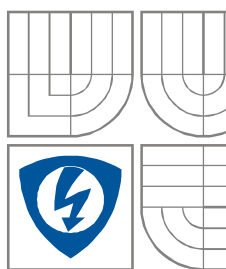




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNologiÍ

ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND  
COMMUNICATION

DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

## Širokopásmová planární anténa

PLANAR ANTENNA WIDEBAND

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

Kamil Večerka

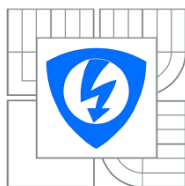
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE

prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida.

SUPERVISOR

BRNO, 2012



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

## Bakalářská práce

bakalářský studijní obor  
Elektronika a sdělovací technika

**Student:** Kamil Večerka  
**Ročník:** 3

**ID:** 106271  
**Akademický rok:** 2011/2012

**NÁZEV TÉMATU:**

### Širokopásmová planární anténa

#### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Prostudujte koncept širokopásmové planární antény publikovaný v [2] a stručně jej popište. Koncept antény upravte tak, aby jej bylo možné modelovat v programu ANSOFT Designer. Výsledky simulací modifikované antény porovnejte s publikovanými výsledky originální antény.

Strukturu antény přepočítejte ze substrátu FR4 použitého v [2] na substrát ARLON 25N s tloušťkou 1,5 mm. Anténu optimalizujte na co možná nejlepší impedanční přizpůsobení v pásmu 3 až 11 GHz. V kmitočtovém rozsahu 5.0 až 5.9 GHz požadujeme, aby anténa vykazovala zádržné pásmo. Anténu vyrobte a experimentálně ověřte její vlastnosti.

#### DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] GARG, R., BHARTIA, P., BAHL, I., ITTIPIBOON, A. Microstrip Antenna Design Handbook. Norwood: Artech House, 2001.

[2] GHOBADI, A., GHOBADI, CF., NOURINIA, J. A novel band/notched planar monopole antenna for ultrawideband applications. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2010, vol. 9, p. 608-611.

**Termín zadání:** 6.2.2012

**Termín odevzdání:** 25.5.2012

**Vedoucí práce:** prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida

**Konzultanti bakalářské práce:**

prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida

*Předseda oborové rady*

#### UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do dílech 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**

Tato bakalářská práce je zaměřena na koncept širokopásmové planární antény publikované v [1]. Práce popisuje rozbor vlivu jednotlivých částí antény na šířku požadovaného pásma, optimalizaci a přizpůsobení geometrických rozměrů pro modelování a simulaci v programu ANSOFT Designer. Obsahuje návrh a postup při realizaci širokopásmové antény na substrátu ARLON 25N a měřením dosažené výsledky sestrojené antény.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Širokopásmová planární anténa, ANSOFT Designer, Optimalizace,

## **ABSTRACT**

This thesis is focused on the concept of wideband planar antennas published in [1]. This work describes an analysis of the influence of individual parts of the antenna to the desired width of the band, optimization and adaptation of geometric dimensions for modeling and simulation in the Ansoft Designer. Include design and follow-up of broadband antennas on the substrate Arlon 25N and measuring the results achieved constructed antenna

## **KEYWORDS**

Planar antenna wideband, Ansoft Designer, Optimization

VEČERKA, K. *Širokopásmová planární anténa*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav radioelektroniky, 2012. 35s., 6 s. příloh. Semestrální práce. Vedoucí práce: prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou semestrální práci na téma Širokopásmová planární anténa 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 semestrální práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této semestrální práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne 25. 5. 2012

Kamil Večerka  
(podpis autora)

## PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida, za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc, další cenné rady a trpělivost při zpracování mé semestrální práce.

V Brně dne 25. 5. 2012

Kamil Večerka  
(podpis autora)

## Obsah

Seznam obrázků.....	7
Úvod .....	8
1 Teoretický rozbor .....	9
1.1 Základní parametry .....	9
1.1.1 Definice antény .....	9
1.1.2 Definice šířky pásma u planárních UWB antén.....	10
1.2 Vlivy základních parametrů planárních antén na širokopásmovost .....	11
1.2.1 Tvar flíčku.....	11
1.2.2 Substrát .....	12
1.2.3 Napájení .....	13
1.3 Technický popis a uspořádání antény [1].....	14
1.3.1 Anténa s pravoúhlými rezonátory .....	15
1.3.2 Anténa s L rezonátory .....	15
1.4 Rozbor vlivu jednotlivých prvků.....	16
1.4.1 Vliv obdélníkových rezonátorů.....	16
1.4.2 Vliv L rezonátorů .....	17
2 Výsledky Vlastní simulace .....	18
2.1 Vlastní analýza .....	18
2.1.1 3D model.....	22
2.1.2 Optimalizace rozměrů .....	23
3 Návrh a konstrukce antény .....	25
3.1 Návrh antény .....	25
3.1.1 Konstrukční konfigurace antény .....	28
3.1.2 Výsledky měření .....	31
3.1.3 Skript pro výpočet šířky napájecího mikropásku v programu Matlab.....	33
4 Závěr.....	34
Literatura.....	35
Seznam symbolů, veličin a zkratk .....	36
Seznam Příloh.....	37
Příloha A 1 Výrobní obrazce .....	38
Příloha A 2 Směrové charakteristiky pro rovinou-E .....	39
Příloha A 3 Směrové charakteristiky pro rovinou-H.....	40
Příloha A 4 Závislosti zisku na směru pro rovinu -H .....	41
Příloha A 5 Závislost zisku na směru pro rovinu -E .....	42
Příloha A 6 Fotodokumentace .....	43

# SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1.1 Mikropásková anténa s napájením mikropáskem, převzato [6].....	10
Obrázek 1.2. Základní tvary flíčkových antén, převzato [8] .....	11
Obrázek 1.3 Vliv geometrie na šířku pásma antény, převzato [10] .....	11
Obrázek 1.4 Závislost činitele odrazu $S_{11} (\text{dB})$ na výšce substrátu. Převzato [9] .....	12
Obrázek 1.5 Závislost činitele odrazu $S_{11} (\text{dB})$ na permitivitě substrátu. Převzato [9]...	12
Obrázek 1.6 Napájení mikropáskovým vedením a) nezapuštěné vedení, b) kapacitní vazba, c) zapuštěné vedení. Převzato [9].....	13
Obrázek 1.7 Geometrické uspořádání antény, převzato [1].....	14
1.8 Závislost VSWR na $f$ pro různé hodnoty a) $W_g$ ( $L_g = 4 \text{ mm}$ , $t = 0,93 \text{ mm}$ ) b) $L_g$ ( $W_g = 2,2 \text{ mm}$ , $t = 0,93 \text{ mm}$ ), převzato [1].....	16
Obrázek 1.9 Závislost VSWR na $f$ pro různé hodnoty $t$ ( $W_g = 2,2 \text{ mm}$ , $L_g = 4 \text{ mm}$ ), převzato [1].....	16
Obrázek 1.10 Závislost VSWR na $f$ pro různé hodnoty $g$ ( $L_h = 3,4 \text{ mm}$ ), převzato [1] ..	17
Obrázek 1.11 Závislost VSWR na $f$ pro různé hodnoty $L_h$ ( $g = 0,3 \text{ mm}$ ), převzato [1] ..	17
Obrázek 2.1 Motiv publikované antény v programu Ansoft Designer.....	18
Obrázek 2.2 Závislost činitele odrazu na frekvenci.....	18
Obrázek 2.3 Motiv antény bez $L$ rezonátorů .....	19
Obrázek 2.4 Závislost činitele odrazu na frekvenci bez $L$ rezonátorů.....	19
Obrázek 2.5 Motiv antény bez obdélníkových rezonátorů .....	20
Obrázek 2.6 Závislost činitele odrazu na frekvenci bez obdélníkových rezonátorů .....	20
Obrázek 2.7 Motiv pouze vlastního prvku antény s mikropáskovým napájením.....	21
Obrázek 2.8 Závislost činitele odrazu na frekvenci bez zadního výřezu.....	21
Obrázek 2.9 3D model antény .....	22
Obrázek 2.10 Optimalizovaný výřez zemní roviny .....	23
Obrázek 2.11 Závislost činitele odrazu na frekvenci po optimalizaci zemní roviny.....	23
Obrázek 2.12 Závislost činitele odrazu na frekvenci se zádržným pásmem .....	24
Obrázek 3.1 Konfigurace antény pro zvolený pracovní kmitočet $f_r = 6 \text{ GHz}$ .....	27
Obrázek 3.2 Závislost činitele odrazu na frekvenci pro zvolený pracovní kmitočet $f_r = 6 \text{ GHz}$ .....	27
Obrázek 3.3 Závislost činitele odrazu na frekvenci v programu CST Microwave studio	28
Obrázek 3.4 Konfigurace antény pro zvolený pracovní kmitočet $f_r = 7 \text{ GHz}$ .....	29
Obrázek 3.5 Závislost činitele odrazu na frekvenci pro zvolený pracovní kmitočet $f_r = 7 \text{ GHz}$ .....	29
Obrázek 3.6 Závislost činitele odrazu na frekvenci, simulace v CST Microwave studio pro $f_r = 7 \text{ GHz}$ .....	30
Obrázek 3.7 Závislost činitele odrazu na frekvenci.....	31
3.8 Směrové charakteristiky a) pro rovinou-H b) pro rovinou-E .....	32
3.9 Závislost korekčního faktoru $K$ na kmitočtu .....	32
3.10 Závislost zisku na směru pro a) rovinu -E b) rovinu -H .....	32

# ÚVOD

Tato bakalářská práce se věnuje konceptu širokopásmové planární antény publikované v [1], zejména vlivům, které ovlivňují širokopásmovost antén. Popisuje vliv jednotlivých prvků na šířku pásma antény, jejich analýzu popisuje rozbor vlivu jednotlivých částí antény na šířku požadovaného pásma, optimalizaci a přizpůsobení geometrických rozměrů pro modelování a simulaci v programu ANSOFT Designer.

Mezi nově navrhovanými typy UWB antén, by měly být pro budoucí využití UWB pásmo tištěné planární antény, a to z důvodu jejich jednoduché konstrukce, všesměrové charakteristiky, jednoduché výroby a schopnosti integrace s tištěnými deskami.

Jedná se o anténu pro použití v kmitočtovém pásmu 3,1 – 11 GHz s vloženým pásmem vykazujícím útlum mezi 5 – 5,9 GHz. Frekvenční pásmová zádrž pokrývá pásmo WLAN.

Je doplněna o základní parametry, které antény definují, dále o přesný postup návrhu planární antény i s popisem vlivu jednotlivých přídavných částí, které vykazují parazitní rezonance, jenž vhodným umístěním a volbou jejich geometrických rozměrů, jsou při vzájemné kombinaci a současným propojením se zemní deskou ovlivnit výslednou frekvenční charakteristiku i jiné parametry dané antény.

Práce také obsahuje návrh a postup při optimalizaci a realizaci širokopásmové antény na substrátu ARLON 25N a měřením dosažené výsledky sestrojené antény.



# 1 TEORETICKÝ ROZBOR

## 1.1 Základní parametry

### 1.1.1 Definice antény

Toto slovo pochází z latinského *antenna*, které pochází z Řeckého slova znamenajícího rozpráhnutí a je spojeno s částí námořní lodi jako příčné ráhno na vertikálním stožáru. Termín anténa byl poprvé použit v roce 1909 G. Markonim.

Anténa je zařízení spojené s oblastí přechodu mezi elektromagnetickým vlněním šířícím se podél vedení napájecího a elektromagnetickým vlněním ve volném prostoru a naopak.

V podstatě je anténa jakýsi transformátor energie, jehož úkolem je v závislosti na tom, jestli je použita jako vysílací nebo přijímací, převést neboli vyzářit elektromagnetickou vlnu šířenou napáječem na elektromagnetickou vlnu šířící se prostorem a v případě přijímací antény tuto prostorovou vlnu přijmout a převést na vlnění šířící se podél vedení směrem do přijímače nebo opačně při vysílací anténě. Teoreticky může každá anténa vysílat nebo přijímat, platí pro ně princip reciprocity.[3]

Antén je velká škála druhů a můžeme je dělit podle mnoha hledisek. Například podle konstrukce, metody návrhu, typu, použití, elektrických vlastností, frekvenčního pásma, atd.

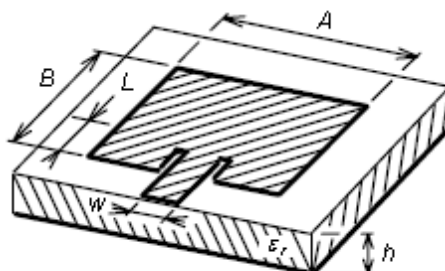
Mikropásková anténa je tvořena kovovým páskovým vodičem upevněným na jedné straně tenké dielektrické desky, jejíž opačná strana může být opatřena vodivou kovovou protiváhou. Anténní prvek má tvar flíčku (anglicky- *patch*), který může být z mědi nebo zlata na dielektrické desce, vyrobeného třeba fotochemickou technologií. Může mít různé tvary, jako třeba obdélníkové, které jsou nejčastěji používány, kruhové, čtvercové i polygony, podle požadavků na způsob vyzařování (obráz. 1.1) [6]

Mikropáskové antény jsou v současných systémech bezdrátových komunikací velice rozšířeným druhem antén. Je to dáno tím, že tyto antény vynikají velice nízkým profilem, a proto mohou být bez větších potíží umísťovány na trupy letadel, na stěny budov, či na odvrácené strany mobilních telefonů. Navíc, mikropáskové antény jsou vyráběny stejnou technologií jako tištěné spoje, a proto je jejich výroba velmi levná a dobře reprodukovatelná. Konečně, mikropáskové antény lze velice snadno integrovat přímo do mikrovlnných obvodů, založených na mikropáskové technologii, a tudíž není zapotřebí žádných speciálních vedení, symetizačních členů či konektorů, jako je tomu v případě většiny antén klasických.[8]

Tento druh antén je v současnosti velmi populární díky svým výhodám, jako je nízká váha, malý objem, převážně plošný rozměr s možností přizpůsobení k povrchu nosiče antény. Což je velmi oblíbené v dnešním trendu mobilních komunikací. Levná a technologicky nenáročná výroba, kompatibilita s technologií mikrovlnných obvodů. Používané jsou převážně v kmitočtovém pásmu 1 GHz až 50 GHz.

Nevýhodou je poměrně úzké pracovní kmitočtové pásmo, což se řeší přidáváním

parazitních rezonančních pásků různých tvarů. Ztráty v substrátu, nižší zisk, vyzařovací charakteristika, kdy záření většinou směřuje do poloprostoru nad anténou, nízký přenos výkonu a zatížitelnost.



Obrázek 1.1 Mikropásková anténa s napájením mikropáskem, převzato [6]

### 1.1.2 Definice šířky pásma u planárních UWB antén

Šířku pásma lze definovat z hlediska frekvenčně závislých parametrů, dle kterých se lze na anténu dívat jako na frekvenční filtr, jehož vlastnosti můžeme při vlastním návrhu antény ovlivnit.

S rostoucí šířkou pásma se bude selektivita antény snižovat a zároveň se bude zvyšovat poměr stojatých vln, oproti tomu pro úzké pásmo kmitočtů se bude poměr stojatých vln snižovat a vlastní selektivita antény poroste.

Úzkopásmovou anténou můžeme nazvat takovou anténu, jejíž poměr stojatých vln se bude pohybovat v rozmezí mezi 1 až 1,5 PSV. Společně s klesající hodnotou PSV nám rovněž bude narůstat vlastní zisk antény.

Z tohoto hlediska vyplývá, že co se týče zisku, vyplatí se anténu navrhnout pro jeden konkrétní kmitočet, ovšem jen jestli to vlastní zadání a určení v praxi dovolí, což ve většině případů nebývá možné a je nutno jít cestou kompromisů.

Obecně šířka pásma mikropáskových antén závisí na tvaru zářiče (flíčku), vlastnostech substrátu, napájení, hodnotě činitele jakosti antény, vybuzení násobných rezonancí a impedančním přizpůsobení. U širokopásmových planárních antén tomu není jinak.

**impedanční šířka pásma:** je rozsah kmitočtů, na kterých je anténa dobře impedančně přizpůsobená a dá se vyjádřit poměrem stojatých vln ( $PSV$  2 nebo 1,5) nebo modulem činitele odrazu ( $S_{11}$  -10 dB a -15 dB).

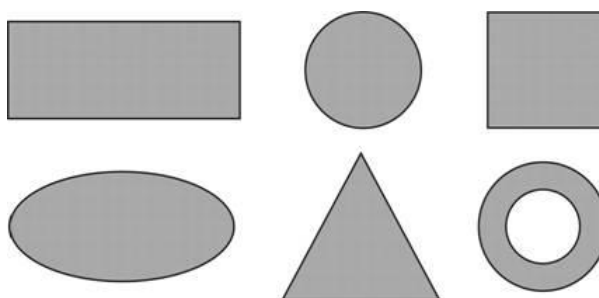
**vyzařovací šířka pásma:** vyzařovací diagram je nejdůležitější indikátor provozních módů antény. Vyzařovací charakteristika závisí na rozložení proudu na anténním flíčku.

**polarizační šířka pásma:** je definována maximální úrovní křížové polarizace neboli úrovní osového poměru. Kontrola polarizace antény závisí na kontrole ortogonálních módů vybuzených v lineárně a kruhově polarizovaných anténách. Rozdíl mezi ortogonálními módy stanovuje úroveň křížové polarizace neboli úroveň osového poměru. Úroveň osového poměru je ovlivněna typem napájení a činitelem jakosti antény. [8]

## 1.2 Vlivy základních parametrů planárních antén na širokopásmovost.







### 1.2.1 Tvar flíčku

Kovový flíček konkrétního tvaru je nesen dielektrickým substrátem. Kov by měl být dobře vodivý. Délka flíčku bývá rovna polovině vlnové délky na substrátu. Tvar flíčku ovlivňuje rozložení proudu na anténě a tím i vyzařovací charakteristiku antény. Základní tvary flíčkových antén jsou uvedeny na (obr. 1.2)



Obrázek 1.2. Základní tvary flíčkových antén, převzato [8]

Na širokopásmové planární antény lze pohlížet jako na obvody s vysokým činitelem jakosti. Zvýšení šířky pásma je tedy podmíněno snížením činitele jakosti antény. Činitele jakosti můžeme snížit výběrem vhodného tvaru flíčku (ovlivňuje provozní módy, a tedy vyzařovací účinnost antény. Protože, jednotlivé geometrické tvary vykazují rozdílný činitel kvality antény  $Q$ , má také každý tvar svou šířku pásma, jak vyplývá z (obr. 1.3)

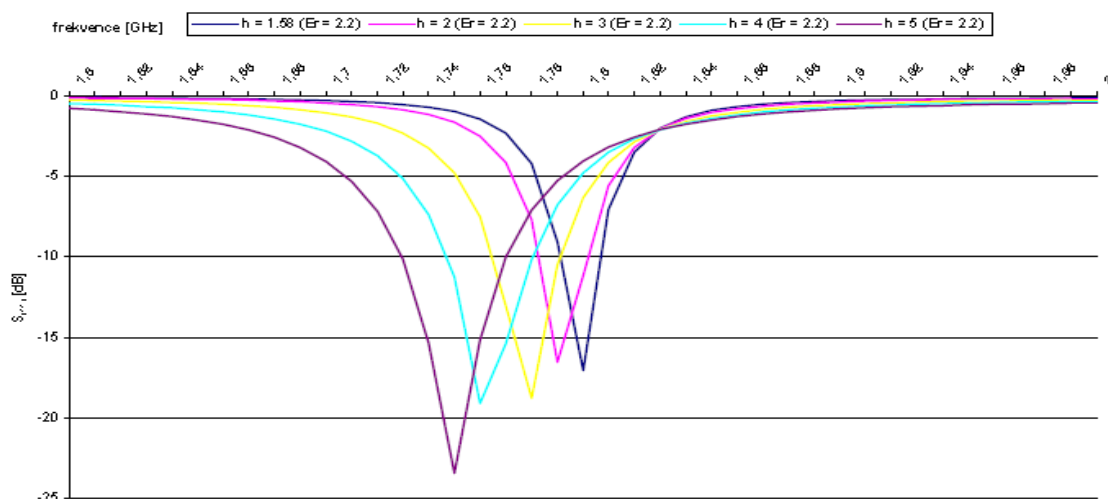
Tvar antény	Velikost stran	Šířka pásma
	$W = 20 \text{ mm}$ $L = 49 \text{ mm}$	0,7 %
	$W = 72 \text{ mm}$ $L = 48 \text{ mm}$	1,6 %
	$W = \lambda_{\text{mnda}}/4$ $L = 25 \text{ mm}$	1,95 %
	$W = L = 48 \text{ mm}$	1,3 %
	$a = 27 \text{ mm}$	1,3 %
	$a = 44 \text{ mm}$ $b = 89 \text{ mm}$	3,8 %

substrát:  $\epsilon_r = 2,32$ ,  $h = 1,59 \text{ mm}$ ,  $f = 2 \text{ GHz}$

Obrázek 1.3 Vliv geometrie na šířku pásma antény, převzato [10]

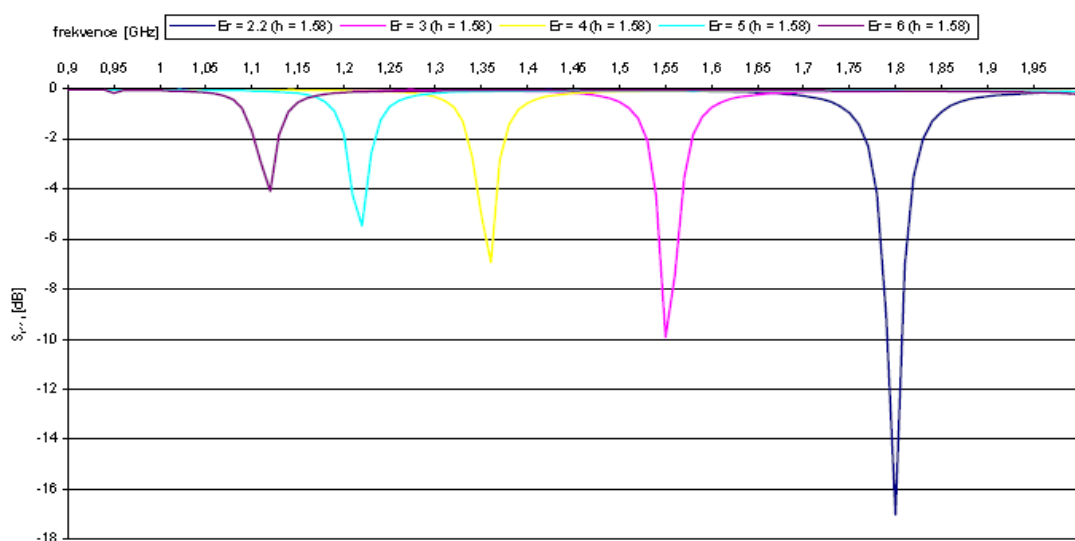
## 1.2.2 Substrát

Dielektrický substrát používaný pro mikrovlnné antény má nejčastěji relativní permitivitu  $2,2 \leq \epsilon_r \leq 16$  a ztrátový činitel  $0,0001 \leq \tan \delta \leq 0,06$ . Vysoká permitivita  $\epsilon_r$  má obvykle za následek snížení efektivity antény. Tloušťka substrátu bývá mnohem menší, než je vlnová délka. [8]



Obrázek 1.4 Závislost činitele odrazu  $S_{11}$ (dB) na výšce substrátu. Převzato [9]

Z charakteristik na (Obr. 1.4) vyplývá, že se zvyšující se hodnotou výšky substrátu  $h$  mírně klesá rezonanční frekvence, ale zlepšuje se hodnota činitele odrazu  $S_{11}$ (dB). Na (Obr. 1.5) je zobrazen vliv  $\epsilon_r$ , tj. že s rostoucí hodnotou  $\epsilon_r$  značně klesá rezonanční frekvence a zároveň i hodnota činitele odrazu  $S_{11}$ (dB). Dá se tedy říci, že tlustý substrát s nízkou relativní permitivitou rozšiřuje pásmo. [8]



Obrázek 1.5 Závislost činitele odrazu  $S_{11}$ (dB) na permitivitě substrátu. Převzato [9]

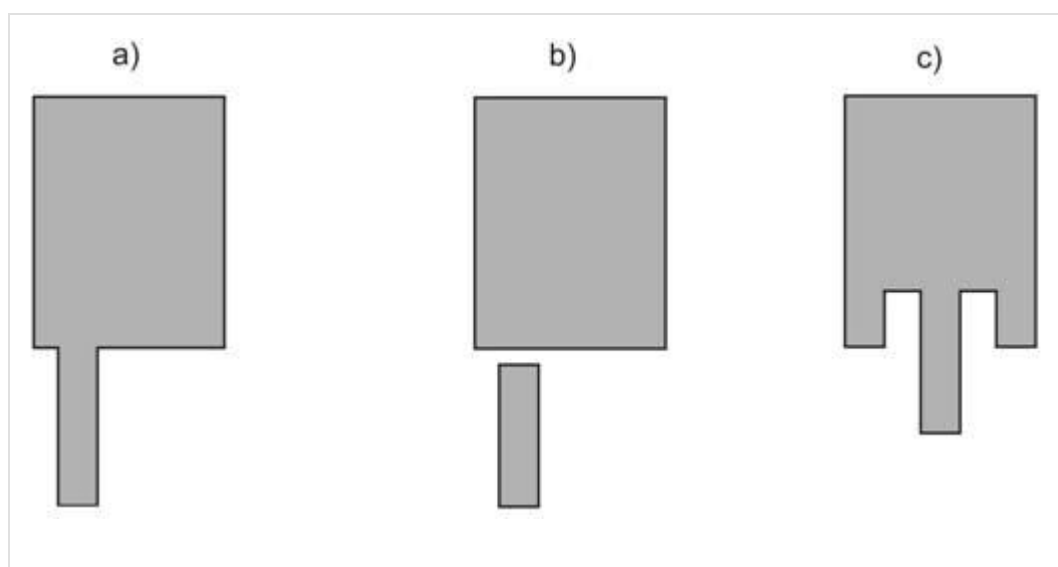
### 1.2.3 Napájení

Napájecí struktura ovlivňuje impedanční přizpůsobení, provozní módy, parazitní vyzařování, šíření povrchových vln, vyzařovaný výkon.

Fliček se dá napájet dvěma různými způsoby. Prvním způsobem je použití mikropáskového napájecího vedení. Výhoda tohoto napájení je snadná realizace, současná výroba s anténním vzorem, a snadné spojování do soustav. Nevýhodou ovšem je, že napájecí proudy, které tečou po mikropáscích, jsou zdrojem parazitního vyzařování, které deformuje směrovou charakteristiku navrhované antény.

Druhým způsobem je napájení koaxiální sondou, kdy střední vodič koaxiálního vedení je připojen k anténnímu prvku, zatímco vnější vodič vedení je vodivě spojen se zemní plochou substrátu. Tento druh napájení nevykazuje vyzařování parazitních vln, a proto nedochází k deformaci vyzařované charakteristiky. Nevýhodné je toto napájení z důvodu náročnější výroby, protože se musí vrtat otvory do substrátu kvůli připojení koaxiálního napáječe a dále je poměrně obtížnější spojování tímto způsobem antén do soustav. [6]

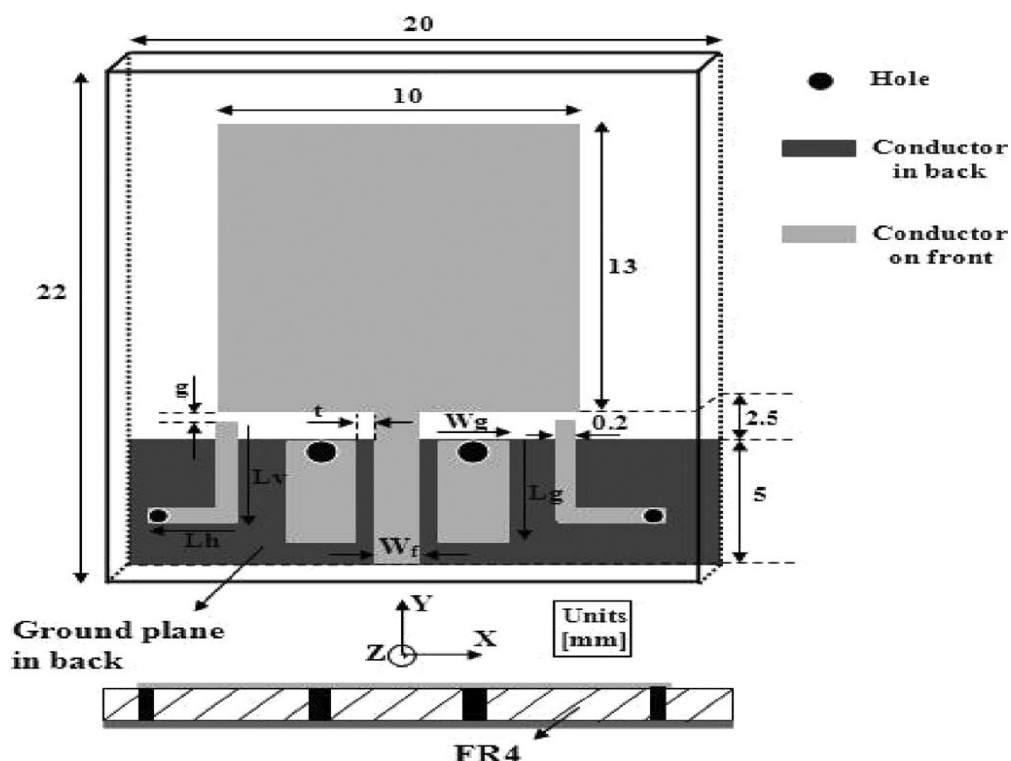
Nejčastěji se používá právě napájení koaxiální sondou (vnější vodič je spojen se zemní deskou, vnitřní vodič s anténním prvkem) a napájení mikropáskovým vedením. (obr. 1. 6) [8]



Obrázek 1.6 Napájení mikropáskovým vedením a) nezapuštěné vedení, b) kapacitní vazba, c) zapuštěné vedení. Převzato [9]

Dobře přizpůsobená anténa by měla pokrývat na celém požadovaném provozním frekvenčním rozsahu definované úrovně parametrů, které by se v tomto rozsahu měly měnit jen minimálně ( $PSV < 2$ , modul činitele odrazu  $s_{11} < -10$  dB, stabilní hodnoty zisku, šířka svazku hlavního laloku a vyzařovací diagram přes požadovanou šířku pásma).

### 1.3 Technický popis a uspořádání antény [1]



Obrázek 1.7 Geometrické uspořádání antény, převzato [1]

Na (Obr. 1.7) je zobrazena geometrie navrhované antény. Jak je vidět, anténa je symetrická kolem své středové osy. Skládá se z hlavní vyzařovací roviny s napájením na předním povrchu substrátu a konduktorem tvořeným spodní rovinou vzadu, dvojice pravoúhlých rezonátorů a dvou **L** rezonátorů. Obě dvojice jsou vpředu a vodivě připojeny ke spodní rovině přes otvory. Anténa je tištěná na substrátu FR4  $20 \times 22 \text{ mm}^2$  s dielektrickou konstantou 4,4 a tloušťkou substrátu 1 mm. Obdélníková rovina o rozměru  $10 \times 13 \text{ mm}^2$  je připojena k napájení mikropáskovým vedením o šířce ( $W_f = 1,86 \text{ mm}$ ) a délce 7,5 mm.

Připojovací spodní rovina má rozměr  $20 \times 5 \text{ mm}^2$ . Vzdálenost mezer mezi radiační rovinou a spodní rovinou je nastavena na 2,5 mm. Další důležité součásti antény a jejich úloha pro funkci antény budou popsány v následujících částech. Pruh umístěný nad spodní rovinou a vodivé připojení malým vertikálním pruhem vytváří napájení mikropáskem čtvrt vlnové délky rezonátoru. Propojení mezi pruhem a spodní rovinou poskytuje potřebné kapacitní zatížení, zatímco samotný pruh přispívá k hodnotě indukčního zatížení rezonátoru.

### 1.3.1 Anténa s pravoúhlými rezonátory

Dvojice zkratovaných pravoúhlých rezonátorů o rozměrem  $W_g \times L_g$  je tištěna na předním povrchu substrátu ve vzdálenosti  $t$  od přívodu a krátce připojena k hornímu okraji spodní roviny přes otvory připojení o poloměru 0,75 mm. Navrhované pravoúhlé rezonátory jsou považovány za parazitické prvky pro dosažení dodatečných rezonančních módů. Nastavením dvou parametrů velikosti obdélníku ( $W_g$ ,  $L_g$ ) a jeho vzdálenosti od napájení  $t$  se objeví nová rezonance  $f_t$  a tím může být dosaženo mnohem vyšší šířky pásma. Nově vytvořená rezonanční frekvence antény může být přibližně stanovena nahrazením [1]

$$L = (L_g - 0,75 \text{ mm}) + (W_g/2)$$

$$f_t \approx \frac{c}{\lambda_g \sqrt{\epsilon_{eff}}} \approx \frac{c}{4L \sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (1.1)$$

Kde  $c$  je rychlost světla ve volném prostoru,  $\lambda_g$  vlnová délka  $\lambda_g = \lambda / \sqrt{\epsilon_{eff}}$  kde  $\epsilon_{eff} \approx (\epsilon_r + 1) / 2 = 2,7$ .

### 1.3.2 Anténa s L rezonátory

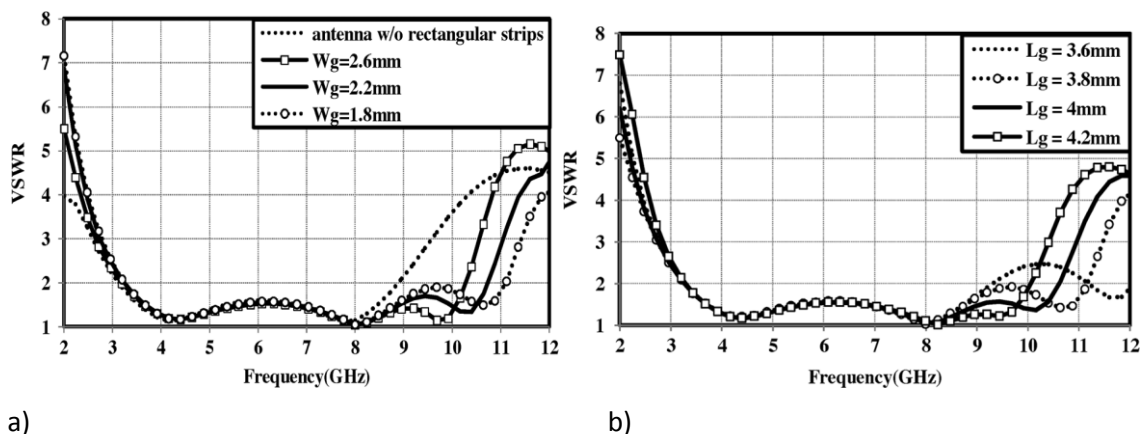
K dosažení pásmové frekvenční zádrže v kmitočtové charakteristice je na přední straně substrátu tištěn pár zkratovaných složených pruhů. Celkově je filtr ve tvaru **L** aby minimalizoval nároky na místo a je zkratovaný k uzemnění přes otvorový spoj (poloměr = 0,25 mm). Zkratovaný pruh ve tvaru **L** obsahuje jednu vertikální paži (podél osy  $y$ ) délky  $L$  a jednu horizontální paži (podél osy  $x$ ) délky  $L_h$  připojených na koncích. Obě paže jsou stejné široké, (šířka 0,2 mm) a jsou spárované s uzemněním. Délky obou pruhů jsou ukončeny na  $\lambda/4$  na požadovanou střední frekvenci vyzařování.

Další elektrické spojení je mezi **L** rezonátory a spodní stranou zářiče. Toho je dosaženo umístěním navržených pruhů do blízkosti zářiče ( $g = 0,3 \text{ mm}$ ). Rezonátory jsou umístěné pod hlavním zářičem. Vyzařovací charakteristika je nezávislá na posuvu v ose  $x$ , ale aby nedošlo k propojení napájení antény a obdélníkových rezonátorů, nejlepším umístěním se jeví rohy monopolu.

Na střední frekvenci vyzařování se povrchové proudy koncentrují na rezonátorech a anténa přechází ze zkratu na konci **L** na otevřený okruh na druhém konci. Proud, který protéká na druhé straně, nejsou ve fázi. Proto složené **L** rezonátory zeslabují přenášený incidentní výkon v  $\lambda/4$  režimu. To značně zvyšuje malé *VSWR* pozorované v místě napájení u antény bez **L** rezonátorů. Na druhé straně, ve zbylém pracovním frekvenčním pásmu rezonátor nefunguje a anténa se vrací k normální funkci. Úspěšné buzení v režimu  $\lambda/4$  rezonátoru je možná díky  $L$  profilu kde  $L = L_v + L_h$ .

V tomto návrhu, je  $L_v$  stanoveno na 5 mm. Střední frekvence pásmové zádrže  $f_r$  se liší podle nastavení délky  $L_h$ . Nastavená střední frekvence  $f_r$  může být empiricky odhadnuta změnou  $L = 5 \text{ mm} + L_h$  v (1). Proto, podle (1) požadované střední frekvence zádrže na 5,5 GHz, je celková délka složeného **L** rezonátoru 8,4 mm. Což je pro  $L_v = 5 \text{ mm}$  a  $L_h = 3,4 \text{ mm}$ . Abychom dosáhli požadovaného potlačení v šířce pásma okolo střední frekvence  $f_r$ , hraje vzdálenost mezi rezonátorem a zářičem  $g$  důležitou roli. Pečlivým nastavením této vzdálenosti lze dosáhnout nastavení vhodné šíře potlačeného pásma.

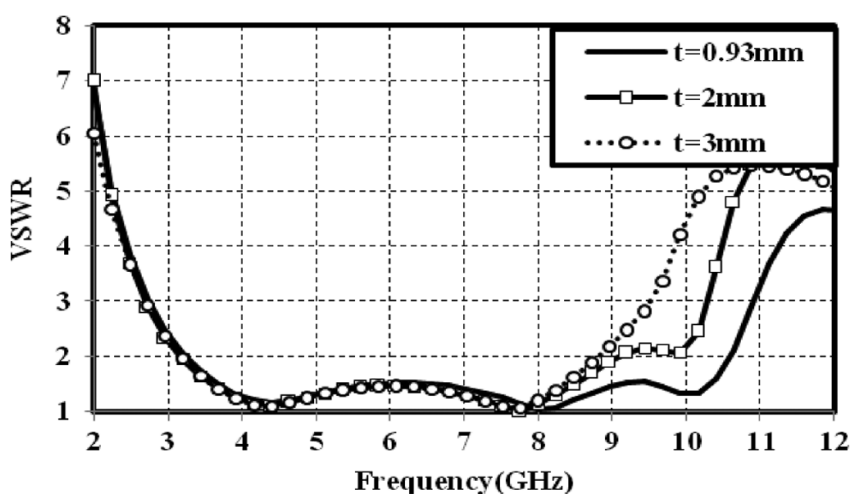
## 1.4 Rozbor vlivu jednotlivých prvků



1.8 Závislost VSWR na  $f$  pro různé hodnoty a)  $W_g$  ( $L_g = 4$  mm,  $t = 0,93$  mm) b)  $L_g$  ( $W_g = 2,2$  mm,  $t = 0,93$  mm), převzato [1]

### 1.4.1 Vliv obdélníkových rezonátorů

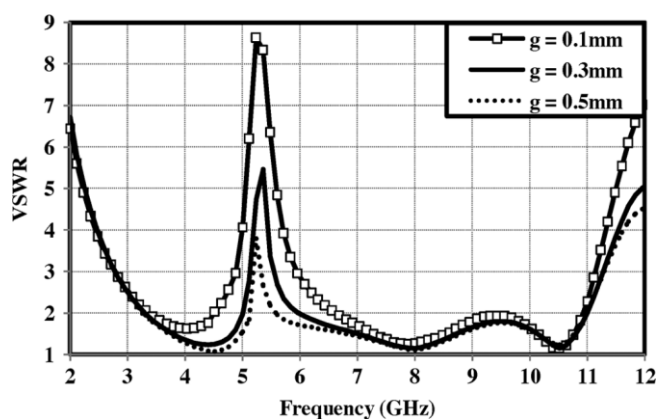
Na (Obr. 1.8) je vidět VSWR charakteristiky pro různé hodnoty  $W_g$  ( $L_g = 4$  mm,  $t = 0,93$  mm) respektive pro  $L_g$  ( $W_g = 2,2$  mm,  $t = 0,93$  mm). Tak, jak je ukázáno na obrázcích, je horní limit frekvence posunut dolů se zvýšením  $W_g$  nebo  $L_g$  protože současně s tím se zvyšuje proud. Na obrázcích lze vidět, že jemným laděním  $W_g$  a  $L_g$  současně, se rozšiřuje pásmo antény díky třetí rezonanci, která se objeví ve VSWR na 10,5 GHz. Na druhé straně spodní hranice frekvenčního pásma nereaguje na změny  $L_g$  s  $W_g$ . Na (obr. 1.9) je simulace VSWR pro rozdílné hodnoty parametru  $t$ . Vyplynulo, že elektrické spojení mezi obdélníkovými rezonátory a napájením, by mohlo vyústit v rozšíření frekvence o optimální vzdálenost  $t$ . Mnoha simulacemi, byla zjištěna optimální hodnota pro  $t$  je 0,93 mm ( $W_g = 2,2$  mm,  $L_g = 4$  mm).



Obrázek 1.9 Závislost VSWR na  $f$  pro různé hodnoty  $t$  ( $W_g = 2,2$  mm,  $L_g = 4$  mm), převzato [1]



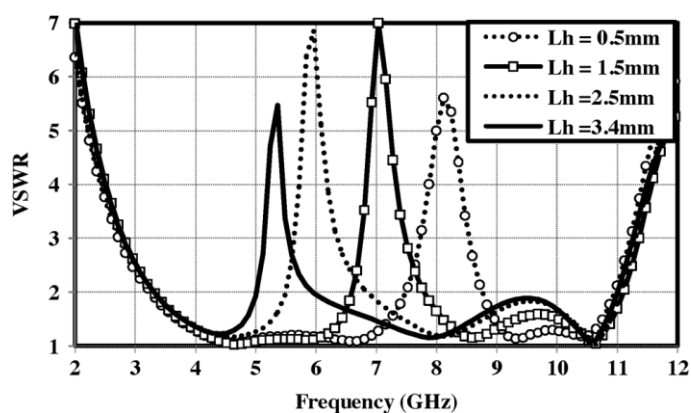
Simulace vstupní impedance antény s a bez obou optimálních obdélníkových rezonátorů jsou uvedeny v grafu (Obr. 1.8) Při porovnání výsledků je evidentní, že simulovaná vstupní impedance pro navrhovanou anténu se dvěma optimalizovanými obdélníkovými rezonátory má novou rezonanční frekvenci, v rámci  $VSWR = 2$  okruhy, s ohledem na stejnou anténu bez rezonátorů. To poskytuje výhodné vylepšení v zájmové šířce pásma.



Obrázek 1.10 Závislost VSWR na  $f$  pro různé hodnoty  $g$  ( $L_h = 3,4$  mm), převzato [1]

## 1.4.2 Vliv $L$ rezonátorů

(Obr. 1.10) ukazuje simulované VSWR jako funkci  $g$  ( $L = 8,4$  mm). Bylo pozorováno, že potlačovaná šířka pásma se snižuje s růstem vzdálenosti mezi rezonátory a zářičem. (Obr. 1.11) ukazuje simulované VSWR pro různé hodnoty  $L_h$ . Tak, jak je zobrazeno, prodloužení délky  $L$  pruhu rezonátoru z 5,5 na 8,4 mm má za následek snížení střední frekvence potlačení z 8 na 5,4 GHz. Navrhovaný pásmový filtr může být elektronicky laděn. V podstatě si může zachovat svou zeslabující charakteristiku přes široký frekvenční rozsah.

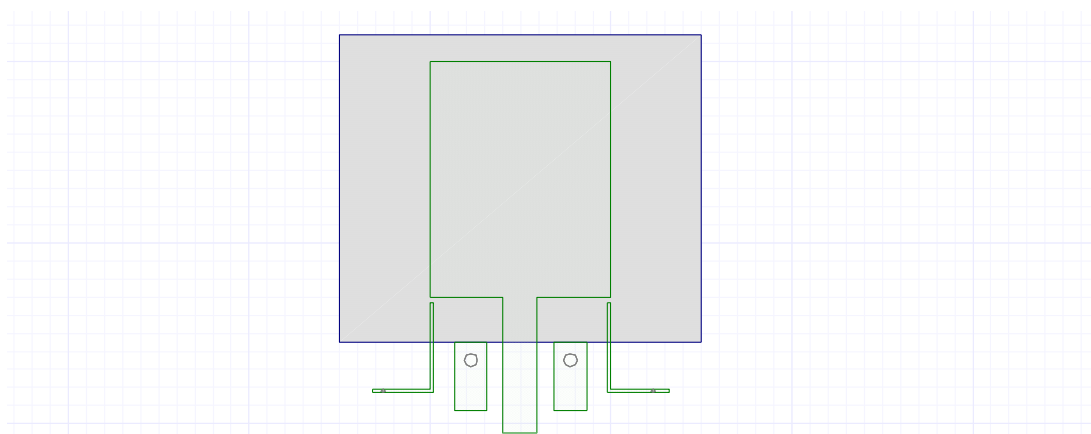


Obrázek 1.11 Závislost VSWR na  $f$  pro různé hodnoty  $L_h$  ( $g = 0,3$  mm), převzato [1]

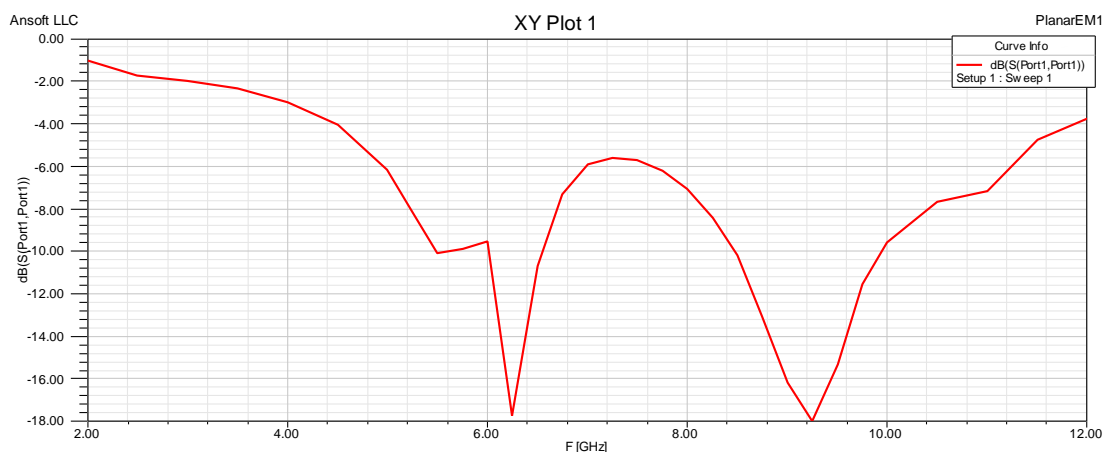
## 2 VÝSLEDKY VLASTNÍ SIMULACE

### 2.1 Vlastní analýza

Nejprve byl v programu Ansoft Designer, přesně dle publikovaných rozměrů nakreslen motiv popisované antény (obr. 2.1) na substrát FR4 s tloušťkou 1mm i s popsanými parazitními rezonátory a výřezem v zadní rovině substrátu. Nastavení všech potřebných parametrů pro požadovanou analýzu bylo od 2 do 12 GHz s krokem 0,5 GHz, jenž pro orientační vykreslení  $S_{11}$  charakteristiky dané antény pro tak široké spektrum a časovou náročnost výpočtu byl shledán jako optimální.



Obrázek 2.1 Motiv publikované antény v programu Ansoft Designer

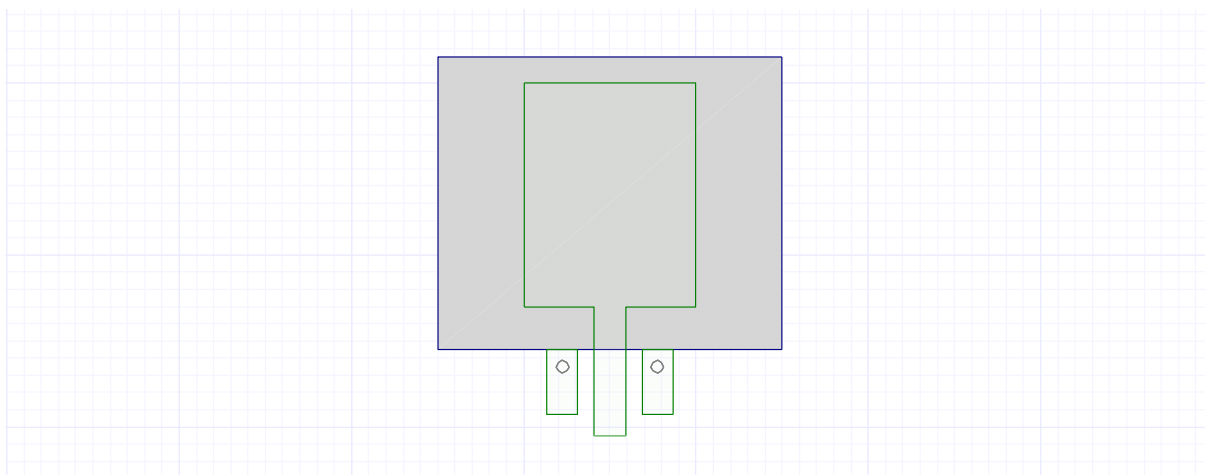


Obrázek 2.2 Závislost činitele odrazu na frekvenci

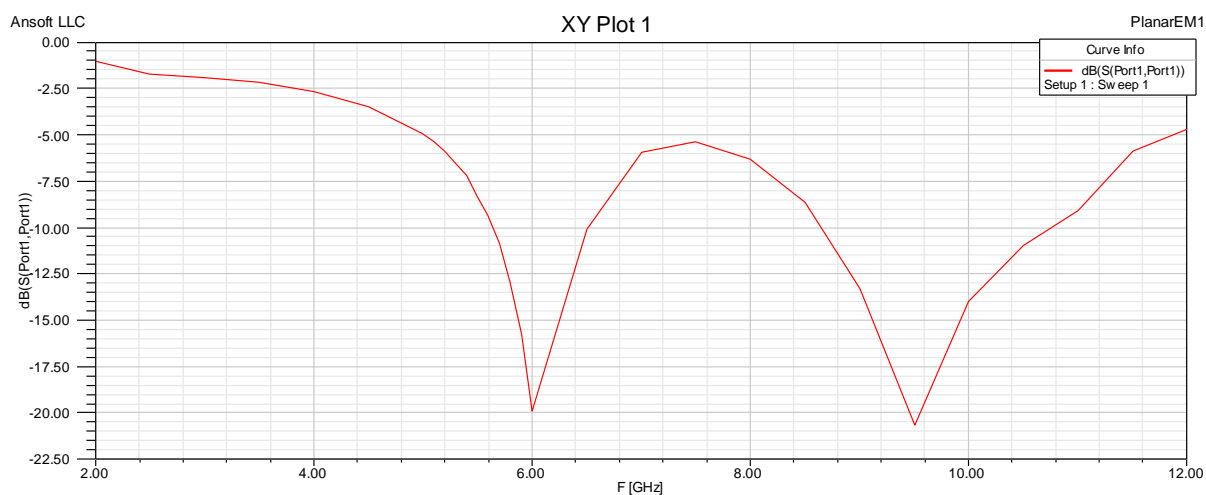
Výsledná simulace byla hodně velkým rozčarováním, protože od publikovaných výsledků se diametrálně odlišuje jak je vidět na (obr. 2.2) Kde uváděná šířka pásma 3 až 11 GHz není vůbec naměřena. Vyskytují se zde jen dvě rezonance na kmitočtech přibližně 6,2 GHz s šířkou pásma 0,5GHz a na 9,3GHz s šířkou pásma 1,5 GHz.

Pro zjištění příčin byl zvolen postup postupné analýzy vlivu jednotlivých prvků na výslednou charakteristiku.

V prvním kroku byla provedena simulace bez L rezonátorů. (obr. 2.3)



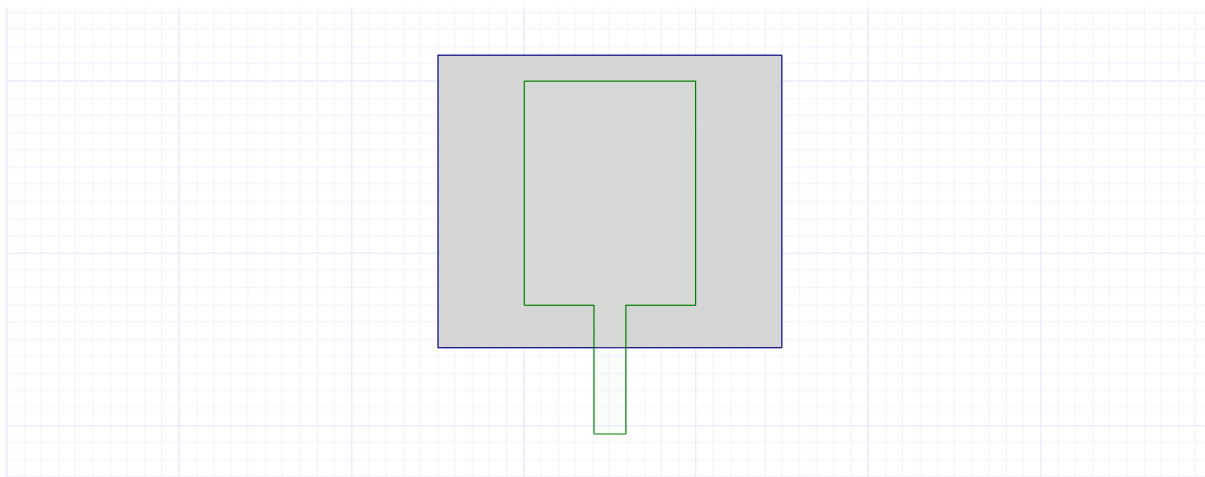
Obrázek 2.3 Motiv antény bez L rezonátorů



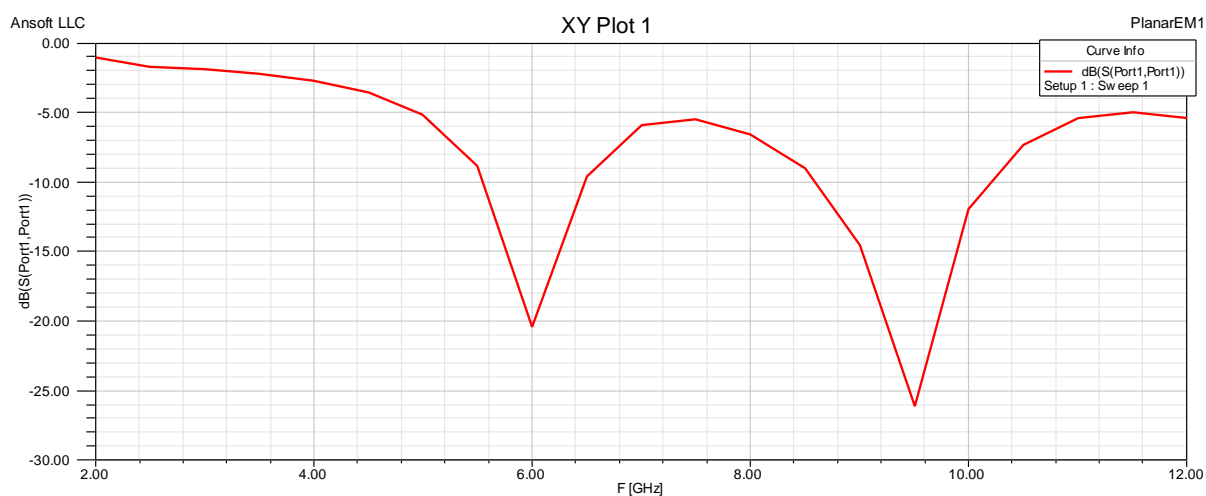
Obrázek 2.4 Závislost činitele odrazu na frekvenci bez L rezonátorů

Z (obr. 2.4) je vidět, že na rezonančním kmitočtu 6 GHz došlo k rozšíření šířky pásma na asi přibližně 0,9GHz a tím pádem zmizení pásmové zádrže na tomto kmitočtu, který se shoduje s publikovanou hodnotou kmitočtu, kde by L rezonátory měly vytvářet zádržné pásmo. Toto naznačuje jejich funkčnost v zapojení.

Dalším krokem je odstranění parazitních obdélníkových rezonátorů z konfigurace antény. (obr. 2.5)



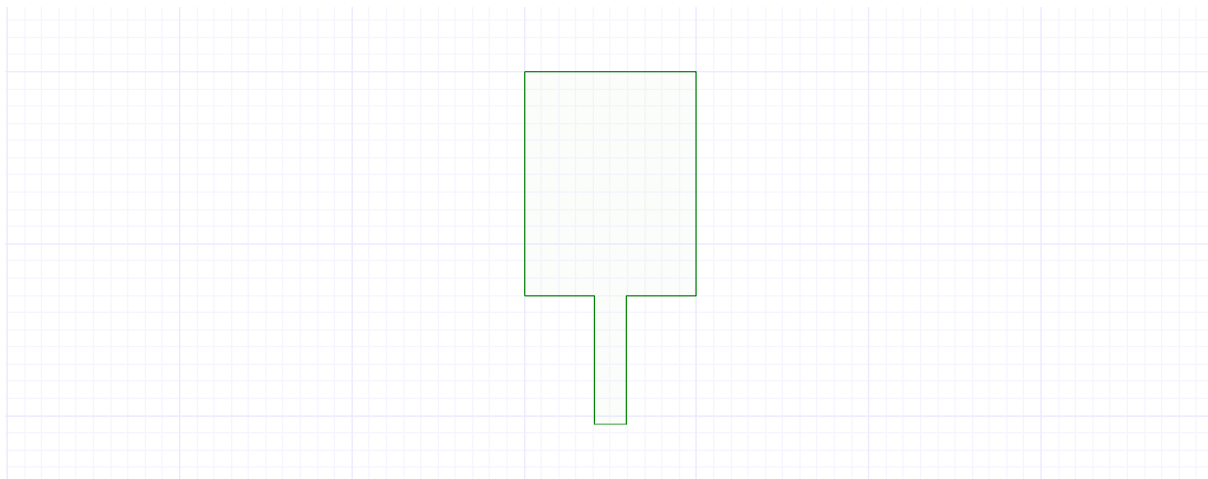
**Obrázek 2.5** Motiv antény bez obdélníkových rezonátorů



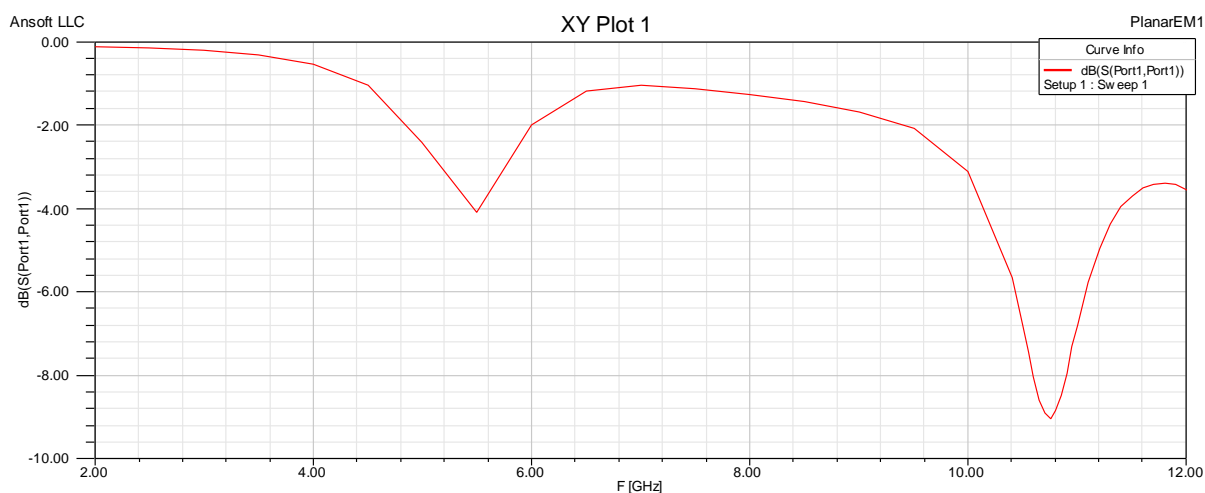
**Obrázek 2.6** Závislost činitele odrazu na frekvenci bez obdélníkových rezonátorů

Ze simulace bez obdélníkových rezonátorů je vidět, že na druhém rezonančním kmitočtu došlo k zmenšení šířky pásma na horních kmitočtech a větší strmosti charakteristiky v této sledované části grafu. (obr. 2.6) Tyto pozorované změny rovněž poukazují na funkčnost těchto přídavných parazitních rezonátorů a jejich vlivu na rozšíření kmitočtové charakteristiky.

Posledním krokem je odstranění zadního výřezu a simulace pouze vlastního prvku antény s mikropáskovým napájením. (obr. 2.7)



**Obrázek 2.7** Motiv pouze vlastního prvku antény s mikropáskovým napájením.



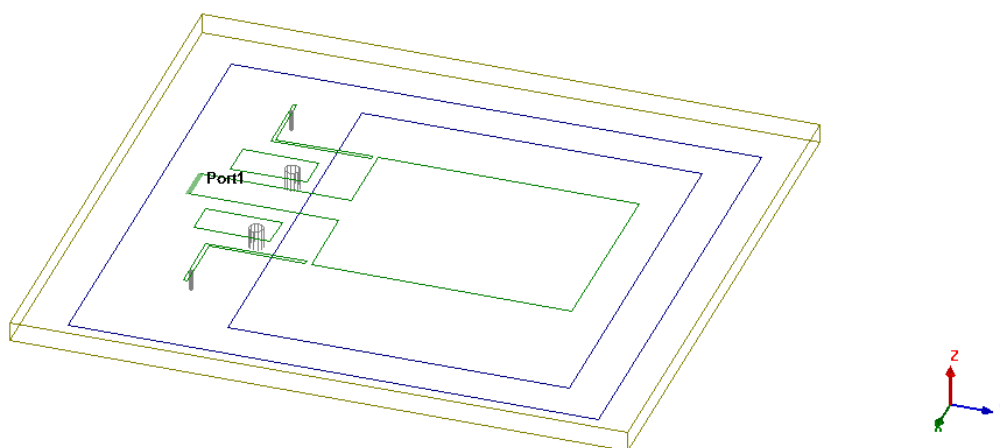
**Obrázek 2.8** Závislost činitele odrazu na frekvenci bez zadního výřezu.

Při vyhodnocení poslední simulace po odstranění zadního výřezu a ponechání pouze vlastního prvku antény s mikropáskovým napájením, je vidět že tento zásah má na simulaci největší vliv. Došlo k úplné degradaci charakteristiky a anténa v celém požadovaném pásmu nevykazuje požadované vlastnosti. (obr. 2.8)

Proto bylo zaměřeno na problém zadní zemní desky a optimalizace výřezu v ní.

### 2.1.1 3D model

Na 3D obrázku (obr. 2.9) z programu Ansoft Designer, je vidět trojrozměrné uspořádání jednotlivých prvků antény na jednotlivých vrstvách substrátu. Zelená barva reprezentuje vrchní vodivou plochu substrátu. Na této vrstvě je umístěn vlastní motiv antény s mikropáskovým napájením, dvojicí L a obdélníkových rezonátorů, které jsou vodivě spojeny se zemní deskou.



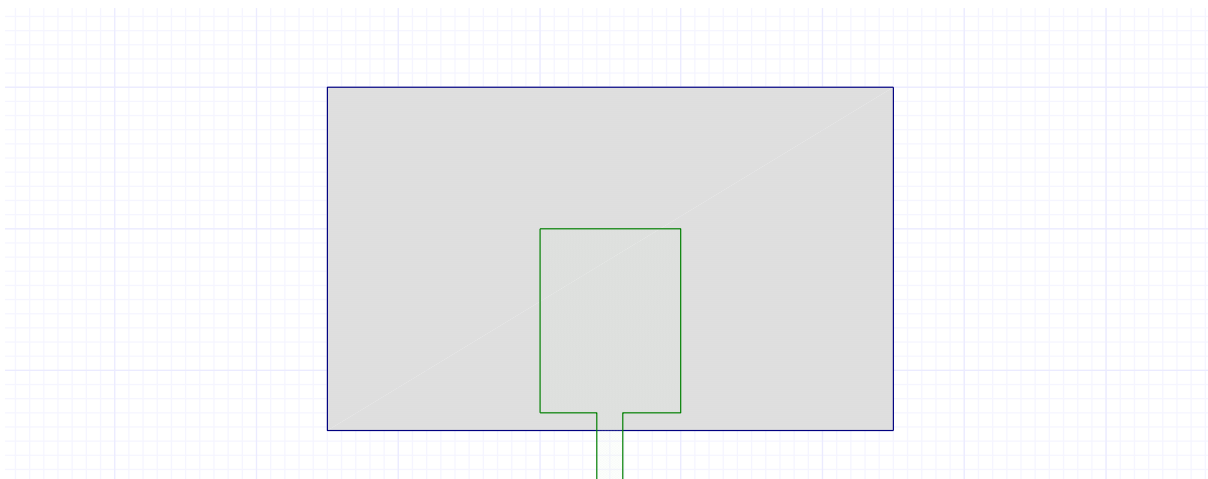
Obrázek 2.9 3D model antény

Tato zemní deska je prezentována modrou barvou a v porovnání s publikovanou strukturou v článku zemní desky vykazuje značné geometrické odchylky. Tyto nesrovnalosti jsou důsledkem pojetí zemní roviny programu Ansoft Designer, který ji prezentuje jako nekonečnou zemní rovinu a proto výsledný geometrický profil zemní roviny, která by měl být pod a okolo vlastního motivu antény a nekonečně volný, ale místo toho je ohraničený obdélníkovou strukturou, která způsobuje odlišné výsledky simulací oproti uvedeným v [1].

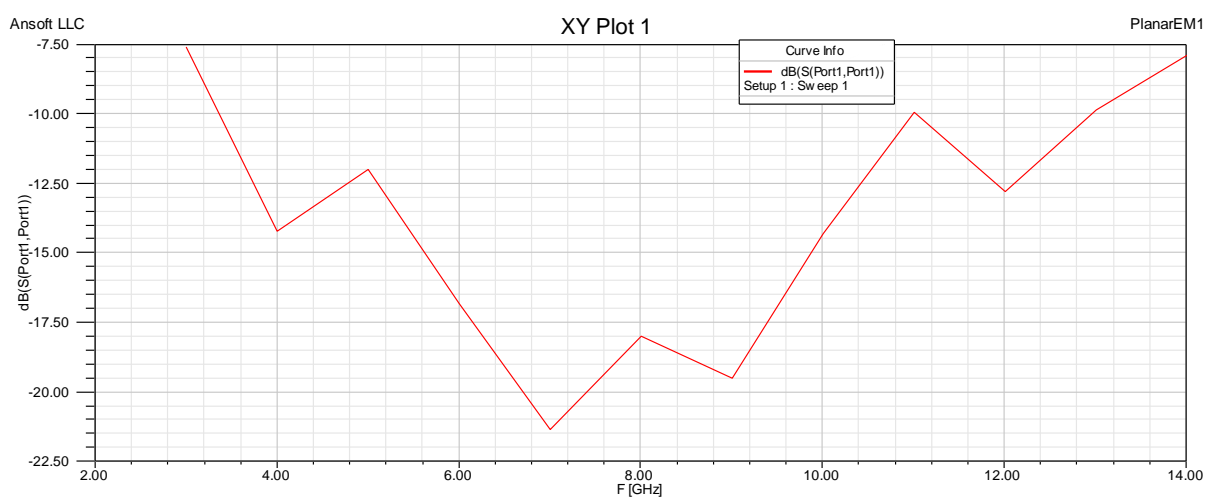
Tato simulace a návrh antény byly provedeny v programu Ansoft HFSS, který pracuje s 3D strukturou již v oblasti návrhu a výsledný motiv i simulace je tedy zcela odlišný než jsou v programu Ansoft Designer.

## 2.1.2 Optimalizace rozměrů

Řešení problému bylo soustředěním se na optimalizaci rozměru výřezu v zemní desce substrátu. To vedlo k vytvoření zcela jiné struktury antény. (obr. 2.10)



Obrázek 2.10 Optimalizovaný výřez zemní roviny



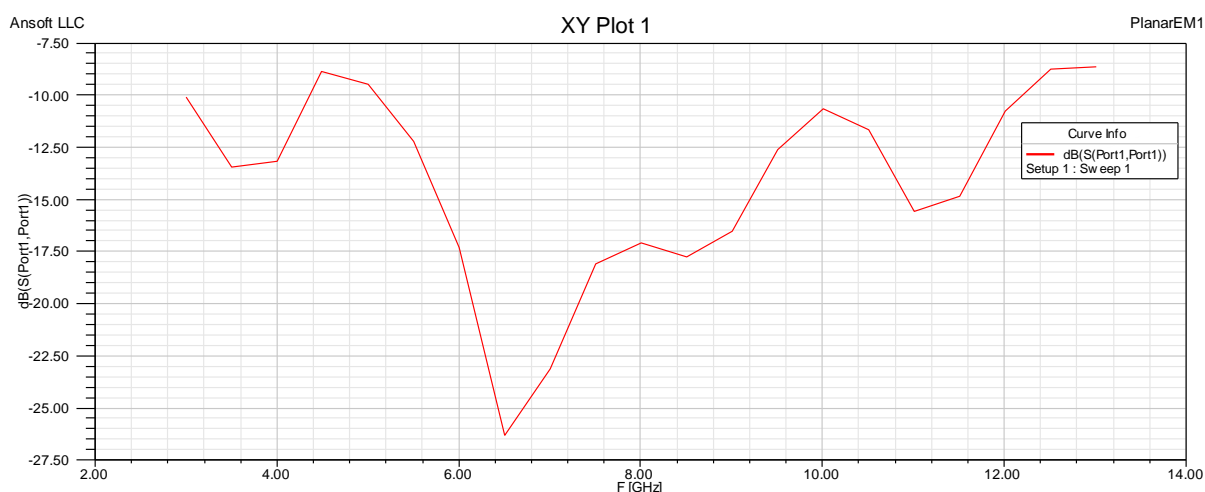
Obrázek 2.11 Závislost činitele odrazu na frekvenci po optimalizaci zemní roviny

Optimalizací vytvořená struktura na (obr. 2.10) vykazuje velmi dobré nasimulované parametry  $S_{11}$  ve velmi širokém frekvenčním pásmu a to na požadovaném rozmezí 3 až 11 GHz i bez použití parazitních rezonančních prvků. (obr. 2.11)

Optimalizace bylo dosaženo rozšířením výřezu v zemní desce tak, aby zhruba vzdálenost horní hrany a bočních hran výřezu v zemní desce byla  $\lambda_D / 2$  od horní a bočních stran vlastního prvku antény.

Dalším požadavkem a publikací uváděné zádržné pásmo je možno realizovat pomocí *L* rezonátorů.

Při ladění a optimalizaci zadního výřezu v zemní desce bylo sledováno, že při pohybu spodní hrany zemního výřezu vůči spodní hraně vlastního prvku antény a současnou změnou hloubky zanoření napájecího mikropásku dochází k deformaci simulované charakteristiky a vytvoření zádržného pásma přibližně v požadované oblasti kmitočtů. (obr. 2.12)



Obrázek 2.12 Závislost činitele odrazu na frekvenci se zádržným pásmem

Mírnými následnými korekcemi vzdáleností hran výřezu a prvku antény bylo dosaženo následující charakteristiky, která přibližně splňuje vstupní požadavky, a výsledná konfigurace antény je hodně zjednodušená, protože odpadlo použití parazitních rezonátorů, jejich galvanického propojení se zemní rovinou pomocí děr což by mohlo být značným přínosem pro zjednodušení výroby.



## 3 NÁVRH A KONSTRUKCE ANTÉNY

### 3.1 Návrh antény

Vlastní návrh mikropáskové antény spočívá ve stanovení základních rozměrů flíčku, pro daný mikrovlnný substrát ARLON 25N o relativní permeabilitě  $\epsilon_r = 3,38$  a výšce  $h = 1,5$  mm a impedančně přizpůsobit napájení antény na hodnotu  $Z_0 = 50 \Omega$  správnou volbou šířky  $w$  napájecího mikropásku antény.

Návrh byl postaven na poznatcích a výsledných simulací analýzy antény popsané v předchozí kapitole.

V prvním kroku zvolíme hlavní rezonanční pracovní kmitočet  $f_r$ , pro který budou stanoveny rozměry vlastního flíčku antény. Pro stanovený kmitočtový rozsah od 3 GHz do 11 GHz zvolíme pracovní kmitočet zhruba v polovině zadaného rozsahu pokud možno lehce níž, kvůli dodržení spodní hranice frekvenčního rozsahu, horní hranice se dá doladit pomocí parazitních rezonátorů.

Takže pro zvolený pracovní kmitočet  $f_r = 6$  GHz stanovíme délku vlny v substrátu  $\lambda_d$  kterou vypočteme dle vztahu [6]

$$\lambda_d = \frac{c}{f_r \sqrt{\epsilon_r}} \quad (3.1)$$

Symbol  $c$  je rychlost světla ve vakuu,  $f_r$  je pracovní kmitočet,  $\epsilon_r$  je relativní permeabilita substrátu.

Z toho bylo stanoveno

$$\lambda_d = 27 \text{ mm}; \quad \frac{\lambda_d}{4} = 7 \text{ mm}; \quad \frac{\lambda_d}{2} = 14 \text{ mm}$$

Experimentálně byly tyto hodnoty upraveny a doladěny na rozměr flíčku délku

$$a = 16 \text{ mm a výšku } b = 7 \text{ mm}$$

Rozměry výřezu v zadní zemní rovině byly stanoveny na délku

$$a' = 32 \text{ mm a výšku } b' = 27 \text{ mm}$$

Při volbě napájení flíčku mikropáskovým vedením, je nutno navrhnout takovou šířku mikropásku  $w$ , aby mělo vedení požadovanou impedanci  $Z_0$ .

Většinou se používá na mikrovlnných kmitočtech  $Z_0 = 50 \Omega$ . Tento návrh rovněž sestává ze dvou kroků.

Za prvé vypočteme hodnotu pomocných proměnných. [6]

$$a = \frac{Z_0}{60} \sqrt{\frac{\varepsilon_{r+1}}{2}} + \frac{\varepsilon_{r-1}}{\varepsilon_{r+1}} \left[ 0,23 + \frac{0,11}{\varepsilon_r} \right] \quad (3.2)$$

$$b = \frac{60\pi^2}{Z_0\sqrt{\varepsilon_r}} \quad (3.3)$$

Kde  $Z_0$  je požadovaná charakteristická impedance mikropáskového vedení a  $\varepsilon_r$  je relativní permeabilita substrátu.

V druhém kroku vypočítáme šířku vedení [6]

$$\frac{w}{h} = \frac{8 \exp(a)}{\exp(2a)-2}, a > 1,52 \quad (3.4)$$

$$\frac{w}{h} = \frac{2}{\pi} \left\{ b - 1 - \ln(2b - 1) + \frac{\varepsilon_{r-1}}{2\varepsilon_r} \left[ \ln(b - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{\varepsilon_r} \right] \right\}, a \leq 1,52 \quad (3.5)$$

Kde  $a$  a  $b$  jsou spočteny dle vztahu,  $h$  je výška substrátu a  $\varepsilon_r$  je relativní permeabilita substrátu.

Pro vlastní výpočet byl použit program Matlab, v kterém byl vytvořen jednoduchý skript, který umožňuje po zadání vstupních parametrů výpočet šířky napájecího mikropásku pro libovolný substrát a požadovanou impedanci.

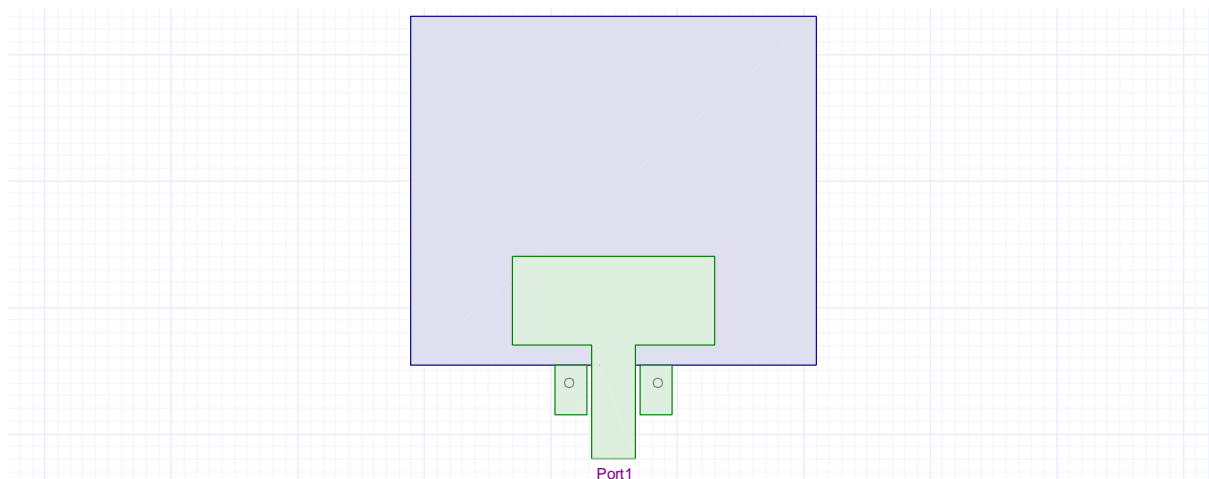
Vypočítaná hodnota šířky mikropásku  $w$  je přibližně

$$w = 3,5 \text{ mm}$$

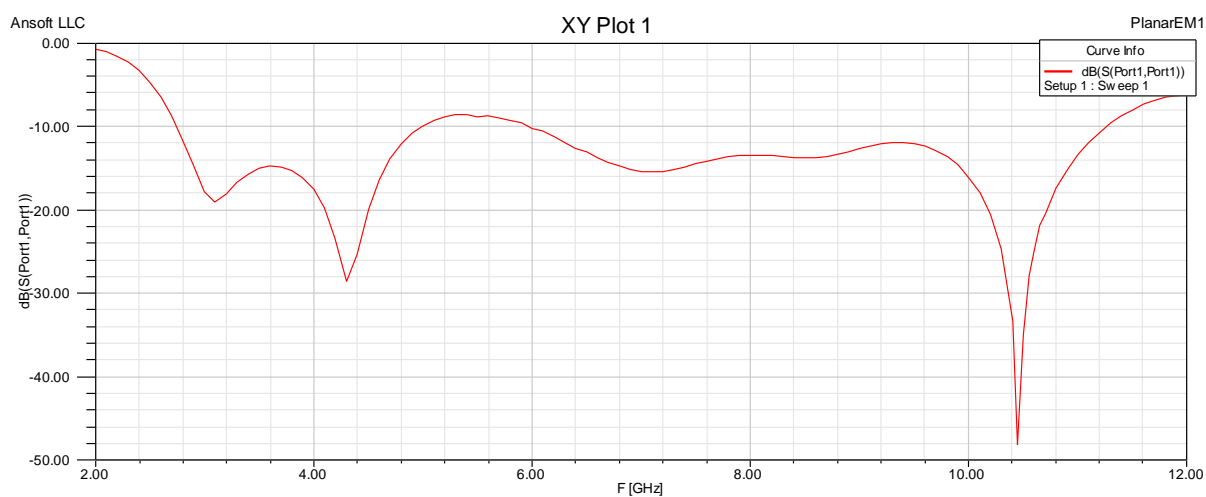
pro požadovanou impedanci  $Z_0 = 50 \Omega$ .

Pro zvětšení šířky pásma byla struktura antény doplněna dvěma obdélníkovými rezonátory, jež byly spočítány pro jejich rezonanční kmitočet  $f_r = 10,5 \text{ GHz}$  a jejich délka je přibližně  $\frac{\lambda_d}{4} = 4 \text{ mm}$  pro daný kmitočet šířkou  $2,5 \text{ mm}$ .

Umístěny byly ve vzdálenosti  $t = 0,4 \text{ mm}$  od mikropáskového napáječe. Se zemní rovinou byly spojeny galvanicky dvěma otvory o průměru  $r = 0,75 \text{ mm}$ . (obr. 3.1)

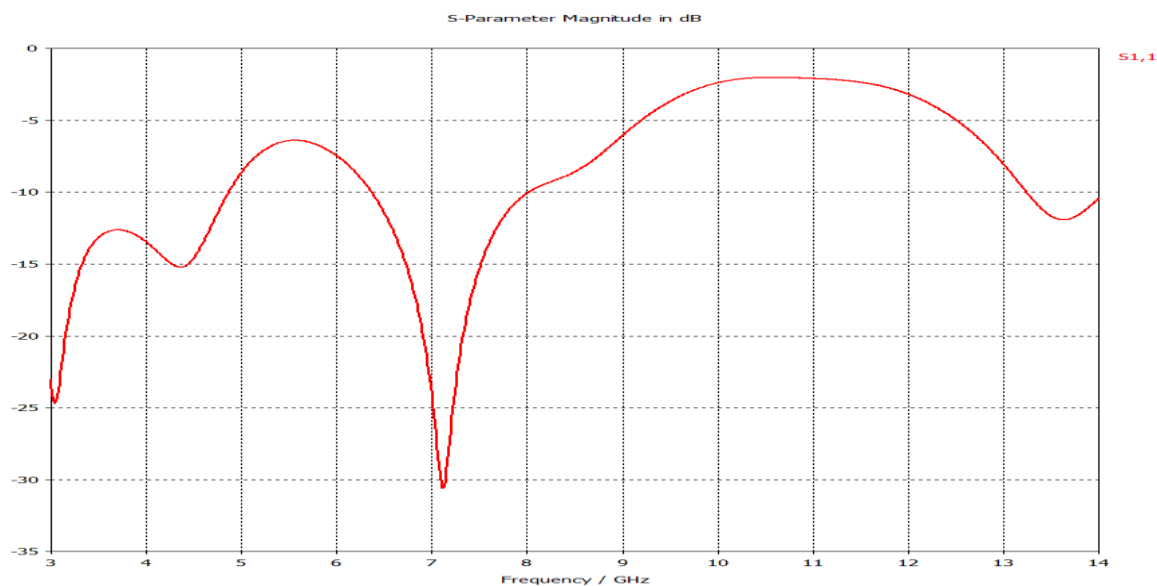


**Obrázek 3.1** Konfigurace antény pro zvolený pracovní kmitočet  $f_r = 6$  GHz



**Obrázek 3.2** Závislost činitele odrazu na frekvenci pro zvolený pracovní kmitočet  $f_r = 6$  GHz

Tato konfigurace a výsledná simulace parametrů  $s_{11}$  v závislosti na frekvenci přesně splňovala požadavky určené v zadání práce. Jak je vidět z grafu propustnost v pásmu 3 až 11 GHz a zádržné pásmo na rozsahu 5,0 až 5,9 GHz. (obr. 3.2)



Obrázek 3.3 Závislost činitele odrazu na frekvenci v programu CST Microwave studio

Rozměry této konfigurace antény byly pro ověření přesně zadány pro kontrolní simulaci v programu CST Microwave studio. Bohužel výsledný graf na (obr. 3.3) nepotvrdil výsledky simulace v programu Ansoft Designer. Pro horní kmitočty charakteristiky vykazuje dle této simulace anténa zádrž, jakoby dvojice obdélníkových rezonátorů neplnila svoji funkci.

### 3.1.1 Konstrukční konfigurace antény

Proto z mnoha předchozích simulací a konfigurací, jež byly při analýze a návrhu antény provedeny, byla vybrána jiná konfigurace antény. A to ta která se svými výstupními parametry nejvíce shodovala se vstupními požadavky zadání. Postup jejího návrhu je analogický s výše uvedenou anténou. Šířka napájecího mikropásku  $w$  je pro stejný substrát stejná přibližně  $w = 3,5 \text{ mm}$  pro požadovanou impedanci  $Z_0 = 50 \Omega$ .

Zvolený střední pracovní kmitočet:

$$f_r = 7 \text{ GHz.}$$

Z toho bylo výpočtem stanoveno:

$$\lambda_d = 23,3 \text{ mm}; \frac{\lambda_d}{4} = 5,8 \text{ mm}; \frac{\lambda_d}{2} = 11,6 \text{ mm}$$

Experimentálně byly tyto hodnoty upraveny a doladěny na rozměr flíčku délku

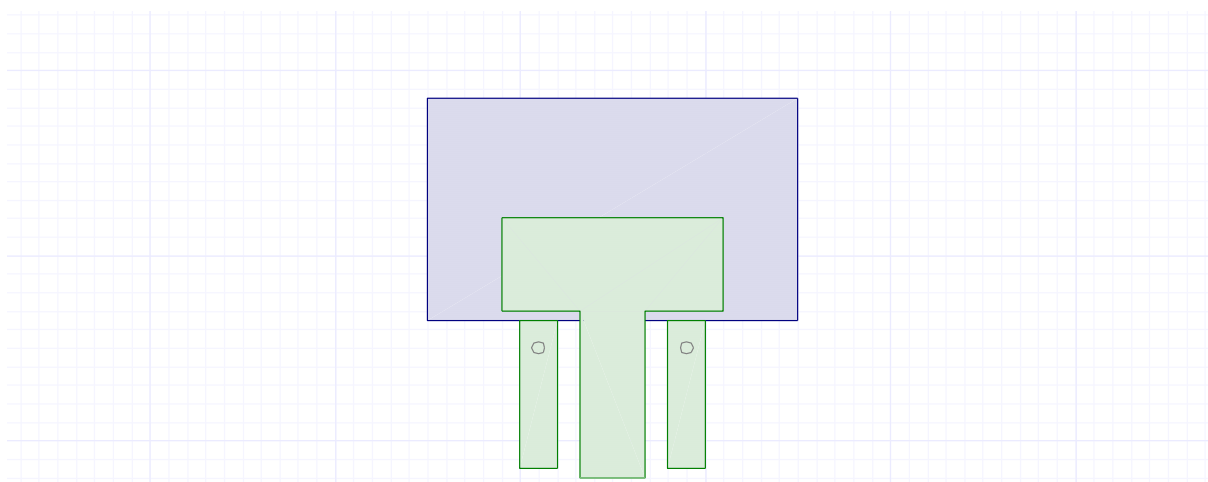
$$a = 12 \text{ mm a výšku } b = 5 \text{ mm}$$

Rozměry výřezu v zadní zemní rovině byly stanoveny na délku

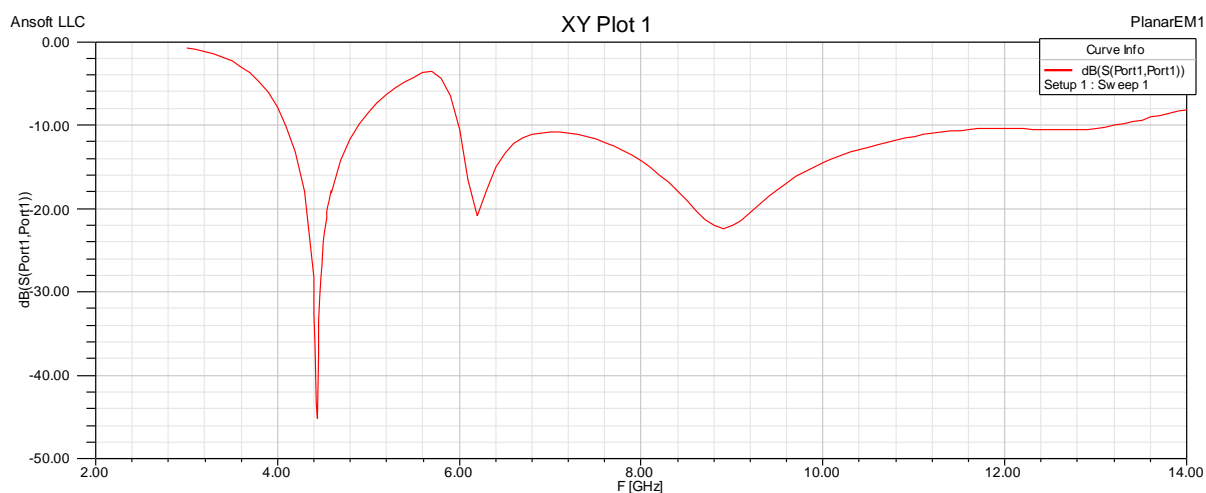
$a' = 20 \text{ mm}$  a výšku  $b' = 12 \text{ mm}$ ,

Pro zvětšení šířky pásma byla struktura antény doplněna dvěma obdélníkovými rezonátory, jež byly spočítány pro jejich rezonanční kmitočet  $f_r = 9 \text{ GHz}$  a jejich délka je přibližně  $\frac{\lambda_d}{2} = 8 \text{ mm}$  pro daný kmitočet s šířkou  $2 \text{ mm}$ .

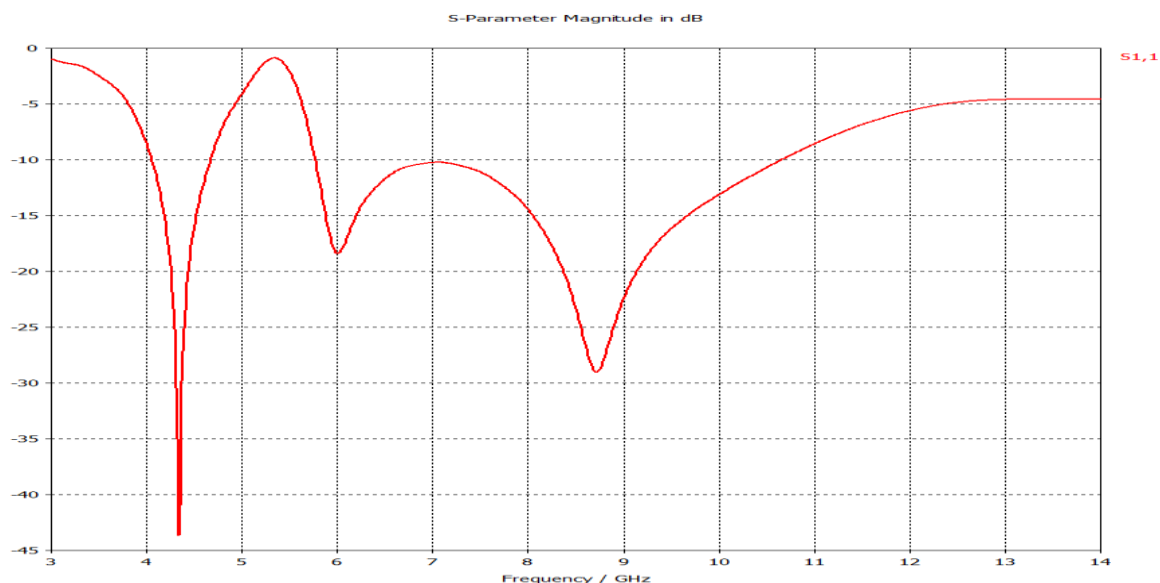
Umístěny byly ve vzdálenosti  $t = 1,25 \text{ mm}$  od mikropáskového napáječe. Se zemní rovinou byly spojeny galvanicky dvěma otvory o průměru  $r = 0,7 \text{ mm}$ . (obr. 3.4)



Obrázek 3.4 Konfigurace antény pro zvolený pracovní kmitočet  $f_r = 7 \text{ GHz}$



Obrázek 3.5 Závislost činitele odrazu na frekvenci pro zvolený pracovní kmitočet  $f_r = 7 \text{ GHz}$



Obrázek 3.6 Závislost činitele odrazu na frekvenci, simulace v CST Microwave studio pro  $f_r = 7$  GHz

Tentokrát je shoda výsledků v zájmovém pásmu poměrně vysoká, ale i tady je vidět rozdíl hlavně na vyšších kmitočtech. (obr. 3.5) a (obr. 3.6)

Pro zadání do výroby bylo třeba vyřešit problém s rozměrem nekonečné zemní desky, která se rozprostírá okolo výřezu v zemní desce.

Bylo rozhodnuto tento rozměr zemní roviny, který stanoví koncový rozměr výrobní desky, stanovit s ohledem na vlnovou délku  $\lambda_d = 23,3$  mm pro střední pracovní kmitočet  $f_r = 7$  GHz.

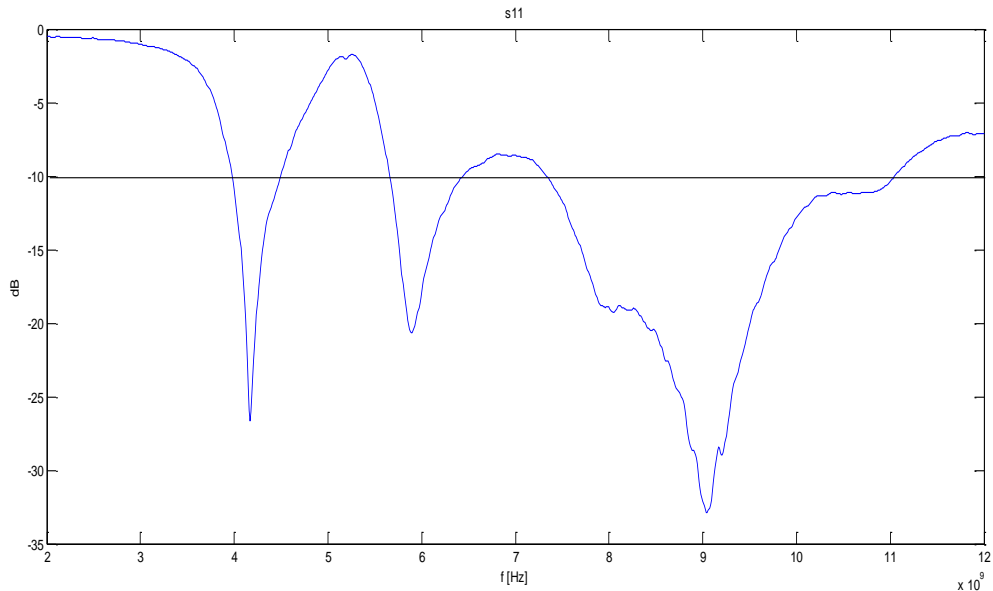
Na základě tohoto rozhodnutí byl stanoven konečný rozměr substrátu. Vznikl obdélník, jehož hranice kopírují výřez v zemní rovině ve vzdálenosti 23,3 mm.

Tím byly dosaženy rozměry  $a'' = 66,6$  mm a  $b'' = 58,6$  mm.

### 3.1.2 Výsledky měření

Anténa byla zkonstruována a osazena konektorem pro napájení antény.

Měření  $s_{11}$  parametrů zhotovené antény proběhlo na vektorovém obvodovém analyzátoru Rohde & Schwarz ZVA – 67. Měření bylo nastaveno pro rozsah od 2 do 12 GHz s krokem 0,01 GHz.



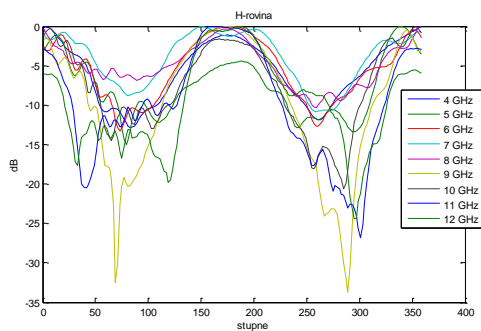
Obrázek 3.7 Závislost činitele odrazu na frekvenci

Výsledný naměřený graf závislosti parametru  $S_{11}$  na frekvenci  $f$  (obr. 3.7) který zhruba odpovídá výsledkům získaných oběma simulacemi na (obr. 3.5) a (obr. 3.6) Frekvenční nepřizpůsobení na 7 GHz může být způsobeno výrobní nepřesností nebo zanesenou parazitní indukčností při pájení vodivých spojů mezi vodivými vrstvami nebo při pájení konektoru.

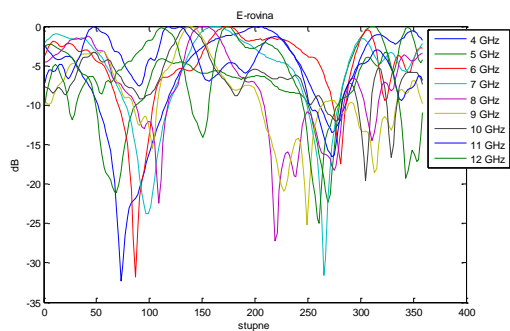
Pro měření směrových charakteristik pro *rovinou-H*, to je rovina  $x$ - $z$  (obr. 2.9) která je kolmá na rovinu flíčku  $x$ - $y$ , při kolmé konfiguraci se jedná o horizontální rovinu (obr. 3.8 a) a *rovinou-E*  $x$ - $y$  tedy vertikální (obr. 3.8 b) byla použita bezodrazová komora spolu s vybavením pro měření směrových charakteristik a závislosti činitele odrazu na frekvenci.

Pro výpočet zisku antény v jednotlivých rovinách bylo potřeba použít korekční faktor  $K$  závislý na kmitočtu. (obr. 3.9)

Výstupní výsledky směrových charakteristik v rovinách  $E$  a  $H$  se před zpracováním a vykreslením do grafu musejí znormovat pro každou měřenou frekvenci samostatně, nejvyšší hodnota představuje 0 dB.

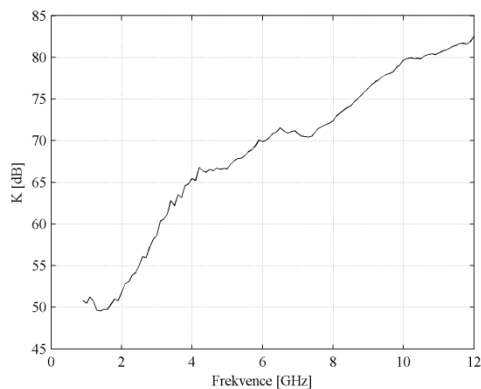


a)

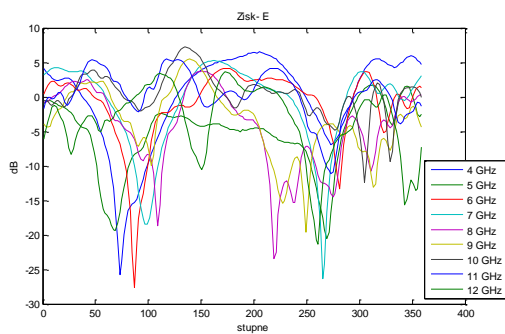


b)

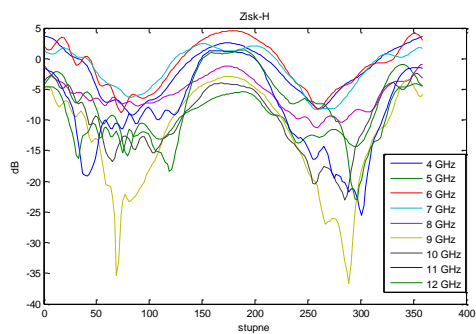
### 3.8 Směrové charakteristiky a) pro rovinou-H b) pro rovinou-E



### 3.9 Závislost korekčního faktoru K na kmitočtu



a)



b)

### 3.10 Závislost zisku na směru pro a) rovinu -E b) rovinu -H



### 3.1.3 Skript pro výpočet šířky napájecího mikropásku v programu Matlab

```
%Vytvoril
%Kamil Vecerka
%skript pro vypocet sirky micropaskoveho vedeni
%odladeno
%-----
%zadání vstup hodnot
clc
clear all;
whos;
z = input('Zadejte pozadovanou impedanci Z[ohm]: ');
p = input('Zadejte permitivitu substratu E [-]: ');
h = input('Zadejte tloustku substratu [m]: ');
%vypocet
a = (z/60)*sqrt((p+1)/2)+((p-1)/(p+1))*(0.23+(0.11/p));%pomocna hodnota a
b = (60*(pi^2))/(z*sqrt(p)); % pomocna hodnota b
if a>1.52; %podminka 1
    w = (h*8*exp(a))/(exp(2*a)-2);
end
if a <=1.52; %podminka 2
    w = ((h^2)/pi)*(b-1-(log(2*b-1))+((p-1)/(2*p))*(log(b-1)+0.39-
(0.61/p)));
end
%vysledek
fprintf ('\n')
disp('Vysledek ')
fprintf ('Sirka micropaskoveho vedeni je %d m\n', w)
```

Výsledek výpočtu:

*Zadejte pozadovanou impedanci Z[ohm]: 50*

*Zadejte permitivitu substratu E [-]: 3.38*

*Zadejte tloustku substratu [m]: 1.5e-3*

*Vysledek*

*Sirka micropaskoveho vedeni je 3.473137e-003 m*

*>>*

## 4 ZÁVĚR

V této práci byl v programu Ansoft Designer, přesně dle publikovaných rozměrů nakreslen a ověřen vliv motiv popisované antény (obr. 2.1) na substrátu FR4 s tloušťkou 1mm i s popsanými parazitními rezonátory a výřezem v zadní rovině substrátu.

Při vyhodnocení simulací antény s mikropáskovým napájením dle publikace [1], je vidět že výsledky analýzy se neshodují s publikovanými, a na neshodě má největší vliv nepřizpůsobení antény vlivem odlišného vnímání zemní desky programem Ansoft Designer.

Problém byl úspěšně vyřešen a řešení ověřeno simulacemi. Řešení bylo vhodným nastavením geometrických rozměrů výřezu v zemní rovině, kterými bylo dosaženo požadovaných parametrů.

Při aplikaci na požadovaný substrát ARLON 25N bylo v programu Ansoft Designer pracovní kmitočet  $f_r = 6$  GHz dosaženo shody parametrů  $S_{11}$  v závislosti na frekvenci, které přesně splňovaly požadavky určené v zadání práce. (obr. 3.2)

Rozměry této konfigurace antény byly pro ověření přesně zadány pro kontrolní simulaci v programu CST Microwave studio. Bohužel výsledný graf na (obr. 3.3) nepotvrdil výsledky simulace v programu Ansoft Designer. Pro horní kmitočty charakteristiky vykazuje dle této simulace anténa zádrž, jakoby dvojice obdélníkových rezonátorů neplnila svoji funkci.

Tento problém by mohl být vyřešen dosažením lepšího impedančního přizpůsobení na vyšším pásmu požadovaných kmitočtů, zvolením jiného druhu vazby obdélníkového rezonátoru a napájecího mikropásku anebo lepší konfigurací geometrických rozměrů.

Proto bylo přistoupeno k realizaci antény se středním pracovním kmitočtem  $f_r = 7$  GHz. Výsledky simulací této konfigurace se lehce odchylovaly od zadaných parametrů, ale naproti tomu došlo k velké shodě se simulací v programu CST Microwave studio. (obr. 3.5) a (obr. 3.6).

Na základě těchto poznatků bylo přistoupeno k vlastní realizaci antény. Po zhotovení a změření se potvrdily výsledky získané simulacemi a měřením antény, a až na malé odchylky, které mohly být způsobeny technologií a vlastní výrobou, opět bylo dosaženo poměrně slušné shody.

To poukazuje na správný postup a řešení zadání práce.

# LITERATURA

- [1] GHOBADI, A., GHOBADI, CF., NOURINIA, J. A novel band/notched planar monopole antenna for ultrawideband applications. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2010, vol. 9, p. 608-611.
- [2] GARG, R., BHARTIA, P., BAHL, I., ITTIPIBOON, A. Microstrip Antenna Design Handbook. Norwood: Artech House, 2001.
- [3] MIROSLAV PROCHÁZKA , *Antény encyklopedická příručka 3. Rozšířené vydání, BEN-technická literatura, Praha 2005*
- [4] VÁCLAV ŽALUD, *Moderní radioelektronika, BEN-technická literatura, Praha 2000, 1 vydání*
- [5] Zdeněk Nováček, *Elektromagnetické vlny, antény a vedení, Skriptum FEI VUT Brno*
- [6] Zbyněk Raida, *Počítačové řešení komunikačních systémů, Skriptum FEI VUT Brno*
- [7] ČÁP, Planární antény[on-line]. 2005 [cit. III. 2006].  
Dostupné z: <http://www.ieee.cz/mtt/soutez05/prace/cap/cap.pdf>.
- [8] Multimediální učebnice, [www.urel.feec.vutbr.cz/~raida/multimedia/index.php?nav=4-4-A](http://www.urel.feec.vutbr.cz/~raida/multimedia/index.php?nav=4-4-A).
- [9] Jiří Syrový, *Planární anténa s vícepásmovou zemní deskou*,  
dostupné z: [http://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=18802](http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=18802)
- [10] Kamil Pítra, *Antény pro pásmo milimetrových vln*, Diplomová práce, Brno 2010

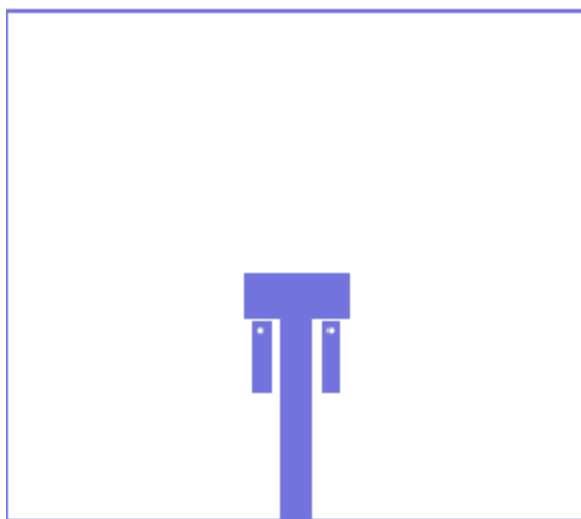
# SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

$f$	frekvence	
VSWR	Voltage Standing Wave Ratio	poměr stojatých vln
E	intenzita elektrického pole	
H	intenzita magnetického pole	
3D	trojrozměrné zobrazení	
GHz	jednotka frekvence	
PSV	poměr stojatých vln	
U	napětí	
P	výkon	
G	zisk	
$\epsilon$	dielektrická konstanta	permitivita
$\lambda$	vlnová délka	
c	rychlost světla	
Z	impedance	
Hole	díra (otvor)	
Conductor	vodič	
Back	zadní	
Front	přední	
Ground	zem	
plane	plocha	

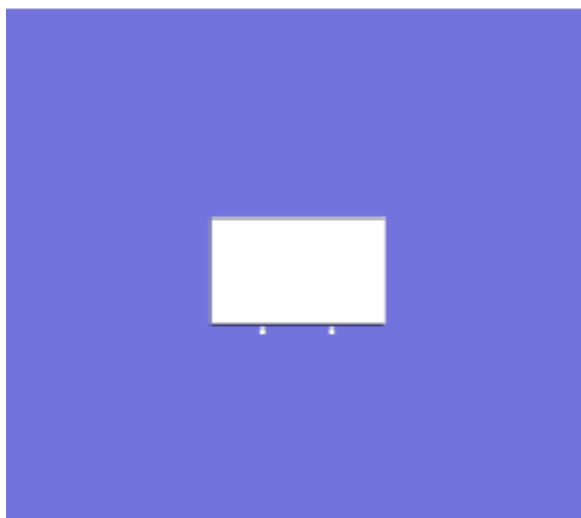
# SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A 1 Výrobní obrazce .....	38
Příloha A 2 Směrové charakteristiky pro rovinou-E .....	39
Příloha A 3 Směrové charakteristiky pro rovinou-H .....	40
Příloha A 4 Závislosti zisku na směru pro rovinu -H .....	41
Příloha A 5 Závislost zisku na směru pro rovinu -E .....	42
Příloha A 6 Fotodokumentace .....	43

## Příloha A 1 Výrobní obrazce

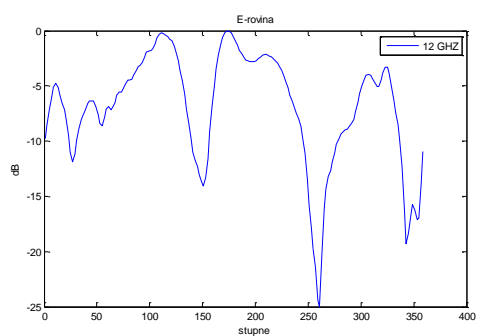
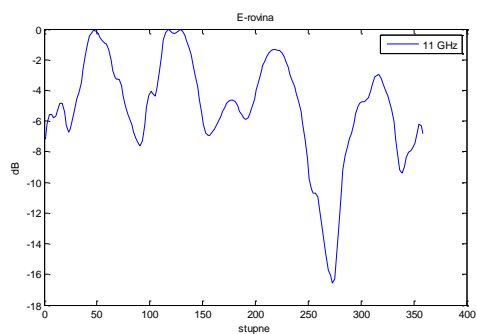
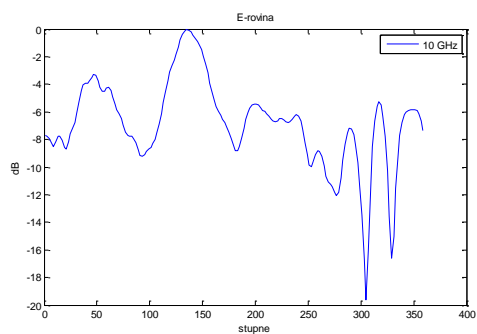
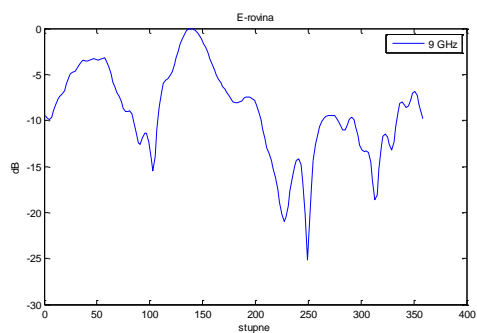
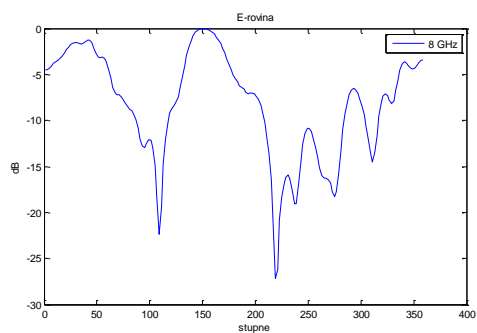
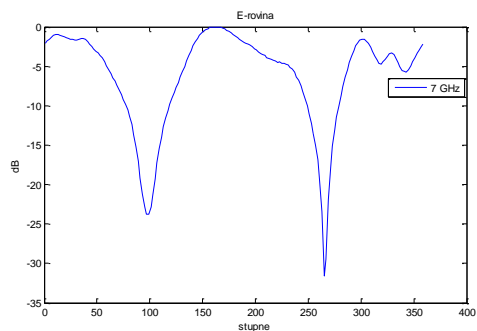
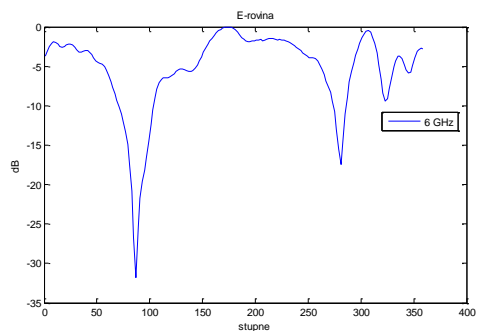
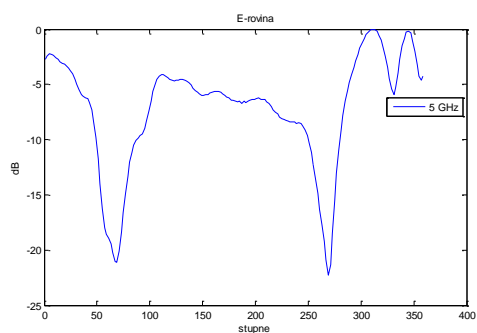
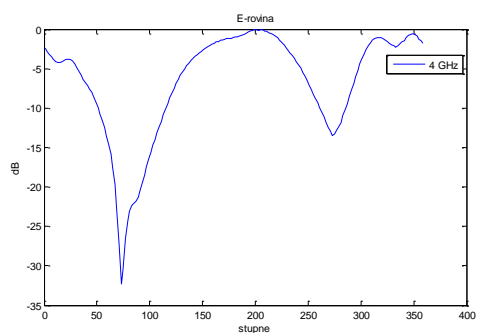


Čelní vodivá deska

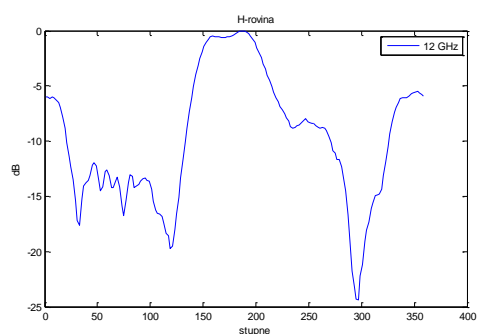
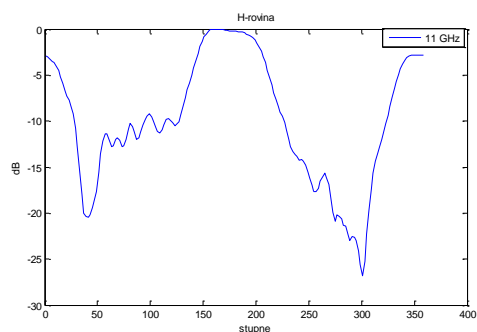
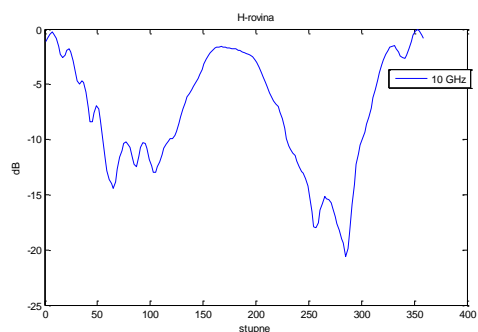
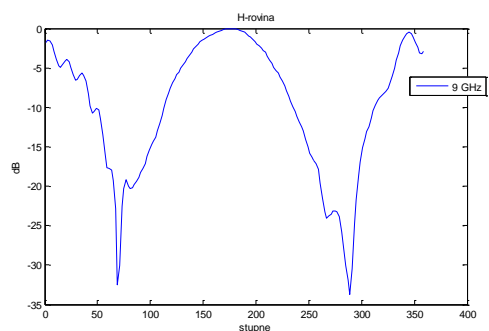
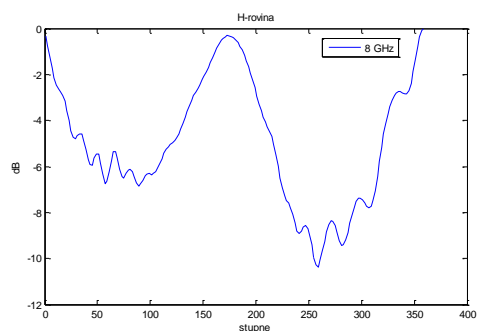
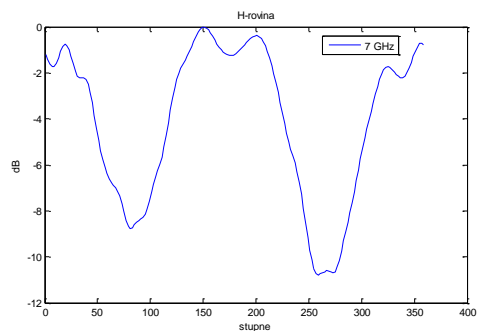
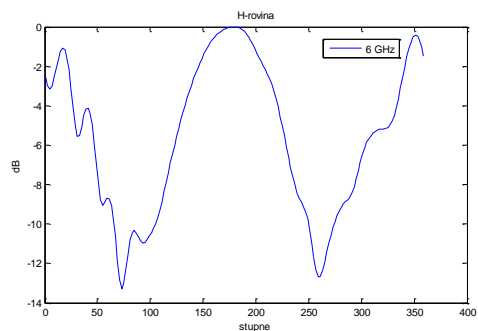
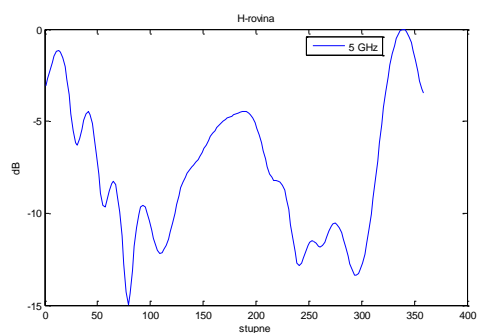
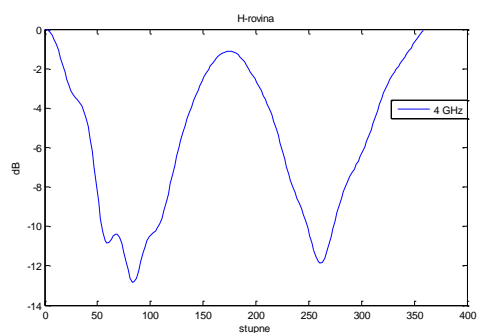


Zadní zemní strana

## Příloha A 2 Směrové charakteristiky pro rovinou-E

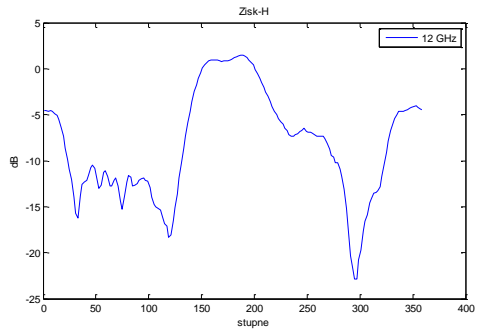
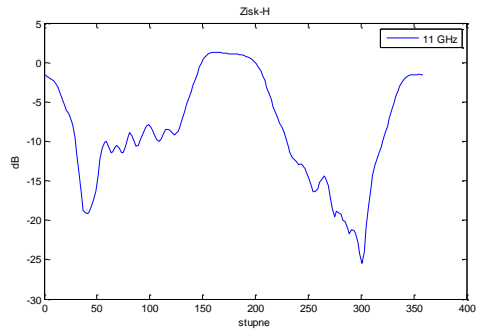
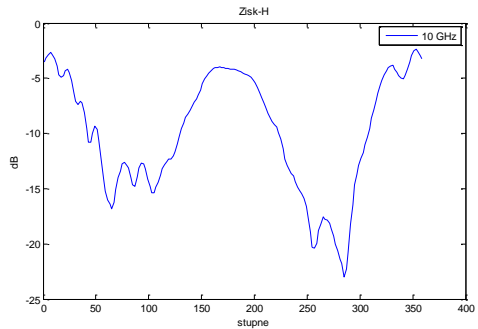
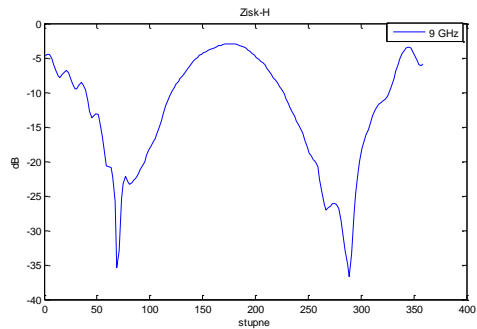
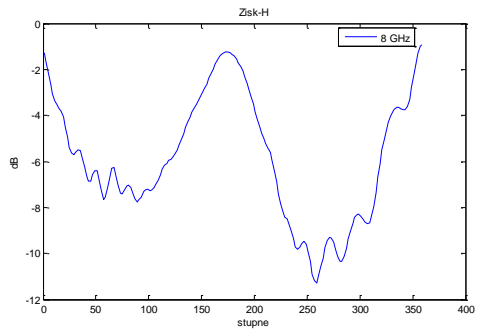
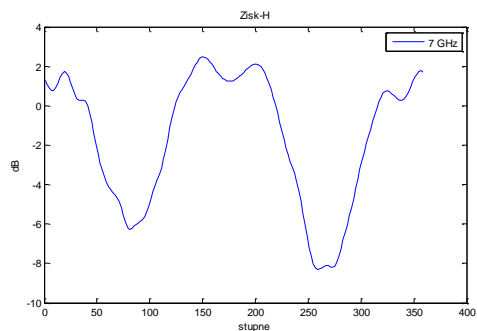
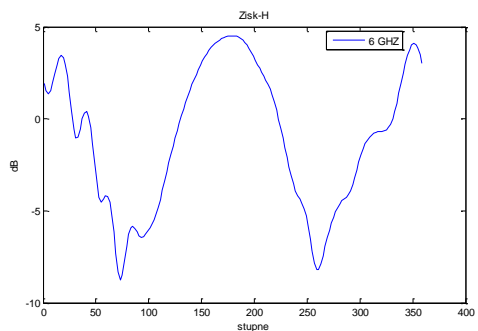
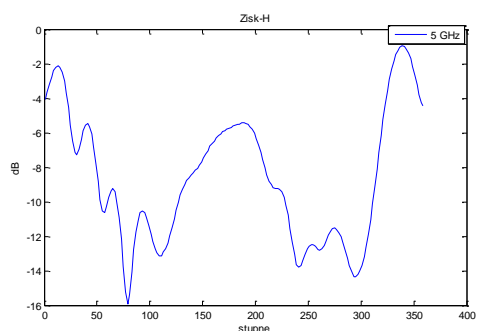
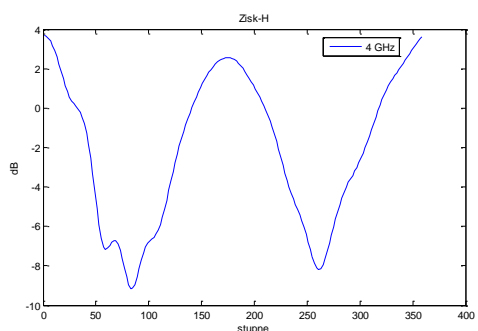


## Příloha A 3 Směrové charakteristiky pro rovinou-H

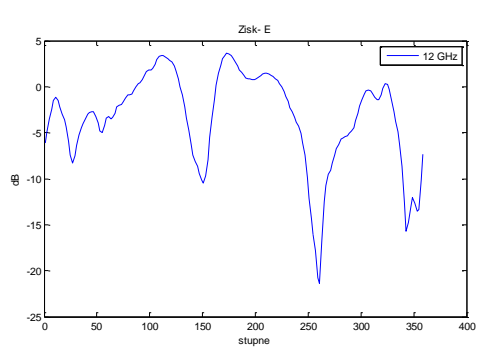
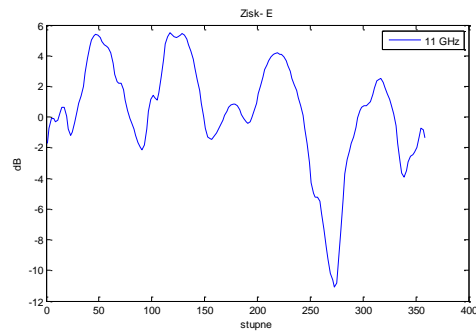
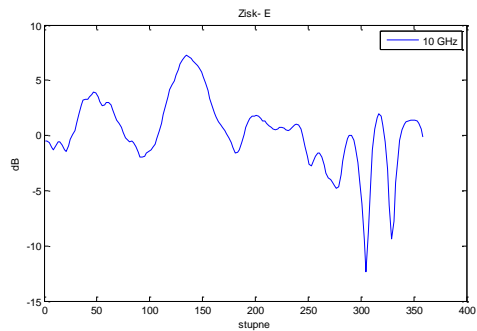
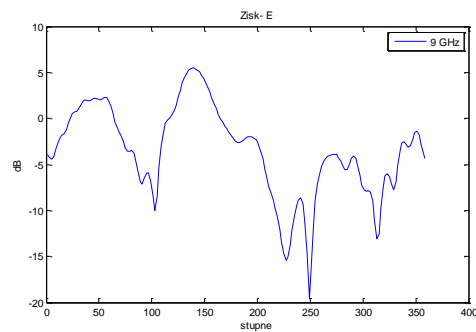
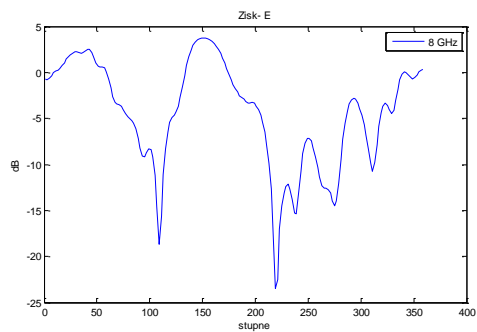
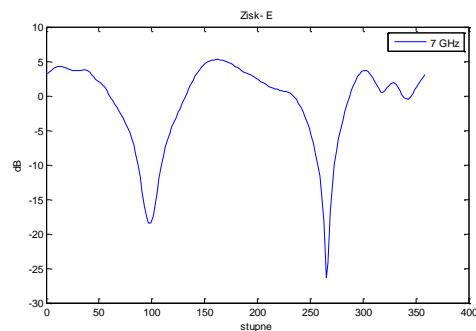
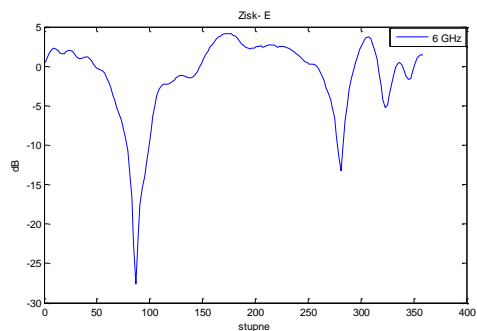
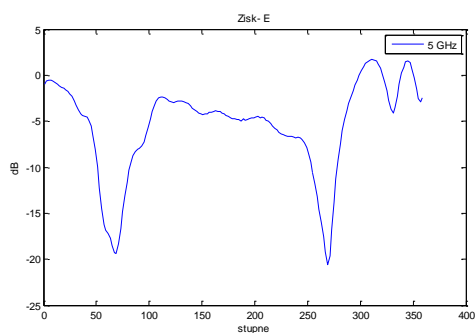
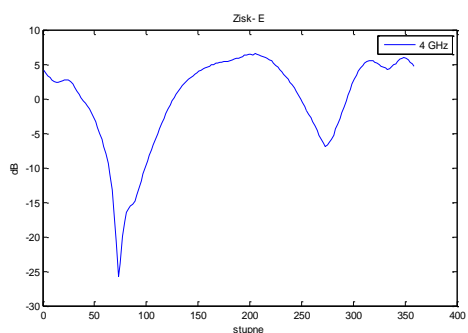




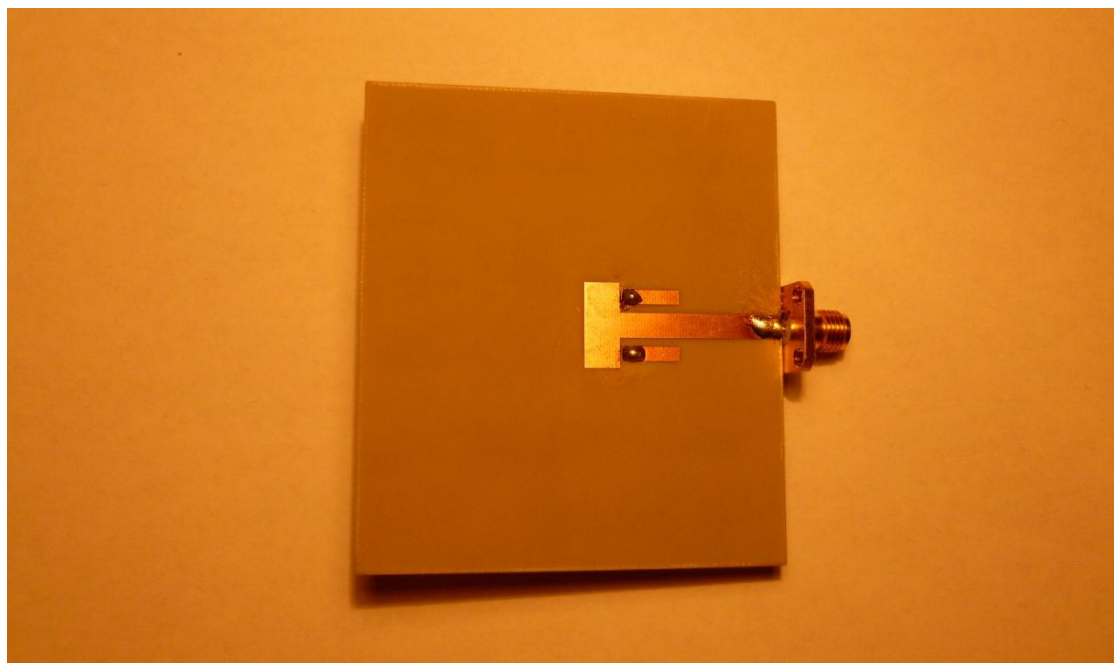
## Příloha A 4 Závislosti zisku na směru pro rovinu -H



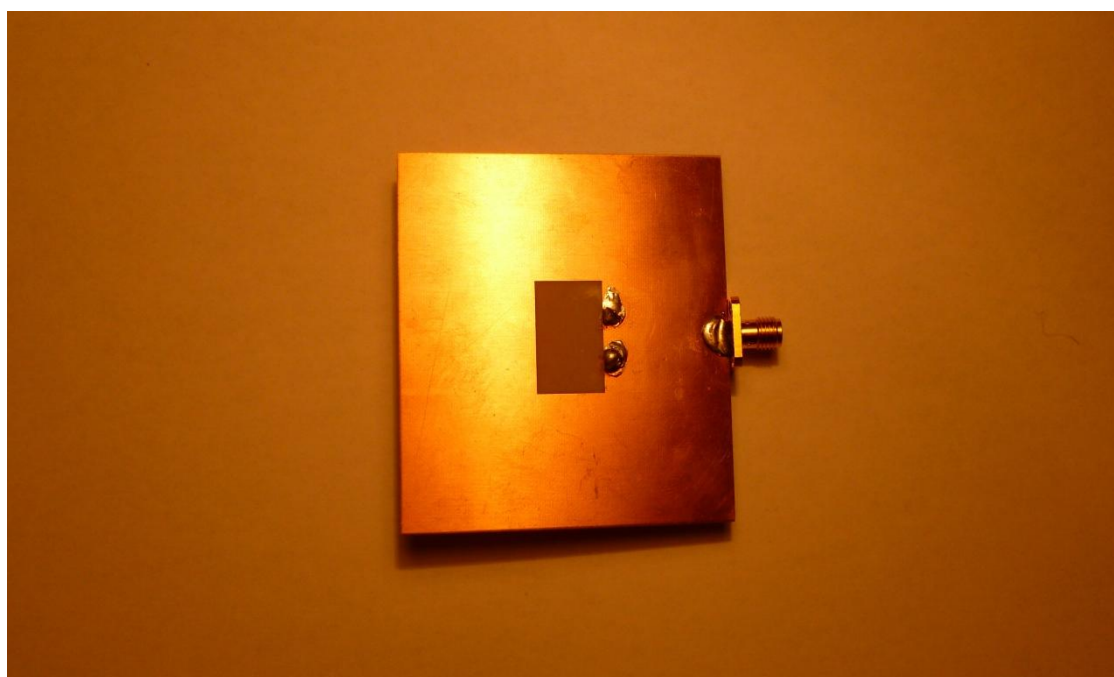
## Příloha A 5 Závislost zisku na směru pro rovinu –E



## Příloha A 6 Fotodokumentace



Fotografie přední strana antény



Fotografie zadní strana antény