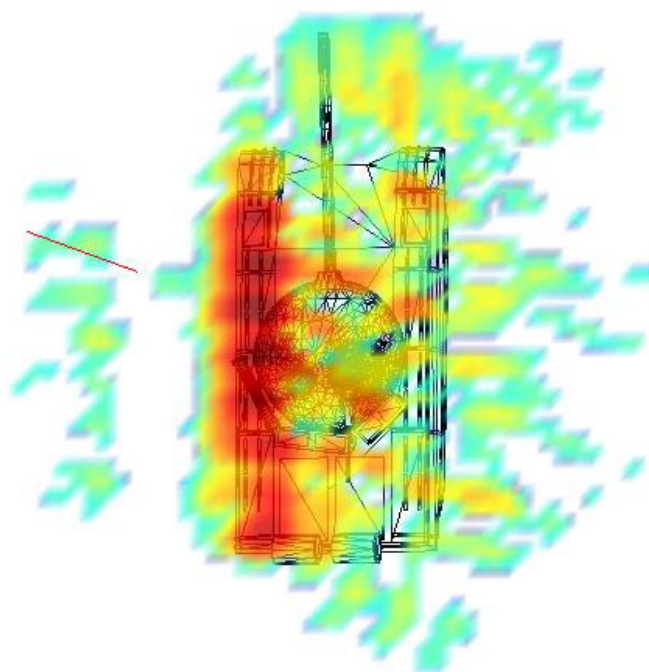


Erik Zdansky, Nils Gustafsson, Jonas Rahm

Mono- och bistatisk radarmätning med FOIs nya mätbåge



TOTALFÖRSVARETS FORSKNING SINSTITUT

Sensorteknik
Box 1165
581 11 Linköping

FOI-R--1011--SE

December 2003

ISSN 1650-1942

Metodrapport

Erik Zdansky, Nils Gustafsson, Jonas Rahm

Mono- och bistatisk radarmätning med FOIs nya mätbåge

Utgivare Totalförsvarets Forskningsinstitut - FOI Sensorteknik Box 1165 581 11 Linköping	Rapportnummer, ISRN FOI-R--1011--SE	Klassificering Metodrapport
	Forskningsområde 6. Telekrig	
	Månad, år December 2003	Projektnummer E 3015
	Verksamhetsgren 5. Uppdragsfinansierad verksamhet	
	Delområde 62. Signaturanpassning	
Författare/redaktör Erik Zdansky Nils Gustafsson Jonas Rahm	Projektledare Jonas Rahm	
	Godkänd av Svante Ödman	
	Uppdragsgivare/kundbeteckning Försvarsmakten	
	Tekniskt och/eller vetenskapligt ansvarig Jonas Rahm	
Rapportens titel Mono- och bistatisk radarmätning med FOIs nya mätbåge		
Sammanfattning (högst 200 ord) En mätbåge för bistatiska radarmätningar har byggts och provats. Bågen tjänar följande syften: 1) Mätningar av bistatiska markegenskaper för beräkning och värdering av mono- och bistatiska radar signaturer. 2) Bistatiska mätningar på skalmodeller kan ge ett värdefullt underlag för dimensionering och utveckling av multistatiska radarer för ett nätverksbaserat försvar (NBF). 3) Mätning av bistatiska signaturer för beräkning och anpassning av fordon och fartyg för att möta ett bi- eller multistatiskt hot. 4) Bågen kan även användas för t.ex. optiska mätningar av t.ex. BRDF. Bågens radie är 3,5 m. Resultat från mätningar vid 6-16 GHz i HH-polarisation mot en metalliserad stridsvagnsmodell i skala 1:48 redovisas. Detta motsvarar fullskalemätningar vid 125-333 MHz. Bågen ska senare användas till bl.a. mätningar på markprover. Avsikten med dessa inledande mätningar har varit att pröva mätsystemet, utveckla metodiken och identifiera ev åtgärdsbehov. Nolldopplerfiltrering har med utmärkt resultat prövats, men identifiering och reduktion av bakgrundssignaler genom fysiska åtgärder och bakgrundssubtraktion bör prioriteras för att sänka bakgrundsbråken. De teoretiska förutsättningarna för ISAR-avbildning vid högre depressionsvinklar och bistatisk geometri måste granskas och nya verktyg ev. tas fram.		
Nyckelord RCS, radarmålearea, radarreflektivitet, markmålearea, bistatisk, radarmätning, mätmetodik, markspredning, ISAR, skalmodellmätning, T72, T-72, NBF, nätverksbaserat försvar, BRDF		
Övriga bibliografiska uppgifter	Språk Svenska	
ISSN 1650-1942	Antal sidor: 26 s.	
Distribution enligt missiv	Pris: Enligt prislista	

Issuing organization FOI – Swedish Defence Research Agency Sensor Technology P.O. Box 1165 SE - 581 11 Linköping	Report number, ISRN FOI-R--1011--SE	Report type Methodology Report
	Research area code 6. Electronic warfare	
	Month year December 2003	Project no. E 3015
	Customers code 5. Commissioned research	
	Sub area code 62. Stealth Technology	
Author/s (editor/s) Erik Zdansky Nils Gustafsson Jonas Rahm	Project manager Jonas Rahm	
	Approved by Svante Ödman	
	Sponsoring agency Swedish Armed Forces	
	Scientifically and technically responsible Jonas Rahm	
Report title (In translation) Mono- and bistatic measurements using FOI's new bistatic arc		
Abstract (not more than 200 words) An arc for bistatic radar measurement has been built and tested. The arc serves the following purposes: 1) Measurements of bistatic ground scattering properties for estimating and evaluating mono- and bistatic radar signatures. 2) Bistatic measurements on scale models for outline design, and development, of multistatic radar systems for a network based defence. 3) Measurements of bistatic signatures for development and signature management of ground vehicles and marine vessels. 4) The arc could also be a resource for optical measurements of e.g. BRDF. The radius of the arc is 3.5 m. Results from measurements at 6-16 GHz in HH-polarisation against a metalised tank model in 1:48 (1/4" per 1") scale are reported. This corresponds to full-scale measurements at 125-333 MHz. The arc will later be used for bistatic measurements on ground samples. The purpose of these initial measurements was to test the measurement system, to develop the method and to identify developments needed. Zero doppler filtering has been tested with excellent results, but identification of background signal sources and their reduction through physical means and background subtraction remains an important task. The theoretical basis of ISAR imaging from elevated positions and bistatic geometry must be studied and possibly new tools developed.		
Keywords RCS, radar cross section, radar reflectivity, bistatic, radar measurements, measurement methodology, ground scattering, ISAR, scale model measurements, T72, T-72, network based defence, NBD, BRDF		
Further bibliographic information	Language Swedish	
ISSN 1650-1942	Pages 26 p.	
	Price acc. to pricelist	

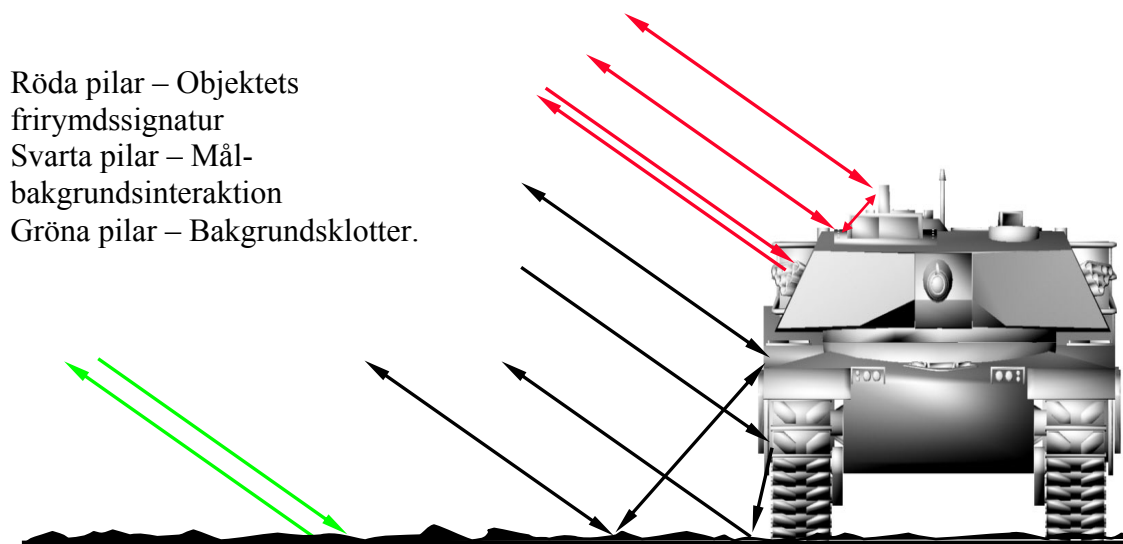
Innehållsförteckning

Inledning.....	5
Mätbågen.....	7
Mätutrustning och mätobjekt	9
Kalibrering	9
Mätparametrar	9
Skala	10
Databehandling.....	11
Resultat.....	15
Pseudomonostatiska mätningar	16
Bistatiska mätningar	19
Diskussion och slutsatser	24
Framtid	25
Referenser.....	26

Inledning

Mycket av FOIs radarsignaturverksamhet har de senaste åren varit ägnad åt mark- och sjöfallen. Signaturen av ett objekt bestäms av hur det lyckas ”smälta in” i bakgrunden. Beroende på typ av hotradar och syftet med signaturanpassningen är önskemålen olika. Bakgrundssignalen beror dels av terräng och aspektvinkel, dels av frekvens, polarisation signalbehandling och andra egenskaper hos radarn. För en radar utan MTI-funktion*, eller ett stillastående objekt är anpassning till bakgrunden en rimlig målsättning. Med MTI-funktion kan bakgrundssignalen tryckas ned till så låga nivåer att en minimering av målarean är den bästa anpassningen. Detta är också fallet då anpassningens primära syfte är att ge motmedel bättre effekt, t.ex. på så korta avstånd att det inte är realistiskt att klara sig enbart genom signaturanpassning. Signaturminimering fungerar också bra mot lågupplösande radar, som i allmänhet har svårt att detektera negativ kontrast. SAR däremot har bättre möjligheter att se inte bara ett objekt med negativ kontrast utan också skuggan från det och i vissa fall t.o.m. körspår. Signaturåtgärder kan också inriktas på att försvåra klassificering och identifiering av objekt eller att försvåra en noggrann inmätning.

Vid signaturanpassning av fartyg, fordon, flygplan och andra objekt utgör mätning och beräkning av radarsignaturer och radarbakgrunder viktiga hörnstenar. Kunskapen behövs också för utformning av andra delar av skyddskedjan, t.ex. motmedel och taktikanpassning. Lika viktigt är det att ha tillgång till ett bra underlag om dessa egenskaper vid utveckling av sensorer och sensorberoende vapensystem. Kunskap om signatur och bakgrund kommer till användning både vid optimering och värdering av signaturen. Mätningar och beräkningar har båda sina styrkor och svagheter och de kan därför komplettera varandra.



Figur 1. Schematisk skiss på några strålgångar som kan påverka radarsignaturen för ett objekt i bakgrund. Till signaturen hör också den skugga som uppstår bakom objektet.

För fordon, fartyg och i viss mån lågflygande luftfartyg kan växelverkan med omgivningen ha stor betydelse. Om vi bortser från skuggor, som främst är av betydelse i SAR-fallet och där är relativt lätta att förutsäga, så domineras växelverkan av flervägsutbredning (svarta pilar i fig. 1). Denna kan vara spekulär eller diffus. Traditionellt har man framför allt i sjöfallet tagit hänsyn till den spekulära delen genom s.k. F- el. M-faktorberäkningar [1, 2]. Dessa är

* MTI, moving target indicator, filtrerar bort stillastående mål inkl. bakgrund

lämpade för punktspridare eller system av många oberoende spridare. De är därför användbara för traditionella, icke signaturanpassade, objekt. Dessa faktorer beskriver hur den skenbara målarean minskar eller ökar med en faktor 0-16 ggr som en funktion av radarns avstånd, höjd och frekvens, och mark/havsytan beroende på om interferensen mellan direkta och indirekta strålvägar är destruktiv eller konstruktiv.

För signaturanpassade objekt är målarean starkt aspektvinkelberoende och då föreligger inte de förutsättningar som F/M-faktoranalysen normalt grundar sig på. Vidare bör objekten anpassas med tanke, inte på frirymdsfallet, utan på sin omgivning. Detta innebär att möjligheter till flervägsutbredning, t.ex. plåtar som speglar ned infallande strålar mot marken, bör undvikas. Detta låter sig inte göras för alla infallsriktningar, och andra krav på konstruktionen, t.ex. framkomlighet, IR-signatur och minskydd, kan också leda till att kompromisser måste accepteras.

Huvudprincipen för signaturanpassning inom radarområdet är formning, d.v.s. objekten ges en form som i görligaste mån ska låta infallande strålar spridas i riktningar bort från radarn. Genom att i möjligaste mån göra ytor och kanter parallella minimeras antalet sådana riktningar och därigenom samlas höga målareavärden i ett fåtal trånga sektorer. Även om F/M-faktorerna vore tillämpliga i detta fall skulle det allvarliga inte vara att målarean vid konstruktiv interferens höjdes inom redan offrade högsignaturesektorer. Skadligt, ev. förödande, för signaturen blir i stället att de sektorer som kan speglas i omgivningen fördubblar sitt antal (om de inte råkar sammanfalla med sin spegelbild). Omgivningen är dessutom sällan så plan och fin som ytorna på ett signaturanpassat objekt vilket innebär att de speglade hotsektorerna blir bredare. I många fall blir breddningen så stor att åtminstone en del av den infallande energin kan anses diffust spridd. Intensiteten sjunker naturligtvis då men kan ändå vara hög nog för att nå över detektionströskeln i en sektor som annars skulle vara anpassad.

Man kan fråga sig om inte bidragen från flervägsutbredning skulle likna bakgrunden och därmed inte utgöra något större problem. Att så, i allmänhet, inte är fallet beror på två faktorer. Den ena är att detta bidrag ofta har en dopplersignatur som liknar objektets, och därmed kan skiljas från bakgrunden med MTI-filtrer. Den andra är att markspredningsriktningarna ofta ligger nära den spekulära framåtspredningsriktningen, och att reflektiviteten därmed ligger betydligt högre än för bakgrundssignalen vars reflektivitet bestäms av den svagare bakåtspredningen.

Kunskap om markens (havsytans) bistatiska spridningsegenskaper krävs därför för att den effektiva signaturen för ett signaturanpassat objekt ska kunna uppskattas. För detta ändamål har vi tidigare gjort en förstudie om bistatiska markmätningar [3], och nu låtit bygga en båge för bistatiska markmätningar, se fig. 2. Meningen är att bågen ska kunna nyttjas för andra applikationer, t.ex. bistatiska SAR/ISAR mätningar på skalobjekt i bakgrund. Bågen har konstruerats och byggts av FOIs verkstad i Linköping med de yttre bärande strukturerna från extern underleverantör. Bågen används ihop med Lilla Gåras mätsystem. Denna rapport behandlar bågen och framtagandet av denna samt resultat av preliminära försök med mono-statiska och bistatiska skalmodellmätningar m.h.a. bågen. Syftet med mätningarna är inte främst resultaten i sig utan pröva om de bistatiska mätningarna fungerar som tänkt, att få fram mätrutiner och att identifiera utvecklingsbehov. Vissa resultat föreligger också för mätningar på en grusyta, men innan verkliga markmätningar kan genomföras återstår arbete med bl.a. aperturkontroll, d.v.s. kontroll och kalibrering av belyst område. Användning av bågen medför också behov av vidareutveckling och nyutveckling av metoder och programvara för

insamling, analys och presentation av data. Detta arbete har tagit sin början. Bl.a. ISAR-processningen måste analyseras och ev. revideras m.a.p. nya geometrier, och metoder för aperturkontroll måste implementeras.

Mätbågen

I ref [3] ges en relativt grundlig genomgång över vad som krävs av ett mätsystem och även idéer vad gäller mätmetodik för att man skall kunna få relevanta radarmålareadata som kan användas för modellering av interaktionen med omgivningen. Efter denna studie beslöt FOI att bygga en mätbåge, se figur 2.



Figur 2. FOIs mätbåge. Bågradien är 3,5 meter. Stativet kan justeras i höjd m.h.a. domkrafter vid stativbenen för att få bågcentrum på samma nivå som markplanet och justera in vinkelskalans nollpunkt.

Konstruktionen är, till en början, relativt enkel med möjligheten att kunna uppgradera bågen med tiden. Hela konstruktionen är gjord i aluminium. Stativet som stödjer bågen är ca 7,5 meter långt och ca 4 meter högt. Stativet till kvartsbågen, se figur 2, är ledat kring en vertikal axel så att den asimutala vinkeln mellan kvartsbågen och huvudbågen kan ställas in. Stativet bär upp bågstrukturen som består av två parallella bågar. Bågarna är uppbyggda av bågsegment frästa med en NC-fräsmaskin*. Bågsegmenten skruvas ihop och ger en inre bågradie på 3,5 meter. Bågen hålls upp genom att några av bågsegmenten är fästa i stativets yttre ram av kraftiga aluminiumsektioner. Bågarna fungerar som räls för antennvagnar, se figur 3. Vinkelpositionen, relativt markplanet, av vagnen ställs nu in med hjälp av ett digitalt vattenpass, som har en vinkelupplösning på 0,1 grad. Tanken är att bågarna också ska ges en vinkelgradering.

* NC, numerically controlled, numeriskt styrd



Figur 3. Tom antennvagn.

Hela stativet och därmed bågen kan höjas med hjälp av domkrafter vid varje stödben, vilket gör det möjligt att få bågen i våg relativt marken samt få bågens centrumpunkt på samma nivå som markplanet eller vridbordsplanet. Genom att placera en laserpekare på en antennvagn har upplinjeringsmätningar utförts. Det har visat sig att, utan att göra några stora justeringar, kan man med dessa enkla medel ge en tillräckligt god upplinjering. Bågarna är dock känsliga för ojämn inspänning i ramverket och den övre bärbalken är delad vilket tenderar att ge huvudbågens olika halvor något olika centrumpunkter.

Ett vridbord är nergrävt i marken i centrum av bågen vilket möjliggör bistatiska ISAR-mätningar. Rent geometriskt kan man med denna konfiguration, dvs mätbåge och vridbord, stor frihet att välja nästan godtyckliga antenndiriktningar, och dessutom ha möjlighet att utföra ISAR-mätning vid varje kombination av bistatisk vinkel. Möjligheten finns också att utföra SAR mätningar om antennerna kan positioneras med tillräcklig noggrannhet. I praktiken torde motoriserade antennvagnar krävas för att arbetsinsatsen ska bli rimlig. Hur stor del av vinkelrymden som i praktiken kan utnyttjas beror till stor del på hur man lyckas med att hålla ner bakgrund och överhörning. Vissa ISAR/SAR-kombinationer kan också förväntas ge dålig upplösning, se diskussionsavsnittet.

Lilla Gåras mätsystem har redovisats i ref [4], varför endast en lista på mätparametrar och mätutrustning för de bistatiska mätningarna på T-72an kommer att presenteras här.

Mätutrustning och mätobjekt

Antenner:	Rygghornsantennor 2-18 GHz, 5-18 dB gain, 60 till 10° lobbredd (-3 dB), för 6-16 GHz kan lobbrednen antas vara 30 till 12°.
Sändarförstärkare:	Avantec, 2-20 GHz, 22 dB, max uteffekt 12 dBm (bistatiskt nära max uteffekt, monostatiskt utan förstärkare, -10 dBm direkt från optodetektor)
Mottagarförstärkare:	Mitech; 0,1-20 GHz, 22dB
Optolänkar:	Mitech MDDT 100M 11G-28-20-M14 Mitech MDDR 100M 18G-10-20-0
Objekt:	Skalmodell (1:48) av T72 målad med ledande silverfärg.
Bakgrunder:	Aluminiumplåt diam 1 m, d:o plåt med AN72-RAM diam 0,54 m.

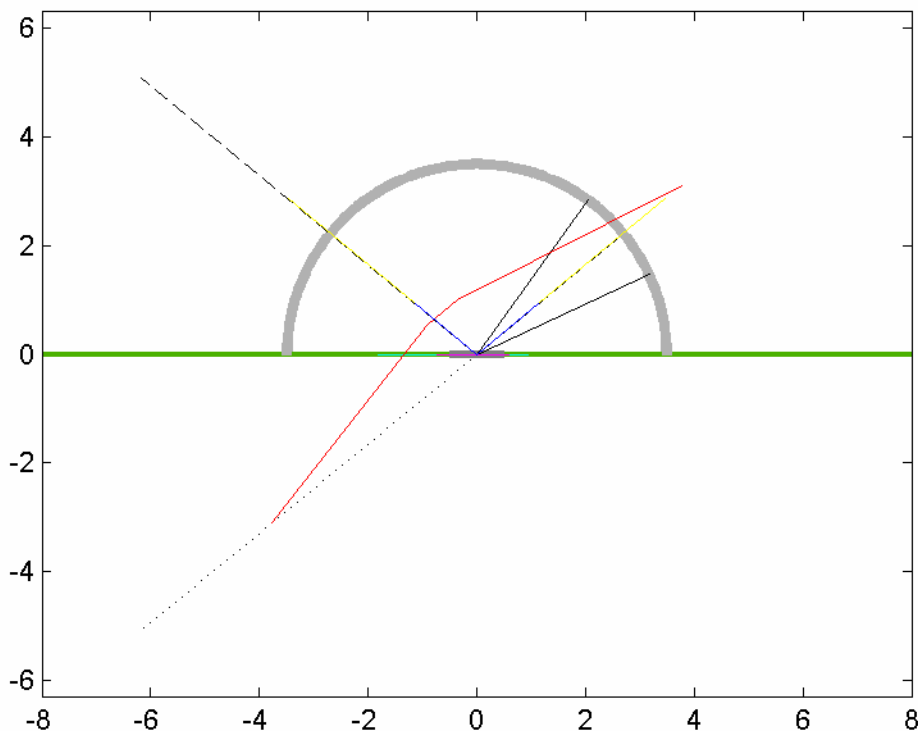
Kalibrering

Kalibreringen utfördes med hjälp av en kvadratisk trihedral med kantlängden 0,144 meter. För bistatiska mätningar användes en cirkulär platta, 0,25 m i diameter. ISAR-bilder är kalibrerade i dBm²/pixel. I här redovisade monostatiska ISAR-bilder är pixelstorleken 5x5 mm².

Mätparametrar

Depressionsvinklar:	Mätningar har gjorts med följande kombinationer av depressionsvinklar för sändare mottagare monterade på samma båge (d.v.s. samma asimutvinkel) 16°/18° (pseudomonostatisk) 25°/54° (bisektrisdepression $\alpha=39,5^\circ$, bistatisk vinkel $\beta=29^\circ$) 10°/70° ($\alpha=40^\circ$, $\beta=80^\circ$)
Asimutvinklar:	0-360° i 16384 steg.
Frekvenser:	6-16 GHz i 201 steg (omskalat till fullskala 125-333,3 MHz) Detta ger ett invikningsavstånd om 3 m (se fig. 4) och en upplösning om ca 1,5 cm.
Mätavstånd:	3,5 meter
Polarisation:	HH
Pulslängd:	30 ns sändpuls, 35 ns mottagningslucka centrerad på objektet (se fig. 4).
Pulsrepetitionstid:	25 μ s
Integration:	Nej
Radarns teoretiska "fotavtryck":	Starkt beroende av frekvens och vinkel samt pulstider. Vid centerfrekvensen 11 GHz kan lobbrednen (-3 dB) uppskattas till 17° vilket vid 3,5 m ger 1,0 m tvärs antennriktningen. Längs med antennriktningen inverkar projektion och puls/grindtider. Det

effektiva fotavtrycket utgör produkten av sändarens och mottagarens avtryck (se fig. 4).



Figur 4. Schematisk bild av mätgeometrin vid bistatisk mätning för vinkelkombinationen 25 och 54° depression. Mätbåge och vridbord markerade i grått, dimensioner i meter. Antennriktningarna ges av svarta linjer och deras fotavtryck i längsriktningen (-3 dB, 11 GHz) av markering i gult resp. purpur. Svart streckad linje ger bisektrisriktning och dess spegling i markplanet. Rött markerar känslighetens tidslucka (faltning av sändpuls och mottagarlucka) då denna är centrerad över objektet. Markeringar i grönt och purpur längs bisektrislinjen markerar invikningszoner räknade längs denna. I det bistatiska fallet bör invikningszonerna dock beräknas separat för olika strålvägs kombinationer.

Skala

Dessa mätningar har gjorts på en modell av det verkliga objektet (T-72 i full storlek) i skala 1:48. Resultaten för sådana mätningar kan skalas om till uppskattningar för det riktiga objektet. Så länge skalmodellen är helt riktig och modell och fullskaleobjekt helt metalliska ska dessa uppskattningar vara exakta. Skalmodeller kan byggas även för icke-metalliska objekt, men det är ofta svårt att skala om materialegenskaperna. I denna rapport redovisas mätresultat för modellen, de är alltså inte omräknade till fullskala. Våglängden omskalas linjärt med modellskalan så att mätfrekvenserna 6-16 GHz svarar mot fullskalemätningar gjorda med frekvenserna 125-333,3 MHz (jfr LORAs delband 219-420 MHz [5]). Målareor omskalas med kvadraten på den linjära skalan och ska alltså höjas med en faktor 2304 (33,6 dB). Målarean i ISAR-bilder genererade med Columbus ges i dBm²/pixel och representerar ett, i vissa fall viktat, medelvärde över det frekvens- och vinkelintervall som har använts för att generera bilden.



Figur 5. T72 modell på RAM bakgrund på vridbordsplåten. En mer detaljerad bild av modellen återfinns i fig. 9.

Databehandling

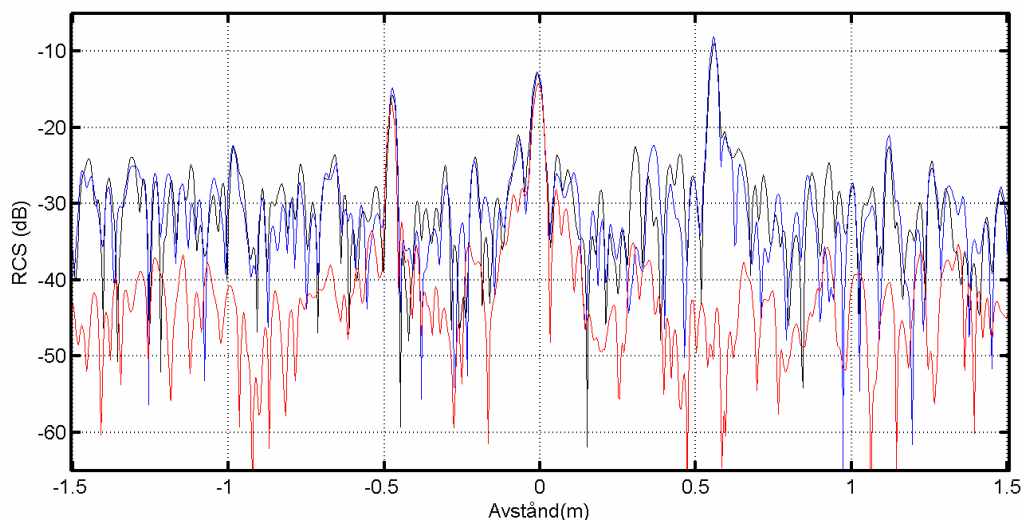
Data har samlats in med Lilla Gåras mätsystem, kalibrerats och konverterats till MatLab-format lämpat för vidare analys med analysverktyget Columbus. Vid mätningar snett uppifrån mot ett objekt på en yta föreligger förutsättning för högre bakgrundsbidrag än på en horisontell mätsträcka eller en s.k. frirymdsmätsträcka. Ofta kan signalen från själva underlagsytan reduceras genom att använda en speglande metallyta. Däremot introducerar man då goda förutsättningar för växelverkan genom flervägsutbredning. Radarn ser även objektets spegelbild och bistatiska bidrag som formellt kommer från spegelbilder av sändare resp. mottagare tillkommer också. Dessa effekter kan reduceras genom att radarabsorberande material (AN72) appliceras på underlaget (se fig. 5). Bidragen från objekt framför och bakom mätobjektet reduceras genom radarns djupupplösning, som förbättras genom utnyttjande av stor bandbredd, i kombination med utgrindning. Om entydighetsavståndet är mindre än radarns pulsupplösning kan dock bidrag från spridare framför eller bakom objektet vikas in mot objektområdet. För ytterligare reduktion av bakgrunden kan bakgrundssubtraktion och s.k. noll-dopplerfiltrering användas.

Nolldopplerfiltrering bygger på antagandet att medelvärdet av spridningsamplituderna över en stor vinkelsektor (helst ett helt antal varv) svarar mot spridningen från fasta spridare [6]. Dessa kan då avlägsnas ur data genom subtraktion av medelvärdet. Även bidrag från över-

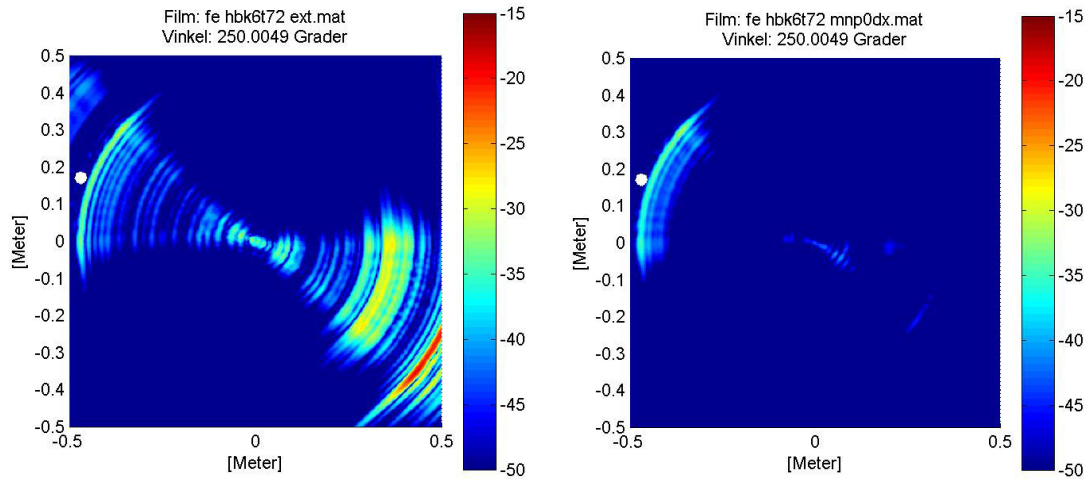
hörning mellan antenner bör kunna reduceras på detta sätt. Rörliga objekt antas däremot ge mycket små nettobidrag till medelvärdet (idealt sett noll) och blir därför kvar. Idealt centrerade rotationssymmetriska delobjekt kan ur denna synpunkt förväntas vara ekvivalenta med fasta objekt och försvinna vid filtreringen. Före en mer allmän användning av nolldopplerfilter vore det därför önskvärt att studera dess effekter på signalen från de objekt som ska ISAR-avbildas.

Nedan (fig. 6-7) visas exempel på mätresultat och resultatet av bakgrundssubtraktion och nolldopplerfiltrering. Vid Lilla Gåras markmätsträcka fungerar bakgrundssubtraktion i allmänhet utmärkt med omkr 20 dB reduktion från redan låga nivåer. Här däremot är resultaten betydligt mer blygsamma, och i vissa delområden har nivån t.o.m. ökat. Detta visar att något har ändrats mellan mätningarna. F.n. är det bara möjligt att spekulera över orsakerna till detta. Det kan bero på att delar av mätsystemet sitter ute, och därmed är mer utsatt för temperaturväxlingar. Även bågens mekaniska stabilitet över lite längre stund kan tänkas ge begränsningar. Slutligen är det lätt att röra om lite i gruset eller på annat sätt mekaniskt störa markavsnittet runt vridbordet då modellen ska ställas på. Mekaniska markstörningar kan i princip undvikas genom användning av skylift eller liknade, men avdunstning eller nederbörd under mättiden kan påverka, främst genom ändringar i markens dielektriska egenskaper. Ett datainsamlingssystem som medger snabbare mätningar kan förväntas leda till minskade problem med drifter.

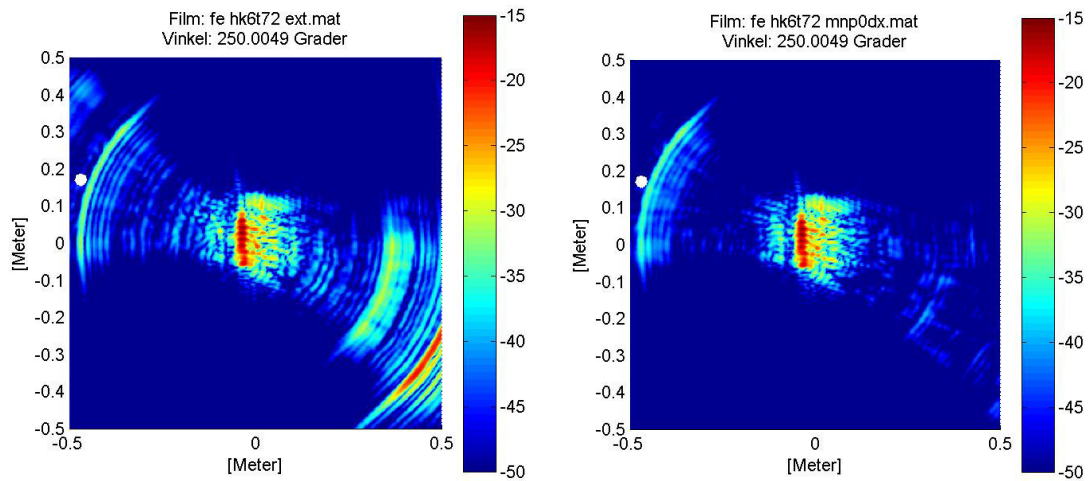
Nolldopplerfiltreringen fungerar däremot utmärkt med upp till omkr 30 dB eller bättre reduktion av de fasta reflexerna utan påtaglig inverkan på signalen från mätobjektet (fig. 6-7). Den nivåförhöjning som kvarstår i riktning mot radarn, knappt 0,5 m från bildens centrum härrör från den cirkulära metallskivans kant. Om skivan vore perfekt centrerad och fullständigt vinkelrät mot vridaxeln skulle även denna undertryckas vid nolldopplerfiltrering. Utgrindade RCS-data jämförs också med rådata i resultatavsnittet (fig. 15).



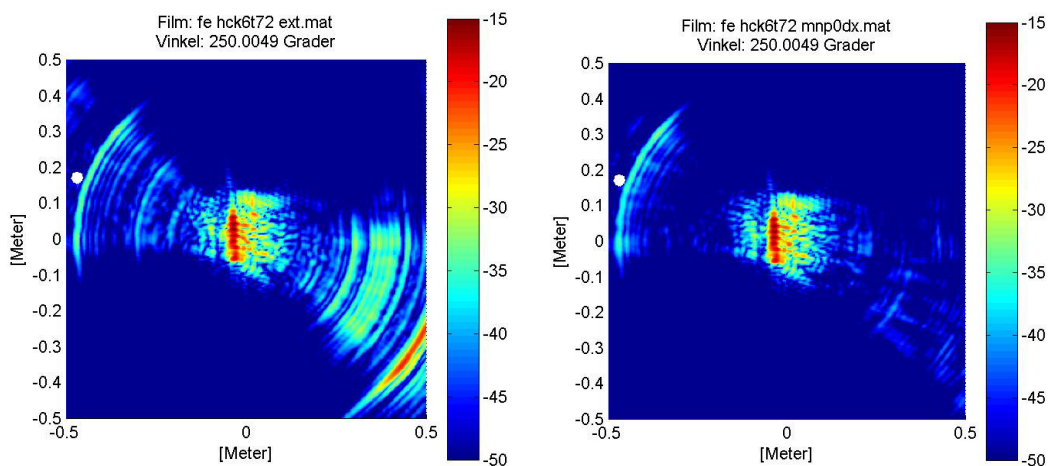
Figur 6. Avståndsprofiler för modellen på plåt. Pseudomonostatiska mätningar vid 250° asimutvinkel (vänster sida något snett framifrån). Blå kurva rådata, svart bakgrundssubtraherad, röd nolldopplerfiltrerad. Efter filtrering återstår målsignal (pos omkr 0 m) och reflexen från plåtens framkant (omkr -0,5 m).



Figur 7a. Bakgrund vid pseudomonostatisk mätning utan resp med nolldopplerfiltrering. Vit prick markerar radarns centerposition.



Figur 7b. Mätresultat för modell av T-72 på metallplåt, mätförhållanden som ovan. Utan resp. med nolldopplerfiltrering.



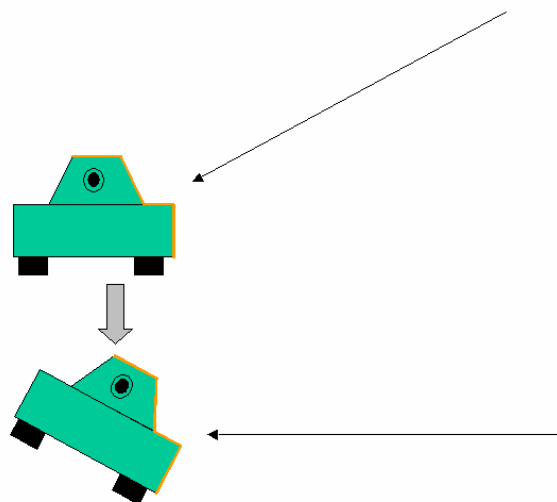
Figur 7c. Mätresultat efter bakgrundssubtraktion. Utan resp. med nolldopplerfiltrering.

ISAR-bildens utseende kan påverkas genom användning av olika "filter" vid bildgenerering eller i efterhand. De sidolober som uppstår vid användning rektangulärt filter kan nå ut i bakgrundsregioner och höja dem. Det är inte särskilt allvarligt eftersom de har ett karaktäristiskt utseende och är lätta att känna igen. Inom objektområdet gör de mer skada eftersom de där kan dölja svaga reflexer. Hanning- eller Hammingfilter har här inte använts eftersom de skulle sänka den redan låga upplösningen.

En granskning av avståndsprofiler för olika delband i några filer visar att brusnivån är högre vid de högre frekvenserna, typiskt 14 till 16 GHz. Data har granskats för störningar och i de fall sådana har hittats har smärre datasegment rensats bort. För att ISAR-filmer ska kunna genereras för hela varvet runt har datamatriisen skarvats på så att t.ex. data från området 0-40° fått fylla ut området 360-400°.

För de bistatiska mätningarna har ett felaktigt avstånd angivits vid kalibrering. Detta leder typiskt till att objektet, som ska stå stilla i ISAR-filmen att parallellförflyttas runt bildens centrum ("wobbla runt") och skärpan kan också försämrats. I princip kan detta kompenseras fullt ut i efterhand genom en motsvarande faskorrektion. En sådan har också använts, men som diskuteras i resultatavsnittet nedan är resultatet av okänd orsak ändå inte tillfredsställande.

ISAR-delen av Columbus är i första hand skriven för monostatiska ISAR-bilder mätta vid 0° depressionsvinkel, d.v.s. storcirkelsnitt där ISAR-bilderna representerar en projektion på xy-planet. För större depressionsvinklar kommer radarn att se objektet snett uppfifrån. Man kan då tänka sig att vinkla ned riktningen mot radarn till horisontalplanet och låta samma rotation vinkla om objektet så att det lutar i förhållande till xy-planet. Nedan (fig. 9-14, 17) har vi, i stället för att använda en 2D "overlay", av den typ som brukar användas med Columbus, använt en 3D CAD-modell som roterats till motsvarande lutningar och sampresenterats med ISAR-filmen. Eftersom bidrag kan komma både från objektets översida, och från den sida som vetter i radarns asimutala riktning, men som efter tippningen är riktad något snett nedåt, har bildpar som visar både CAD-modellens översida och dess undersida genererats. Denna projektion täcker i princip in effekterna av objektets projektion på radarns mätriktning.



Figur 8. Den övre delen av bilden visar ett stridsfordon vars signatur mäts med ISAR från en eleverad position. Gult markerar belysta sidor av fordonet. Om ISAR-ytan antas vara parallell med radarns tittriktning kommer bilden att svara mot en projektion (som ev. kan vara distorderad) i den grå pilens riktning. Observera att både delar som, sedda från den grå pilens riktning, nu är vända uppåt eller nedåt är belysta och därmed kan bidra till bilden.

Det finns emellertid även andra avvikelser från antagandet att mätningen är monostatisk och har gjorts i ett storcirkelsnitt. Användning av koniska snitt torde t.ex. leda till en bildkompression i tvärled och den bistatiska geometrin till en kompression i avståndsled. Effekterna av att generera ISAR-bilderna utifrån avvikande premisser kan omfatta distorsion av bilden, defokusering (oskärpa) och intensitetsfel. Vid mätning på utbredda objekt, som t.ex. mark kan också effekter av vågfrontens krökning komma in. Det vore önskvärt att få tillfälle att studera dessa effekter mer ingående genom en kombination av teoretiska överväganden och "numeriska experiment". Ett ISAR-verktyg baserat på tidsdomänbaserad kod skulle i detta avseende ge bättre kontroll över åtminstone de geometriska effekterna. Tidsdomänbaserad kod har tidigare använts vid FOI för simulering av CARABAS-bilder [7].

Distorsioner kan med varierande framgång korrigeras genom manipulering av indata till ISAR-programmet, en korrigerande deformation av den genererade ISAR-bilden eller genom att ISAR-bilden jämförs med en på motsvarande sätt deformerad CAD-modell av objektet. Eftersom det råder viss osäkerhet om vilka effekter användning av koniska snitt och bistatisk geometri får har vi avstått från att försöka lägga korrekationer på indata även om i de fall där den teoretiska grunden för korrekationer i avståndsled varit klar.

Resultat

Vi kommer här att i huvudsak redovisa ISAR-bilder från några olika radar- och målkonfigurationer. Mätningar har också gjorts vid diskreta frekvenser, men även om man är intresserad av rena radarmålareadata kan ISAR-mätningarna vara att föredra eftersom de medger bättre kontroll och möjlighet att reducera oönskade signalkomponenter.

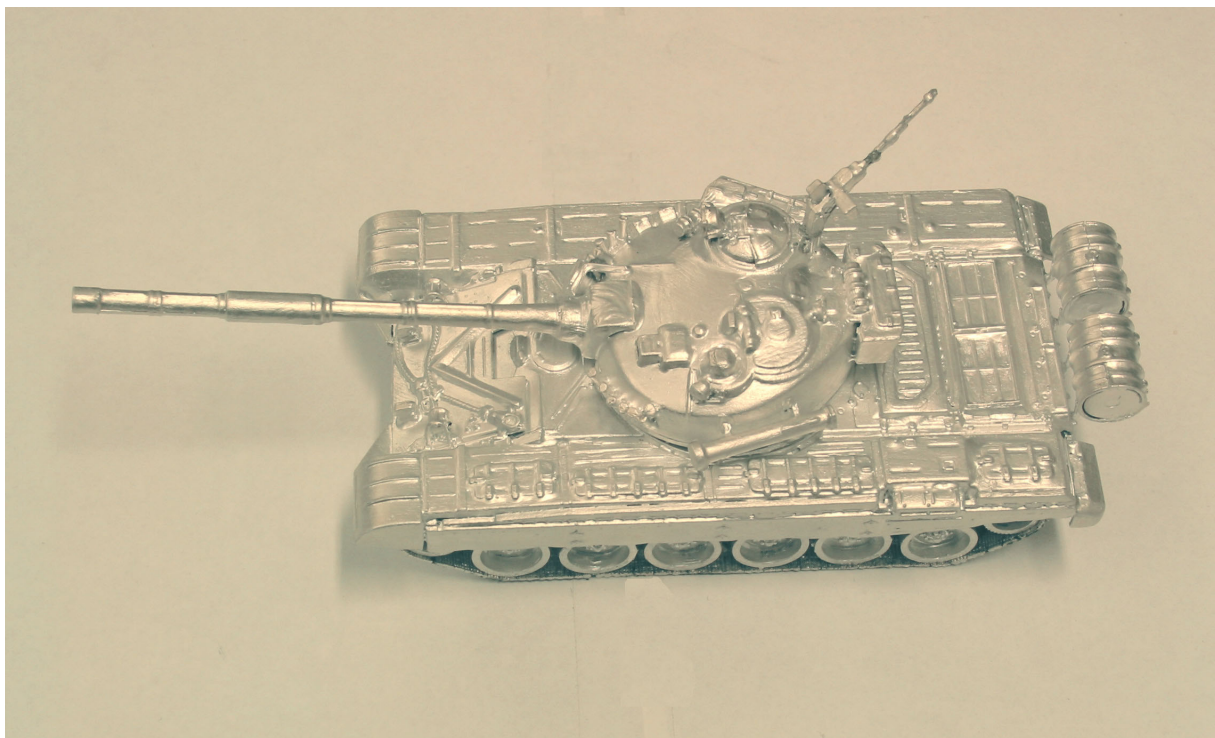
ISAR-bilderna är ett värdefullt hjälpmedel vid tolkning av vad som ger upphov till radarsignaturen. Tolkningen kan dock försvåras av en rad faktorer som här ska nämnas. Bilderna skiljer sig på många sätt från optiska bilder. Upplösningen är lägre och interferenseffekter är viktiga p.g.a. våglängden. Vid flervägsutbredning behöver intensiteten i bilden inte uppträda vid källan. Vid låga frekvenser eller små objekt kan olika typer av ytvågor och resonansfenomen bli betydelsefulla. Belysningen är koherent och kommer från ett smalt vinkelintervall och dynamiken är ofta mycket stor. Kopplingen mellan intensitet i bild och i RCS-värden kan kännas oklar eftersom utbredda områden med måttlig intensitet i bilden kan samverka till kraftiga toppar i ett RCS-diagram. Vidare ser man objektet i ett slags uppfifrån-position trots att radarn ser det från sidan. Därigenom kan, som nämnts ovan, delobjekt vända både mot och bort från denna skenbara observatörsposition bidra. Sampresentation av ISAR-data med en enkel geometrisk bild av objektet är därför ofta en god hjälp vid tolkningen. Med hjälpfigur och ovanstående i minnet kan ofta stora delar av bilden ges en enkel tolkning.

Till ovanstående kommer också det som olika typer av fel ger upphov till. Hjälpfiguren kan ha brister eller vara dåligt upplinjerad. När upplösningsscellen är liten i förhållande till objektet brukar det inte vara svårt att finna detaljer som kan användas för att malla in figurerna i förhållande till varandra. Små reflektorer placerade som geometriska fixpunkter vid sidan av objektet vara till god hjälp för detta. En referens finns faktiskt också tillgänglig i dessa mätningar, nämligen aluminiumplåtens kant. Den fysiska modellen kan ha fel i t.ex. metallisering (silverfärgen sitter dåligt på banden som är gjorda av en mjuk polymer). Bakgrundsobjekt kan bidra, och dessutom vikas in mot centrum av bilden. De finita frekvens- och vinkelbredderna i

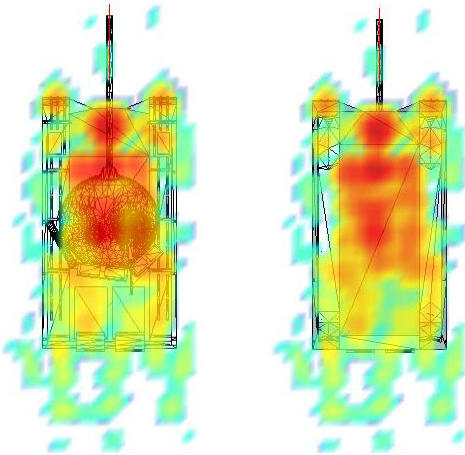
underliggande data ger upphov till artefakter i form av sidolober i bilden, "avbrottssvall". Andra artefakter kan uppstå genom grafikprogrammets sätt att hantera interpolationer. MatLab delar t.ex. datanätets rektanglar i trianglar längs en viss diagonal, vilket leder till att denna framhävs. Genom att generera en översamplad ISAR-bild, d.v.s. en med tätare bildpunkter än den teoretiska upplösningen kan beroendet av interpolationsalgoritm minskas till priset av ökad beräkningstid. Slutligen kan, som redan nämnts, användning av andra mätgeometrier än de ISAR-programmet skrivits för, att ge upphov till distorsioner och andra fel. Trots ovan beskrivna faktorer kan de flesta mera betydande spridningscentra vid monostatisk geometri och måttliga depressionsvinklar i allmänhet tolkas ganska enkelt då ISAR-bilden jämförs med objektet eller en bild av detta. Vid det förhållande mellan våglängd och objektstorlek som här råder måste tolkningar definitivt göras med större försiktighet.

Pseudomonostatiska mätningar

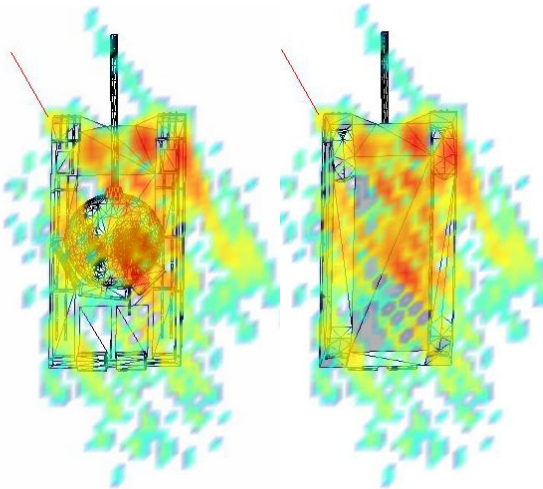
För dessa mätningar användes antenndepressionerna 18° och 16° och modellen var placerad direkt på metallplåten, varför förhållandena var ideala för full spekulär växelverkan. Resultaten för höger och vänster sidan är tämligen lika och vi har valt att i fig. 10-15 visa bilder för ett antal positioner längs vänster sida från front till bak. Samma ISAR visas kombinerad med både över och undersida. Den använda CAD-modellen är dels förenklad, dels avviker den i vissa avseenden från plastmodellen. För detaljer hänvisas därför till fotografi, fig. 9. Färgskalan är densamma som använts ovan i fig. 7 men transparensen har använts för att skära av skalan nedanför ljusblått så att inte de mörkblå delarna ska skymma CAD-modellen. Grå delar av CAD-modellen är egenskuggade, d.v.s vända bort från radarn. Eftersom distorsionerna är små ($\cos 17^\circ = 0,96$) så har inga korrekationer gjorts. ISAR-bilderna har dock skiftats till visuellt bästa överlapp med CAD-modellen, vilket har kunnat göras på ett konsekvent sätt, d.v.s skiften varierar på ett rimligt sätt med aspektvinkeln.



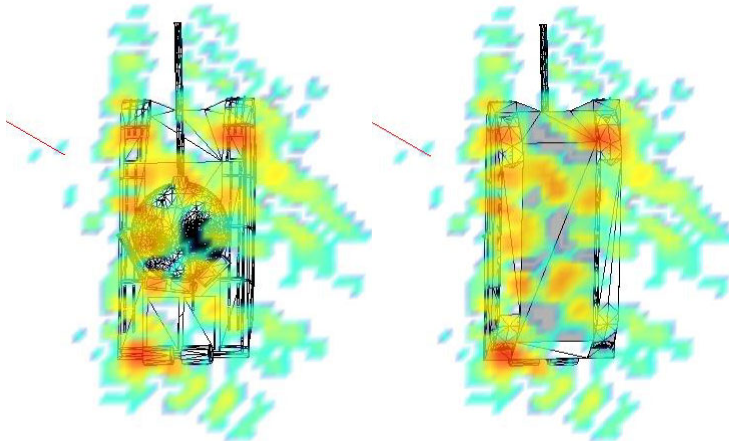
Figur 9. Fotografi av den med silverfärg metalliserade modellen av T-72 i skala 1:48.



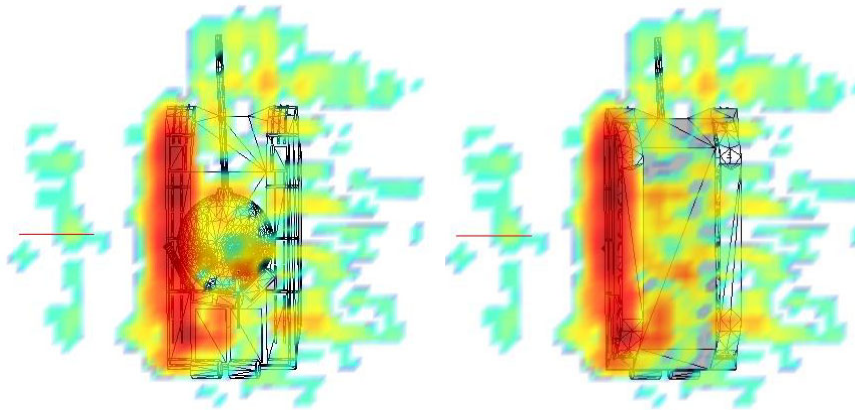
Figur 10. T-72-modell på plåtunderlag. 180° d.v.s. frontaspekt. Depressionens medelvinkel är som i hela denna serie 17°. Det kraftiga ekot längst fram i mitten är relativt smalt vilket antyder att dess källa kan vara någon växelverkan mellan eldrör och frontpansar. En sådan skulle kunna vara att eldrör och mark tillsammans bildar en transmissionsledare som ger reflex när vågen når vagnfronten, eller när utrymmet mellan eldrör och den sluttande fronten blir för trångt. Eldröret tycks vara för tunt för att i dessa mätningar visa nämnvärda direktreflexer. Svagare centra vid dess sidor sammanfaller ungefär med bandens framändar resp den punkt där banden når marken. De stora bidragen från vagnens mer centrala delar har sannolikt bidrag från bukkaviteten och tornet. Färgskalan är densamma som i fig. 8, men de mörkblå delarna är ej medtagna.



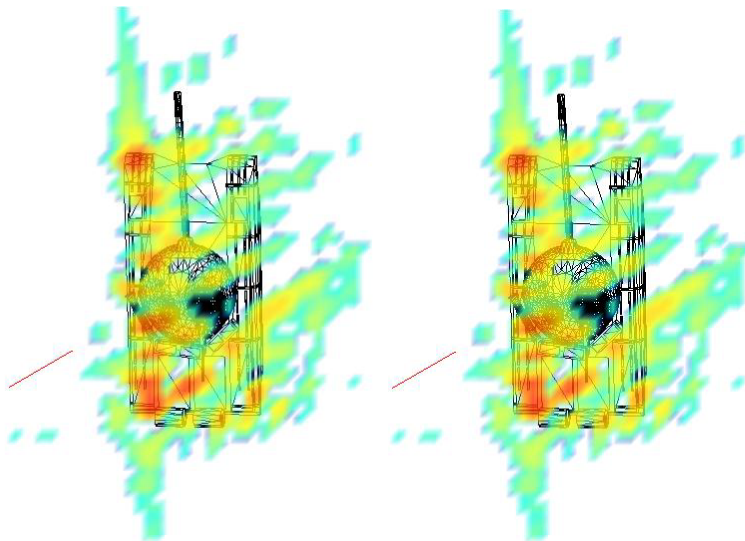
Figur 11. 210°. Snett framifrån. En stor del av intensiteten härrör sannolikt från kaviteter, eller andra fördröjda reflexer kring bandställ och undersida. Den förhöjda intensiteten vid frontpansarets högra sida svarar positionsmässigt mot ett innerhörn. Den tendens till strukturer som finns tvärs radarns riktning beror åtminstone delvis på artefakter i MatLabs grafik.



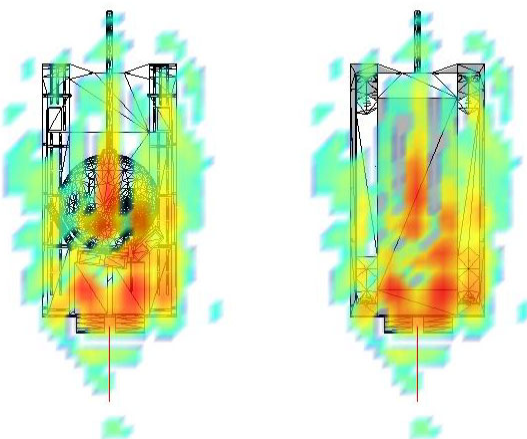
Figur 12. 240°. Även här är bilden präglad av fördröjda ekon. Intensitetsvariationerna längs sidan är tydligt kopplade till antalet bär-, spänn- och drivhjul, men ekona behöver inte vara direktreflexer från dessa utan kan bero på någon form av växelverkan med dem. Särskilt tydligt syns hjulen omkr 250°, jfr fig 7 och bild på rapportens framsida. I fram- och bakände är intensiteten tydligt högre. Detta är sannolikt kopplat till driv- och bärhjulens olika höjd som gör att framsidorna på främsta bärhjulet resp drivhjulet bak är exponerade. Bak förstärks denna effekt av att sidoplåten där inte går lika långt ned. Intensitetsmaximet framme till höger involverar sannolikt det främre bärhjulet eller strukturer kring detta. Dessa kringstrukturer kan sannolikt skilja mellan T-72 och plastmodell.



Figur 13. 270°. Fordonet visar här (och vid 90°) sin högsta signatur vid denna depressionsvinkel. Den orsakas av den stora plana fordonssidan, hjulen och deras växelverkan med marken, som blir stark genom att de bildar 90° vinkel med denna. Observera att de fördröjda ekon ligger kvar på omkring samma nivå som för 240°. Intensitetshöjningen på vänstra sidan bakom tornet kan vara kopplad till att kaviteten ovanför bakre bärhjulet är mer exponerad än övriga till följd av



Figur 14. 300°. Situationen med hjulrelaterade reflexer och fördröjda ekon påminner mycket om situationen vid 240°. Dessa typ av fördröjningsstråk har visat sig känsliga för grafiska artefakter. I bilder utan översampling tenderar de att följa ISAR-nätets diagonaler snarare än radarns riktning.



Figur 15. 0°. Kanske den sida som erbjuder störst utmaning vid tolkningen. Mest karaktäristiskt är paret av två områden med förhöjd intensitet bak och den långsmala reflexen över tornet, som i huvudsak återfinns bakom eldröret. Parreflexerna har en utlöpare över extratankarna men ligger i huvudsak framför dessa. De kan tänkas uppstå genom att tankarna reflekterar radar ned mot marken och sedan tillbaka varvid gångvägen skulle svara mot en position någonstans på takets bakre del. Möjligen skulle bärkonsolerna kunna bidra till att förklara varför de är starkare och ligger längre ut än direktreflexerna. Två maxima på tornets högra ligger geometriskt nära kulspruta resp strålkastare, men det är tveksamt om dessa kan sprida kraftigt nog för att förklara dem. Den högre intensiteten längs vagnens högra sida jämfört med den vänstra är sannolikt orsakad av osymmetrier i modellen.

Vid granskning av bilderna är det slående att många drag i dem tycks vara kopplade till detaljer, t.ex. extratankar, hjul och kaviteter kring dessa, som är relativt små jämfört med våglängden. Det innebär inte att de inte kan vara orsak, även små detaljer ger viss spridning, och i resonansområdet t.o.m. förstärkt sådan, men tolkningen måste göras försiktigt och förslagen betraktas som arbetshypoteser. Kanske bör förklaringen till ISAR-bildernas intensitetsmönster sökas i resonansegenskaper snarare än en direkt objektorienterad tolkning. SAR-bilder för fordon vid låga frekvenser inklusive bistatiska geometrier har simulerats i [7, 8]. Många detaljer på t.ex. tornet saknas dock och inte heller eldröret som är långt men tunt ger några särskilt framträdande reflexer. I fig. 16 visas slutligen målarean för modellen utgrindad ur den noll-dopplerfilterade ISAR-bilden och jämförd med rådata.

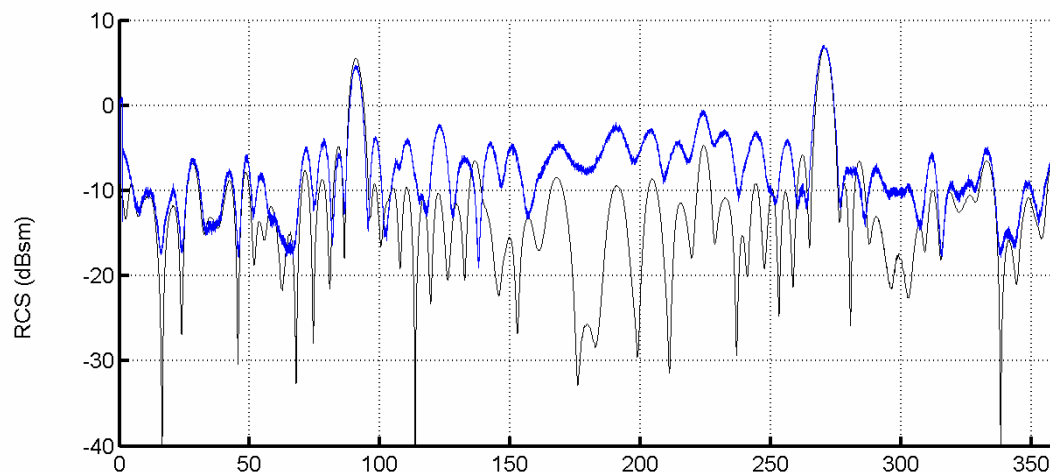
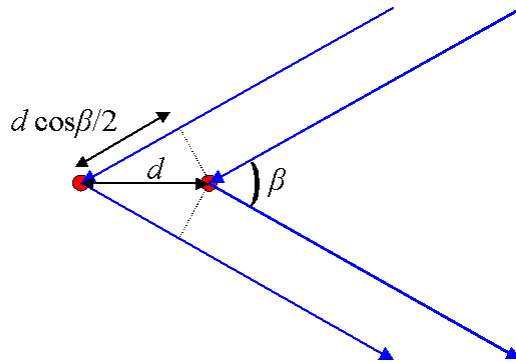


Fig 16. Pseudomonostatisk målarea som funktion av asimutvinkel för modellen vid 12 GHz (HH) stående på plåt. Målarean vid fullskalafrekvensen (250 MHz) förväntas ligga 33,6 dB högre. Blå kurva är rådata, svart kurva utgrindad ur noll-dopplerfilterad ISAR-bild. I framåtsikt, runt 180°, är signalbehandlingen av avgörande betydelse för erhållande av korrekta signaturdata.

Bistatiska mätningar

I bistatisk geometri blir de skenbara avstånden mellan spridare i bisektrisled mindre än de verkliga, se fig. 17. För de här använda bistatiska vinklarna, 29° resp 60° blir kompressionen 1,4% resp. 13,4%. Mer besvärande för tolkningen är kanske den kompression i tvärled som skillnaden mellan den småcirkel det koniska snittet följer och den storcirkel ISAR-algoritmen utgår ifrån ger upphov till. För monostatiska data och bilder beräknade från smala indata-sektorer blir denna kompression 23,4% vid 40° depression. Columbus kan ta hänsyn till depressionsvinkeln, men expanderar då bilden likformigt och vi har här i försökt att ta hänsyn till distorsionen i djupled genom vridning av objektet vilket bättre svarar mot den fysikaliska verkligheten. I de bistatiska bilder som visas nedan, fig. 18, har förväntade distorsioner kompenserats genom att den färdiga ISAR-bilden sträckts i längsled svarande mot den bistatiska vinkeln och i tvärled mot bisektrisens depressionsvinkel. För kombinationen 25° och 54° grader borde detta åtminstone vara en god approximation, men fortsatta studier kan tänkas visa att kompressionen bör beräknas som ett medel av kompressionen för de två vinklarna snarare än som kompressionen för medelvinkeln. Detta skulle ge 33,7% för kombinationen 10° och 70°.



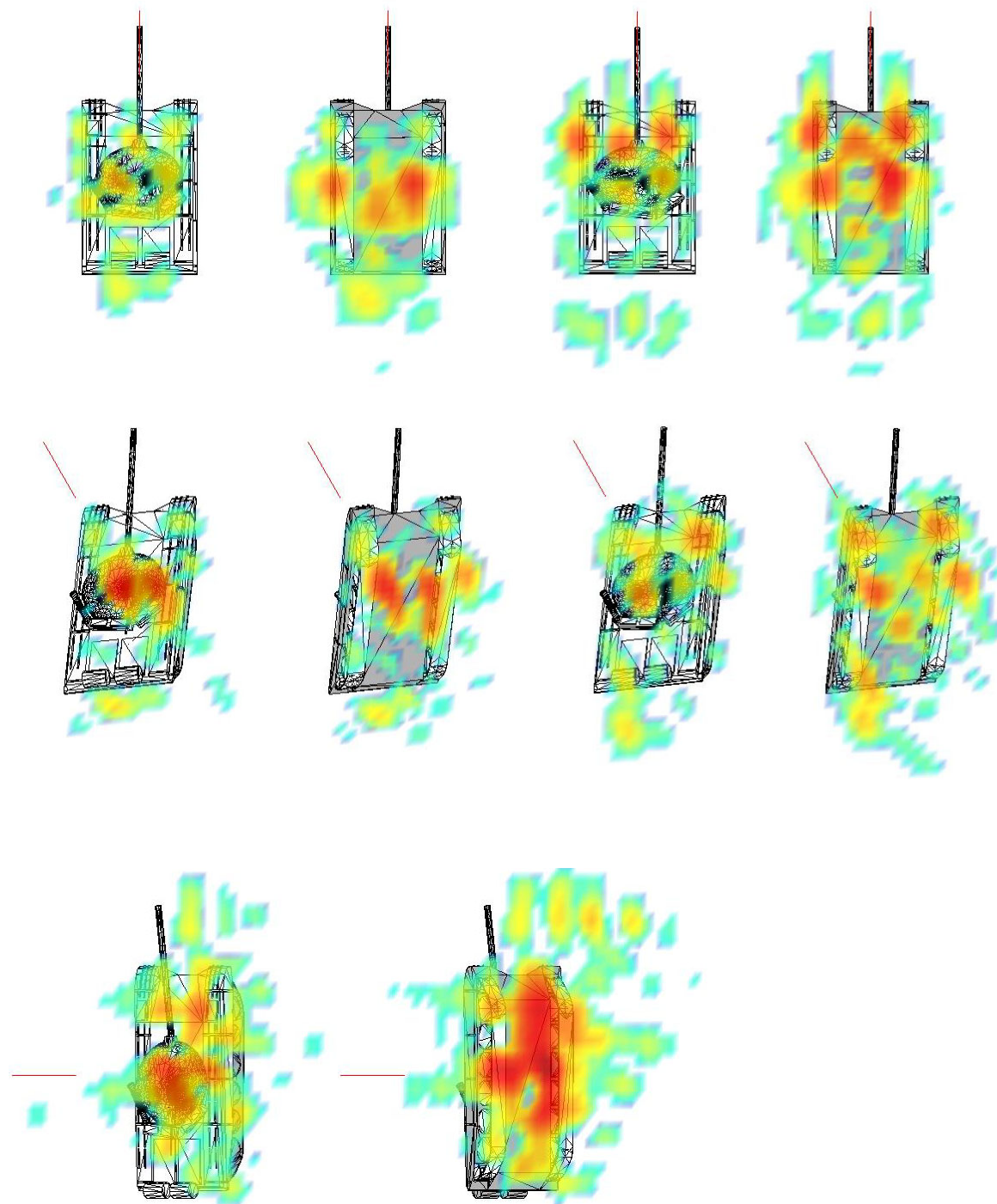
Figur 17. Vid bistatisk geometri minskar gångvägsskillnaden mellan två spridare på visst avstånd längs bisektrisriktningen.

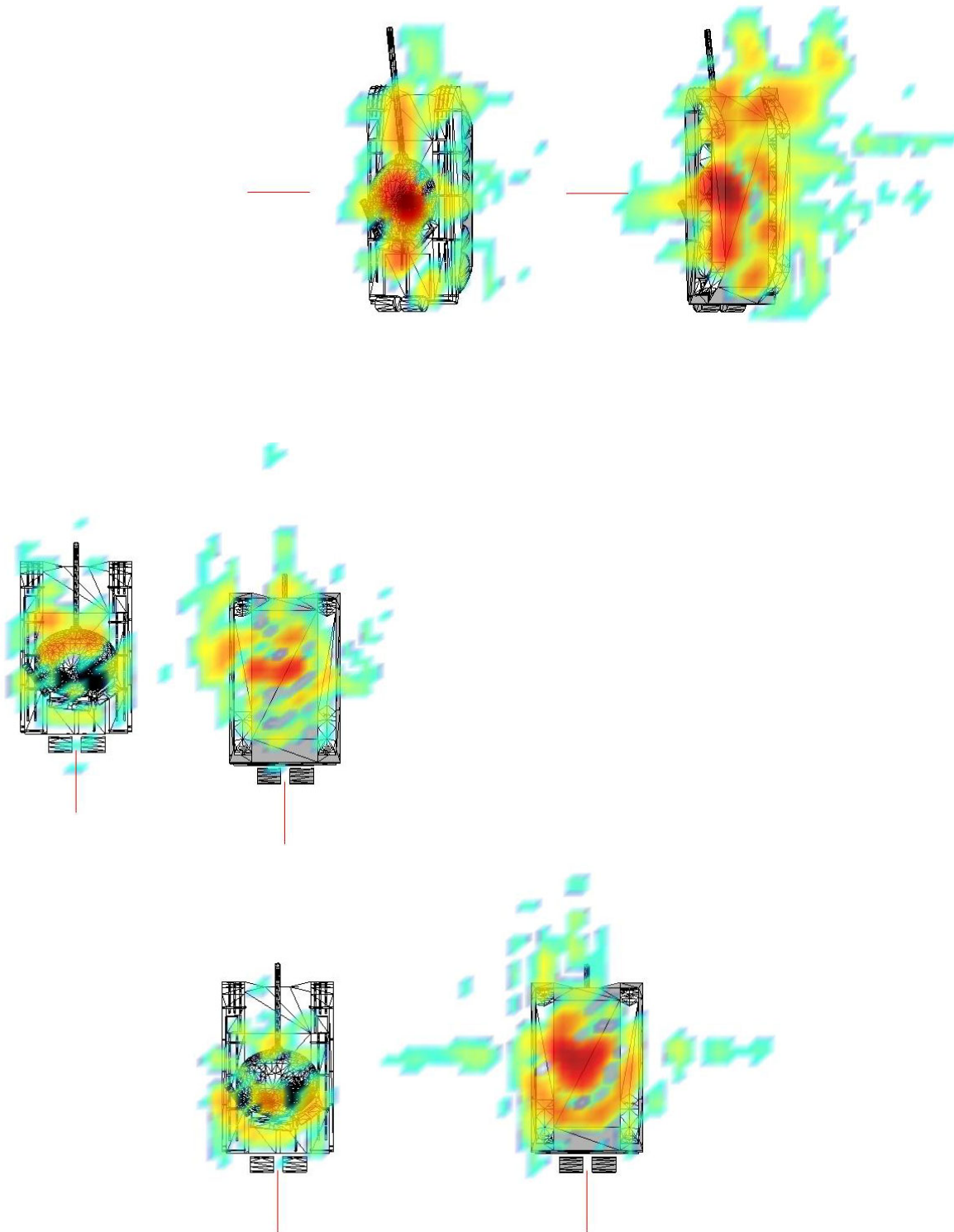
Bistatiska mätningar har utförts vid två vinkelkombinationer mot den metalliserade modellen stående på metallplåt och på ett absorbermaterial. Vid den ena vinkelkombinationen har dessutom mätningar utförts mot grus och modellen stående på grus. Då den bistatiska vinkeln ökas kommer signaturen att ändras allteftersom vissa spridningsmekanismer minskar i betydelse och andra ökar. Retroreflektorer tappar t.ex. betydelse som signaturkällor eftersom de återsprider signalen mot sändaren, där det ju inte längre finns någon mottagare. Det finns visserligen diederstrukturer som kan reflektera infallande strålning mot mottagare över ett betydande vinkelintervall, men det måste betraktas mer som en tillfällighet om sådana mekanismer skulle råka komma med. Med ökande bistatisk vinkel kommer en allt mindre del av objektet att ses av båda antennerna samtidigt vilket minskar betydelsen av direktreflexer så att yt- och krypvågor samt kantdiffraktion etc. kan förväntas öka i betydelse. Under de här använda förhållandena kan direktreflexer från ytor vinkelräta mot radarns bisektrisriktning förväntas ge de starkaste reflexerna. Därutöver förväntas bidrag från sidolober till dessa, och som i det monostatiska fallet från fördröjda ekon och "lågfrekvenseffekter".

Trots försök att enligt ovan redovisade överväganden kring hur Columbus ISAR-bilder ska kunna anpassas till en bistatisk situation och vilka skillnader man kan förvänta sig har det visat sig svårt att få fram ISAR-bilder som kunnat tolkas på ett konsekvent sätt. Det är möjligt att bistatiska ISAR-bilder vid dessa låga frekvenser verkligen är svårtolkade, men p.g.a. oklarheterna har vi valt att här endast redovisa ett litet urval bilder.

Bristen på enkla tolkningar är stor nog att motivera en närmare granskning av metoderna för insamling, kalibrering och behandling av bistatiska data vilka kanske behöver förbättras. I samband med en sådan granskning bör vad som händer med ISAR-bilder vid övergången från en obetydlig bistatisk vinkel till större och från höga till låga frekvenser uppmärksammas. Möjligen kan fokuseringsfel till följd av kvarstående fel i avståndskalibrering bidra, men oftast är den mest omedelbara effekten av sådana fel att objektet åker runt, "wobblar" i ISAR-filmen med defokusering som en mer sekundär effekt vid stora fel. Svårigheterna förstärker sig själva genom att det blir svårare att avgöra om ISAR-bild och CAD-modell överlagrar varandra på rätt sätt. Sådana justeringar har därför inte gjorts här för de bistatiska ISAR-bilderna. Försök har gjorts med omkalibrering med signalen från plåtens framkant som referens. Resultaten kan sägas visa en kombination av parallellförskjutning ("wobbling") och ändrat intensitetsmönster ("omfokusering"), men tolkningsbarheten har inte förbättrats. Detta understryker behovet av en granskning av förutsättningarna för ISAR-generering vid andra geometrier än monostatiska storcirkelsnitt och den potentiella nyttan med en tidsdomänkod. En tidsdomänkod är visserligen svårare att få beräkningseffektiv, men distorsioner och

fokusering vid varierande geometrier bör vara enklare att hålla under kontroll. Utgrindning och invertering samt radiometrisk hantering i tidsdomän är förstås också viktiga punkter att beakta vid en sådan utveckling.

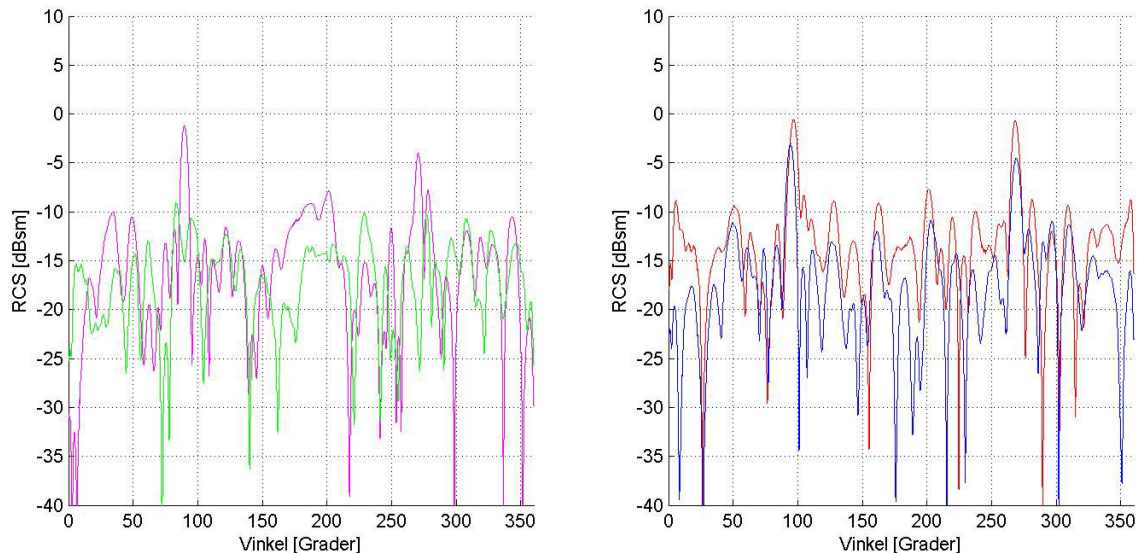




Figur 18. Exempel på ISAR-bilder erhållna för bistatiska mätningar. Som diskuteras i texten råder osäkerhet om tolkning och huruvida de är rätt fokuserade och upplinjerade. De två första två figurerna i varje grupp avser kombinationen 25° och 54° , de andra två kombinationen 10° och 70° . Röd linje markerar radarns bisektrisriktning. Inom vardera gruppen visar den första bilden, med vy ovanifrån, modellen stående på absorbent, den andra modellen stående på plåt. Färgskalan motsvarar den i figur 8 med mörkblå delar borttagna.

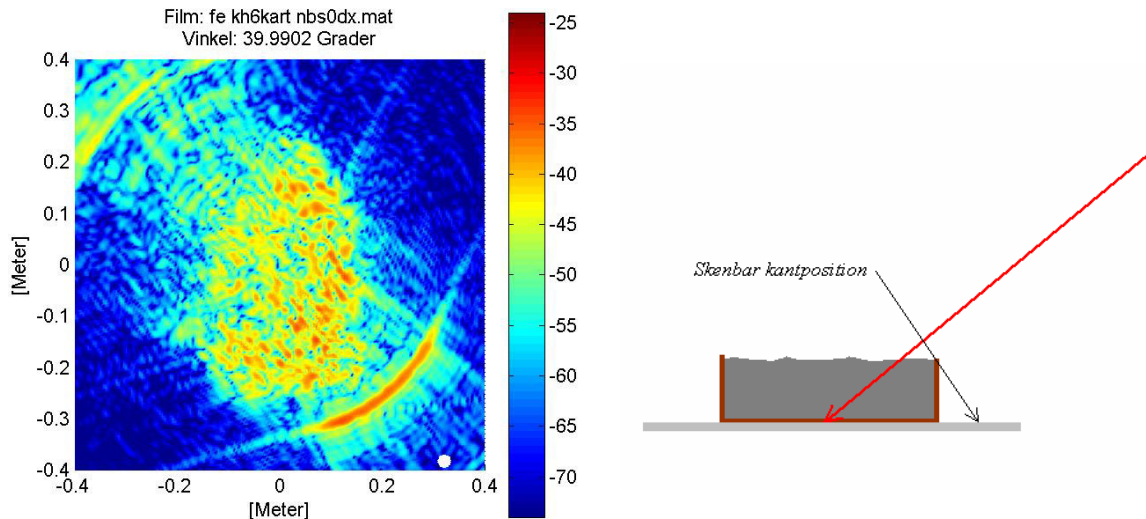
Även om osäkerhet råder kring de bistatiska ISAR-bilderna så torde de otvivelaktigt kunna användas för att skilja objektsignal från bakgrundssignaler genom utgrindning. Eftersom ISAR-avbildningen är reversibel bör också inversen till en, måhända, felfokuserad ISAR-bild ge en god uppfattning om hur objektets målarea utan bakgrundssignaler ser ut. I fig. 19-20

visas resultatet av sådana utgrindningar för de två bistatiska situationerna. Dessa diagram, och faktiskt även ISAR-bilderna visar att målarean i allmänhet är högre då objektet står på plåten än på absorbenten, detta trots att vertikala sidor inte förväntas växelverka särskilt starkt med marken i det bistatiska fallet.



Figur 19-20. Resultat för T-72-modellens bistatiska radarmålarea vid 12 GHz utgrindad från bakgrund vid vinkelkombinationerna 25° och 54° (vänster) resp 10° och 70° (höger). Fullskalemålareorna kan uppskattas ligga 33,6 dB högre och representera fullskalefrekvensen 250 MHz. Purpur och rött avser modell stående på plåt, grönt och blått modell på absorbent.

Figur 21 visar resultat från mätningar mot en grusyta. Bilden har inte korrigerats för depressionsvinklar och bistatisk geometri och frågetecknen kring fokusering kvarstår. Bilden visar att en adekvat signal erhålls, men att intensiteten varierar oväntat starkt över ytan. Möjligen kan detta bero på att gruset belysts även från sidan, vilket kan ge volymspridning från inre delar om inträngningen är god nog. Någon regelrät reflex från gruskartongens sidor eller från en hörnreflektor bildad mellan dessa och plåtytan har däremot inte kunnat iakttas. Framkanten ligger också närmare antennen och dessutom mer centralt i antennloberna (eftersom höjden ej hade anpassats, fig. 21), men lobbredden är stor, särskilt vid frekvensbandets nedre del. P.g.a. gruslådans höjd och bisektrisens depression kommer gruslådan att skenbart ligga närmare den cirkulära plåtens framkant. Vid verkliga markmätningar måste provet göras större, vilket avhandlas i nästa avsnitt.



Figur 21-22. ISAR-bild av grusfylld låda mätt med antenndepressioner 25° och 54°. Röd stråle ger endast en schematisk representation av radarns bisektris. Nivåskillnaden får lådan att skenbart avbildas närmre vridbordplåtens framkant.

Diskussion och slutsatser

Försöken med bågen har gett värdefulla erfarenheter inför kommande försök med markmätningar.

För att som tänkt kunna utnyttja ISAR för aperturkontroll och för att granska data, samt för att kunna utnyttja mätbågen fullt ut för objektmätningar är det nödvändigt att förutsättningarna för ISAR-generering i mer allmänna geometrier blir utredda och att lämpliga verktyg finns tillgängliga.

För fortsatta studier är det önskvärt att källorna till fasta ekon, särskilt de som efter invikning kan uppträda i det centrala mätområdet, identifieras och åtgärdas. Detta kan göras genom konstruktionsmodifieringar, antennbyte, skärmning, bortspeglning, absorberer och ändring av invikningsförhållandena. För detta arbete kan någon form av enklare mjukvaruverktyg som beräknar och presenterar känslighets- och invikningszoner behöva utvecklas inom arbetets ram. Även vid kalibrering bör de möjligheter signalbehandling erbjuder om möjligt tillämpas. Att begränsa känslighetens tidslucka (fig.4) ytterligare är svårt att göra med nuvarande utrustning. För att anpassa bågen till tidsluckan skulle den, och därmed kostnaderna, bli betydligt större. Förutsättningarna för att flytta bågen för *in situ*-studier av olika markavsnitt skulle också minska. Vid bistatisk geometri minskar risken för invikt bakgrund eftersom antennloberna sammanfaller främst i det centrala mätområdet. Även orsakerna till att bakgrunds-subtraktion inte givit tillfredsställande resultat måste granskas. Nolldopplerfiltrering har däremot varit framgångsrik och givit mycket lovande resultat. Kontroll av dess inverkan på rörliga komponenter är dock önskvärd.

Särskilt viktig blir reduktion av fasta ekon och överhörning i geometrier där det är svårt att tillämpa ISAR för kontroll och utgrindning av data. Detta gäller i första fallen stor bistatisk vinkel resp. bisektrisriktningar nära nadir*. I det första fallet blir avståndskänsligheten liten, i

* Nadir riktningen rakt nedåt, jfr zenit, rakt uppåt.

det andra är avståndsvariationen liten. Detta kan ev. i viss mån kompenseras genom att variation i frekvens och en vinkel ersätts med variation i två vinkelriktningar.

Vid mätningar mot markprover måste proverna täcka hela radarns fotavtryck, eller åtminstone måste åtgärder vidtas för att begränsa kanteffekter. Markprovet ska vara djupt nog för att signalen från underlaget ska kunna försummas. Detta beror av marktyp, fukthalt, infallsvinkel och underlag. Bågens höjdinställningar måste utnyttjas så att bågens centrum befinner sig i markplanet. Markprovet ska karaktäriseras väl och det måste säkerställas att de radarmässiga egenskaperna håller sig någorlunda konstanta under mättiden. Det är angeläget att mätningar kan utföras under förhållanden som är relevanta för växelverkan. Tyvärr innebär detta geometrier som ger dålig upplösning i ISAR och risk för överhörning.

En metod för aperturkontroll måste fastställas och kalibreringsdata och verktyg för denna måste finnas tillgängliga. Preliminärt är avsikten att den effektiva aperturen ska beräknas ur mätgeometri och uppmätta antenndiagram. Överlappet mellan sändpuls och mottagargrind bör i princip också ingå, men bågen är sannolikt för liten för att detta ska inverka.

Om möjligt bör monostatisk kalibrering användas även vid bistatiska mätningar. Det är viktigt att kalibreringen utförs m.a.p. rätt fascentrum. Användning av referensreflektorer, t.ex. små sfärer eller halvsfärer, för kontroll av upplinjer, distorsion, fokusering och ev. känslighet bör övervägas.

Bågen utgör ett fungerande stativ för mätningar med stor frihet i mätgeometri. De mycket goda effekterna av nolldopplerfiltrering kan förväntas ge viss tolerans mot överhörning. Hur stor överhörningen och toleransen mot denna blir återstår dock att se. Användning av en delad balk och segmenterad båge ger nackdelar beträffande stabilitet och mekanisk precision, men dessa bedöms ändå tills vidare som tillräckliga. Vissa modifieringar är dock önskvärda, särskilt av kvartsbågens infästning. Det är viktigt att bågens upplinjer kontrolleras inför mätningar vilket är lätt att göra om lämpliga optiska hjälpmedel, t.ex. antennvagn med peklaser, finns tillgängliga.

En mer grundläggande utvärdering av mätbågen kommer att utföras 2004 då det också är tänkt att bistatiska markmätningar ska utföras i syfte att erhålla data för jämförelse med olika markmodeller.

Framtid

Om det visar sig att mätbågen ger ett stor mervärde i utvecklingen med bistatiska markmodeller eller vid andra bistatiska mätningar finns möjlighet att vidareutveckla den för snabbare mätningar. Detta skulle t.ex. kunna göras genom att automatisera mätningarna och/eller använda en sändarantenn och flera mottagarantennerna vid mätning. Man kan också tänka sig att sätta stativet på en cirkulär räls för *in situ*-mätningar. Stativet skulle också kunna användas för optiska mätningar, t.ex. av BRDF (bidirectional reflectance distribution function, optikens motsvarighet till specifik bistatisk målarea). I ett nätverksbaserat försvar (NBF) kan multistatiska radarer komma att spela en ökad roll. Bistatiska mätningar med bågen på skalmodeller kan ge ett värdefullt underlag vid dimensionering, värdering och utveckling av sådana system. Likaså utgör den en resurs för värdering och anpassning av markfordons bistatiska signatur.

Referenser

- 1 N. Levanon, "Radar principles", kap. 4. John Wiley & Sons, 1988.
- 2 P. Klum, J. Rahm, K. Rixon, L. Bergström och C. Larsson, "Användarhandledning Mfactor 1.0", Linköping, FOA--R-00-01546-616--SE, 2000.
- 3 E. Zdansky, M. Gustafsson, N. Gustafsson, S. Nilsson, J. Rahm och J. Rasmusson, "Mätmetoder för bistatisk markmålarea - en förstudie", Linköping, FOI-R--0575--SE, September 2002.
- 4 J. Rasmusson, N. Gustafsson och J. Rahm, "Outdoor broadband RCS measurements of model-scale aircraft" presenterad vid 24th annual meeting and symposium AMTA 2002 (FOI-S--0698--SE), Cleveland, Ohio USA, 2002.
- 5 L. Ulander, M. Blom, B. Flood, P. Follo, P.-O. Frölind, A. Gustavsson, T. Jonsson, B. Larsson, D. Murdin, M. Pettersson, U. Rääf och G. Stenström, "The VHF/UHF-band LORA SAR and GMTI system", presenterad vid Algorithms for synthetic aperture radar imagery X, Orlando, Florida USA, 2003.
- 6 C. Larsson och J. Rahm, "Utveckling av Columbus", Linköping, FOI Memo 02-1129, 2002-04-15 2002.
- 7 T. Martin och L. Ulander, "VHF/UHF synthetic aperture radar image simulations of a vehicle using FDTD", Linköping, FOA-R--00-01765-408--SE, 2000.
- 8 T. Martin och L. M. H. Ulander, "Bistatic SAR pilot study: Simulations using FDTD", Linköping, FOI-R--0839--SE, 2003.