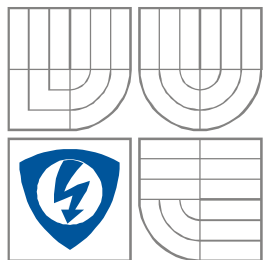




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



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

BAKALÁŘSKÁ 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
Ročník: 3

ID: 158135
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. Bakalářské práce. Brno: FEKT, VUT v Brně, 2008.

Termín zadání: 9.2.2015

Termín odevzdání: 13.8.2015

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, logaritmicko-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, logaritmicko-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. 40 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	15
2.4 Vivaldiho anténa	26
3 Praktická realizace antén	31
3.1 Logaritmicko-periodická anténa	31
3.2 Vivaldiho anténa	35
4 ZÁVĚR	39
Seznam citací	40

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 : vyzařovací charakteristika motýlkové antény v ploše XY	10
Obrázek 2.1.5 : vyzařovací charakteristika motýlkové antény v ploše ZX	10
Obrázek 2.1.6 : 3D vyzařovací 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 : vyzařovací charakteristika motýlkové antény s reflektory v ploše XY	14
Obrázek 2.2.4 : vyzařovací charakteristika motýlkové antény s reflektory v ploše ZX	14
Obrázek 2.3.1 : parametr S_{11} pro log-per anténu v závislosti na τ	17
Obrázek 2.3.2 : napájecí strana log-per antény.....	18
Obrázek 2.3.3 :zemní strana log-per antény	18
Obrázek 2.3.4 :vyzařovací charakteristika log-per antény v ploše XY	19
Obrázek 2.3.5 :vyzařovací charakteristika log-per antény v ploše ZX.....	19
Obrázek 2.3.6 :3D vyzařovací charakteristika log-per antény pro 1GHz.....	20
Obrázek 2.3.7 : 3D vyzařovací charakteristika log-per antény pro 3GHz.....	20
Obrázek 2.3.8 :napájecí strana log-per antény.....	22
Obrázek 2.3.9 :zemní strana log-per antény	22
Obrázek 2.3.10 : parametr S_{11} logaritmicko-periodické antény	23
Obrázek 2.3.11 : 3D vyzařovací charakteristika logaritmicko-periodické antény pro 1GHz	24
Obrázek 2.3.12 : 3D vyřazovací charakteristika logaritmicko-periodické antény pro 3GHz	24
Obrázek 2.3.13 : Vyzařovací charakteristika v ploše logaritmicko-periodické antény XY	25
Obrázek 2.3.14 : Vyzařovací charakteristika logaritmicko-periodické antény v ploše XZ	25
Obrázek 2.4.1 : Zemní strana Vivaldiho antény	26

Obrázek 2.4.2 : napájecí strana Vivaldiho antény	26
Obrázek 2.4.3 : porovnání vypočítané a upravené křivky ústí	27
Obrázek 2.4.4: Parametr S_{11} Vivaldiho antény	28
Obrázek 2.4.5: Vyzařovací charakteristika Vivaldiho v ploše XZ	29
Obrázek 2.4.6: Vyzařovací charakteristika Vivaldiho antény v ploše XY	29
Obrázek 2.4.7: 3D vyzařovací charakteristika Vivaldiho antény pro 1GHz	30
Obrázek 2.4.8: 3D vyzařovací charakteristika Vivaldiho antény pro 6GHz	30
Obrázek 3.1.1 : napájecí strana logaritmicko-periodické antény.....	31
Obrázek 3.1.3 : zemní strana logaritmicko-periodické antény	32
Obrázek 3.1.2 : porovnání parametru S_{11} pro logaritmicko periodickou anténu.....	32
Obrázek 3.1.4 : porovnání vyzařovací charakteristiky logaritmicko-periodické antény v ploše XY na frekvenci 1GHz.....	33
Obrázek 3.1.5 : porovnání vyzařovací charakteristiky logaritmicko-periodické antény v ploše XY na frekvenci 2GHz.....	33
Obrázek 3.1.6 : porovnání vyzařovací charakteristiky logaritmicko-periodické antény v ploše XZ na frekvenci 1GHz	34
Obrázek 3.1.7 : porovnání vyzařovací charakteristiky logaritmicko-periodické antény v ploše XZ na frekvenci 2GHz	34
Obrázek 3.2.1 : zemní strana Vivaldiho antény	35
Obrázek 3.2.2 : napájecí strana Vivaldiho antény	35
Obrázek 3.2.3 : porovnání parametru S_{11} Vivaldiho antény.....	36
Obrázek 3.2.4 : porovnání vyzařovací charakteristiky Vivaldiho antény na frekvenci 1GHz v ploše XY.....	36
Obrázek 3.2.5 : porovnání vyzařovací charakteristiky Vivaldiho antény na frekvenci 4GHz v ploše XY.....	37
Obrázek 3.2.6 : porovnání vyzařovací charakteristiky Vivaldiho antény na frekvenci 1GHz v ploše XZ	37
Obrázek 3.2.7 : porovnání vyzařovací charakteristiky Vivaldiho antény na frekvenci 5GHz v ploše XZ	38

SEZNAM TABULEK

Tabulka 2.1: parametry jednotlivých reflektorů	13
Tabulka 2.2 : délka navržených dipólů a frekvence pro $\lambda/2$ v závislosti na τ	16
Tabulka 2.3: šířka mikropásku ramen log-per antény	21

ÚVOD

Tato práce je o návrhu širokopásmových planárních anténách pro 3D radar.

Jeden z rozhodujících parametrů bude S_{11} , který by měl být na pracovních frekvencích menší než -3dB. V ideálním případě by se vyzářila polovina vstupního výkonu, při $S_{11} = -3\text{dB}$, ale z důvodu ztrátovosti reálného substrátu se vyzáří výkon o něco menší než polovina vstupního výkonu.

Z dalších rozhodujících parametrů bude i širokopásmovost dané antény, která dokáže vyzařovat v pásmu od 300MHz do aspoň 3GHz.

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).

V poslední řadě je brán ohled i na směrovost antény, která by měla být ideálně jenom v jednom směru.

Tato práce je členěna do 4 kapitol.

První kapitola se zabývá strukturou antén, a to strukturou motýlkové antény, logaritmicko-periodické antény a Vivaldiho antény.

Druhá kapitola se vztahuje k samotné modelaci jednotlivých antén v programu Ansys HFSS 15.

Třetí kapitola zaznamenává praktickou realizaci antén, které splnily nebo se přiblížily k výše uvedením požadavkům a to logaritmicko-periodická anténa a Vivaldiho anténa.

Čtvrtá kapitola se zabývá zhodnocením této práce a směrem, kterým by se mohla tato práce ubírat.

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 pro vlnu, která se šíří pouze vzduchem.

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

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

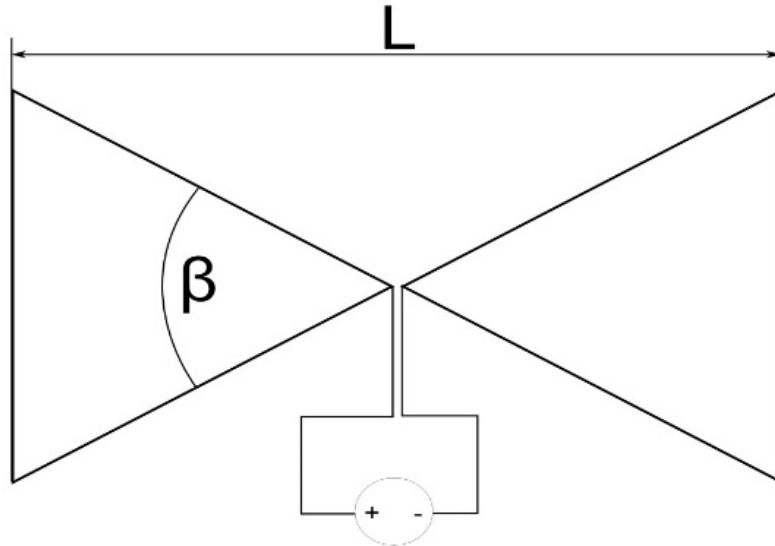
kde ϵ_r značí relativní permitivitu daného materiálu.

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. Jedná se o druh bikonické planární antény s „křídélky“ ve tvaru trojúhelníku, odtud název motýlková anténa. Vzhled této antény je na obrázku 1.1.1 .



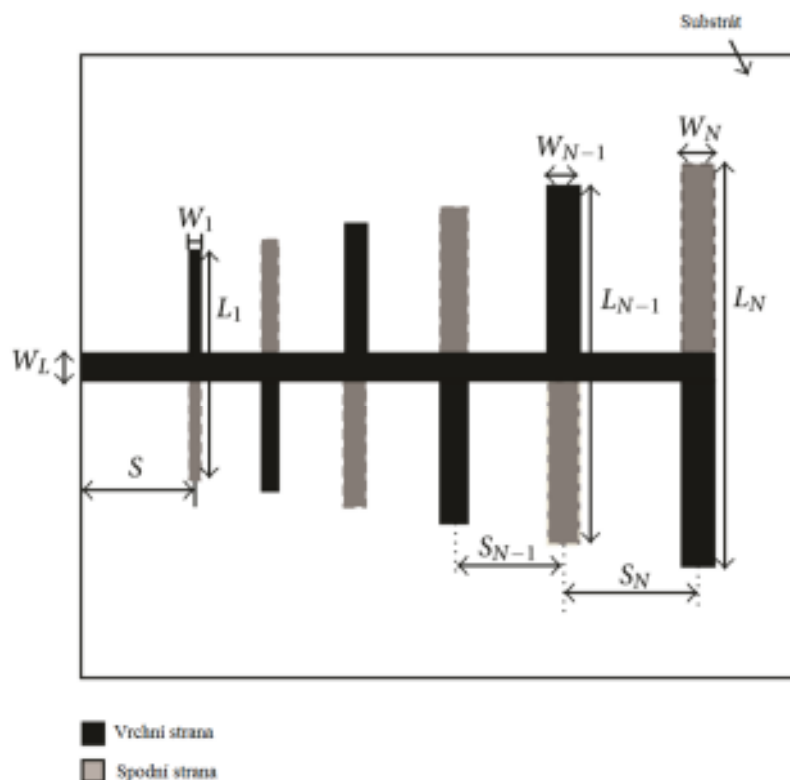
Obrázek 1.1.1 : Motýlková anténa

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 upraven z [2].



Obrázek 1.2.1 : logaritmicko-periodická anténa

L_N udává $\lambda/2$ nejvyšší frekvence pro kterou je anténa konstruována, W_N udává šířku mikropásky 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],

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

kde 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} a celkovou velikost antény.

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],

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

$$+ \frac{\epsilon_r-1}{2\pi\epsilon_r^2} \ln \left(\frac{\epsilon_r\pi^2}{16} \right)$$

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

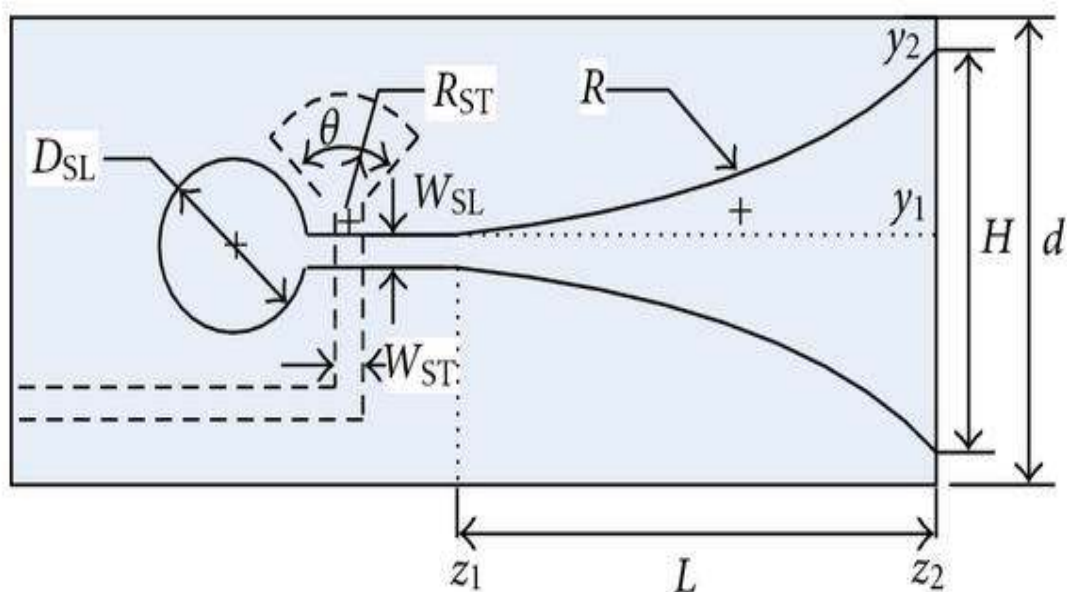
Vzorec (1.3) platí za podmínky, že $a/b > 1$.

U logaritmicko-periodické antény není určeno, který prvek je zářič, reflektor a direktor. Záleží vždy na frekvenci napájení. Při určité frekvenci rezonuje jeden zářič, který splňuje rezonanční podmínku ($\lambda/2$) plus sousední ramena, ostatní ramena se chovají jako reflektor nebo jako direktor. Kratší jsou direktory a delší reflektory. Na nejnižší frekvenci bude logaritmicko-periodická anténa zářit jako dipól z důvodu, že se jedná v pořadí o první rameno a tak nebude moc být pomocí reflektoru usměrněna.

Název logaritmicko-periodické antény je odvozen od konstanty τ , které je nazývána perioda antény. A pokud si v logaritmickém měřítku vyneseme odstup jednotlivých ramen, zůstávají stejné.[4]

1.3 Vivaldiho anténa

Na obrázku 1.3.1 je jeden z principů návrhu Vivaldiho antény. Tento obrázek je převzat z [5].



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.

Tvar štěrbin se volí pomocí následujícího vzorce, který je převzat z [6],

$$y = c_1 e^{Rx} + c_2 \quad [\text{mm}] \quad (1.8)$$

kde

$$c_1 = \frac{y_2 - y_1}{e^{Rx_2} - e^{Rx_1}} \quad [-] \quad (1.9)$$

$$c_2 = \frac{y_1 e^{Rx_2} - y_2 e^{Rx_1}}{e^{Rx_2} - e^{Rx_1}} \quad [-] \quad (1.10)$$

x_1, x_2 a y_1, y_2 jsou souřadnice bodů $P_1(x_1, y_1)$ a $P_2(x_2, y_2)$. Body P_1 a P_2 jsou krajní body křivky, která určuje tvar štěrbin.

2 NÁVRH PLOCHÝCH ANTÉN

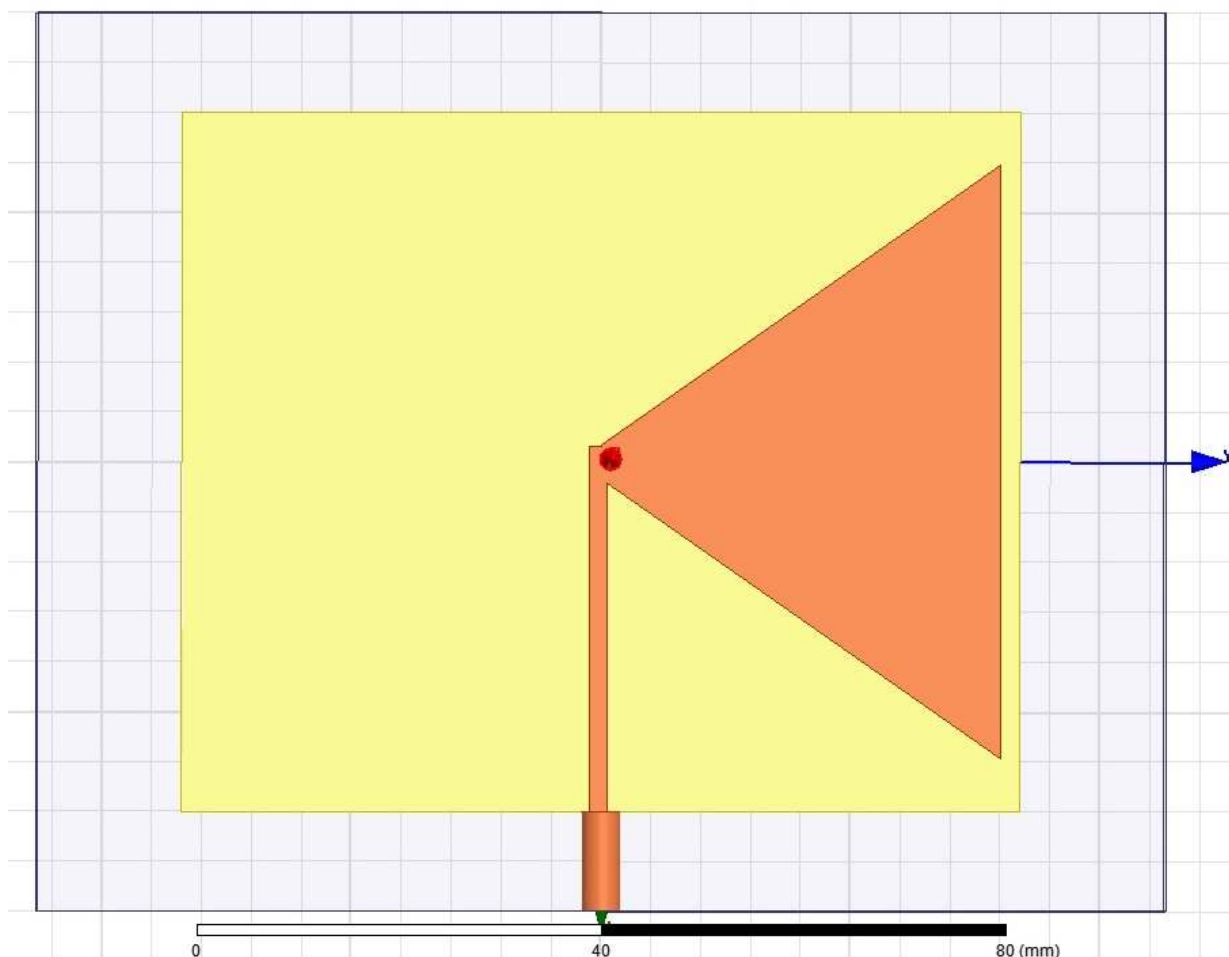
Veškeré antény jsou navrhované na substrátu o parametrech:

Relativní permitivita	: 4,2
Tloušťka	: 0,8mm pro Motýlkovou anténu a Vivaldiho anténu 1,5mm pro logaritmicko-periodickou anténu
Ztrátový činitel	: 0,02

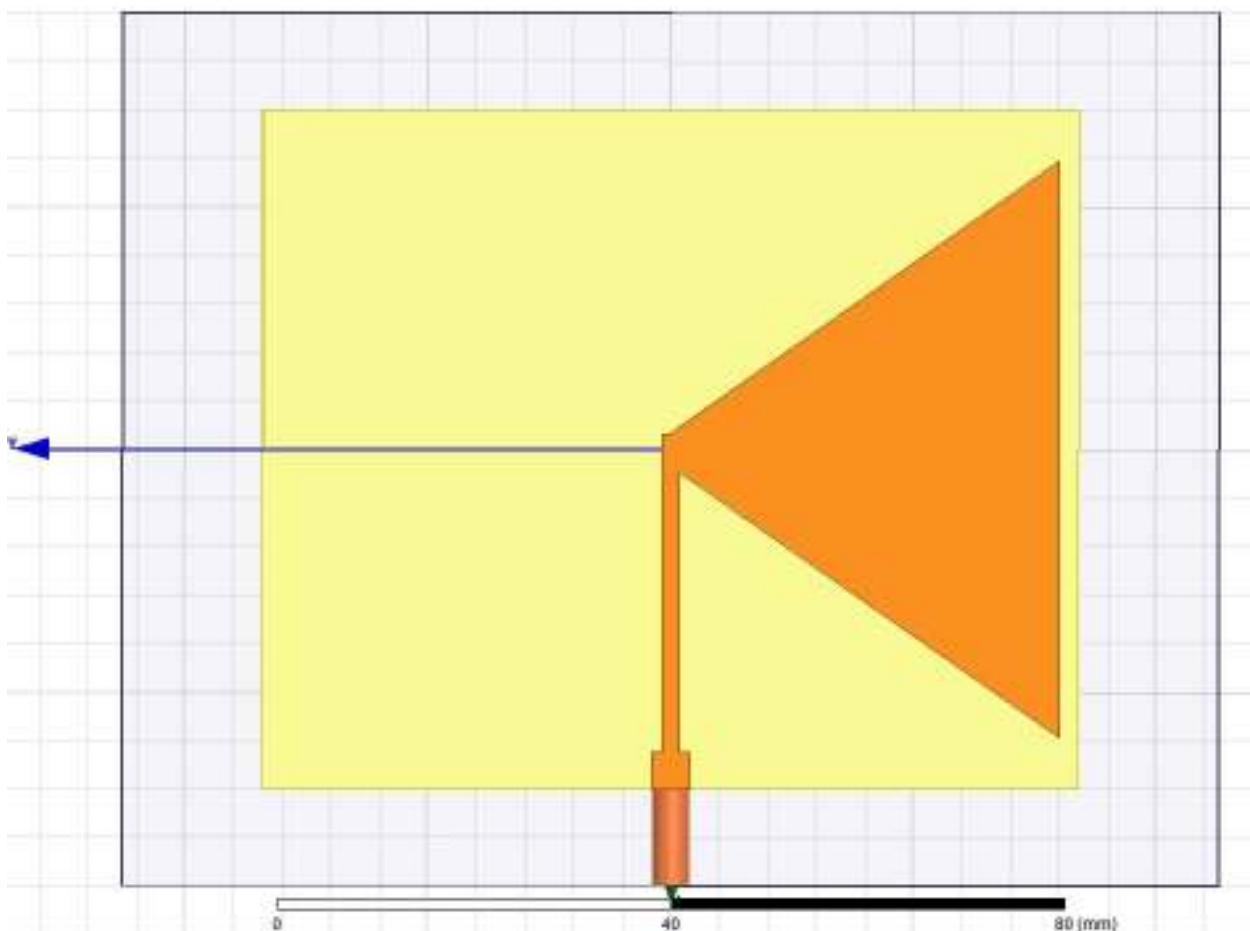
Návrh byl vytvořen a odsimulován v programu ANSYS HFSS 15.0. Jako materiál pro substrát byl použit modified_epoxi. Vodivé plochy, byly vytvořeny z mědi o tloušťce 35 μ m.

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.

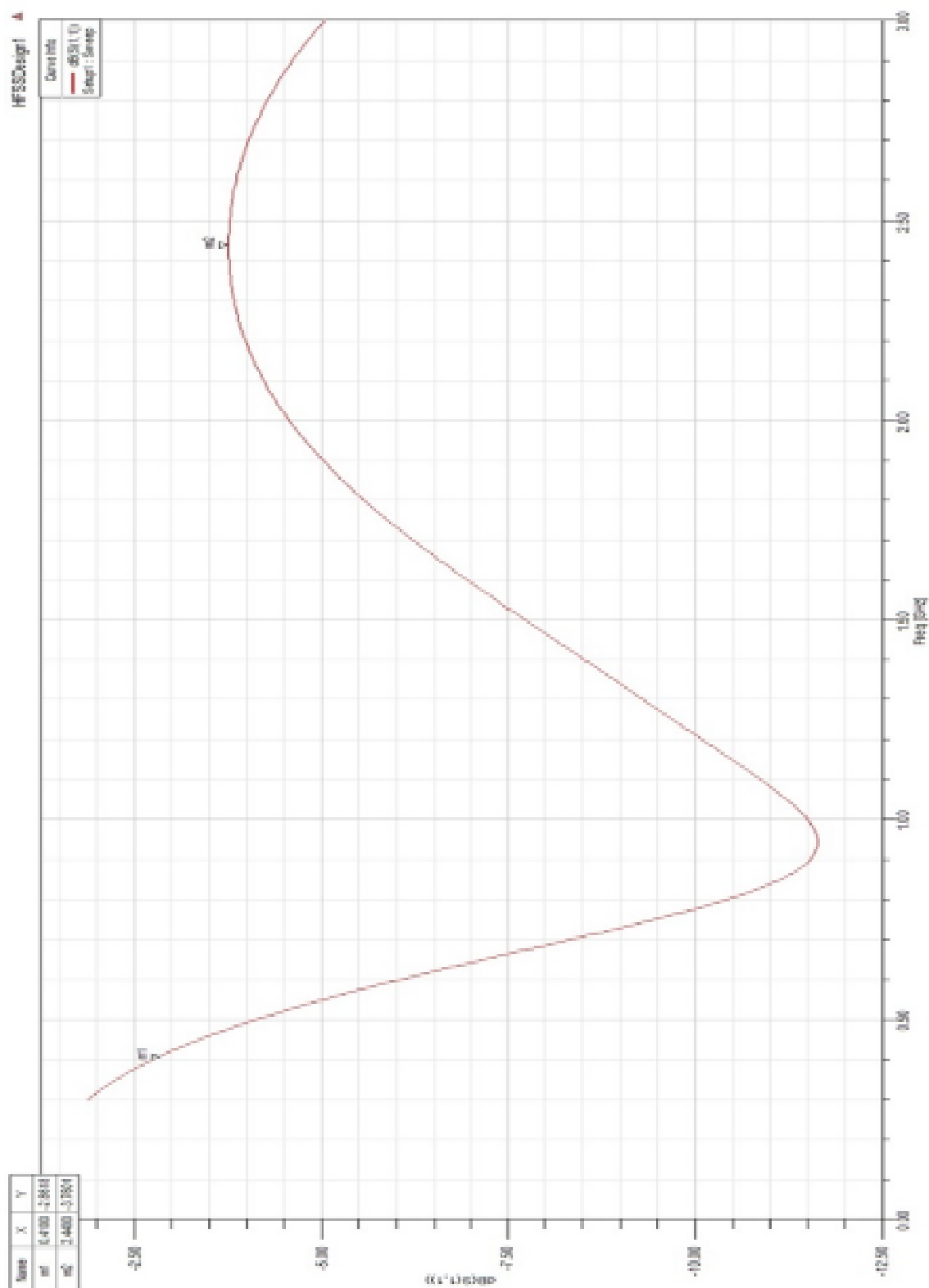
λ byla vypočítána podle vzorce (1.2):

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} .

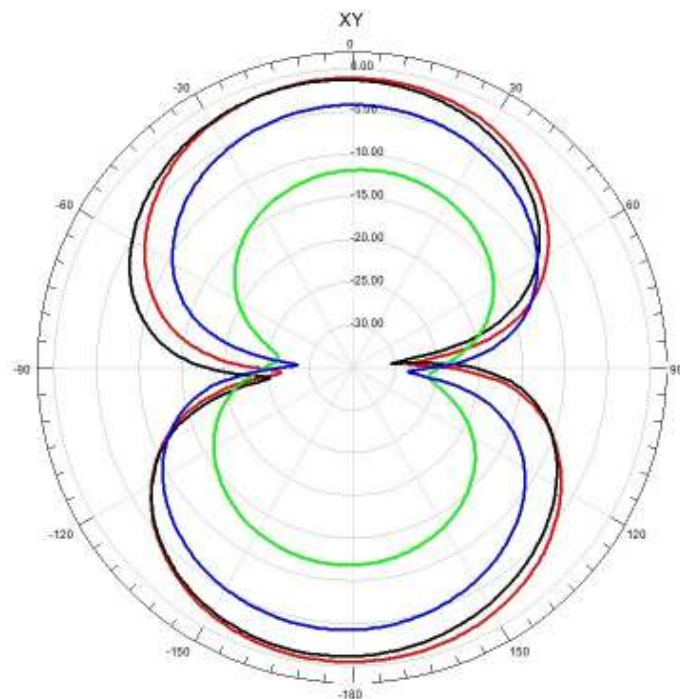
Anténa je napájena z koaxiálního vedení o $Z_0=50\Omega$.

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

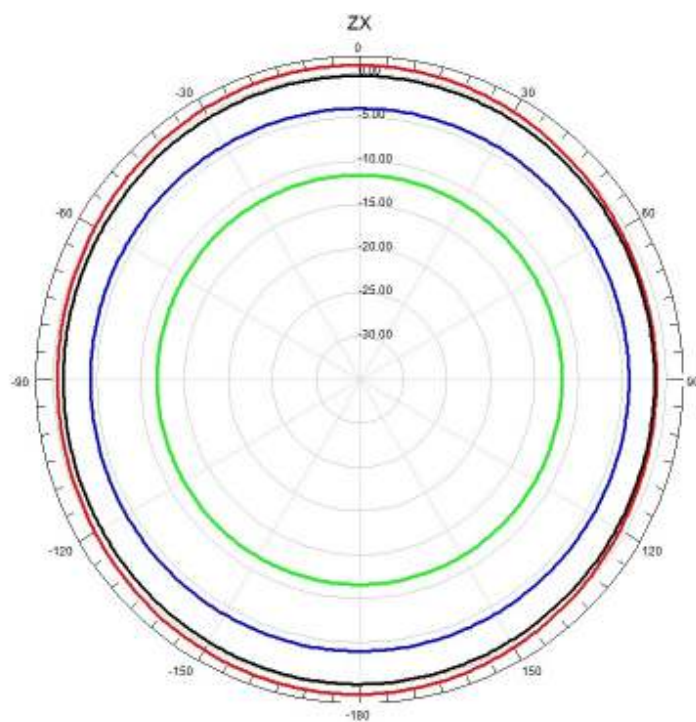


Obrázek 2.1.3 : parametr S_{11} motýlkové

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



Obrázek 2.1.4 : vyzařovací charakteristika motýlkové antény v ploše XY



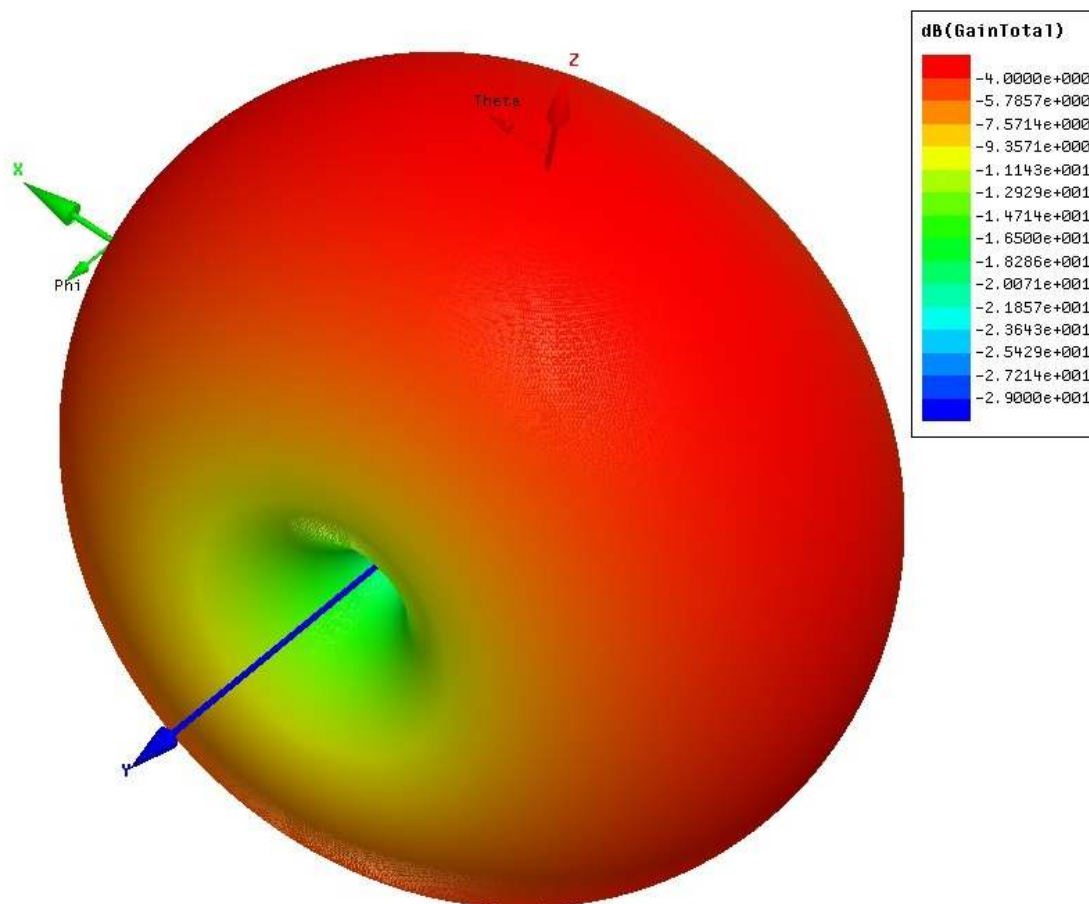
Obrázek 2.1.5 : vyzařovací charakteristika motýlkové antény v ploše ZX

Zelená křivka: vyzařování na frekvenci 0,41GHz

Modrá křivka: vyzařování na frekvenci 1GHz

Černá křivka: vyzařování na frekvenci 2GHz

Červená křivka: vyzařování na frekvenci 3GHz



Obrázek 2.1.6 : 3D vyzařovací diagram pro frekvenci 1GHz

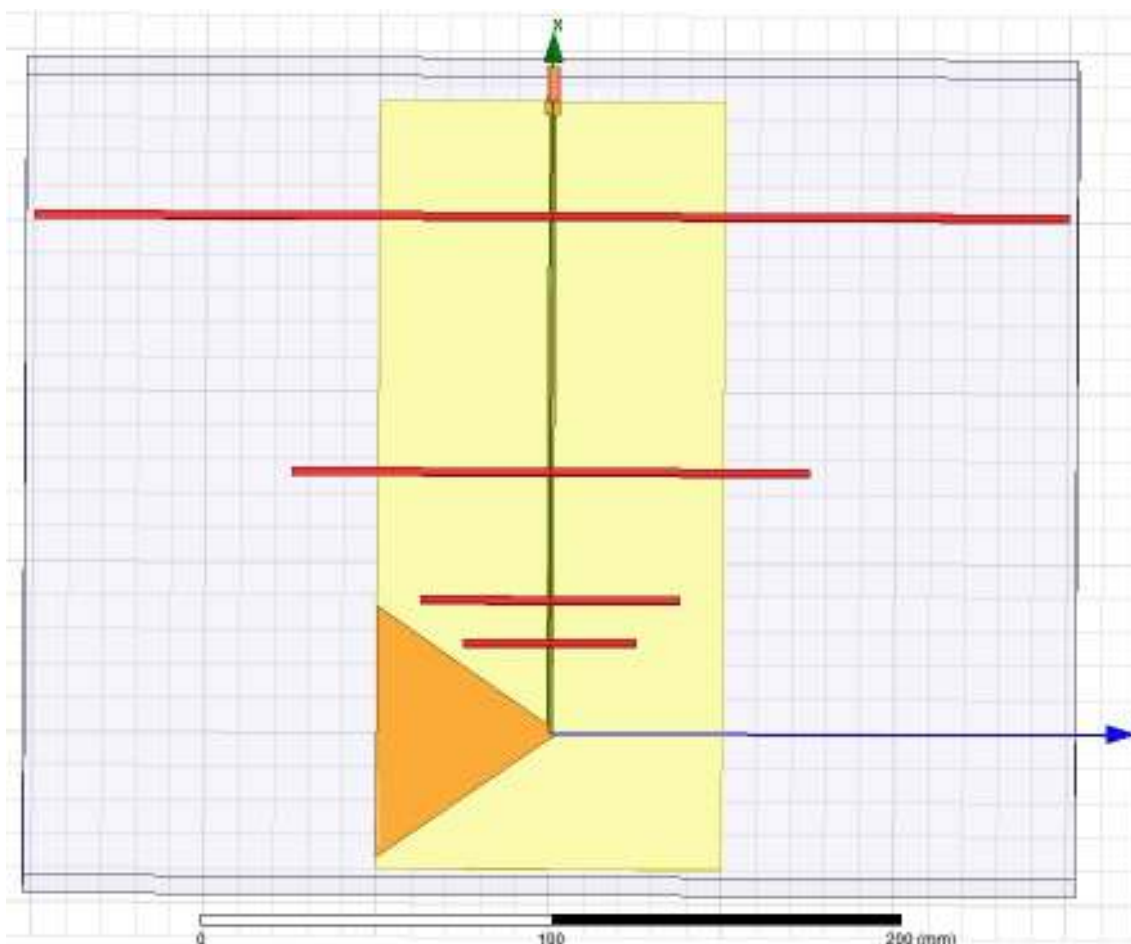
Na jiných frekvencích se tvar vyzařovací charakteristiky neměnil, pouze se měnila hodnota zisku při dané frekvenci.

Tato anténa splňuje dané požadavky jen zčásti. Širokopásmovost této antény je dostatečná, kolem 2,59GHz. Také i velikost je uspokojivá, ale její směr vyzařování není podle předem stanovených podmínek, protože vyzařuje v celé ploše XZ. Z tohoto důvodu se následující kapitola zabývá přidáním reflektorů k motýlkové anténě pro usměrnění vyzařování.

2.2 Motýlková anténa s reflektory

Předchozí motýlková anténa vyzařovala v celé ploše XZ. 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.



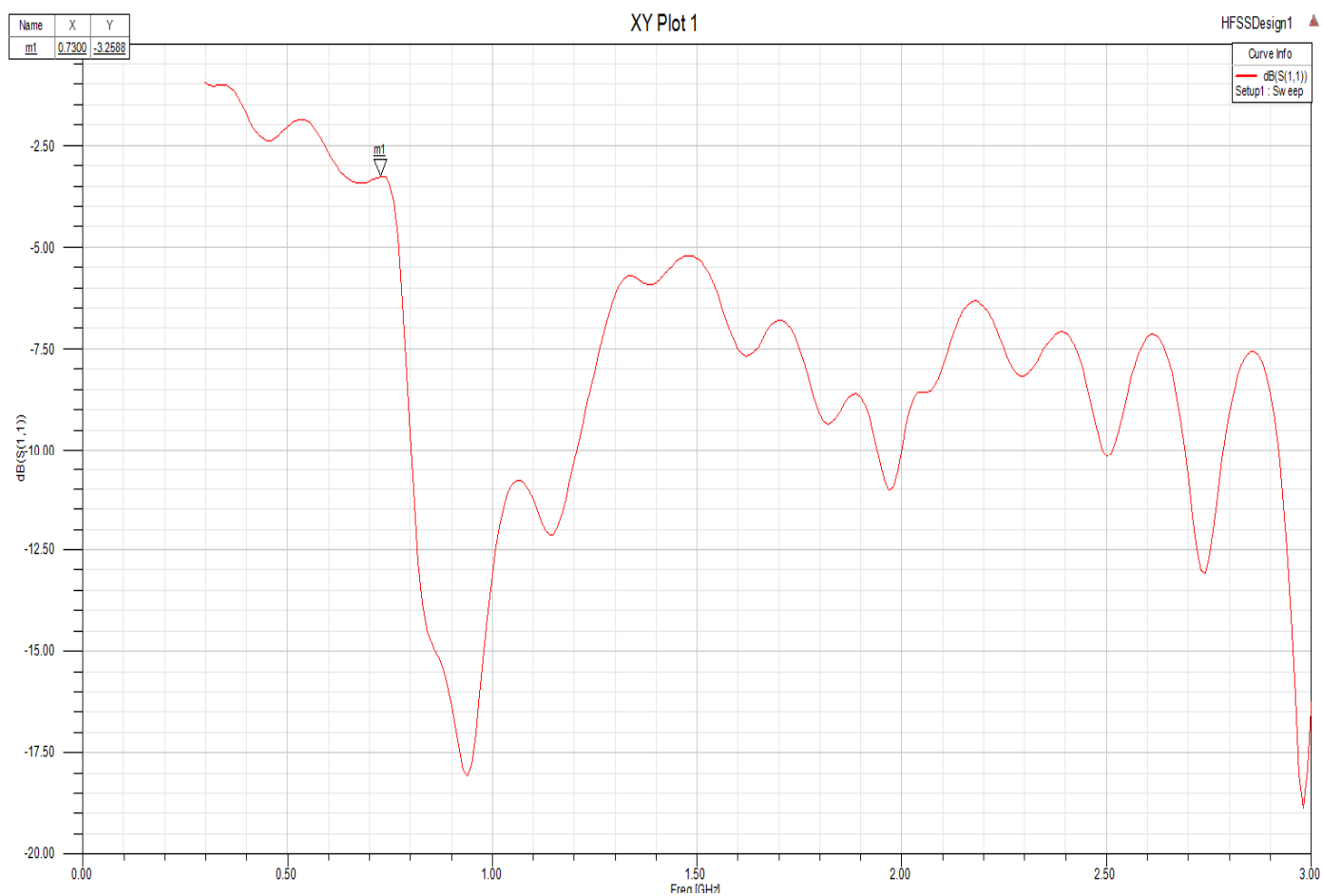
Obrázek 2.2.1 : zemní strana motýlková anténa s reflektory

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. A jsou umístěné o $\lambda/4$ od středu motýlkové antény.

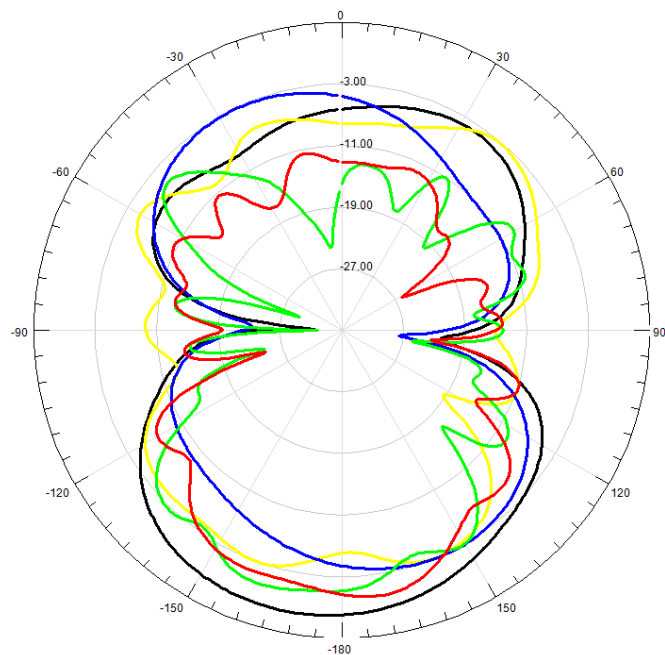
Tabulka 2.1: parametry jednotlivých reflektorů

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

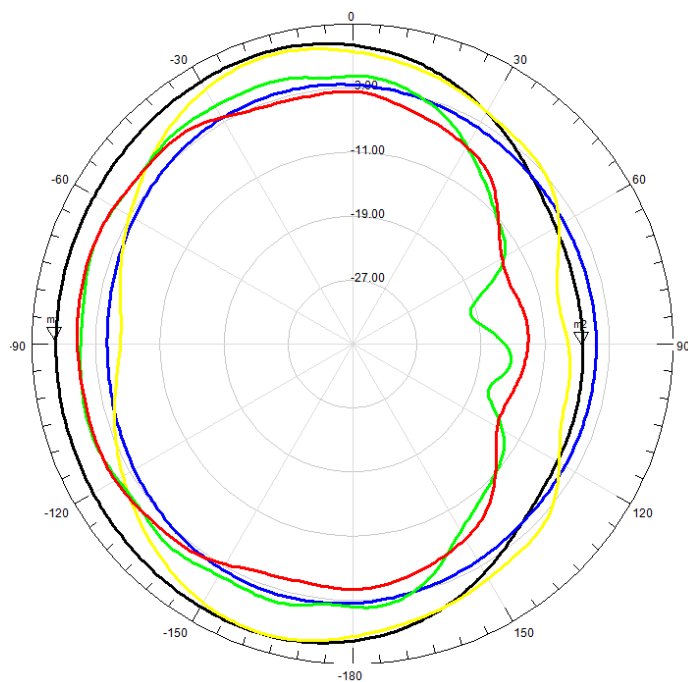


Obrázek 2.2.2 : Parametr S_{11} motýlkové antény s reflektorem

Pásmo, ve kterém anténa vyzařuje a splňuje daný parametr S_{11} , je od 730 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

Modrá křivka pro	0,6GHz
Černá křivka pro	1GHz
Žlutá křivka pro	2GHz
Červená křivka pro	2,5GHz
Zelená křivka pro	3GHz

Po přidání čtyř reflektorů došlo k zhoršení širokopásmovosti, která klesla ze 2,59GHz na 2,47GHz. Došlo k mírnému zlepšení ve směrovosti, kde bylo např. u frekvence 1GHz potlačeno vyzařování dozadu oproti vyzařování dopředu o cca. 8dB a u frekvence 3GHz došlo k potlačení o cca. 14dB. Nevýhoda této antény byla, že velikost největšího reflektoru by byla 33cm.

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}

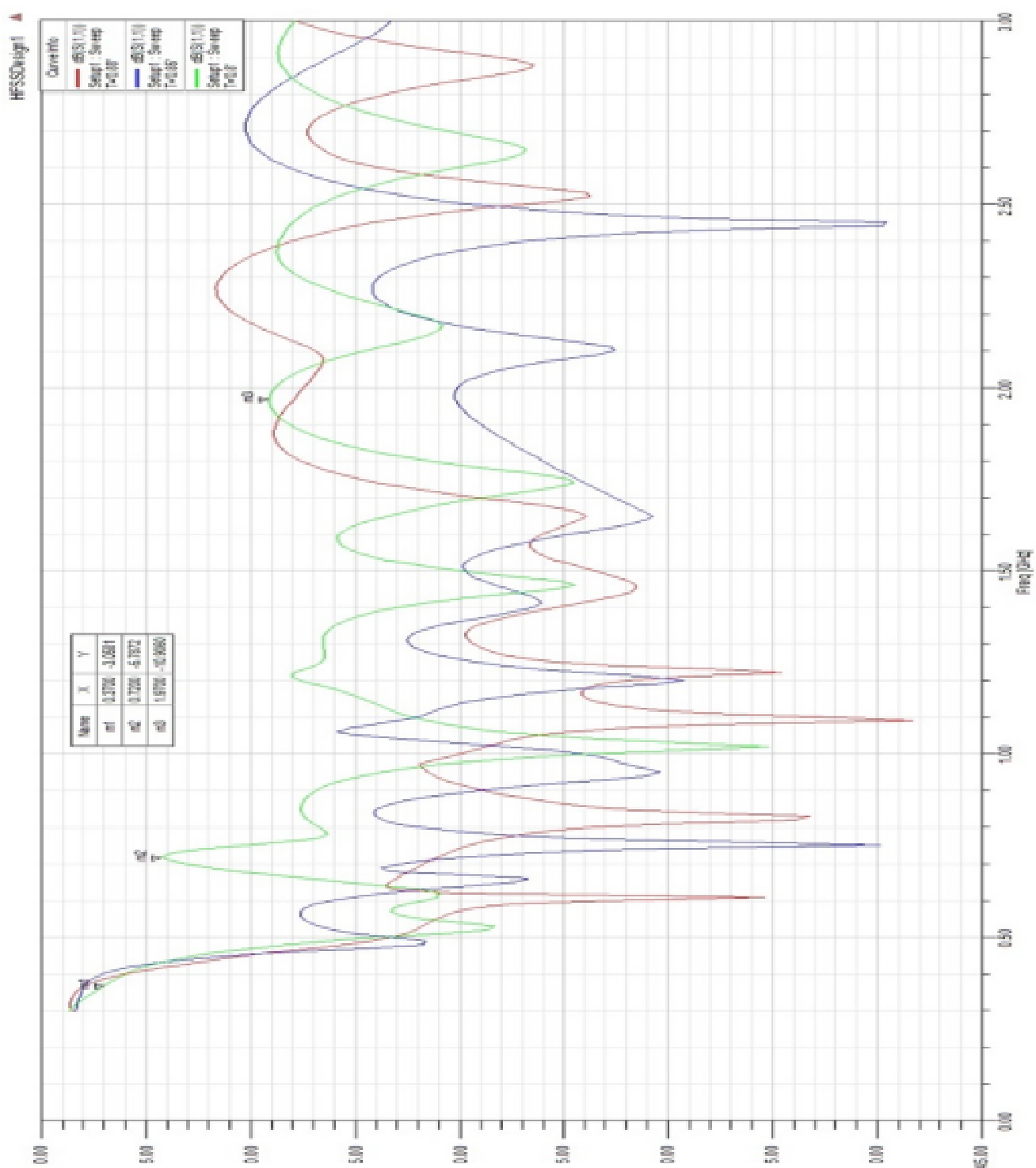
Z důvodu zvětšení širokopásmovosti a zmenšení antény byl upraven poměr τ .

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



Obrázek 2.3.1 : parametr S11 pro log-per anténu v závislosti na τ

zelená křivka $\tau=0,8$

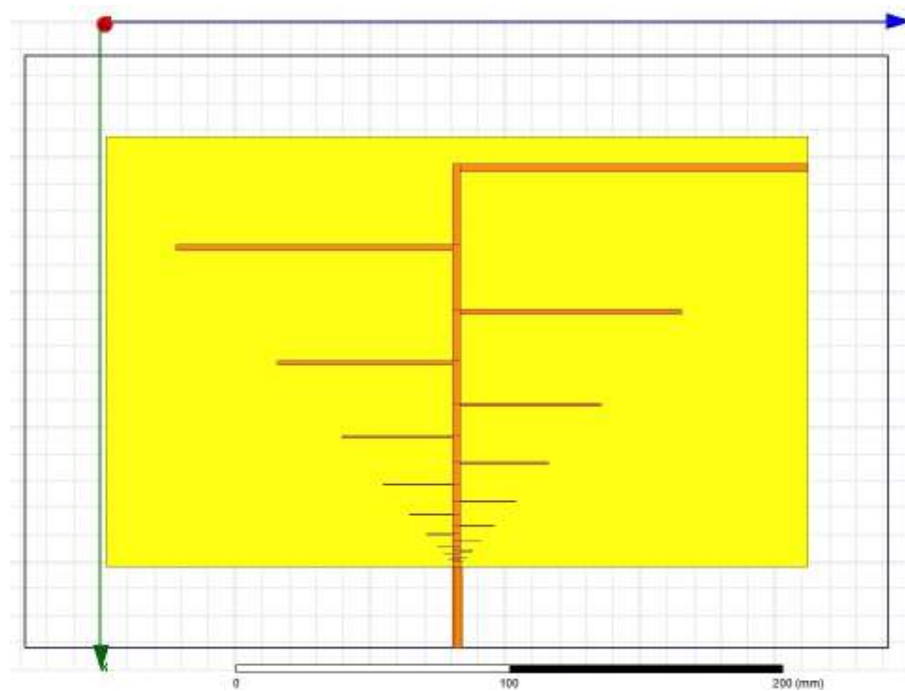
modrá křivka $\tau=0,85$

červená křivka $\tau=0,88$

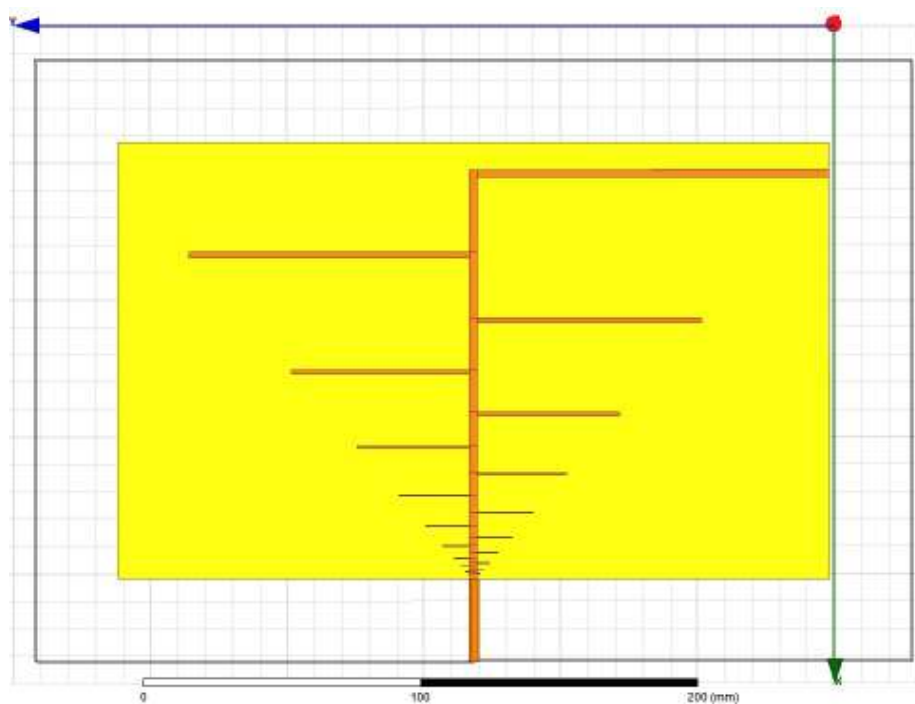
Anténa vyzařuje pro $\tau=0,8$ od 370MHz do 3GHz. Teoreticky od 370MHz do 16GHz podle délky $\lambda/2$ posledního dipólu.

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

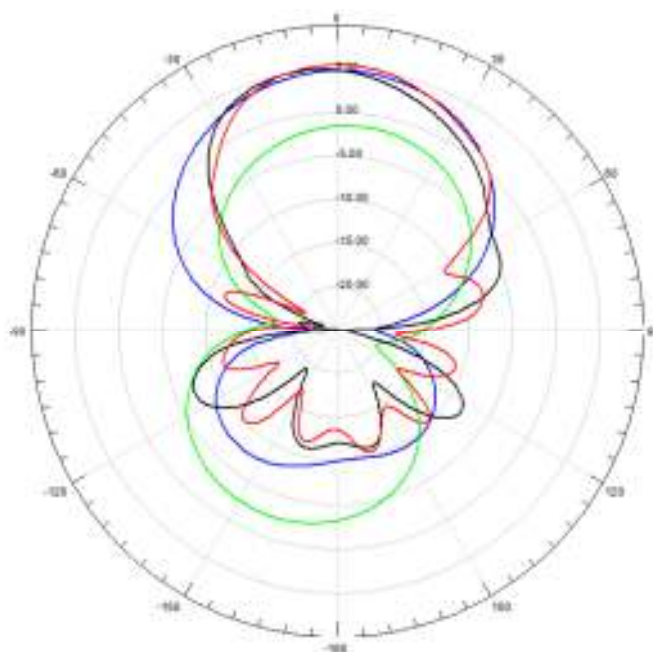
Anténa leží v ploše XY.



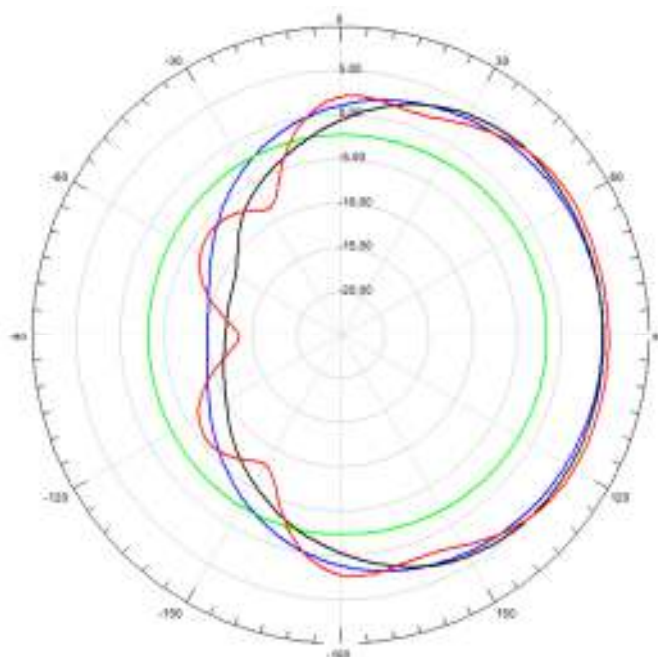
Obrázek 2.3.2 : napájecí strana log-per antény



Obrázek 2.3.3 : zemní strana log-per antény

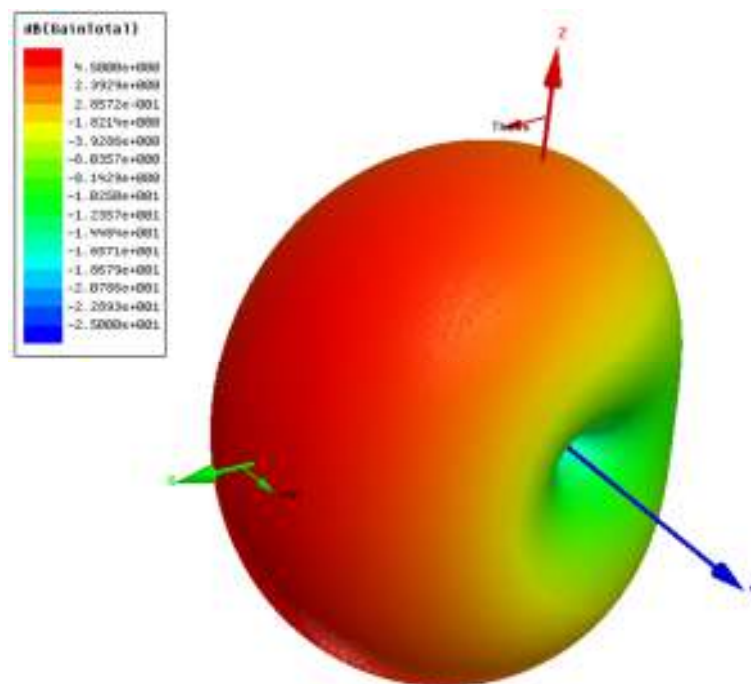


Obrázek 2.3.4 :vyzařovací charakteristika log-per antény v ploše XY

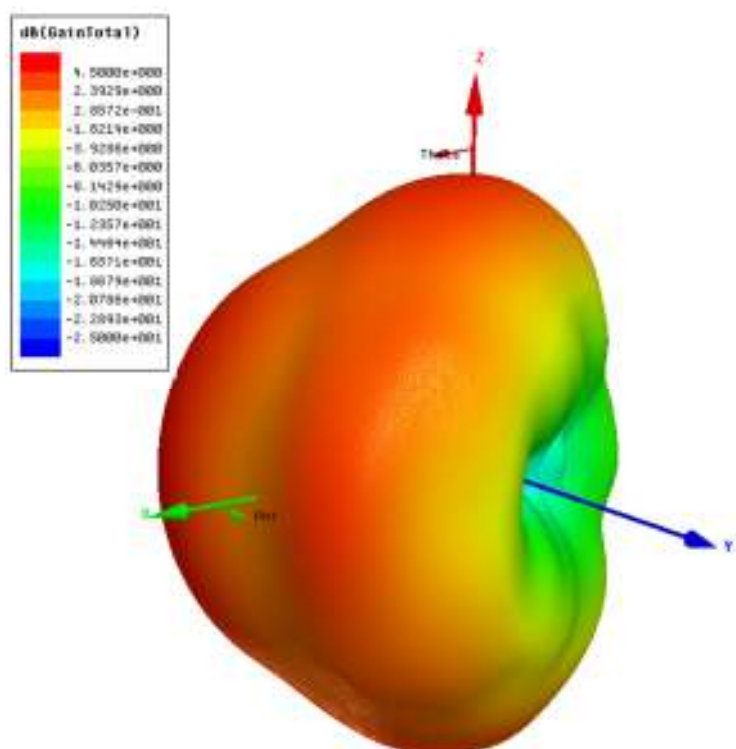


Obrázek 2.3.5 :vyzařovací charakteristika log-per antény v ploše ZX

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



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



Obrázek 2.3.7 : 3D vyzařovací 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 vyšly tyto parametry.

Úhel ohybu: 80°

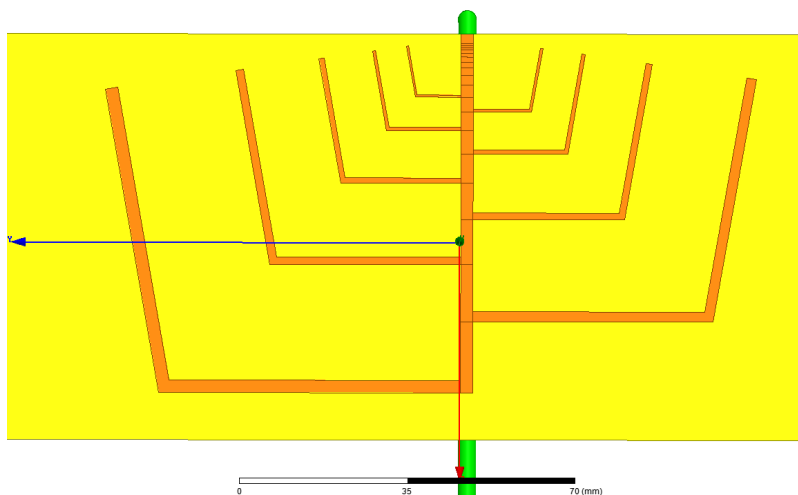
Délka neohnutého ramene: 50% z celkové délky ramene

Délka ohnutého ramene: 50% z celkové délky ramene

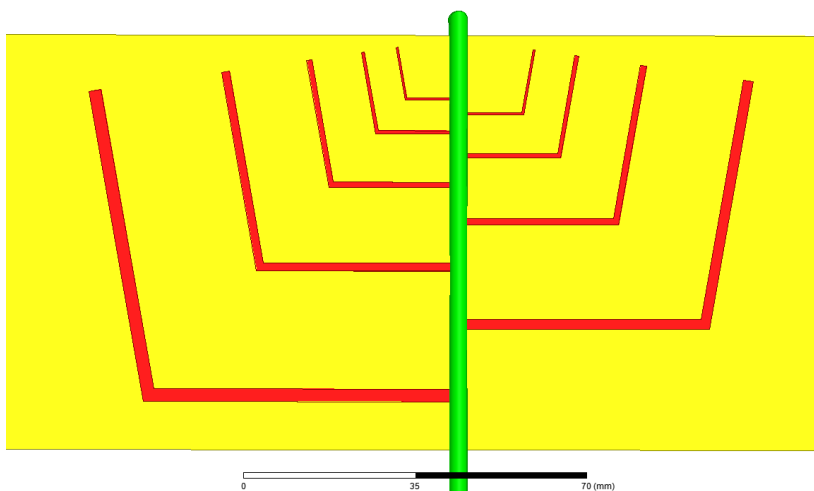
11. Koaxiální vodič byl vyveden podél zemnicí strany antény ve vzdálenosti cca.1mm, aby se simulace co nejvíce přiblížila ke skutečnému vzhledu antény.

Tato změna měla za následek změny úhlu vyzařování antény. Koaxiální vodič je na následujících obrázcích znázorněn zelenou barvou.

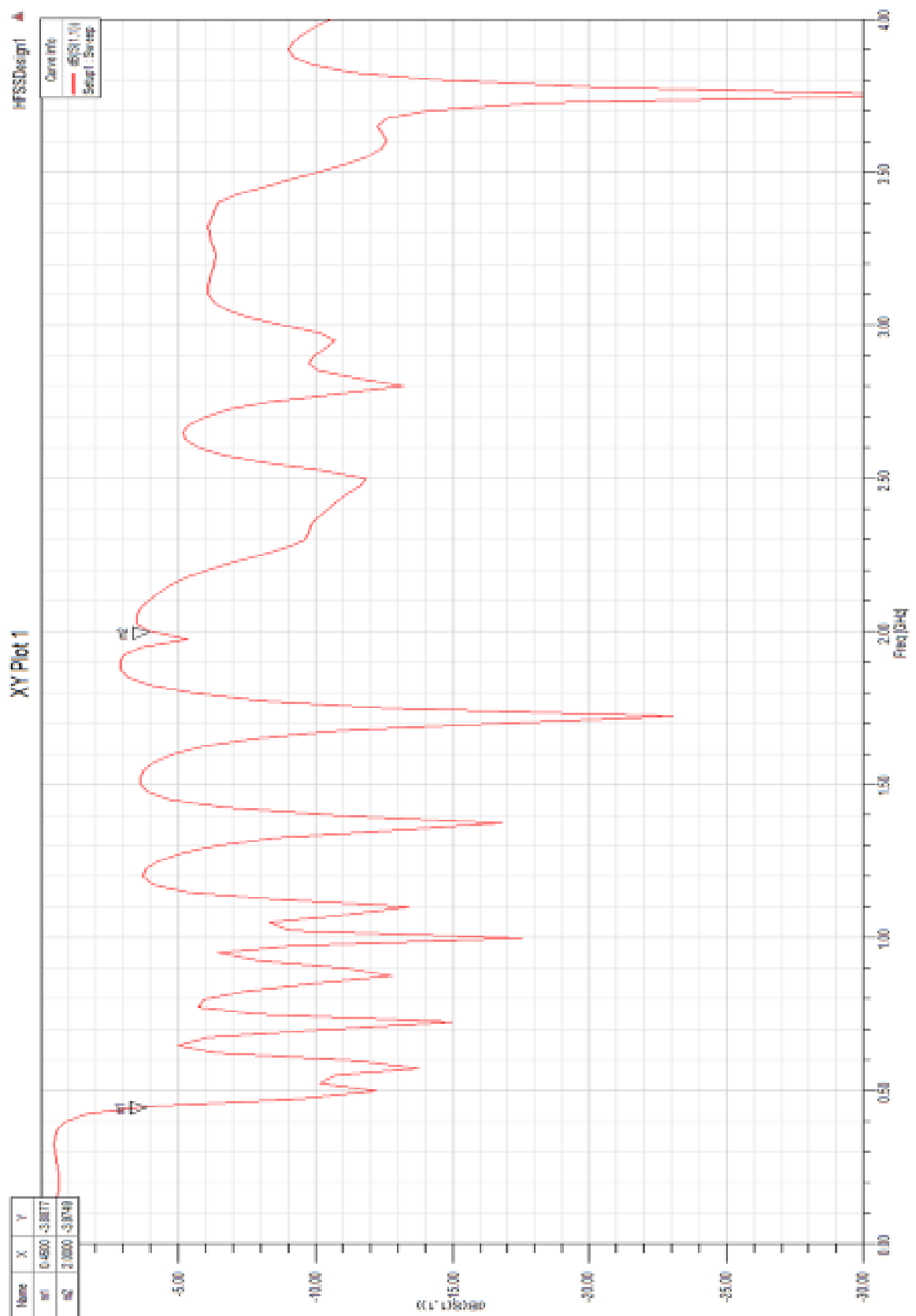
Anténa leží v ploše XY



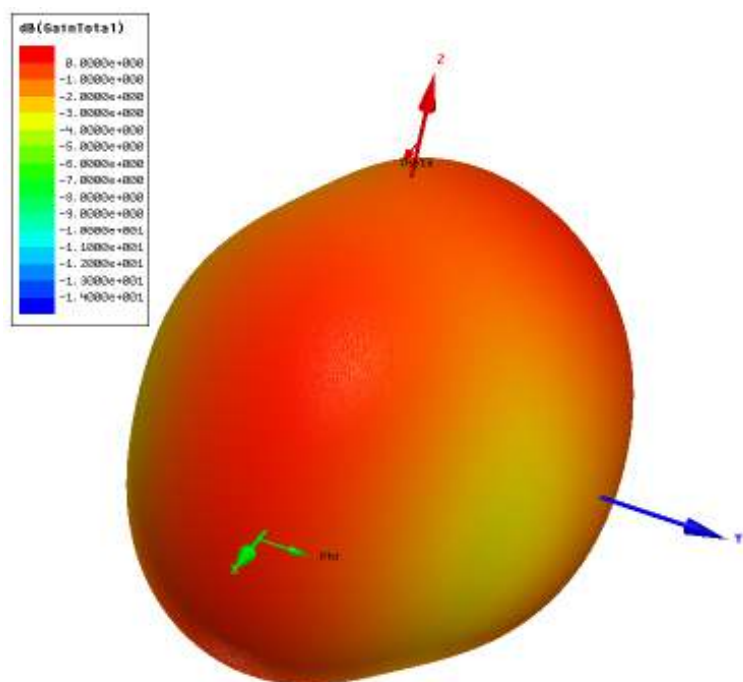
Obrázek 2.3.8 :napájecí strana log-per antény



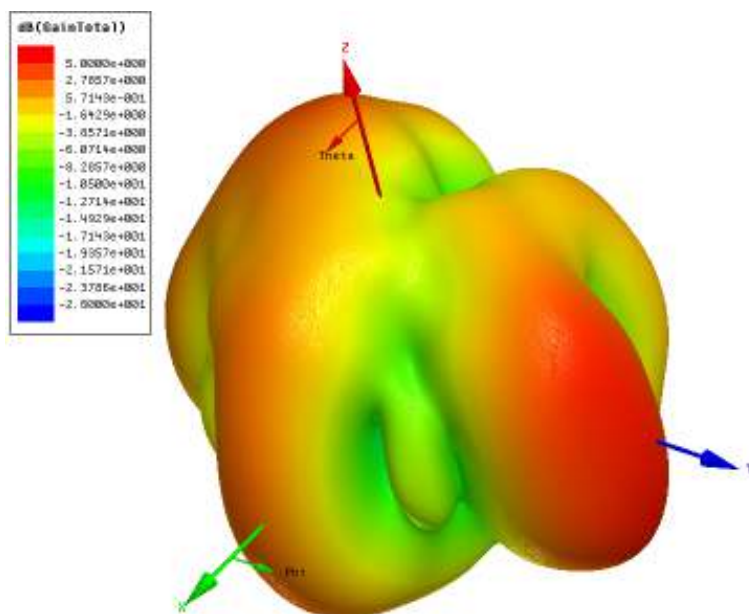
Obrázek 2.3.9 :zemnicí strana log-per antény



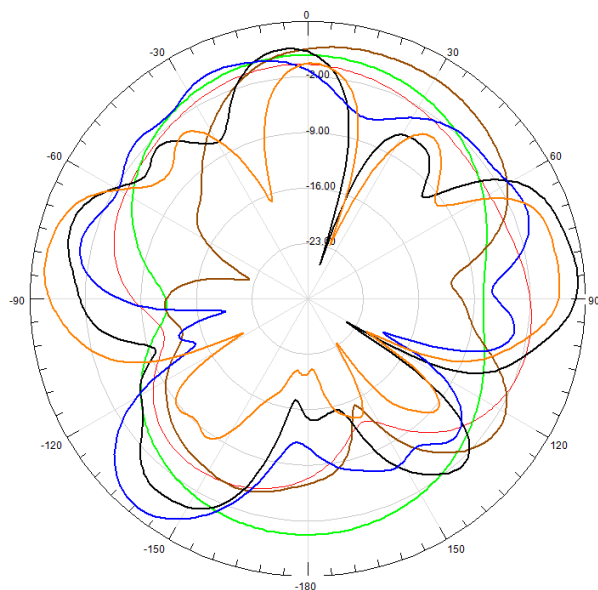
Obrázek 2.3.10 : parametr S_{11} logaritmicke-periodické antény



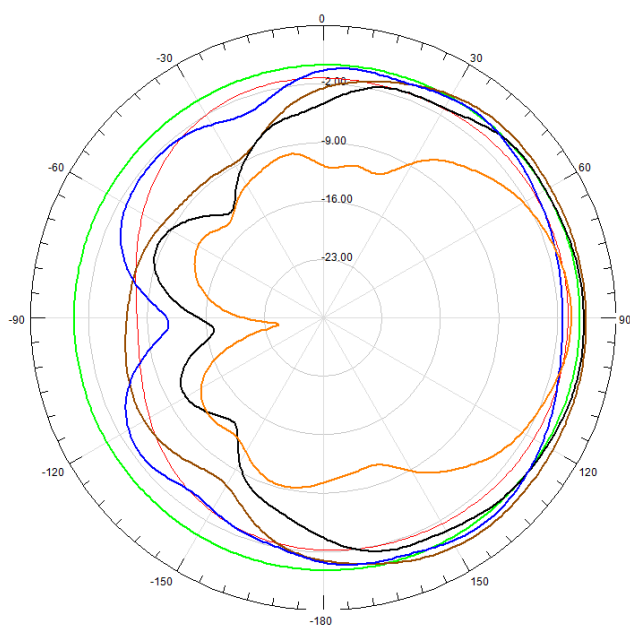
Obrázek 2.3.11 : 3D vyzařovací charakteristika logaritmicko-periodické antény pro 1GHz



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

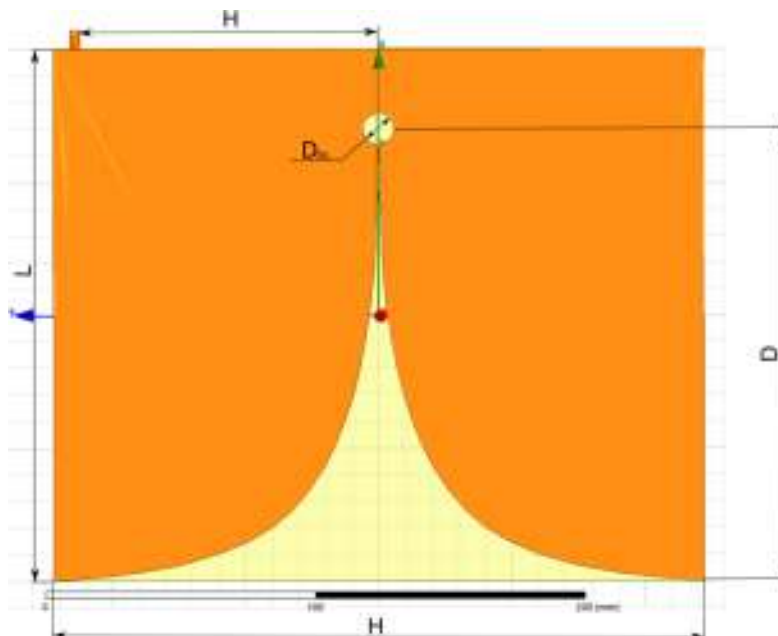
Oranžová křivka pro 3,5GHz

Tato anténa má dostatečnou hodnotu parametru S_{11} na pásmu 450MHz do 3GHz

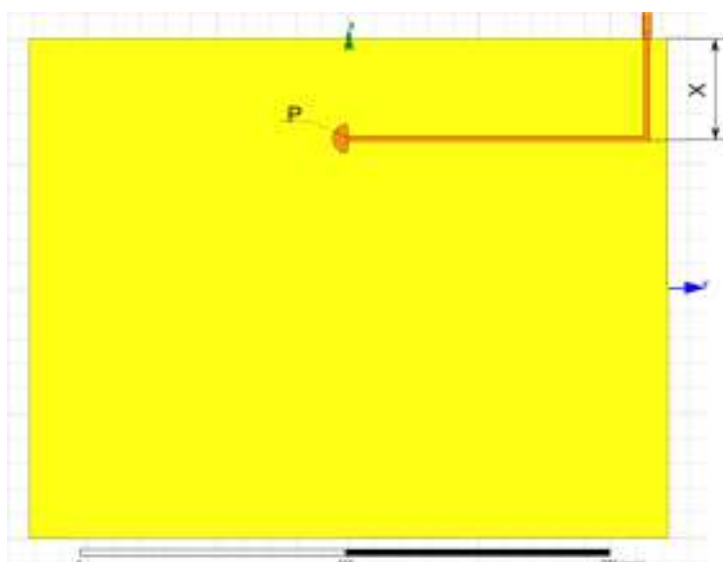
kolem -5dB, použitelná šířka pásma je ale jen od 450MHz do 2GHz kdy ještě nejsou velmi zřetelné vedlejší laloky a jsou vůči směru dopředu (vůči směru vyzařování log-per antény) potlačeny o více jak 3dB. Na vyšších kmitočtech už se projevují vedlejší laloky v ploše XY. Velikou výhodou této antény je její velikost.

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 šterbinu	Z.E.	12mm
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

Tvar šterbiny byl zvolen experimentálně pomocí vzorce (1.8) a byla vytvořena pomocí nástroje *Draw spline* skládající se z pěti bodů. Krajiní body pojmenované P₁ a P₂ mají souřadnice vzhledem ke Globální ose P₁(64mm;0,5mm), P₂(-100mm,122mm(H/2)). Protože hodnoty bodů na ose x jsou kladné a záporné, ale k práci se vzorcem (1.8) je potřeba kladných hodnot. Byla zvolena nová osa, jejíž počátek je ve středu kruhu, který je na začátku šterbiny. Nová osa x je vodorovná s osou x globální osy, ale má opačný směr, nová osa y je vodorovná k ose y globální osy. Souřadnice bodů P_{1,2} vůči nové ose jsou P₁(6mm;0,5mm) a P₂(170mm;122mm). Tyto hodnoty byly dosazeny do vzorce (1.8) společně se vzorci (1.9) a (1.10). Za R bylo zvoleno 0,04

$$y = \frac{y_2 - y_1}{e^{Rx_2} - e^{Rx_1}} e^{Rx} + \frac{y_1 e^{Rx_2} - y_2 e^{Rx_1}}{e^{Rx_2} - e^{Rx_1}} =$$

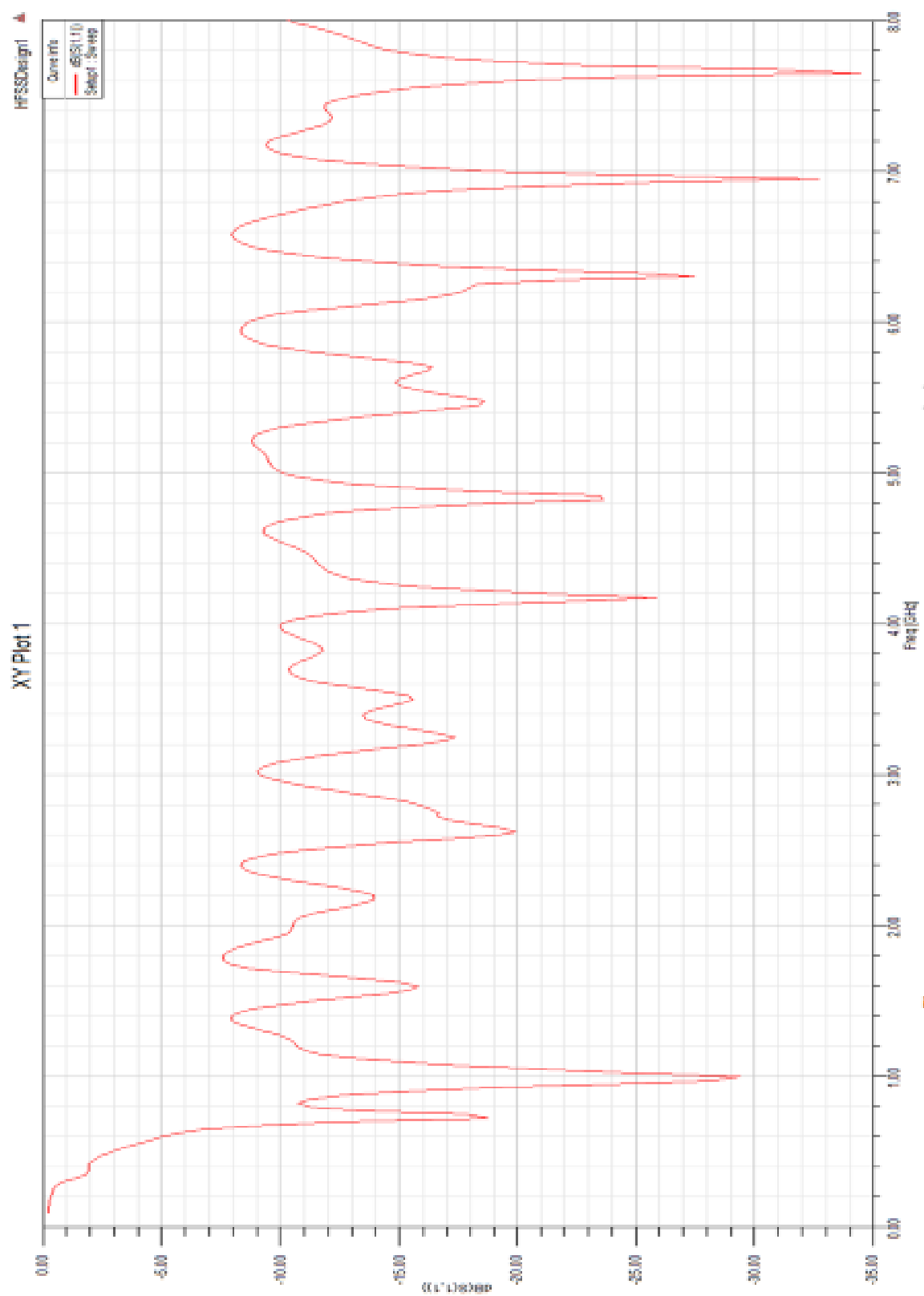
$$= \frac{122 - 0,5}{e^{0,04 \cdot 170} - e^{0,04 \cdot 6}} e^{0,04x} + \frac{0,5 e^{0,04 \cdot 170} - 122 e^{0,04 \cdot 6}}{e^{0,04 \cdot 170} - e^{0,04 \cdot 6}} =$$

$$= \underline{0,1355 e^{0,04x} + 0,3277}$$

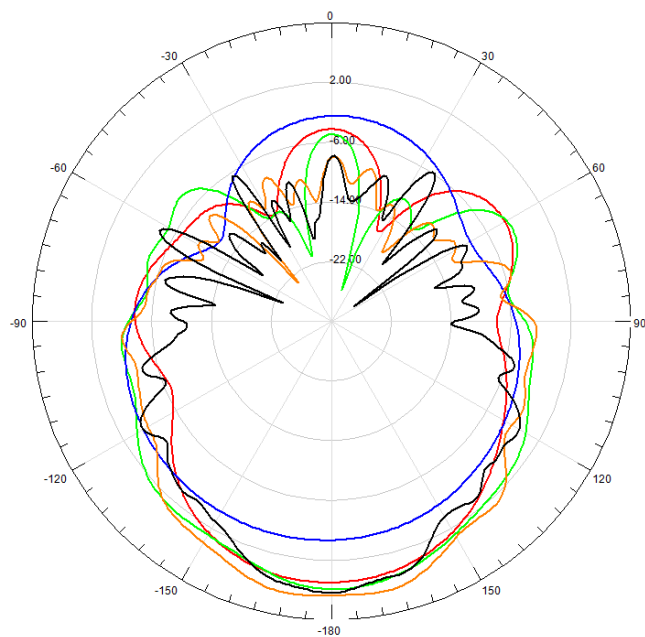
Poté byli upravovány jednotlivé body, což mělo za následek zlepšení parametrů antény. Na následujícím obrázku je porovnání vypočítané křivky (černě) a křivky, která byla poté upravena (zeleně).



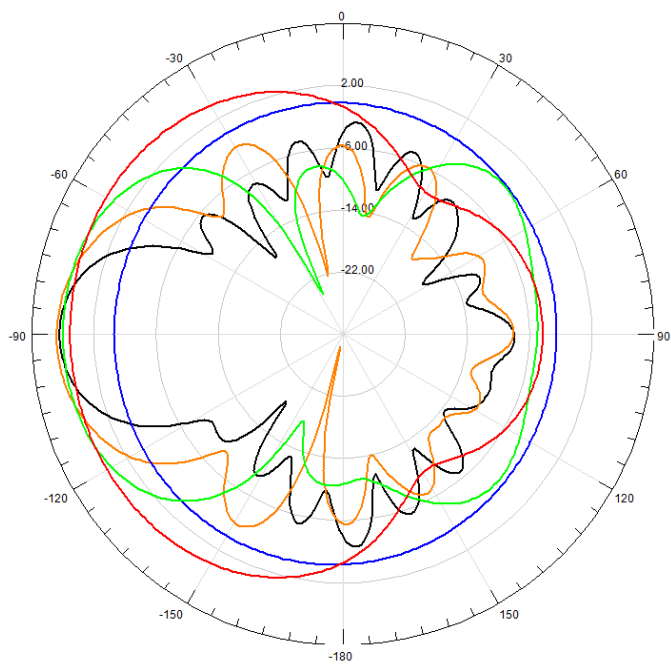
Obrázek 2.4.3 : porovnání vypočítané a upravené křivky ústí



Obrázek 2.4.4: Parametr S_{11} Vivaldiho antény

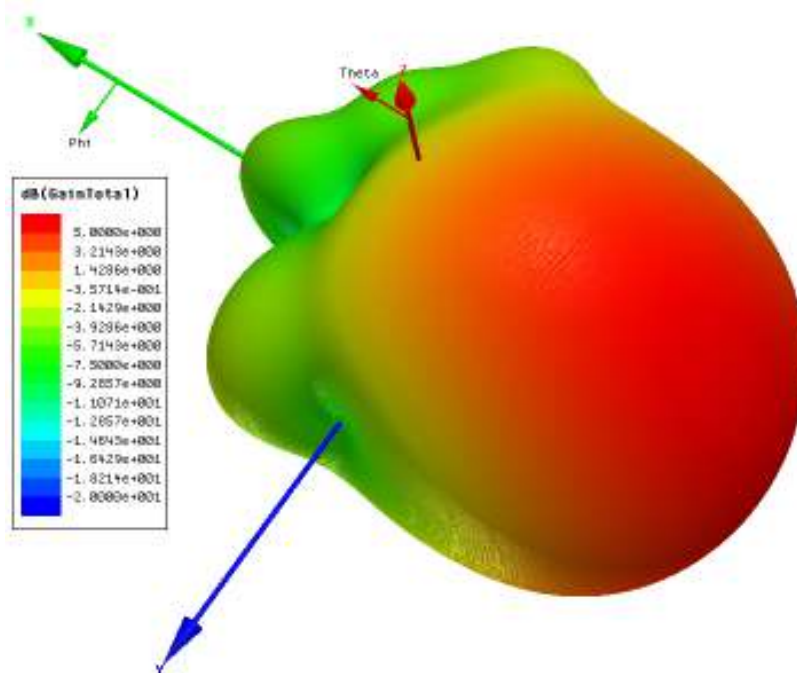


Obrázek 2.4.6: Vyzařovací charakteristika Vivaldiho antény v ploše XY

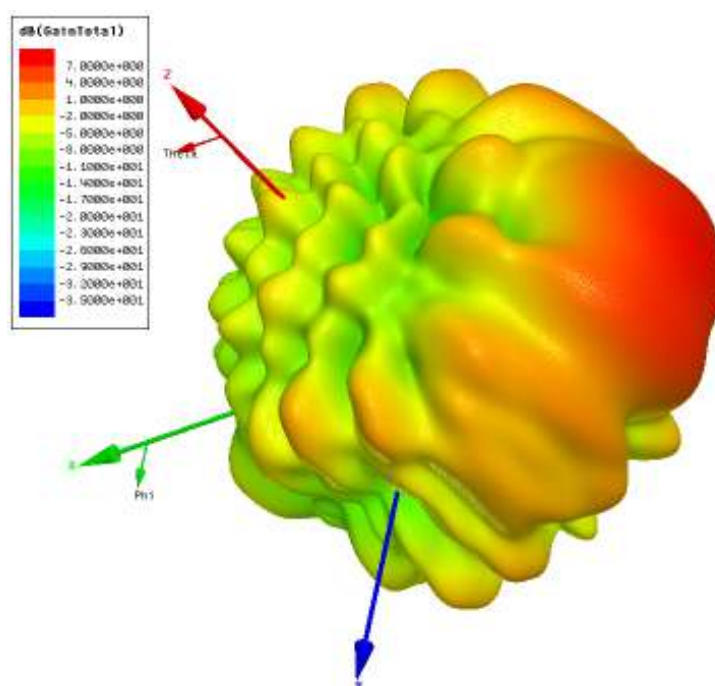


Obrázek 2.4.5: Vyzařovací charakteristika Vivaldiho v ploše XZ

Modrá křivka pro 0,5GHz
Červená křivka pro 1GHz
Zelená křivka pro 2GHz
Oranžová křivka pro 4GHz
Černá křivka pro 6GHz



Obrázek 2.4.7: 3D vyzařovací charakteristika Vivaldiho antény pro 1GHz



Obrázek 2.4.8: 3D vyzařovací charakteristika Vivaldiho antény pro 6GHz

Tato anténa má ze všech navrhovaných antén nejlepší směrovost, šířku pásma a zisk, nevýhodou je její velikost oproti logaritmicko-periodické anténě a oproti motýlové anténě.

3 PRAKTICKÁ REALIZACE ANTÉN

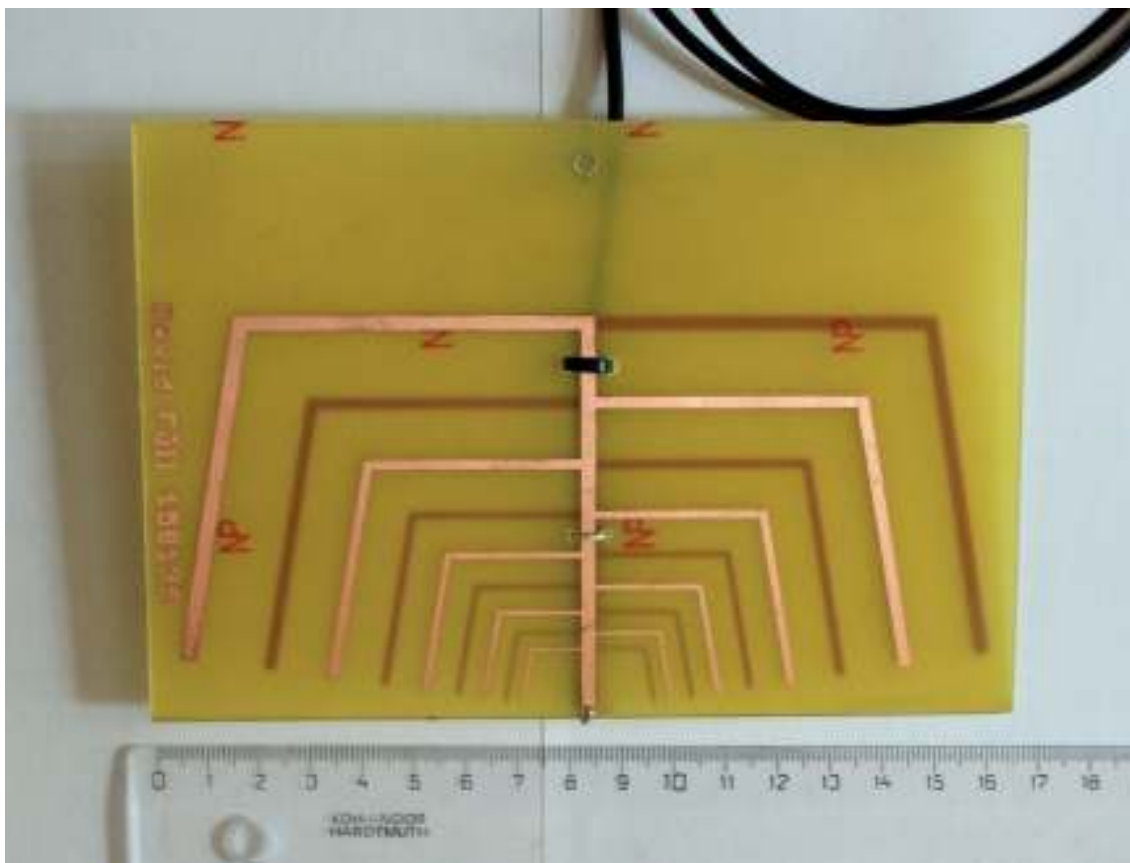
Fyzicky byly realizovány dvě antény.

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.

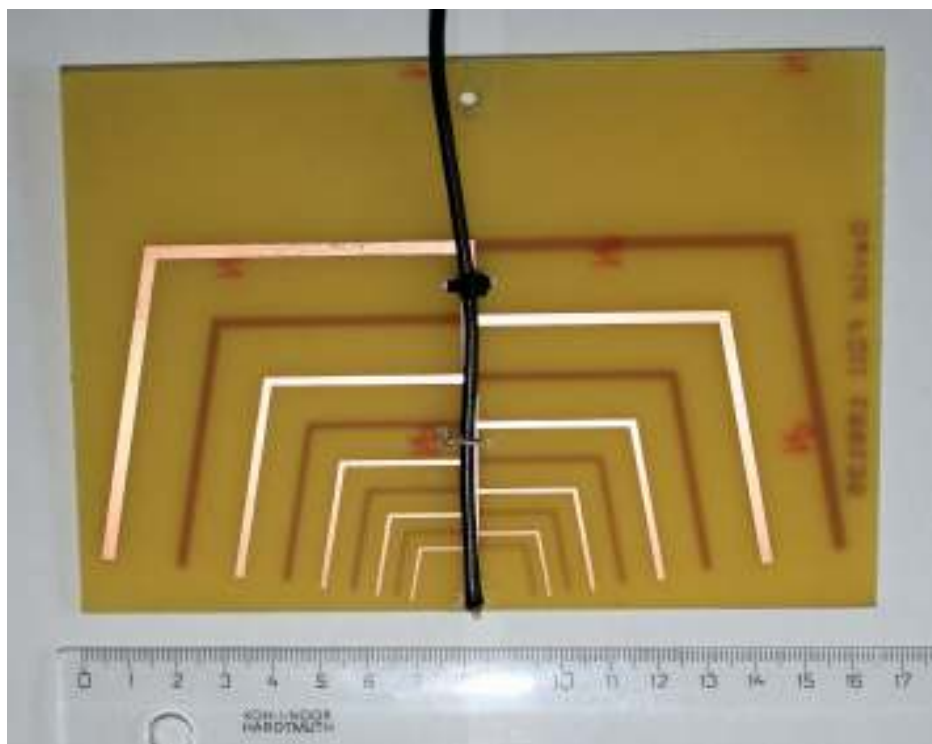
Výše zmiňované antény jsou vyrobeny na substrátu FR4.

V následujících grafech a vyzařovacích charakteristikách je modře znázorněno výsledky simulací a oranžově skutečné hodnoty.

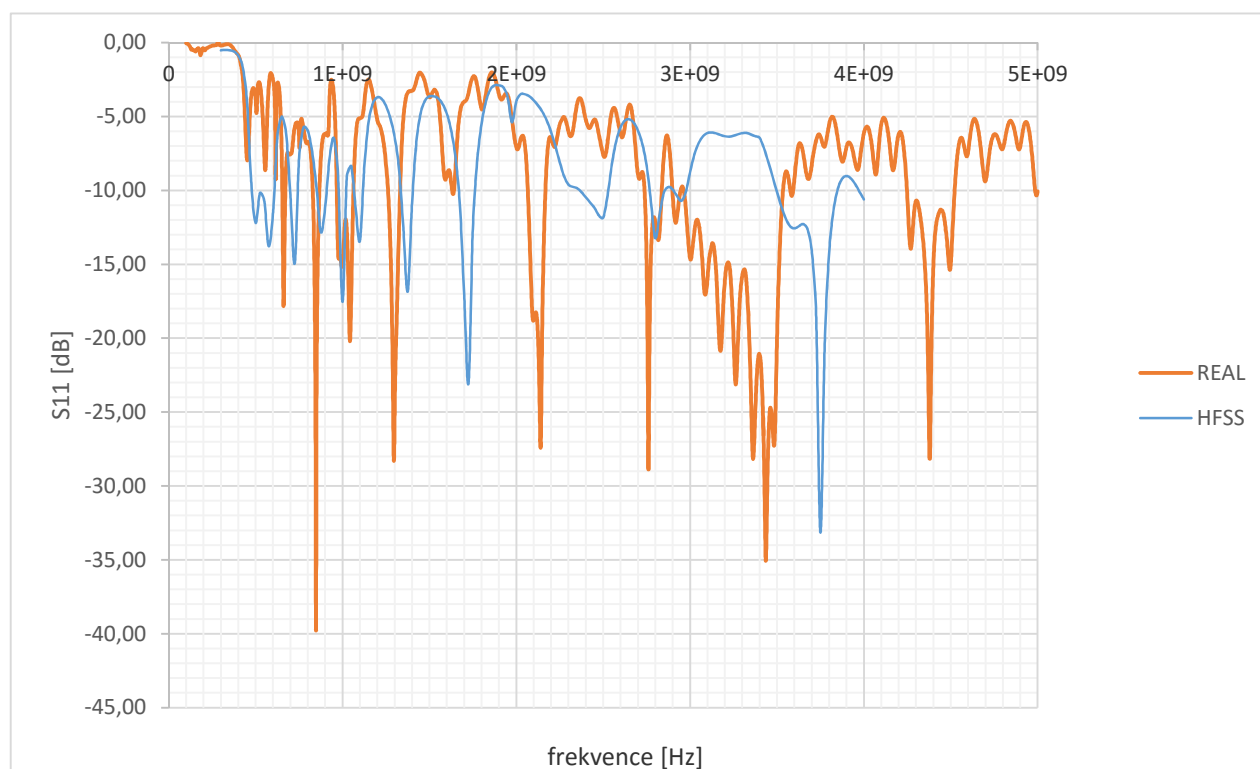
3.1 Logaritmicko-periodická anténa



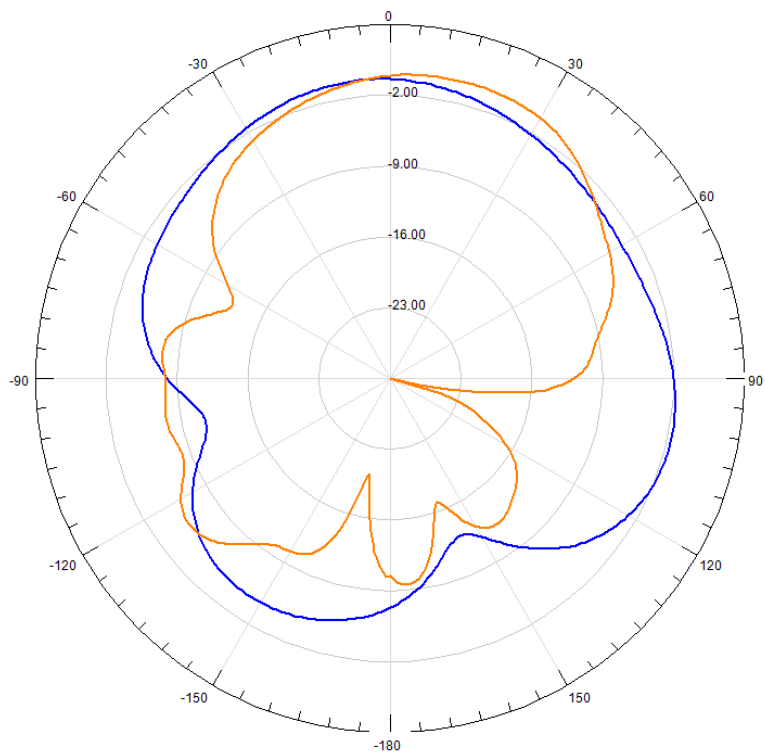
Obrázek 3.1.1 : napájecí strana logaritmicko-periodické antény



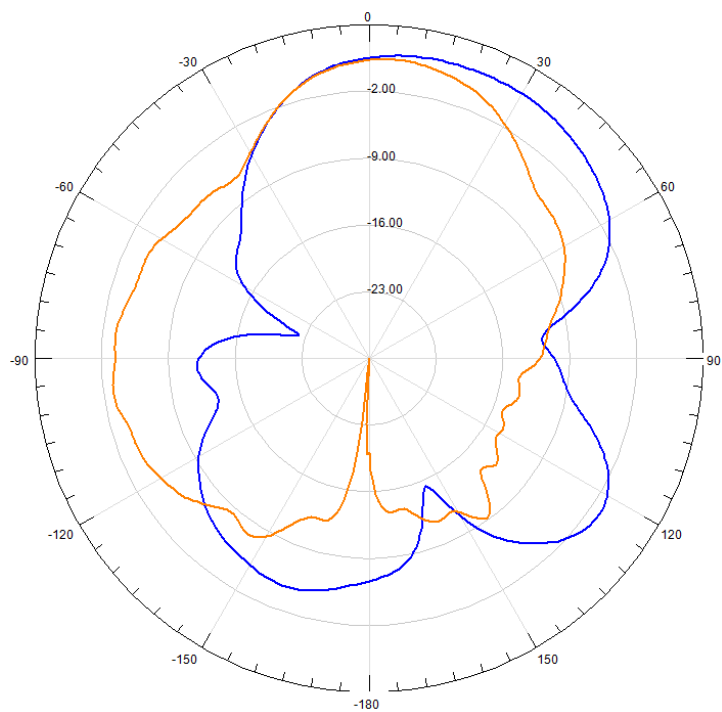
Obrázek 3.1.3 : zemní strana logaritmicko-periodické antény



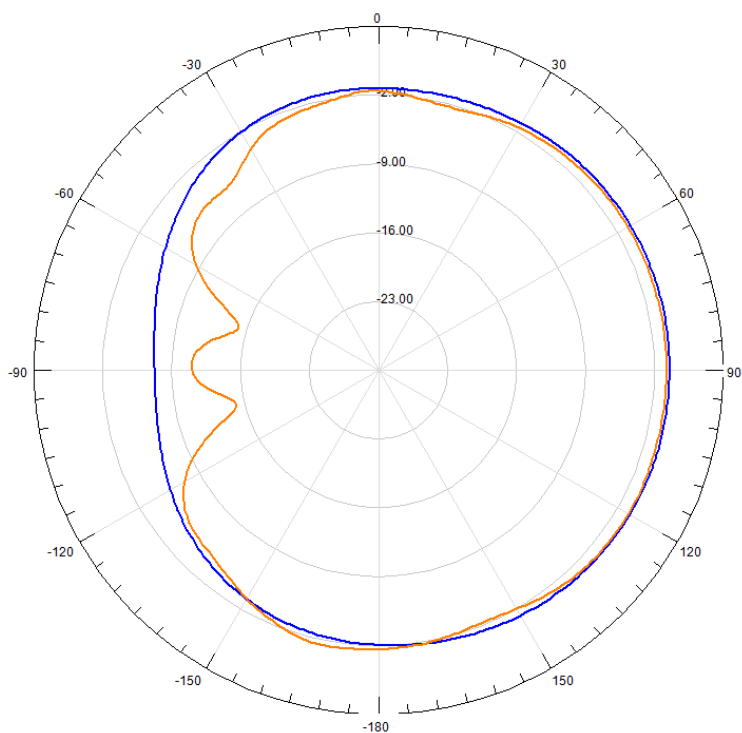
Obrázek 3.1.2 : porovnání parametru S_{11} pro logaritmicko-periodickou anténu



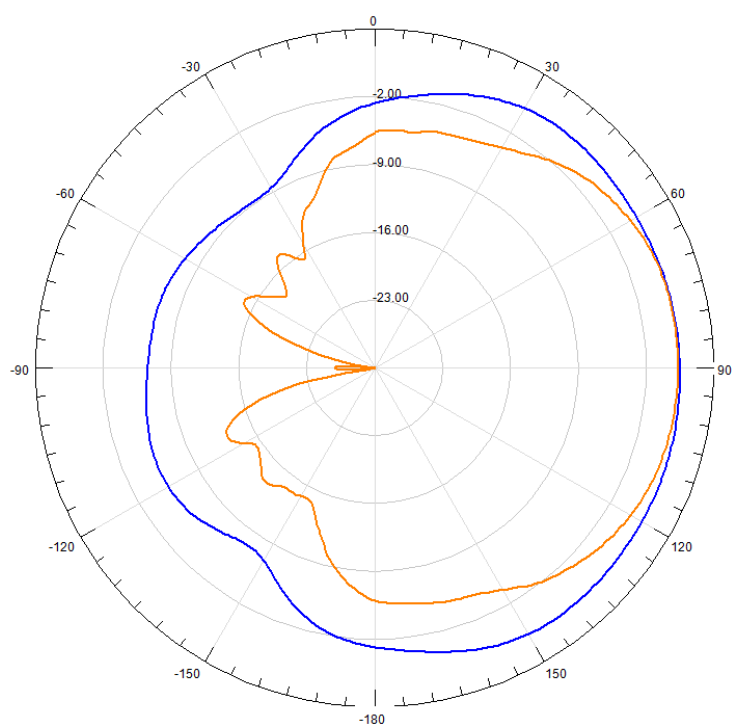
Obrázek 3.1.4 : porovnání vyzařovací charakteristiky logaritmicko-periodické antény v ploše XY na frekvenci 1GHz



Obrázek 3.1.5 : porovnání vyzařovací charakteristiky logaritmicko-periodické antény v ploše XY na frekvenci 2GHz

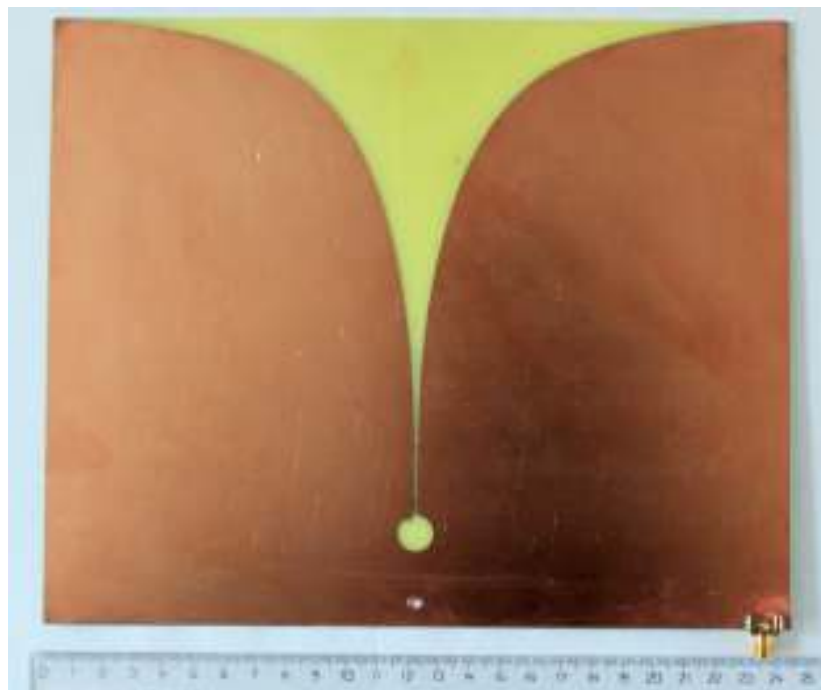


Obrázek 3.1.6 : porovnání vyzařovací charakteristiky logaritmicko-periodické antény v ploše XZ na frekvenci 1GHz

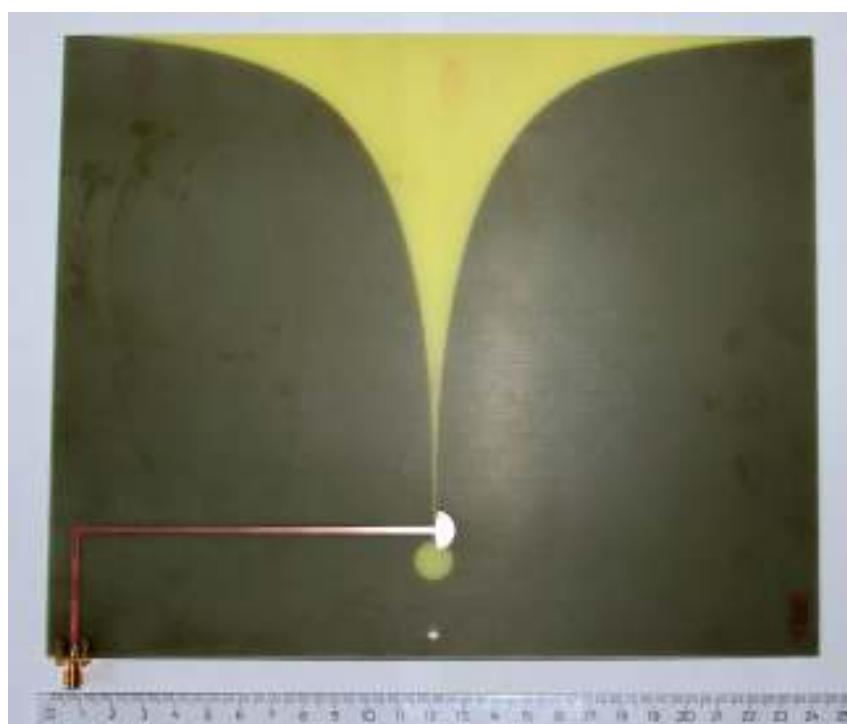


Obrázek 3.1.7 : porovnání vyzařovací charakteristiky logaritmicko-periodické antény v ploše XZ na frekvenci 2GHz

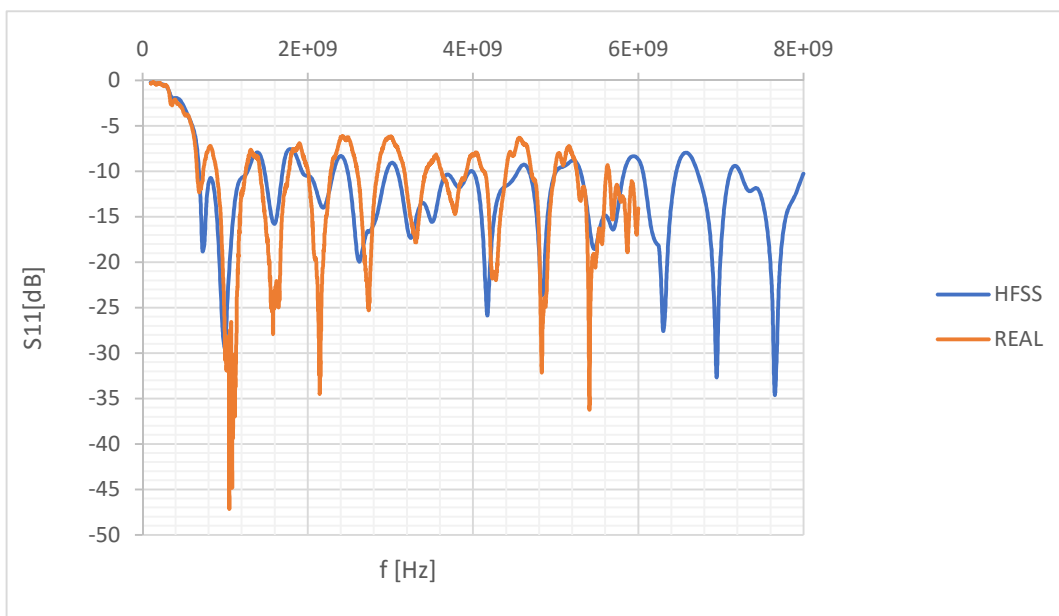
3.2 Vivaldiho anténa



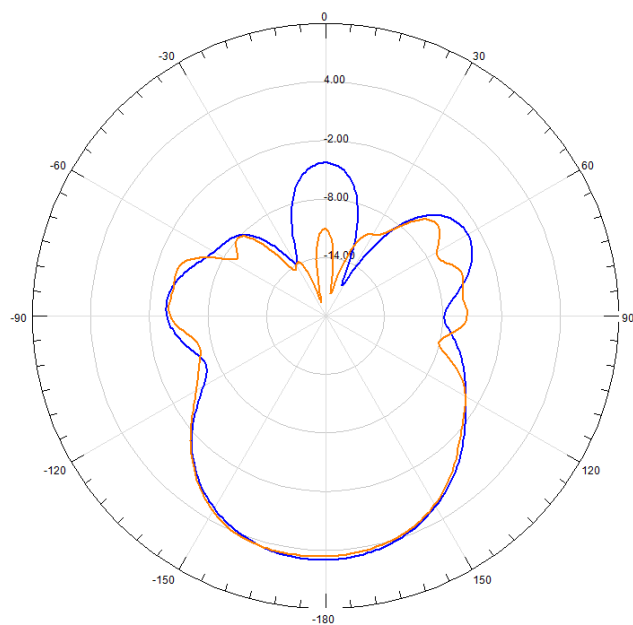
Obrázek 3.2.1 : zemní strana Vivaldiho antény



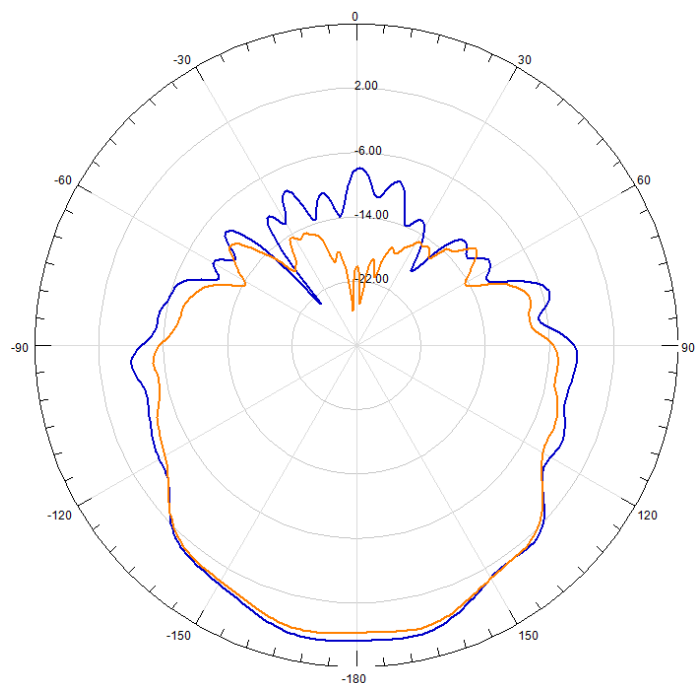
Obrázek 3.2.2 : napájecí strana Vivaldiho antény



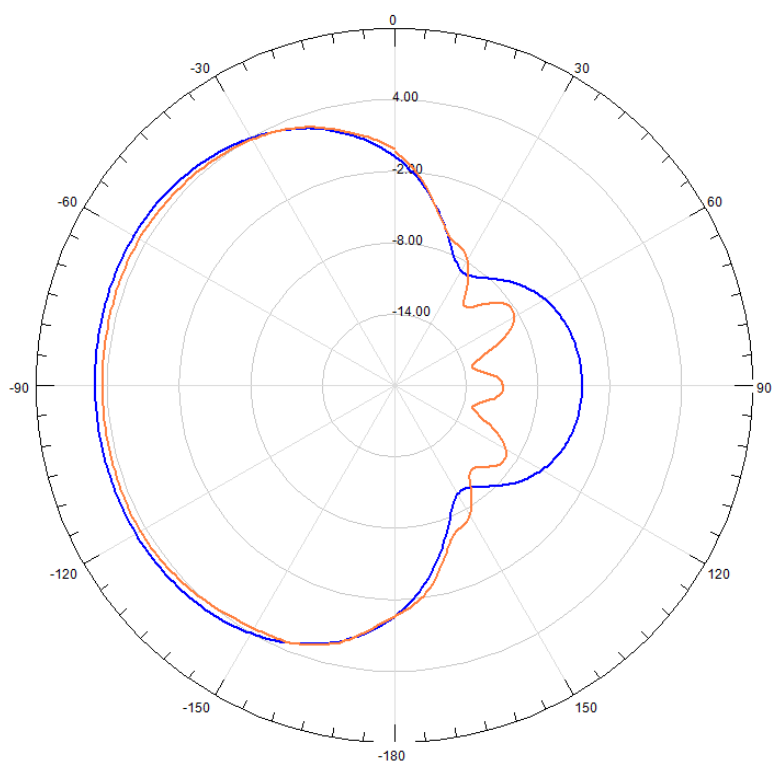
Obrázek 3.2.3 : porovnání parametru S_{11} Vivaldiho antény



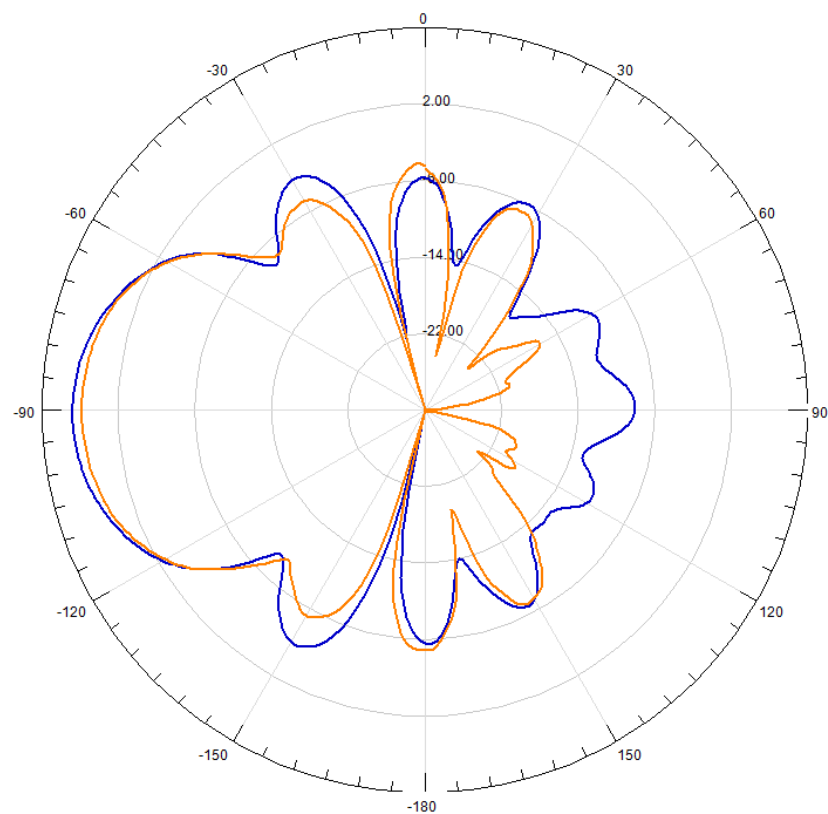
Obrázek 3.2.4 : porovnání vyzařovací charakteristiky Vivaldiho antény na frekvenci 1GHz v ploše XY



Obrázek 3.2.5 : porovnání vyzařovací charakteristiky Vivaldiho antény na frekvenci 4GHz v ploše XY



Obrázek 3.2.6 : porovnání vyzařovací 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 dosáhlo se jen částečného 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) a příčina tohoto rozdílu nebyla v příběhu práce zjištěna. U Vivaldiho antény naměřené hodnoty odpovídaly hodnotám ze simulací.

V budoucnu by se mohla tato práce ubírat směrem ke zlepšení modelu Vivaldiho antény. Například zakončení napájecího mikropásku by mělo mít charakteristickou impedanci 100Ω a konec ústí na rozhraní substrát–volný prostor by měla být charakteristická impedance rovna 377Ω . To by mělo vést k co nejmenším ztrátám výkonu, které jsou způsobeny odrazy na rozhraní dvou materiálů s různými hodnotami charakteristické impedance.

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] DANEŠ, Josef. *Amatérská radiotechnika a elektronika*. 1. vyd. Praha: Naše vojsko, 1989, 4 sv. Knižnice Svazarmu. s. 432-436
- [5] 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/>
- [6] WANG, Yazhou a Aly E. FATHY. EECS DEPARTMENT, UNIVERSITY OF TENNESSEE, KNOXVILLE, USA. *Design of a Compact Tapered Slot Vivaldi Antenna Array for See Through Concrete Wall UWB Applications* [online]. [cit. 2015-08-05]. Dostupné z: <http://www.ursi.org/Proceedings/ProcGA08/papers/BP20p8.pdf>