger til den forskyvningen som framkommer som et resultat av helikopterets hastighet.

Ulike betraktningvinkler gir ulik respons fra hale og hovedrotor. I Figur 3.8 er resultater vist for fire målinger foretatt med 90 graders rotasjon mellom målingene. Helikopterets orientering relativt til en posisjon midt på baselinjen mellom sender og mottaker er angitt i tegningen over plottet. Avstanden til mottaker og sender var ca 1200m og helikopteret hovret i 500 meters høyde. Den bistatiske vinkelen for målingene var ca 110 grader. Helikopteret ble ikke holdt helt i ro under målesekvensen og avvik i de oppgitte størrelsene må således forventes. I de to øverste bildene er det tydelig bidrag fra halerotor, mens de to nederste er dominert av hovedrotorbidrag. I de to øverste bildene står helikopteret med nesen mot og fra baselinjen. Når helikopteret har nesen mot baselinjen er det den nedre delen av halerotoren med hastighet mot oss (positiv hastighet) som gir sterkest signal mens når halen peker mot baselinjen er halerotorens øvre del med hastighet fra oss (negativ hastighet) som gir sterkest bidrag. Dette kan forklares fra propellbladenes vinkel i de to posisjonene. Forklaringen på hvorfor halerotoren er lite synlig når helikopteret betraktes fra siden kan trolig også forklares utfra spredningsmønsteret fra rotoren i denne geometrien.



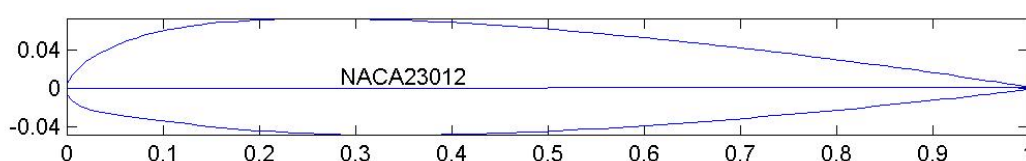
Figur 3.8 Figurene viser resultatene fra fire målinger tatt ved ulike vinkler som indikert med helikopteret over

4 BEREGNING AV RCS FOR HELIKOPTERROTOR

Under prosjekt 726 har det blitt utviklet et program for beregning av radartverrsnitt (RCS) for objekter beskrevet med et CAD-verktøy (2). Beregningene kan gjøres for mono- og bistatiske konfigurasjoner.

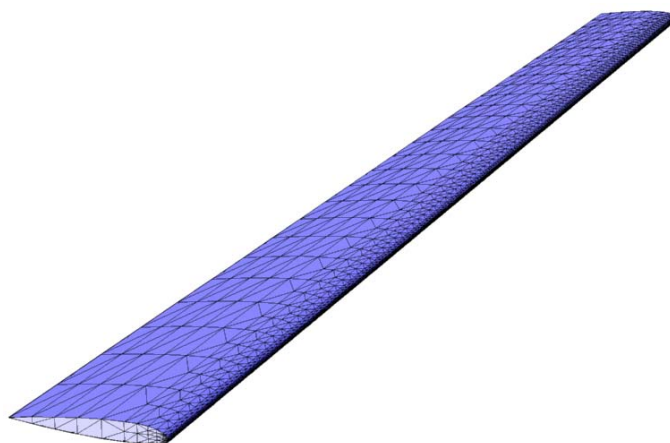
4.1 RCS-beregning av en vingeprofil

For å sammenligne typiske trekk mellom måleresultatene og beregnede RCS-verdier for en helikopterrotor ble det utviklet en rotormodell basert på vingeprofilen NACA 23012. Helikopteret i målingene har en tilsvarende vingeprofil på rotoren. Vingeprofilen er illustrert i Figur 4.1. Den har en tykkelse i forhold til lengde på 12% og maksimal tykkelse er ved 30% av lengden regnet fra forkanten. Profilen har en maksimal camber på 20%.



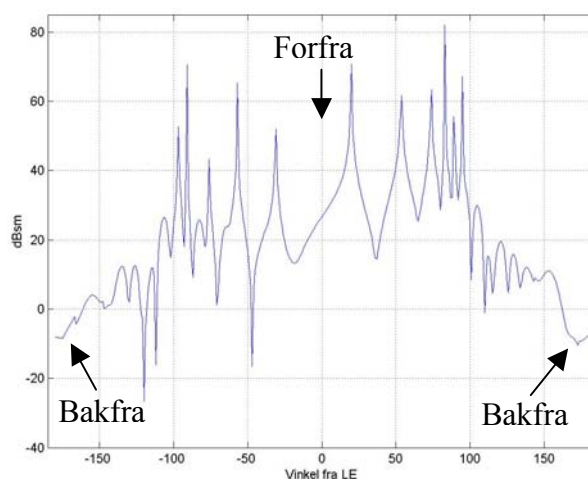
Figur 4.1 Vingeprofilen NACA-23012 som er brukt i modellen av helikopterrotoren

En vinge bygd med NACA-23012 profilen over hele lengden er illustrert i Figur 4.2. Denne vingen er beskrevet med 978 trekanter og er en forenklet modell av en av rotorene til helikopteret.



Figur 4.2 Figuren viser modell av et rotorbladene til helikopterrotoren med inntegnede trekanter som angir oppløsningen. Vingens profil er NACA-23012 som er konstant i hele vingens lengde.

Resultatet av RCS beregningene for en vinge er vist i Figur 4.3. Den bistatiske vinkelen er satt til $\beta = 137$. Polarisasjonsretningen er vertikal for både sender og mottaker (VV). Dette tilsvarer innstillingen i målingene. For denne beregningen har vi rotert vingen på tvers av lengderetningen. Dette gir oss en analyse av refleksjonen for ulike vinkler av vingeprofilen .

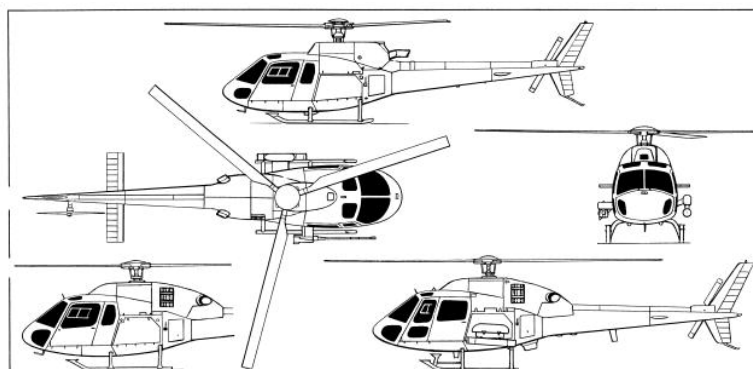


Figur 4.3 Beregningsresultat for vingen i Figur 4.2. Ved $\pm 180^\circ$ er vingen sett rett bakfra og ved -90° rett fra undersiden og ved 90° rett ovenifra. Ved denne oppløsningen på vingeprofilen er det fasettene som beskriver vingen som gir toppene.

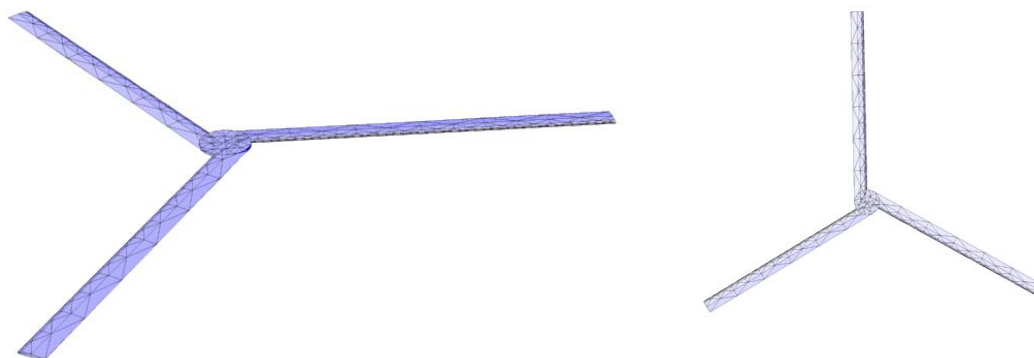
Det vi kan lese ut av disse beregningene er at vi tydelig ser fasettene vingen er beskrevet med ved de skarpe toppene. En virkelig rotor som er bygget av kurvede flater og ikke små flate trekanter vil gi en mer jevn kurve. Ut fra beregningene kan vi anta at refleksjonene er større forfra enn bakfra ved denne bistatiske konfigurasjonen.

4.2 RCS-beregning av en helikopterrotor

Helikopteret målingene ble utført mot er et Eurocopter AS350 B2, se treplansskisse vist i Figur 4.4. Helikopterrotoren som vi beregner radartverrsnittet av benytter vingeprofilen fra avsnitt 4.1. En illustrasjon av den modellerte helikopterrotor er vist i Figur 4.5.

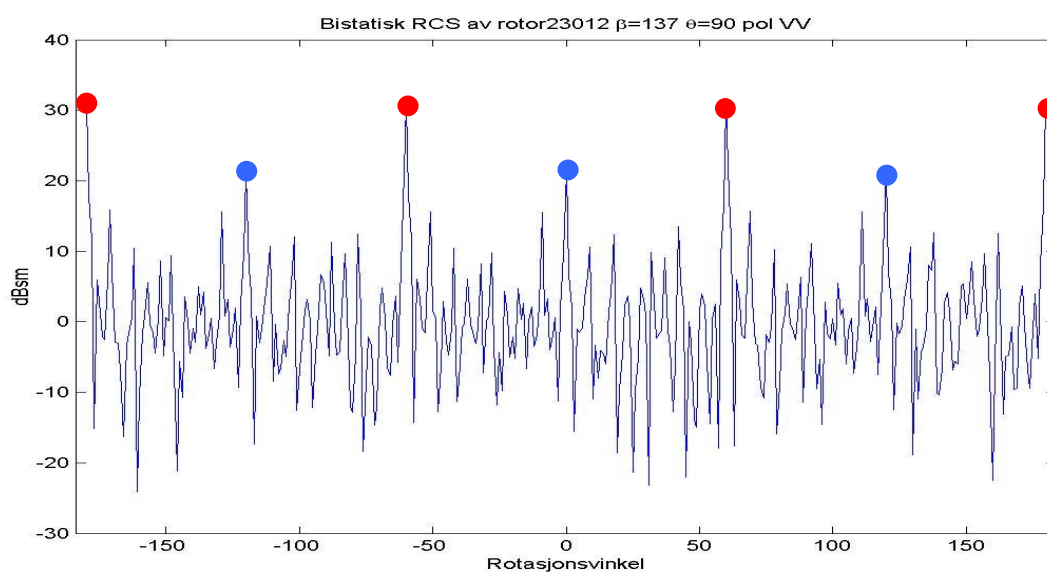


Figur 4.4 Treplansskisse av Eurocopter AS350 B2



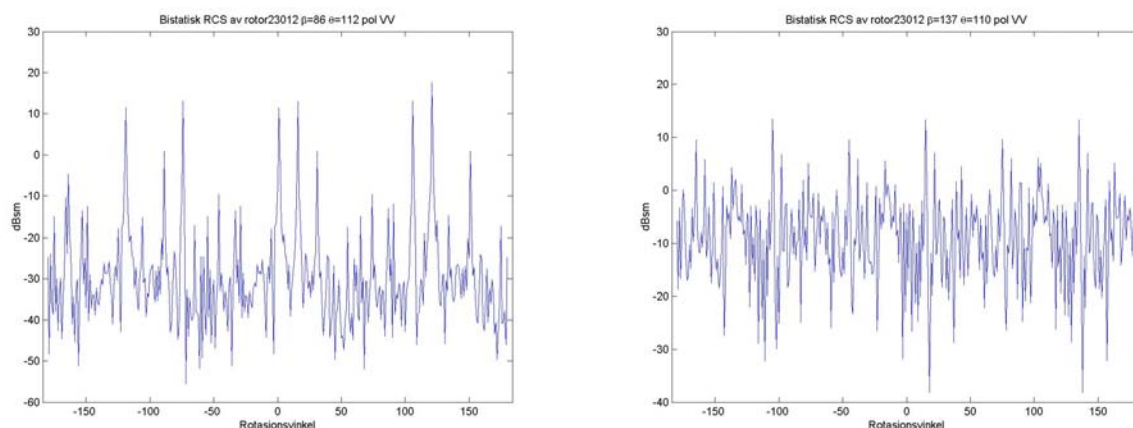
Figur 4.5 Modellering av helikopterrotoren til en Eurocopter AS350 B2. Rotordiameter er 10.69m med en korde på 0.35m. Modellert vingeprofil er NACA-23012.

I Figur 4.6 er resultatene vist for RCS beregninger av helikopterrotoren som funksjon av rotasjonsvinkel. Den bistatiske vinkelen er satt til $\beta=80$ grader og sender og mottaker er plassert i rotasjonsplanet til rotoren. Vi ser tydelig den spekulære refleksjonen fra de tre rotorbladene. I samsvar med Figur 4.3 er RCS verdien større for refleksjoner fra framkanten enn fra bakkanten av rotorbladene.



Figur 4.6 Beregnet RCS-verdi for helikopterrotor ved 5.9 GHz VV-polarisasjon. Den bistatiske vinkelen i simuleringen er satt til $\beta=137$ grader og sender og mottaker står i rotasjonsplanet til rotoren. Toppene i plottet kommer fra henholdsvis forkant (●) og bakkant (●) av rotor.

For å studere forskjellen ved endrede geometrier er to simuleringer presentert i Figur 4.7. Plottet til venstre har en bistatisk vinkel på $\beta=86$ grader og sender og mottaker er plassert 12 grader under rotasjonsplanet som i Figur 4.6, mens plottet til høyre er beregnet ved $\beta=137$ grader og sender og mottaker plassert 20 grader under rotasjonsplanet. I plottet til venstre ser vi klart en effekt av oppløsningen i CAD-modellen hvor distinkte plater gir klare topper.



Figur 4.7 Beregnet bistatisk RCS for helikopterrotoren fra Figur 4.5. Plottet til venstre har en bistatisk vinkel på $\beta=86$ grader mens plottet til høyre er beregnet med $\beta=137$ grader og sender og mottaker er plassert henholdsvis 12 og 20 grader under rotasjonsplanet. Plottet til venstre kan sammenlignes med måling E og plottet til høyre med måling I, ref Figur 3.3.

Ut fra beregningen kan vi tydelig se at rotoren har tre blader og at fasettoppløsningen til CAD-modellen gir store utslag.

5 KONKLUSJON

Målingene mot helikopter har vist at en bistatisk radar som sender et laveffekts CW-kodet signal kan detektere både hovedrotor og halerotor i tillegg til helikopterkroppen. Den karakteristiske spredningen i hastighet fra en rotor gir et enkelt mål for identifisering av målet som et helikopter eller et propellfly. For en mer spesifikk identifisering må antall rotorblader, rotorlengde og bredde, rotasjonshastighet, flyhastighet og RCS-nivåer bli vurdert. For eksempel vil et hovrende helikopter ha null flyhastighet, noe som skiller det klart ut fra et propellfly.

I posisjoner med sterkt direktesignal eller clutter vil kun rotorbladene bli detektert og ikke helikopterkroppen som er begravet i responsen fra direktesignal/clutter. Dersom helikopteret har en hastighet forskjellig fra null i forhold til den bistatiske oppstillingen, vil også kroppen kunne detekteres. Fra deteksjon av hoved- og halerotor ble rotasjonsfrekvensene til rotorene bestemt, samt om rotorene har odde eller like antall rotorblader. Nivåene på det reflekterte signalet varierte for baksiden og forsiden av rotorene samt som funksjon av geometri. RCS-beregninger på en rotormodell bygget opp i et CAD-program viste lignende nivåforskjeller fra for og bakkant.

Rapporten gir ikke noen fullstendig kartlegging av ulike bistatiske vinkler/helikoptergeometrier, men gir et innblikk i de muligheter systemet har for deteksjon og karakterisering av et helikoptermål.

Litteratur

- (1) OLSEN Karl Erik, JOHNSEN Terje, JOHNSRUD Steinar (2001): To-dimensjonal digital signalprosessering for å skille radarmål i avstand og hastighet, FFI/RAPPORT-2001/04787, BEGRENSET
- (2) GUNDERSEN Rune (2002): Mono- og bistatisk radartverrsnittsberegningsprogram, FFI/RAPPORT-2002/01749
- (3) GUNDERSEN Rune, TANSEM Ivar, JOHNSEN Terje, JOHNSRUD Stenar, OLSEN Karl Erik, SØRNES Per (2002): Rune Gundersen, Ivar Tanssem, Terje Johnsen, Stenar Johnsrud, Karl Erik Olsen, Per Sørnes (2002): Digital multistatisk radar, overordnet systembeskrivelse, FFI/RAPPORT-2002/02453
- (4) GUNDERSEN Rune, JOHNSEN Terje, JOHNSRUD Steinar, SØRNES Per (2002): RF maskinvare for digital radar, FFI/RAPPORT-2002/01751

FORDELINGSLISTE

FFIE
Dato: 30 mai 2002

RAPPORTTYPE (KRYSS AV)		RAPPORT NR.	REFERANSE	RAPPORTENS DATO	
<input checked="" type="checkbox"/> RAPP	<input type="checkbox"/> NOTAT	<input type="checkbox"/> RR	2002/01764	FFIE/726/170	30 mai 2002
RAPPORTENS BESKYTTELSESGRAD			ANTALL EKS UTSTEDT	ANTALL SIDER	
UGRADERT			54	25	
RAPPORTENS TITTEL			FORFATTER(E)		
BISTATISKE RADARMÅLINGER AV HELIKOPTER			JOHNSEN Terje, GUNDERSEN Rune, OLSEN Karl Erik, JOHNSRUD Steinar, TANSEM Ivar, SØRNES Per		
FORDELING GODKJENT AV FORSKNINGSSJEF			FORDELING GODKJENT AV AVDELINGSSJEF:		
John-Mikal Størdal			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		Bjørn Dyrøy, FLO/Sjø/Teknisk	1		FFISYS
1		Oblt Svein-Ove Gangnes, LVI	1		FFIBM
1		Oblt Willy Borg-Lundquist, LVI	1		FFIN
1		Oberst Dag Strømsæther, SSLV	1		John-Mikal Størdal, FFIE
1		Major Ove Jørn Luktvasslimo, SSLV	1		Halvor Bjordal, FFIE
1		Major Trond Inge Olsen, FLO/Luft	1		Rune Gundersen, FFIE
1		Major Lars Laudal, FLO/Luft	1		Terje Johnsen, FFIE
1		Kaptein Lars Villiam Westad, LVI	1		Karl Erik Olsen, FFIE
1		IKT System Partner, P.boks 5961	1		Steinar Johnsrud, FFIE
		1503 Moss	1		Ivar Tansem, FFIE
			1		Per Sørnes, FFIE
			1		Svein-Erik Hamran, FFIE
			1		Hans Øhra, FFIE
			1		Kirsten Kvernsveen, FFIE
			1		Stein Malerud, FFISYS
			1		Tore Smestad, FFIE
			1		Arne Petter Bartholsen, FFIE
			1		Arne Skogstad, FFIN
			1		Harald Mathisen, FFISYS
			1		Morten Søderblom, FFIE
			1		Jahn Andreas Mæland, FFIE
			5		Arkiv, 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.