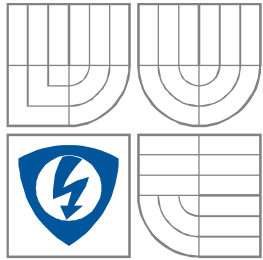




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

ŠIROKOPÁSMOVÉ PLOCHÉ ANTÉNY PRO 3D RADAR

WIDEBAND FLAT ANTENNAS FOR 3D RADAR

DIPLOMOVÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

David FÜLL

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Tomáš URBANEC Ph.D.

BRNO, 2015



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Elektronika a sdělovací technika

Student: David Füll

ID: 158135

Ročník: 3

Akademický rok: 2014/2015

NÁZEV TÉMATU:

Širokopásmové ploché antény pro 3D radar

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s existujícími typy plochých širokopásmových antén. Vytvořte přehled návrhových postupů. Vyberte perspektivní typy pro další práci s ohledem na širokopásmovost a minimální rozměry. Numericky modelujte vybrané antény a proveďte optimalizaci jejich rozměrů.

Realizujte vybrané antény. Měřením ověřte vlastnosti navržených antén, dalším modelováním optimalizujte zjištěné nedostatky. Realizujte a měřením ověřte parametry navržených antén.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] HIEBEL, M. Fundamentals of Vector Network Analysis. Munchen: Rohde&Schwarz, 2007.

[2] ČERVENKA, D. Širokopásmové antény pro měření EMC. Bakalářská práce. Brno: FEKT, VUT v Brně, 2008.

Termín zadání: 9.2.2015

Termín odevzdání: 28.5.2015

Vedoucí práce: Ing. Tomáš Urbanec, Ph.D.

Konzultanti bakalářské práce:

doc. Ing. Tomáš Kratochvíl, Ph.D.
Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Tématem této práce je návrh plochých širokopásmových antén. Navrženy antény byly: motýlková anténa, logaritnicko-periodická anténa, Vivaldiho anténa. Návrh byl proveden v programu ANSYS HFSS. Modely, které vyhovovaly požadavkům, byly vyrobeny a změřeny.

KLÍČOVÁ SLOVA

Ploché antény, motýlková anténa, logaritnicko-periodická anténa, Vivaldiho anténa, reflektor.

ABSTRACT

The theme of this work is the design of flat broadband antennas. Designed antennas were: butterfly antenna, log-periodic antenna, Vivaldi antenna. The design was made in ANSYS HFSS. Models that meet the requirements were made and measured.

KEYWORDS

Flat antennas, butterfly antenna, bowtie antenna, log-periodic antenna, Vivaldi antenna, reflector

FÜLL D. širokopásmové ploché antény pro 3D radar. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav radioelektroniky, 2015. 42 s. Bakalářská práce. Vedoucí práce: Ing. Tomáš Urbanec Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Širokopásmové ploché antény pro 3D radar jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji mému vedoucímu práce Ing. Tomáši Urbanci, Ph.D. za pomoc při vypracovávání této práce a za rady při návrhu antén.

OBSAH

Abstrakt	iii
Klíčová slova	iii
Abstract	iii
Keywords	iii
Prohlášení	v
Poděkování	v
Seznam obrázků	vii
Seznam tabulek	ix
Úvod	1
1 Teorie plochých antén	2
1.1 Motýlková anténa	3
1.2 Logaritmicko-periodická anténa	4
1.3 Vivaldiho anténa	6
2 Návrh plochých antén	7
2.1 Motýlková anténa	7
2.2 Motýlková anténa s reflektory	12
2.3 Logaritmicko-periodická anténa	17
2.4 Vivaldiho anténa	28
3 Praktická realizace antén	33
3.1 Logaritmicko-periodická anténa	33
3.2 Vivaldiho anténa	37
4 ZÁVĚR	41
Seznam citací	42

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1.1.1 : Motýlková anténa.....	3
Obrázek 1.2.1 : logaritmicko-periodická anténa.....	4
Obrázek 1.3.1 : princip návrhu Vivaldiho antény.....	6
Obrázek 2.1.1 : Napájecí strana motýlkové antény	7
Obrázek 2.1.2 : Zemní strana motýlkové antény	8
Obrázek 2.1.3 : parametr S_{11} motýlkové antény	9
Obrázek 2.1.4 : vyzářovací charakteristika motýlkové antény v ploše ZX	10
Obrázek 2.1.5 : vyzářovací charakteristika motýlkové antény v ploše XY.....	10
Obrázek 2.1.6 : 3D vyzářovací diagram pro frekvenci 1GHz	11
Obrázek 2.2.1 : zemní strana motýlková anténa s reflektory.....	12
Obrázek 2.2.2 : Parametr S_{11} motýlkové antény s reflektorem	13
Obrázek 2.2.3 : vyzářovací charakteristika motýlkové antény s reflektory v ploše XY	14
Obrázek 2.2.4 : vyzářovací charakteristika motýlkové antény s reflektory v ploše ZX.	14
Obrázek 2.2.5 : 3D vyzářovací charakteristika motýlkové antény s reflektory pro 1GHz	15
Obrázek 2.2.6 : 3D vyzářovací charakteristika motýlkové antény s reflektory pro 450 MHz	15
Obrázek 2.2.7 : 3D vyzářovací charakteristika motýlková antény s reflektory pro 2GHz	16
Obrázek 2.2.8 : 3D vyzářovací charakteristika motýlkové antény s reflektory pro 3GHz	16
Obrázek 2.3.1 : parametr S_{11} pro log-per anténu v závislosti na τ	19
Obrázek 2.3.2 : napájecí strana log-per antény.....	20
Obrázek 2.3.3 :zemní strana log-per antény	20
Obrázek 2.3.4 :vyzářovací charakteristika log-per antény v ploše XY	21
Obrázek 2.3.5 :vyzářovací charakteristika log-per antény v ploše ZX.....	21
Obrázek 2.3.6 :3D vyzářovací charakteristika log-per antény pro 1GHz.....	22
Obrázek 2.3.7 : 3D vyzářovací charakteristika log-per antény pro 3GHz.....	22
Obrázek 2.3.8 :napájecí strana log-per antény.....	24
Obrázek 2.3.9 :zemní strana log-per antény	24
Obrázek 2.3.10 : parametr S_{11} logaritmicko-periodické antény	25

Obrázek 2.3.11 : 3D vyzařovací charakteristika logaritmicko-periodické antény pro 1GHz	26
Obrázek 2.3.12 : 3D vyřazovací charakteristika logaritmicko-periodické antény pro 3GHz	26
Obrázek 2.3.13 : Vyzařovací charakteristika v ploše logaritmicko-periodické antény XY	27
Obrázek 2.3.14 : Vyzařovací charakteristika logaritmicko-periodické antény v ploše XZ	27
Obrázek 2.4.1 : Zemní strana Vivaldiho antény	28
Obrázek 2.4.2 : napájecí strana Vivaldiho antény	28
Obrázek 2.4.3 : Parametr S_{11} Vivaldiho antény	30
Obrázek 2.4.4 : Vyzařovací charakteristika Vivaldiho antény v ploše XY	31
Obrázek 2.4.5 : Vyzařovací charakteristika Vivaldiho v ploše XZ	31
Obrázek 2.4.6 : 3D vyzařovací charakteristika Vivaldiho antény pro 1GHz	32
Obrázek 2.4.7 : 3D vyzařovací charakteristika Vivaldiho antény pro 6GHz	32
Obrázek 3.1.1 : napájecí strana logaritmicko-periodické antény	33
Obrázek 3.1.2 : porovnání parametru S_{11} pro logaritmicko periodickou anténu	34
Obrázek 3.1.3 : zemní strana logaritmicko-periodické antény	34
Obrázek 3.1.4 : porovnání vyzařovací charakteristiky logaritmicko-periodické antény v ploše XY na frekvenci 1GHz	35
Obrázek 3.1.5 : porovnání vyzařovací charakteristiky logaritmicko-periodické antény v ploše XY na frekvenci 3GHz	35
Obrázek 3.1.6 : porovnání vyzařovací charakteristiky logaritmicko-periodické antény v ploše XZ na frekvenci 1GHz	36
Obrázek 3.1.7 : porovnání vyzařovací charakteristiky logaritmicko-periodické antény v ploše XZ na frekvenci 3GHz	36
Obrázek 3.2.1 : zemní strana Vivaldiho antény	37
Obrázek 3.2.2 : napájecí strana Vivaldiho antény	37
Obrázek 3.2.3 : porovnání parametru S_{11} Vivaldiho antény	38
Obrázek 3.2.4 : porovnání vyzařovací charakteristiky Vivaldiho antény na frekvenci 1GHz v ploše XY	38
Obrázek 3.2.5 : porovnání vyzařovací charakteristiky Vivaldiho antény na frekvenci 5GHz v ploše XY	39
Obrázek 3.2.6 : porovnání vyzařovací charakteristiky Vivaldiho antény na frekvenci 1GHz v ploše XZ	39
Obrázek 3.2.7 : porovnání vyzařovací charakteristiky Vivaldiho antény na frekvenci 5GHz v ploše XZ	40

SEZNAM TABULEK

Tabulka 2.1: parametry jednotlivých reflektorů	13
Tabulka 2.2 : délka navržených dipólů a frekvence pro $\lambda/2$ v závislosti na τ	18
Tabulka 2.3: šířka mikropásku ramen log-per antény	23

ÚVOD

Tato práce je o návrhu širokopásmových antén pro 3D radar pro pásmo ideálně 300MHz až 3GHz. Z důvodu rozlišení radaru.

Jeden z rozhodujících parametrů bude S_{11} , který by měl být na pracovních frekvencích menší než -3dB (vyzáří se aspoň polovina použitého výkonu).

Z dalších bude i širokopásmovost dané antény, která dokáže vyzařovat na daném pásmu.

Také je brán ohled na velikost dané antény, která by měla být co nejvíce zmenšena, kvůli velikosti a váze antény, tak aby nebyli porušeny některé z daných podmínek (S_{11} , širokopásmovost).

1 TEORIE PLOCHÝCH ANTÉN

Ploché antény jsou antény, které jsou vyleptány na kovovou plochu, která je nanesena na substrátu. Většinou mají tyto substráty z obou stran pokovené plochy.

Existuje spousta druhů plochých antén, např.: obdélníková, kruhová, motýlková, logaritmicko-periodická, trojúhelníková s úzkou štěrbinou, atd.

Výhoda těchto antén spočívá ve snadné výrobě.

Podle potřebné vyzařovací charakteristiky se volí velikost dipólu. Pokud je dipól dlouhý $\lambda/2$, má vyzařovací diagram tvar pneumatiky. Při jiných délkách mohou vznikat vedlejší laloky, které změní tvar vyzařovací charakteristiky. Záleží, ale i na druhu antény, u některých druhů i na způsobu napájení.

Velikost vlny lze vypočítat podle vzorce (1.1)

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad [\text{m}] \quad (1.1)$$

Kde λ značí délku vlny, c značí rychlost světla, f značí frekvenci dané vlny

Ale tento vzorec platí pouze pro vlnu, která se šíří pouze vzduchem.

Následující vzorec (1.2) platí zase pro vlnu, která se bude šířit pouze materiálem dané relativní permitivity.

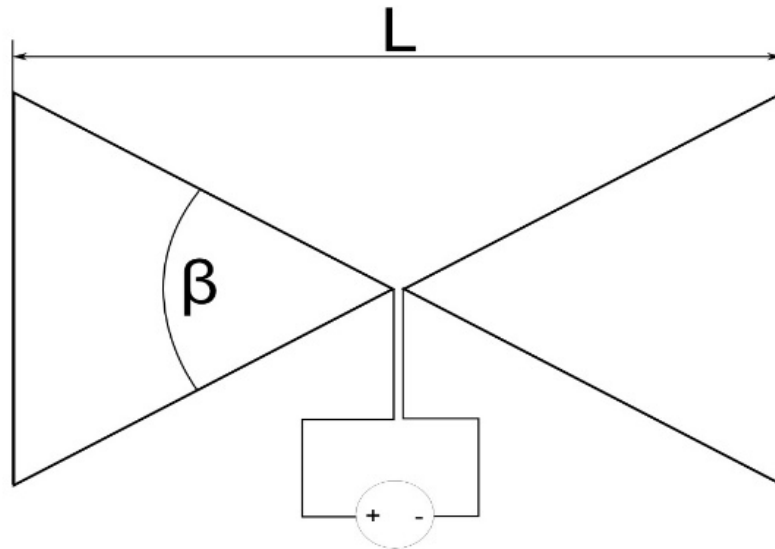
$$\lambda = \frac{\frac{c}{f}}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad [\text{m}] \quad (1.2)$$

V této práci je uvažováno, že reálná vlna má délku podle následující rovnice (1.3)

$$\lambda = \frac{c}{f} > \text{reálná délka vlny} > \lambda = \frac{\frac{c}{f}}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (1.3)$$

1.1 Motýlková anténa

Motýlková anténa se řadí mezi široko pásmové antény. Vzhled této antény je na obrázku 1.1.1 .



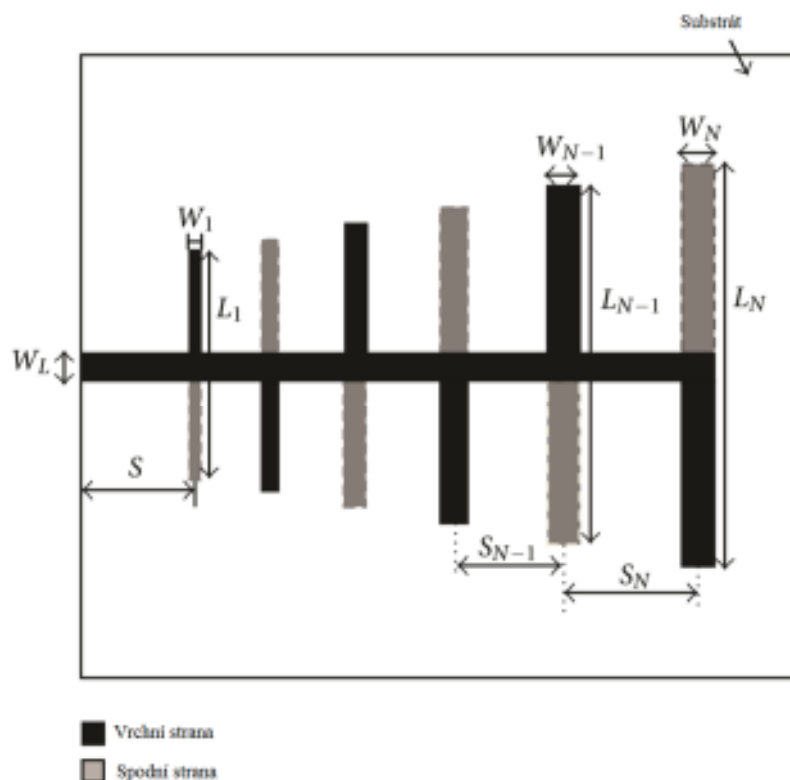
Obrázek 1.1.1 : Motýlková anténa

L udává $\lambda/2$ střední frekvence a úhel β určuje rozevření dipólu který má vliv na širokopásmovost antény [1].

Způsob napájení této antény lze uskutečnit pomocí mikropáskového vedení, který je vyveden na hranu substrátu, kde navazuje na koaxiální vedení.

1.2 Logaritmicko-periodická anténa

Na následujícím obrázku 1.2.1, je princip návrhu logaritmicko-periodické antény, který byl převzat a poupraven z [2].



Obrázek 1.2.1 : logaritmicko-periodická anténa

L_N udává $\lambda/2$ nejnížší frekvence pro kterou je anténa konstruována, W_N udává šířku mikropásku daného ramene, S_N udává mezeru mezi jednotlivými rameny, W_L udává šířku mikropáskového vedení, S udává délku mezi hranou substrátu a posledním dipólem (nejkratším)

Vztah mezi X_N a X_{N-1} (za X dosadit W, S ,L) popisuje vzorec (1.4) který je převzat z [2]

$$\tau = \frac{W_{N-1}}{W_N} = \frac{S_{N-1}}{S_N} = \frac{L_{N-1}}{L_N} \quad [-] \quad (1.4)$$

τ udává poměr

W_N se volí tak, aby dané rameno mělo ideálně charakteristickou impedanci $Z_0=50\Omega$, tím dochází k co nejmenším odrazům na vedení, při podmínce, že anténa je napájena ze zdroje o charakteristické impedanci 50Ω .

Poměr τ ovlivňuje parametr S_{11} .

Při napájení antény může být $S=0$ a poslední dipól může být přímo na hraně substrátu, odkud ze středu daného dipólu povede koaxiální vedení.

Šířka mikropásku W_L se vypočítá podle vzorce (1.5), který je převzat z [3]

$$Z_0 = \frac{\eta_0}{\sqrt{\epsilon_r}} \left\{ \frac{a}{b} + \frac{1}{\pi} \ln(4) + \frac{\epsilon_r+1}{2\pi\epsilon_r} \ln \left[\frac{\pi\epsilon_r \left(\frac{a}{b} + 0,94 \right)}{2} \right] + \frac{\epsilon_r-1}{2\pi\epsilon_r^2} \ln \left(\frac{\epsilon_r\pi^2}{16} \right) \right\}^{-1} \quad [\Omega] \quad (1.5)$$

Kde Z_0 je charakteristická impedance vedení, η_0 je charakteristická impedance vzduchu, ϵ_r je relativní permitivita substrátu, a, b se vypočítá podle následujících vzorců (1.6) a (1.7).

$$a = \frac{w}{2} \quad [-] \quad (1.6)$$

w značí šířku mikropáskového vedení

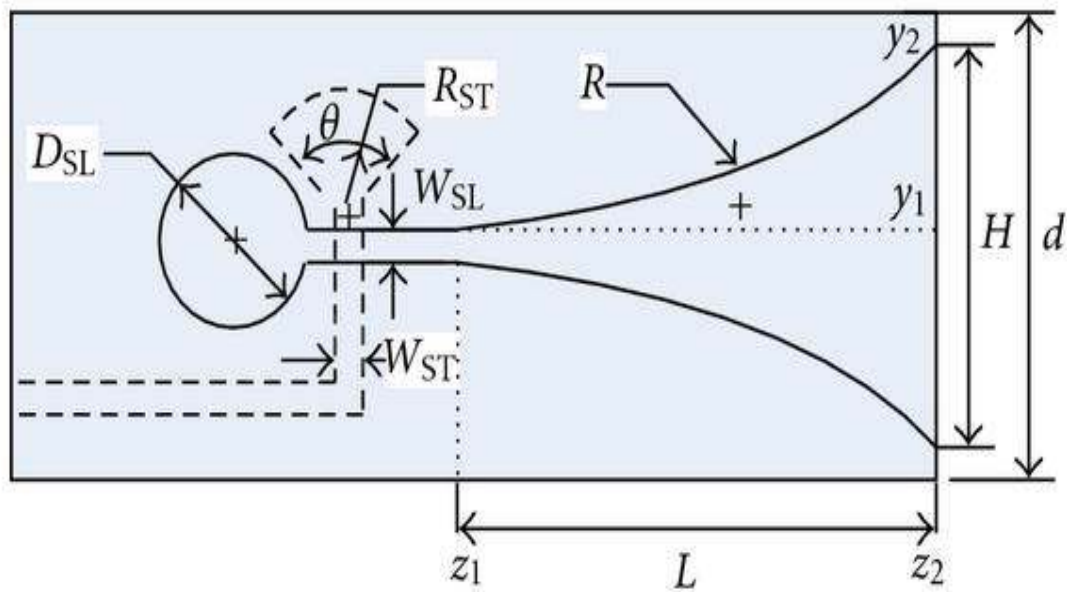
$$b = \frac{h}{2} \quad [-] \quad (1.7)$$

h značí tloušťku substrátu

Vzorec (1.3) platí za podmínky, že $a/b > 1$.

1.3 Vivaldiho anténa

Na obrázku 1.3.1 je jeden z principů návrhu Vivaldiho antény. Tento obrázek je převzat z [4].



Obrázek 1.3.1 : princip návrhu Vivaldiho antény

Kde H značí rozevření štěrbin, d šířku substrátu, R zaoblení štěrbin, L délka zaoblení štěrbin, W_{SL} šířka štěrbin, D_{SL} poloměr štěrbin, R_{ST} poloměr plošky zakončení napájení, θ rozevření plošky, W_{ST} šířka napájecího mikropásku.

2 NÁVRH PLOCHÝCH ANTÉN

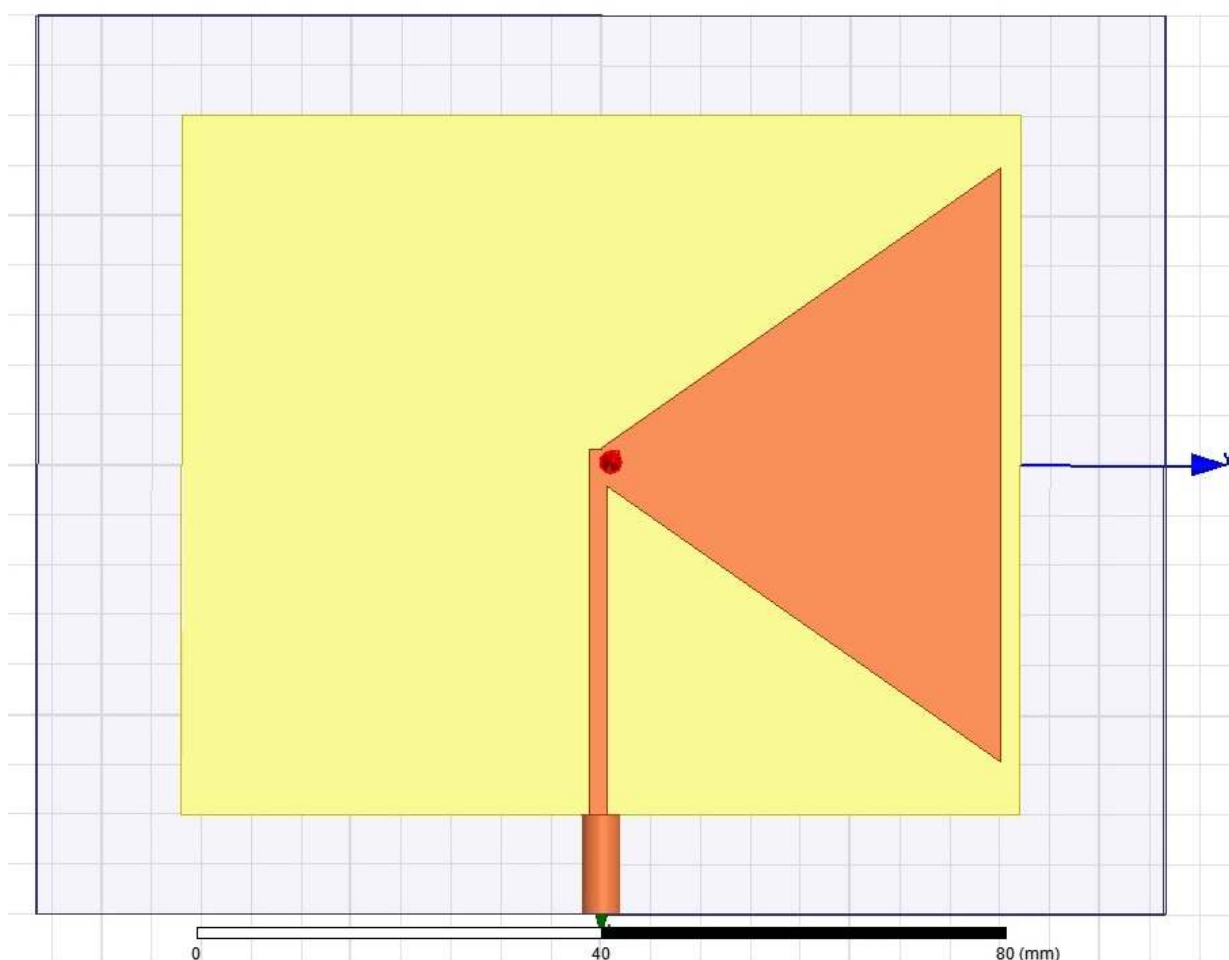
Veškeré antény jsou navrhované na substrátu o parametrech:

Relativní permitivita	: 4,2
Tloušťka	: 0,8mm pro Motýlkovou anténu a Vivaldiho anténu 1,5mm pro logaritmicko-periodickou anténu
Ztrátový činitel	: 0,001

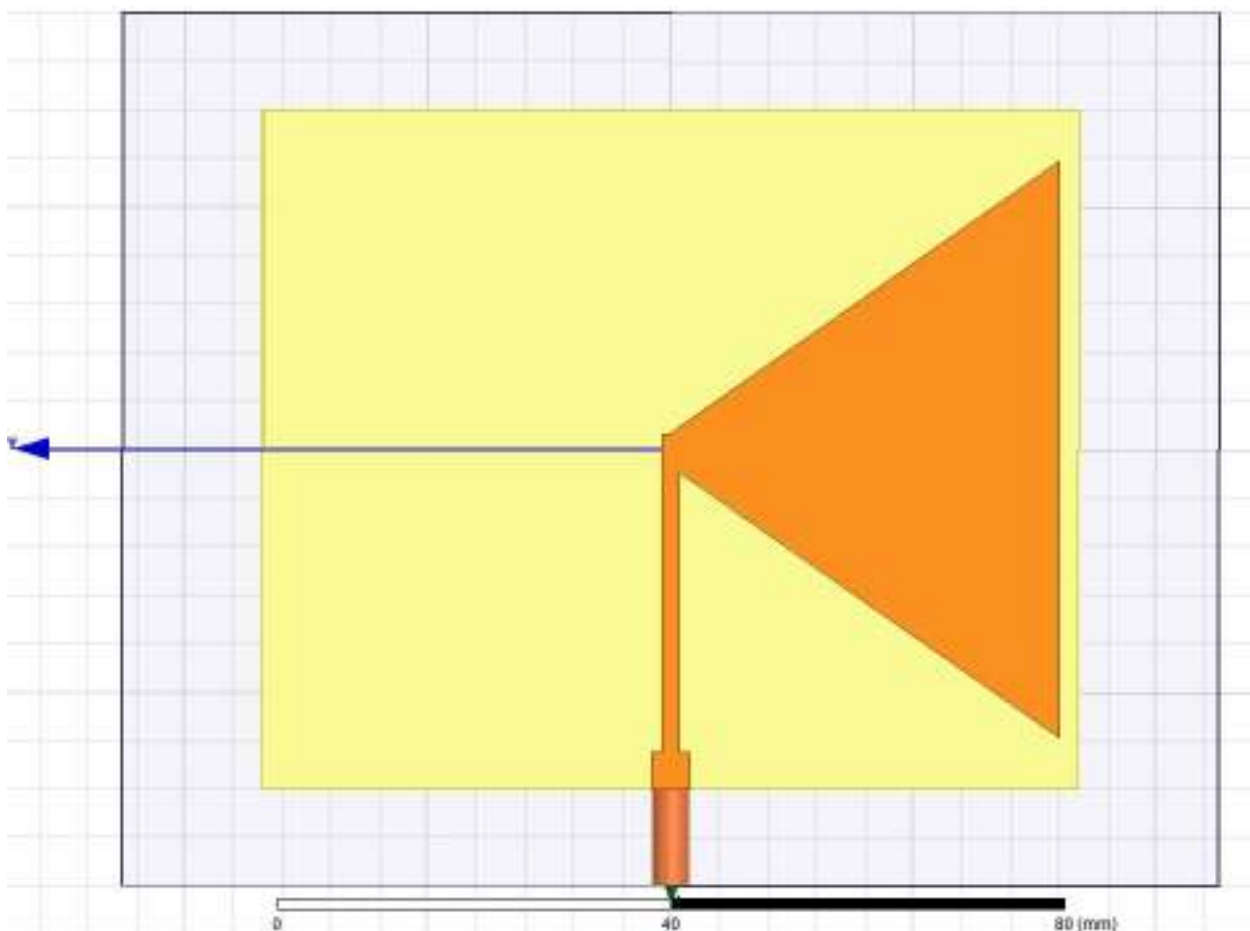
Návrh byl vytvořen a odsimulován v programu ANSYS HFSS 15.0. Jako materiál pro substrát byl použit modified_epoxi. Vodivé plochy, byly vytvořeny z mědi o tloušťce 35 μ m.

2.1 Motýlková anténa

Anténa leží v ploše XY.



Obrázek 2.1.1 : Napájecí strana motýlkové antény



Obrázek 2.1.2 : Zemní strana motýlkové antény

Šířka jednoho ramene antény je navrhována pro $\lambda/4$ při 1GHz + polovina šířky mikropásku.

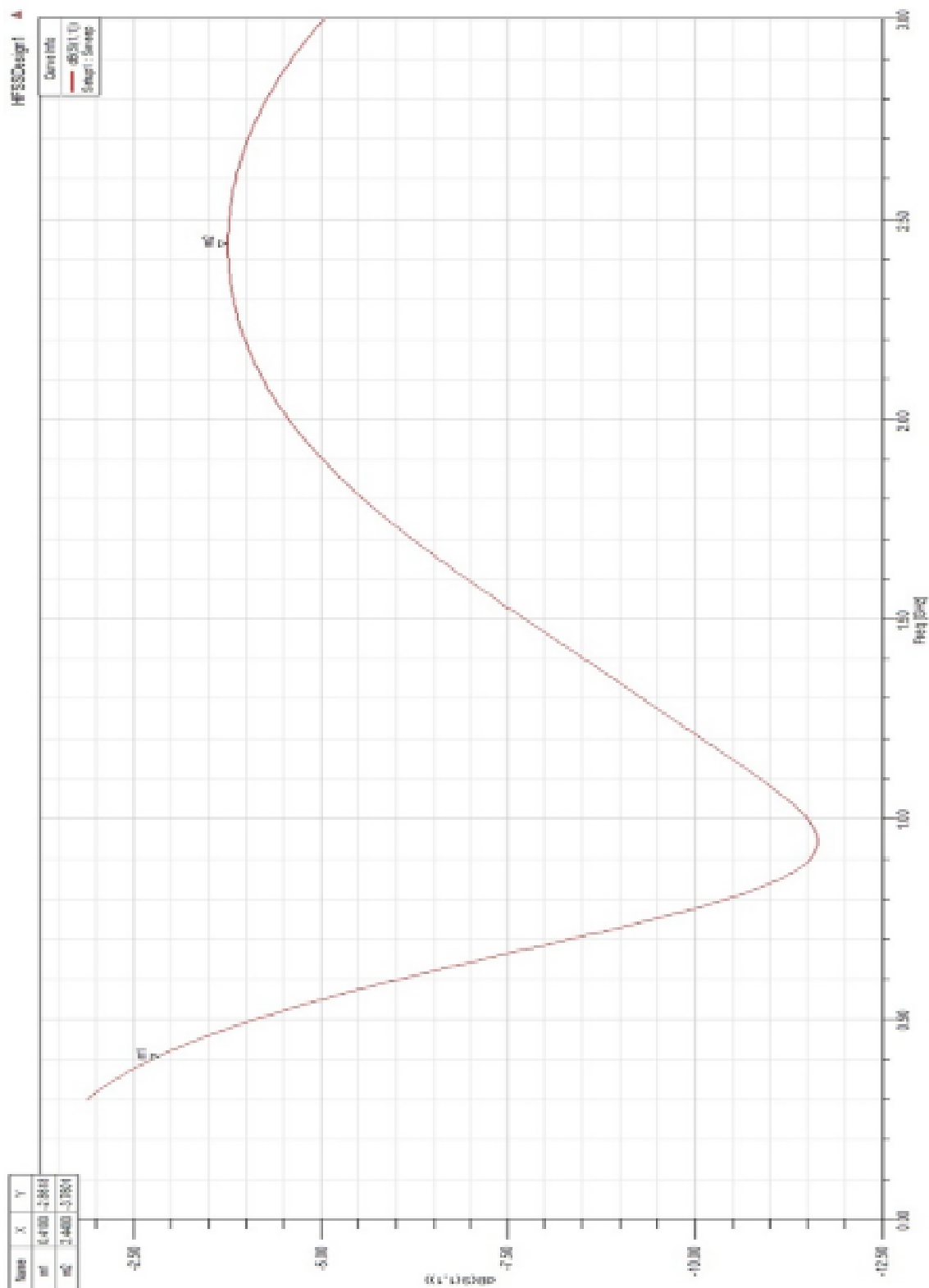
λ byla vypočítána podle vzorce (1.2):

λ délka vlny v substrátu, c značí rychlost světla, f frekvence pro kterou má být λ vypočítána, ϵ_r relativní permitivita substrátu.

Mikropásek byl zvolen pomocí programu AppCAD Desing Assistant a následně upraven pro zlepšení parametru S_{11} .

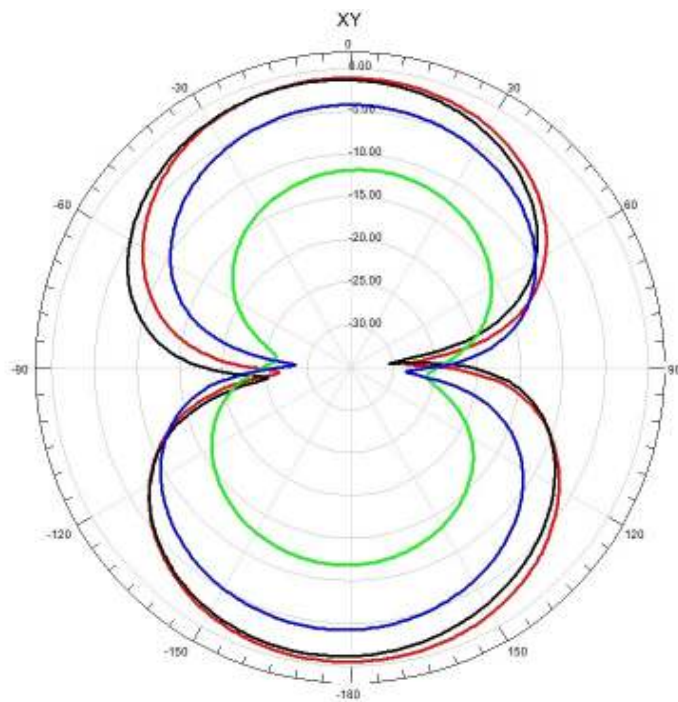
Anténa je napájena z koaxiálního vedení o $Z_0=50\Omega$.

$\lambda/4$ pro 1GHz	:	36,6mm
délka rozevřené strany	:	59,52mm
šířka mikropásku	:	1,7mm

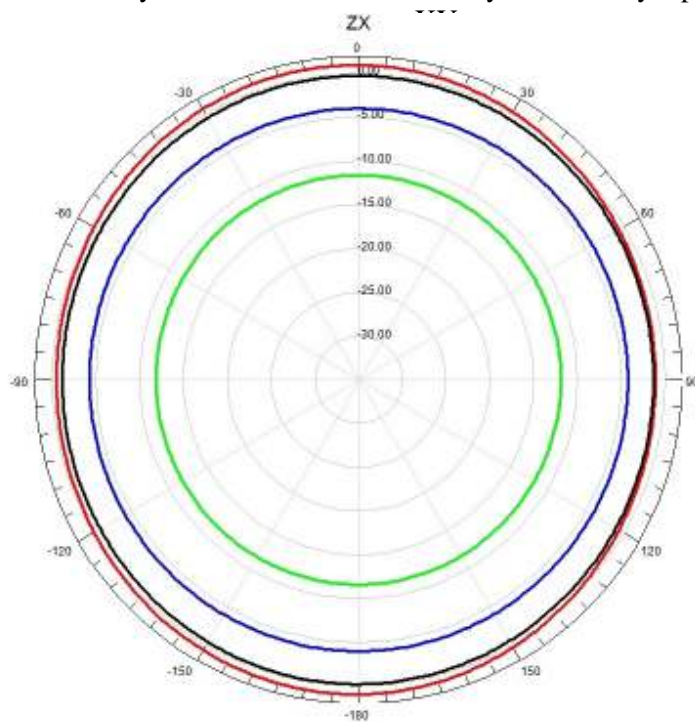


Obrázek 2.1.3 : parametr S_{11} motýlkové

Pásmo, ve kterém anténa vyzáruje podle požadované hodnoty S_{11} je od 410MHz do 3GHz.



Obrázek 2.1.5 : vyzářovací charakteristika motýlkové antény v ploše



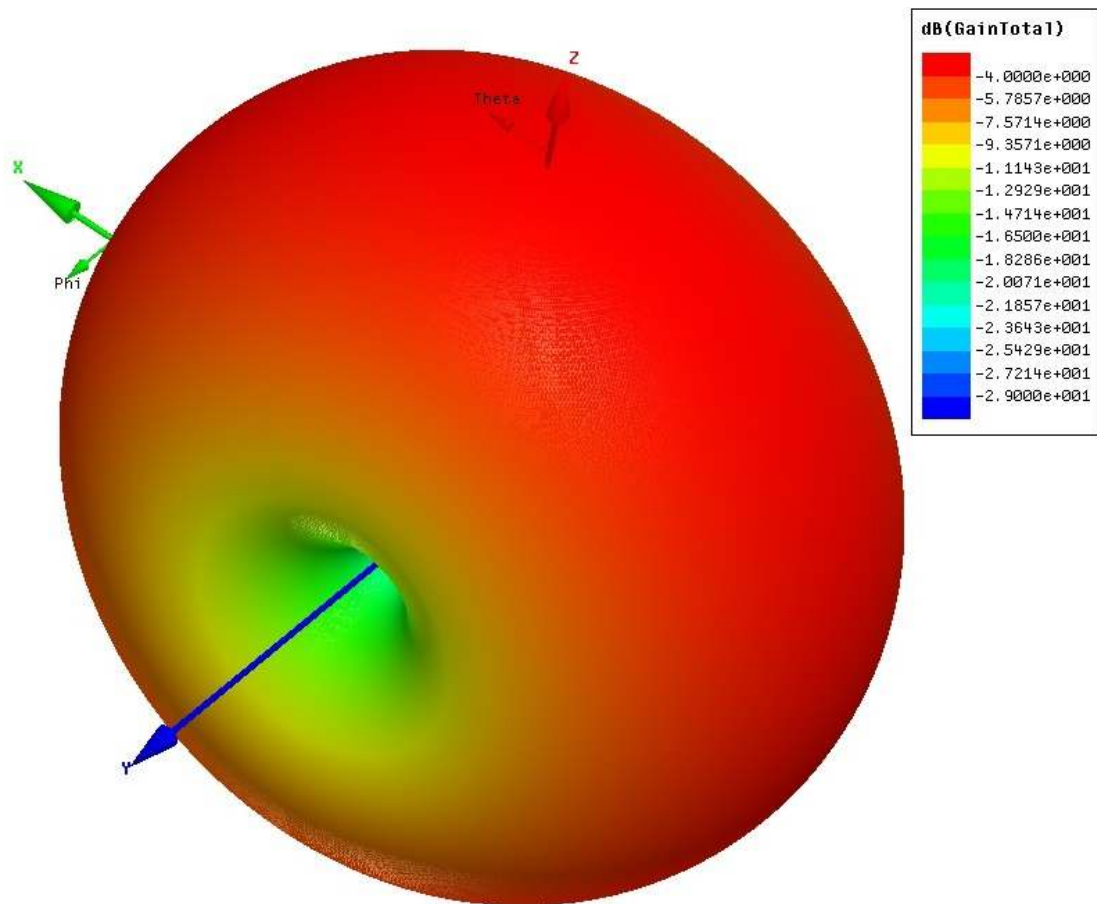
Obrázek 2.1.4 : vyzářovací charakteristika motýlkové antény v ploše ZX

Zelená křivka: vyzářování na frekvenci 0,41GHz

Modrá křivka: vyzářování na frekvenci 1GHz

Černá křivka: vyzářování na frekvenci 2GHz

Červená křivka: vyzářování na frekvenci 3GHz



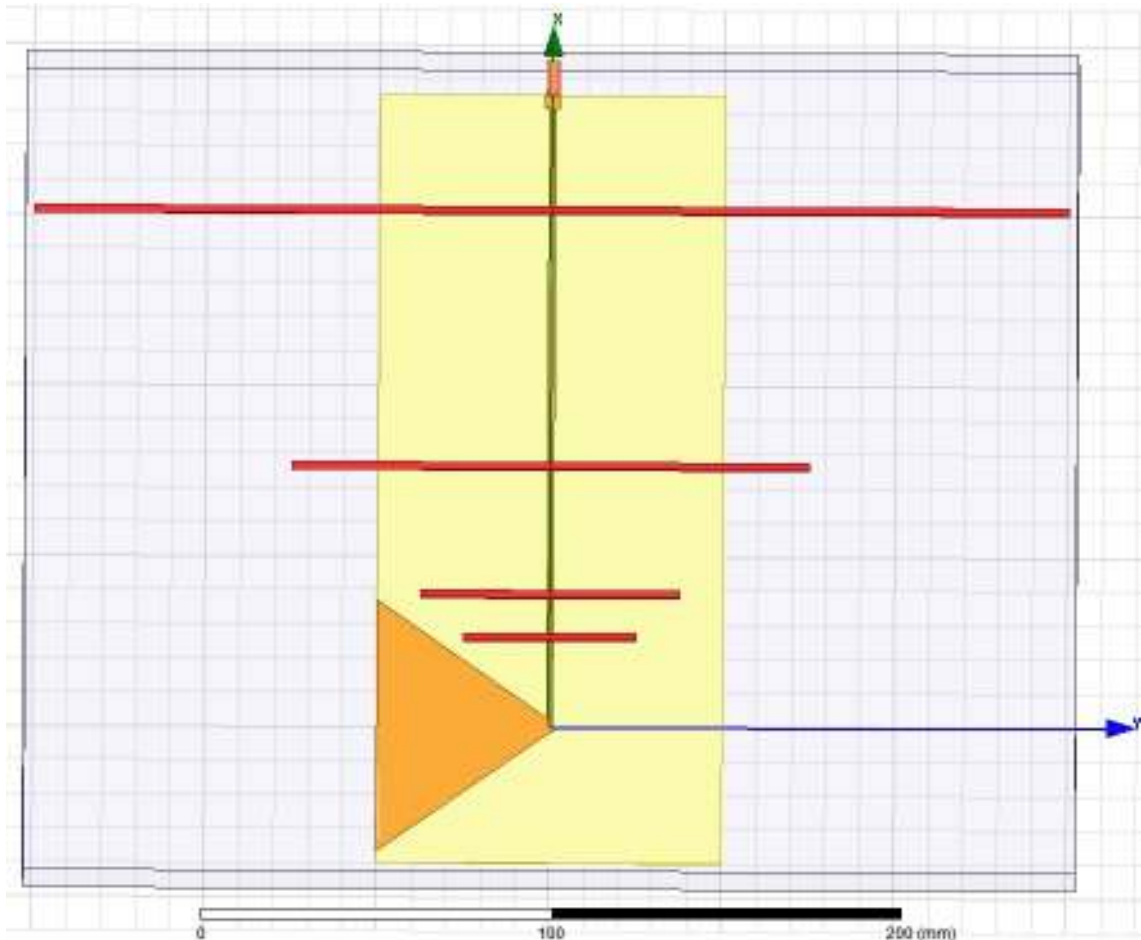
Obrázek 2.1.6 : 3D vyzařovací diagram pro frekvenci 1GHz

Na jiných frekvencích se tvar vyzařovací charakteristiky neměnil, pouze se měnila hodnota zisku při dané frekvenci.

2.2 Motýlková anténa s reflektory

Předchozí motýlková anténa vyzařovala před sebe (směr $-x$), dozadu (směr $+x$, směr ze kterého je přivedeno napájení), nahoru (směr $+z$) a dolů (směr $-z$). Pro potlačení vyzařování dozadu byly přidány reflektory, které jsou dlouhé $\lambda/2$ a vzdálené od středu dipólu $\lambda/4$. Parametry jsou shodné s předchozí anténou. Pouze bylo prodlouženo mikropáskové vedení a délka rozevřené strany má 73,52mm.

Anténa leží v ploše XY.



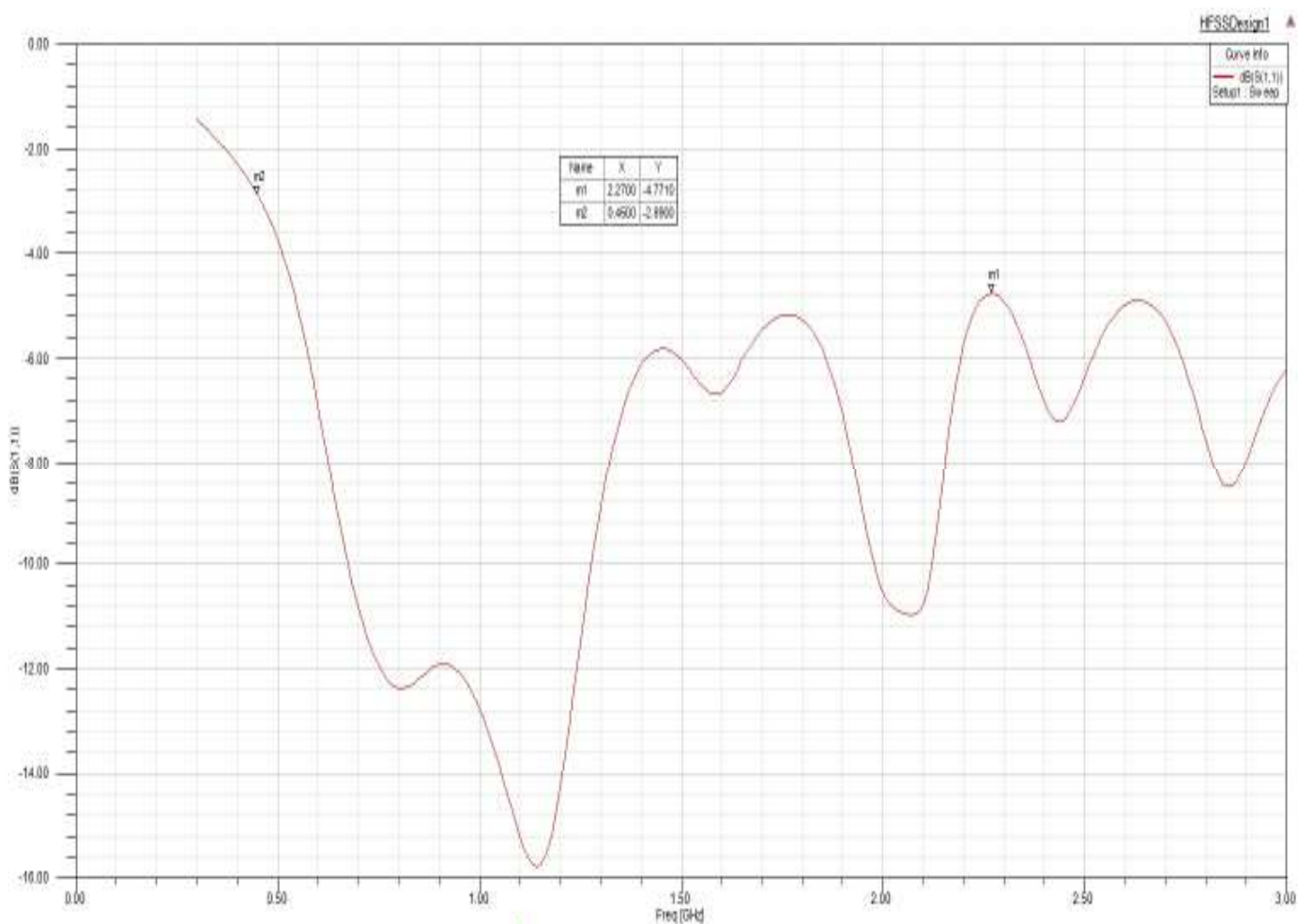
Obrázek 2.2.1 : zemnicí strana motýlková anténa s reflektory

Protože reflektory jsou umístěny ve vzdálenosti 1mm od substrátu, Nebyly navrhovány pro vlnu, která se šíří substrátem, ale pro vlnu, která se šíří vzduchem. K výpočtu byl použit vzorec (1.1)

Rozměry reflektorů jsou 2mm x $\lambda/2+10\%$ z $\lambda/2$ x 2mm a jsou měděné.

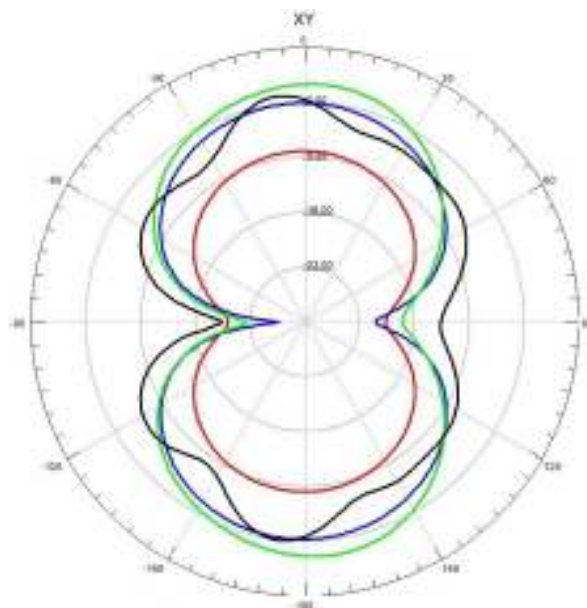
Tabulka 2.1: parametry jednotlivých reflektorů

Frekvence pro kterou je reflektor navržen [MHz]	Délka reflektoru [cm]	Vzdálenost umístění reflektoru od středu dipólu [cm]
500	33	15
1000	16,5	7,5
2000	8,25	3,75
3000	5,5	2,5

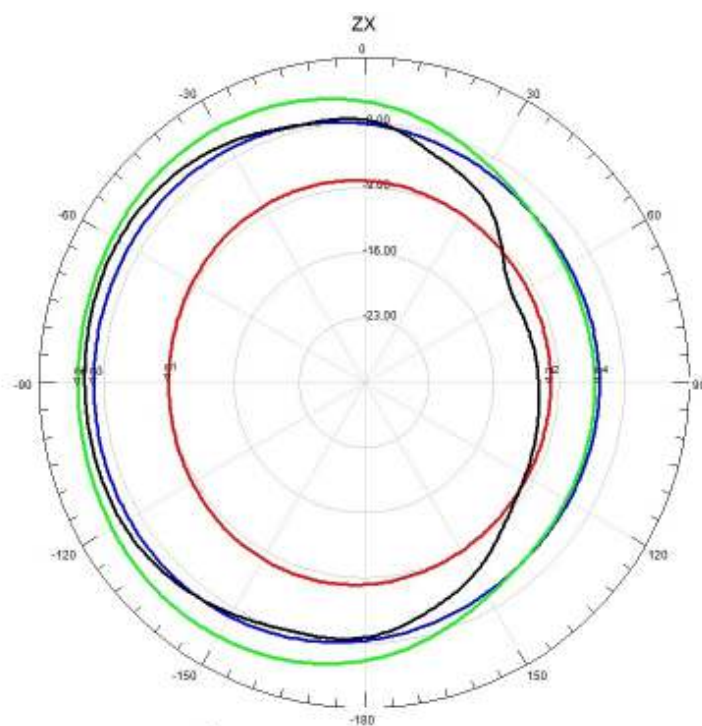


Obrázek 2.2.2 : Parametr S_{11} motýlkové antény s reflektorem

Pásmo, ve kterém anténa vyzařuje a splňuje daný parametr S_{11} , je od 460 MHz do 3GHz

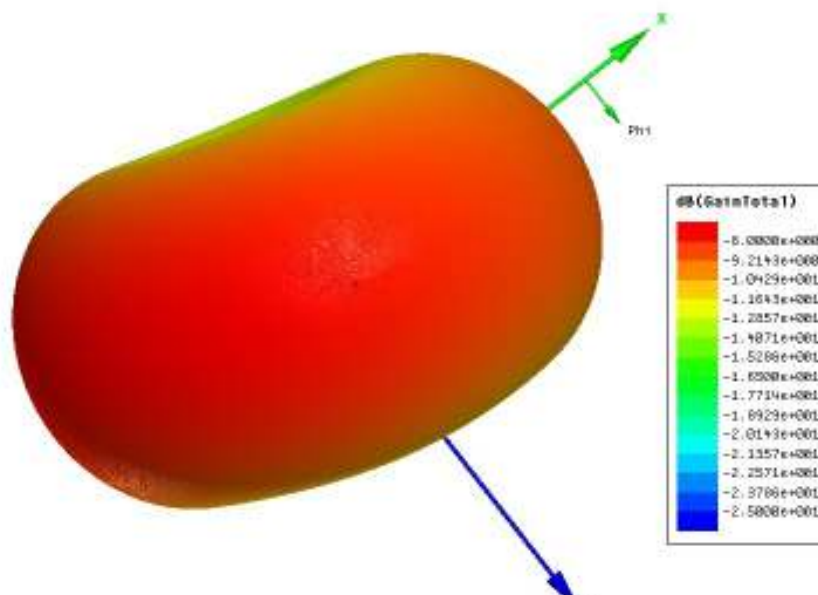


Obrázek 2.2.3 : vyzářovací charakteristika motýlkové antény s reflektory v ploše XY

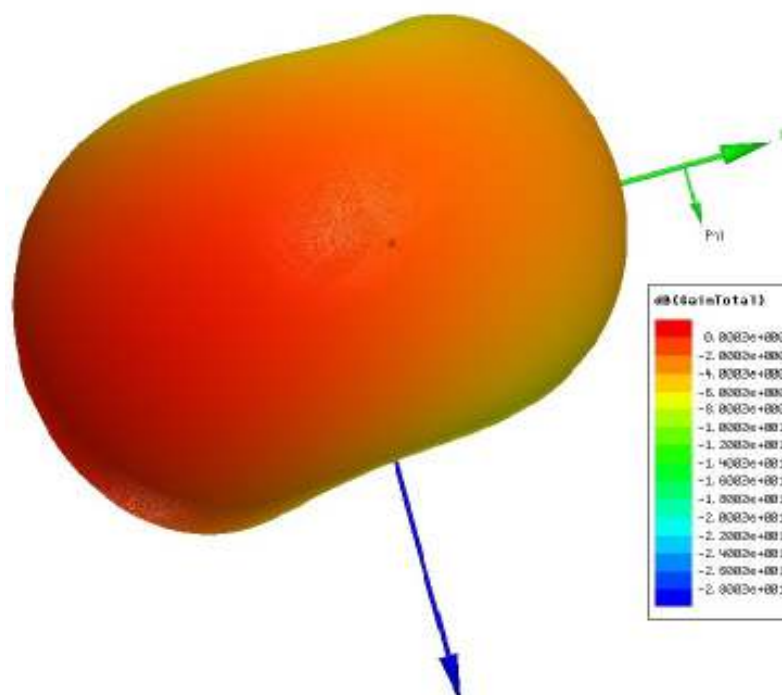


Obrázek 2.2.4 : vyzářovací charakteristika motýlkové antény s reflektory v ploše ZX

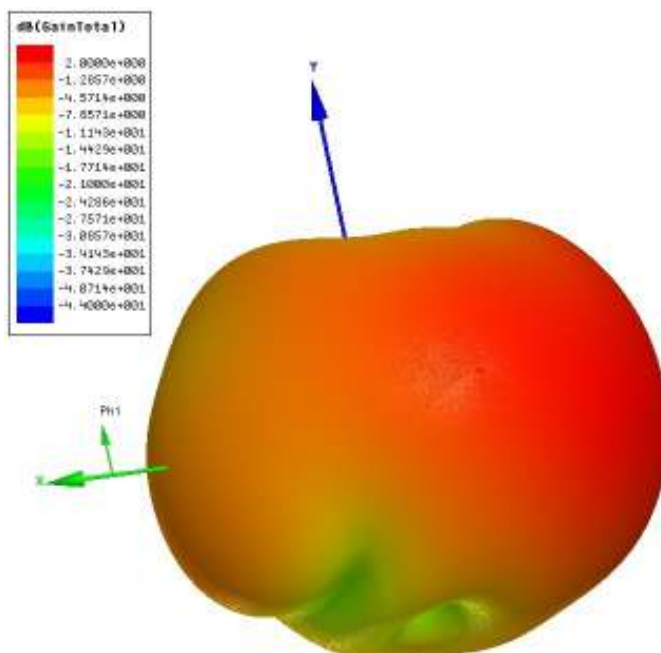
Červená křivka pro	0,45GHz
Modrá křivka pro	1GHz
Zelená křivka pro	2GHz
Černá křivka pro	3GHz



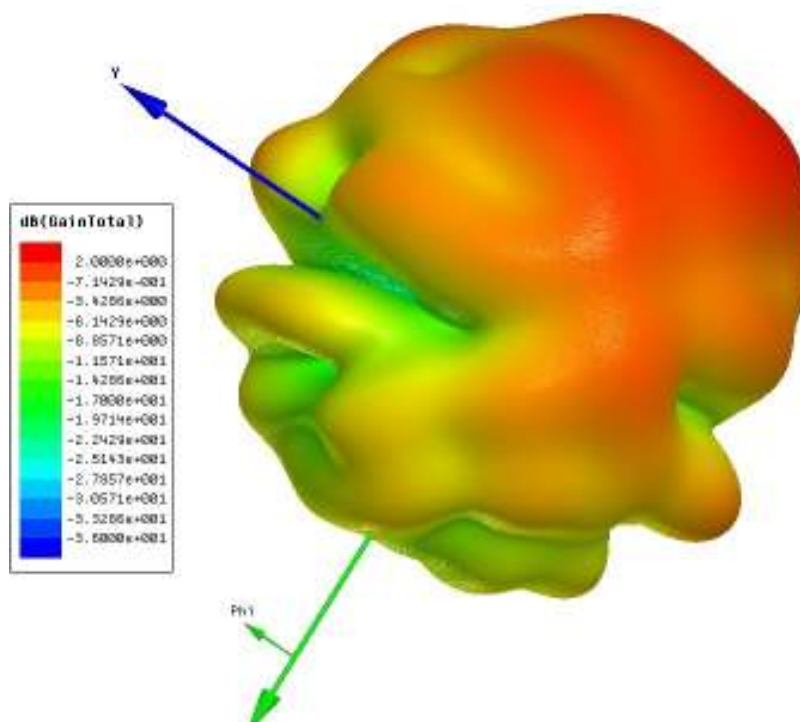
Obrázek 2.2.6 : 3D vyzářovací charakteristika motýlkové antény s reflektory pro 450 MHz



Obrázek 2.2.5 : 3D vyzářovací charakteristika motýlkové antény s reflektory pro 1GHz



Obrázek 2.2.7 : 3D vyzařovací charakteristika motýlková antény s reflektory pro 2GHz



Obrázek 2.2.8 : 3D vyzařovací charakteristika motýlkové antény s reflektory pro 3GHz

2.3 Logaritmicko-periodická anténa

U návrhu Logaritmicko-periodické antény bylo postupováno podle následujících bodů:

1. Výpočet délky ramene pro nejmenší frekvenci, pro kterou má být anténa navržena.

Délku ramene byla vypočítána podle vzorce (1.2). $\lambda_{300\text{MHz}}/2=0,24398\text{m}$

2. Vypočítání šířky mikropásku W_L a W_N

Pomocí vzorce (1.5) byla vypočítána šířka mikropásku W_L a W_N na 2,6mm.

3. Zvolení poměru τ

Tento poměr byl zvolen podle článku [2], kde byla tato hodnota použita. A to $\tau=0.88$

4. Zvolení hodnoty S_N

Tato hodnota byla zvolena experimentálně a to $S_N = 30\text{mm}$

5. Zvolení počtu ramen pro logaritmicko-periodickou anténu a výpočet frekvence pro $\lambda/2$

Pomocí vzorce (1.4) byly vypočítány rozměry jednotlivých ramen a po úpravě vzorce (1.2) i frekvence pro $\lambda/2$ jednotlivých ramen pro zjištění širokopásmovosti.

6. Modelace antény v programu ANSYS HFSS a odsimulování navržené antény

7. Změna poměru τ a sledování vlivu na parametr S_{11}

Z důvodu zvětšení širokopásmovosti a zmenšení antény byl upraven poměr τ .

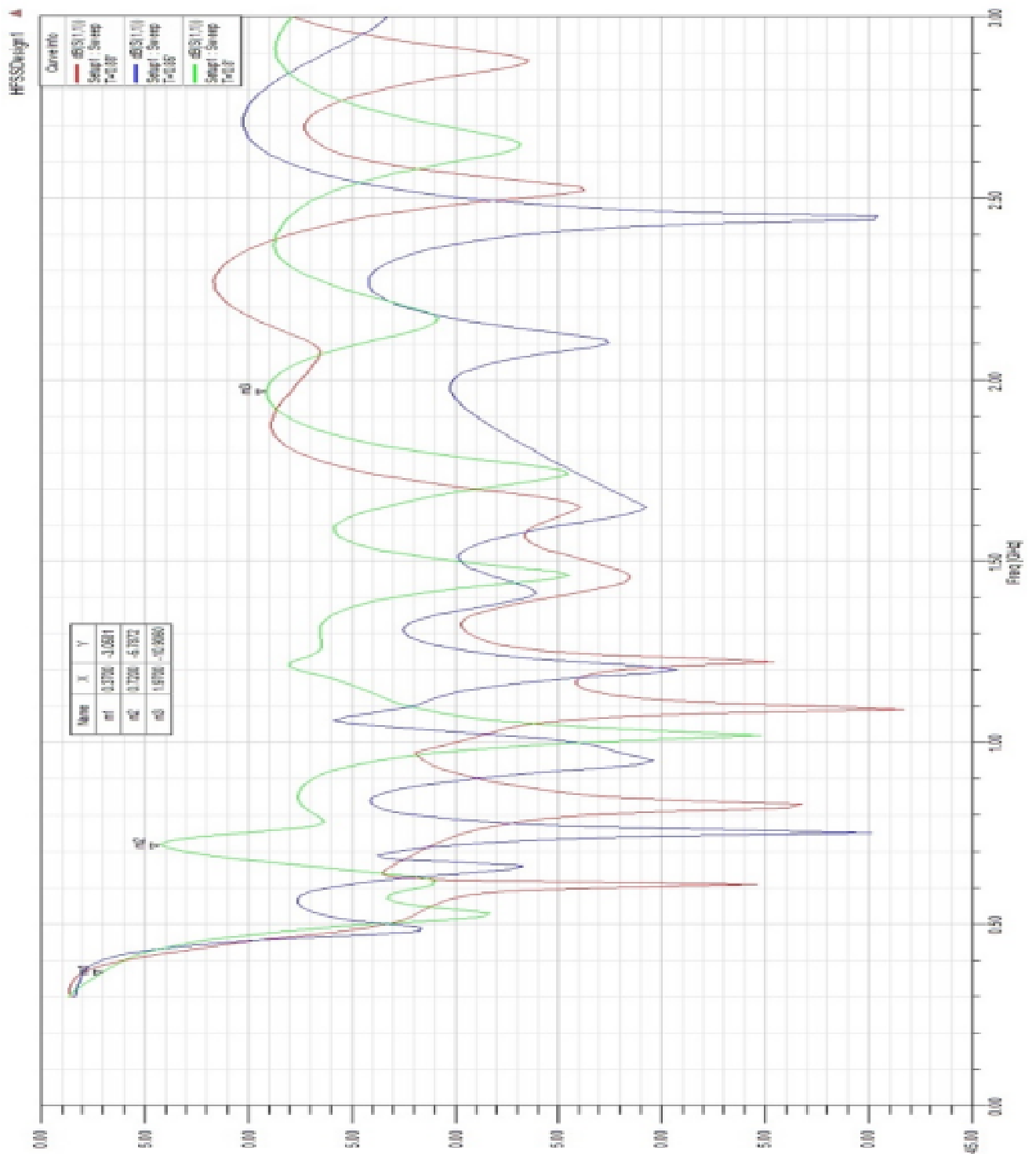
Byly vyzkoušeny hodnoty $\tau=0.85$ a $\tau=0.8$.

V tabulce 2.2, jsou zaznamenány délky jednotlivých ramen a frekvence, na kterých vyzařují v závislosti na τ .

Tabulka 2.2 : délka navržených dipólů a frekvence pro $\lambda/2$ v závislosti na τ

Pořadí ramene	$\tau = 0.88$		$\tau = 0.85$		$\tau = 0.8$	
	Délka [mm]	Frekvence [MHz]	Délka [mm]	Frekvence [MHz]	Délka [mm]	Frekvence [MHz]
1	243,98	300,00	243,98	300,00	243,98	300,00
2	214,70	340,91	207,38	352,94	195,18	375,00
3	188,93	387,40	176,27	415,22	156,14	468,75
4	166,26	440,22	149,83	488,50	124,92	585,94
5	146,31	500,25	127,36	574,71	99,93	732,42
6	128,75	568,47	108,25	676,12	79,95	915,53
7	113,30	645,99	92,02	795,44	63,96	1144,41
8	99,71	734,08	78,21	935,81	51,17	1430,51
9	87,74	834,18	66,48	1100,96	40,93	1788,14
10	77,21	947,93	56,51	1295,24	32,75	2235,17
11	67,95	1077,20	48,03	1523,81	26,20	2793,97
12	59,79	1224,09	40,83	1792,72	20,96	3492,46
13	52,62	1391,01	34,70	2109,09	16,77	4365,57
14	46,30	1580,69	29,50	2481,28	13,41	5456,97
15	40,75	1796,24	25,07	2919,15	10,73	6821,21
16	35,86	2041,18	21,31	3434,29	8,58	8526,51
17	31,55	2319,52	18,12	4040,34	6,87	10658,14
18	27,77	2635,82	15,40	4753,35	5,49	13322,68
19	24,44	2995,25	13,09	5592,17	4,40	16653,35

Na následujícím obrázku 2.3.1 je zaznamenán vliv τ na parametr S11

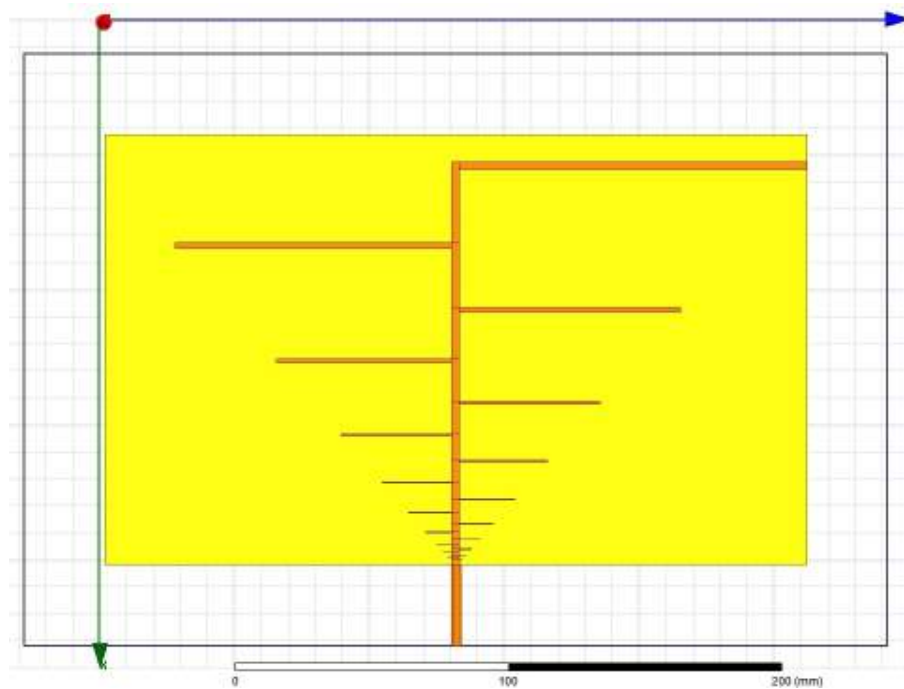


Obrázek 2.3.1 : parametr S11 pro log-per anténu v závislosti na τ
 zelená křivka $\tau=0,8$
 modrá křivka $\tau=0,85$
 červená křivka $\tau=0,88$

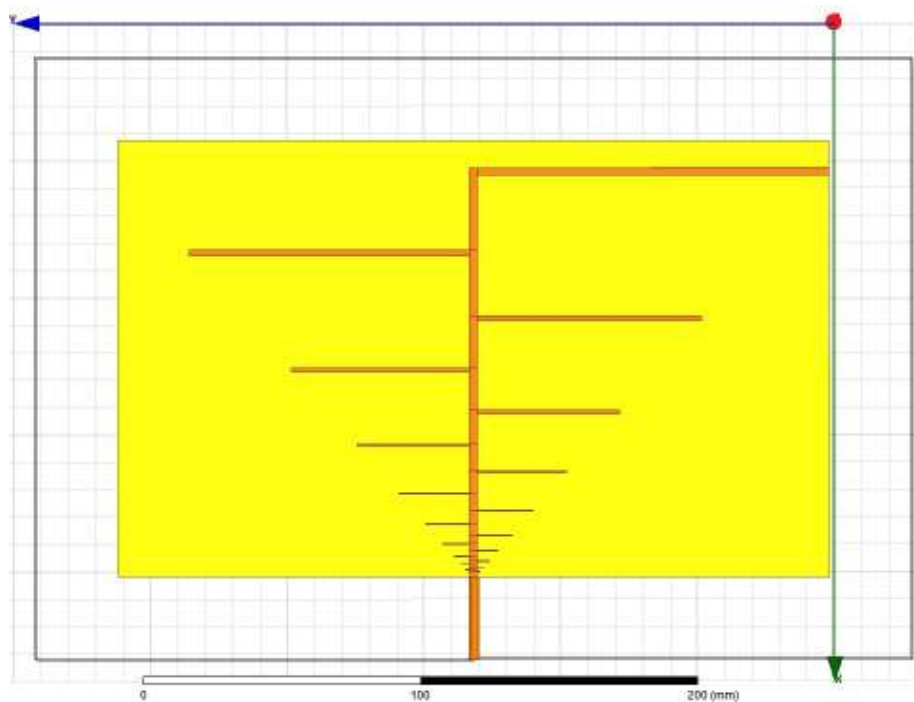
Anténa vyzařuje pro $\tau=0,8$ od 370MHz do 3GHz. Teoreticky od 370MHz do 16GHz podle délky $\lambda/2$ posledního dipólu.

Podle obrázku 2.3.1 byla navržena anténa pro $\tau = 0.8$

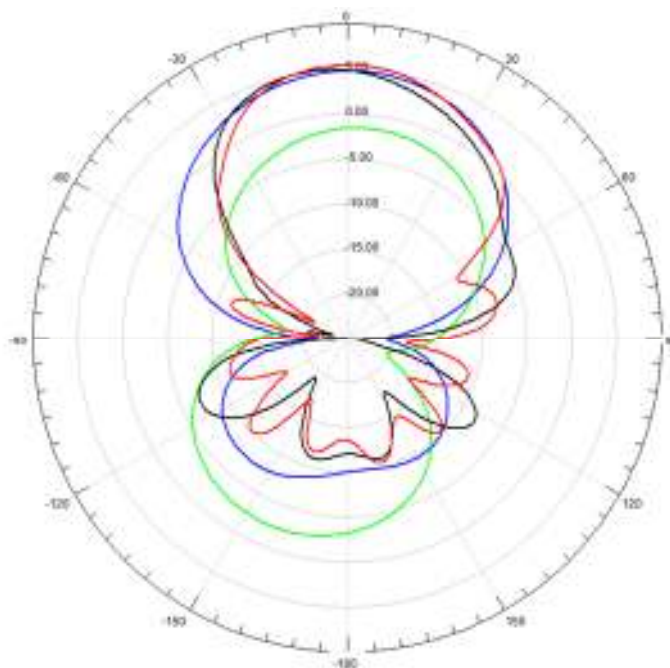
Anténa leží v ploše XY.



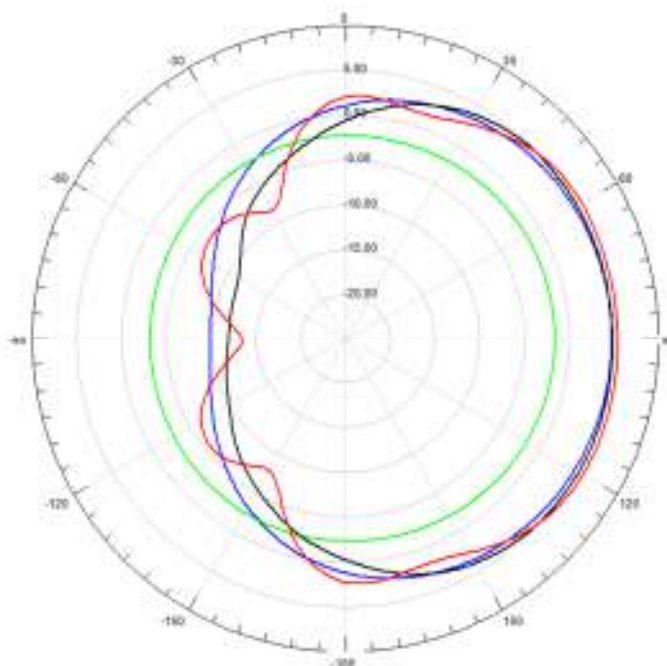
Obrázek 2.3.2 : napájecí strana log-per antény



Obrázek 2.3.3 : zemní strana log-per antény

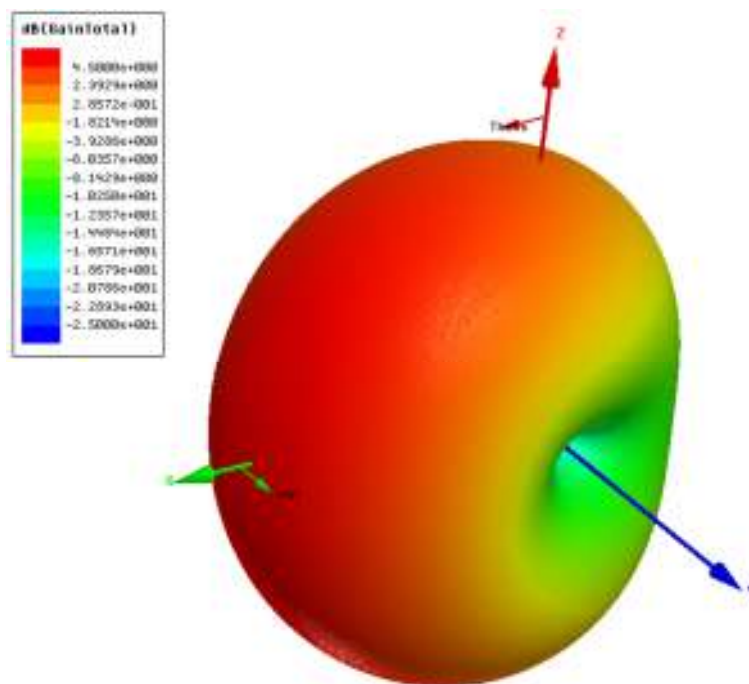


Obrázek 2.3.4 :vyzařovací charakteristika log-per antény v ploše XY

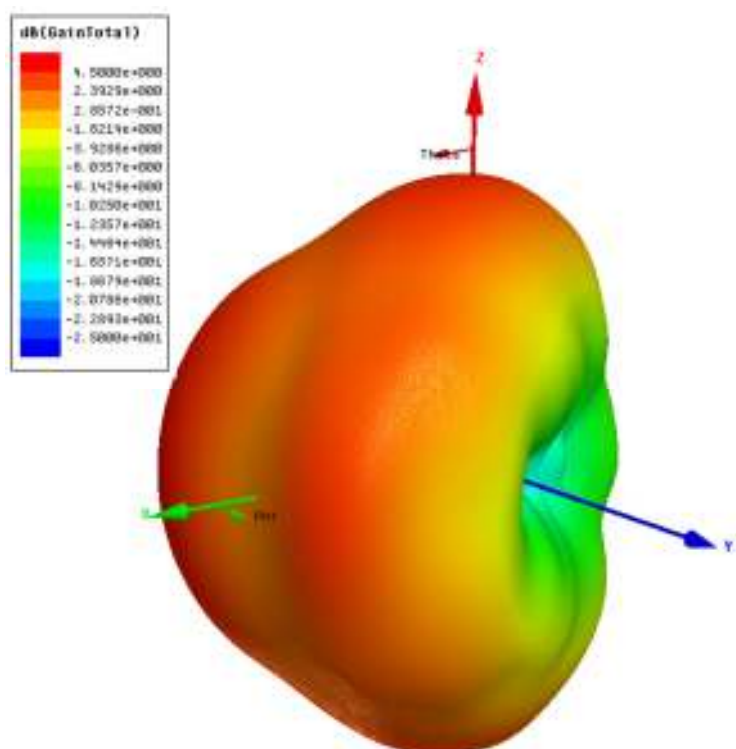


Obrázek 2.3.5 :vyzařovací charakteristika log-per antény v ploše ZX

Zelená křivka pro	0,4GHz
Modrá křivka pro	1GHz
Černá křivka pro	2GHz
Červená křivka pro	3GHz



Obrázek 2.3.6 :3D vyzářovací charakteristika log-per antény pro 1GHz



Obrázek 2.3.7 : 3D vyzářovací charakteristika log-per antény pro 3GHz

8. Změna parametru S

Z důvodu dalšího zmenšení antény se zmenšil parametr S na 15mm a sledoval se vliv na vyzářovací charakteristiku antény a vliv na parametr S_{11} .

9. Zmenšení počtu ramen

V následující tabulce 2.3 jsou zaznamenány šířky mikropásků jednotlivých ramen pro $\tau=0.8$.

Tabulka 2.3: šířka mikropásku ramen log-per antény

Pořadí ramene	Tloušťka ramen Log-per antény [μm]
1	2600
2	2080
3	1664
4	1331,2
5	1064,96
6	851,968
7	681,5744
8	545,2595
9	436,2076
10	348,9661
11	279,1729
12	223,3383
13	178,6706
14	142,9365
15	114,3492
16	91,47937
17	73,18349
18	58,5468
19	46,83744

Z důvodu technologie výroby dané antény byl počet ramen zmenšen na 9, protože další ramena by neměli dostatečnou šířku a mohlo by při výrobě dojít k podleptání.

Deváté rameno je podle tabulky 2.2 navrženo na frekvenci 1778 MHz.

10. Vliv ohybu ramen a vzdálenost ohybu na parametr S_{11} a vyzařovací charakteristiku

Experimentálně byl vyzkoušen vliv ohybu, úhel ohybu a délka ohnutého ramene, délka neohnutého ramene. To vše mělo vést k dalšímu zmenšení antény.

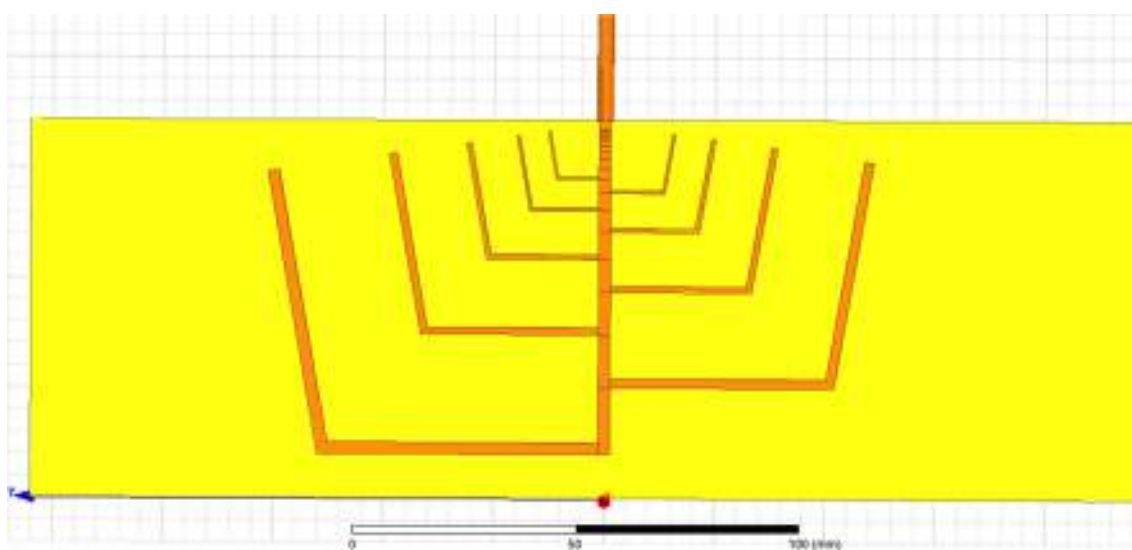
Nejlépe ze simulací vyšli tyto parametry.

Úhel ohybu: 80°

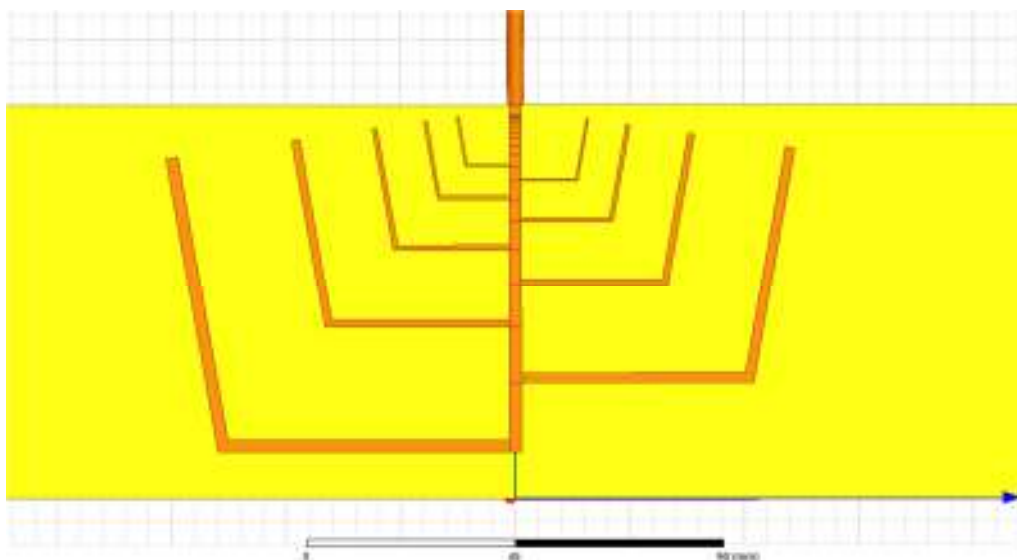
Délka neohnutého ramene: 50% z celkové délky ramene

Délka ohnutého ramene: 50% z celkové délky ramene

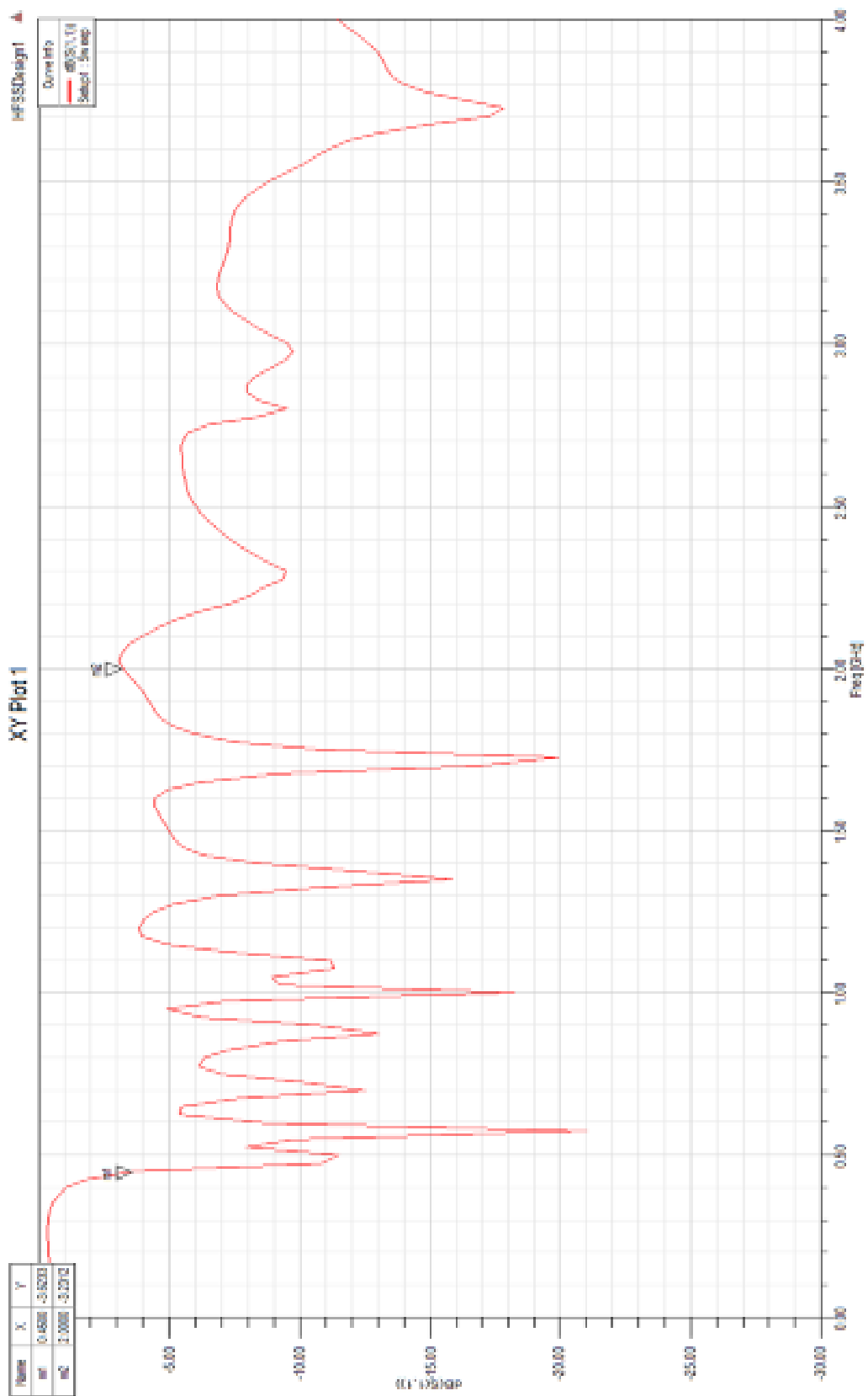
Anténa leží v ploše XY



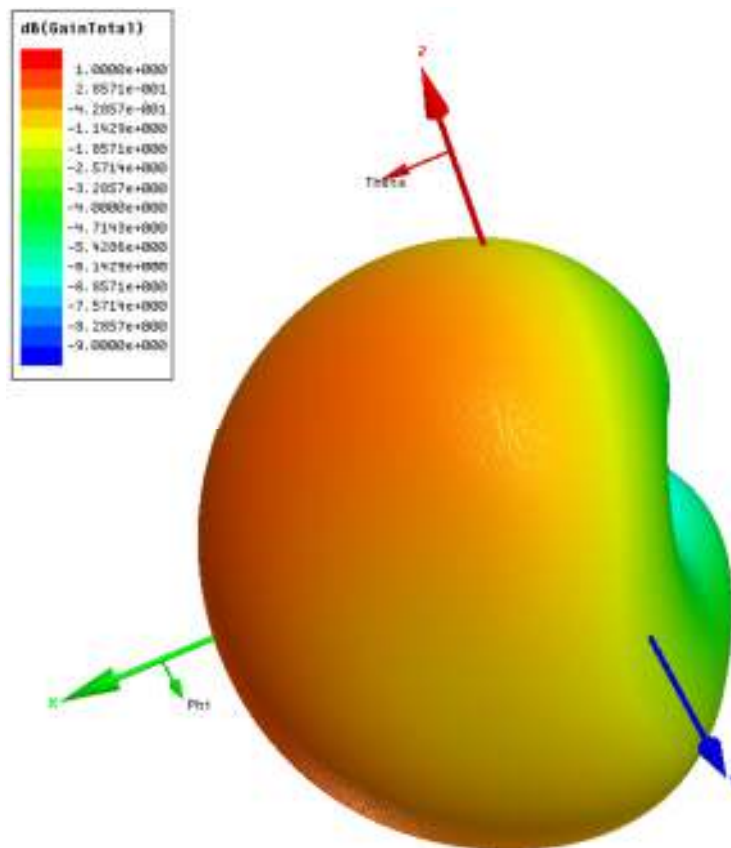
Obrázek 2.3.8 :napájecí strana log-per antény



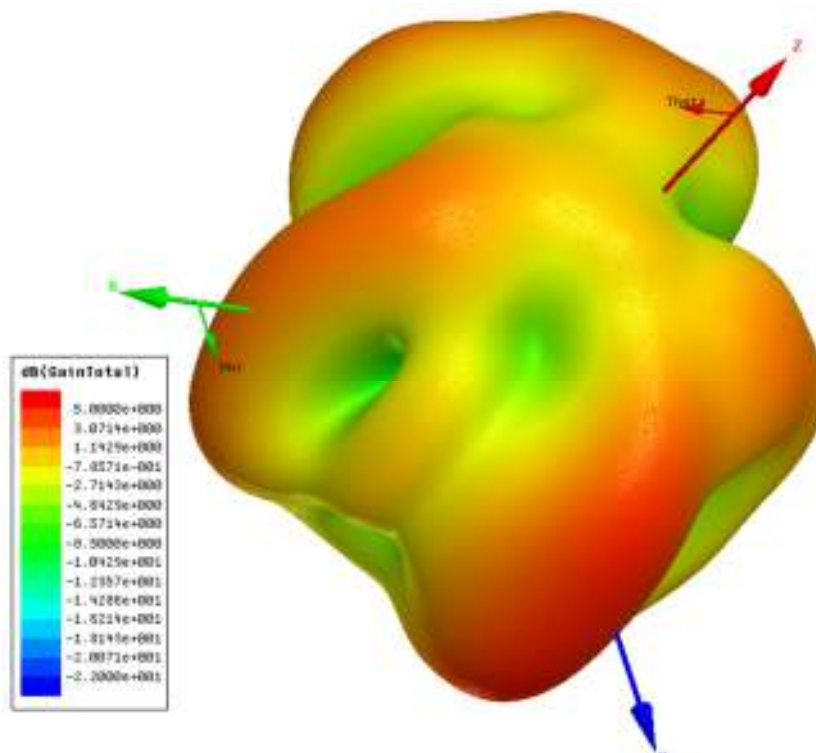
Obrázek 2.3.9 :zemní strana log-per antény



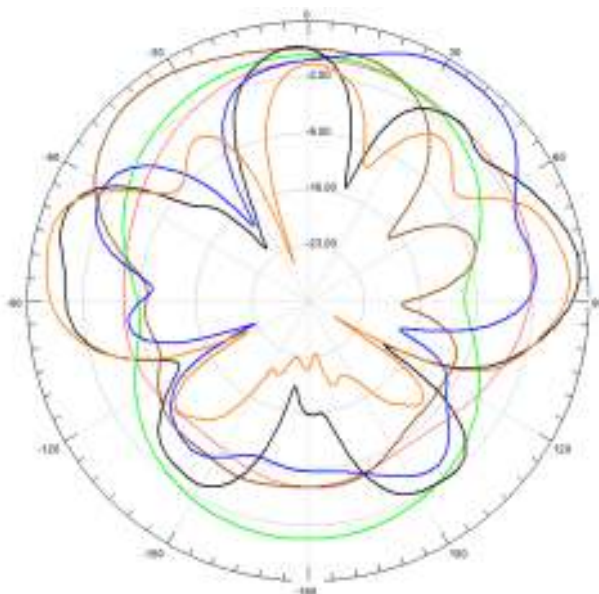
Obrázek 2.3.10 : parametr S_{11} logaritmicke-periodické antény



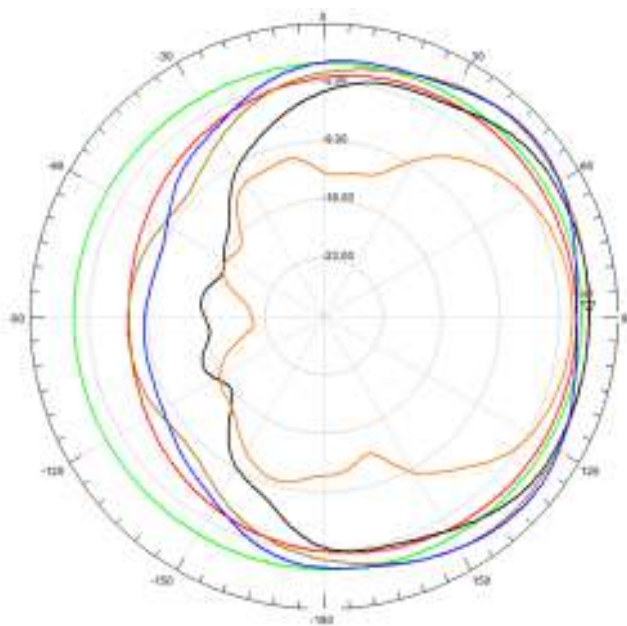
Obrázek 2.3.11 : 3D vyzařovací charakteristika logaritmicko-periodické antény pro 1GHz



Obrázek 2.3.12 : 3D vyřazovací charakteristika logaritmicko-periodické antény pro 3GHz



Obrázek 2.3.13 : Vyzařovací charakteristika v ploše logaritmicko-periodické antény XY

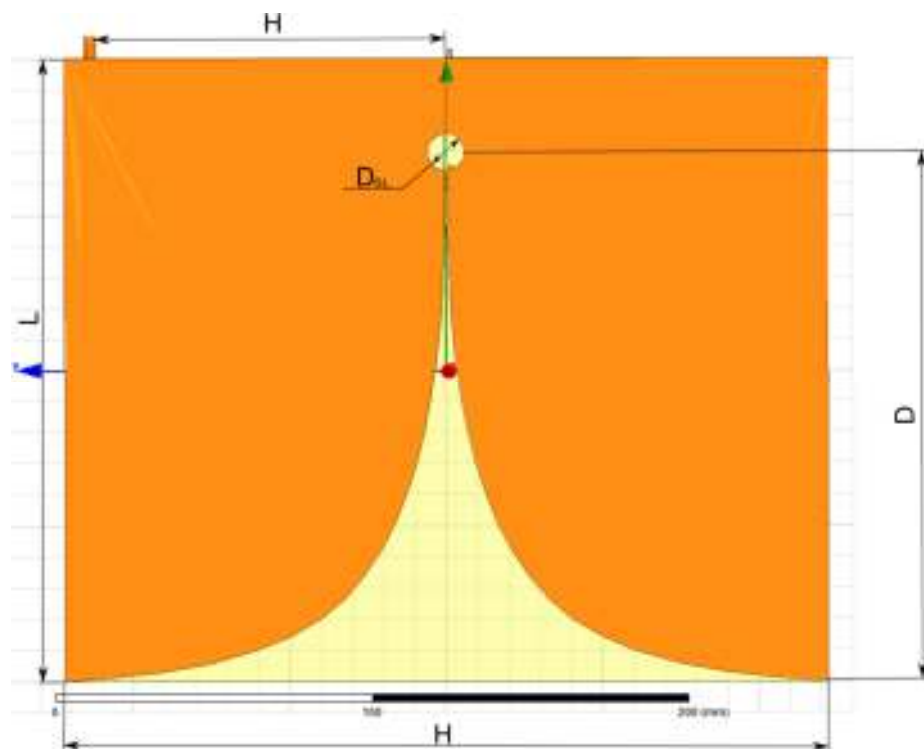


Obrázek 2.3.14 : Vyzařovací charakteristika logaritmicko-periodické antény v ploše XZ

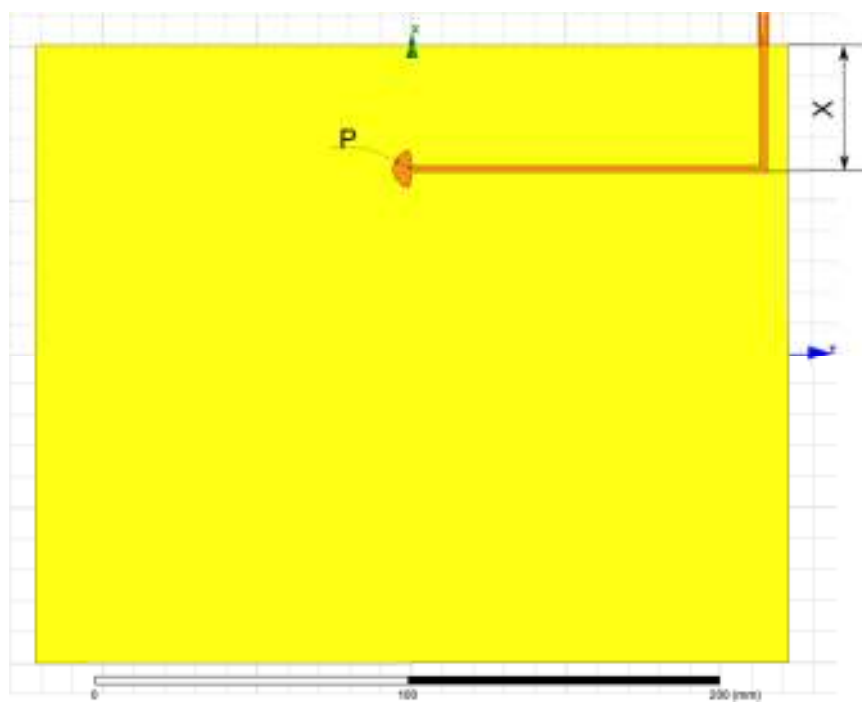
- Zelená křivka pro 0,5GHz
- Červená křivka pro 1GHz
- Hnědá křivka pro 2GHz
- Modrá křivka pro 2,5GHz
- Černá křivka pro 3GHz
- Oranžová křivka pro 3,5GHz

2.4 Vivaldiho anténa

Anténa leží v ploše XY



Obrázek 2.4.1 : Zemní strana Vivaldiho antény

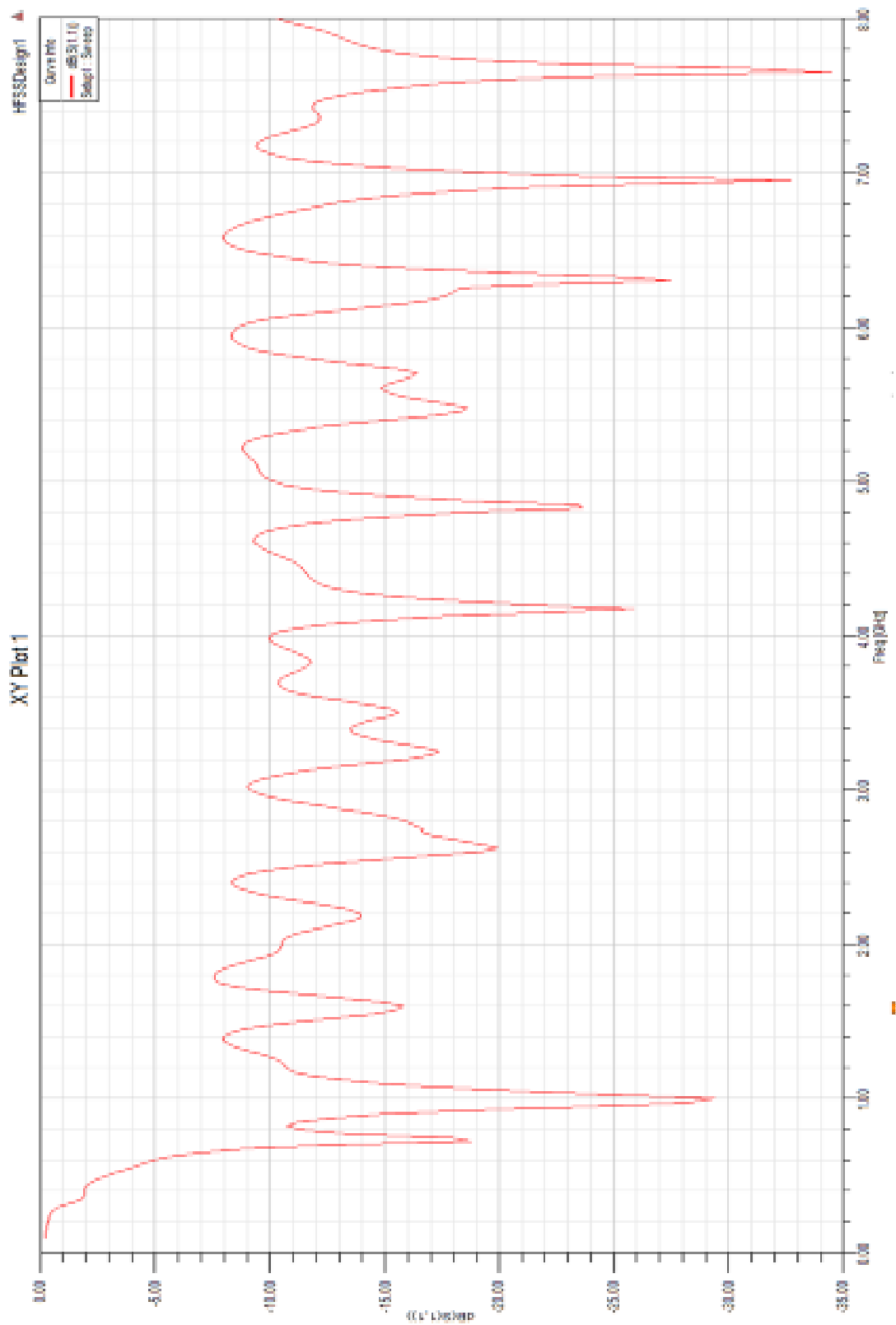


Obrázek 2.4.2 : napájecí strana Vivaldiho antény

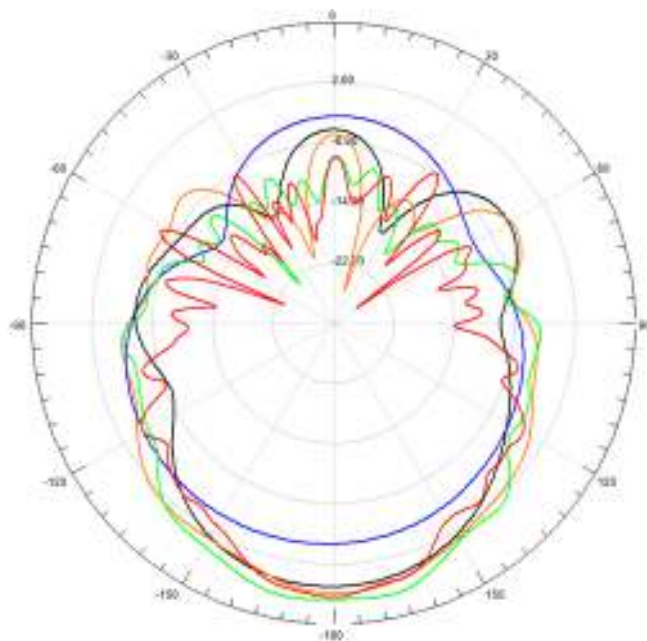
Navržené rozměry Vivaldiho antény (Z.E. = zvoleno experimentálně):

H	vzdálenost napájení od středu antény	Z.E.	113mm
L	hloubka antény	Z.E.	200mm
D _{SL}	průměr kruhu zakončující štěrbinu	Z.E.	12m
D		Z.E.	170mm
H	šířka antény $\lambda/2$ podle vzorce (1.2)		244mm
X		Z.E.	40mm
P	poloměr zakončovací plošky mikropásku	Z.E.	6mm
	Rozevření zakončovací plošky	Z.E.	172°

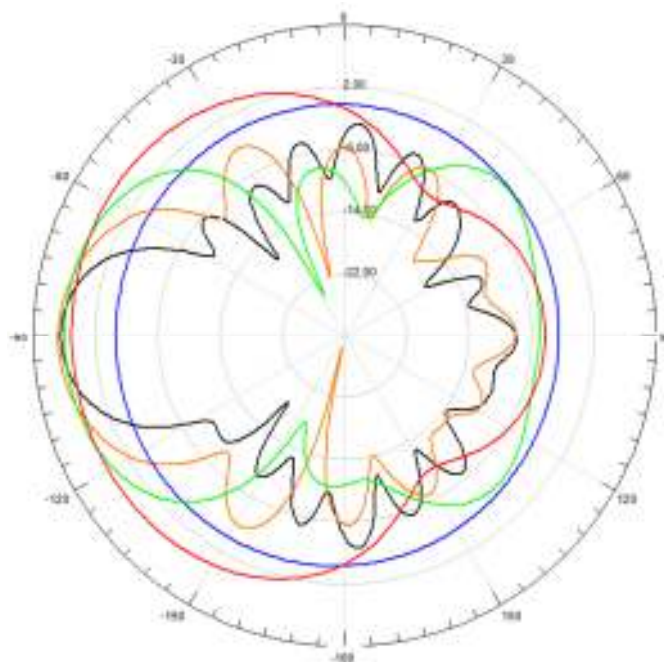
Šířka mikropásku vypočítaného pomocí AppCAD Desing Assistant a upraveno na
2mm



Obrázek 2.4.3 : Parametr S_{11} Vivaldiho antény



Obrázek 2.4.4 : Vyzařovací charakteristika Vivaldiho antény v ploše XY



Obrázek 2.4.5 : Vyzařovací charakteristika Vivaldiho v ploše XZ

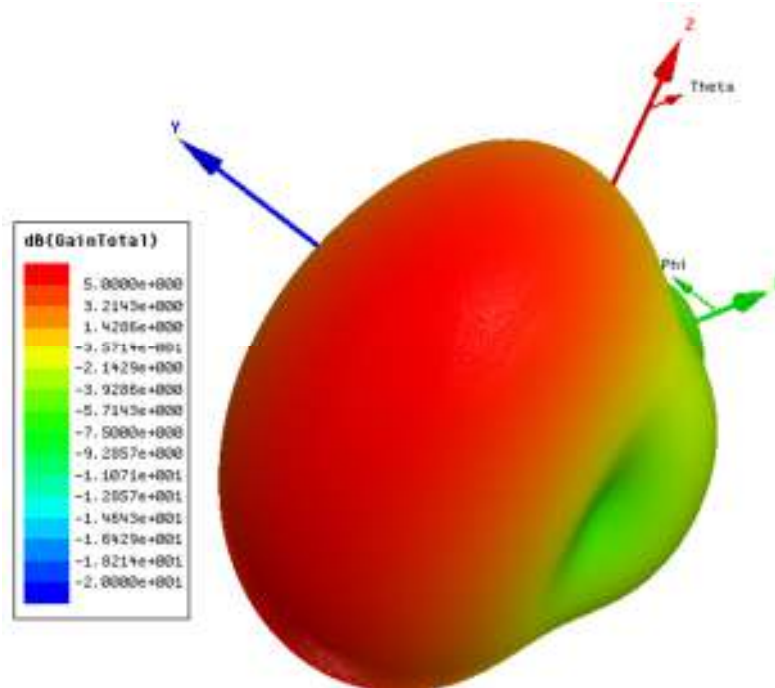
Modrá křivka pro 0,5GHz

Červená křivka pro 1GHz

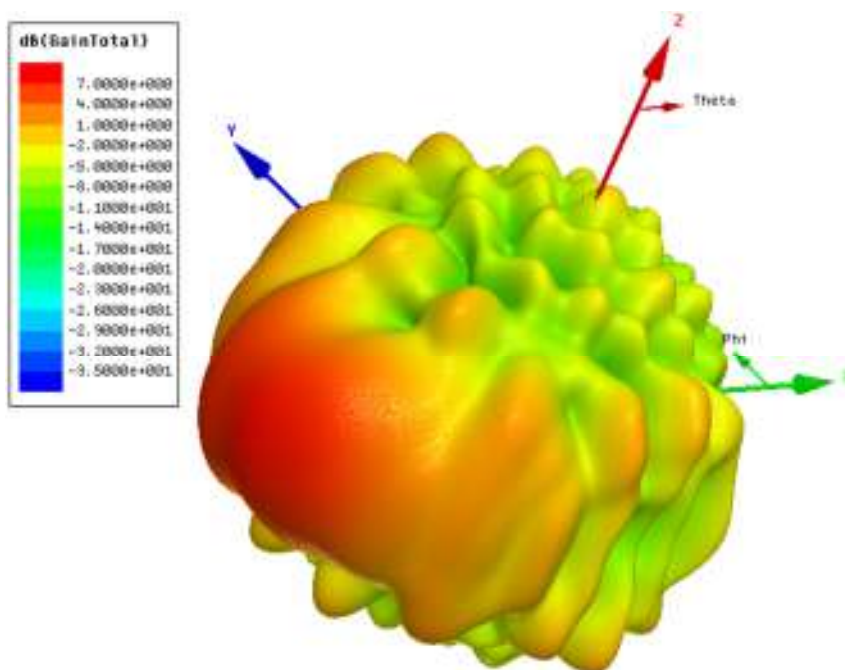
Zelená křivka pro 2GHz

Oranžová křivka pro 4GHz

Černá křivka pro 6GHz



Obrázek 2.4.6 : 3D vyařovací charakteristika Vivaldiho antény pro 1GHz



Obrázek 2.4.7 : 3D vyařovací charakteristika Vivaldiho antény pro 6GHz

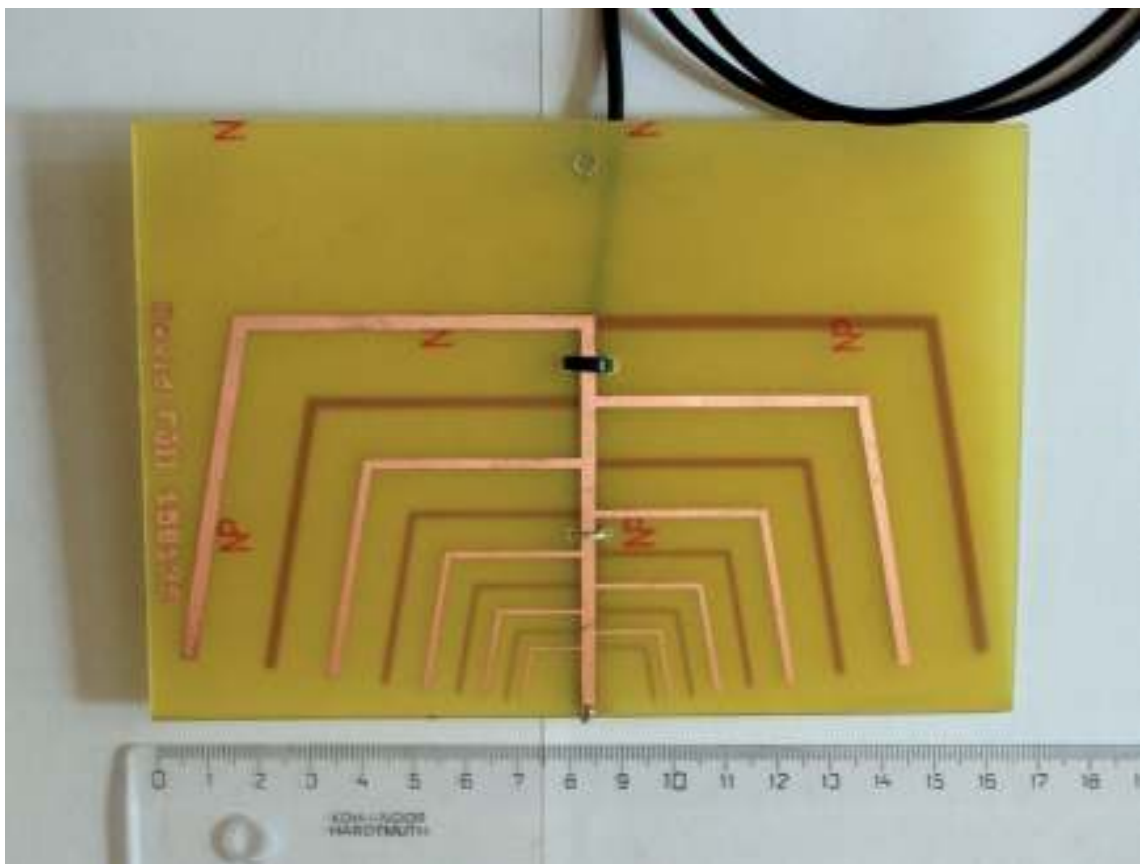
3 PRAKTICKÁ REALIZACE ANTÉN

Fyzicky byly realizovány dvě antény.

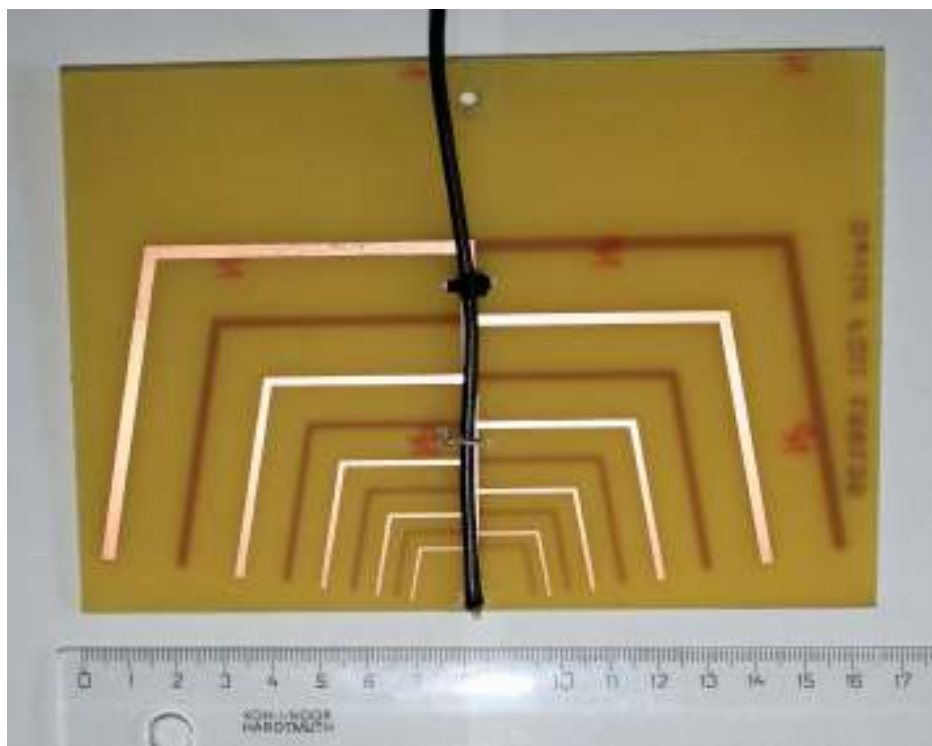
1. Logaritmicko-periodická anténa z důvodu malých rozměrů a tvaru vyzařovací charakteristiky na navržených frekvencích. Nevýhodou je malá šířka pásma.
2. Vivaldiho anténa z důvodů velké šířky pásma a tvaru vyzařovací charakteristiky. Nevýhodou je velký rozměr antény.

Výše zmiňované antény jsou vyrobeny na substrátu FR4.

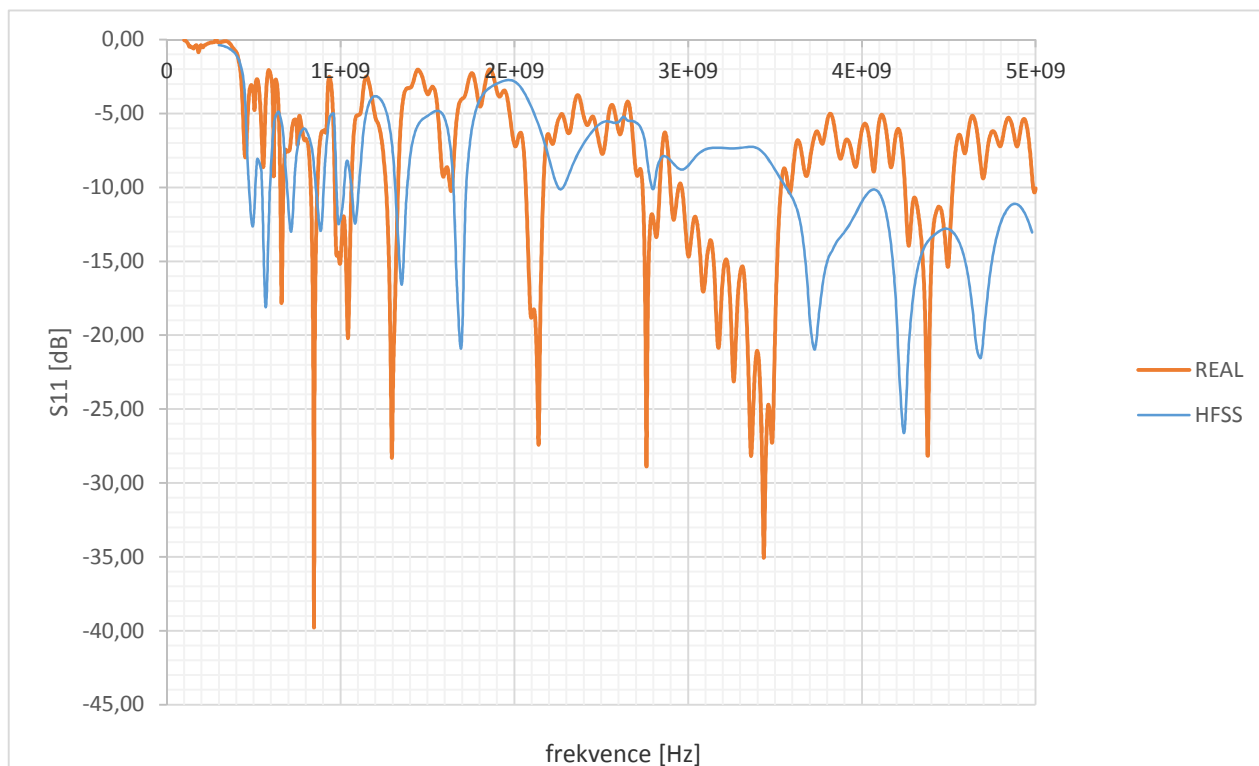
3.1 Logaritmicko-periodická anténa



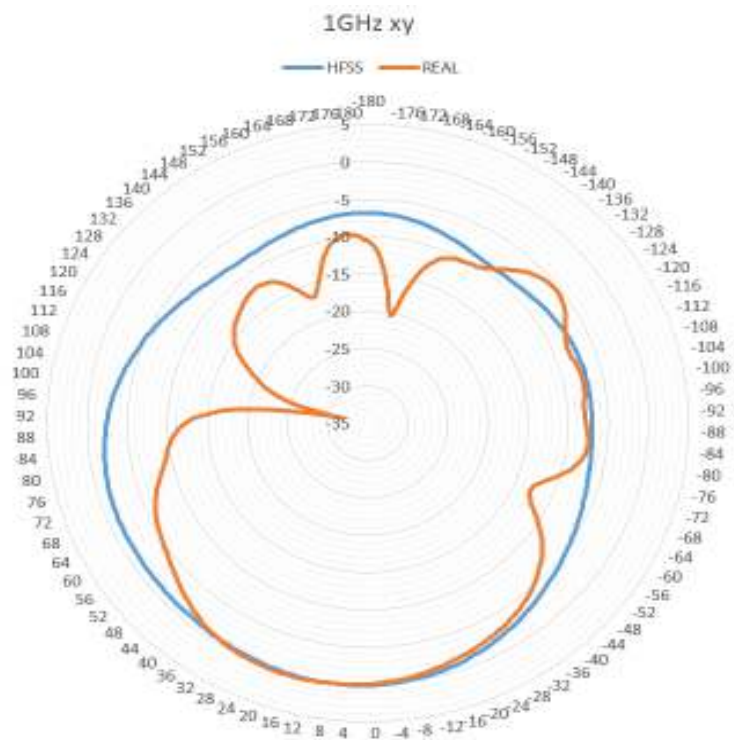
Obrázek 3.1.1 : napájecí strana logaritmicko-periodické antény



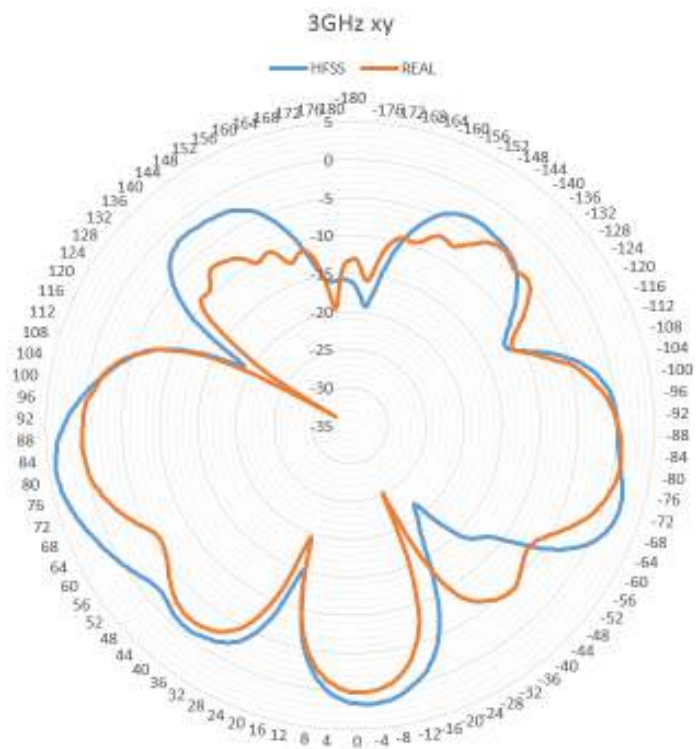
Obrázek 3.1.3 : zemní strana logaritmicke-periodické antény



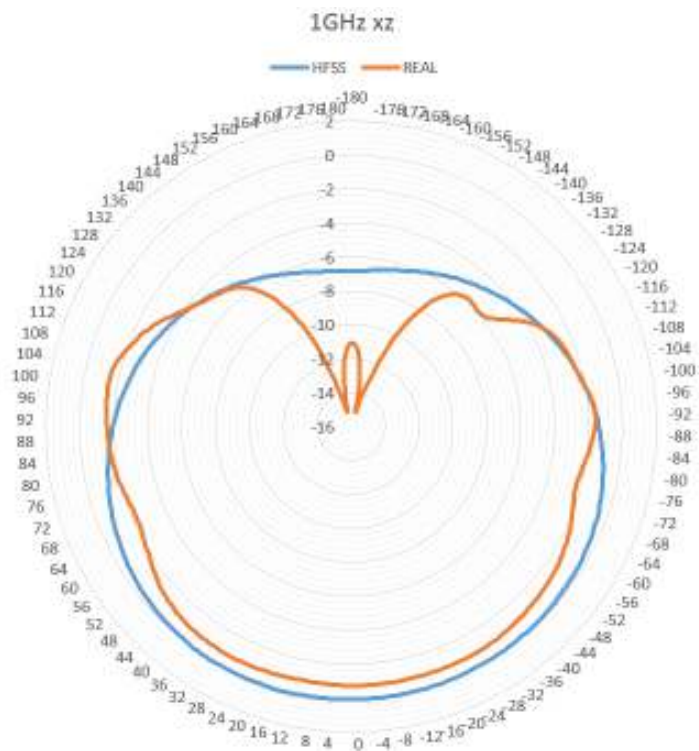
Obrázek 3.1.2 : porovnání parametru S_{11} pro logaritmicke-periodickou anténu



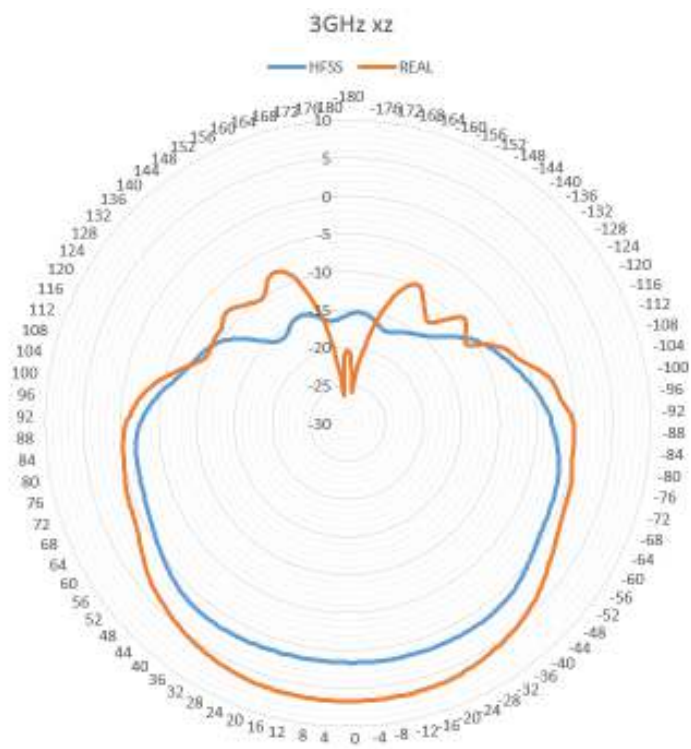
Obrázek 3.1.4 : porovnání vyzářovací charakteristiky logaritmicke-periodické antény v ploše XY na frekvenci 1GHz



Obrázek 3.1.5 : porovnání vyzářovací charakteristiky logaritmicke-periodické antény v ploše XY na frekvenci 3GHz

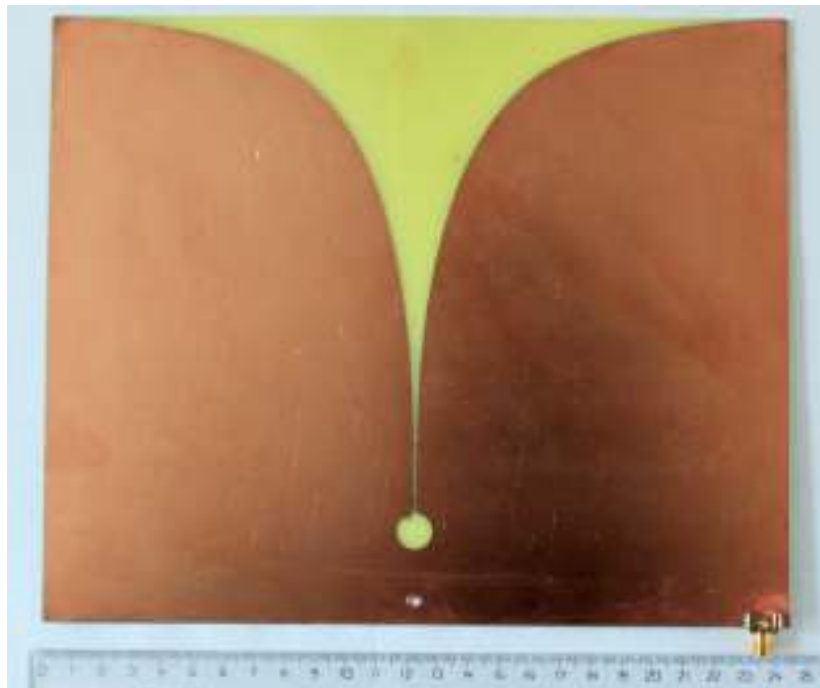


Obrázek 3.1.6 : porovnání vyzářovací charakteristiky logaritmicke-periodické antény v ploše XZ na frekvenci 1GHz

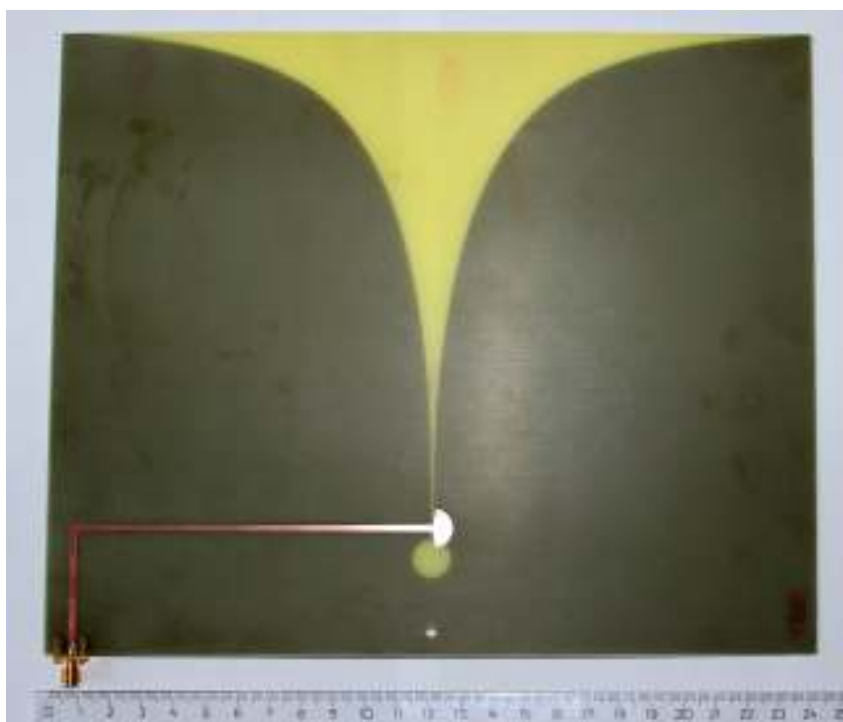


Obrázek 3.1.7 : porovnání vyzářovací charakteristiky logaritmicke-periodické antény v ploše XZ na frekvenci 3GHz

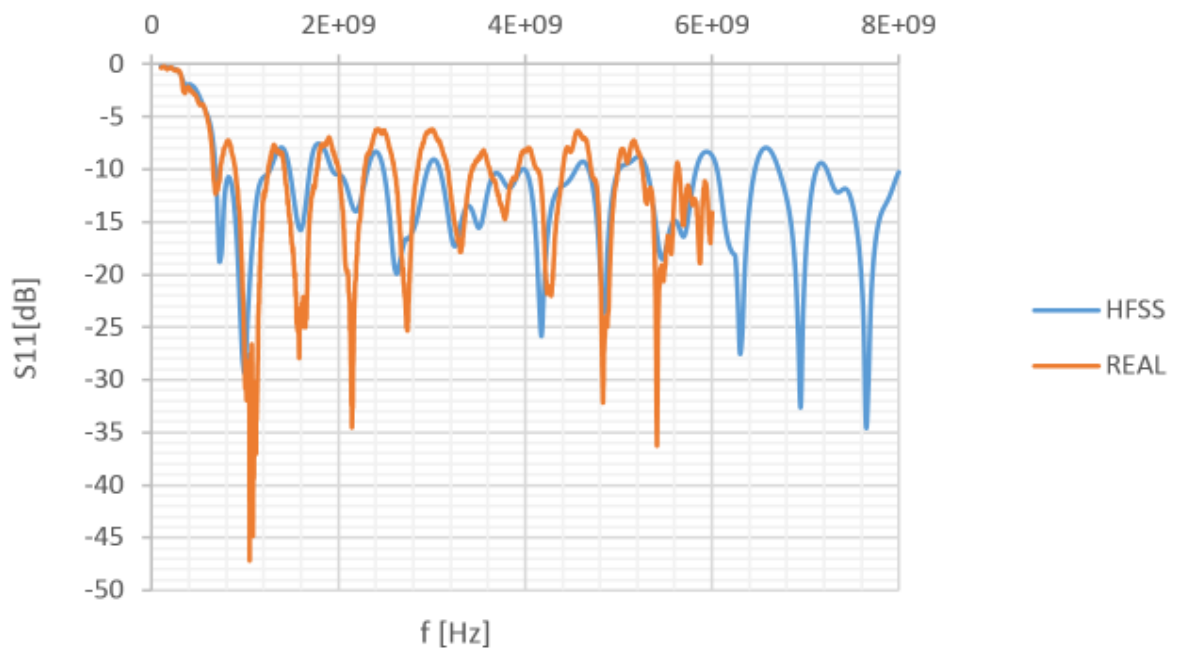
3.2 Vivaldiho anténa



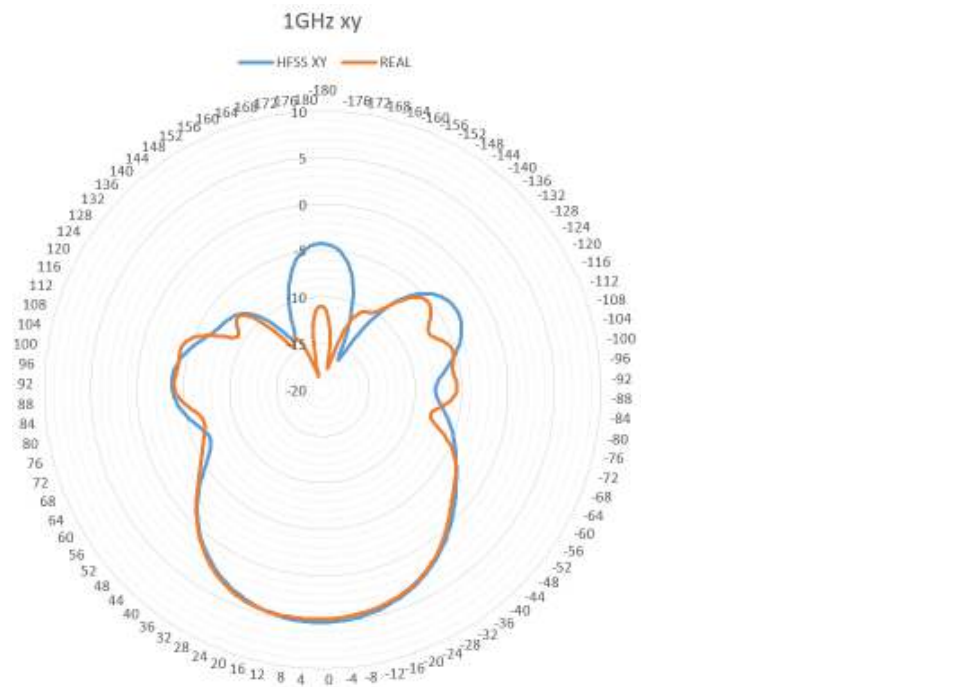
Obrázek 3.2.1 : zemní strana Vivaldiho antény



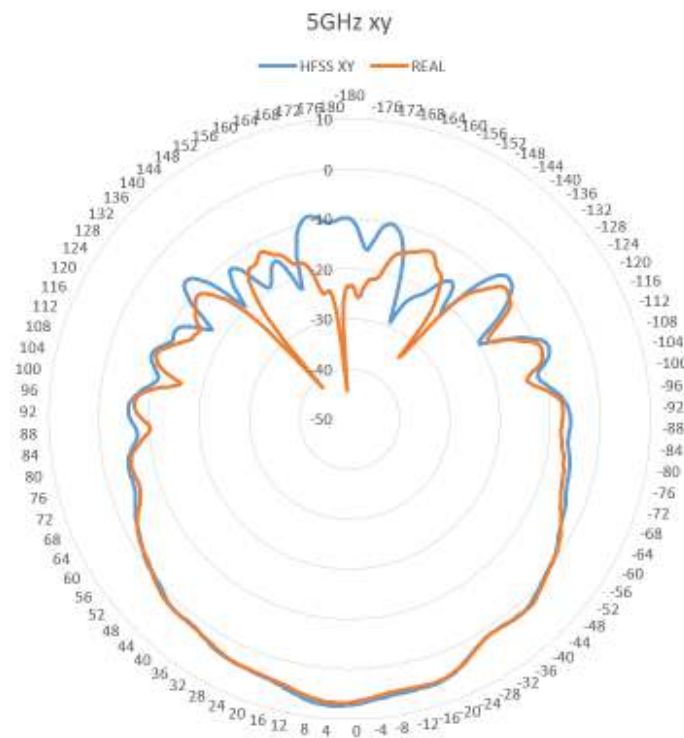
Obrázek 3.2.2 : napájecí strana Vivaldiho antény



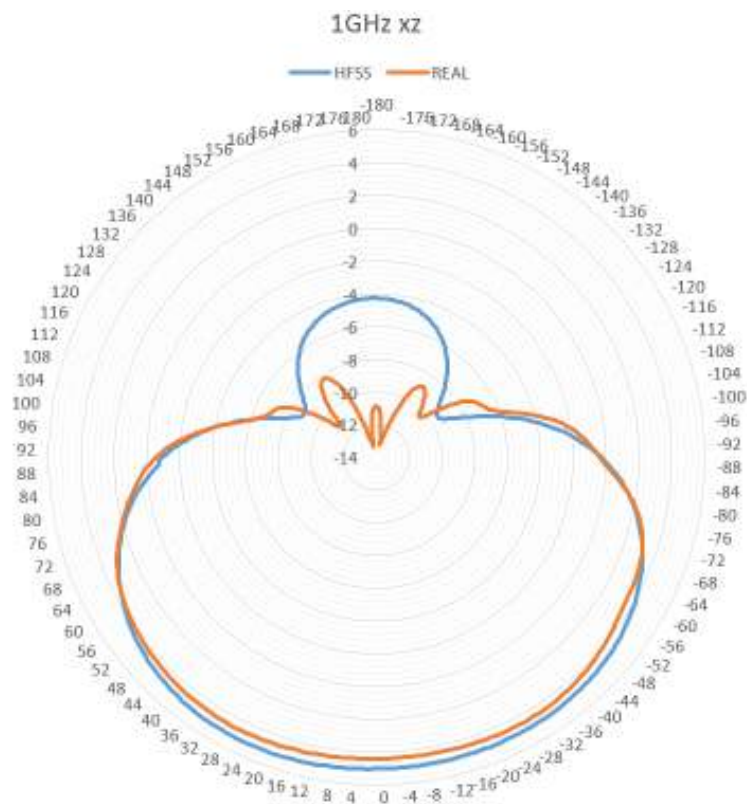
Obrázek 3.2.3 : porovnání parametru S_{11} Vivaldiho antény



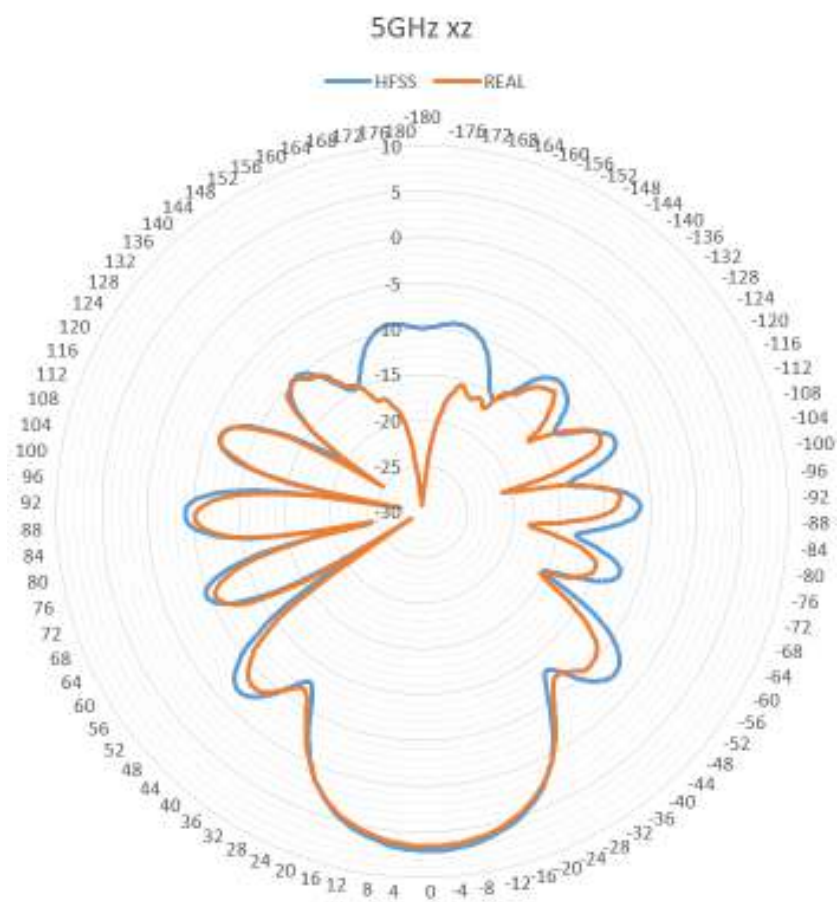
Obrázek 3.2.4 : porovnání vyzářovací charakteristiky Vivaldiho antény na frekvenci 1GHz v ploše XY



Obrázek 3.2.5 : porovnání vyzářovací charakteristiky Vivaldiho antény na frekvenci 5GHz v ploše XY



Obrázek 3.2.6 : porovnání vyzářovací charakteristiky Vivaldiho antény na frekvenci 1GHz v ploše XZ



Obrázek 3.2.7 : porovnání vyzařovací charakteristiky Vivaldiho antény na frekvenci 5GHz v ploše XZ

4 ZÁVĚR

V rámci této práce byly vymodelovány tři druhy antén. Motýlková anténa, logaritmicko-periodická anténa a Vivaldiho anténa. U motýlkové antény se modelovaly také reflektory, které měly za úkol upravit směrovou charakteristiku, ale nedosáhlo se kýženého efektu.

Fyzicky byly realizovány dvě antény, logaritmicko-periodická anténa a Vivaldiho anténa. Změřené vyzařovací charakteristiky logaritmicko-periodické antény se hodně lišily od modelu v HFSS, zejména v ploše XY (rovina E). U Vivaldiho antény naměřené hodnoty odpovídaly hodnotám ze simulací.

V budoucnu by se mohla tato práce ubírat směrem přesnějšího modelu logaritmicko-periodické antény, aby se co nejvíce přibližovala skutečnosti (například způsob přivedení koaxiálního napájení). U Vivaldiho antény by se mohlo experimentovat se zemnicí plochou, s její velikostí a tvarem za účelem co největšího zmenšení plochy a tím i odlehčení antény.

SEZNAM CITACÍ

- [1] ANTENNA-THEORY.COM. *Bow Tie Antennas* [online]. [cit. 2014-12-17]. Dostupné z: <http://www.antenna-theory.com/antennas/wideband/bowtie.php>
- [2] ÁVILA-NAVARRO, E. a C. REIG. Directive Microstrip Antennas for Specific Below -2.45 GHz Applications. *International Journal of Antennas and Propagation* [online]. 2012, vol. 2012, s. 3-5 [cit. 2014-12-15]. DOI: 10.1155/2012/612170. Dostupné z: <http://www.hindawi.com/journals/ijap/2012/612170/>
- [3] WADELL, Brian C. *Transmission line design handbook*. Boston: Artech House, c1991, xvi, s. 71-72. ISBN 0890064369.
- [4] WANG, Min, Wen WU a Zhongxiang SHEN. Bandwidth Enhancement of Antenna Arrays Utilizing Mutual Coupling between Antenna Elements. *International Journal of Antennas and Propagation* [online]. 2010, vol. 2010, s. 8 [cit. 2014-12-17]. DOI: 10.1155/2010/690713. Dostupné z: <http://www.hindawi.com/journals/ijap/2010/690713/>