

Electromagnetics for Space Antennas

Johan Wettergren
Manager Antenna Electrical Design

RUAG Space at a Glance

RUAG

- Leading European space product supplier to the industry
- Acquisition of Saab Space and Austrian Aerospace (2008), Oerlikon Space (2009), Patria Space (2015)
- Eight sites in four countries (Switzerland, Sweden, Finland and Austria)
- US office in Denver, Colorado
- 1160 employees
- Total revenues (2014): 265 M€
- Headquarters: Zurich (CH)





2014:

Sales: 785 MSEK, 86 MEuro, 115 MUSD

No of employees: 374

Product Areas

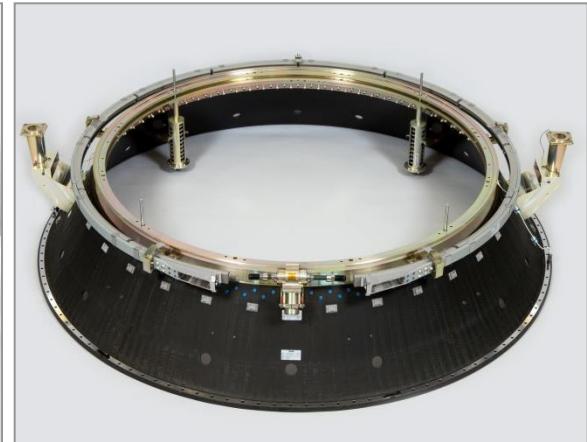
RUAG



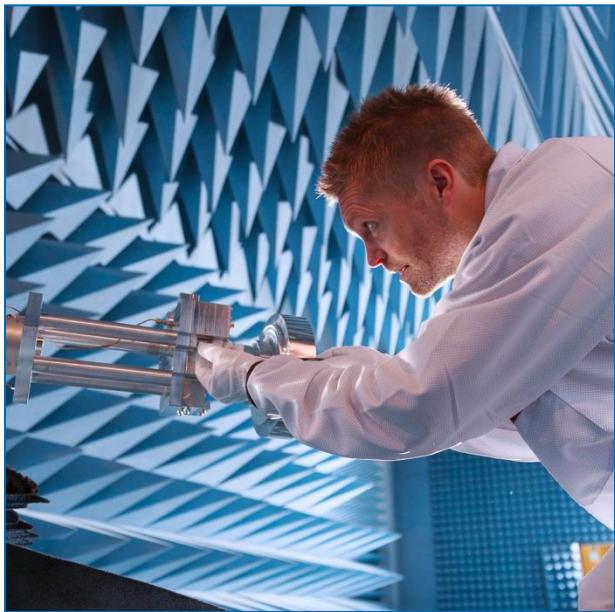
Computer Systems



Frequency Converters & Receivers



Adapters and separation systems



Antennas



Guidance Systems



Satellite Structures

Antennas

RUAG

- **Wide Coverage Antennas**
Complete family of antennas for TT&C, data links, GPS receivers and beacons. More than 540 delivered for satellites and launchers.
- **Array Antennas**
Feed arrays and direct radiating arrays for mobile communications and RF instruments.
- **Reflector Antennas**
High-accuracy antennas for science and communication applications.



Johan Wettergren

RUAG

- **civilingenjör från Chalmers
i teknisk fysik**
- **30p filosofi, 40p musikvetenskap,
10p högskolepedagogik**
- **teknologie doktor i elektroteknik
(vågledarslitsantennar)**
- **3 år på antennavdelningen**
- **1 år forskarassistent på Chalmers**
- **8 år på mikrovågselektronik**
- **2 år till på antennavdelningen**
- **5 år som chef över elektrisk antenndesign**
- **vågledarslitsantennar, elektromagnetiska beräkningar, mikrovågsmätteknik,
tekniska kundkontakter, offertarbete, verksamhetsuppföljning, ledning**



Antennkonstruktion är multifysik

RUAG

Magnetic Field

Magnetic Moment

Vacuum

Outgassing

Venting

Solar Radiation & Albedo

Thermo-Mechanical Fatigue

Thermal Distortion

Heat Flux

Shock

Acoustical Noise

Quasi-Static Load

Random & Sine Vibrations

Structural Damage

Deformation

Materials Science

Thermal Engineering



Electromagnetics

Microwave Engineering

Computational Electromagnetics (CEM)

Micrometeoroids & Debris

Reliability

Abrasion

UV

Charged Particles (e^- , p^+)

Electrostatic Discharge (ESD)

Radiation Damage

Atomic Oxygen (ATOX)

Corrosion

External RF Radiation

Passive Intermodulation (PIM)

RF Power

RF Losses (Heating)

Multipactor, Corona, & Arcing

image from

Joakim Johansson,

RUAG Space

$$\nabla \times E = -i\omega\mu H$$

$$\nabla \times H = i\omega\epsilon E + J$$

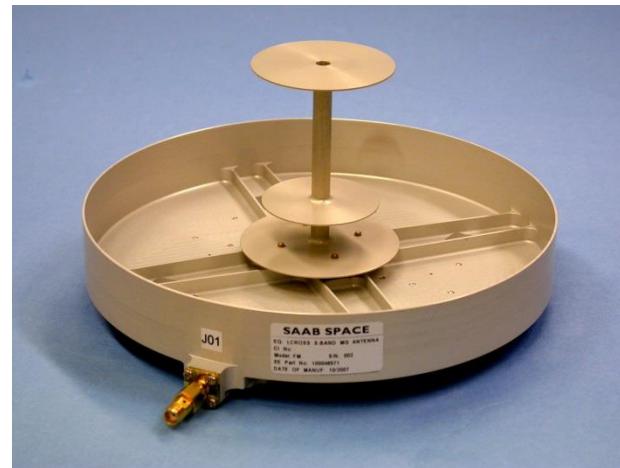
$$\nabla \bullet E = \rho / \epsilon$$

$$\nabla \bullet H = 0$$

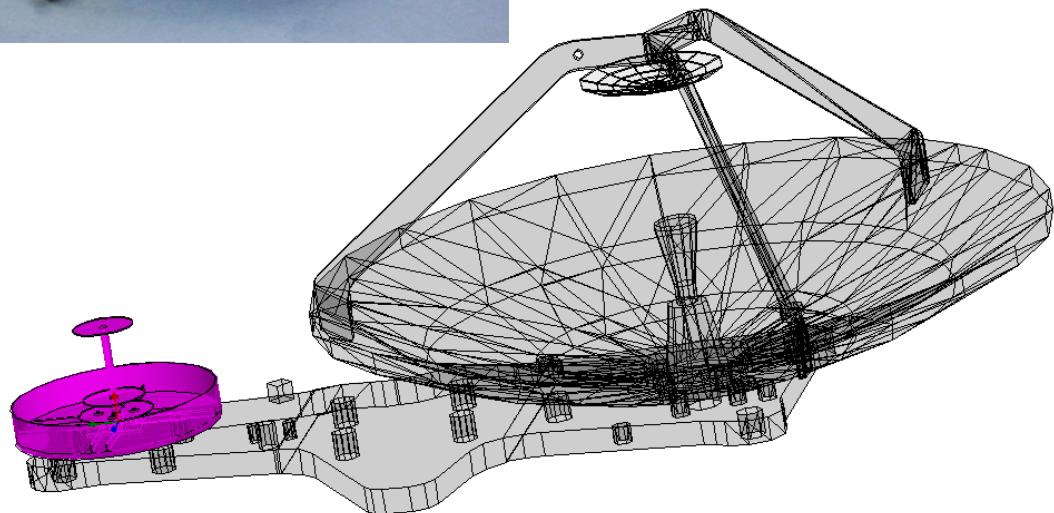
Vad man vill räkna ut för antenner

RUAG

- hur de strålar
- deras förluster
- deras anpassning



- när frekvensen varierar
- när omgivningen stör



James Webb Space Telescope

RUAG

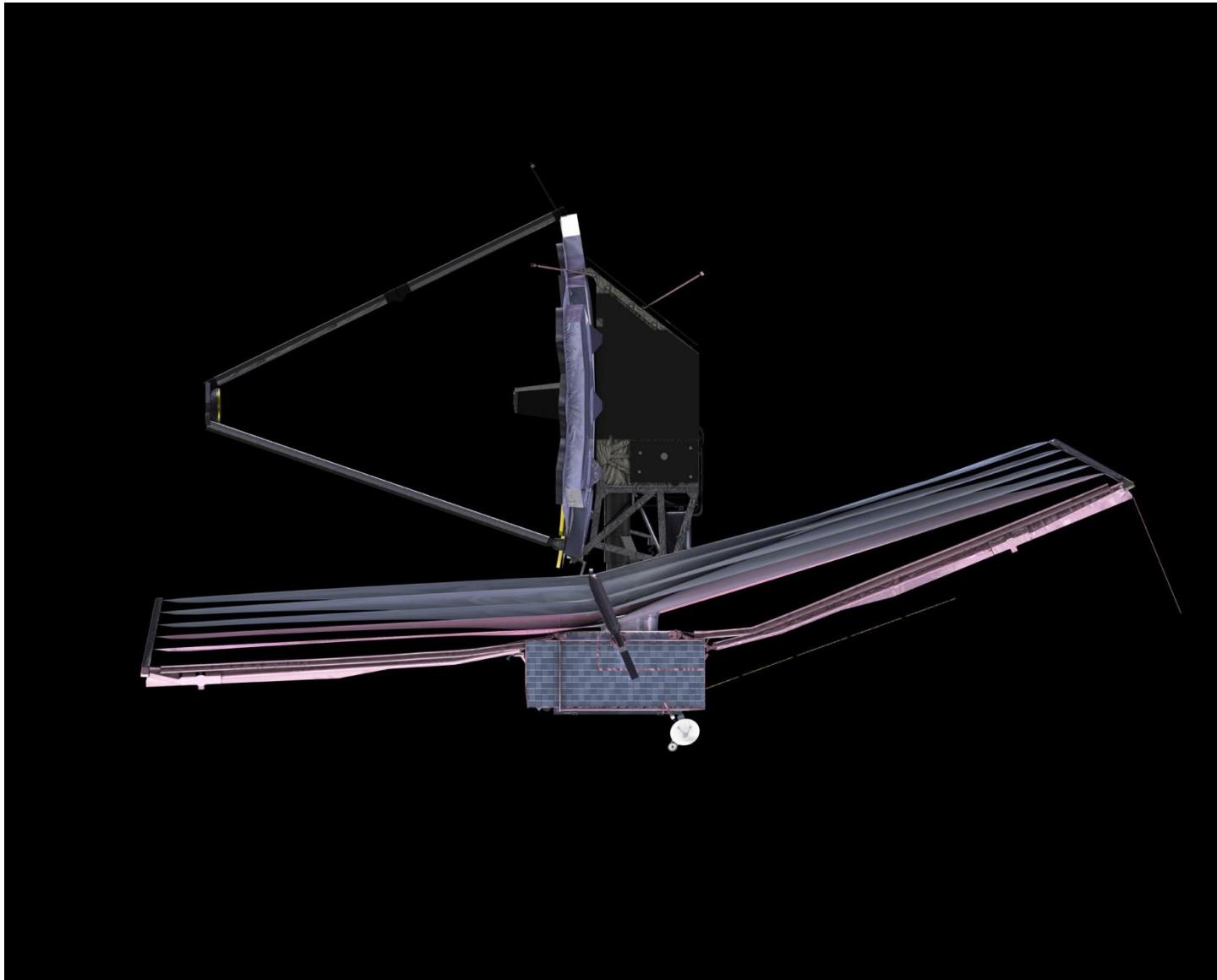


image from NASA
artists impression

Hur räknar man?

RUAG

- i huvudet
- papper & penna
- enkla MATLAB-hack
- större företagsegna beräkningsrutiner
- inköpta specialiserade program
- inköpta generella program

METOP-satelliten

RUAG

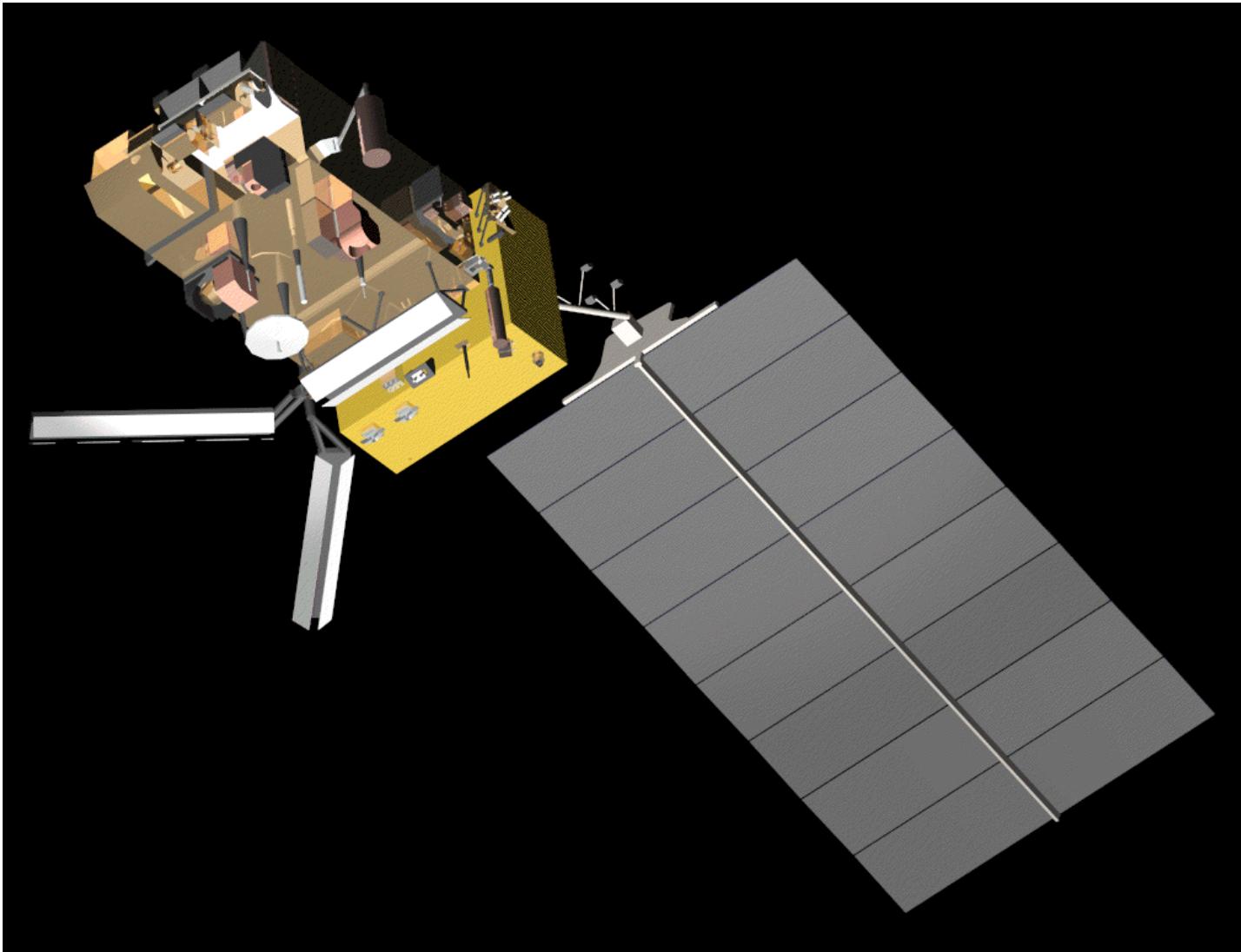


image from ESA
artists impression

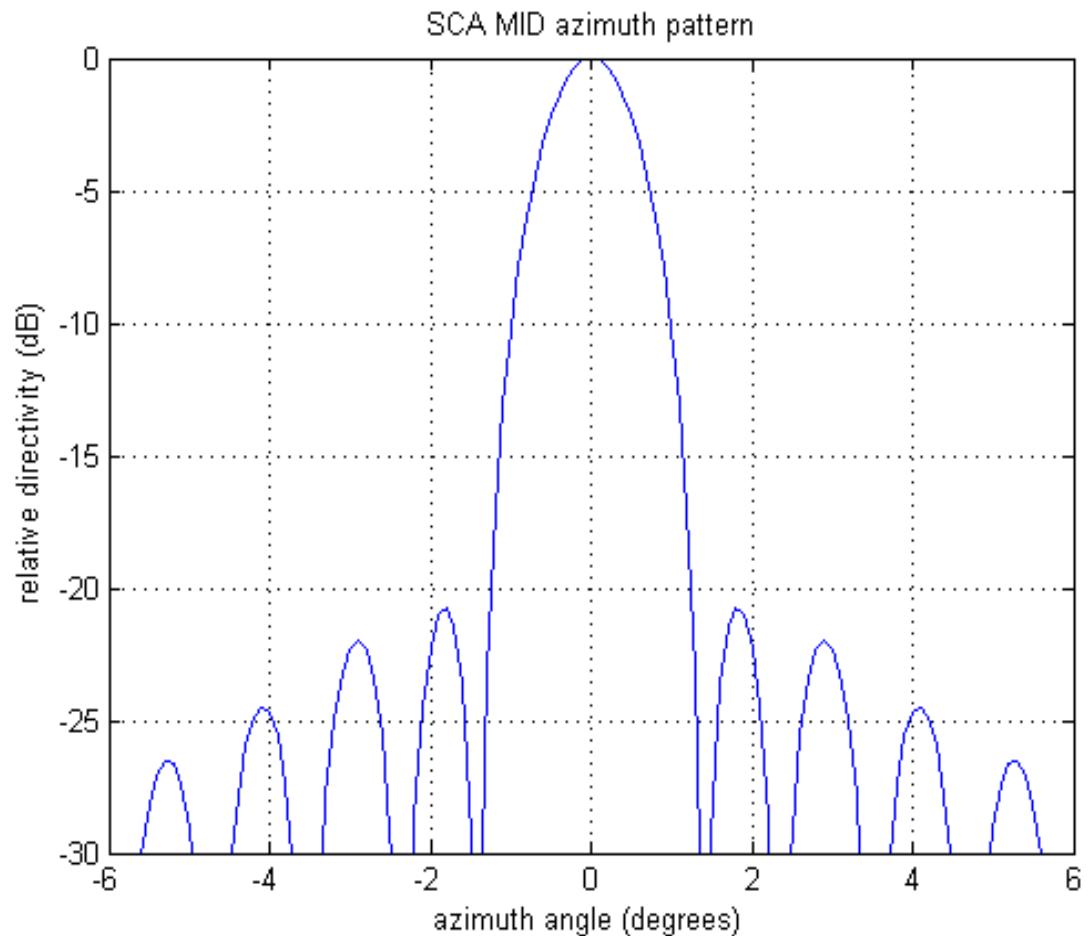
- scatterometerantenn
- radarmätning mot havsvågor ger vindinformation
- vågledare med slitsar
- mätsträcka med absorbenter



Azimuthdiagram för nästa ASCAT

RUAG

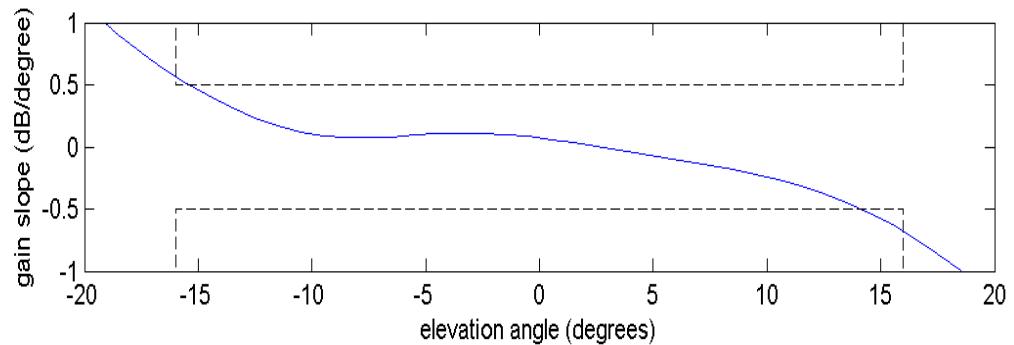
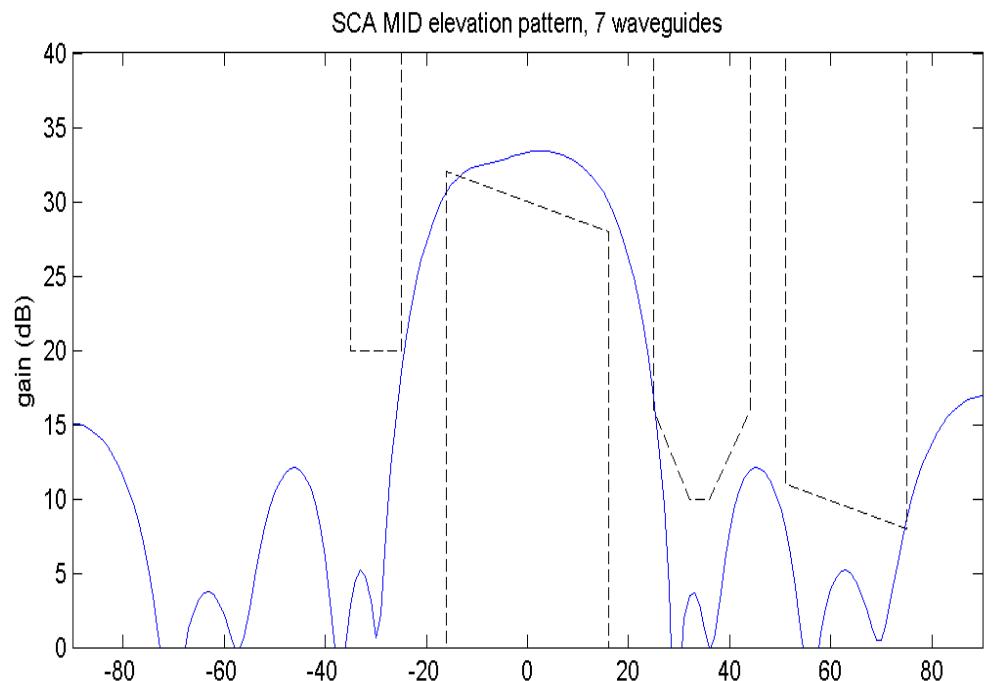
```
% the MID antenna azimuth pattern for elements  
f=5.3e9; % frequency  
lambda=299792458/f; % wavelength, 57 mm  
  
Nslot=64;  
dLslot=43.1e-3; % slot spacing (m)  
  
SLL=20; % sidelobe level  
n=2; % Taylor parameter  
  
z=((1:Nslot/2)-0.5)*dLslot/lambda;  
L=Nslot*dLslot/lambda;  
LL=L*lambda  
l=taylor(SLL,n,L,z);  
  
x=[-z(end:-1:1) z]';  
a=[l(end:-1:1);l];  
Theta=-180:0.1:180;  
theta=Theta*pi/180;  
  
SF = array(x,zeros(size(x)),a,0,theta,0,0,0,0);  
EF=halfwave(theta+pi/2);  
e=SF.*EF;  
E=20*log10(abs(e)/max(abs(e)));  
  
Nth=0.5*(length(Theta)-1);  
BW=2*interp1(E(Nth+[1:10]),Theta(Nth+[1:10]))  
  
figure(1)  
clf  
plot(Theta,E)  
axis([-6 6 -30 0])  
title('SCA MID azimuth pattern')  
xlabel('azimuth angle (degrees)')  
ylabel('relative directivity (dB)')  
grid on  
hold on
```



Elevationsdiagram för nästa ASCAT

RUAG

- egenutvecklad
genetisk
optimering
- tusentals testfall
- kostnadsfunktion
& mimimering



METOP-satelliten

RUAG

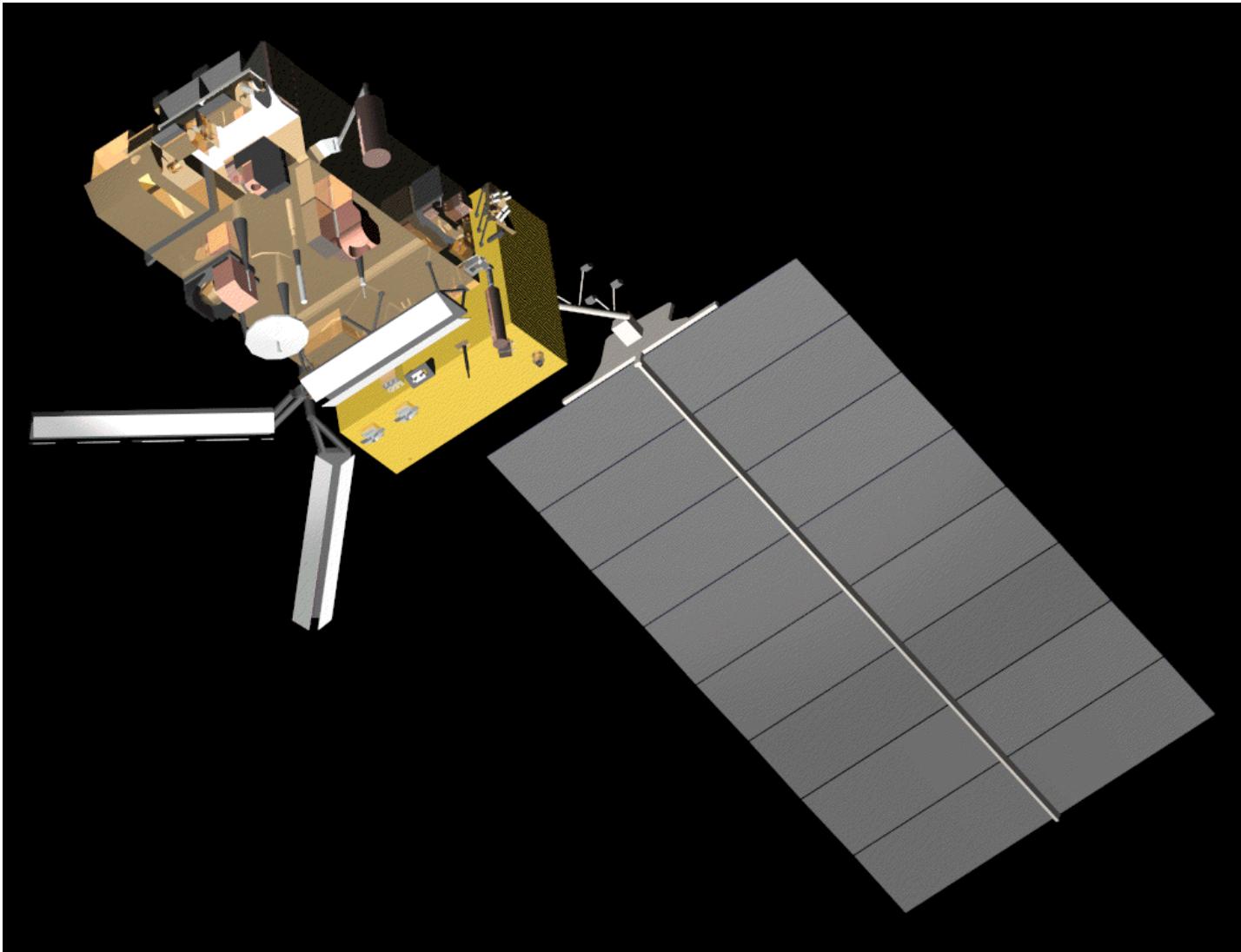
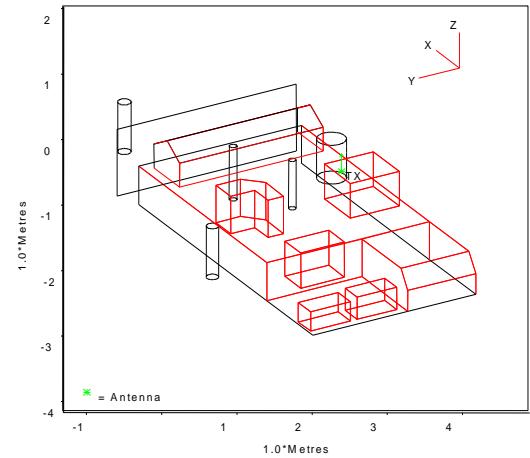
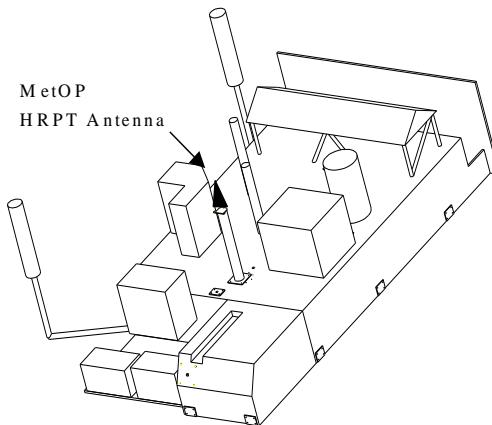
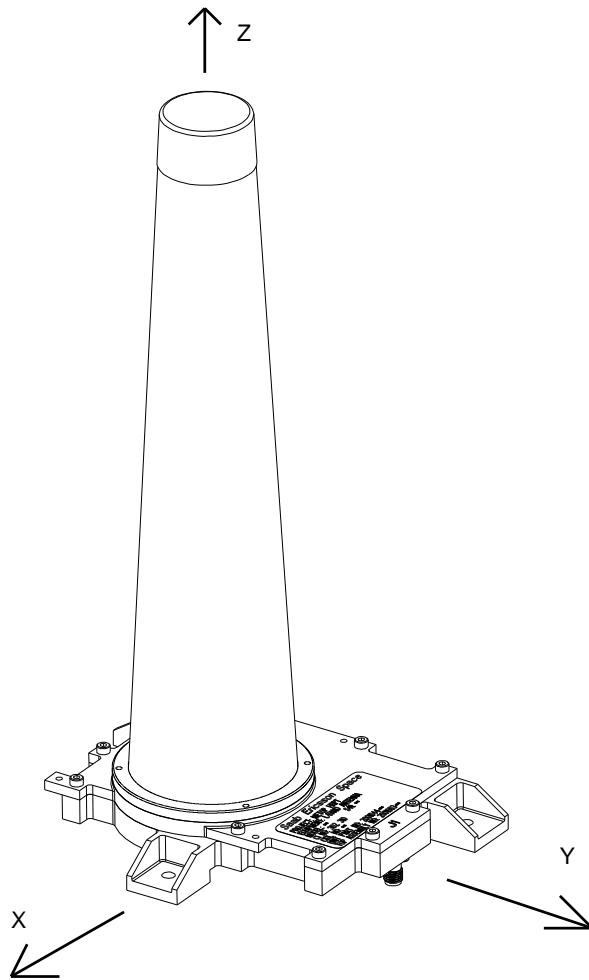


image from ESA
artists impression

METOP och HRPT-antennen

RUAG



- Diffraktionsteori (GTD och UTD)
- Geometrin byggs upp med plan, lådor och cylindrar
- Strukturen som modelleras har god ledningsförmåga
- Modellens dimensioner bör vara större än en våglängd
- All struktur antas vara i antennens fjärrfält
- Indata i form av mätta diagram eller fördefinerade antenntyper

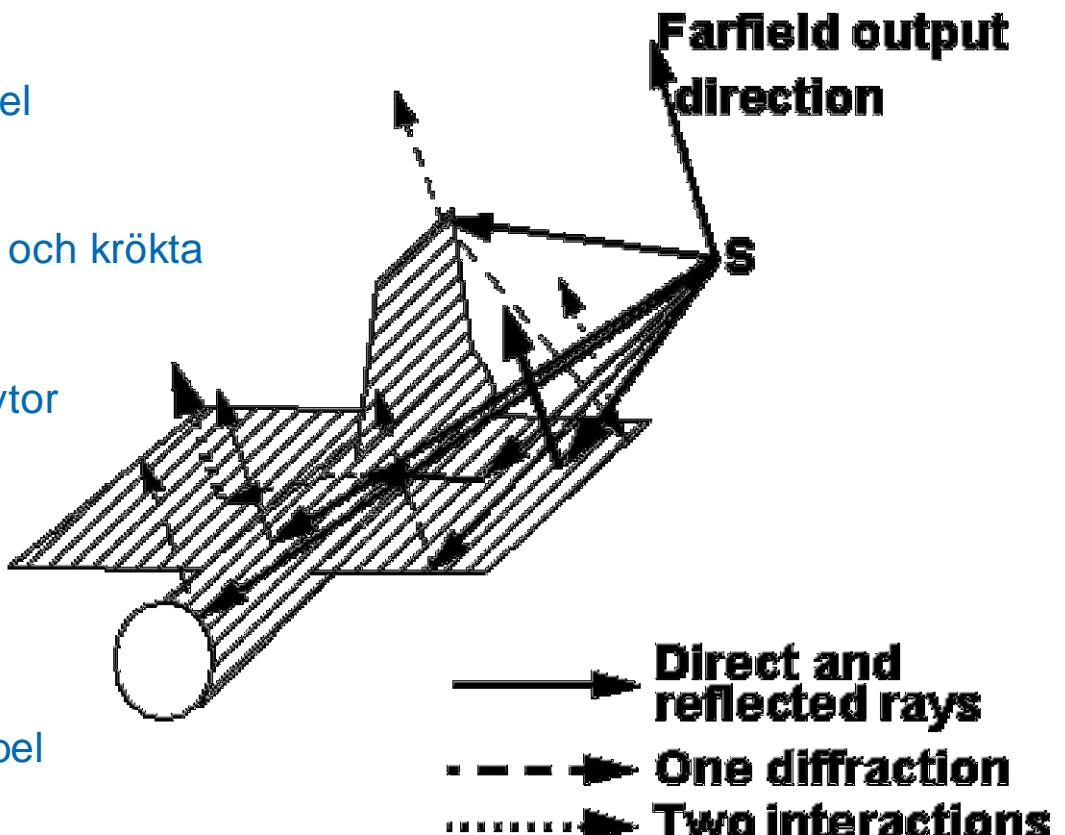
- Direktstrålning

- Första ordningens strålning med enkel påverkan

- Reflekterad strålning från plana och krökta ytor
- Krypande strålning runt krökta ytor
- Diffraktion runt raka kanter
- Blockering

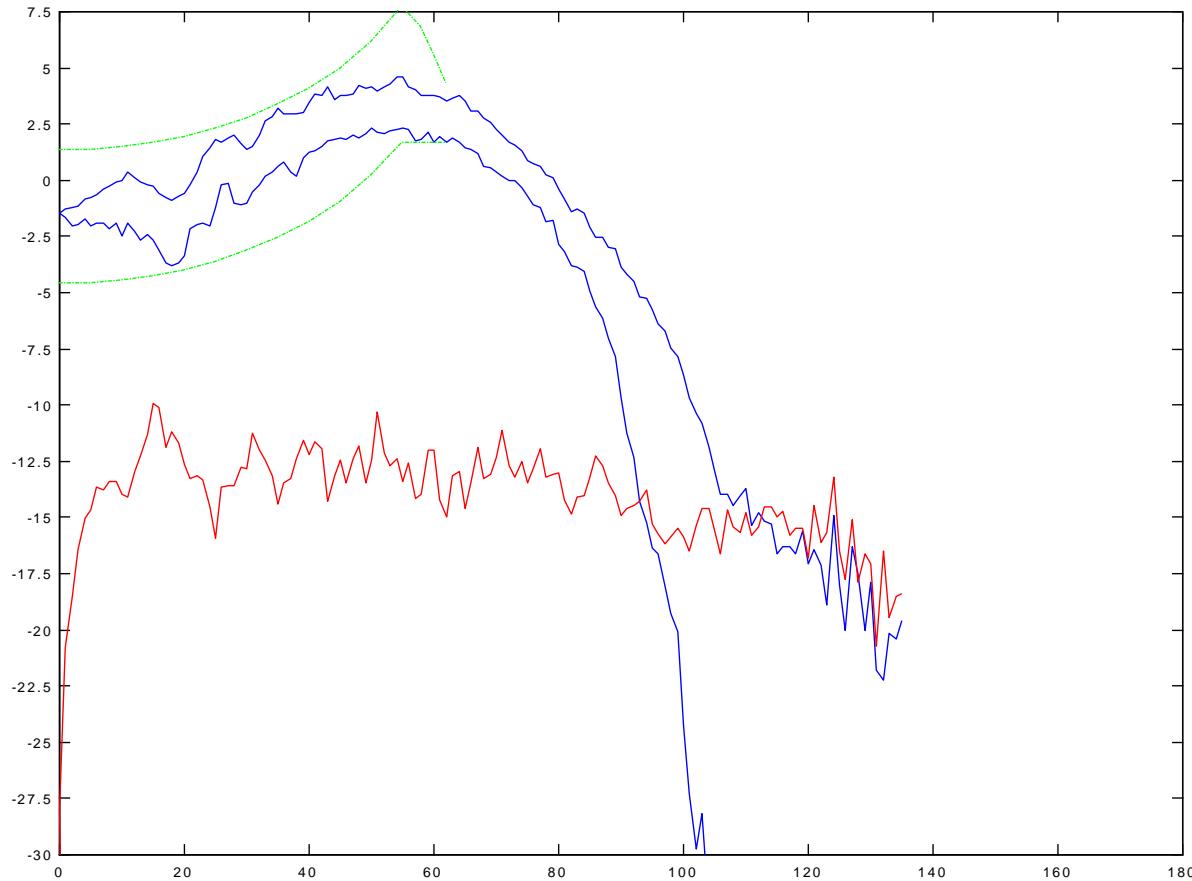
- Andra ordningens strålning med dubbel påverkan

- Reflektion plan yta / Reflektion plan yta
- Kantdiffraktion / Reflektion plan yta
- Reflektion plan yta / Kantdiffraktion



Strålningsdiagram i närvaro av satellitkroppen

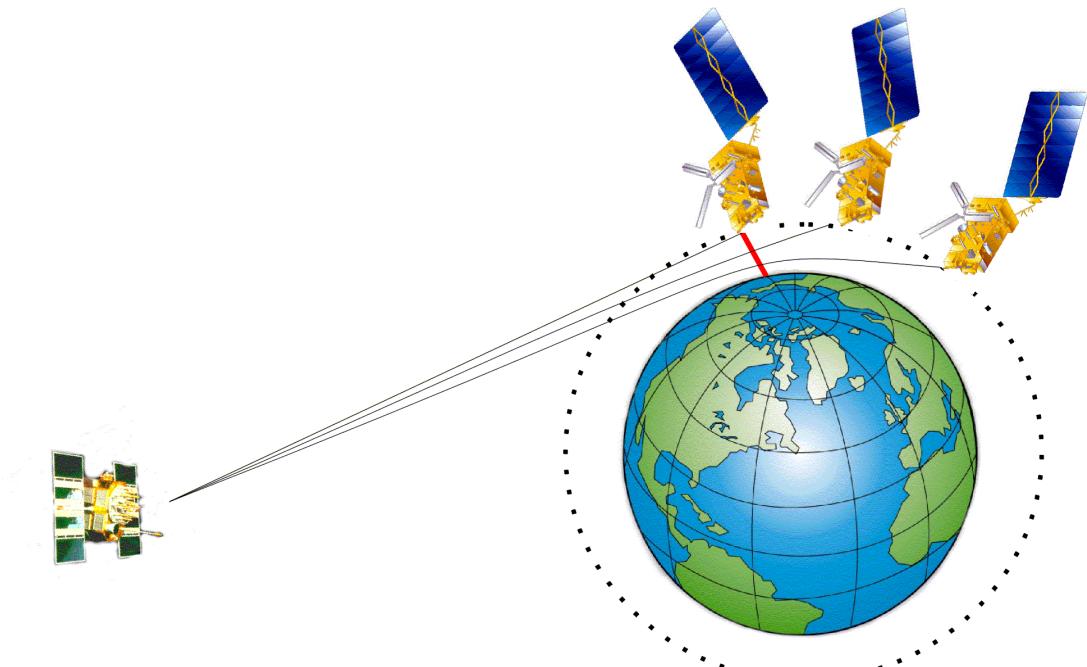
RUAG



GRAS instrument

RUAG

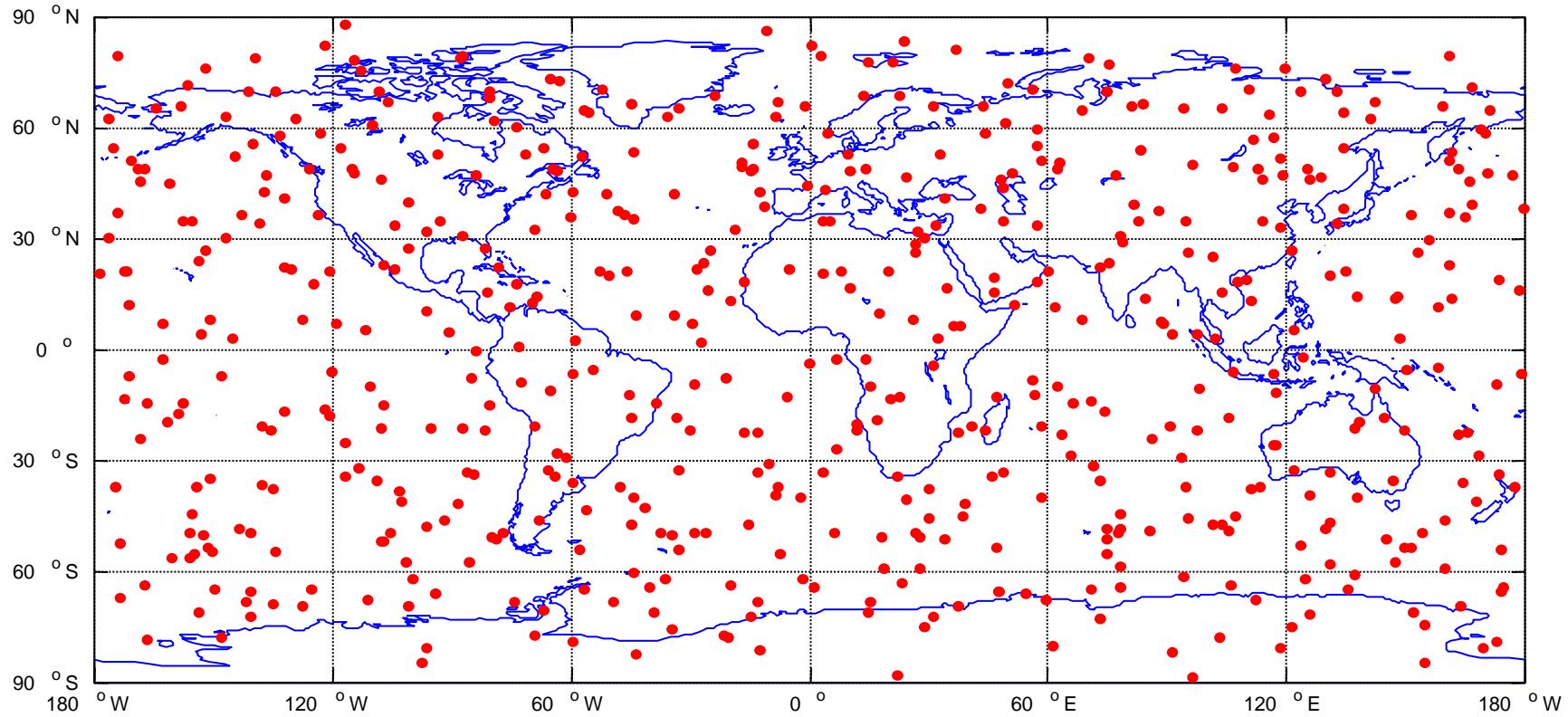
- GRAS instrument on the MetOp satellite
- Two antennas on the MetOp satellite
- rising GPS satellite occultation
- setting GPS satellite occultation
- Analysis of phase → refractive electron density
- Meteorological quantities
- Temperature
- Pressure
- Water vapour



GRAS instrument

RUAG

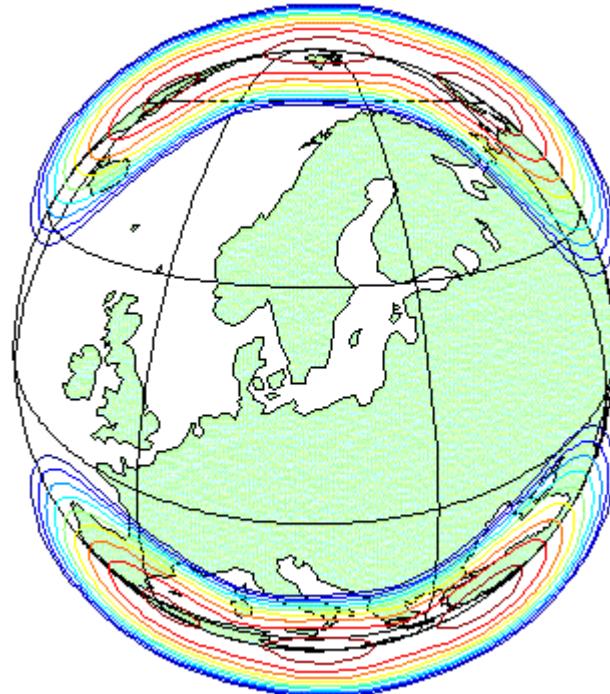
- Approximately 500 GPS occultations per day



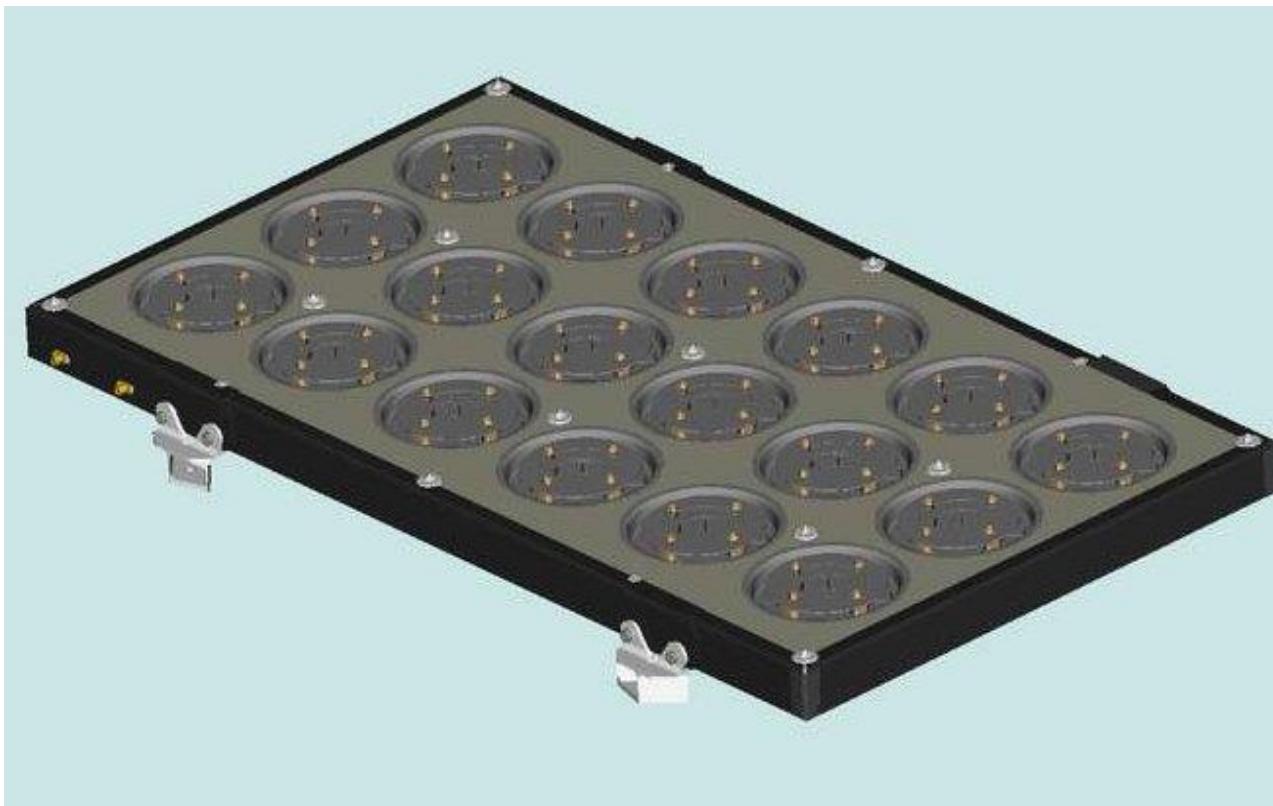
Antenna electrical design

RUAG

- Array antenna
- Beam steered 27° toward earth
- Small element spacing of 135 mm
- 6×3 (elevation x azimuth) array
- Gain > 10 dBi within $\pm 50^\circ$ azimuth



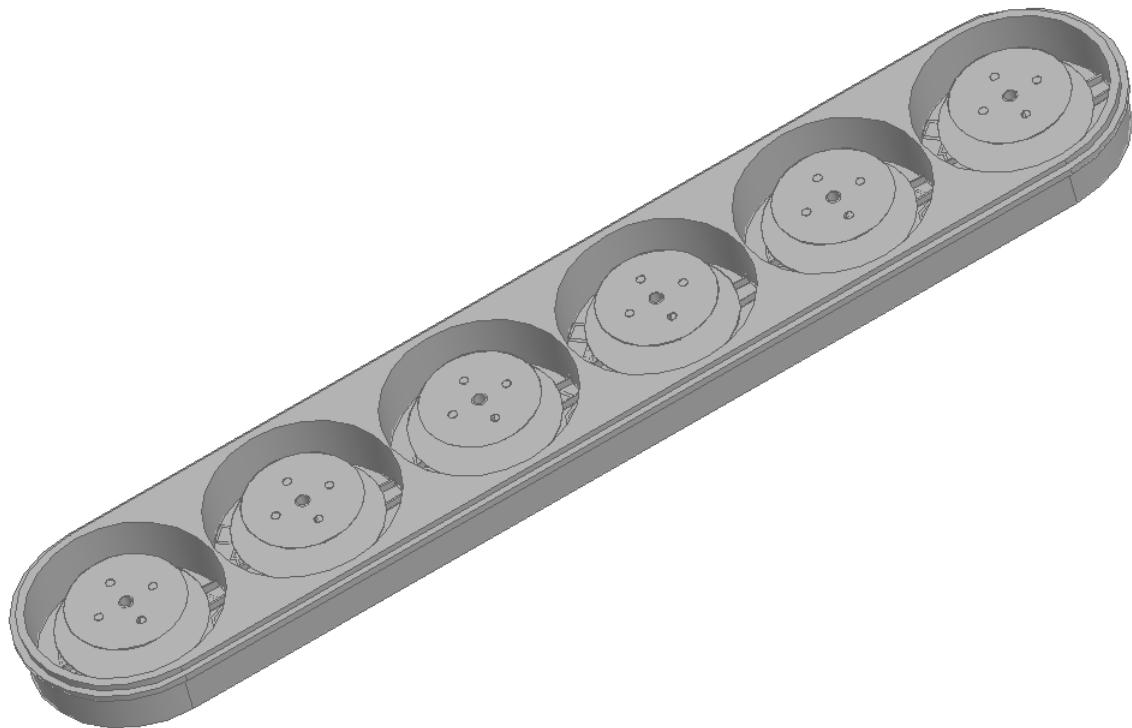
- Dual concentric rings
- Rings mounted in cups
- Feeding from microstrip lines via slots
- Separate feed networks for the two bands



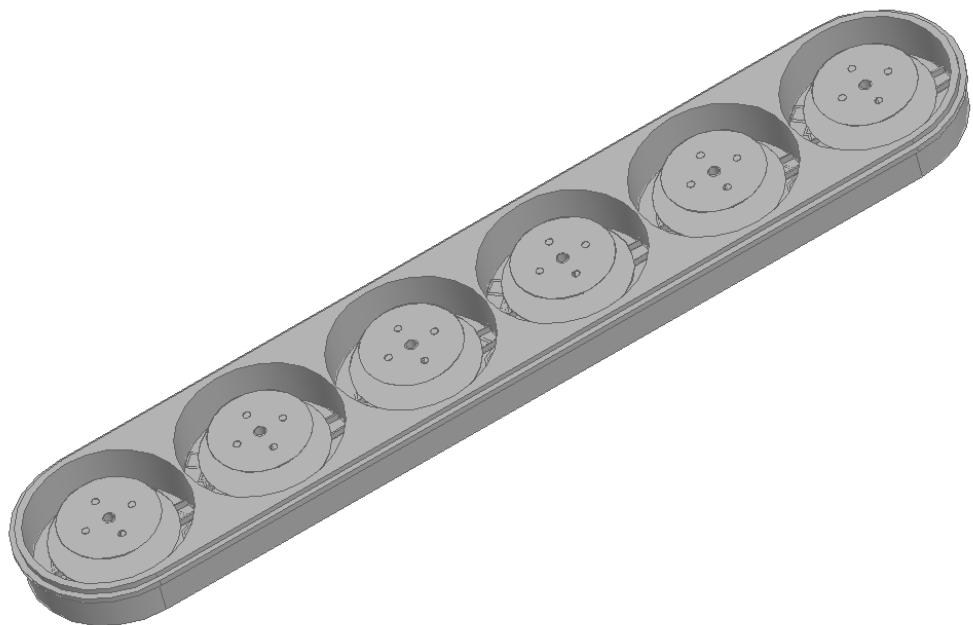
Next generation GRAS antenna

RUAG

- HFSS model
- note similarity to JWST antenna
- 6 element array
- very similar radiation pattern!



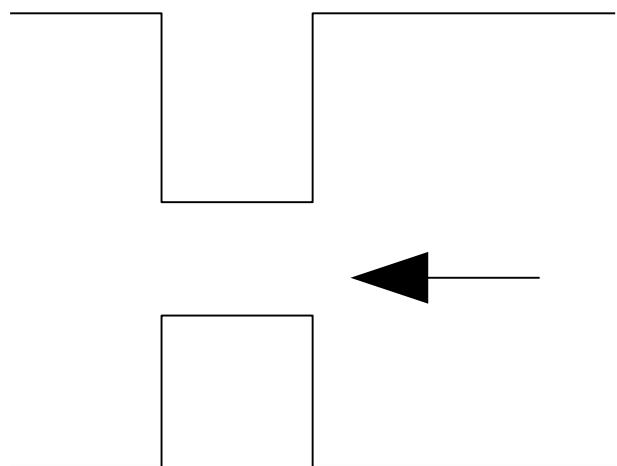
- Ansoft HFSS™
- Full wave Finite Element (FEM) electromagnetic simulator
- Simulations are made in the frequency domain
- Adaptive meshing convergence
- Optimization using the field for gradient needed



Multipaction

RUAG

- elektron slås loss av joniserande strålning
- accelereras till motsatt sida, slår ut fler
- om fältet just bytt polarisation, fås resonans
- maximala fältet och minsta avståndet måste begränsas

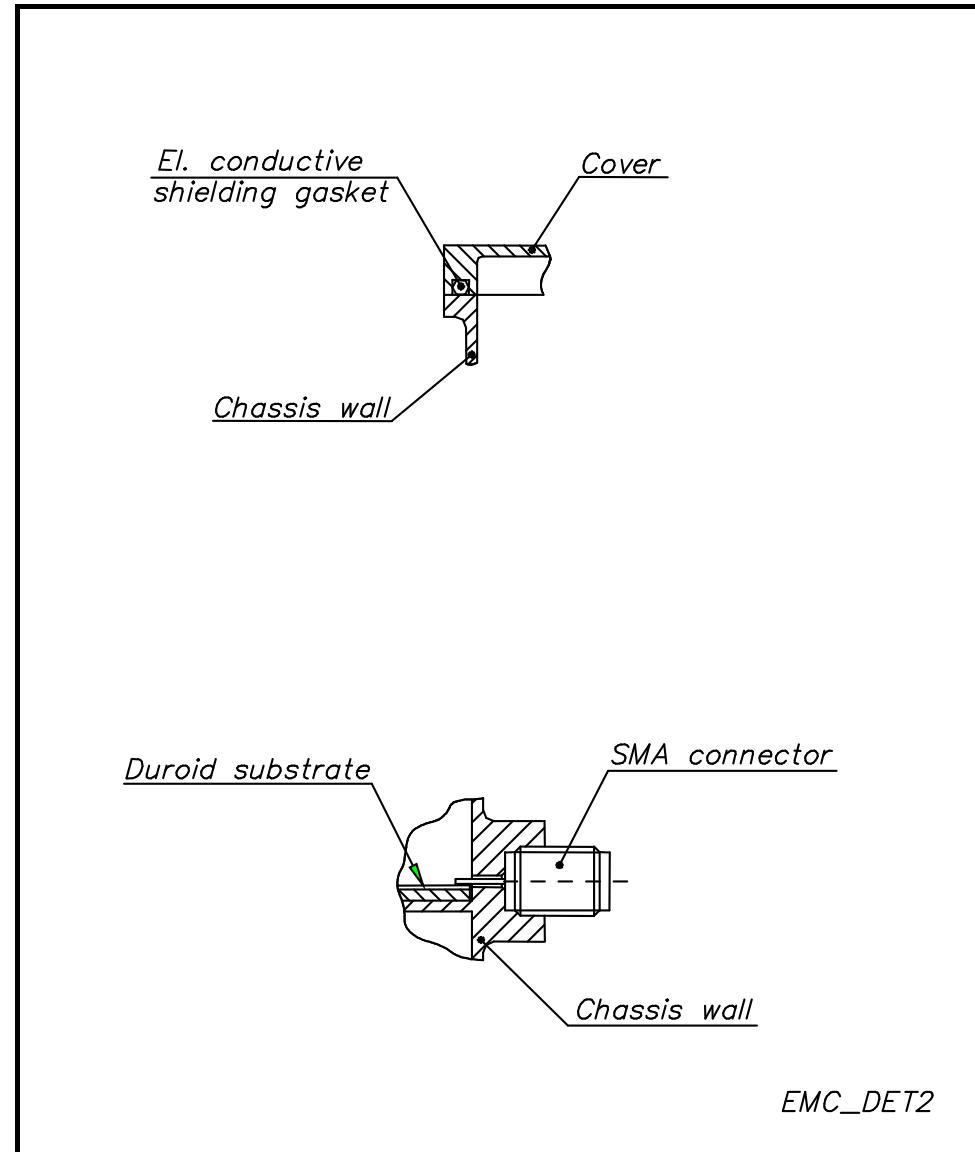


starka
E-fält i
förträngningen

Electromagnetic Compatibility (EMC)

RUAG

- små slitsar släpper in och ut fält
- EMC-konstruktion går ut på att skapa riktigt dålig antennfunktion vid alla frekvenser samtidigt
- tätning ofta nödvändig



Tack!

RUAG



Johans råd:

**läs intressanta kurser
satsa tid och engagemang**