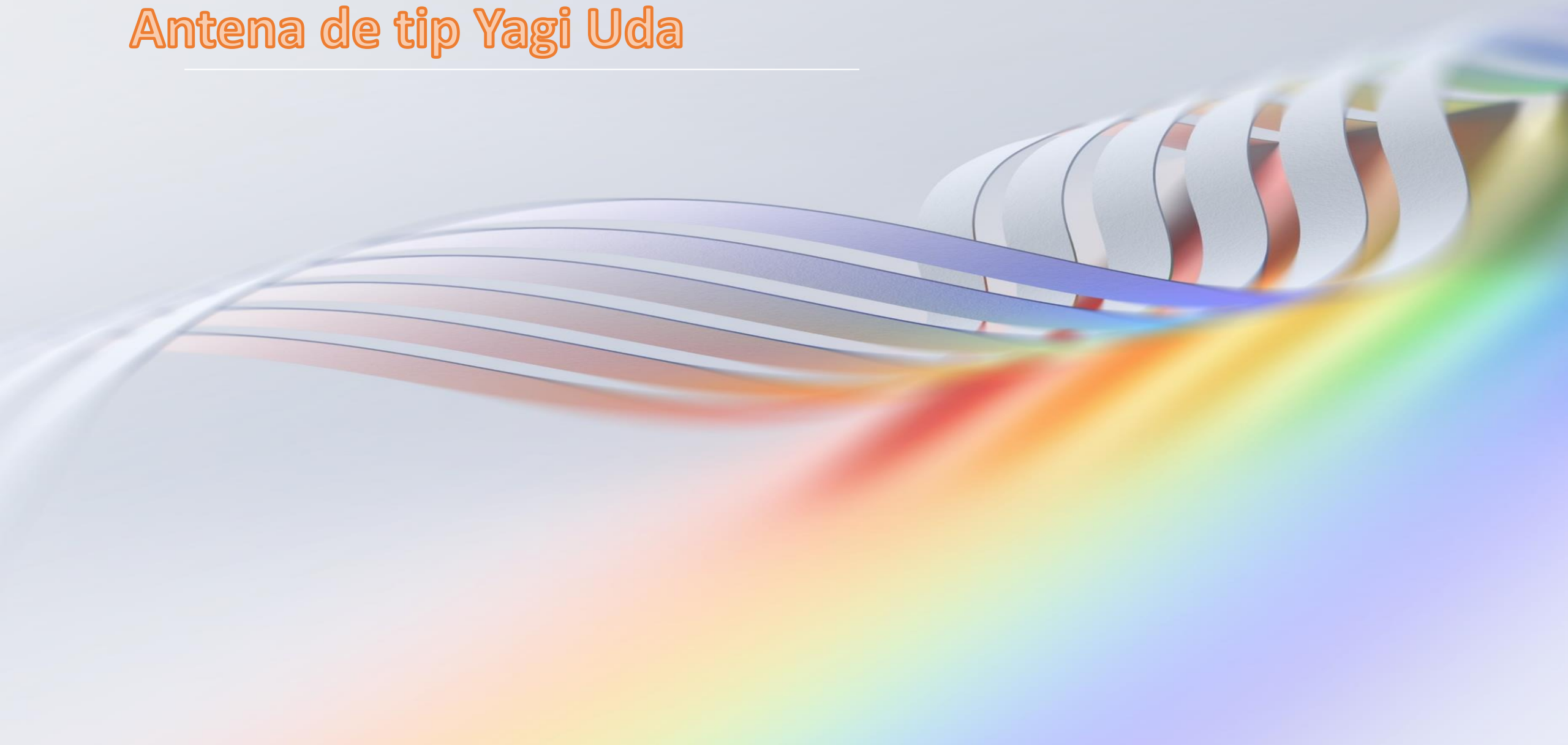
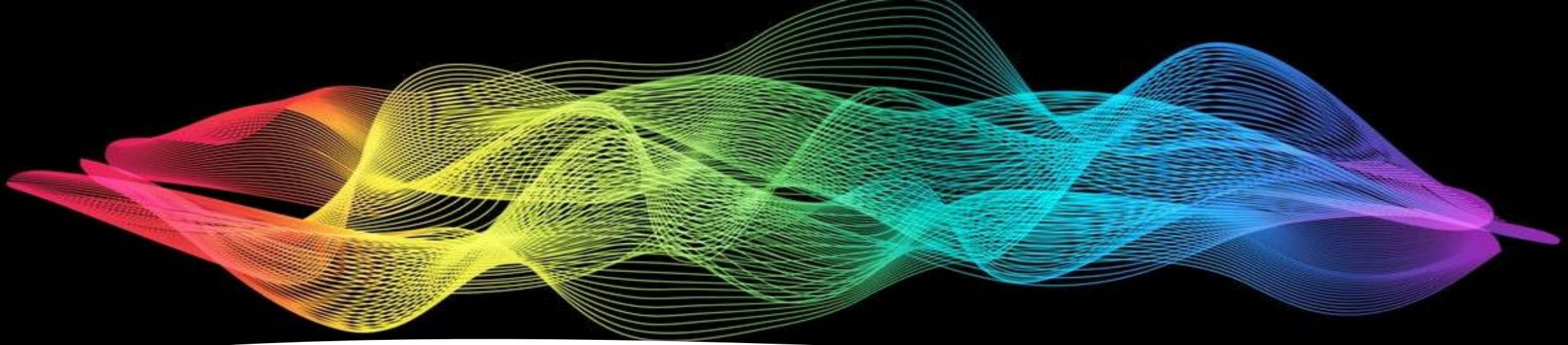


# Antena de tip Yagi Uda

---



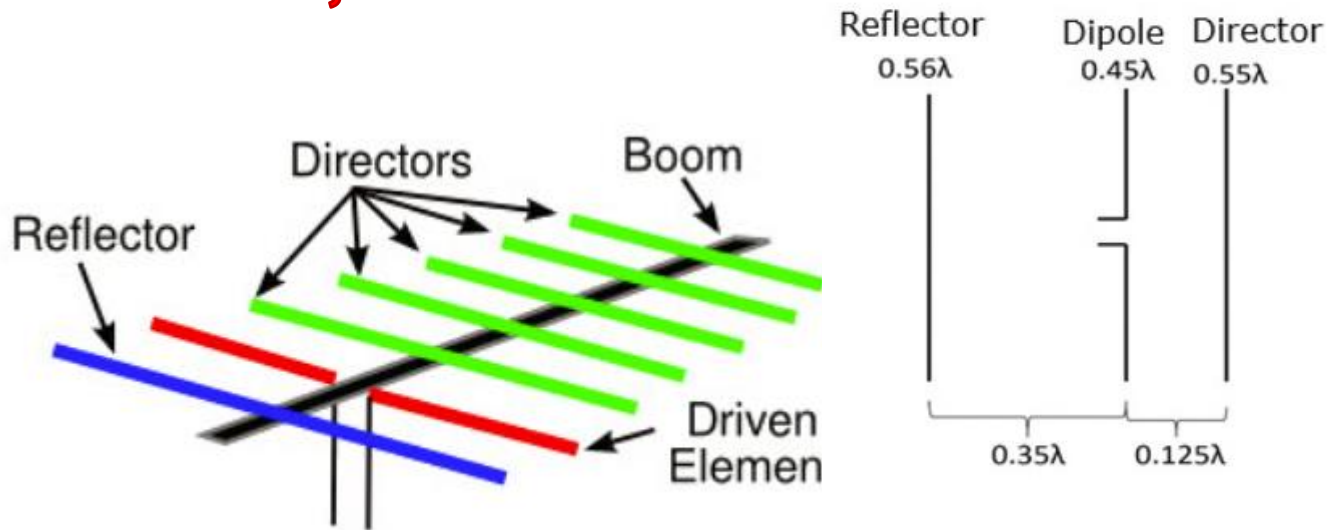


Să se proiecteze și modeleze o antenă Yagi Uda cu 5 elemente care funcționează la 900 MHz (antenele Yagi Uda funcționează între 30 MHz și 3 GHz)

## Enunțul lucrării



# Enunțul lucrării



ELEMENT	SPECIFICATION
Length of the Driven Element	$0.458\lambda$ to $0.5\lambda$
Length of the Reflector	$0.55\lambda$ to $0.58\lambda$
Length of the Director 1	$0.45\lambda$
Length of the Director 2	$0.40\lambda$
Length of the Director 3	$0.35\lambda$
Spacing between Directors	$0.2\lambda$
Reflector to dipole spacing	$0.35\lambda$
Dipole to Director spacing	$0.125\lambda$

$$c = f \cdot \lambda$$

- Lungimea de undă pentru frecvența de operare dorită:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8 m/s}{900 \cdot 10^6 Hz} = \frac{3}{9} = 0,33 m = 333mm$$

- Lungime dipolului activ

$$0,458\lambda = 0,458 * 0,333 = 0,1511m = 151,1mm$$

- Lungime reflectorului

$$0,55\lambda = 0,55 * 0,333 = 0,1815m = 181,5mm$$

- Lungime director1

$$0,45\lambda = 0,45 * 0,333 = 0,1485m = 148,5mm$$

- Lungime director2

$$0,4\lambda = 0,4 * 0,333 = 0,132m = 132mm$$

- Lungime director3

$$0,35\lambda = 0,35 * 0,333 = 0,1155m = 115,5mm$$

- Distanța dintre directori

$$0,2\lambda = 0,2 * 0,333 = 0,066m = 66mm$$

- Distanța dintre reflector și dipol

$$0,35\lambda = 0,35 * 0,333 = 0,1155m = 115,5mm$$

- Distanța dintre dipol și director1

$$0,125\lambda = 0,125 * 0,333 = 0,04125m = 41,25mm$$

# Obiectivele lucrării

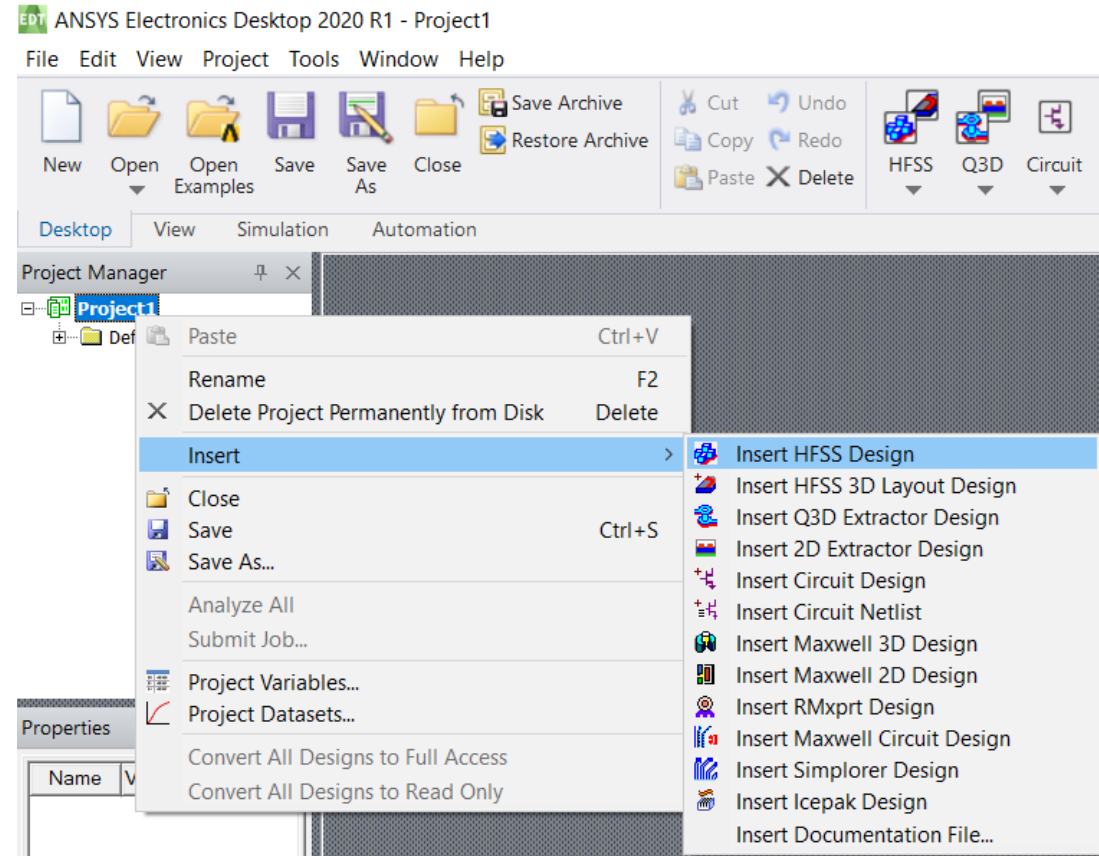
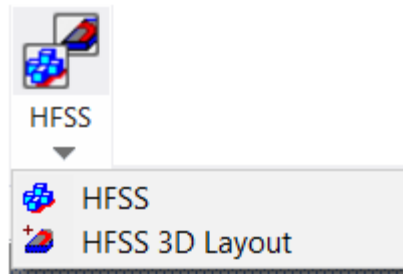
- Modelarea unei antene Yagi Uda care funcționează la 0,9 GHz
- Reprezentarea parametrilor S
- Determinarea matricii parametrilor S
- Modificarea lungimii elementelor antenei pentru a schimba frecvența de rezonanță
- Reprezentarea impedanței (parte reală și imaginară)
- Reprezentarea câștigului antenei 3D
- Reprezentarea câștigului antenei 2D
- Determinarea emisiilor antenei
- Reprezentarea în cod de culori a câmpului electric în regiunea definită
- Reprezentarea vectorială a câmpului electric în regiunea definită
- Reprezentarea vectorială a câmpului magnetic în regiunea definită
- Optimizarea antenei

# Implementarea modelului pentru modelare numerică

- Se deschide Ansys Electronics Desktop

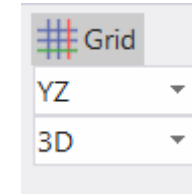
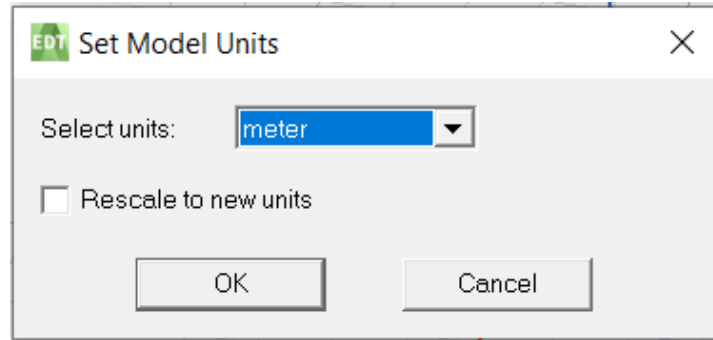


- Se va alege să se modeleze un proiect HFSS

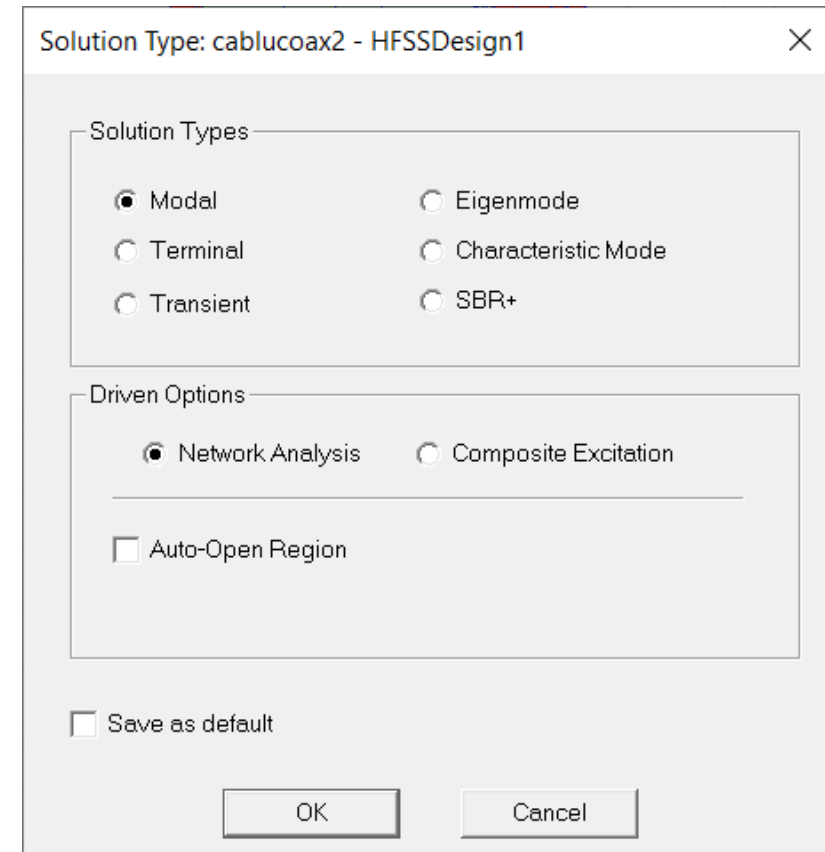


# Implementarea modelului pentru modelare numerică

- Vom alege unitatea de măsură pentru model din Modeler ->Units...



- Vom alege tipul soluției din HFSS->Solution Type



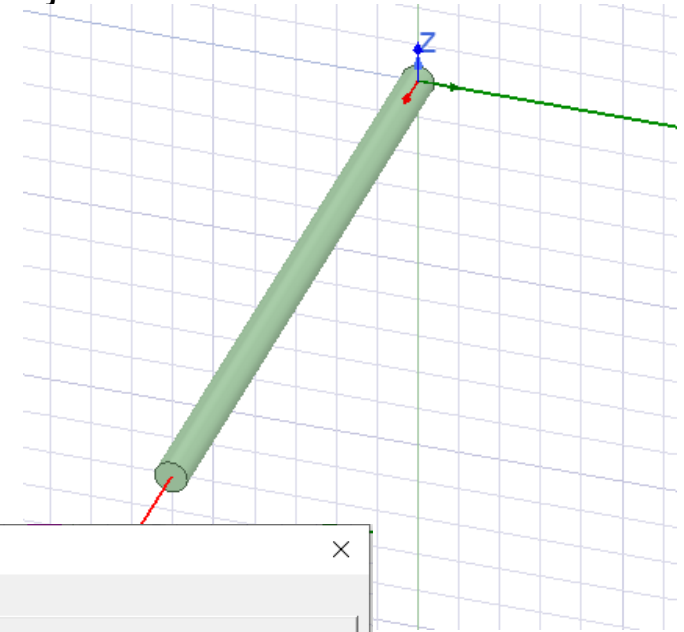
# Implementarea unei jumătăți de reflector

Desenăm un cilindru de dimensiuni oarecare, după care introducem dimensiunile de mai jos

Properties: Project1 - HFSSDesign1 - Modeler

Command

Name	Value	Unit	Evaluated V...	Description
Command	CreateCylinder			
Coordinate ...	Global			
Center Posi...	0,0,0	meter	0meter . 0m...	
Axis	X			
Radius	0.002	meter	0.002meter	
Height	0.0907	meter	0.0907meter	
Number of ...	0		0	



Properties: Project1 - HFSSDesign1 - Modeler

Attribute

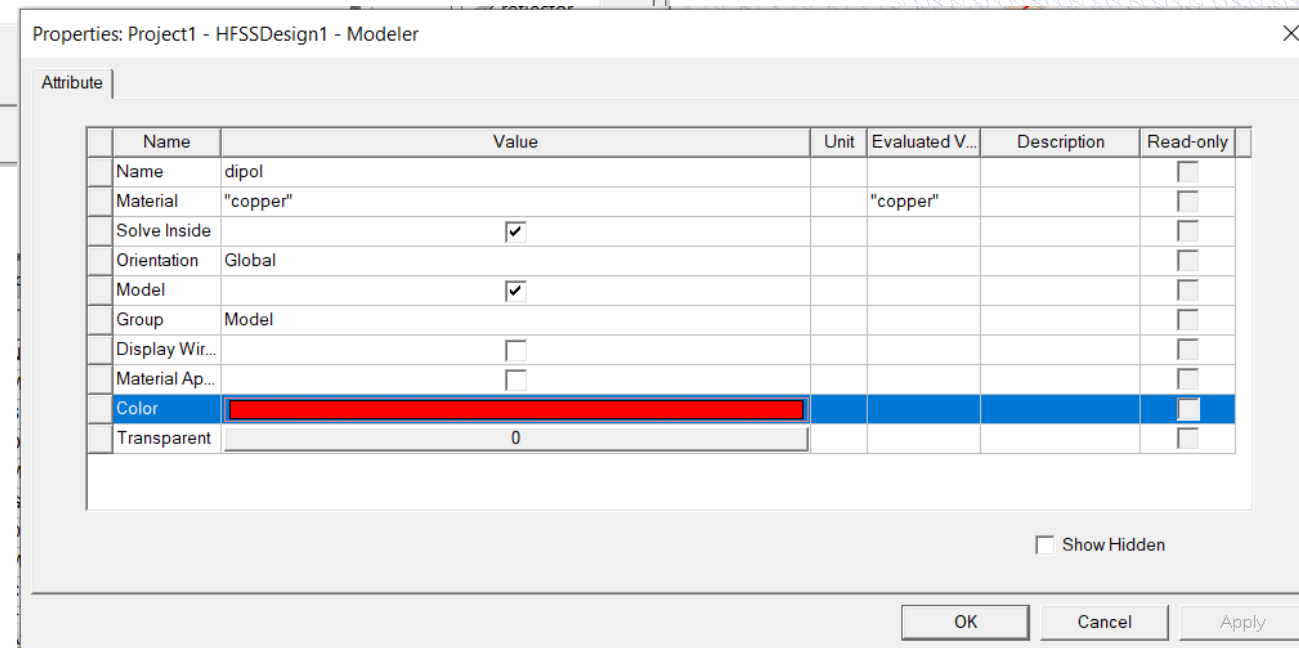
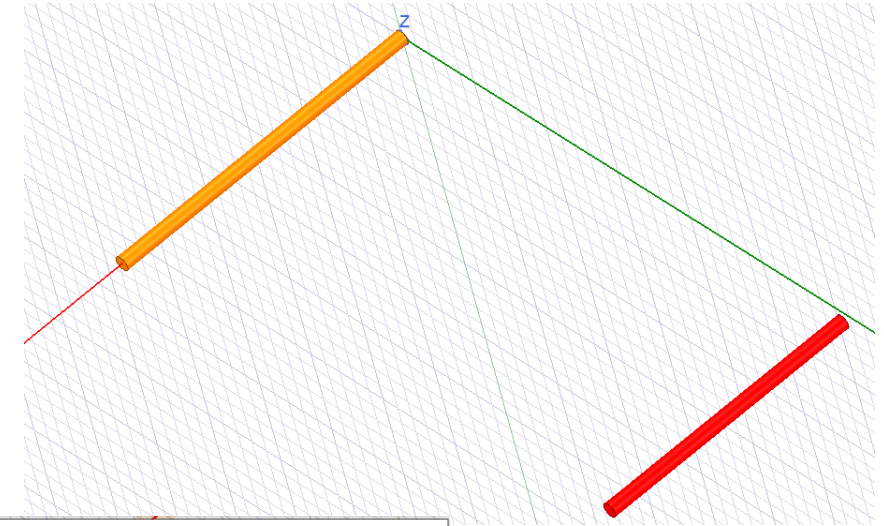
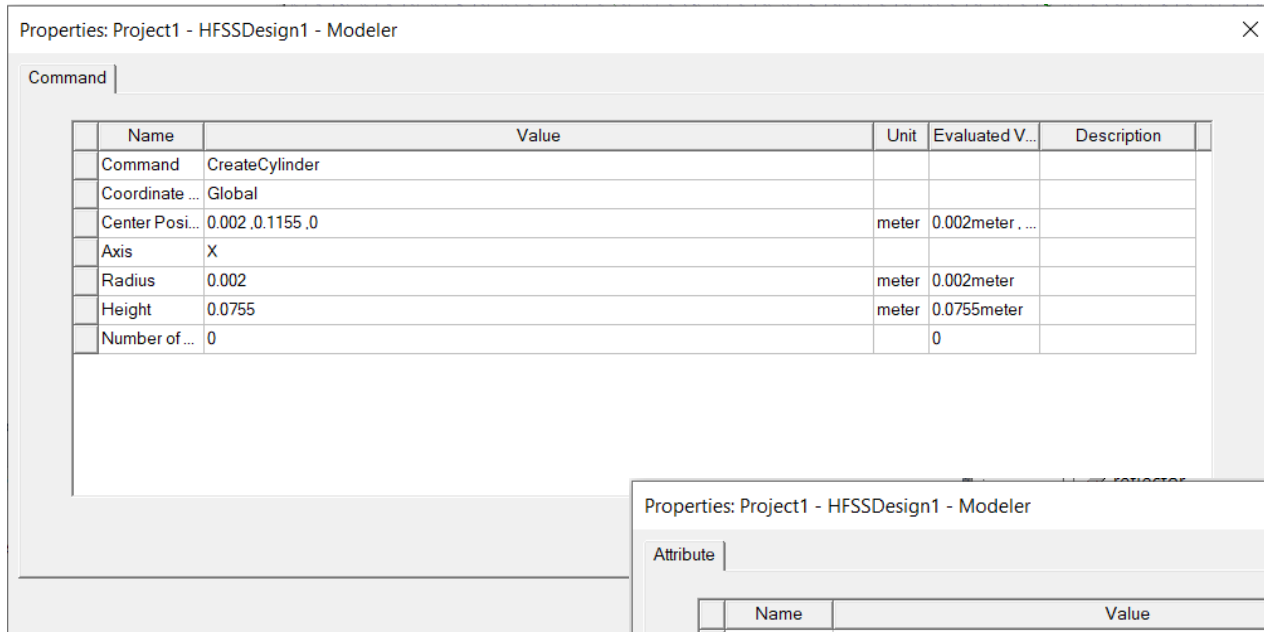
Name	Value	Unit	Evaluated V...	Description	Read-only
Name	reflector				<input type="checkbox"/>
Material	"copper"		"copper"		<input type="checkbox"/>
Solve Inside	<input checked="" type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>
Orientation	Global				<input type="checkbox"/>
Model	<input checked="" type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>
Group	Model				<input type="checkbox"/>
Display Wir...	<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>
Material Ap...	<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>
Color	<input type="color" value="#FF0000"/>				<input type="checkbox"/>
Transparent	0				<input type="checkbox"/>

Show Hidden

OK Cancel Apply

# Implementarea unei jumătăți de dipol

Creăm un nou cilindru cu setările de mai jos:

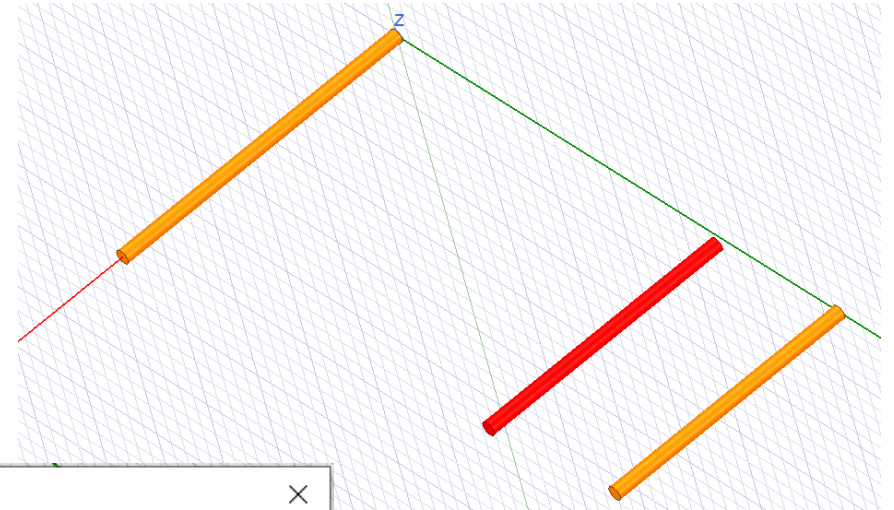


# Implementarea unei jumătăți din director1

Properties: Project1 - HFSSDesign1 - Modeler


Command

Name	Value	Unit	Evaluated V...	Description
Command	CreateCylinder			
Coordinate ...	Global			
Center Posi...	0.0.15675.0	meter	0meter, 0.15...	
Axis	X			
Radius	0.002	meter	0.002meter	
Height	0.07425	meter	0.07425meter	
Number of ...	0		0	



Properties: Project1 - HFSSDesign1 - Modeler

Attribute

Name	Value	Unit	Evaluated V...	Description	Read-only
Name	director1				<input type="checkbox"/>
Material	"copper"		"copper"		<input type="checkbox"/>
Solve Inside	<input checked="" type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>
Orientation	Global				<input type="checkbox"/>
Model	<input checked="" type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>
Group	Model				<input type="checkbox"/>
Display Wir...	<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>
Material Ap...	<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>
Color					<input type="checkbox"/>
Transparent	0				<input type="checkbox"/>

Show Hidden

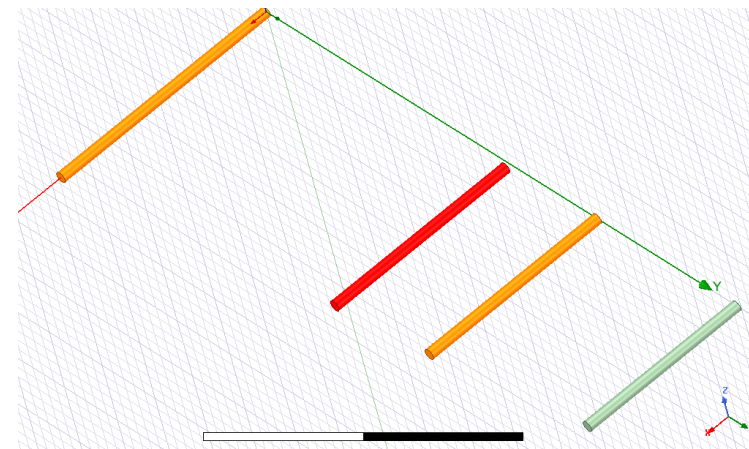
OK Cancel Apply

# Implementarea unei jumătăți din director2

Properties: Project1 - HFSSDesign1 - Modeler

Command

Name	Value	Unit	Evaluated V...	Description
Command	CreateCylinder			
Coordinate ...	Global			
Center Posi...	0,0.22275,0	meter	0meter, 0.22...	
Axis	X			
Radius	0.002	meter	0.002meter	
Height	0.066	meter	0.066meter	
Number of ...	0		0	



Properties: Project1 - HFSSDesign1 - Modeler

Attribute

Name	Value	Unit	Evaluated V...	Description	Read-only
Name	director2				<input type="checkbox"/>
Material	"copper"		"copper"		<input type="checkbox"/>
Solve Inside	<input checked="" type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>
Orientation	Global				<input type="checkbox"/>
Model	<input checked="" type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>
Group	Model				<input type="checkbox"/>
Display Wir...	<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>
Material Ap...	<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>
Color	<input type="color" value="#FF8C00"/>				<input type="checkbox"/>
Transparent	0				<input type="checkbox"/>

Show Hidden

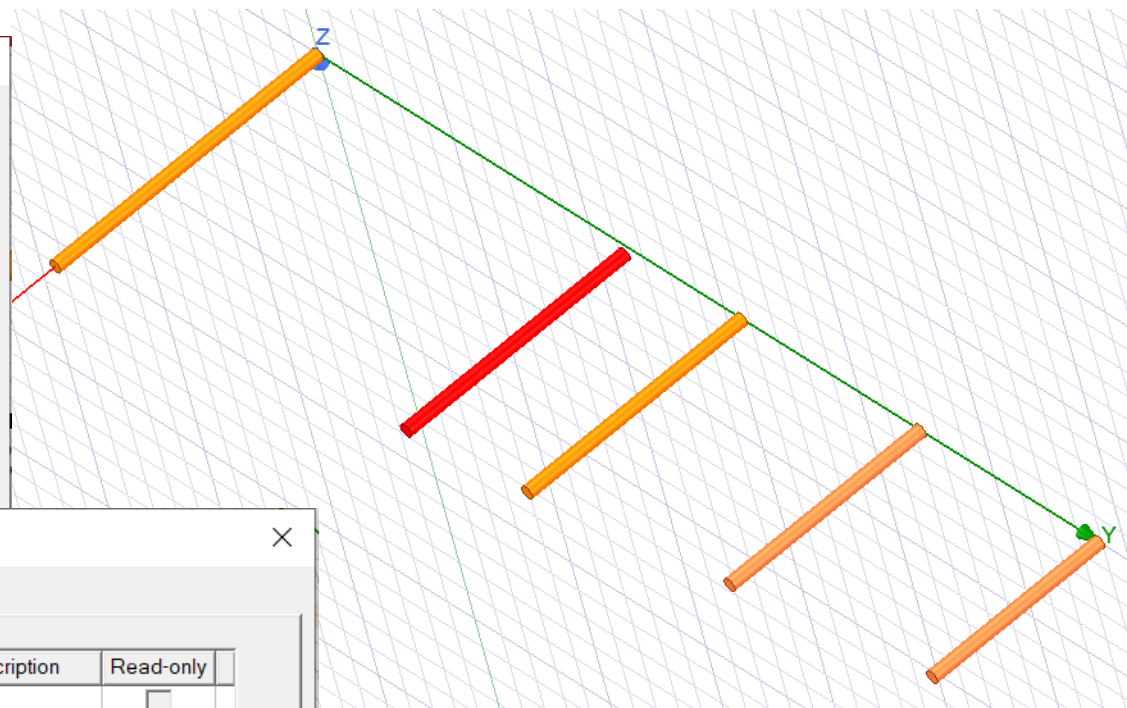
OK Cancel Apply

# Implementarea unei jumătăți din director3

Properties: Project1 - HFSSDesign1 - Modeler

Command

Name	Value	Unit	Evaluated V...	Description
Command	CreateCylinder			
Coordinate ...	Global			
Center Posi...	0.028875,0	meter	0meter, 0.28...	
Axis	X			
Radius	0.002	meter	0.002meter	
Height	0.0577	meter	0.0577meter	
Number of ...	0		0	



Properties: Project1 - HFSSDesign1 - Modeler

Attribute

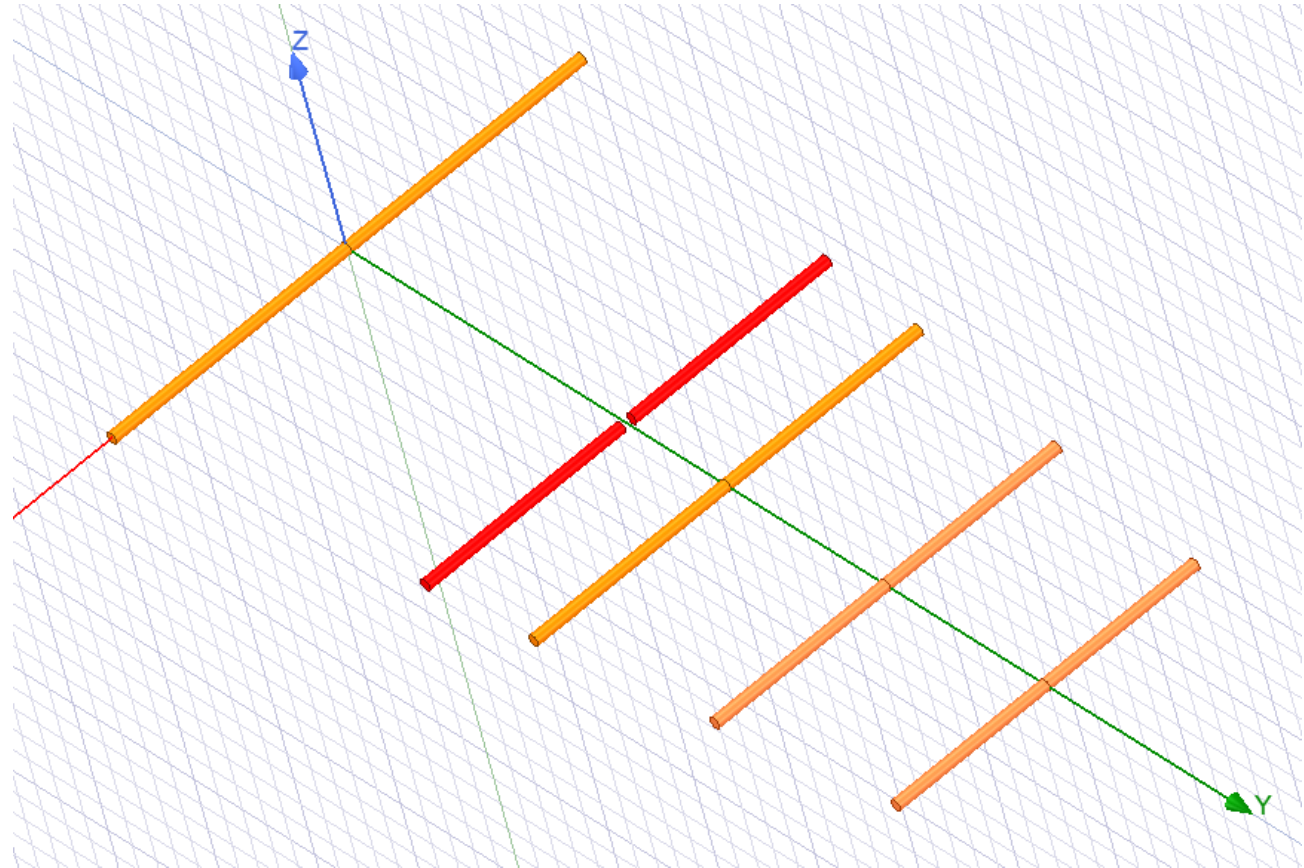
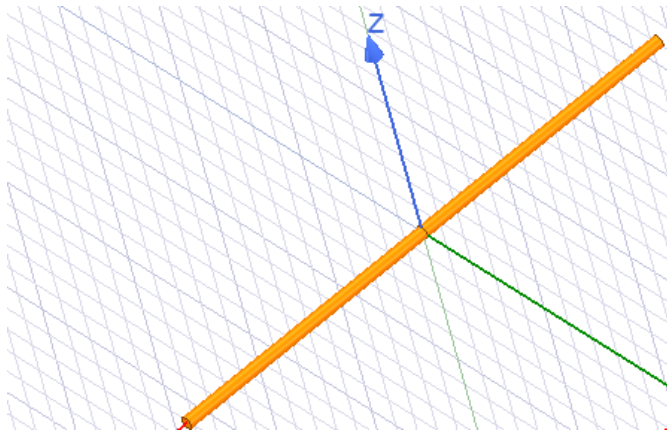
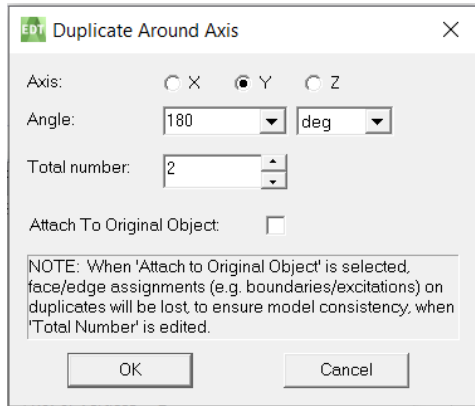
Name	Value	Unit	Evaluated V...	Description	Read-only
Name	director3				<input type="checkbox"/>
Material	"copper"		"copper"		<input type="checkbox"/>
Solve Inside	<input checked="" type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>
Orientation	Global				<input type="checkbox"/>
Model	<input checked="" type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>
Group	Model				<input type="checkbox"/>
Display Wir...	<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>
Material Ap...	<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>
Color	<input type="color" value="#FF8C00"/>				<input type="checkbox"/>
Transparent	0				<input type="checkbox"/>

Show Hidden

OK Cancel Apply

# Crearea geometrică întregii structuri

- Se vor selecta toate elementele create și se va alege din meniul edit opțiunea Duplicate-> Around Axis



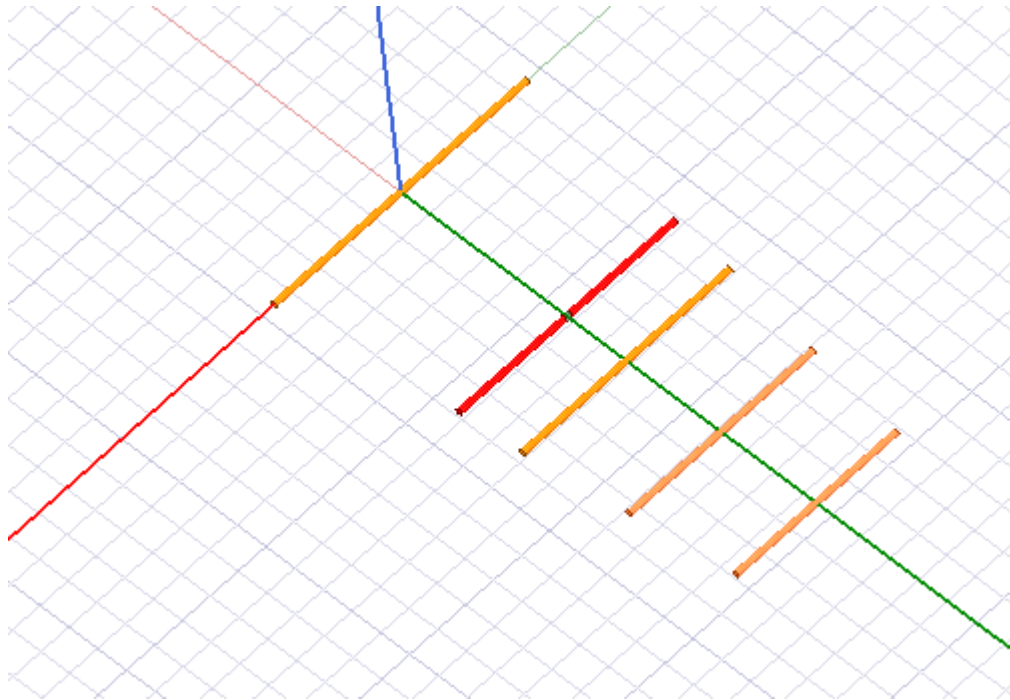
- Se va proceda la fel și în cazul celorlalte elemente ale antenei



Se poate aplica această opțiune pentru mai multe elemente de tip director deodată?

# Crearea geometrică întregii structuri

- Se vor uni cele 2 părți create pentru reflector, dipol1, dipol2 și dipol3 prin accesarea din meniul Modeler a comenzii Boolean->Unite după alegerea geometriilor ce se doresc a fi unite



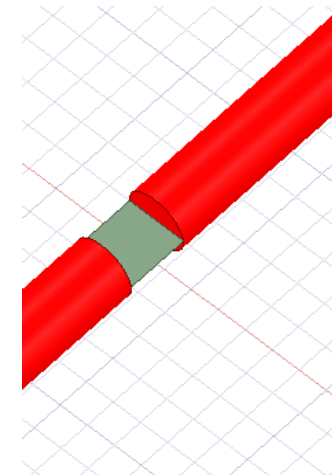
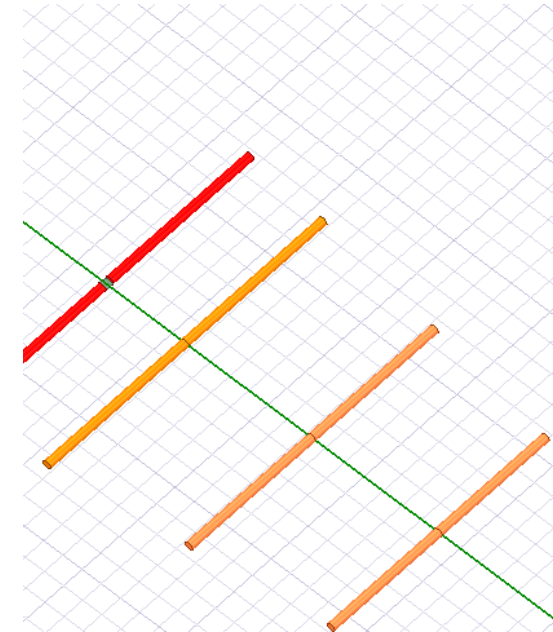
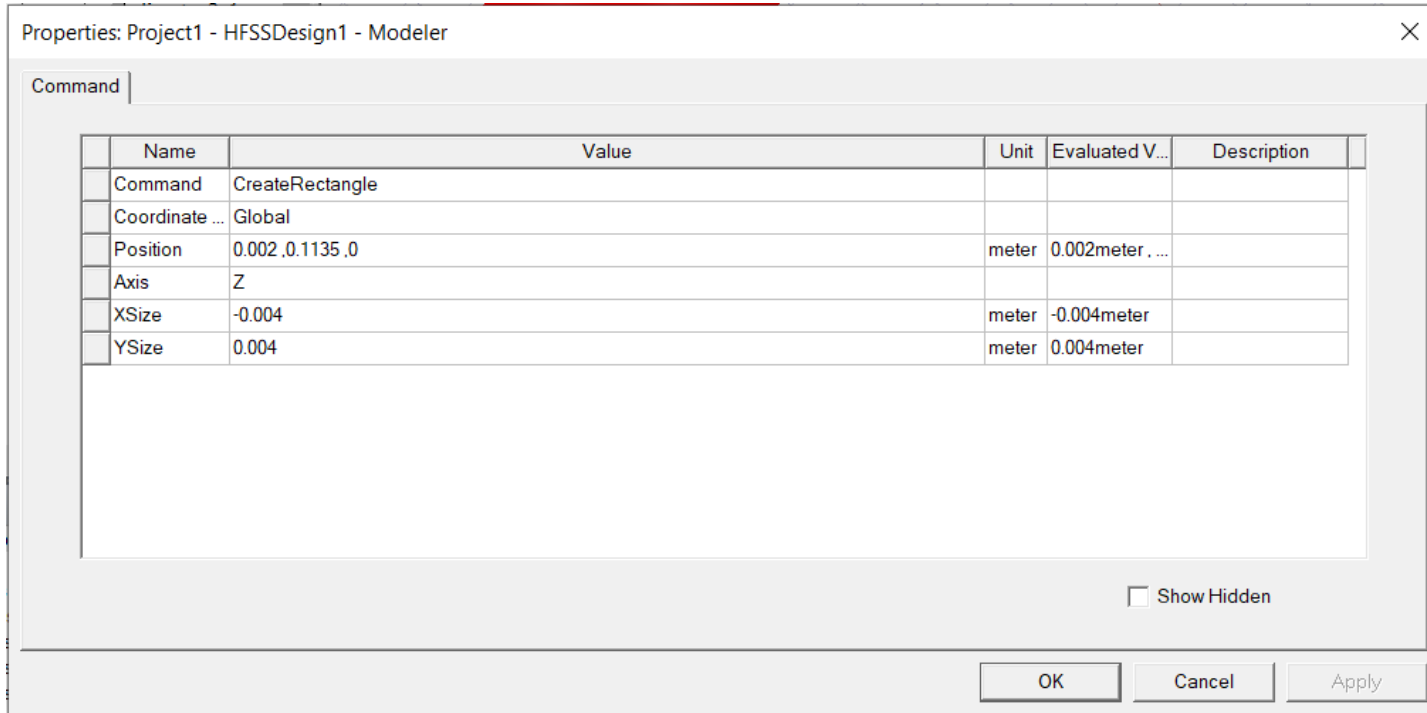
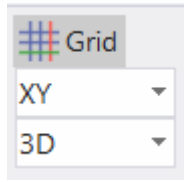
Cum se poate vizualiza noua structură creată în întregime în fereastra de lucru (comandă)



Creați o vedere unde gridul să fie ascuns, sistemul de coordonate să fie mic și să se poată vedea doar director1, director2 și director3

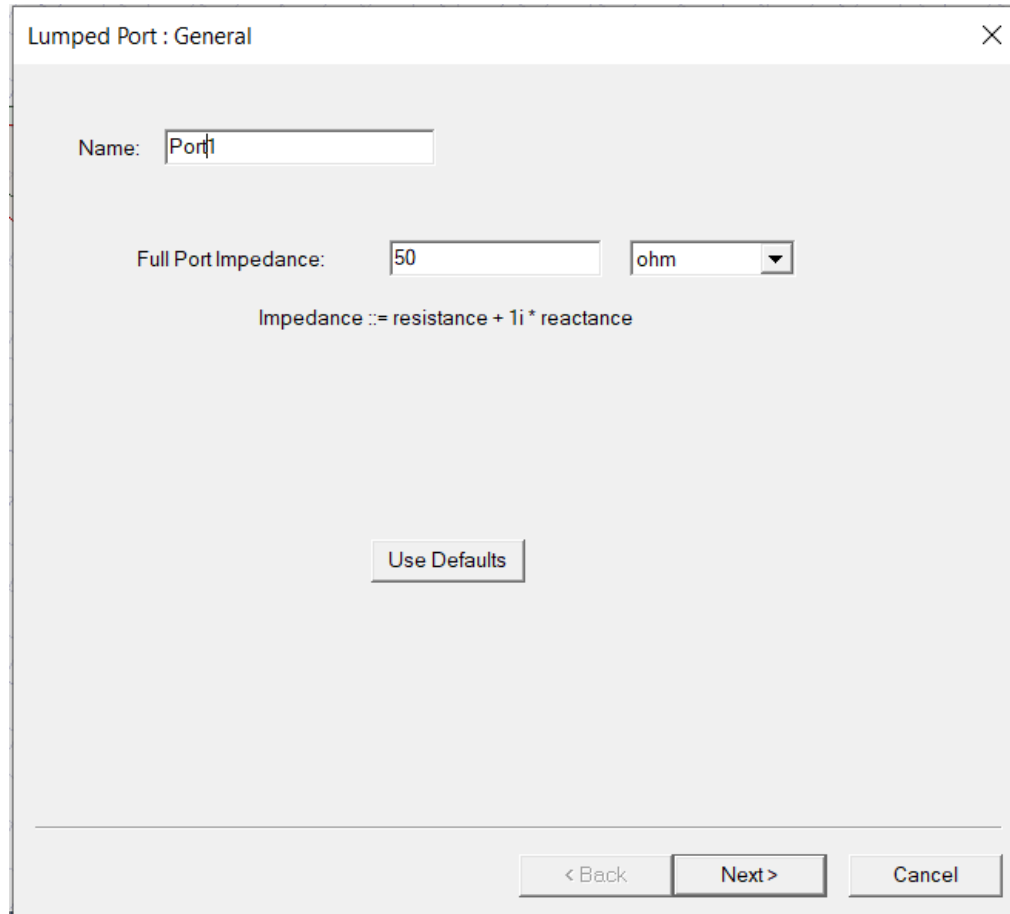
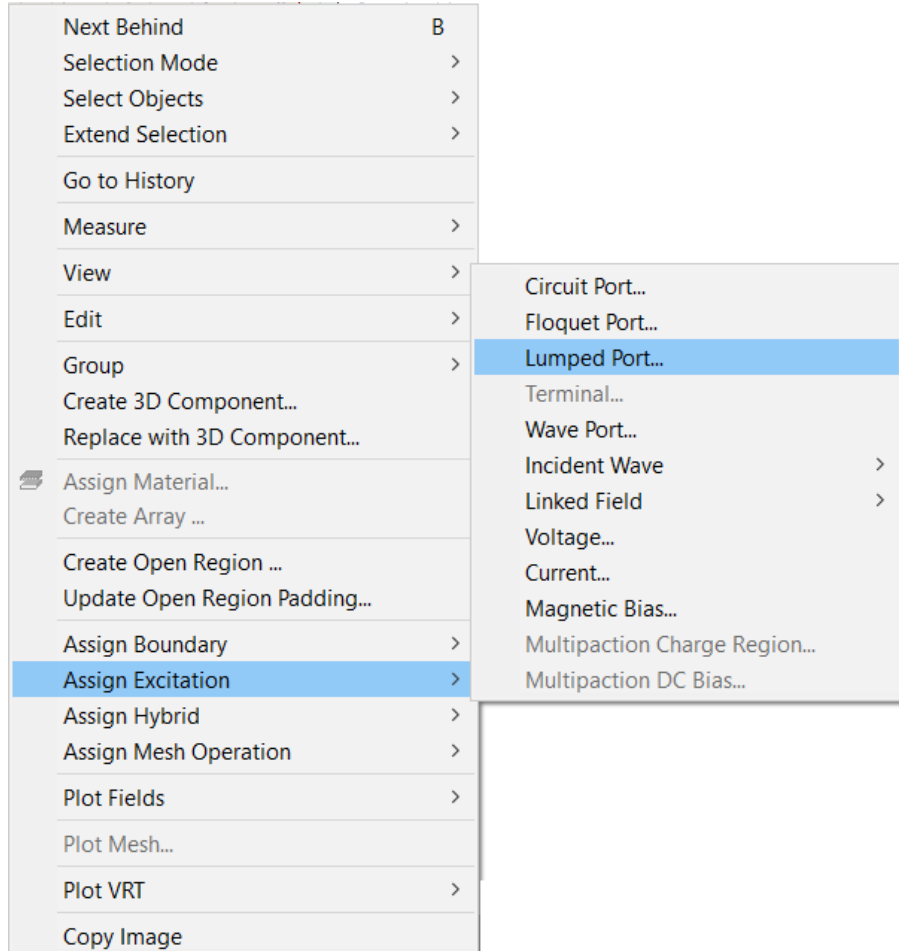
# Crearea portului unde se va alimenta antenna

- Se alege planul de lucru XY
- Se va desena un dreptunghi ca în figura pentru a defini mai apoi portul pentru dipol

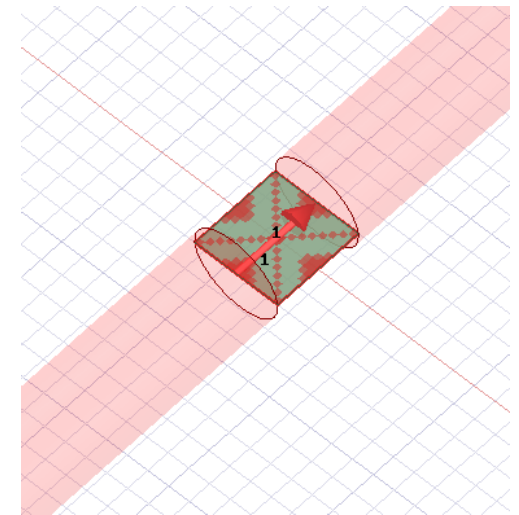
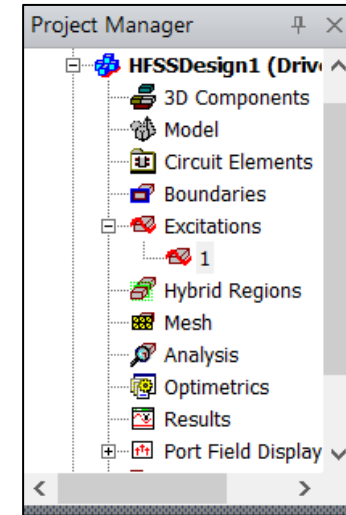
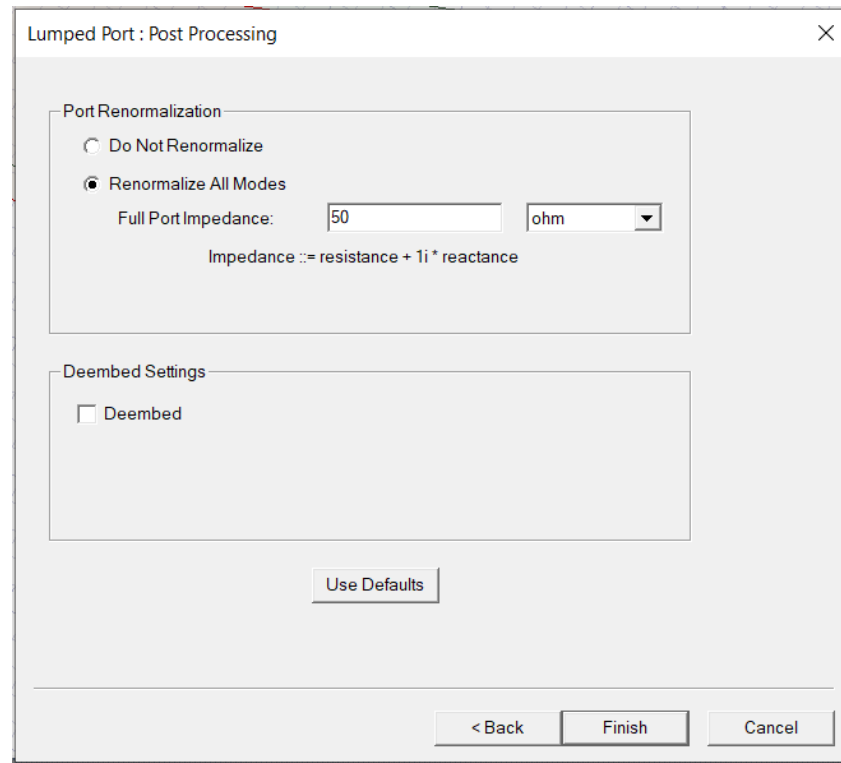
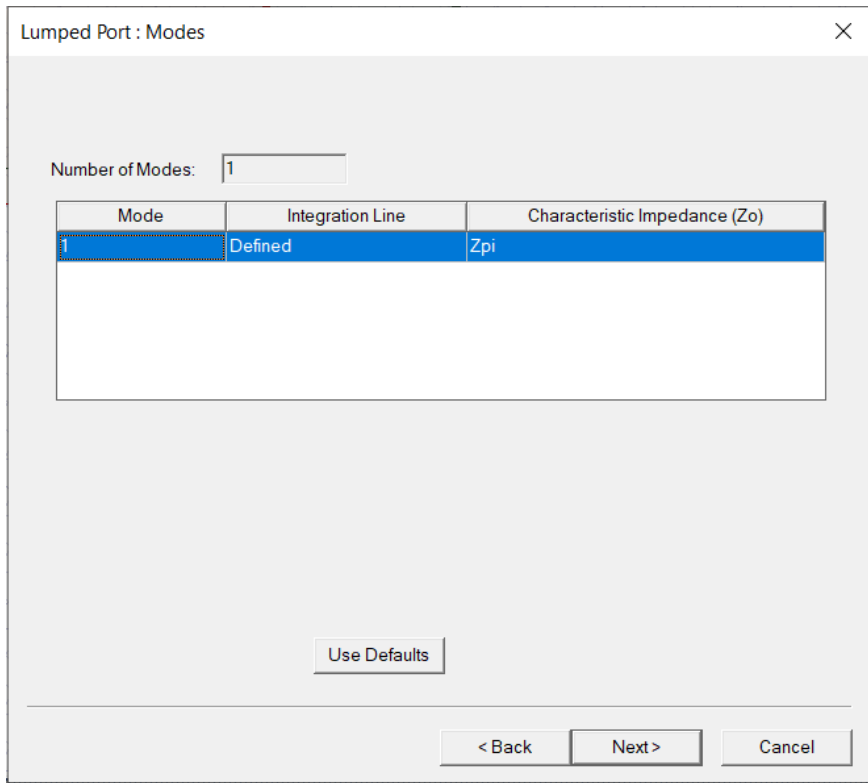


# Atribuirea surselor și a condițiilor de frontieră

- Se va selecta dreptunghiul nou creat pentru a atribui o sursă de tip Lumped Port

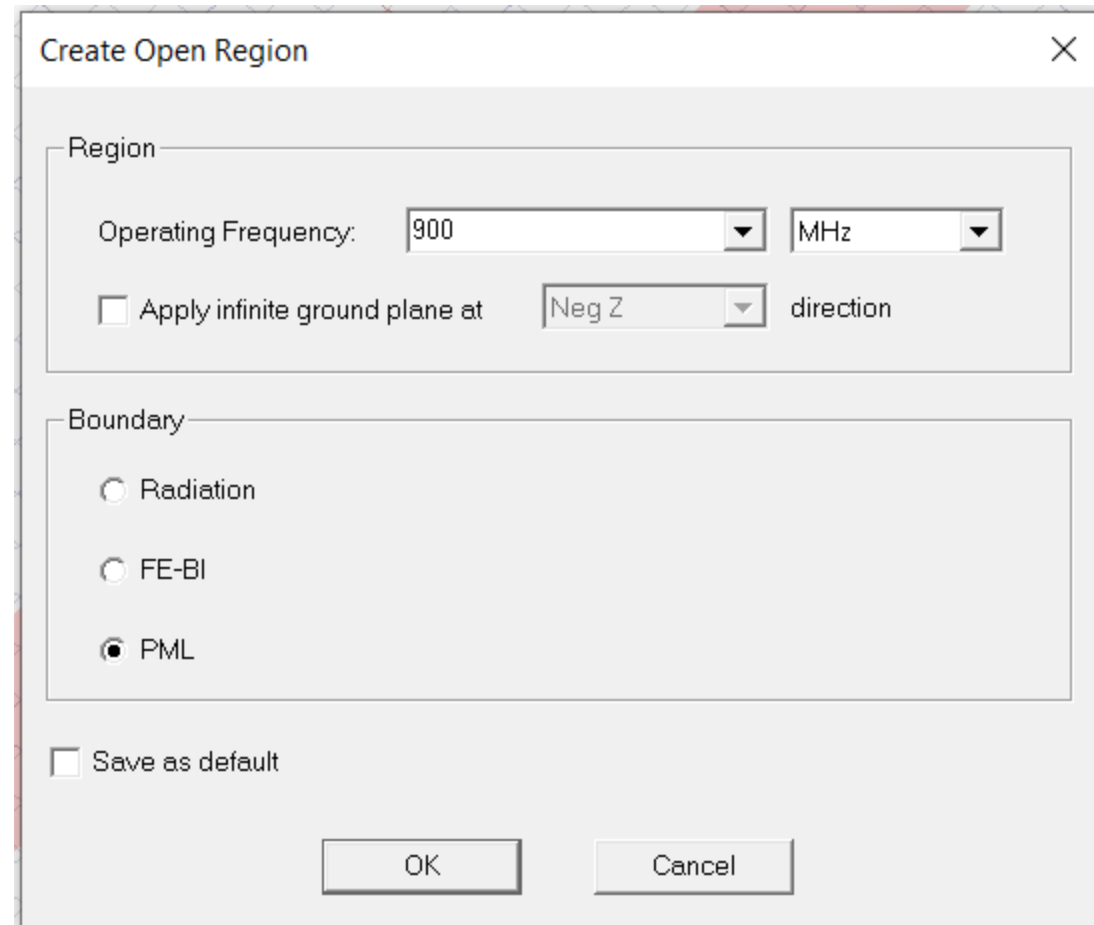
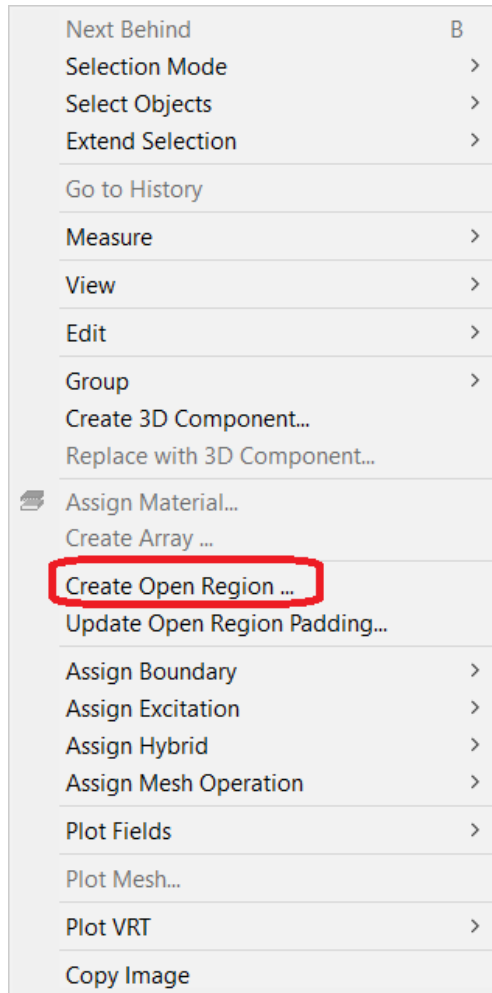


# Atribuirea surselor și a condițiilor de frontieră



# Atribuirea surselor și a condițiilor de frontieră

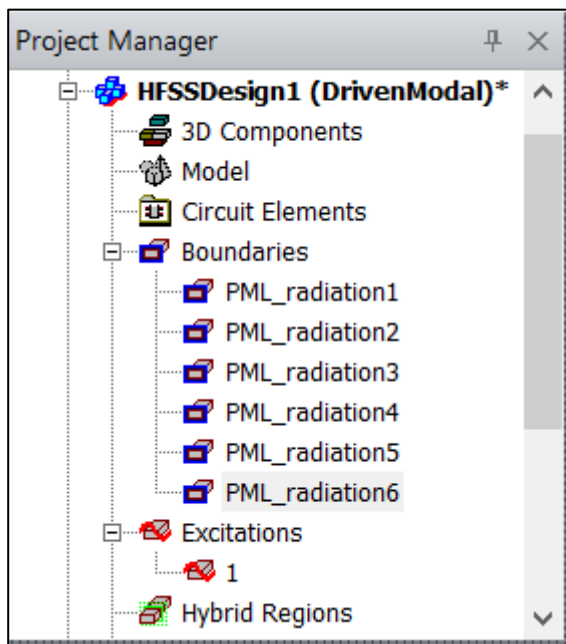
- Se va crea o zonă pe care dorim să afișăm radiația dispozitivului nou creat. Acest lucru îl putem obține prin crearea unui spațiu Region sau prin noua opțiune din care apare în meniul care este accesat prin click dreapta în fereastra de lucru Create Open Region; PML se folosește pentru o acuratețe mai mare a soluției pentru câmpul îndepărtat



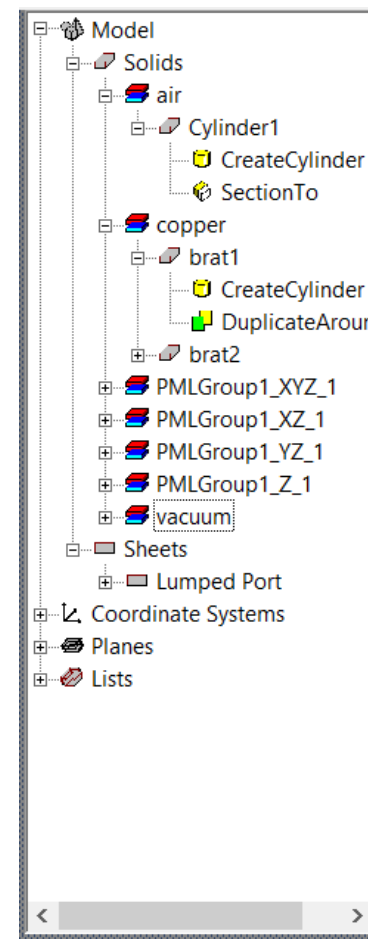


# Atribuirea surselor și a condițiilor de frontieră

- Observați toate condițiile de frontieră și alimentările create din fereastra Project Manager

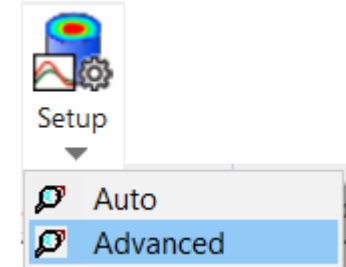
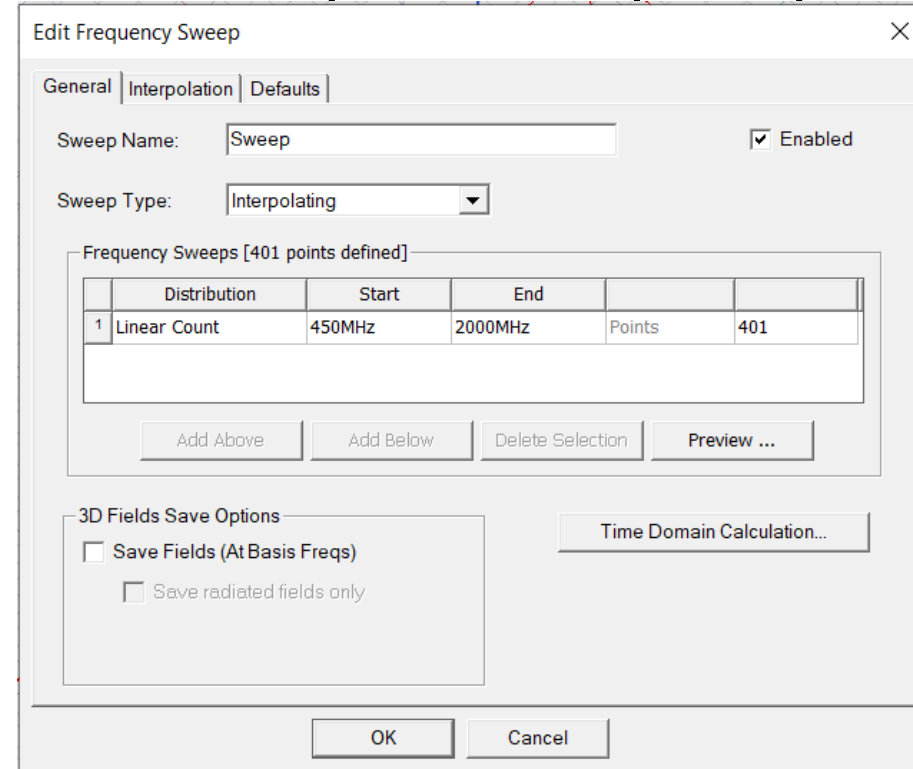
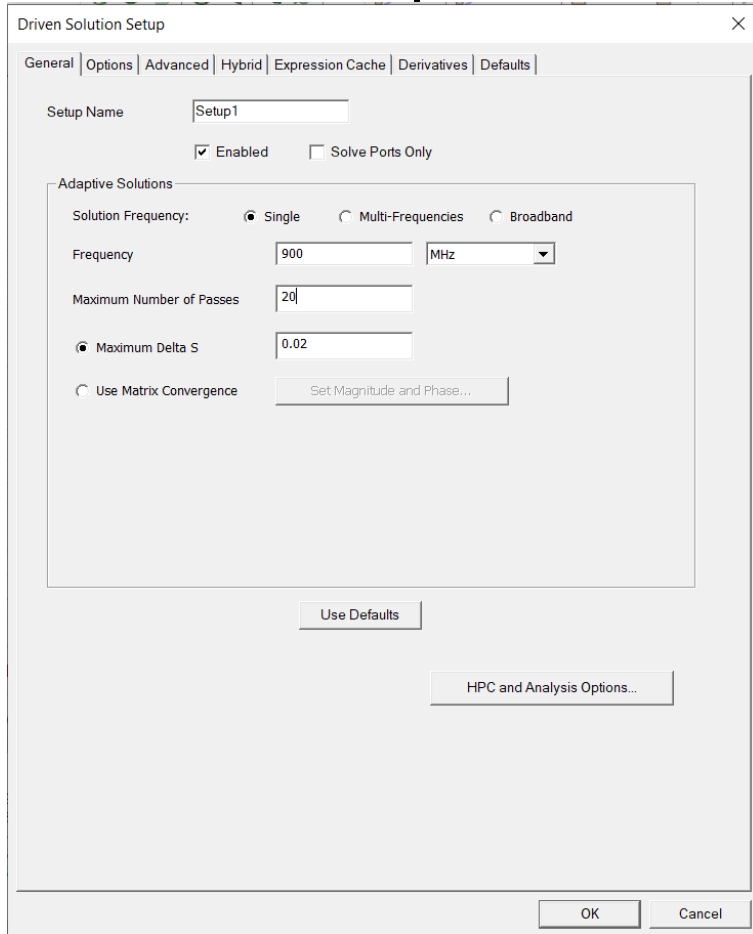


Accesați din arborele modelului elementele de tip PML nou create pentru a le observa

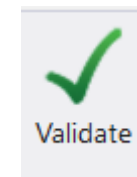
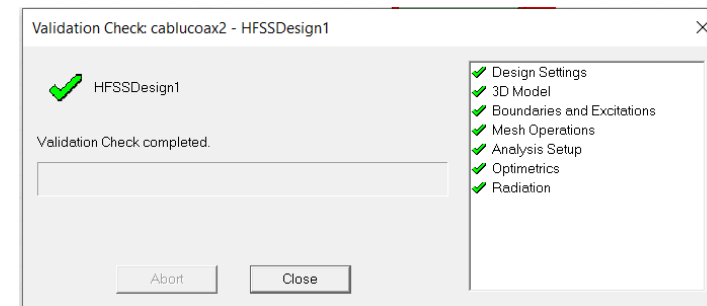


# Setarea parametrilor care se doresc a fi determinați în cadrul lucrării

- Se vor impune setările de rulare/rezolvare/soluționare



- Se vor rula numeric problema modelată



# Culegerea, interpretarea și postprocesarea rezultatelor

Solutions: Yagi Uda 5 elemente - HFSSDesign1

Simulation: Setup1

Design Variation: [ ] [✓]

Profile | Convergence | Matrix Data | Mesh Statistics

Number of Passes  
 Completed 7  
 Maximum 20  
 Minimum 1

Max Mag. Delta S  
 Target 0.02  
 Current 0.016537

View:  Table  Plot

Export...

CONVERGED

Consecutive Passes  
 Target 1  
 Current 1

Default Settings  
 Save Defaults Clear Defaults

Pass Number	Solved Elements	Max Mag. Delta S
1	8803	N/A
2	11449	0.42704
3	14873	0.37208
4	19312	0.27234
5	25029	0.080601
6	32424	0.026286
7	41983	0.016537

Close

Solutions: Yagi Uda 5 elemente - HFSSDesign1

Simulation: Setup1

Design Variation: [ ] [✓]

Profile | Convergence | Matrix Data | Mesh Statistics

Total number of elements: 48873

	Num Tets...	Min edge lengt...	Max edge lengt...	RMS edge lengt...	Min tet vol	Max tet vol	Mean tet vol...	Std Devn [vol...
director3	444	0.00216232	0.0179466	0.00715107	5.26496e-11...	1.02663e-08...	1.59141e-09...	1.41866e-09...
director3_1	446	0.00213453	0.0156546	0.0071533	2.4034e-11...	9.18089e-09...	1.58427e-09...	1.32606e-09...
PML_RadiatingSurface_1	780	0.0377402	0.215464	0.0908315	2.62837e-06...	0.000261282...	3.15587e-05...	3.59544e-05...
PML_RadiatingSurface_2	681	0.0346116	0.244894	0.0960181	3.30321e-06...	0.000418368...	3.61465e-05...	4.75414e-05...
PML_RadiatingSurface_3	85	0.10839	0.189101	0.137582	5.85825e-05...	0.000215816...	0.000107581...	3.3728e-05...
PML_RadiatingSurface_4	253	0.0503308	0.229709	0.108265	6.12173e-06...	0.000420125...	4.77067e-05...	5.17162e-05...
PML_RadiatingSurface_5	420	0.0382576	0.170667	0.0806398	3.22221e-06...	0.000154614...	2.17724e-05...	2.1728e-05...
PML_RadiatingSurface_6	256	0.0461565	0.175623	0.103693	7.20221e-06...	0.000234441...	4.71476e-05...	4.46414e-05...
PML_RadiatingSurface_7	53	0.100685	0.232345	0.162539	3.9605e-05...	0.000400313...	0.000155624...	0.000109592...
PML_RadiatingSurface_8	108	0.0541675	0.276519	0.144778	8.98332e-06...	0.000607987...	0.000100803...	0.000115868...
PML_RadiatingSurface_9	189	0.0492957	0.207674	0.104238	5.46505e-06...	0.000406838...	4.36405e-05...	5.89276e-05...
PML_RadiatingSurface_10	117	0.0631453	0.217074	0.132531	8.28061e-06...	0.000345612...	9.30486e-05...	8.86999e-05...
PML_RadiatingSurface_11	56	0.0982157	0.232345	0.159138	2.75248e-05...	0.000368819...	0.000147287...	8.8878e-05...
PML_RadiatingSurface_12	137	0.0629647	0.229708	0.126653	7.31972e-06...	0.000534667...	7.94649e-05...	9.40759e-05...
PML_RadiatingSurface_13	173	0.0485793	0.232345	0.103575	4.5904e-06...	0.000410575...	4.76766e-05...	6.82383e-05...
PML_RadiatingSurface_14	125	0.0530697	0.276519	0.135737	1.21756e-05...	0.000541339...	8.70935e-05...	0.00010189...
PML_RadiatingSurface_15	37	0.11084	0.229834	0.149875	4.23409e-05...	0.000351058...	0.000109304...	6.58524e-05...
PML_RadiatingSurface_16	34	0.0963774	0.229834	0.150704	2.86881e-05...	0.000313856...	0.000118948...	8.2777e-05...
PML_RadiatingSurface_17	82	0.0544251	0.229834	0.111825	5.14371e-06...	0.000278405...	4.93201e-05...	5.82119e-05...
PML_RadiatingSurface_18	73	0.0584471	0.229834	0.120388	9.63204e-06...	0.000353872...	5.54007e-05...	6.45244e-05...
PML_RadiatingSurface_19	18	0.0942008	0.217701	0.185662	4.93756e-05...	0.000391613...	0.000202657...	0.000140953...
PML_RadiatingSurface_20	20	0.107985	0.217701	0.175989	5.62245e-05...	0.000448562...	0.000182391...	0.000113896...
PML_RadiatingSurface_21	37	0.0544251	0.217701	0.14123	9.44472e-06...	0.000306915...	9.85898e-05...	0.000101207...
PML_RadiatingSurface_22	40	0.0484062	0.217701	0.141463	7.16463e-06...	0.000341704...	9.11956e-05...	0.0001164...
PML_RadiatingSurface_23	23	0.104498	0.217701	0.170123	3.9216e-05...	0.000389901...	0.000158601...	0.000104123...
PML_RadiatingSurface_24	16	0.10835	0.217701	0.187298	6.07848e-05...	0.00060797...	0.000227989...	0.000150988...
PML_RadiatingSurface_25	42	0.0584591	0.217701	0.132061	8.26777e-06...	0.000363943...	8.68529e-05...	0.000101786...
PML_RadiatingSurface_26	34	0.0665682	0.217701	0.142727	1.38845e-05...	0.000318098...	0.000107289...	0.000105972...
RadiatingSurface	38094	0.00104104	0.144631	0.0201628	2.85518e-11...	0.000134725...	7.16175e-07...	3.93839e-06...
reflector	578	0.00184803	0.0261452	0.00925936	1.48493e-11...	1.31535e-08...	1.92163e-09...	2.02632e-09...
reflector_1	568	0.00169178	0.0287844	0.00986875	3.12138e-11...	1.06645e-08...	1.95546e-09...	1.96755e-09...

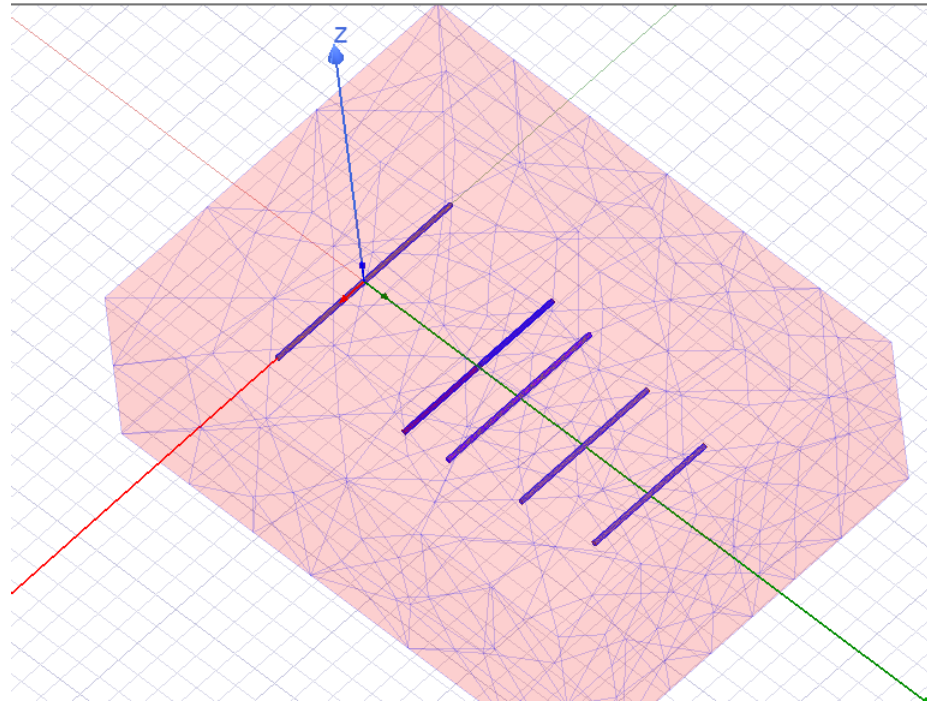
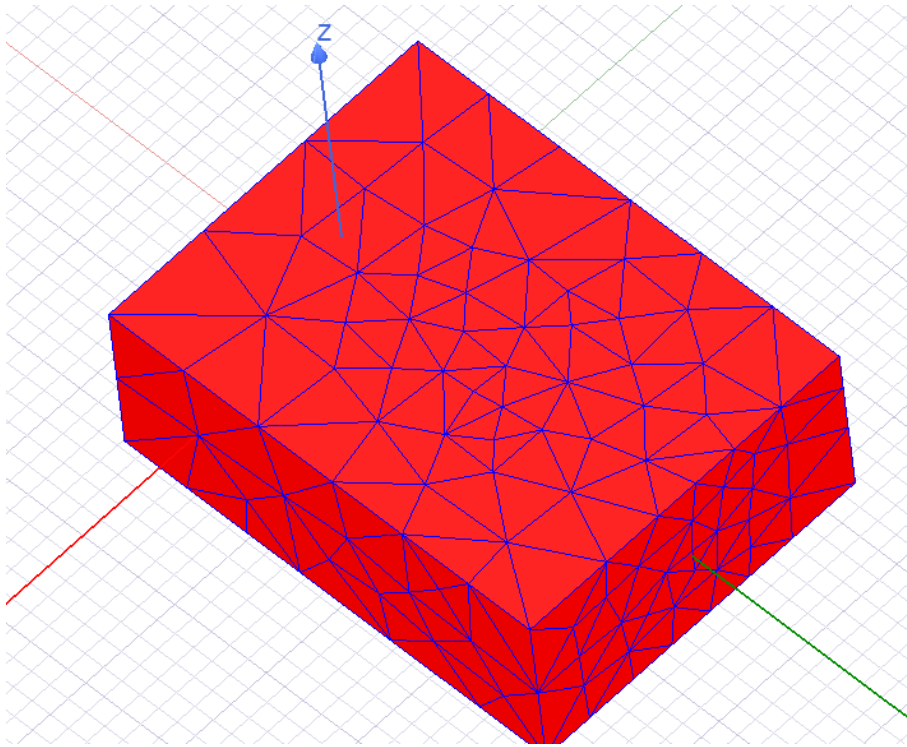
Export...

Close

# Culegerea, interpretarea și postprocesarea rezultatelor

## Meshul creat pentru proiectul analizat

- Pentru a observa Mesh-ul creat vom da click dreapta pe zona de lucru și vom alege Plot Mesh după ce am selectat geometria pentru care se dorește a fi reprezentat.



# Culegerea, interpretarea și postprocesarea rezultatelor

## Reprezentarea parametrilor S

HFSS Tools Window Help

- Solution Type...
- List...
- Validation Check...
- Analyze All
- Submit Job...
- Edit Notes...
- Toolkit >
- 3D Model Editor
- Set Object Temperature...
- Design Settings...
- Model >
- Boundaries >
- Excitations >
- Hybrid >
- Mesh >
- Analysis Setup >
- Optimetrics Analysis >
- Fields >
- Radiation >
- Results >
- Boundary Display (Solver View)
- Design Properties...
- Design Datasets...

- Create Modal Solution Data Report > Rectangular Plot
- Create Fields Report > Rectangular Stacked Plot
- Create Report From File... Polar Plot
- Delete All Reports Data Table
- Report Templates > Smith Chart
- User Defined Solutions... 3D Rectangular Plot
- Create User Defined Solution > 3D Polar Plot
- Dataset Solutions... 3D Spherical Plot
- Output Variables... Rectangular Contour Plot
- Smith Contour Plot

Report: dipol - HFSSDesign1 - New Report - New Trace(s)

Context

Solution: Setup1 : Sweep

Domain: Sweep

TDR Options...

Trace Families Families Display

Primary Sweep: Freq All

X:  Default Freq

Y: dB(S(1,1)) Range Function...

Category:	Quantity:	Function:
Variables	S(1,1)	<none>
Output Variables		ang_deg
S Parameter		ang_deg_val
Y Parameter		ang_rad
Z Parameter		arg
VSWR		cang_deg
Gamma		cang_deg_val
Port Zo		cang_rad
Lambda		dB
Epsilon		dB10normalize
Group Delay		dB20normalize
Active S Parameter		dBc
Active Y Parameter		im
Active Z Parameter		mag
Active VSWR		normalize
Passivity		re
Design		

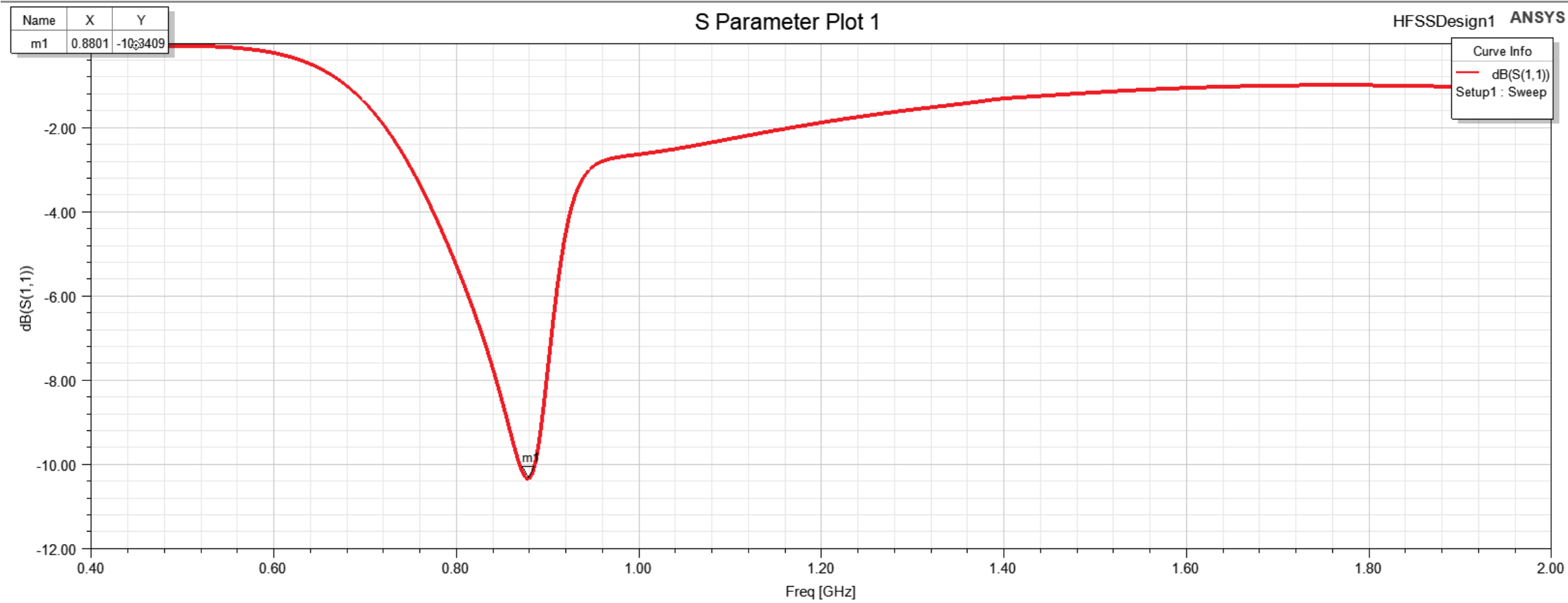
Update Report

Real time Update

Output Variables... Options... New Report Apply Trace Add Trace Close

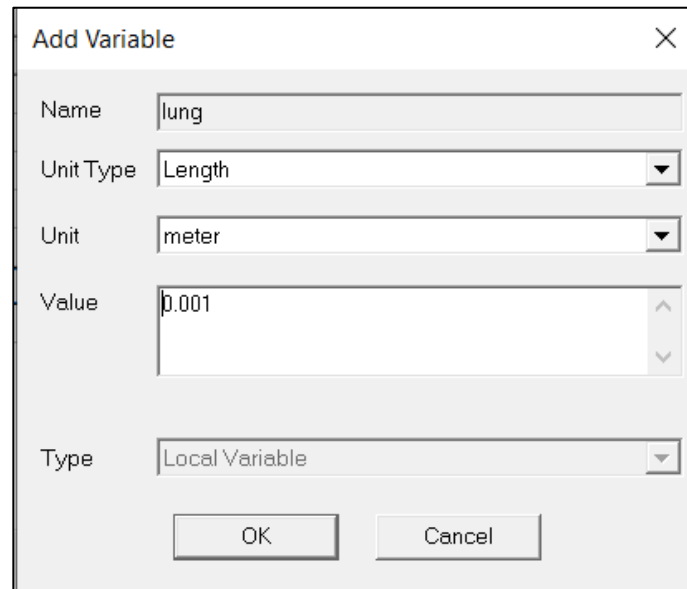
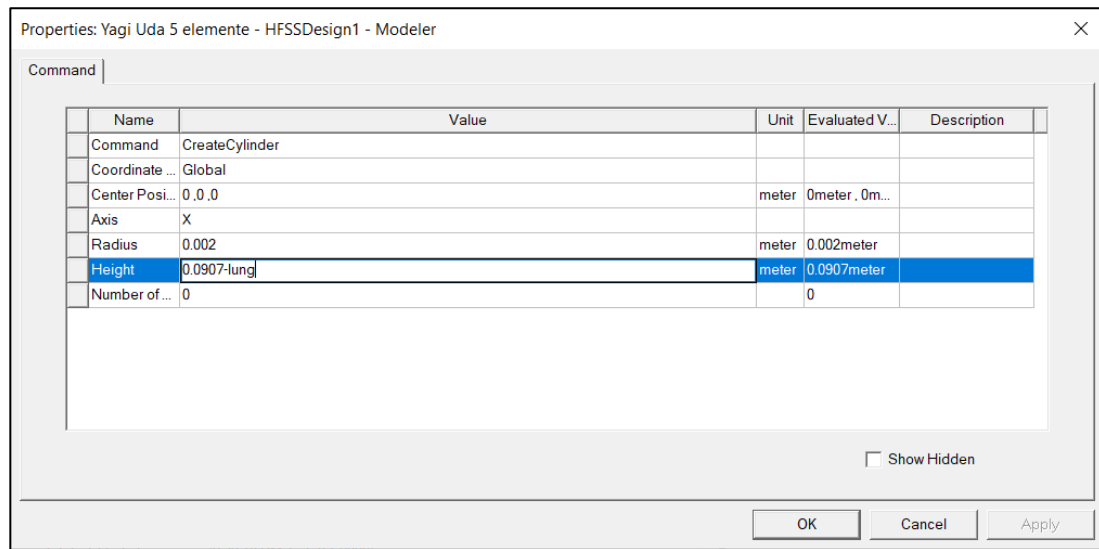
# Culegerea, interpretarea și postprocesarea rezultatelor

## Reprezentarea parametrilor S

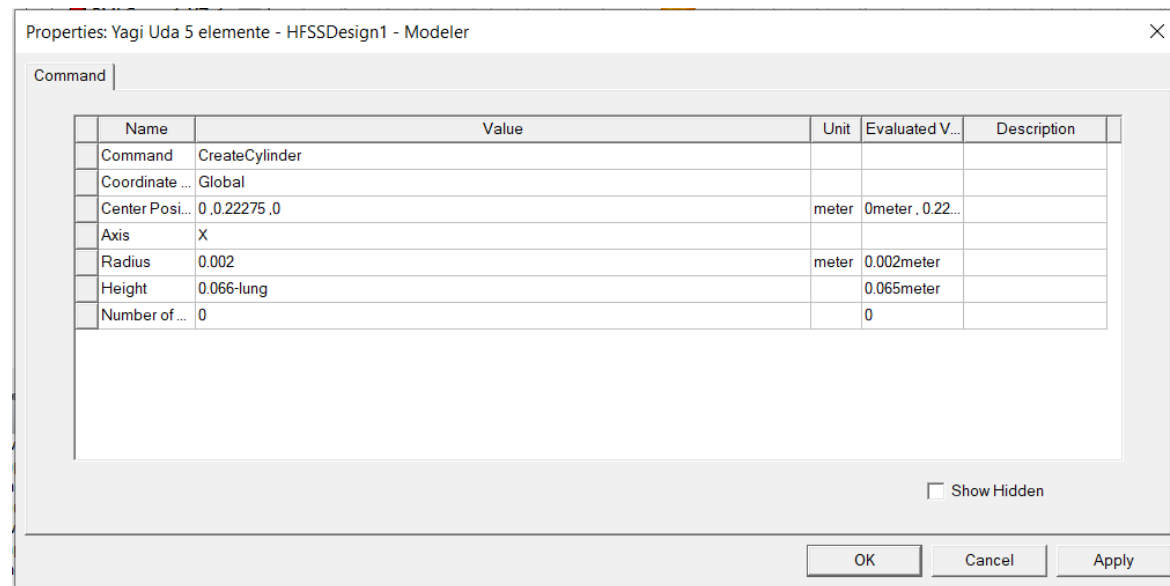
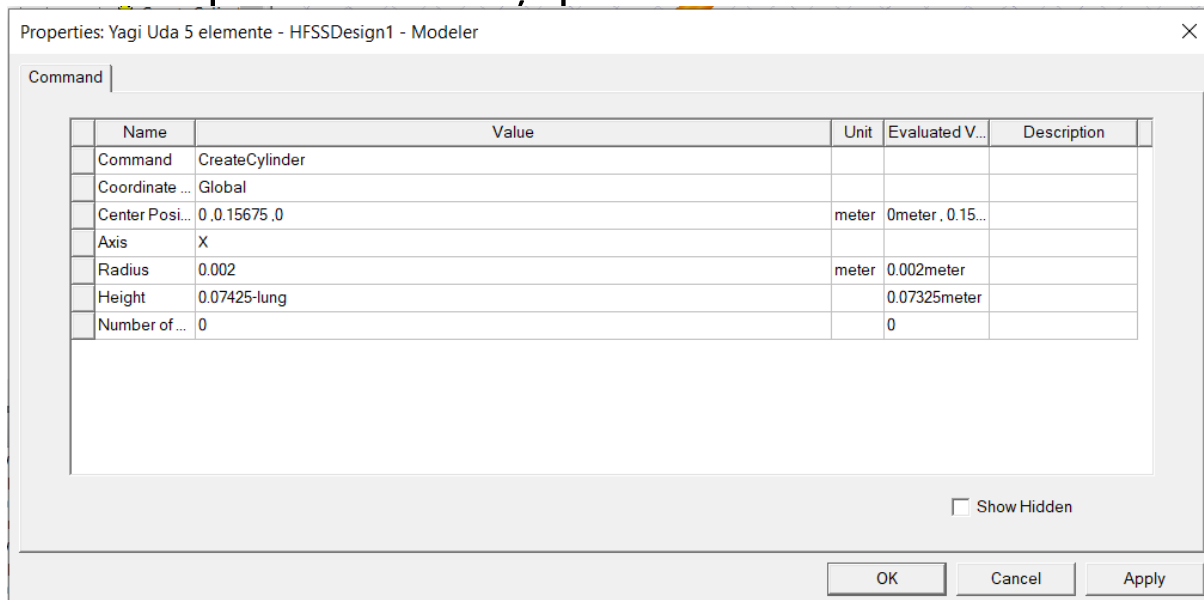


# Modificarea lungimii antenei pentru a avea frecvența de rezonanță dorită

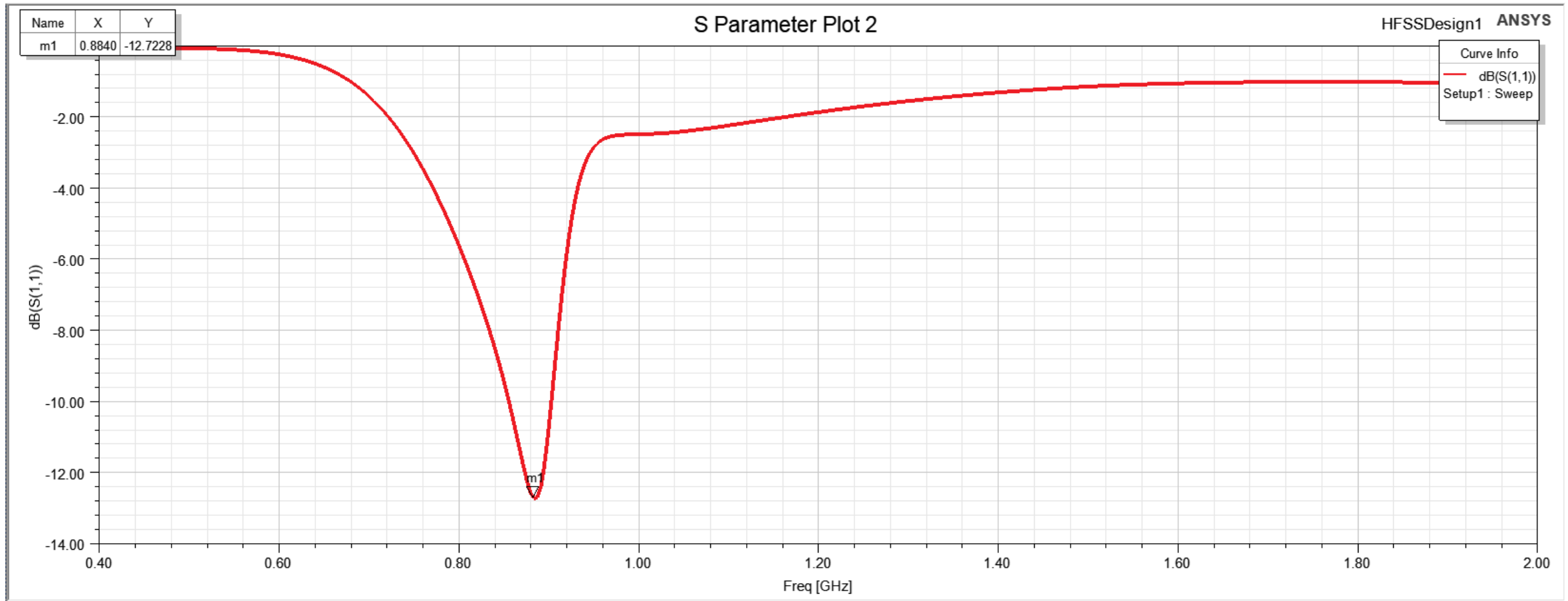
- Alegem reflector si vom modifica lungimea(se modifică în ambele părți)



- Se va proceda la fel și pentru directori



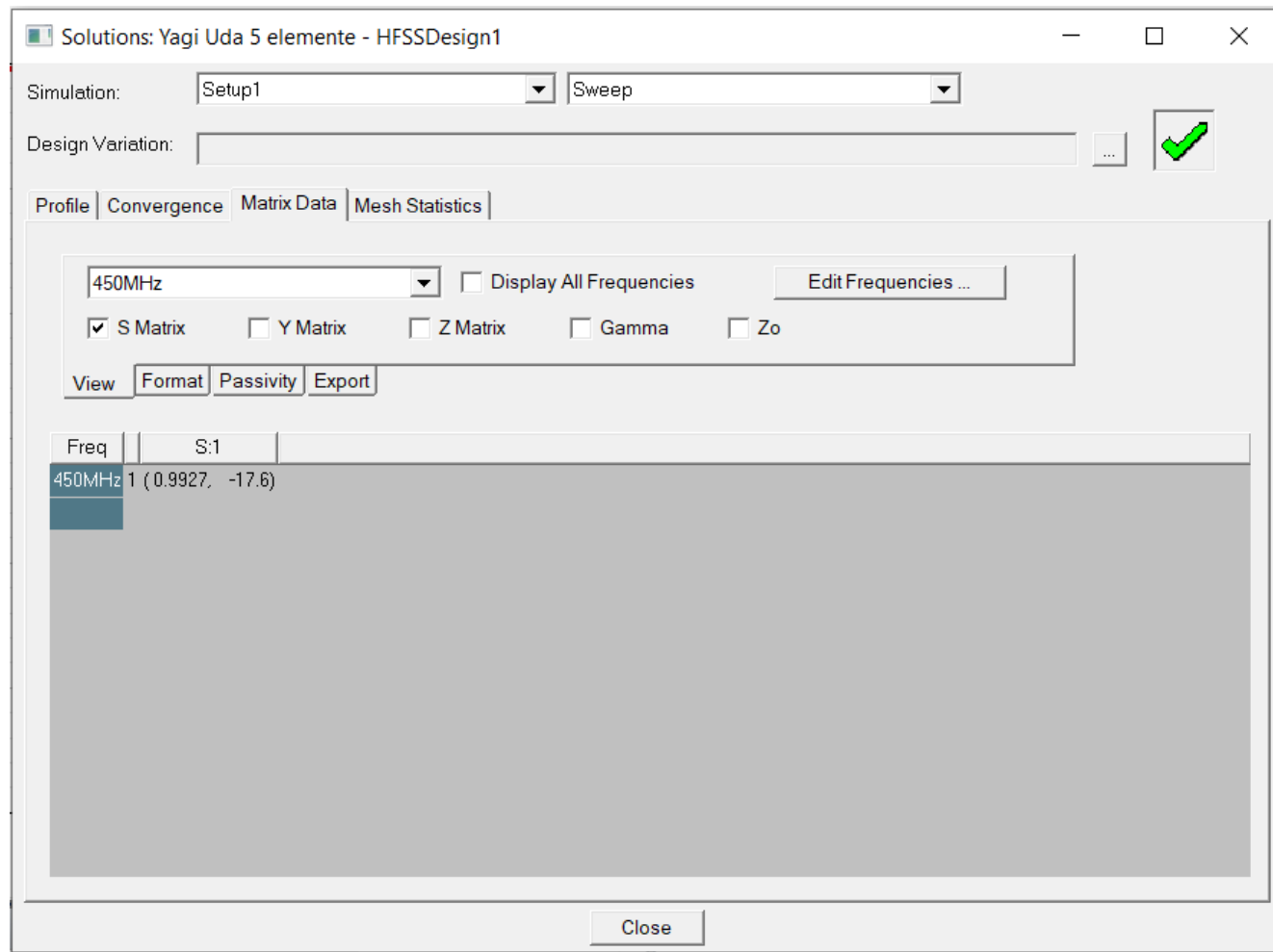
# Modificarea lungimii antenei pentru a avea frecvența de rezonanță dorită



Care este banda de frecvență pe care funcționează această antenă?

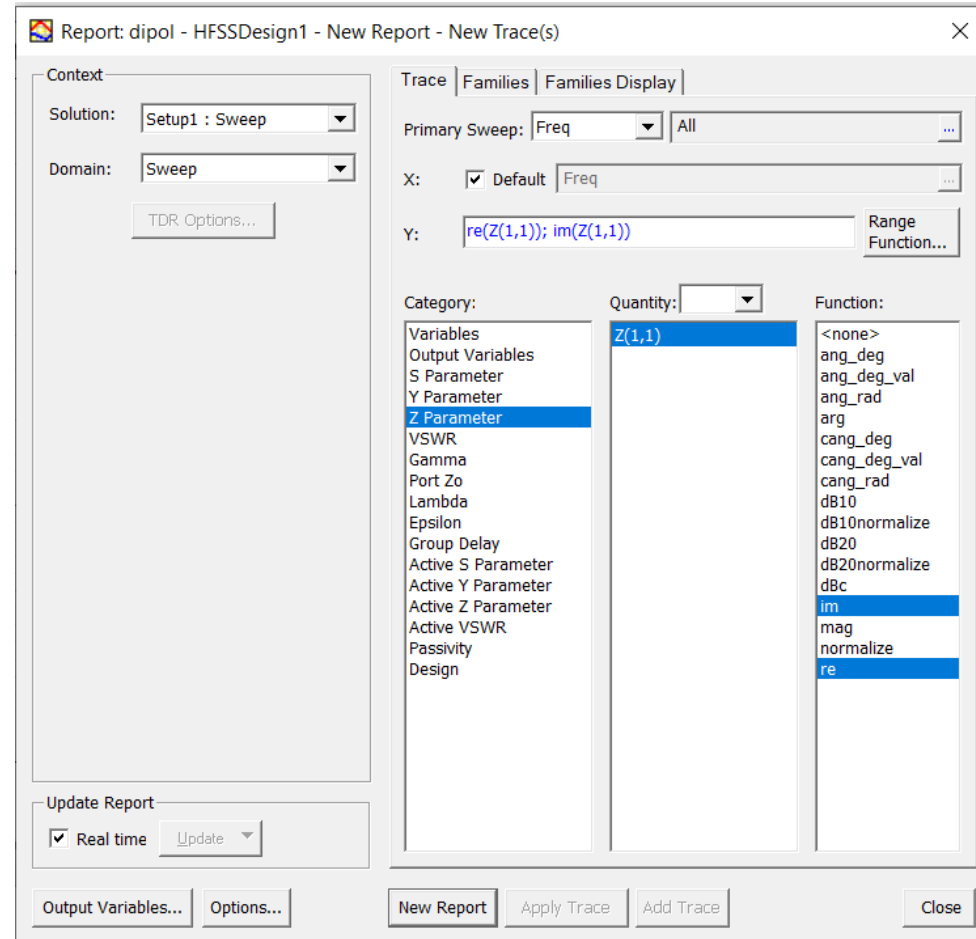
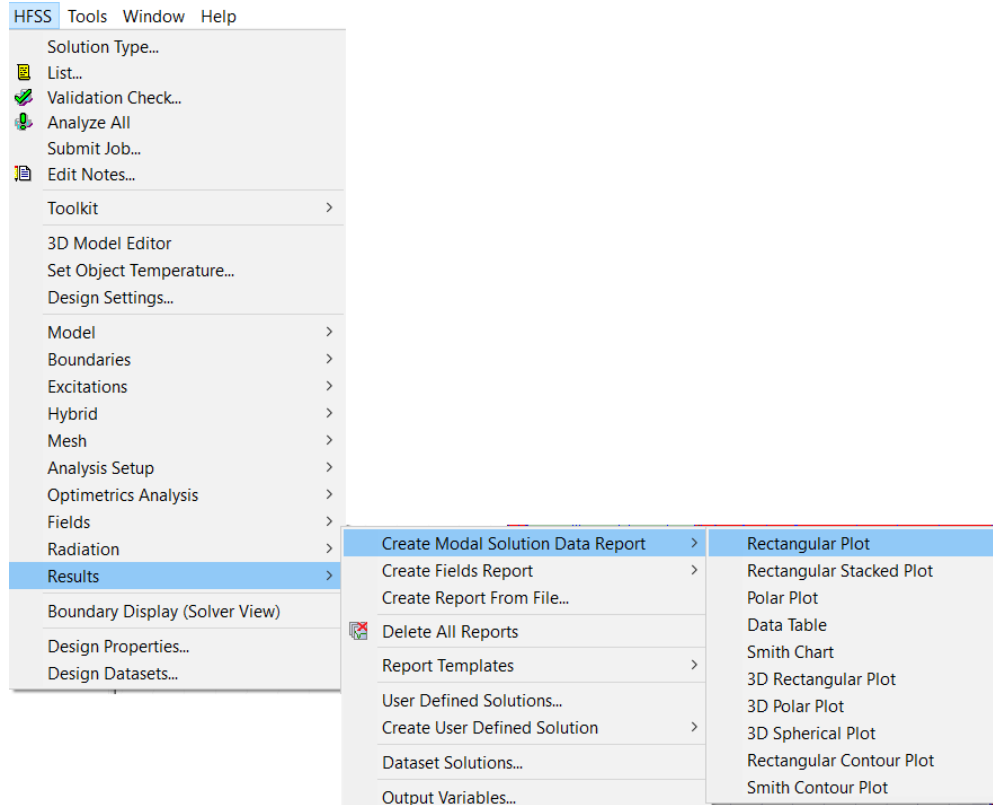
# Culegerea, interpretarea și postprocesarea rezultatelor Parametrii S pentru această antenă

- Din HFSS->Results vom alege ->Solution Data



Afișați matricea impedanțelor și admitanțelor

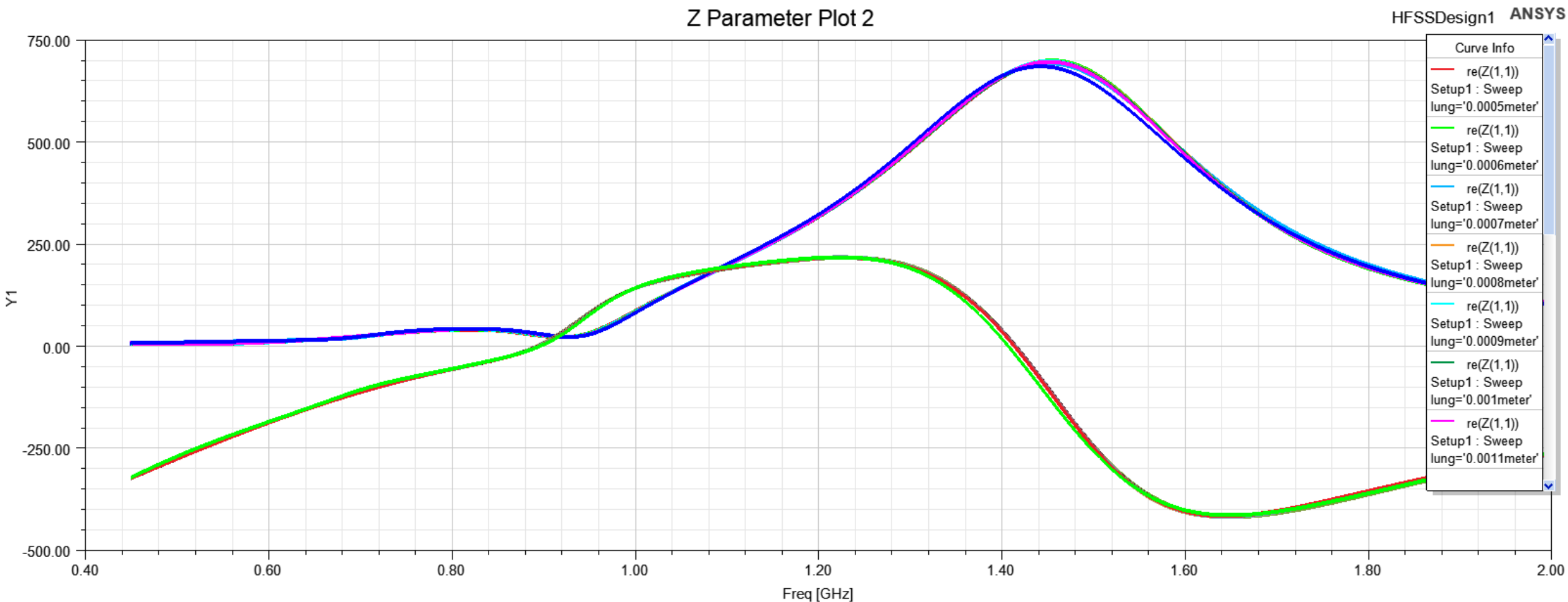
# Culegerea, interpretarea și postprocesarea rezultatelor Impedanța – parte reală și imaginară





# Culegerea, interpretarea și postprocesarea rezultatelor

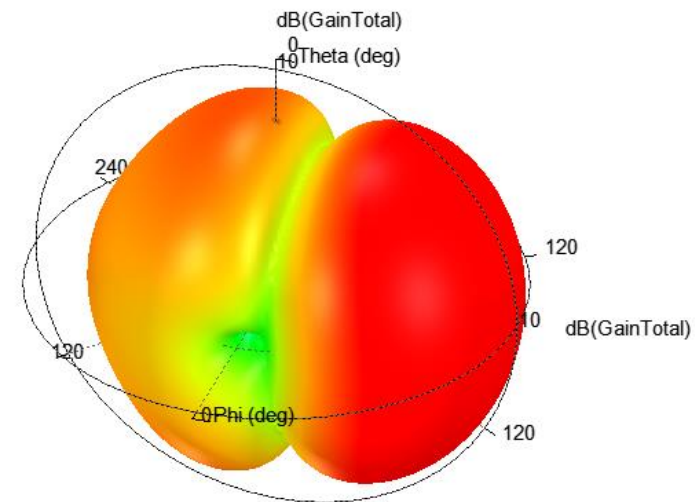
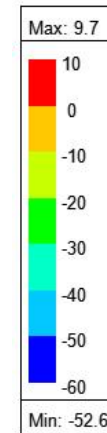
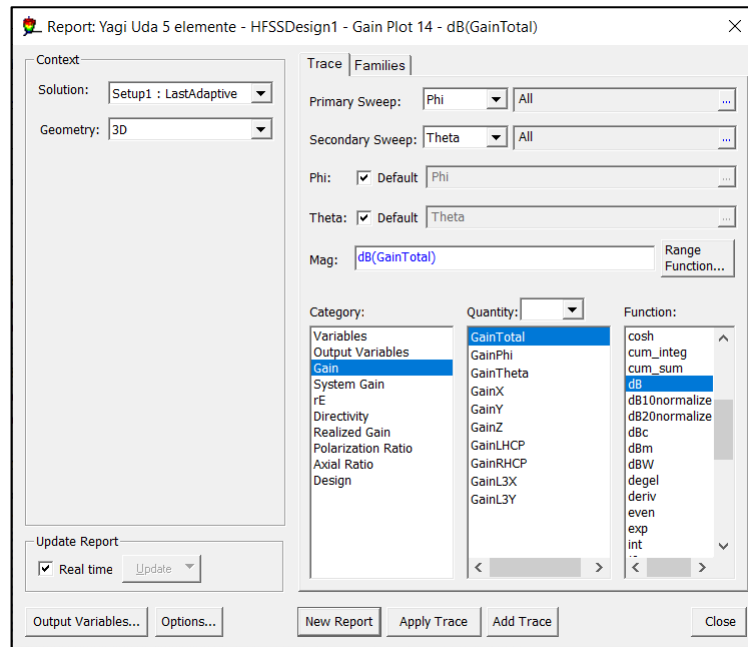
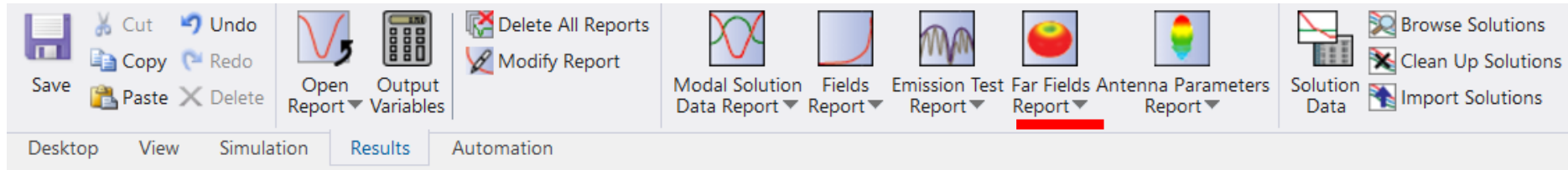
## Impedanța – parte reală și imaginară



Rezonanța apare la o valoare cât mai aproape de 0 ohmi a reactanței

# Culegerea, interpretarea și postprocesarea rezultatelor

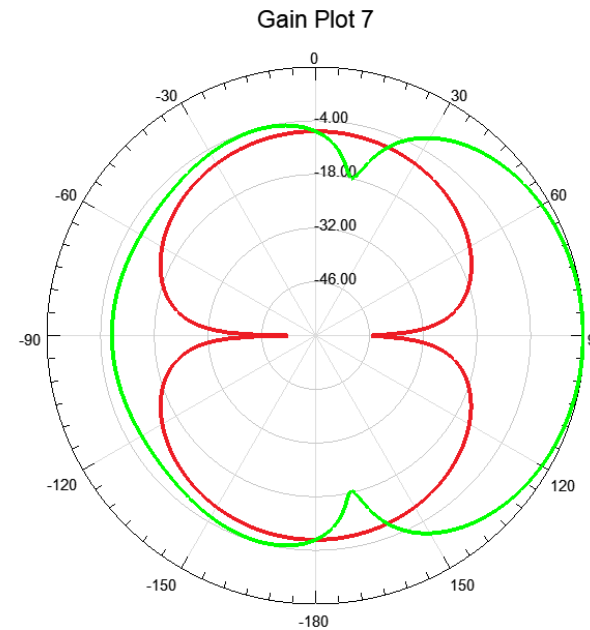
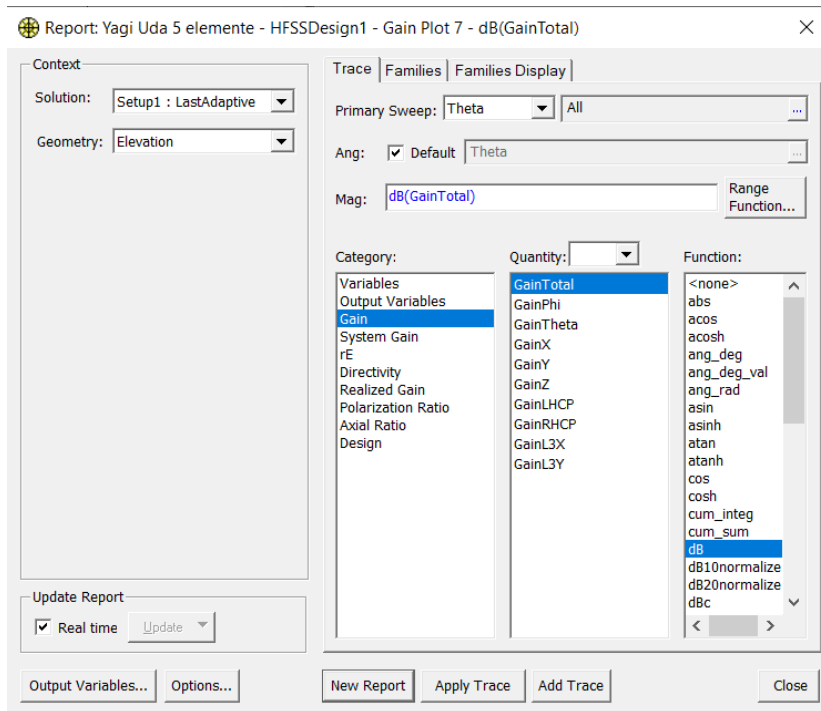
## Reprezentarea câștigului antenei



# Culegerea, interpretarea și postprocesarea rezultatelor

## Reprezentarea câștigului antenei

- HFSS->Results->Create Far Field Report->Radiation Pattern

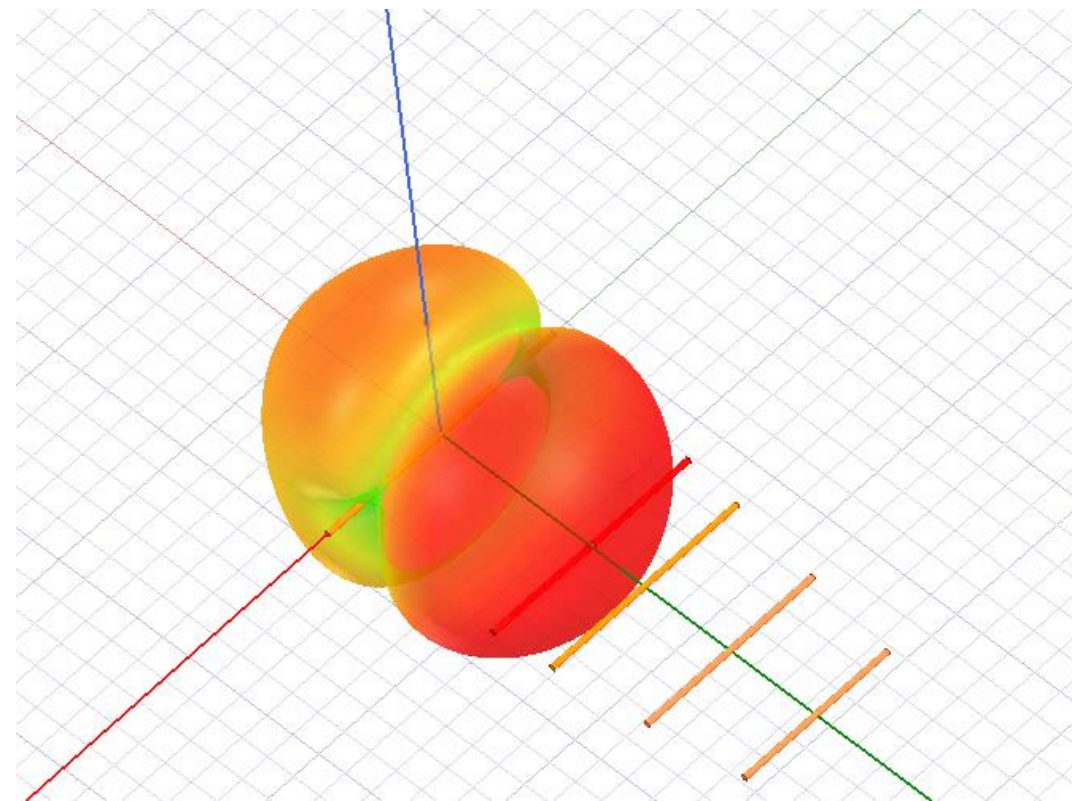
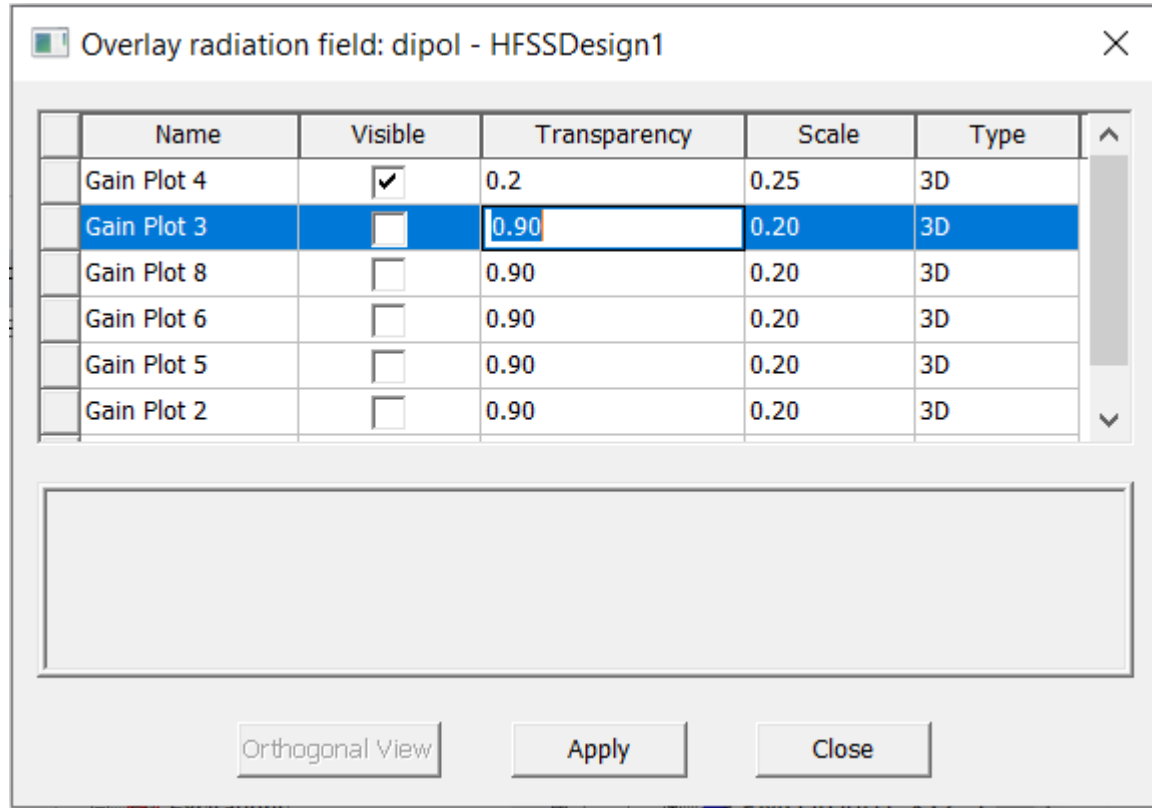


Refaceți graficul și pe plan Azimuthal

# Culegerea, interpretarea și postprocesarea rezultatelor

## Reprezentarea câștigului antenei în jurul geometriei acesteia

- Click dreapta în fereastra de lucru și se va alege Plot Fields → Radiation Field



# Culegerea, interpretarea și postprocesarea rezultatelor

## Determinarea tabelară a emisiilor antenei

Report: Yagi Uda 5 elemente - HFSSDesign1 - Sphere Table 1 - Sphere3meters

Context  
Solution: Setup1 : LastAdaptive  
Digital Signal ...

Trace Families Families Display  
Primary Sweep: Freq All  
X:  Default Freq  
Y: dB(Sphere3meters) Range Function...

Category: Variables Output Variables Sphere Cylinder Design  
Quantity: Sphere1meter Sphere3meters Sphere10meters Sphere30meters Sphere1meterPRBSEnve Sphere3metersPRBSEnv Sphere10metersPRBSEn Sphere30metersPRBSEn Sphere1meterPRBS Sphere3metersPRBS Sphere10metersPRBS Sphere30metersPRBS  
Function: cos cosh cum\_integ cum\_sum dB dB10normalize dB20normalize dBc ddt degel deriv even exp int j0 j1 ln log10 mag

Update Report  
 Real time Update

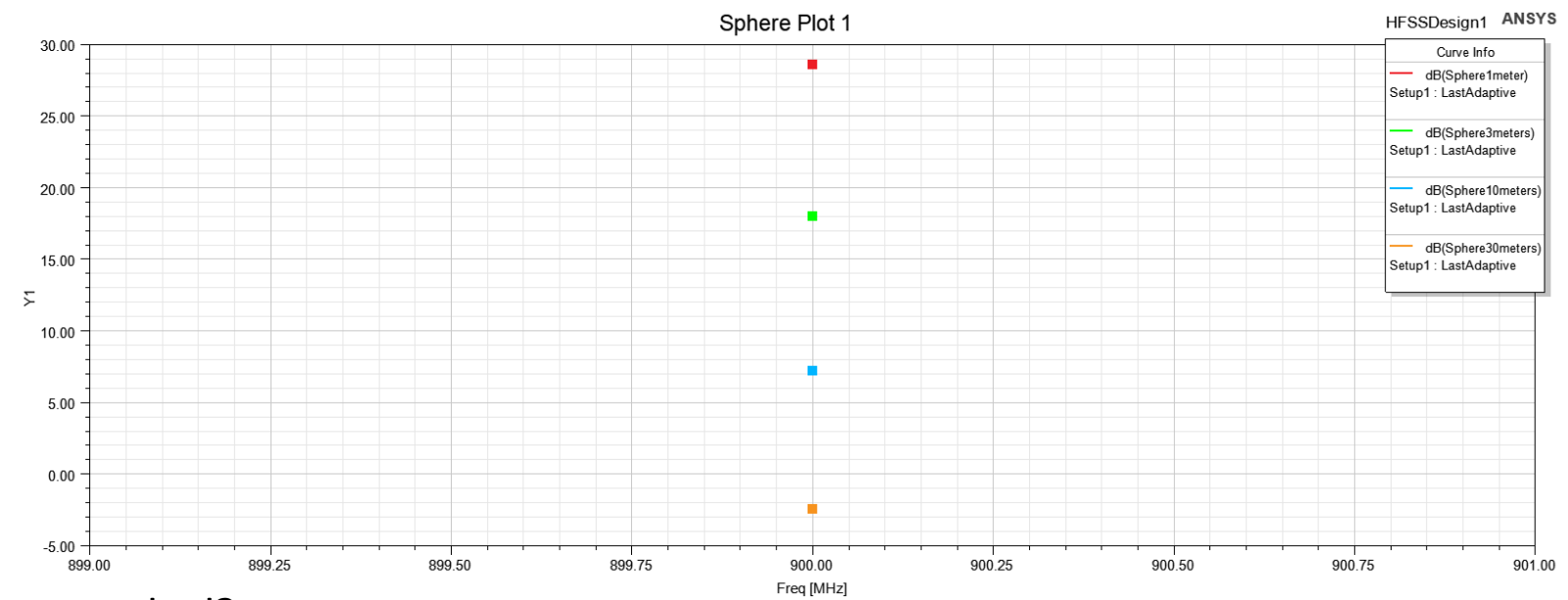
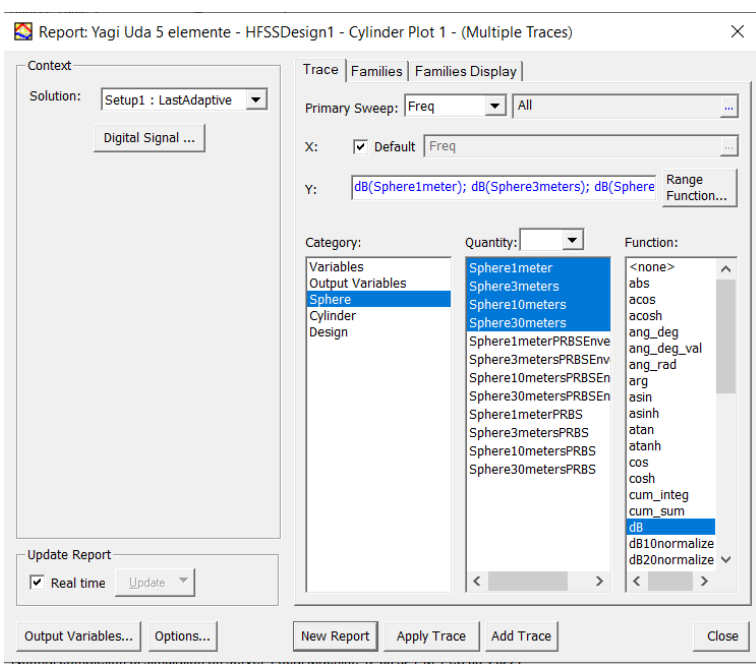
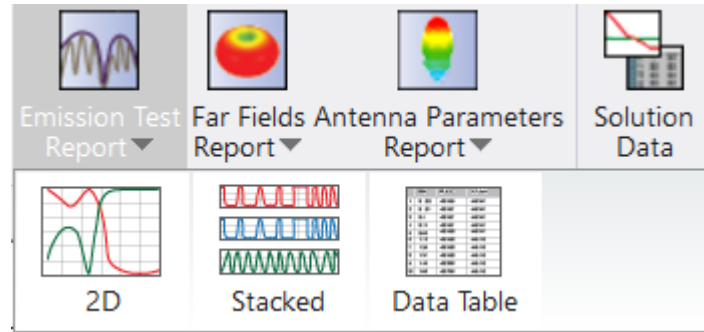
Output Variables... Options... New Report Apply Trace Add Trace Close

	Freq [MHz]	dB(Sphere3meters) Setup1 : LastAdaptive
1	900.000000	18.007040

Emission Test Report  
Far Fields Antenna Parameters Report  
Antenna Parameters Report  
2D Stacked Data Table

# Culegerea, interpretarea și postprocesarea rezultatelor

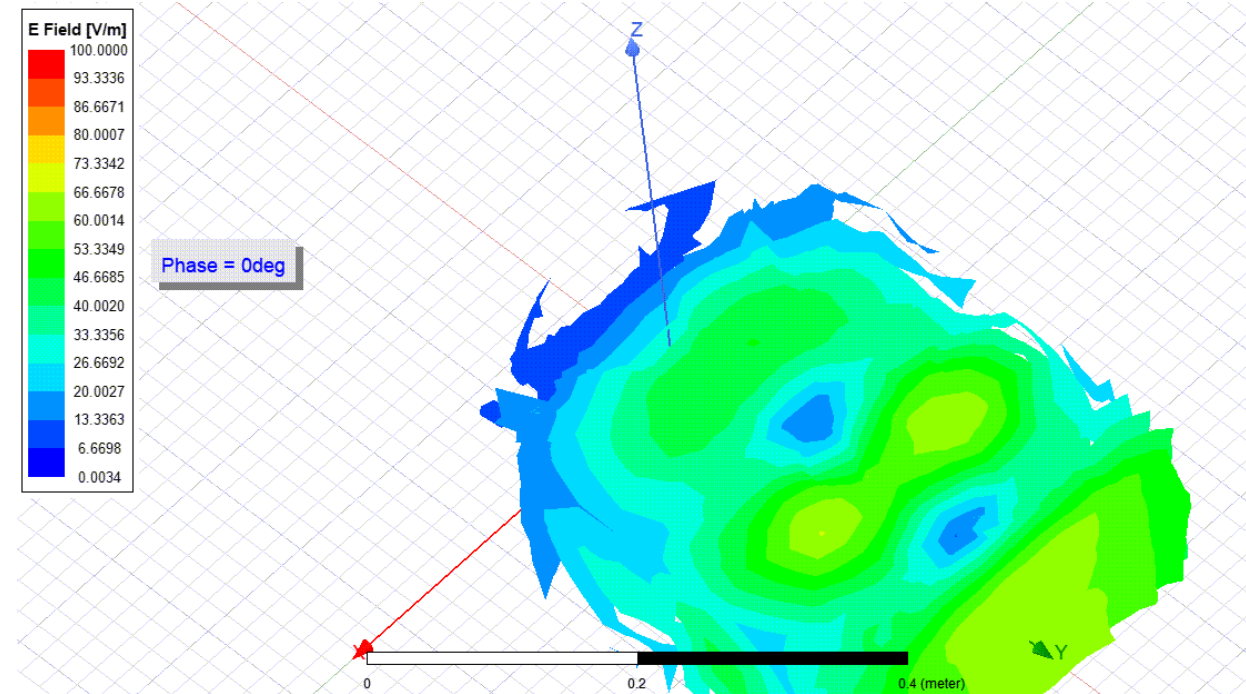
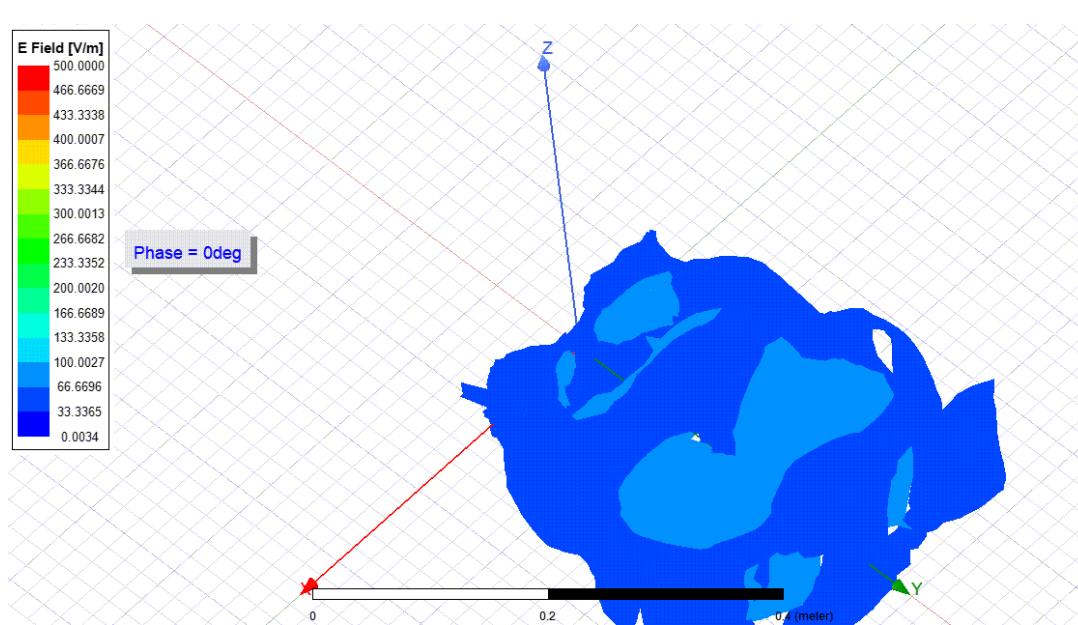
## Determinarea emisiilor antenei



Ce se întâmplă dacă alegem stacked?

# Culegerea, interpretarea și postprocesarea rezultatelor

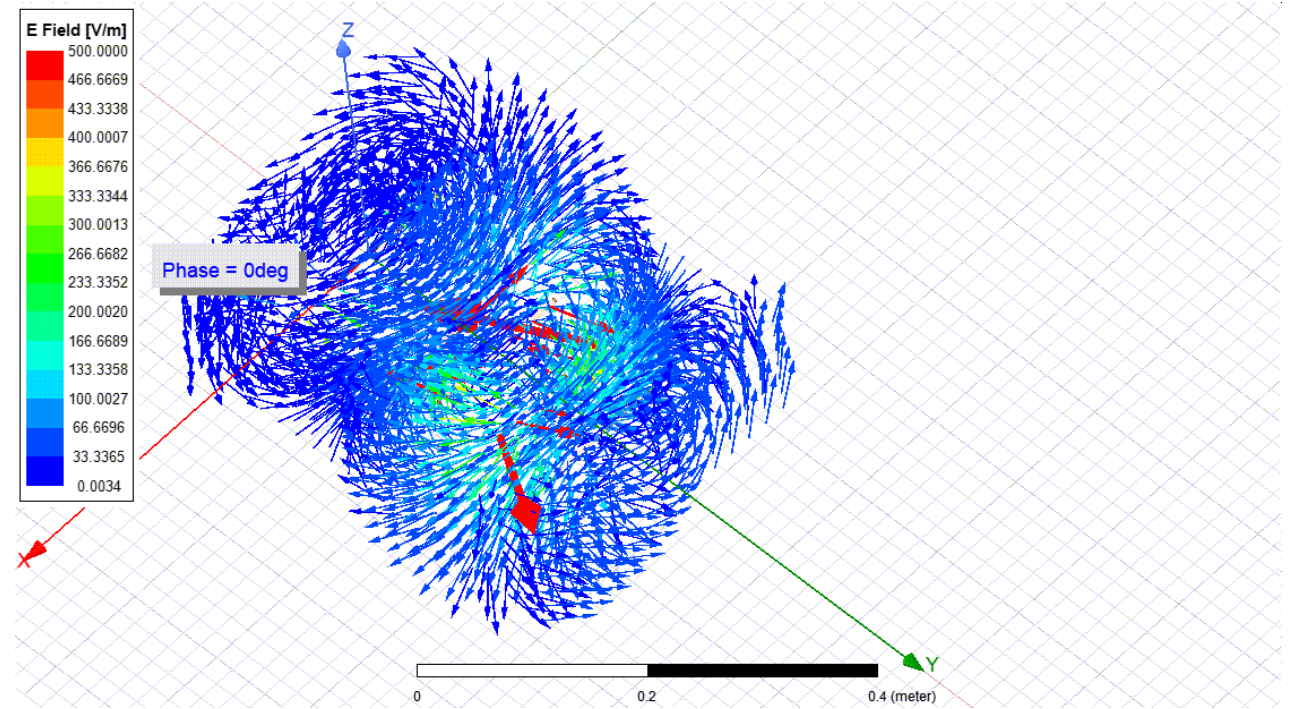
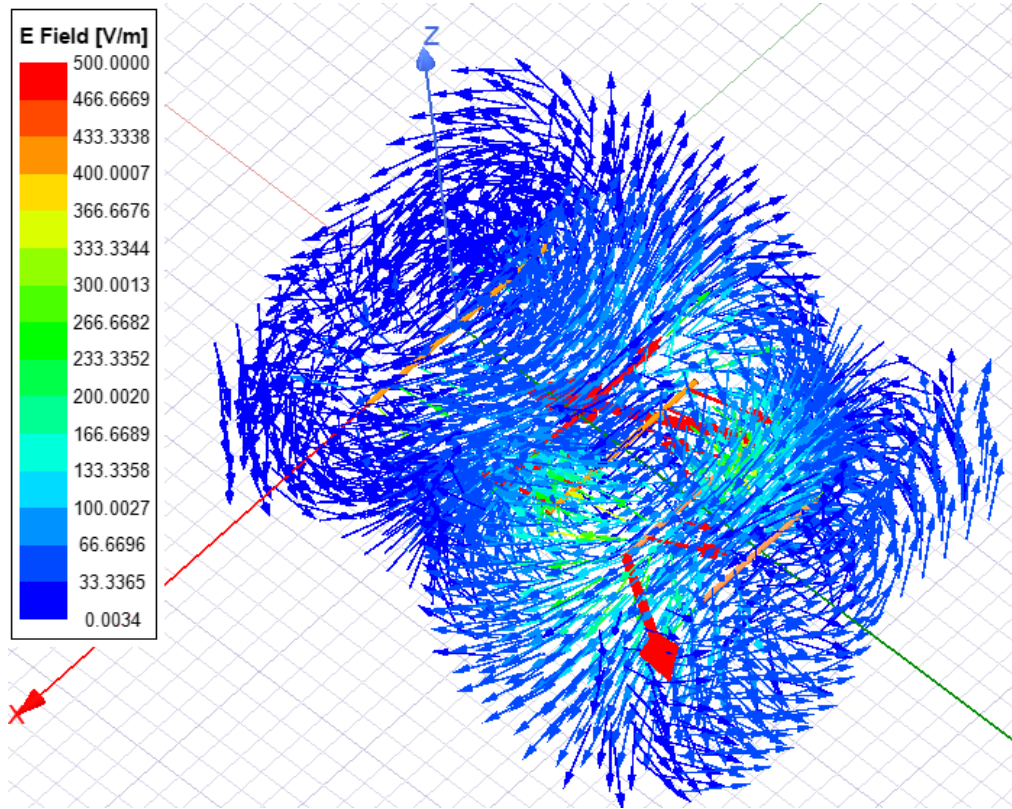
## Reprezentarea în cod de culori a câmpului electric în regiunea definită



Modificați scala legendei și observați din nou în animație propagarea câmpului electric

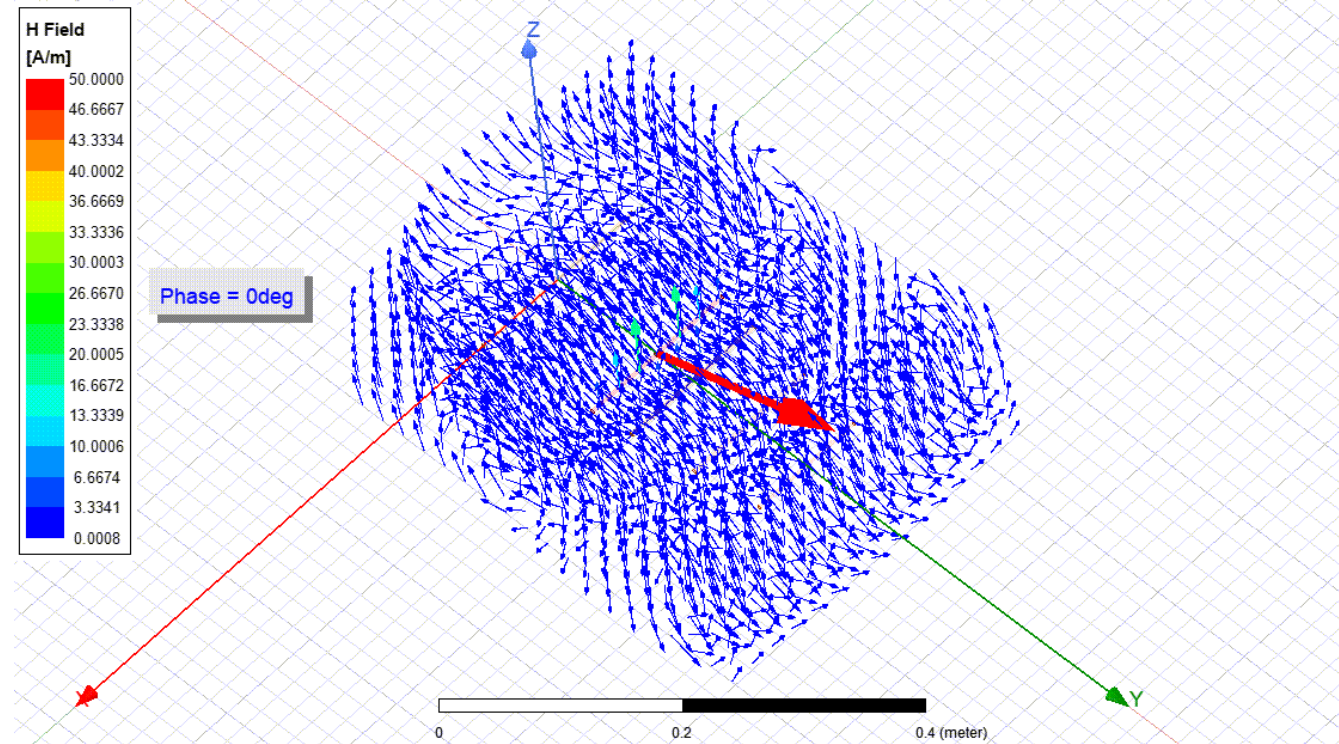
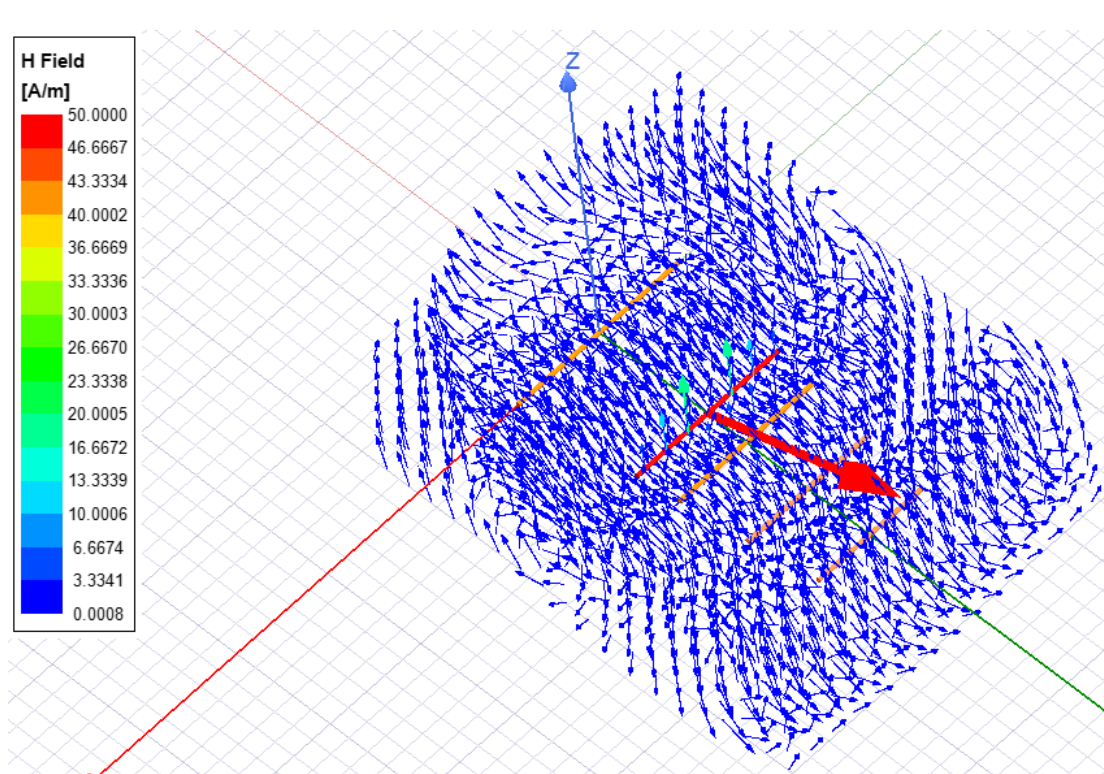
# Culegerea, interpretarea și postprocesarea rezultatelor

## Reprezentarea vectorială a câmpului electric în regiunea definită



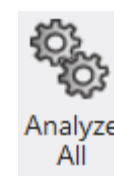
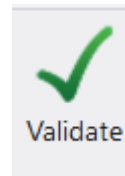
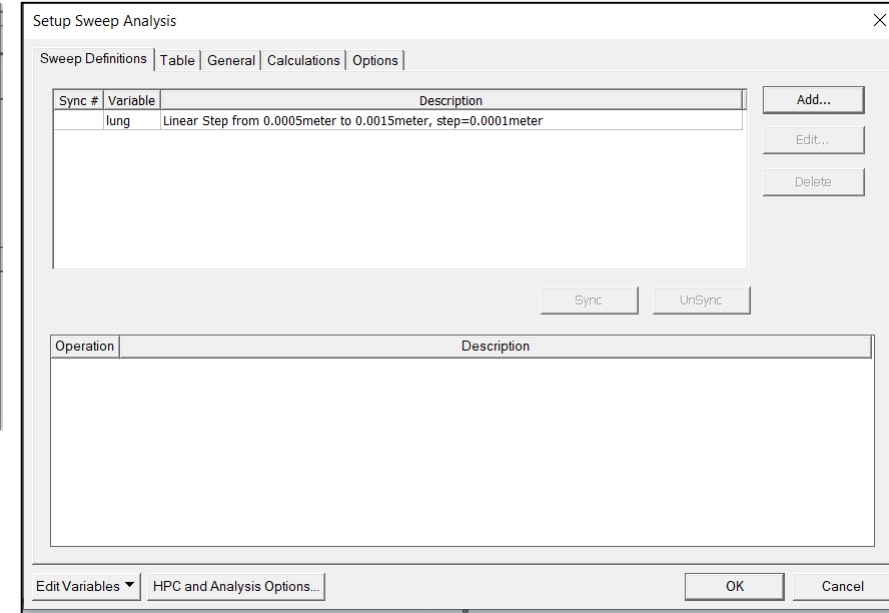
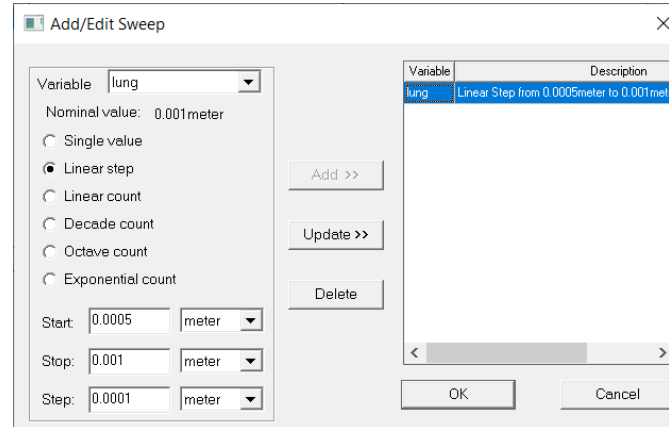
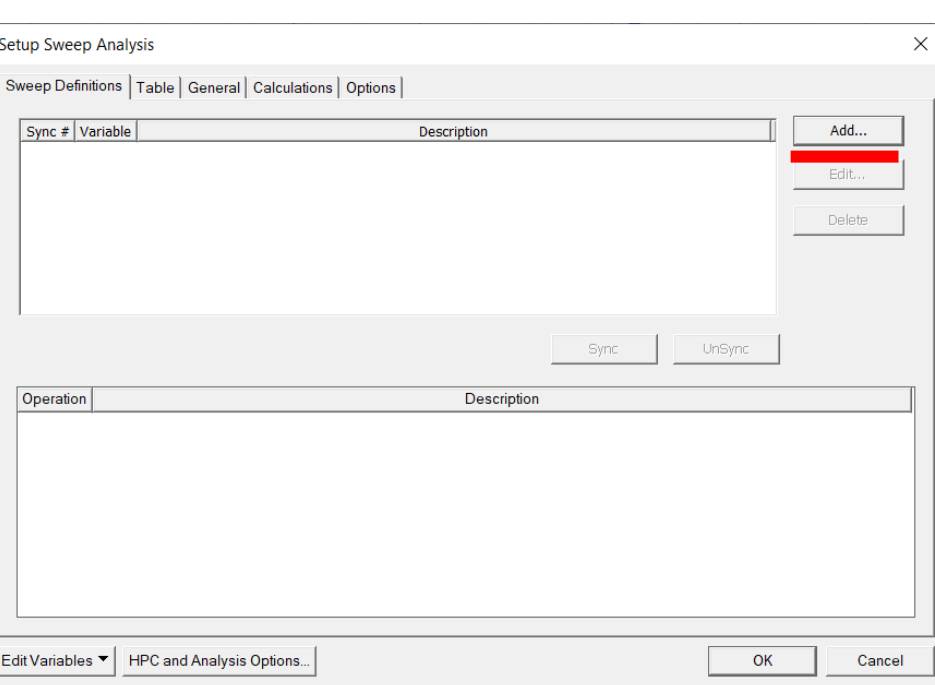
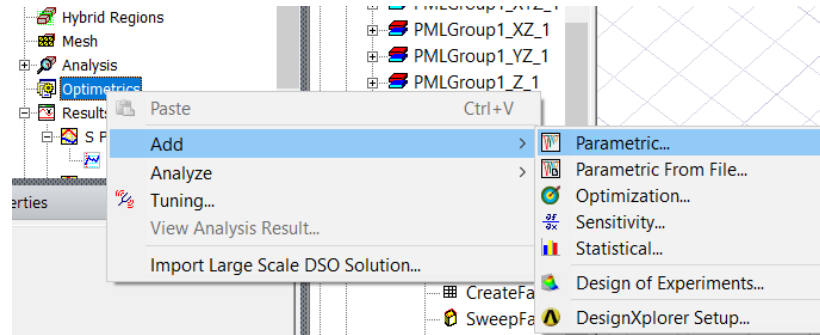
# Culegerea, interpretarea și postprocesarea rezultatelor

## Reprezentarea vectorială a câmpului magnetic în regiunea definită



# Culegerea, interpretarea și postprocesarea rezultatelor

## Optimizarea antenei







# Aplicații

- Reprezentați directivitatea și câștigul pe același grafic pentru a observa legătura dintre ele
- Reprezentați grafic și VSWR
- Determinați emisiile antenei tabelar pentru o sferă aflată la 10 și 30 de metri și comparați-le

**Temă** Modificați grosimea elementelor antenei. Ce se întâmplă cu parametrii acesteia?

[elprocus.com/design-of-yagi-uda-antenna/](http://elprocus.com/design-of-yagi-uda-antenna/)

[https://www.tutorialspoint.com/antenna\\_theory/yagi\\_uda\\_antenna\\_theory.htm](https://www.tutorialspoint.com/antenna_theory/yagi_uda_antenna_theory.htm)

<https://www.youtube.com/watch?v=UIBu99t9He0>

<https://www.youtube.com/watch?v=0EGtanOj6SA&t=697s>

<https://www.data-alliance.net/blog/antenna-radiation-patterns-hplane-eplane-xy-xz-yz-planes/>