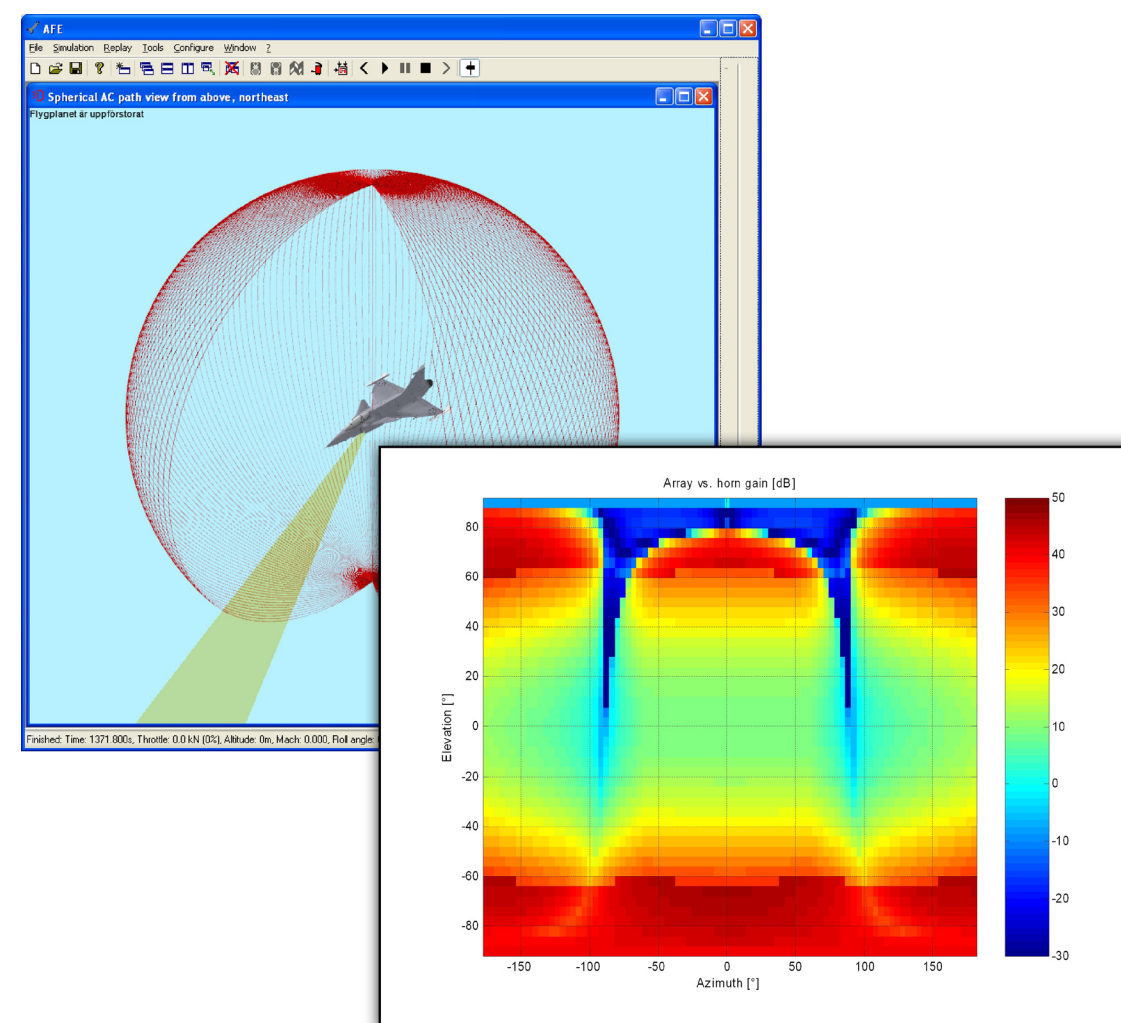


PETER KLUM



FOI är en huvudsakligen uppdragsfinansierad myndighet under Försvarsdepartementet. Kärnverksamheten är forskning, metod- och teknikutveckling till nytta för försvar och säkerhet. Organisationen har cirka 1000 anställda varav ungefär 800 är forskare. Detta gör organisationen till Sveriges största forskningsinstitut. FOI ger kunderna tillgång till ledande expertis inom ett stort antal tillämpningsområden såsom säkerhetspolitiska studier och analyser inom försvar och säkerhet, bedömning av olika typer av hot, system för ledning och hantering av kriser, skydd mot och hantering av farliga ämnen, IT-säkerhet och nya sensorers möjligheter.

Peter Klum

AntCmp - Antenna Compare

Modell för jämförelser av antennkonfigurationer

Titel	AntCmp - Antenna Compare Modell för jämförelser av antennkonfigurationer
Title	AntCmp - Antenna Compare Model for antenna configuration comparisons
Rapportnr/Report no	FOI-R--3075--SE
Rapporttyp Report Type	Metod Rapport Methodology report
Sidor/Pages	40 p
Månad/Month	November
Utgivningsår/Year	2010
ISSN	ISSN 1650-1942
Kund/Customer	Försvarmakten
Projektnr/Project no	E7366
Godkänd av/Approved by	Mikael Sjöman

FOI, Totalförsvarets Forskningsinstitut	FOI, Swedish Defence Research Agency
Avdelningen för Informationssystem	Information Systems
Box 1165	Box 1165
581 11 Linköping	SE-581 11 Linköping

Sammanfattning

Rapporten beskriver simuleringsmodellen AntCmp (Antenna Compare) samt dess användning.

AntCmp är en modell för att jämföra ett flygande radarstörssystem utrustat med konventionella hornantenn, kontra ett utrustat med fasstyrda gruppantenn. Totalt 6 stycken hornantenn och 10 stycken gruppantenn kan parametersättas, positioneras och orienteras fritt på flygkroppen. Ett scenario kan skapas med tre markhot och ett flygande hot. Störsignalförhållandet (J/S) beräknas och presenteras mot de olika hoten under det att modellen exekverar. För att styra den flygande plattformen kan matematiska eller tabellbaserade flygbanor användas, men användaren kan även flyga i scenariot med hjälp av en styrspak. I en teknisk värderingsmod så kan ett sfäriskt täckningsdiagram av J/S-förhållandet presenteras för aktuell antennkonfiguration.

Nyckelord:

Värdering, Telekrig, Radar, Störning, Hornantenn, Gruppantenn

Summary

The report describes the simulation model AntCmp (Antenna Compare) and its use.

AntCmp is a model to compare an airborne radar jamming system equipped with conventional horn antennas, versus one equipped with phased array antennas. A total of 6 horn antennas and 10 antenna arrays can be set, positioned and oriented freely on the fuselage of the aircraft. A scenario can be created using three ground threats and an airborne threat. The jam to signal ratio (J/S) at each threat is calculated as the model executes. To steer the flying platform, mathematical or table-based flight paths can be used, but the user can also fly in the scenario using a joystick. In a technical assessment mode a spherical coverage graph of the J/S ratio is presented for the current antenna configuration.

Keywords:

Assessment, Electronic Warfare, Radar, Jamming, Horn Antenna, Phased Array Antenna

Innehållsförteckning

1	Inledning	7
1.1	Kort om modellen AntCmp.....	7
1.2	Begränsningar.....	8
1.3	Läsanvisningar.....	9
2	Startparametrar	10
2.1	Fliken Simulation.....	10
2.2	Fliken Log.....	11
2.3	Fliken Aircraft.....	11
2.4	Fliken Jammer (horn).....	12
2.5	Fliken Jammer (array).....	13
2.6	Fliken Threat.....	14
2.7	Fliken 3D.....	15
3	Värdering	17
3.1	Stridsteknisk värdering.....	17
3.1.1	Scenariot.....	17
3.1.2	Interaktiv styrning av störflygplanet under simulering.....	17
3.1.3	Programstyrd simulering.....	18
3.2	Teknisk värdering.....	19
3.2.1	Sfäriska täckningsdiagram.....	19
4	Visualisering	21
4.1	Head-Up-Display (HUD).....	22
5	Modellen	23
5.1	Modellöversikt.....	23
5.2	Systemimplementering.....	25
5.3	Positionering och orientering av antenner.....	25
5.4	Beräkning av felpekningsvinklar.....	26
5.5	Antennstyrning av gruppantenn.....	29
5.6	Antennval.....	30
5.7	Antennberäkning.....	31
5.7.1	Hornantenn.....	31
5.7.2	Arrayantenn.....	33
5.8	J/S beräkningar.....	34

6	Filformat	36
6.1	Flygbanedata	36
6.2	Radarmålareadata	36
6.3	Tabellbaserade antenndata	36
6.4	Loggdatafiler	37
7	Koordinatsystem	38
8	Möjliga förbättringar	39
9	Referenser	40

Bilaga 1: AntCmpVw.m

1 Inledning

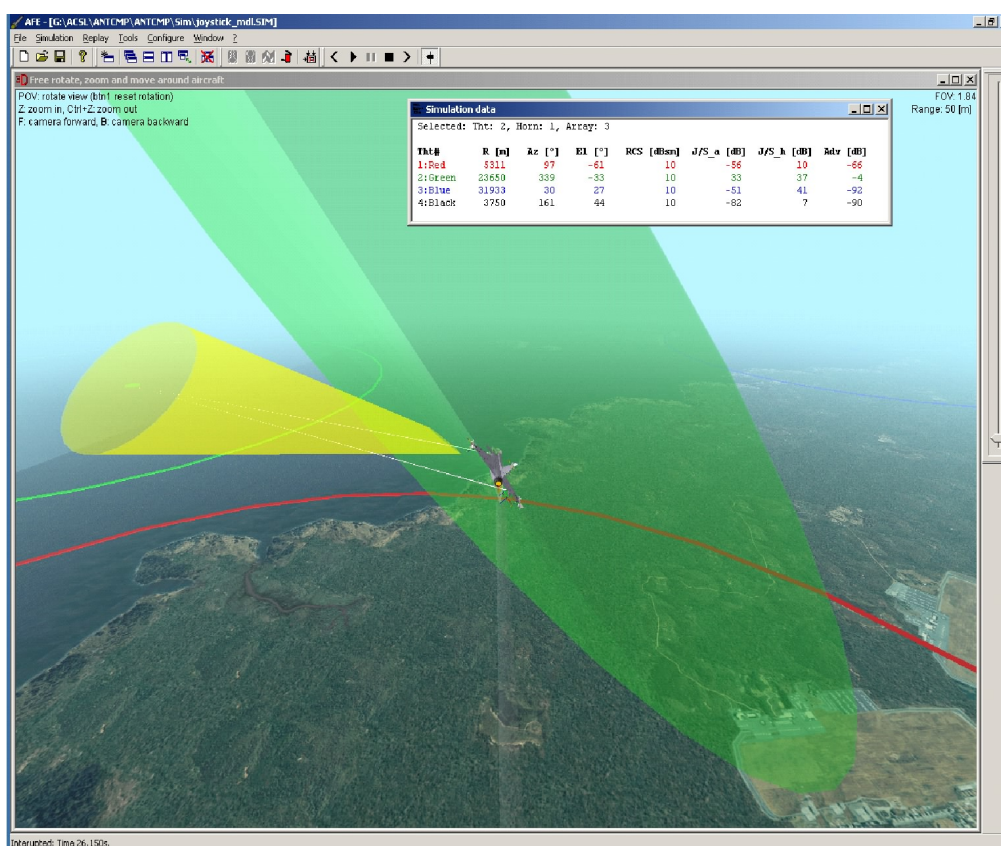
1.1 Kort om modellen AntCmp

AntCmp (Antenna Compare) har tagits fram inom projektet CESAR (MS 443) med syftet att studera vinster med fasstyrda gruppantennar kontra traditionella hornantennar. Med modellen simuleras antenntäckningen samt J/S (störnsignalförhållandet) hos ett flygplansburet störsystem med fasstyrda gruppantennar (upp till 10 arrayer) samt ett system av konventionella horn (upp till 6 horn) mot 3 markbaserade samt ett flygande hot i ett hotområde som kan definieras av användaren.

De värderingar som kan göras med modellen är bland annat:

- Jämförelse av J/S förhållande mot ett störmål med störsystem bestående av konventionella horn kontra ett störsystem med fasstyrda gruppantennar.
- Jämförelse av antenntäckningsområde för störsystem bestående konventionella horn kontra ett störsystem med fasstyrda gruppantennar.

Definitionerna av de olika antennsystemen kan göras från modellens användargränssnitt (antal horn samt lobbredd, gain, antennlobsfunktion, position, orientering, etc. för varje horn i ett system med konventionella horn och antal arrayer, antal element, avstånd mellan element, maximala utstyringsvinklar, position, orientering, etc. för varje array i ett system med styrbara gruppantennar).

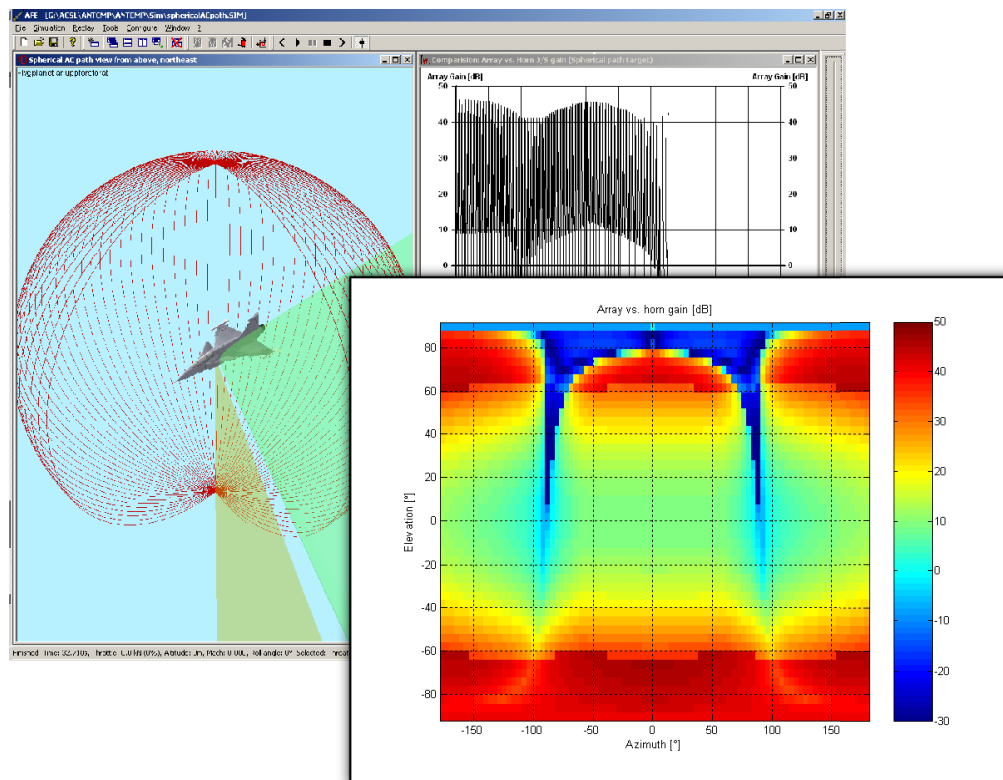


Figur 1 Användargränssnittet till AntCmp (AFE)

Flygplanet kan styras från en matematisk modell, en extern fil (flygbanedata) eller från en styrspak inom ett hotområde, se Figur 1. Den dynamiska flygmodellen som styrs med styrspak är beskriven i [1]. PLA eller PETRA data kan efter bearbetning i PathView [2]

läsas in som en extern fil för att styra flygplanet i simuleringen. Denna stridstekniska värderingsmod beskrivs i kapitel 3.1

Genom att fixera störflygplanet och i stället låta ett av hoten förflytta sig sfäriskt runt flygplanet kan täckningsdiagram för störverkan (J_{horn}/S respektive J_{array}/S) eller störverkansvinsten ($J_{\text{array}}/J_{\text{horn}}$) med de olika antennkonfigurationerna runt flygplanet skapas, se Figur 2. Denna tekniska värderingsmod beskrivs i kapitel 3.2.



Figur 2 Den bakre bilden visar hur hotet förflyttar sig sfäriskt runt störflygplanet (uppförstorat). Den främre bilden visar resultatet: J/S -vinsten i dB med en gruppantennkonfiguration kontra en konfiguration med hornantenn över hela sfären (Azimut {0:360°}, Elevation: {-90, 90°}).

S i kvoterna ovan anger signalen vid hotet från flygplanets radarmålyta. Flygplanets radarmålarea (RCS) beskrivs i simuleringarna och finns lagrad i en extern textfil som enkelt kan bytas ut.

AntCmp simuleras i simuleringsspråket ACSL¹ (Advanced Continuous Simulation Language) och använder användargränssnittet AFE (Advanced Front End) på PC (Windows XP, Vista, Win7). Se [3] för beskrivning av AFE.

Modellen bygger på erfarenheter vid utvecklingen av en tidigare modell *AntView*. Användargränssnittet AFE är utvecklat inom FoT-projektet *Teknisk Hotsystemvärdering*.

1.2 Begränsningar

Ett antal begränsningar har gjorts i simuleringssmodellen. Några av begränsningarna finns listade nedan.

- Hoten följer flygplanet idealt under simuleringen. Modellen simulerar alltså inte störverkan utan endast störsignalförhållandet. Det åligger användaren att bedöma

¹ http://en.wikipedia.org/wiki/Advanced_Continuous_Simulation_Language (november 2010)

om det momentana störsignalförhållandet som simuleras i kombination med den tänkta störformen ger störverkan.

- Då flygplanet styrs med styrspak simuleras aerodynamiken för en SK-60 [1].
- Det är möjligt att flyga under markplanet.
- Sändarantennloben som visualiseras i 3D-vyer som en kon (skalad med 3 dB antennlobbredden i azimuth och elevation) är en kraftig förenkling av antennens verkliga utseende. Vid beräkning av störsignalförhållande samt visualisering av antennförstärkning i grafer beräknas antengain enligt kapitel 5.7.
- Ingen hänsyn tas till antennpolarisationsförluster.
- Endast ett horn i hornsystemet samt en array i gruppantennsystemet kan vara aktiverat.
- Sändar- och mottagarantennerna antas positionerade på samma plats med lika orientering men kan ha olika lobbredder och lobfunktioner (sistnämnda gällande hornsystemet).
- För de fasstyrda antennerna antas att perfekt fas kan genereras för styrningen.

1.3 Läsanvisningar

Nedan beskrivs kortfattat kapitel i dokumentet. För en användare kan kapitel 1-4 vara intressant att läsa igenom. För en utvecklare som vill vidareutveckla modellen kan även kapitel 5-7 vara värda att studera.

- Kapitel 2, "Startparametrar", behandlar de parametrar som kan sättas innan simuleringen.
- Kapitel 3, "Värdering", behandlar den stridstekniska värderingen där flygplanet interaktivt kan manövreras i hotscenariet samt en teknisk värdering för att skapa täckningsdiagram där signalstörförhållandet eller störvinsten med en antennkonfiguration visas.
- Kapitel 4, "Visualisering", beskriver kortfattat de viktigaste presentationsfönstren i modellen.
- Kapitel 5, "Modellen", beskriver tekniskt simuleringsmodellen.
- Kapitel 6, "Filformat", beskriver formatet för antenn-, RCS-, flygbane- och loggdata.
- Kapitel 7, "Koordinatsystem", beskriver de koordinatsystem som används i modellen.
- Kapitel 8, "Möjliga förbättringar", listar några modellförbättringsförslag.

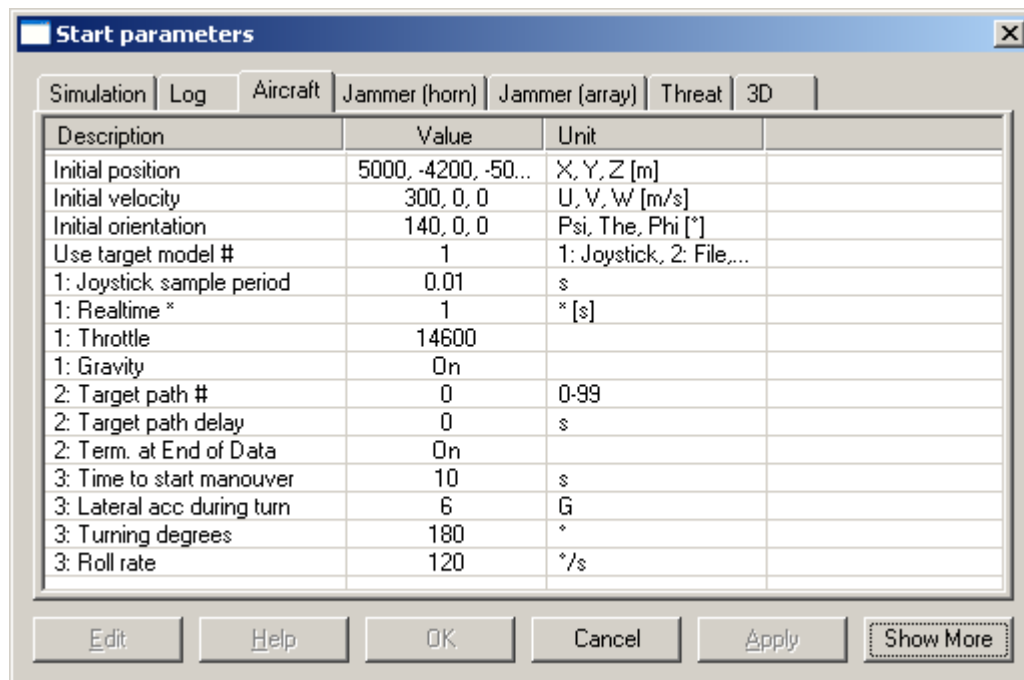
Parametrar som sätts från dialogen Start Parametrar (se kapitel 2) markeras i texten med *Kursiv stil*.

Menyval anges i texten med typsnittet **fet Arial** och betecknas **meny → menyalternativ**.

Referenser vilka återfinns i kapitel 9 anges med [referensnummer].

2 Startparametrar

Genom att i AFE-menyn välja **Simulation** → **Parameters** öppnas dialogen för att definiera startparametrar.



Figur 3 Dialogen "Start parameters"

I följande kapitel beskrivs de parametrar som kan sättas via detta dialogfönster innan simuleringen startas.

2.1 Fliken Simulation

Fliken simulation definierar parametrar som styr bilduppdateringsfrekvensen (framerate) samt maximal simuleringstid. Parametrarna finns beskrivna i tabell samt med eventuella ytterligare förklaringar nedan.

Parameter	Enhet	Min	Max	Beskrivning
Max time	s	1	10000	Max simuleringstid. Simuleringen kan även avbrytas om externa flygbanddata används och 'Term. at End of Data' är satt, se kapitel 2.3.
Communication interval	s	0.01	1	Anger hur ofta simuleringsmodellen skickar data till AFE.

Tabell 1 Simuleringsparametrar.

Communication interval (CINT) styr hur ofta simuleringsmodellen lämnar data till AFE. Ett kort CINT ger mer detaljerade grafer men gör att simuleringen går långsamt.

Är följsamheten i 3D-vyer det viktiga kan CINT väljas i intervallet {0.1-0.02}, vilket ger en Framerate i intervallet {10-50 Hz} om grafikortet inte begränsar.

Då styrspaksmodellen används (se kapitel 3.1.2) bör CINT väljas så att simuleringen kan ske i realtid, se kapitel 3.1.2.

2.2 Fliken Log

Fliken Log definierar om data från simuleringen ska loggas till textfil under simuleringen. Flygbanedata samt jämförelsedata mellan gruppantennsystemet och hornsystemet kan sparas. Parametrarna finns beskrivna i tabell samt med eventuella ytterligare förklaringar nedan.

Parameter	Enhet	Min	Max	Beskrivning
Log flightpath data	On/off	-	-	Om aktiverad sparas flygbanedata för varje CINT till en fil 'PATH0.TXT' i mappen './TGT/FP/Tgt_data'. Formatet på denna fil följer definitionen i kapitel 6.1.
Log comparision data	On/off	-	-	Om aktiverad sparas jämförelsedata till en fil med sökväg enligt nästa parameter.
Comparision file	Path	-	-	Sökväg till jämförelsefilen. Klicka på parametern (Edit) öppnar en dialog där filen kan definieras.
Log horn J/S data	On/off	-	-	Om aktiverad sparas J/S data för hornsystemet till en fil med sökväg enligt nästa parameter.
Horn J/S data file	Path	-	-	Sökväg till filen med J/S data för hornsystemet. Klicka på parametern (Edit) öppnar en dialog där filen kan definieras.
Log array J/S data	On/off	-	-	Om aktiverad sparas J/S data för arraysystemet till en fil med sökväg enligt nästa parameter..
Array J/S data file	Path	-	-	Sökväg till filen med J/S data för arraysystemet. Klicka på parametern (Edit) öppnar en dialog där filen kan definieras.

Tabell 2 Loggningsparametrar.

Genom att aktivera *Log flightpath data* under en simulering med styrspak kan den genererade flygbanan, "PATH0.TXT", återanvändas i studier med nya horn och gruppantennskonfigurationer genom att under fliken Aircraft sätta *Use flp model #* = 2 och *Flightpath #* = 0, se kapitel 2.3. Observera att funktionen *Log flightpath data* måste stängas av i detta läge.

Formatet på loggdatafiler beskrivs i kapitel 6.4.

2.3 Fliken Aircraft

Fliken Aircraft definierar startvärden för det störsändande flygplanet, vilken flygplansmodell som används samt dess parametrar. Parametrarna finns beskrivna i tabell samt med eventuella ytterligare förklaringar nedan.

Parameter	Enhet	Min	Max	Beskrivning
Initial position (X,Y,Z)	m (3)	-3e+38	3e+38	Flygplanets start position relativt simuleringens origo. X: norrut Y: österut Z: nedåt (dvs en flyghöjd anges med negativt värde)
Initial velocity (U,V,W)	m/s (3)	-3e+38	3e+38	Flygplanets start hastighet (i flygplanets koordinatsystem). U: framåt V: åt höger W: nedåt
Initial orientation (Psi,The,Phi)	°	-180	180	Flygplanets initiala orientering. Psi: rotation runt Z-axel (yaw) The: rotation runt Y-axel (pitch) Phi: rotation runt X-axel (roll) För den matematiska modellen (3, se nedan) gäller:

Parameter	Enhet	Min	Max	Beskrivning
				Psi: definierar target heading The: definierar stigvinkel
Use flp model #	-	1	3	Flygplansmodell: 1: styrspaks modell 2: läs flygbanedata från fil 3: använd matematisk flygbana
1: Joystick sample period	s	0.001	0.1	Hur ofta styrspaken ska läsas av.
1: Realtime *	-	0.1	10	Realtidsacceleration då styrspak används: < 1: långsammare än realtid = 1: realtid > 1: snabbare än realtid
1: Throttle	N	0	14600	Initialt gaspådrag
2: Flightpath #	-	0	99	Nummer på flygbanefil i mappen './TGT/FP/Tgt_data' Bandata namnges PATH {0-99}.TXT.
2: Flightpath delay	s	0	5000	Starta läsning från en senare tidpunkt i filen.
2: Term. at End of Data	on/off	-	-	Avbryt simulering vid filslut.
3: Time to start manouver	s	0	10000	Tid från start av simulering tills manöver påbörjas.
3: Lateral acc during turn	G	-20	20	G-kraft under manövern. Ger radien för svängen.
3: Turning degrees	°	-3e+38	3e+38	Antal grader som manövern genomför.
3: Roll rate	°/s	0	200	Roll hastighet vid inträde resp. utträde ur manövern.
Use fix RCS	On/off	-	-	Om aktiverad används RCS enligt nästa parameter annars tabelldata i modellen.
Fix RCS value	m ²	1E-6	1E6	Statisk och sfärisk RCS för flygplanet i m ²

Tabell 3 Parametrar för det störsändande flygplanet (Aircraft).

Parametrar föregående av "1:" gäller för styrspaksmodellen, *Use flp model #* = 1. Motsvarande gäller för *Use flp model #* = 2 och 3. Se kommentarer kring användning av styrspaksmodell (*Use flp model #* = 1) i kapitel 3.1.2

Use flp model # = 2 innebär att flygplanet styrs från en flygbanefil som innehåller planets position relativt sensorn, dess attitydvinklar (Psi, Theta och Phi) samt aerodynamiska vinklar (Alpha, Beta). Filformatet finns beskrivet i kapitel 6.1.

Den matematiska flygbanan (*Use flp model #* = 3) gör en sväng (om *Time to start manouver* sker inom simuleringstiden) i horisontalplanet (om stigvinkeln (*The*) satt till 0), + *Turning degrees* åt höger och - *Turning degrees* åt vänster.

2.4 Fliken Jammer (horn)

Fliken Jammer (horn) definierar parametrar för störsändaren bestyckad med konventionella horn. Parametrarna finns beskrivna i tabell samt med eventuella ytterligare förklaringar nedan.

Parameter	Enhet	Min	Max	Beskrivning
Constant Power Mode	on/off	-	-	Jammer mode On = Constant Power Off = Constant Gain.
Max Power	W	0	3e+38	Maximal sändareffekt (före antenn)
Internal Gain	dB	0	3e+38	Störsändarens internal gain

Parameter	Enhet	Min	Max	Beskrivning
Jammer signal bandwidth	MHz	0	3e+38	Störsignalens bandbredd. Används för att beräkna J/S med störsändare i Constant Power Mode.
Use horn	On/off (6)	-	-	Definierar om Horn #1-Horn#6 ska ingå i simuleringen. Exempel: [on, off, on, off, off, off] definierar att horn #1 och Horn #2 simuleras.
Horn #1-6 position	m (3)	-50	50	Den flygplansfasta positioneringen av hornet.
Horn #1-6 orientation	° (3)	-180°	180°	Orienteringen av hornet relativt flygplanets vridning. • Psi: rotation runt flygplanets z-axel (yaw) • The: rotation runt flygplanets y-axel (pitch) • Phi: rotation runt flygplanets x-axel (roll) Exempel: [90,45,0] vrider hornet att peka (från rakt fram i flygkroppen) i riktningen åt höger (i höger vinges riktning) samt 45° uppåt. Se kapitel 7.
Horn #1-6 BW	° (4)	0	3e+38	Lobbredden för mottagarantenn (Rx) och sändarantenn (Tx) i azimuth (az) och elevationsplan (el). Definieras enligt: [Rx az, Rx el, Tx az, Tx el].
Horn #1-6 gain	ggr (2)	0	3e+38	Antenngain [Rx, Tx].
Horn #1-6 pattern	- (2)	1	3	Anger lobfunktionen: [Rx pattern, Tx pattern] 1: exponential 2: cos function 3: tabellbaserad lobfunktion (se nästa parameter) Se kapitel 5.7.1 för beskrivning av lobfunktionerna.
Horn #1-6 table pattern number	- (2)	1	6	Om "Horn #1-6 pattern" är 3. Anger nummer på tabellbaserade lobfunktion [Rx pattern #, Tx pattern #]. Upp till 6 tabellbaserade lobfunktioner kan definieras. Tabellfilens sökväg: .\Model\TGT\ECM\Hrn\ANT_DATA\ANT{Table Number}.TXT

Tabell 4 Parametrar för störsändare med konventionellt hornsystem.

Observera att de tabellbaserade lobdiagrammen ej visualiseras i 3D vyer. Visualiseringen måste emuleras med hjälp av lobbreddsparametern "Horn #1-6 BW".

2.5 Fliken Jammer (array)

Fliken Jammer (array) definierar parametrar för störsändaren bestyckad med fäststyrda gruppantennar. Parametrarna finns beskrivna i tabell samt med eventuella ytterligare förklaringar nedan.

Parameter	Enhet	Min	Max	Beskrivning
Constant Power Mode	on/off	-	-	Jammer mode: On = Constant Power, Off = Constant Gain.
Internal Gain	dB	0	3e+38	Störsändarens internal gain
Jammer signal bandwidth	MHz	0	3e+38	Störsignalens bandbredd. Används för att beräkna J/S med störsändare i Constant Power Mode.
Element back level	dB	-100	0	Nivå för backlobsstrålning.

Parameter	Enhet	Min	Max	Beskrivning
Use array	On/off (10)	-	-	Definierar om Array #1-Array#10 ska ingå i simuleringen. Exempel: [on, off, on, off, off, off, off, off, off, off] definierar att array #1 och array #2 simuleras.
Array #1-10 position	m (3)	-50	50	Den flygplansfasta positioneringen av arrayen.
Array #1-10 orientation	° (3)	-180°	180°	Orienteringen av arrayen relativt flygplanets vridning. • Psi: rotation runt flygplanets z-axel (yaw) • The: rotation runt flygplanets y-axel (pitch) • Phi: rotation runt flygplanets x-axel (roll) Exempel: [90,45,0] vrider arrayen att peka (från rakt fram i flygkroppen) i riktningen åt höger (i höger vinges riktning) samt 45° uppåt. Se kapitel 7.
Array #1-10 NdP	- (5)	0	1000	Anger antal element (N) och deras inbördes avstånd (d) y-led (horisontellt) samt i z-led (vertikalt). Samt maximal sändeffekt (P) från varje element [W]. Definieras enligt: [Ny , Nz, dy, dz, P]
Array #1-10 omega	°	0	180°	Maximal utstyrningsvinkel.
Array #1-10 steer Az MinMax	° (2)	-180°	180°	Min och max utstyrningsvinkel i azimuth
Array #1-10 steer El MinMax	° (2)	-90°	90°	Min och max utstyrningsvinkel i elevation

Tabell 5 Parametrar för störsändare med fasstyrd gruppantenn.

Kapitel 5.7.2 beskriver hur antengain för gruppantennerna beräknas.

2.6 Fliken Threat

Fliken Threat definierar parametrar för hoten. Parametrarna finns beskrivna i tabell samt med eventuella ytterligare förklaringar nedan.

Parameter	Enhet	Min	Max	Beskrivning
Initial selected threat	-	1	4	Väljer det initiala störmålet.
SAM1 position	m (3)	-3e+38	3e+38	Hot #1 position X, Y, Z X: Norrut Y: Österut Z: Nedåt
SAM2 position	m (3)	-3e+38	3e+38	Hot #2 position X, Y, Z
SAM3 position	m (3)	-3e+38	3e+38	Hot #2 position X, Y, Z.
AC threat path#	-	0	99	Nummer på flygbanefil i mappen '.TGT/FP/Tgt_data'. Bandata namnges PATH {0-99}.TXT.
AC threat path delay	s	0	1000	Starta läsning från en senare tidpunkt i filen.
AC threat Term. At End of Data	On/off			Avbryt simuleringen vid filslut.
Threat radius	km (4)	0	1e+6	Hotradier [SAM1, SAM2, SAM3, AC tht]. Skalar hotringarna centrerade kring

Parameter	Enhet	Min	Max	Beskrivning
				hotpositionerna i 3D-vyer samt används för att beräkna om flp är inom hotområdet.
Threat ERP	MW (4)	0	3e+38	Emitted Radar Power (P*G) från hot [ERP SAM1, ERP SAM2, ERP SAM3, ERP AC tht].
Threat Radar Frequency	GHz (4)	0	3e+38	Hotens sändarfrekvens [f SAM1, f SAM2, f SAM3, fACtht]. Används i J/S beräkningarna samt beräkningar av antenngain för fasstyrd gruppantenn.
Threat Radar MF Bandwidth	MHz (4)	0	3e+38	Hotradarernas mellanfrekvensbandbredd. Används för beräkning av J/S med störsändaren i Constant Power Mode.
Use spherical path	on/off	-	-	Om aktiverad så används en sfärisk flygbana för hotflygplanet (AC threat) enligt parametrar nedan.
Range	m	1	1E6	Sfärens radie
Az start	°	0	360	Startvärdet i azimuth
Az step	°	-10	10	Steglängden i azimuth
Az stop	°	0	360	Stoppvärdet i azimuth
EI start	°	-90	90	Startvärdet i elevation
EI step	°	-10	10	Steglängden i elevation
EI stop	°	-90	90	Stoppvärdet i elevation

Tabell 6 Parametrar för Threat (hoten).

Då *Use flp model* # = 2 eller 3, se kapitel 2.3, gäller *Initial selected threat* som störmål under hela simuleringen. För att dynamiskt kunna välja störmål måste *Use flp model* # = 1 varefter störmål väljs från styrspakens knappar under simuleringen, se kapitel 3.1.2.

AC threat path# refererar till den flygbana som det flygande hotet ska använda under simuleringen. Filformatet finns beskrivet i kapitel 6.1.

Då den sfäriska flygbanan används (*Use spherical path* = on) bör flygplanet positioneras i *Initial position* X,Y,Z = 0,0,0, orienteras utan vridningar *Initial orientation* Psi,The,Phi = 0,0,0 samt sätts med hastigheten *Initial velocity* U,V,W = 1E-9,0,0. Se kapitel 2.3. Enklarest är att öppna ett preset vid sfärisk utvärdering, se kapitel 3.2.1.

2.7 Fliken 3D

Fliken 3D (slår av och på visning av objekt i 3D-vyer) Parametrarna finns beskrivna i tabell samt med eventuella ytterligare förklaringar nedan.

Parameter	Enhet	Min	Max	Beskrivning
Show ground grid	On/off	-	-	Visar ett 10x10 km rutnät centrerat kring Hot #1 position.
Show ground threats	On/off	-	-	Visar markhoten markerade med SAM1: röd, SAM2: grön och SAM3: blå (RGB) i 3D-vyer.
Show HUD threat directions	On/off	-	-	Visar i HUD-vyn koner som pekar ut hotriktningarna.
Show HUD J/S ratio	On/off	-	-	Visar J/S förhållandet mot resp. hot i HUDen. Överst J/S förhållandet för gruppantennsystemet. Underst J/S förhållandet för horns-systemet
Show array jam cone	On/off	-	-	Visar arraysystemets sändarantenns 3dB utbredning i 3D-vyer. Arraysystemets lob visas

Parameter	Enhet	Min	Max	Beskrivning
				gulfärgad.
Show array coordinates	On/off	-	-	Visar de definierade arrayernas position och rotation på flygkroppen. X-axel: röd, y-axel: grön, z-axel: blå. Koordinatsystem visas gulrandiga, se
Show horn jam cone	On/off	-	-	Visar horns systemets sändarantenns 3dB utbredning i 3D-vyer. Horns systemets lob visas grönfärgad.
Show horn coordinates	On/off	-	-	Visar de definierade arrayernas position och rotation på flygkroppen. X-axel: röd, y-axel: grön, z-axel: blå. Koordinatsystem visas gulrandiga
Az increment 3D free rotate/HUD	°/call	-3e+38	3e+38	Kamerans rotationshastighet i azimuthled då vyrotationsknappen (POV) trycks. Gäller presentationsfönster 3D→Aircraft→Free rotate, zoom and move around aircraft samt 3D→Pilot3→HUD, se kapitel 3.1.2 och 4.
EI increment 3D free rotate/HUD	°/call	-3e+38	3e+38	Kamerans rotationshastighet i elevationsled då vyrotationsknappen (POV) trycks. Gäller presentationsfönster 3D→Aircraft→Free rotate, zoom and move around aircraft samt 3D→Pilot3→HUD, se kapitel 3.1.2 och 4.
Camera distance increment 3D free rotate	m/call	0.1	100	Kamerans förflyttningshastighet mot respektive ifrån flygplanet då tangenterna "f" respektive "b" (Forward/Backward) trycks ned. Gäller presentationsfönster 3D→Aircraft→Free rotate, zoom and move around aircraft.
Camera FOV increment 3D free rotate	Rad/call	0.001	1	Kamerans "Field-Of-View" ändringshastighet då tangenterna "z" (zooma in) respektive "CTRL-z" (zooma ut) trycks ned. Gäller presentationsfönster 3D→Aircraft→Free rotate, zoom and move around aircraft.

Tabell 7 Parametrar som styr visning av objekt i 3D-vyer.

3 Värdering

Simuleringen kan delas upp i en stridsteknisk värderingsmod och en teknisk värderingsmod.

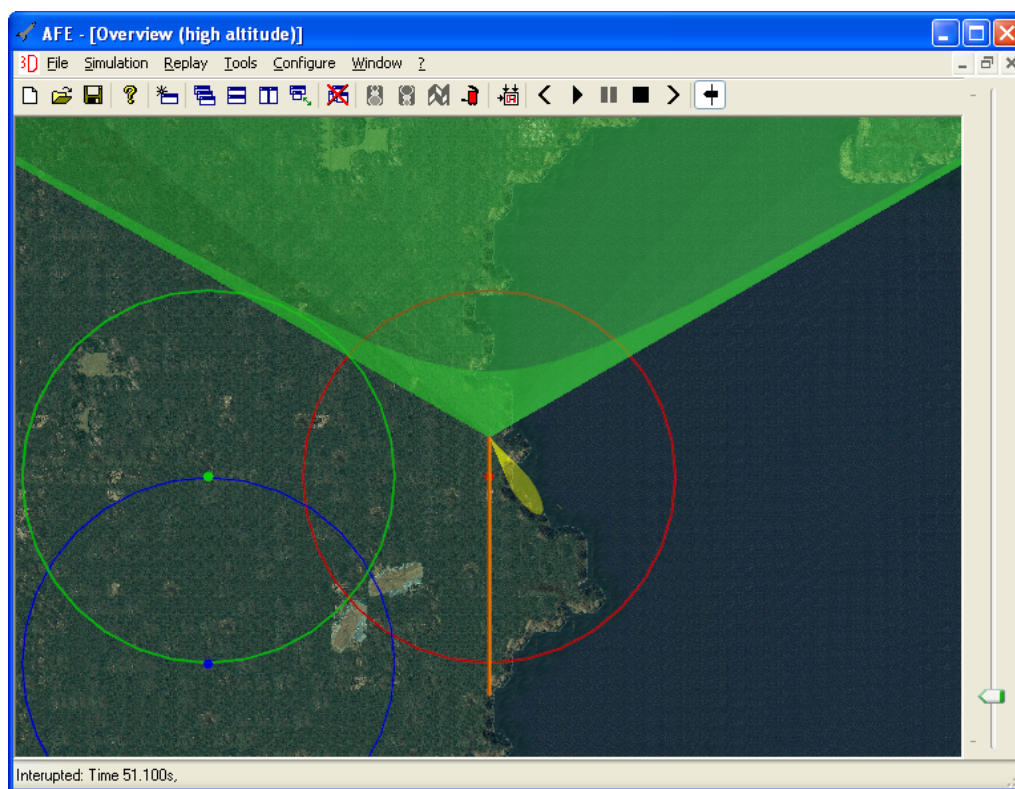
För värdering bör loggfunktionerna aktiveras, se kapitel 2.2.

3.1 Stridsteknisk värdering

I den stridstekniska värderingsmoden så flyger störflygplanet genom ett scenario och J/S förhållandet mot de olika hoten presenteras i grafer samt momentant i en HUD (Head Up Display), se kapitel 4.1.

3.1.1 Scenariot

Scenariot definieras under fliken *Threat*, se kapitel 2.6. Tre stycken markhot, Surface to Air Missile (SAM), och ett flygande hot kan definieras. Hotsystemen och deras hotområde tillsammans med störsystemets antennlobber visualiseras i 3D världen, se Figur 4.



Figur 4 De tre markhoten (röd, grön, blå punkt) med respektive hotområde utritade i scenariot. Gröna koner visualiserar hornantennerna. Det mörkgröna området anger antennens skärning med marken. Gula koner visualiserar gruppantennerna. Det mörkgula området anger markavtrycket för i detta fall en gruppantenn inriktad mot det röda hotet.

De tre markhoten markeras med deras position samt angivet hotområde färgade enligt; SAM1: röd, SAM2: grön och SAM3: blå (RGB). I alla grafer och i 3D fönster så refererar dessa färger till respektive hot. Det flygande hotet markeras med svart "färg".

3.1.2 Interaktiv styrning av störflygplanet under simulering

Störmålsval kan göras med tangentbords tangenter 1-4 (1: rött mål väljs - 4: svart mål väljs) under en simulering.

I presentationsfönster **3D→Aircraft→Free rotate, zoom and move around aircraft** kan kameran zooma in (tangens "z") samt zoom ut (tangenskombination ctrl+"z"). Kamera kan flyttas framåt (tangens "f") samt flyttas bakåt (tangens "b").

Om *Use flp model #* = 1, se kapitel 2.3, kan användaren förutom att flyga flygplanet interaktivt under simuleringen, göra störmålsval samt ändra betraktelsevy i några 3D presentationsfönster med hjälp av ansluten styrspak.



Figur 5 Knappar som styr simuleringen om styrspaksmodell används. *Use flp model #* = 1 under fliken Aircraft, se kapitel 2.3. Visad joystick "Logitech Wingman Extreme 3D".

I presentationsfönster **3D→Aircraft→Free rotate, zoom and move around aircraft** kan vyrotationsknappen användas för att rotera runt flygplanet. I **3D→Pilot→HUD** kan pilotens huvudvridning i cockpiten styras med ctrl + vyrotationsknappen.

Då styrspaksmodellen används har en vänteloop lagts in i programmet för att synkronisera simuleringstiden till realtid. På en snabb dator väntar modellen på att systemklockan ska överensstämma med den aktuella simuleringstiden då styrspaken anropades. Antal iterationer i denna vänteloop (Idle count) kan studeras i fönstret **Output Window Selection...→Graphs→Joystick→Idle Count**. Om antalet iterationer ligger på noll går modellen långsammare än realtid och en snabbare dator bör användas och/eller CINT ökas, se kapitel 2.1.

Frameraten (antal bilder/s i 3D-vyer) förbättras drastiskt om ett 3D-fönster är maximerat på skärmen. Dessutom bör alltid ett Direct3D accelererat grafikkort användas.

3.1.3 Programstyrd simulering

Störflygplanet kan även styras från en matematisk flygbana eller från tabellbaserade flygbanedata. *Use flp model #* parametern under flik Aircraft avgör på vilket sätt flygplanet ska styras, se kapitel 2.3.

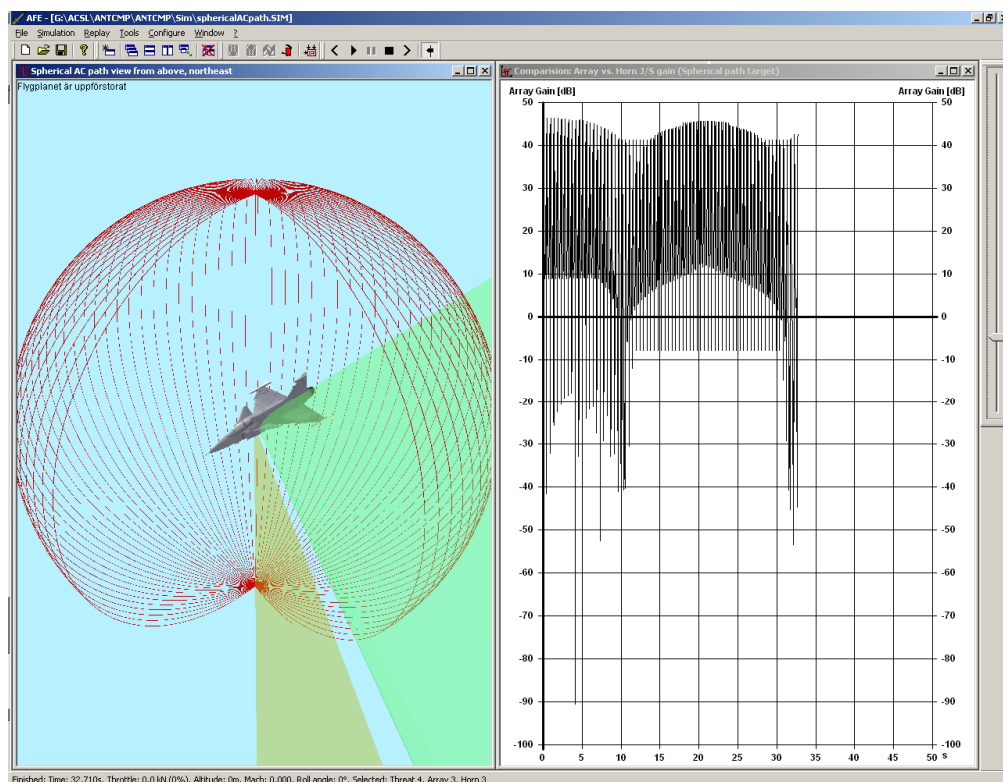
Störmålsval kan göras med tangentbords tangenter 1-4 (1: rött mål väljs - 4: svart mål väljs) under en simulering.

I presentationsfönster **3D→Aircraft→Free rotate, zoom and move around aircraft** kan kameran zooma in (tangens "z") samt zoom ut (tangenskombination ctrl+"z"). Kamera kan flyttas framåt (tangens "f") samt flyttas bakåt (tangens "b").

3.2 Teknisk värdering

3.2.1 Sfäriska täckningsdiagram

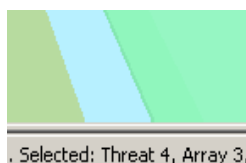
Genom att aktivera loggfunktionerna (se kapitel 2.2) och låta det flygande hotet svepa runt flygplanet på ett avstånd i en sfärisk bana i AntCmp, kan J/S vinsten för arraysystemet kontra horns systemet respektive J/S förhållandet (mottagen signal från störsystemet relativt skinekossignalen) för respektive antennsystem studeras.



Figur 6 Störmålet rör sig i en sfärisk bana runt flygplanet. Aspektvinklar och J/S förhållande för array och horns system loggas under simuleringen.

Inställningar för sfäriska täckningsdiagram görs under fliken *Aircraft* och *Threat*. De vinklar som störmålet ska flytta sig över ställs in under fliken *Threat* (parametrarna: *Use spherical path*, *Range*, *Az start*, *Az step*, *Az stop*, *El start*, *El step*, *El stop*). Under denna flik ska även *Initial selected threat* sättas till 4. Flygplanet bör även positioneras i *Initial position* $X, Y, Z = 0, 0, 0$, orienteras utan vridningar *Initial orientation* $\Psi, \Theta, \Phi = 0, 0, 0$ samt sättas till hastigheten *Initial velocity* $U, V, W = 1E-9, 0, 0$. Se kapitel 2.3. Enklarest är att öppna ett färdigt preset, där dessa parametrar är satta. I katalogen Sim finns ett färdigt preset "sphericalACpath.SIM" som öppnas med menyvalet **File**→**Open...**

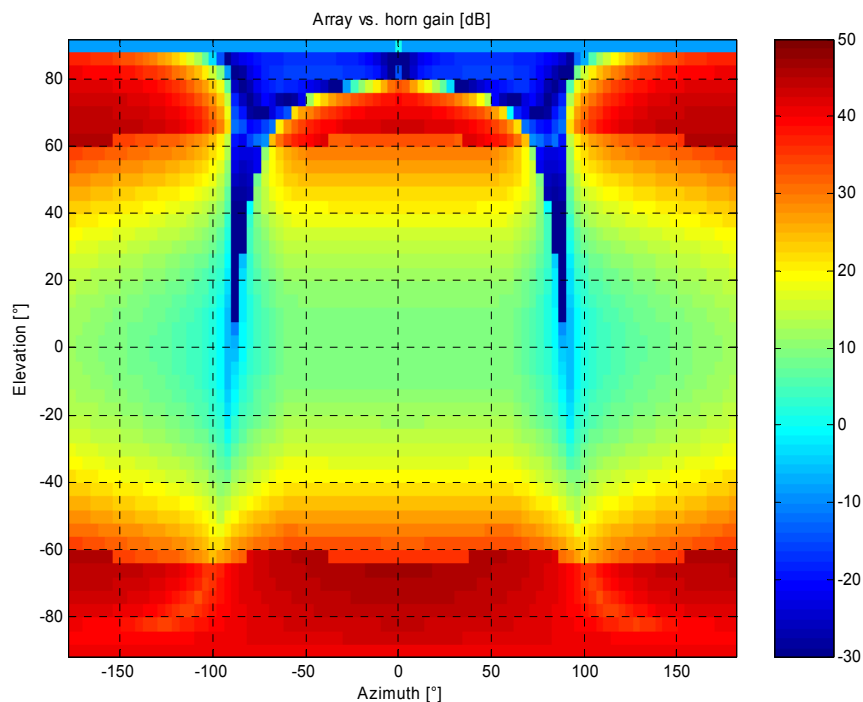
Kontrollera att det flygande störmålet (Threat 4) är valt under simuleringen vilket visas längst ned i AFE:s statusrad.



Figur 7 Valt störmål

Efter en simulering kan loggdata sorteras med ett MATLAB program "AntCmpVw.m" (Antenna Compare Viewer) för presentation. Presentationen är J/S vinsten alternativt J/S

förhållandet för aspektvinklarna från flygplanet till störmålet i azimuth och elevation projicerade till ett geometriskt plan, se Figur 8.

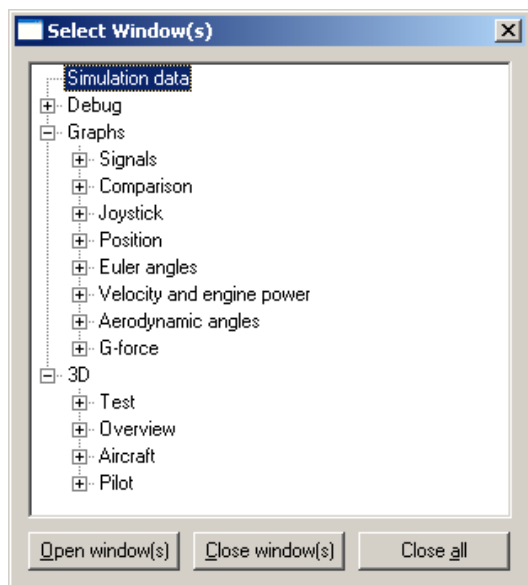


Figur 8 J/S vinst arraysystem kontra horns-system. I aspektvinklar där färgmarkeringen är ljusblå till mörkröd genererar arraysystemet högre J/S förhållande än horns-systemet. Spetsen på flygplanet pekar rakt in i mitten på figuren och figuren visas inifrån flygplanets cockpit med positiva azimuthvärden åt höger och negativa elevationsvärden nedåt.

Se bilaga 1 för MATLAB scriptet ”AntCmpVw.m” samt Figur 25 för vinkeldefinitioner.

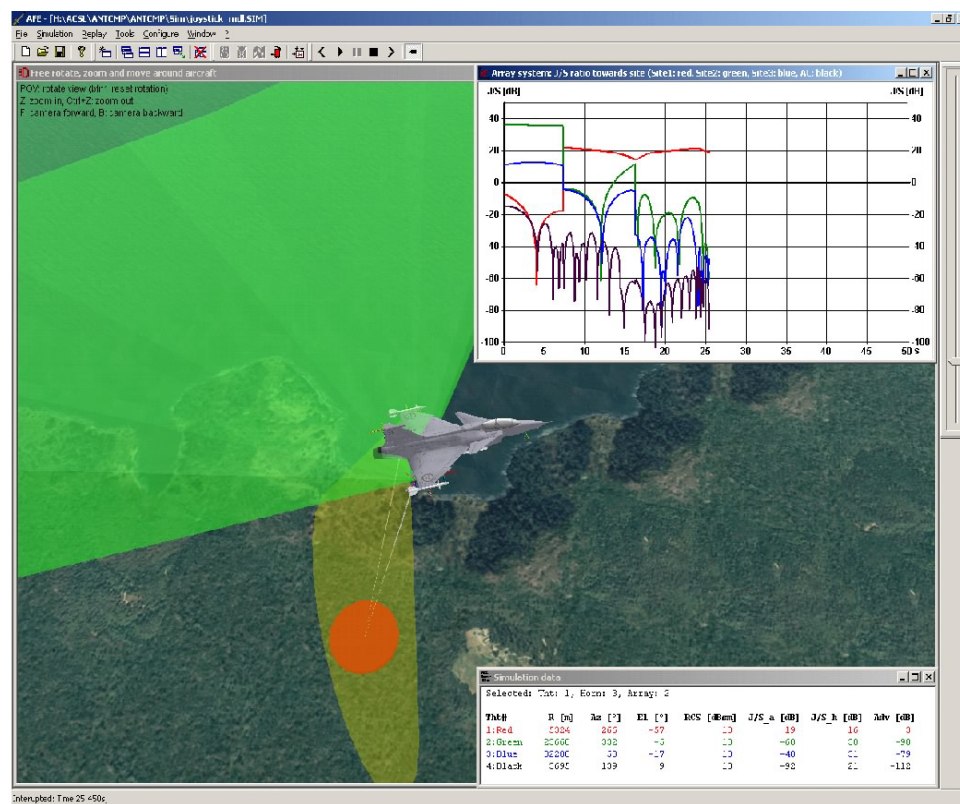
4 Visualisering

Genom att i AFE välja **Window**→**Output Window Selection...** öppnas ett dialogfönster där presentationsfönster att visa kan väljas.



Figur 9 Grupper av presentationsfönster

Ett stort antal presentationsfönster finns definierade. Data från simuleringen kan presenteras i textfönster, grafer och i 3D.

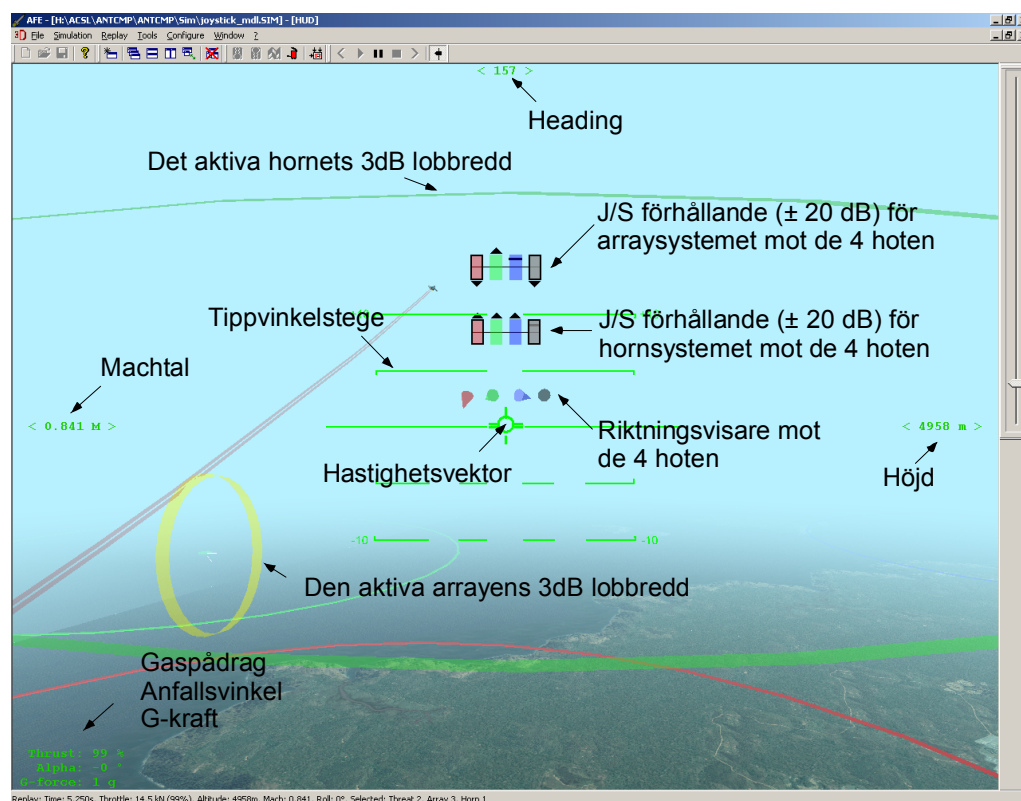


Figur 10 Några presentationsfönster i AntCmp

I 3D-vyer visualiserar gröna koner hornantennerna och gula koner gruppantennerna.

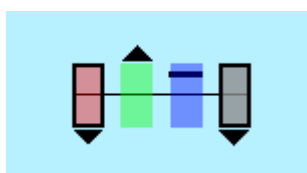
4.1 Head-Up-Display (HUD)

I gruppen 3D → Pilot finns Head-Up-Displayer att välja, se figur nedan.



Figur 11 HUD med förklaring av symboler.

J/S i intervallet $\pm$ dB förhållandet presenteras i två grupper (horn respektive gruppantennsystem) med vardera fyra staplar (en för varje hot) i HUD:en. En pil ovanför stapeln anger att J/S nivån ligger över 20 dB och en pil under att nivån är mindre än -20 dB. En svart markering kring J/S stapeln anger att flygplanet är innanför hotområdet (flikten Threat → Threat radius). Se Figur 12.



Figur 12 J/S förhållandet mot SAM1 (röd), SAM2 (grön), SAM3 (blå) samt AC Threat (svart). I figuren är flygplanet innanför hotområdet för SAM1 och AC Threat. J/S förhållandet mot SAM1: < -20 dB, SAM2: > 20 dB, SAM3: ≈ 15 dB samt AC Threat: < -20 dB.

De tre markhoten, Surface to Air Missile (SAM), markeras på marken med deras position samt angivet hotområde färgade enligt; SAM1: röd, SAM2: grön och SAM3: blå (RGB). Lufthotet, AC Threat, saknar hotområde men anges med svart (grå) stapel i HUD. Spetsarna på hotriktningvisarna pekar ut riktningarna till de olika hoten. Se kapitel 3.1.1 för beskrivning av scenariot.

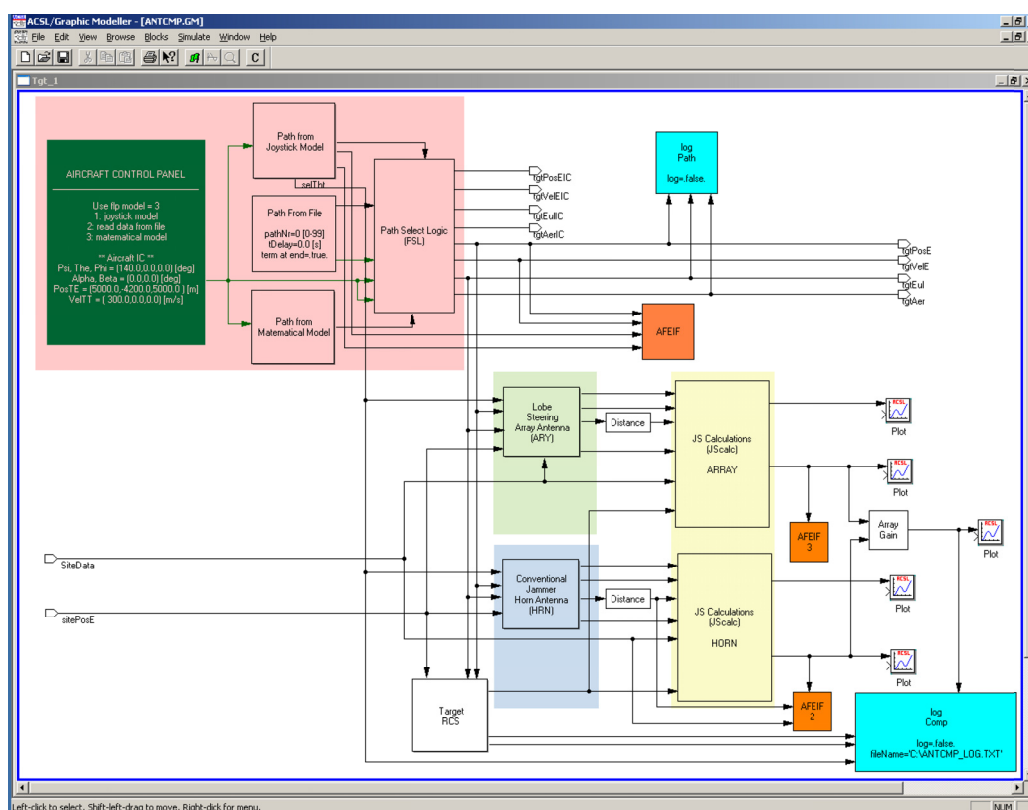
5 Modellen

5.1 Modellöversikt

AntCmp implementationen i ACSL/GM (Advanced Continuous Simulation Language/Graphic Modeller) är hierarkisk med block innehållande underblock. Beskrivningen av modellen i denna dokumentation är koncentrerad till delar som berör antenner.

Modellen består på sin lägsta nivå av två huvudblock "Threat" som simulerar 3 markhot och 1 flygande hot samt "Aircraft" som simulerar det störsändande flygplanet med de olika antenssystemen.

I Figur 13 visas blocket "Aircraft" med underblock för att simulera flygplansdynamiken (rosa markerat område), arraysystemet (ljusgrön markerat område) samt hornsystemet (ljusblå markerat område). Blocken inom det ljusgula området handhar J/S beräkningarna som beskrivs i kapitel 5.8.

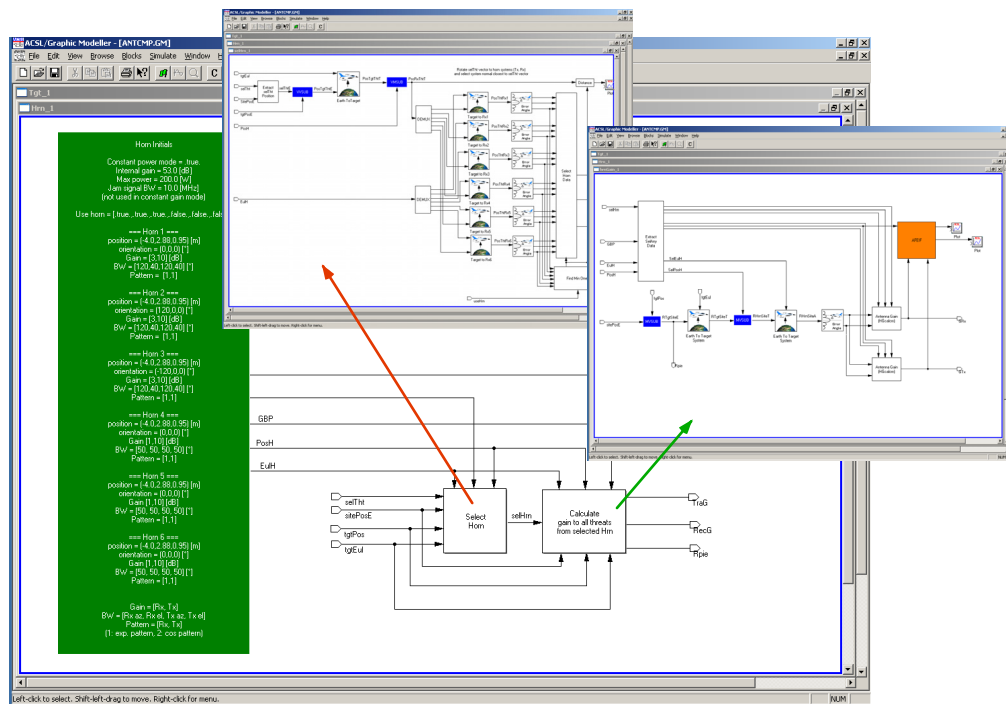


Figur 13 Blocknivå "Aircraft".

Ett flertal andra block som hanterar RCS, loggning till textfiler samt kommunikation med gränssnittet AFE finns även på denna nivå.

Insignaler till denna blocknivå är data från "Threat" blocket med bland annat hotpositioner och hotparametrar (ERP, frekvens, etc.).

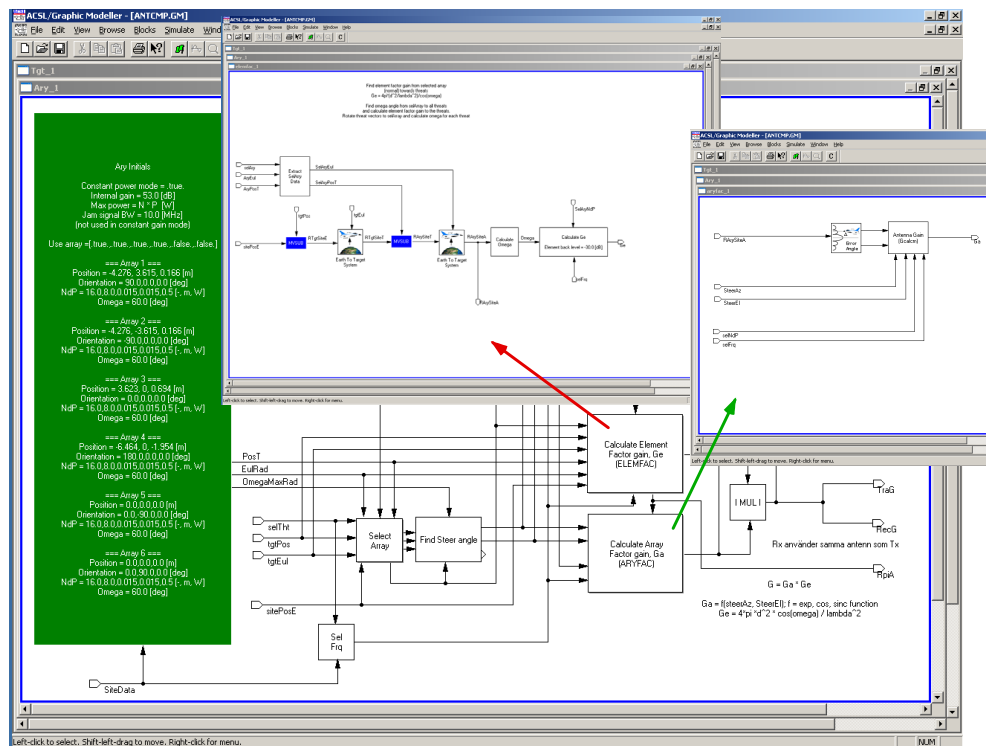
I det ljusblå markerade blocket (HRN) i Figur 13 simuleras det konventionella hornsystemet. Denna blocknivå visas i Figur 14 samt med dess underblock öppnade.



Figur 14 Blocknivå "HRN" samt öppnade underblock.

På blocknivå "HRN" sätts initial parametrar för hornsystemet. Underblock till denna nivå är (röd pil i Figur 14) för att välja horn samt (grön pil) beräkna felpkningsvinklar från valt horn till de olika hoten och beräkna antennförstärkning mot respektive hot för sändar- och mottagarantennen.

I det ljusgröna markerade blocket (ARY) i Figur 13 simuleras gruppantennsystemet. Denna blocknivå visas i Figur 15 samt med några av dess underblock öppnade.



Figur 15 Blocknivå "ARY" med underblock för beräkning av "element factor gain" samt "array factor gain" öppnade.

På blocknivån ”ARY” sätts initial parametrar för gruppantennsystemet. På liknande sätt som för hornsystemet väljs aktiv array och den utstyringsvinkel som kan appliceras på gruppantennen mot det valda störmålet. Underblock till denna nivå är (röd pil i Figur 15) för att beräkna ”element factor gain” samt (grön pil) beräkna ”array factor gain” från vald array till de olika hoten. Den totala antennförstärkningen fås genom multiplikation av dessa förstärkningsfaktorer mot respektive hot.

Beskrivning hur antennerna i de olika antennsystemen väljs samt hur antennförstärkningen beräknas återfinns i kapitel 5.6 och 5.7.

5.2 Systemimplementering

Simuleringen av hornantennerna respektive gruppantennerna är separerade i två delar, se Figur 13 där grönmärkat block simulerar gruppantennsystemet och det blåmärkade blocket simulerar hornantennsystemet. Detta innebär att antennsystem av typen horn och gruppantennerna inte kan kombineras i ett gemensamt system.

En mottagar- och sändarantenn har samma position och orientering. För en gruppantenn så är även parameteruppsättningen lika för dess mottagning och sändning medan för en hornantenn så kan antenngainet, lobfunktionen samt lobbredden sättas individuellt för mottagar- och sändarantennerna.

Antennvalet görs individuellt för de olika antennsystemen enligt kapitel 5.6. Störsystemen kan även individuellt exekveras antingen i constant gain mod eller i constant power mod, se kapitel 5.8.

5.3 Positionering och orientering av antenner

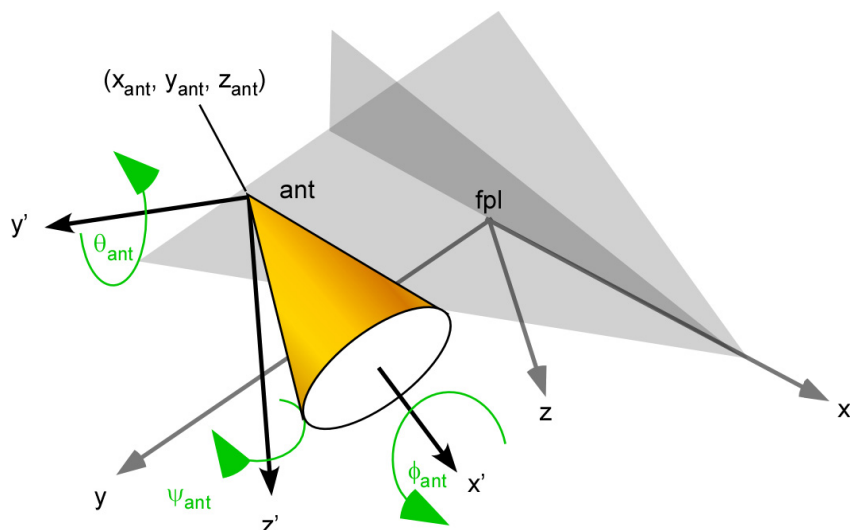
Antennerna positioneras i ett flygplansfast koordinatsystem ”fpl” med koordinater (x_{ant} , y_{ant} , z_{ant}) enligt *Horn #1-6 position* (se kapitel 2.4) respektive *Array #1-10 position* (se kapitel 2.5). Se Figur 16.

Antennen definierar ett eget koordinatsystem ”ant” som är translaterat (x_{ant} , y_{ant} , z_{ant}) samt roterat med Eulervinklarna (ψ_{ant} , θ_{ant} , ϕ_{ant}) relativt det flygplanfasta koordinatsystemet ”fpl”.

- ψ_{ant} definierar rotation kring z-axel (yaw)
- θ_{ant} definierar rotation kring y-axel (pitch)
- ϕ_{ant} definierar rotation kring x-axel (roll)

Antennens boresight eller normalriktning är riktad i ”ant”-systemets x' -riktning.

Rotationerna definieras av parametrarna *Horn #1-6 orientation* (se kapitel 2.4) respektive *Array #1-10 orientation* (se kapitel 2.5).



Figur 16 Antennsystemet "ant" är translaterat och roterat relativt det flygplansfasta koordinatsystemet "fpl".

Translationer och rotationer av antenner kan enkelt studeras i AFE genom att aktivera parametrarna *Show array coordinates* och *Show horn coordinates* under fliken 3D (se kapitel 2.7) som visar koordinataxlarna för de definierade "ant" systemen i 3D-vyer. Arrayer får gulrandiga axlar och hornsystem enfärgade (röd = x-axel, grön = y-axel, blå = z-axel).



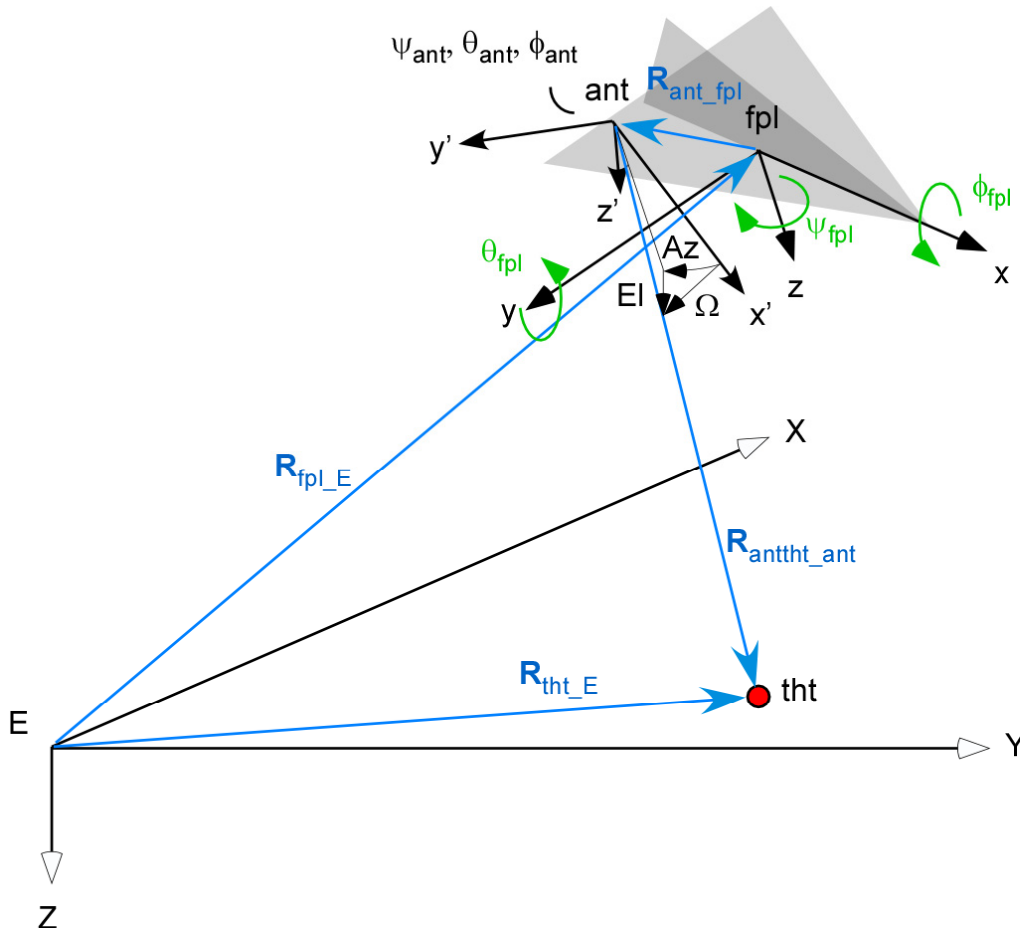
Figur 17 Det störsändande flygplanet utrustat med 4 arrayer (randiga koordinataxlar) samt 3 horn (halfärgade koordinataxlar). Som visas i figuren kan ett antennsystem positioneras utanför flygkroppen.

5.4 Beräkning av felpkningsvinklar

För att kunna beräkna antennförstärkning till de olika målen måste alla vektorer antenn till mål transformeras till koordinatsystemet för den valda antennen. I detta antennfasta system

beräknas sedan felpkningsvinklar till de olika målen. Med hjälp av felpkningsvinklarna beräknas antennförstärkningarna till de olika målen ur lobfunktioner, se kapitel 5.7.1 och 5.7.2.

För en antenn anges ett koordinatsystem "ant". I detta koordinatsystem är antennens boresight definierad i x' -axelns riktning. Koordinatsystemet "ant" är positionerat och orienterat relativt ett flygskrovsfast koordinatsystem "fpl" (se kapitel 5.3) som i sin tur är positionerat och orienterat (yaw, tipp, roll) relativt ett jordfast koordinatsystem "E" (Earth). Se Figur 18.



Figur 18 Definitioner av objekt och koordinatsystem. Antennsystemet "ant" är positionerat och orienterat relativt flygplanssystemet "fpl" som är positionerat och orienterat relativt ett jordfast system "E" (Earth).

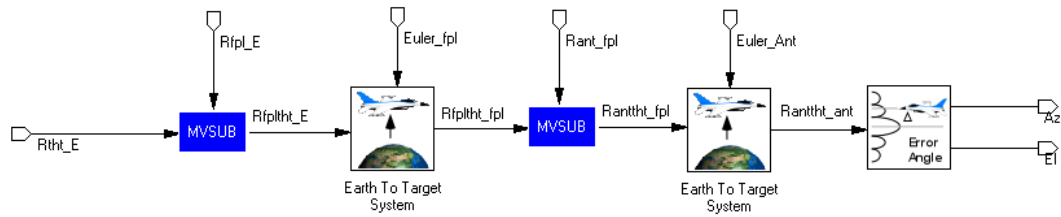
De fortsatta beräkningarna förutsätter koordinatsystem definierade enligt Figur 18.

Rotationsvinklarna (eulervinklar) definieras enligt:

- ψ definierar rotation kring z-axel (yaw)
- θ definierar rotation kring y-axel (pitch)
- ϕ definierar rotation kring x-axel (roll)

Vi söker vektorn $\bar{R}_{anttht_ant}$ från antennsystemet "ant" till hotet (tht) och den azimuth- och elevationsvinkel denna vektor ger i koordinatsystemet "ant", Az och El i Figur 18. För den fasstyrda gruppantennen är riktningen för vektorn $\bar{R}_{anttht_ant}$ den riktning som vi idealt vill peka vår lob i.

Enklast beräknas $\bar{R}_{anttht_ant}$ i en sekvens som visas i Figur 19.



Figur 19 Bild från ACSL/GM (Advanced Continuous Simulation Language/Graphic Modeller). Beräkning av vektorn från antenssystemet till hotet samt beräkning av azimut och elevationsvinklar i detta system (blocket Error Angle). Flödet sker från vänster till höger.

Vektorn från flygplanet till hotet i det jordfasta systemet "E" beräknas enligt:

$$\bar{R}_{fpltht_E} = \bar{R}_{tht_E} - \bar{R}_{fpl_E}$$

Genom att en rotationsmatris T definieras:

$$T(\psi, \theta, \phi) = \begin{bmatrix} \cos(\theta) \cdot \cos(\psi) & \cos(\theta) \cdot \sin(\psi) & -\sin(\theta) \\ \sin(\phi) \cdot \sin(\theta) \cdot \cos(\psi) - \cos(\phi) \cdot \sin(\psi) & \sin(\phi) \cdot \sin(\theta) \cdot \sin(\psi) + \cos(\phi) \cdot \cos(\psi) & \sin(\phi) \cdot \cos(\theta) \\ \cos(\phi) \cdot \sin(\theta) \cdot \cos(\psi) + \sin(\phi) \cdot \sin(\psi) & \cos(\phi) \cdot \sin(\theta) \cdot \sin(\psi) - \sin(\phi) \cdot \cos(\psi) & \cos(\phi) \cdot \cos(\theta) \end{bmatrix}$$

Kan vektorn uttryckas i flygplanets koordinatsystem "fpl" med operationen:

$$\bar{R}_{fpltht_fpl} = T(\psi_{fpl}, \theta_{fpl}, \phi_{fpl}) \cdot \bar{R}_{fpltht_E}$$

Där eulervinklarna för rotation från det jordfasta till det flygplansfasta koordinatsystemet används, dvs. flygplanets yaw-, tipp- och rollvinkel.

Vektorn från antennens origo till hotet i flygplanets koordinatsystem beräknas enligt:

$$\bar{R}_{anttht_fpl} = \bar{R}_{fpltht_fpl} - \bar{R}_{ant_fpl}$$

Genom att rotera denna vektor med ψ_{ant} , θ_{ant} , ϕ_{ant} i rotationsmatrisen T enligt ovan, uttrycks vektorn i antennens koordinatsystem "ant" enligt:

$$\bar{R}_{anttht_ant} = T(\psi_{ant}, \theta_{ant}, \phi_{ant}) \cdot \bar{R}_{anttht_fpl}$$

Detta var vektorn som vi sökte. Nu kan vi beräkna vilken utstyringsvinkel $\bar{R}_{anttht_ant}$ har i azimut och elevation i koordinatsystemet "ant". Utstyringsvinklarna (i radianer) beräknas med hjälp av komponenterna x, y, z i $\bar{R}_{anttht_ant}$ enligt nedan:

$$az = \tan^{-1}\left(\frac{y}{x}\right)$$

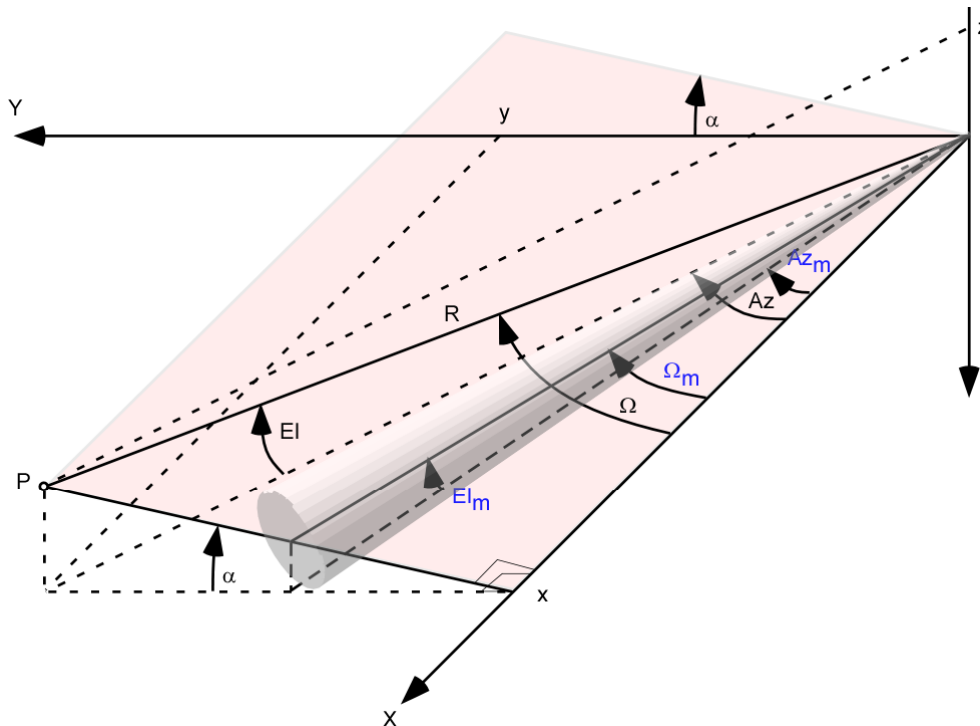
$$el = \tan^{-1}\left(\frac{-z}{\sqrt{x^2 + y^2}}\right)$$

Dessa vinklar anger riktningen till hotet (tht) i antenssystemet "ant" och är felpkningsvinklarna som används för att beräkna antennens gain ur lobfunktionerna, se kapitel 5.7.1. Vinkeln Ω i Figur 18 är den utstyringsvinkel som störsystemet vill styra ut en styrbar antennlob i, se kapitel 5.5.

5.5 Antennstyrning av gruppantenn

I det fall antennen i koordinatsystemet ”ant” Figur 18 är en fasstyrd gruppantenn så är vinkeln Ω mellan x'-axeln och vektorn $\vec{R}_{antth_ant}$, den utstyringsvinkel som störsystemet vill inrikta antennloben i om detta störmål är valt. I AntCmp väljs vilka antenner som ska vara aktiva (störa) utifrån utstyringsvinkeln Ω , vilket beskrivs i kapitel 5.6

Utstyringsvinkeln Ω begränsas dock av parametern *Array #1-10 omega*, se kapitel 2.5. Figur 20 visar den begränsade utstyringsvinkeln Ω_m .



Figur 20 Begränsad utstyrning av antennlob för gruppantenn.

De eventuellt begränsade utstyringsvinklarna i azimut och elevation (steerAz, steerEl) beräknas i modellen genom att rotera punkten P (motsvarar punkten tht i Figur 18) med α runt X-axeln så att punkten P hamnar i ett nytt XY plan (omega-planet).

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{z}{y}\right)$$

$$xO = x$$

$$y_0 = \cos(\alpha) \cdot y + \sin(\alpha) \cdot z$$

$$z_0 = -\sin(\alpha) \cdot y + \sin(\alpha) \cdot z = 0$$

Utstyrningen mot punkten P sker därefter enbart i detta plan (dvs. med azimut) och begränsas av Ω_m .

$$\Omega = \min \left[\cos^{-1} \left(\frac{xo}{\sqrt{xo^2 + yo^2 + zo^2}} \right), \Omega_m \right]$$

Genom att skapa en enhetsvektor (x_v , y_v , z_v) i den eventuellt begränsade utstyrningens riktning och rotera tillbaka till det ursprungliga koordinatsystemet med vinkeln α kan steerAz , steerEl beräknas:

$$xv = \cos(\Omega)$$

$$yv = \cos(-\alpha) \cdot \sin(\Omega)$$

$$zv = -\sin(-\alpha) \cdot \sin(\Omega)$$

$$\text{steerAz} = \tan^{-1}\left(\frac{yv}{xv}\right)$$

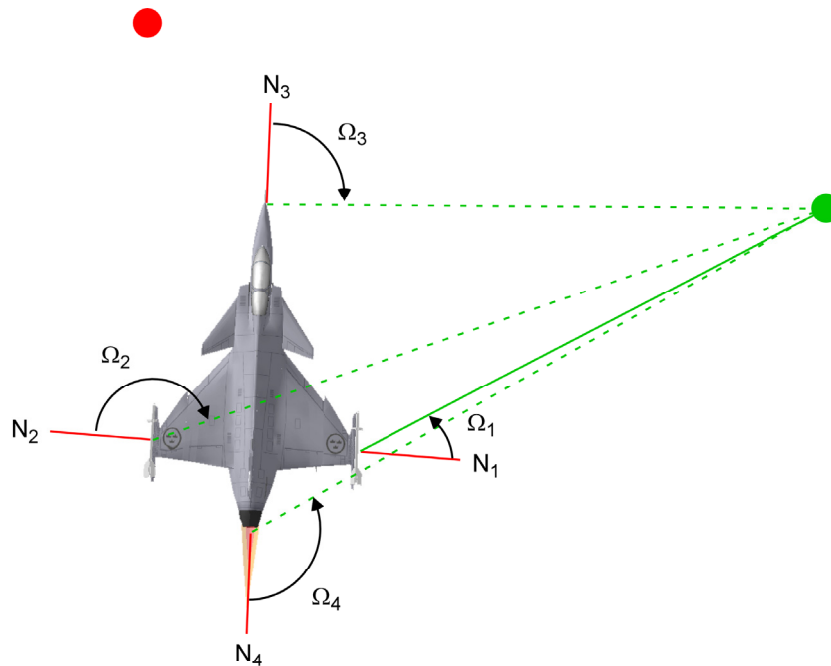
$$\text{steerEl} = \tan^{-1}\left(\frac{-zv}{\sqrt{xv^2 + yv^2}}\right)$$

I modellen kan steerAz och steerEl begränsas ytterligare med parametrarna *Array #1-10 steerAz MinMax* och *Array #1-10 steerEl MinMax*, se kapitel 2.5. Här används ACSL-funktionen BOUND som låser steerAz och steerEl inom gränserna som ges av ovanstående parametrar.

5.6 Antennval

Både för det konventionella hornsystemet samt för gruppantennsystemet kan endast ett horn eller en array vara aktiverad i taget. Vilka antenner som väljs sker på samma sätt för hornsystemet och arraysystemet.

I modellen väljs dynamiskt den antenn där vinkeln Ω (se Figur 18) mellan vektorn antenn till valt störmål och antennens normalriktning är minst, se Figur 21.



Figur 21 Mål nummer 2 (grön) har valts som störmål. Ett antennsystem med 4 antenner används. $N_1 - N_4$ anger antennernas normal (motsvarar antennens x-axel). Antenn 1 har valts då vinkeln Ω_1 mellan dess normal N_1 och vektorn till störmålet är minst jämfört med de andra antennernas vinklar till störmålet.

Observera att ingen hänsyn tas till eventuella utstyringsbegränsningar eller vinster i antennförstärkning vid val av antenn.

5.7 Antennberäkning

5.7.1 Hornantenner

Varje horn i hornsystemet har antingen en exponentiell, en cosinus eller en tabelldefinierad lobfunktion. Val av vilken lobfunktion som nyttjas görs med parametern *Horn #1-6 pattern*, se Tabell 4 i kapitel 2.4 för denna och övriga parametrar för definition av hornantenner.

5.7.1.1 Exponentiell lobfunktion

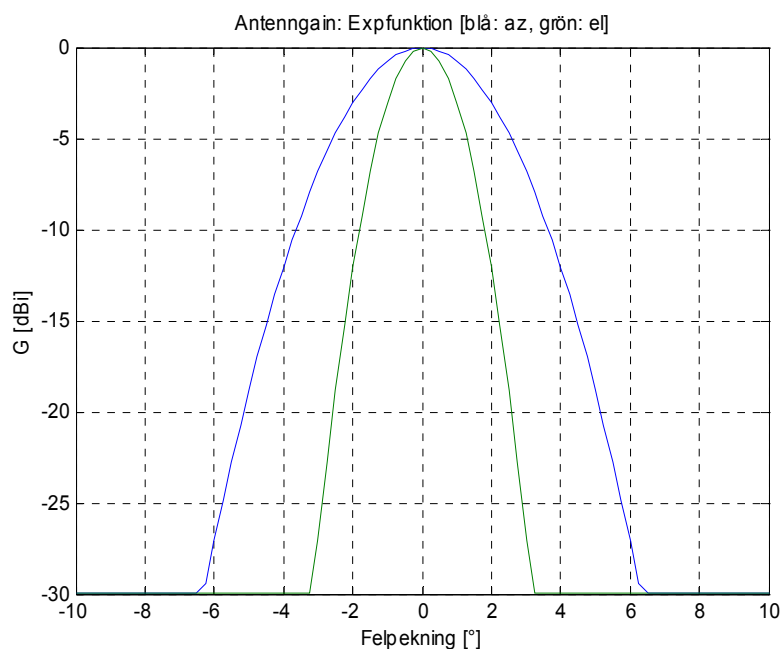
Den exponentiella lobfunktionen (*Horn #1-6 pattern* = 1) definieras enligt:

$$G_a = e^{-1.388 \left[\frac{\phi_{az}}{BW_{az}} \right]^2} \cdot e^{-1.388 \left[\frac{\phi_{el}}{BW_{el}} \right]^2} \quad (5.7.1)$$

Där

- ϕ_{az} felpekningsvinkel i azimuth
- ϕ_{el} felpekningsvinkel i elevation
- BW_{az} lobbredden i azimuth, parameter *Horn #1-6 BW*, se Tabell 4.
- BW_{el} lobbredden i elevation, parameter *Horn #1-6 BW*, se Tabell 4.

Lobfunktionen ger möjlighet till asymmetri i azimuth och elevation, se Figur 22.



Figur 22 Exponentiallob med asymmetri i azimuth (4° BW) och elevation (2° BW). En konstant sidolobsnivå om -30 dBi är satt i figuren.

5.7.1.2 Cosinus lobfunktionen

Cosinus lobfunktionen (*Horn #1-6 pattern* = 2) definieras enligt:

$$G_a = \left| \frac{\cos(\pi \cdot g)}{1 - 4 \cdot g^2} \right| \quad (5.7.2)$$

Med

$$g = 0.6 \cdot \frac{\sin|\phi_{pol}|}{\sin\left(\frac{\phi_{pol0}}{2}\right)}$$

$$\phi_{pol} = \sqrt{\phi_{az}^2 + \phi_{el}^2}$$

$$\phi_{corr} = \arctan\left(\frac{\phi_{el} \cdot BW_{az}}{\phi_{az} \cdot BW_{el}}\right)$$

$$\phi_{pol0} = \sqrt{(BW_{az} \cos(\phi_{corr}))^2 + (BW_{el} \sin(\phi_{corr}))^2}$$

Där

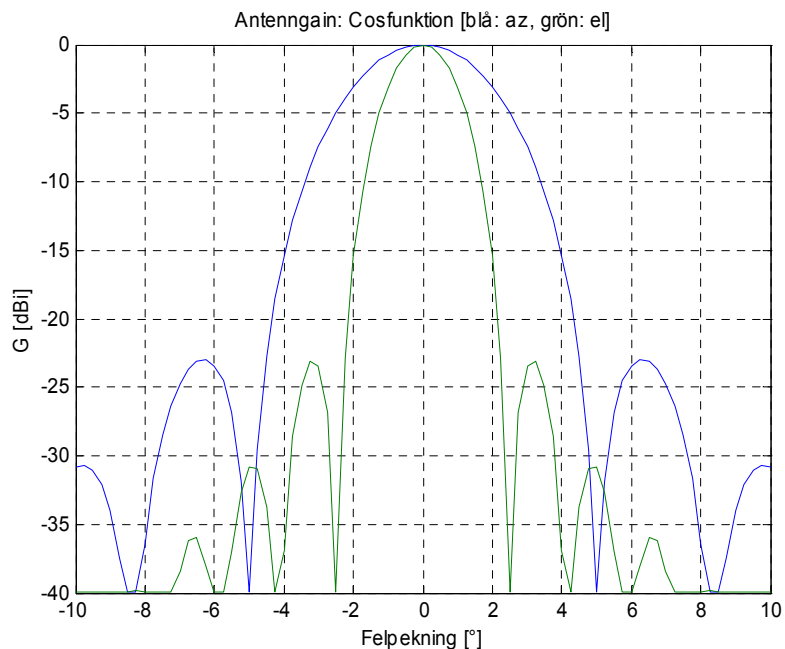
ϕ_{az} felpekningsvinkel i azimut

ϕ_{el} felpekningsvinkel i elevation

BW_{az} lobbredden i azimut, parameter *Horn #1-6 BW*, se Tabell 4.

BW_{el} lobbredden i elevation, parameter *Horn #1-6 BW*, se Tabell 4.

Funktionen ger möjlighet till asymmetri i azimut och elevation, se Figur 23.



Figur 23 Cosinuslob med asymmetri i azimut (4° BW) och elevation (2° BW).

5.7.1.3 Tabellbaserad lobfunktion

Den tabellbaserade lobfunktionen (*Horn #1-6 pattern* = 3) definieras enligt tabeller med format enligt kapitel 6.3. Sex stycken olika antennbaserade lobdiagram kan skapas och refereras till med hjälp av parametern *Horn #1-6 table pattern number*, se kapitel 2.4. En linjärinterpolation sker mellan brytpunkterna i tabellerna med hjälp av ACSL:s TABLE-funktion.

Observera att de tabellbaserade lobdiagrammen ej visualiseras i 3D vyer. Visualiseringen måste emuleras med hjälp av lobbreddsparametern ”Horn #1-6 BW”.

5.7.2 Arrayantennor

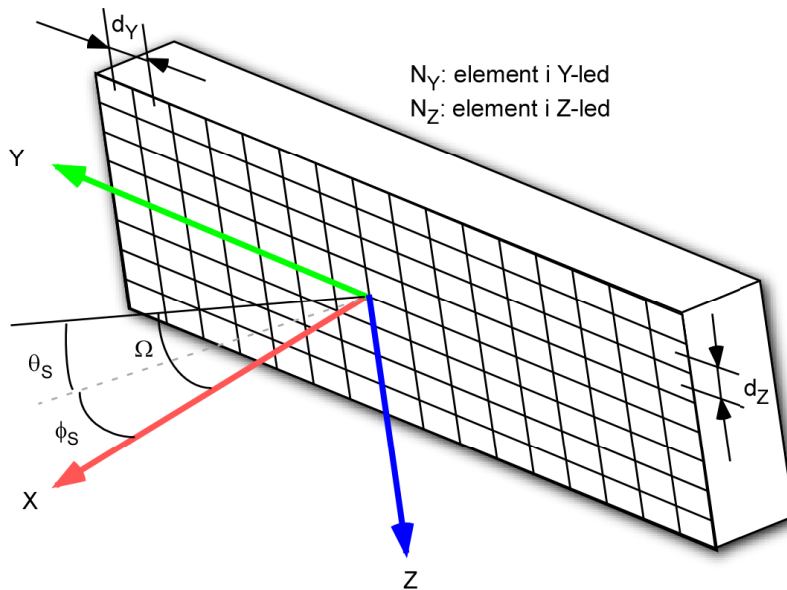
Parametrar för definition av arrayantennor presenteras i Tabell 5 i kapitel 2.5.

Arrayens antennngin beräknas genom att beräkna elementfaktorn samt arrayfaktorn.

Elementfaktorn beräknas enligt [4]:

$$g_e(\Omega) = \frac{4 \cdot \pi \cdot a_e}{\lambda^2} \cdot \cos \Omega$$

där $a_e = d_y \cdot d_z$, är det enskilda elementets area och Ω är vinkeln till störmålet, se Figur 18 samt Figur 24.



Figur 24 En styrbar gruppann.

Arrayfaktorn beräknas för olika aspektvinklar enligt [5]:

$$AF(\theta, \phi) = \frac{\sin(N_y/2 \cdot k \cdot d_y \cdot (\cos \theta \cdot \sin \phi - \cos \theta_s \cdot \sin \phi_s))}{\sin(k \cdot d_y \cdot (\cos \theta \cdot \sin \phi - \cos \theta_s \cdot \sin \phi_s)/2)} \cdot \frac{\sin(N_z/2 \cdot k \cdot d_z \cdot (-\sin \theta + \sin \theta_s))}{\sin(k \cdot d_z \cdot (-\sin \theta + \sin \theta_s)/2)}$$

Där N_y respektive N_z är antal element horisontalt och vertikalt i arrayen. Faktorn k är vågtalet ($2 \cdot \pi / \lambda$). θ_s anger utstyringsvinkeln i elevation (höjd) och ϕ_s anger utstyringsvinkeln i azimuth (sida). ϕ_s respektive θ_s motsvarar utstyringsvinklarna Az_m och El_m som beskrevs i kapitel 5.5.

Arrayfaktorn normeras och omvandlas till en effektstorlek genom:

$$AF_{norm} = \left(\frac{AF}{N_y \cdot N_z} \right)^2$$

Dessa sammansätts för att bilda arrayens uteffekt enligt;

$$P = (N_y \cdot N_z)^2 \cdot p_e \cdot g_e \cdot AF_{norm}$$

Där p_e är det enskilda elementets uteffekt.

För visualisering i 3D-vyer approximeras lobbredden i azimuth och elevation (radianer) för den utstyrda loben enligt [4, ekvation 7.15]:

$$BW_{az} = \frac{\lambda \cdot 0.886}{N_y \cdot d_y \cdot \cos(\phi_s)}$$

$$BW_{el} = \frac{\lambda \cdot 0.886}{N_z \cdot d_z \cdot \cos(\theta_s)}$$

5.8 J/S beräkningar

Störsignalförhållandet (J/S) beräknas i AntCmp enligt [6].

Simuleringarna kan göras i antingen moden Constant Power (konstant effekt) eller Constant Gain (konstant förstärkning). Vilken av moderna som simuleras väljs med fliken Jammer (horn/array) → *Constant Power Mode*.

Med kapseln i moden Constant Power (ex brusstörning) beräknas J/S mot varje hot enligt:

$$\frac{J}{S} = \frac{P_j \cdot G_j \cdot 4\pi \cdot R^2 \cdot (B_{MF} / B_j)}{P_r \cdot G_r \cdot \sigma} \quad (5.8.1)$$

Där:

P_j	Störsändarens maxeffekt (fliken Jammer → <i>Max Power</i>)
G_j	beräknat sändarantenngain i störkapseln mot hotet
R	avståndet från hotet till störkapseln
B_{MF}	mottagarbandbredd hos hotradarn (fliken Threat → <i>Threat Radar MF Bandwidth</i>)
B_j	bandbredden på störsignalen (fliken Jammer → <i>Jammer signal bandwidth</i>)
$P_r G_r$	utsänd effekt från hotradarn (fliken Threat → <i>Threat ERP</i>)
σ	uppvisad radarmålarea mot hotradarn

Med kapseln i moden Constant Gain (ex. repeterstörning) beräknas J/S mot varje hot utanför mättningsavståndet enligt:

$$\frac{J}{S} = \frac{G_{j,in} \cdot A \cdot G_{j,ut} \cdot \lambda^2}{4\pi \cdot \sigma} \quad (5.8.2)$$

Där:

$G_{j,in}$	beräknat mottagarantenngain i störkapseln mot hotet
A	störsändarens interna förstärkning (fliken Jammer $\rightarrow$ <i>Internal Gain</i>)
$G_{j,ut}$	beräknat sändarantenngain i störkapseln mot hotet
λ	radarvåglängden (fliken Threat $\rightarrow$ <i>Threat Frequency</i>)
σ	uppvisad radarmåarea mot hotradarn

Innanför mättningsavståndet (avståndet då störsändarens maxeffekt har uppnåtts) beräknas J/S enligt ekvation 5.7.2.1 med $B_{MF}/B_j = 1$.

6 Filformat

Flygbanedata, flygplanets målarea samt störsändarens antenndiagram definieras som tabb- eller mellanslagsseparerade textfiler (ASCII). Loggdata sparas i mellanslagsseparerade textfiler. Antenn- och RCS-filer läses alltid vid start av simulering.

6.1 Flygbanedata

Flygbanedata läses om *Use target model # = 2*, se kapitel 2.3. Vilken flygbanefil som används bestäms av parametern *Target path #*. Flygbanedata namnges som PATH{0-99}.TXT och lagras i mappen ”.\Model\TGT\FP\TGT_DATA\” med formatet enligt exempel nedan (översta raden ingår ej i filen).

Tid [s]	X [m]	Y [m]	Z [m]	Psi [rad]	Theta [rad]	Phi [rad]	Alpha [rad]	Beta [rad]
0.0000e+000	-5.0926e+003	-9.3005e+003	-3.4846e+003	9.2623e-001	4.1542e-006	-1.4104e-003	0.0000e+000	0.0000e+000
5.0000e-001	-5.0206e+003	-9.2048e+003	-3.4847e+003	9.2626e-001	4.1671e-006	-1.4056e-003	0.0000e+000	0.0000e+000
...	...	...	...	...	...	...	...	...
2.4300e+002	-9.9401e+002	7.3704e+003	-3.4738e+003	3.9088e+000	4.7867e-006	1.7090e-002	0.0000e+000	0.0000e+000

Tabell 8 Exempel på flygbanedata.

6.2 Radarmålareadata

Radarmålareadata RCS läses in vid start av simuleringen från en fil RCS.TXT lagrad i mappen ”.\Model\TGT\RCS\RCS_DATA\”. Radarmålarean anges i m² och täcker intervallen elevation: {-90, 90} och azimuth: {0, 360} i 2° intervall. Format enligt nedan (kolumn och radrubrikerna ingår ej i formatet). Se kapitel 7 för beskrivning av azimuth- och elevationsvinklarna.

Az \ El	-90°	-88°	...	-2°	0°	2°	...	88°	90°
0°	m ²	m ²	...	m ²	m ²	m ²	...	m ²	m ²
2°	m ²	m ²	...	m ²	m ²	m ²	...	m ²	m ²
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
358°	m ²	m ²	...	m ²	m ²	m ²	...	m ²	m ²
360°	m ²	m ²	...	m ²	m ²	m ²	...	m ²	m ²

Tabell 9 Format på RCS fil (RCS.TXT)

6.3 Tabellbaserade antenndata

Antenndata för tabellbaserade antennhorn läses in vid start av simuleringen, vilken antenndatafil som väljs bestäms av startparametrarna *Horn #1-6 pattern = 3* och *Horn #1-6 table pattern number* under fliken Jammer (horn), se kapitel 2.4. Totalt kan 6 stycken olika tabeller definieras. Tabellerna finns lagrade i mappen ”.\TGT\ECM\Hrn\ANT_DATA\” och anges med namnet ”ANT{Horn #1-6 table pattern number}.txt”. Antennförstärkningen anges i ggr och täcker intervallen elevation: {-90, 90} och azimuth: {-180, 180} i 1° intervall med format enligt Tabell 10 (kolumn och radrubrikerna ingår ej i formatet). Observera att brytpunkterna i elevation och azimuth ingår i detta format. Se kapitel 7 för beskrivning av azimuth- och elevationsvinklarna.

Az \ EI	-90°	-89°	...	-1°	0°	1°	...	89°	90°
0°	ggr	ggr	...	ggr	ggr	ggr	...	ggr	ggr
4°	ggr	ggr	...	ggr	ggr	ggr	...	ggr	ggr
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
356°	ggr	ggr	...	ggr	ggr	ggr	...	ggr	ggr
360°	ggr	ggr	...	ggr	ggr	ggr	...	ggr	ggr
EI bpt	-90	-98	...	-1	0	1	...	89	90
Az bpt	-180								
	-179								
	...								
	179								
	180								

Tabell 10 Format på tabellbaserade antennhorn.

6.4 Loggdatafiler

Loggning aktiveras från fliken Log, se kapitel 2.2. Fyra loggar kan sparas under exekvering av modellen:

- Flygbanan
- Störvinsten $J_{\text{array}}/J_{\text{horn}}$ [dB] mot de olika hoten för Array kontra horns-system
- Störsignalförhållandet J_{array}/S [dB] mot de olika hoten för arraysystemet
- Störsignalförhållandet J_{horn}/S [dB] mot de olika hoten för horns-systemet

Flygbanedata loggas enligt formatet i kapitel 6.1. Loggad flygbana kan därefter användas som tabellbaserad flygbana med *Use target model* # = 2 och *Target path* # = 0, se kapitel 2.3.

Störvinsten samt störsignalförhållandet loggas enligt formatet nedan (kolumnrubrikerna ingår ej i formatet):

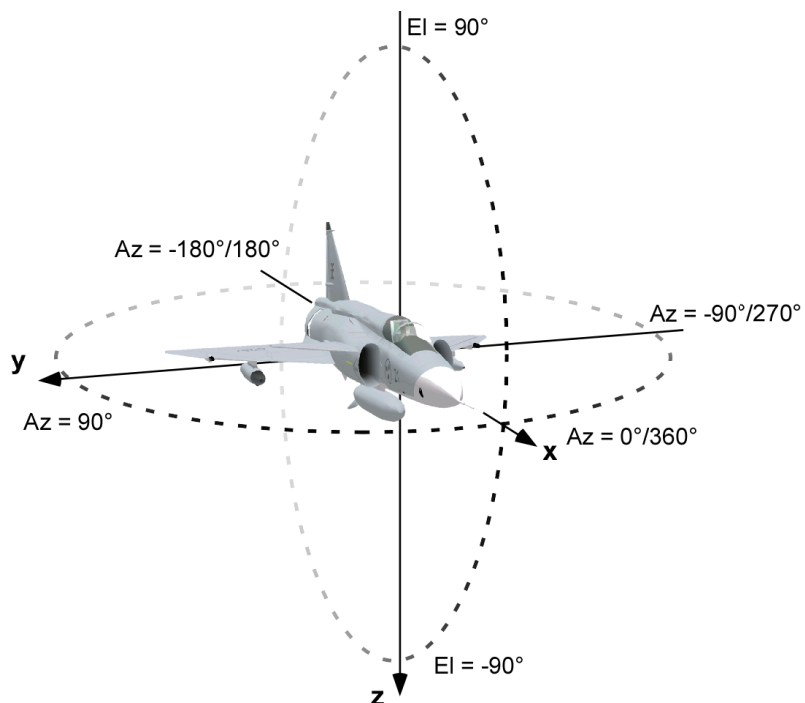
Tid	selTht	Az	EI	J/J alt. J/S tht1 (röd)	J/J alt. J/S tht2 (grön)	J/J alt. J/S tht3 (blå)	J/J alt. J/S tht4 (svart)
s	#	grad°	grad°	dB	dB	dB	dB
s	1-4	grad°	grad°	dB	dB	dB	dB
...	...	...	...	...	...	...	...

Tabell 11 Loggformat för J/J och J/S data.

selTht är det valda störmålet (1-4). Az och EI är felpkningsvinklarna till valt störmål och beräknas enligt kapitel 5.4.

7 Koordinatsystem

Det flygplansfasta koordinatsystemet (x , y , z) samt azimut- och elevationsvinklar som används för antenndiagram och för målytan, definieras enligt figur nedan.



Figur 25 Det flygplansfasta koordinatsystemet samt definition av azimut- och elevationsvinklar.

8 Möjliga förbättringar

AntCmp har tagits fram med syftet att studera vinster med fasstyrda gruppantennar kontra traditionella hornantennar. Modellutvecklingen har styrts av detta syfte och ett flertal förenklingar har gjorts för att kunna leverera resultat i tid. Nedan anges ett antal möjliga modellförbättringar:

- Hantera polarisation
- Realistisk fasstyrning för gruppantenn
- Tapering av gruppantennelement.
- Antennskymning
- Sekventiella störmålsval (för att kunna definiera en störmålssekvens)
- Bättre J/S beräkningar (hantera frekvensöverlapp vid brusstörning, etc.)
- Val av antenn utifrån J/S maximering
- Kunna störa samtidigt från flera antenner
- Flexibel mottagar- till sändarkonfigurering
- Separera positioneringen av sändar- och mottagarantennar
- Vidareutveckla loggar, t ex inkludera utstyrningsvinkel

9 Referenser

- 1 Håkan Wissman, Styrspaksstyrd flygplanssimuleringsmodell, April 1998, FOA-R—98-00760-616--SE
- 2 Peter Klum, Katrin Karlsson, Mattias Verona, PathView 2.2 - Verktyg för hantering av PETRA/flygdata vid simulering., 2009, FOI MEMO 2732
- 3 Johnny Eckerland, AFE 3.11 - Reference Manual, 2009, FOI-R--2738--SE
- 4 Merrill Skolnik, Radar Handbook, Second Edition, McGraw-Hill Publishing Company, 1990
- 5 David Jenn, Antennas & Propagation, LECTURE NOTES VOLUME III ARRAYS, ANTENNAS IN SYSTEMS AND ACTIVE ANTENNAS, version 1.3, Naval Postgraduate School Distance Learning
<http://faculty.nps.edu/jenn/EO3602/Vol3v1.3.pdf> (november 2010)
- 6 Per Hyberg - Kompendium i radarmotmedelsteknik avsett för Militärhögsskolans 20 poängskurs i telekrigföring, sid 32-34, December 1993, FOA 1 Rapport A 10052-1.1

```

% ANTCMPVW
% Script to arrange ANTCMP Spherical test logdata and plot it
%
% Note:
%   this script only handles full spherical test data sets, see chapter
%   2.6 in AntCmp (Antenna Compare) Report
%
%       Az start = 0           Az stop = 360
%       El start = -90        El stop = 90
%
% Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI
% Peter Klum
%

clear;

% Load ANTCMP data =====
[fileName,path]=uigetfile('*.','Import ANTCMP file:');
if fileName == 0
    break;
end
file=[path fileName];
cd(path);
data = load(file);

% Rearrange data =====
% Data structure: t, selTht, SelErrAz, SelErrEl, gTgt1, gTgt2, gTgt3, gTgt4

data=data(2:length(data),:);      % Delete first row

% Find azimuth changes (elevation toggles from 90 to -90
ind=[0; find(diff(data(:,4))<-100); length(data)];

for azInd=1:(length(ind)-1)
    ind2=(ind(azInd)+1):ind(azInd+1);
    ind3=1:length(ind2);
    azVal(azInd)=data((ind2(1)+1),3);
    mx(ind3,azInd)=data(ind2,8);          %tht4 data
end

elVal=data(1:ind(2),4);

% Center az=0
ind4=find(azVal>180);
% Flip matrix upside down for proper viewing
mxNew=flipud([mx(:,ind4) mx(:,2:(ind4(1)-1))]');

azValNew=[(azVal(ind4)-360) azVal(2:(ind4(1)-1))];
elValNew=flipud(elVal);
elValNew = elValNew(1:length(elValNew)-1);

% Plot data =====
imagesc(azValNew,elValNew,mxNew);
colorbar;
grid;
title('J/J or J/S value [dB]');
xlabel('Azimuth [°]');
ylabel('Elevation [°]');
set(gca, 'YDir','normal');

```