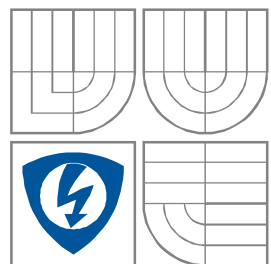


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

# ŠTĚRBINOVÁ ANTÉNA PRO SYSTÉMY S VÍCE ANTÉNAMI

SLOT ANTENNA FOR MULTI-ANTENNA SYSTEMS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

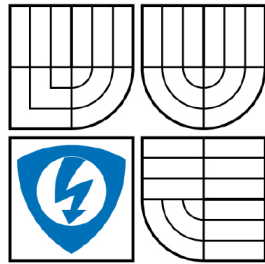
Jiří Smrček

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida

BRNO, 2010



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor  
Elektronika a sdělovací technika

**Student:** Jiří Smrček  
**Ročník:** 3

**ID:** 78346  
**Akademický rok:** 2009/2010

## NÁZEV TÉMATU:

**Štěrbínová anténa pro systémy s více anténami**

## POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s principem činnosti štěrbinových antén a s jejich modelováním ve vhodně zvoleném elektromagnetickém simulátoru. Vytvořte počítačový model jednoduché štěrbinové antény a dosažené výsledky ověřte v literatuře.

Prostudujte princip fungování štěrbinové antény popsané ve [2]. Anténu přepočítejte pro zadaný mikrovlnný substrát, namodelujte ji a optimalizujte ji pro zadané kmitočtové pásmo. Anténu vyrobte a experimentálně ověřte její vlastnosti.

## DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] BALANIS, A. C. Antenna Theory: Analysis and Design, 2/E. New York: J. Wiley & Sons, 1996.

[2] LAI, M. I., JENG, S. K. Slot antennas with an extended ground for multiple-antenna systems in compact wireless devices. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2009, vol. 8, p. 19-22.

**Termín zadání:** 8. 2. 2010

**Termín odevzdání:** 28. 5. 2010

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

**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 cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následku 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 c.40/2009 Sb.

# LICENČNÍ SMLOUVA POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

## 1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Jiří Smrček  
Bytem: Bohutice 260, Bohutice, 671 76  
Narozen/a (datum a místo): 7. března 1986 ve Znojmě

(dále jen „autor“)

a

## 2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií  
se sídlem Údolní 53, Brno, 602 00  
jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:  
prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida, předseda rady oboru Elektronika a sdělovací technika  
(dále jen „nabyvatel“)

## Čl. 1

### Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

- disertační práce
  - diplomová práce
  - bakalářská práce
  - jiná práce, jejíž druh je specifikován jako .....
- (dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: Štěrbínová anténa pro systémy s více anténami

Vedoucí/ školitel VŠKP: prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida

Ústav: Ústav radioelektroniky

Datum obhajoby VŠKP: \_\_\_\_\_

VŠKP odevzdal autor nabyvateli\*:

- v tištěné formě – počet exemplářů: 2
- v elektronické formě – počet exemplářů: 2

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.

3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.

4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

---

\* hodící se zaškrtněte

## Článek 2

### Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
  - ihned po uzavření této smlouvy
  - 1 rok po uzavření této smlouvy
  - 3 roky po uzavření této smlouvy
  - 5 let po uzavření této smlouvy
  - 10 let po uzavření této smlouvy(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/ 1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

## Článek 3

### Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne: 28. května 2010

.....  
Nabyvatel

.....  
Autor

## **ABSTRAKT**

Práce se věnuje numerickému modelování šěrbinových antén s prodlouženou zemí, které lze integrovat do anténních systémů v kompaktních bezdrátových zařízeních. Jde konkrétně o antény navržené pro bezdrátové lokální počítačové sítě WLAN.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Šěrbinová anténa, anténní systém, antény pro WLAN.

## **ABSTRACT**

The project is focused on the numerical modeling of slot antennas with an extended ground, which can be integrated into multiple-antenna systems for compact wireless devices. Attention is turned to the antennas designed for wireless local area networks (WLAN).

## **KEYWORDS**

Slot antenna, antenna systems, WLAN antennas.

SMRČEK, J. *Štěrbínová anténa pro systémy s více anténami*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav radioelektroniky, 2010. 24 stran. Bakalářská práce. Vedoucí práce: prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida

## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Štěrbínová anténa pro systémy s více anténami 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 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 28. května 2010

.....

(podpis autora)

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji vedoucímu bakalářské práce prof. Dr. Ing. Zbyňku Raidovi a odbornému asistentovi Ing. Jaroslavu Láčíkovi Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne 28. května 2010

.....

(podpis autora)

# OBSAH

<b>Seznam obrázků</b>	<b>1</b>
<b>Seznam tabulek</b>	<b>3</b>
<b>Úvod</b>	<b>4</b>
<b>1 Štěrbínové antény</b>	<b>5</b>
<b>2 Simulace antény - Typ 1</b>	<b>6</b>
2.1 Struktura antény .....	6
2.2 Popis funkce antény .....	7
2.3 Nastavení simulace .....	8
2.4 Výsledky .....	8
<b>3 Simulace antény - Typ 2</b>	<b>10</b>
3.1 Struktura antény .....	10
3.2 Popis funkce antény .....	11
3.3 Nastavení simulace .....	12
3.4 Výsledky .....	12
<b>4 Simulace antény - Oba typy</b>	<b>14</b>
4.1 Struktura antény .....	14
4.2 Popis funkce antény .....	16
4.3 Nastavení simulace .....	16
4.4 Výsledky .....	16
<b>5 Reálná antény - Oba typy</b>	<b>18</b>
5.1 Struktura antény .....	18
5.2 Výsledky .....	19
<b>6 Závěr</b>	<b>22</b>
<b>Literatura</b>	<b>23</b>
<b>Seznam zkratk a symbolů</b>	<b>24</b>

# SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1: Štěrbínová anténa versus dipól (převzato z [2]).....	5
Obr. 1.2: Orientace rovin E a H (převzato z [2]).....	5
Obr. 2.1: Struktura antény – Typ 1: pohled shora. ....	6
Obr. 2.2: Struktura antény – Typ 1: pohled zdola. ....	6
Obr. 2.3: Struktura antény – Typ 1: pohled shora zprava.....	6
Obr. 2.4: Struktura antény – Typ 1: pohled zdola zleva.....	6
Obr. 2.5: Vysvětlení významů jednotlivých parametrů antény – Typ 1 (převzato z [1]). .....	7
Obr. 2.6: Kmitočtový průběh velikosti činitele odrazu na vstupu antény: výsledek simulace – Typ 1 .....	8
Obr. 2.7: Kmitočtový průběh $s_{11}$ – Typ 1 (převzato z [1]). ....	8
Obr. 2.8: Směrová charakteristika – Typ 1 (část převzata z [1]).....	9
Obr. 3.1: Struktura antény – Typ 2: pohled shora. ....	10
Obr. 3.2: Struktura antény – Typ 2: pohled zdola. ....	10
Obr. 3.3: Struktura antény – Typ 2: pohled shora zprava.....	10
Obr. 3.4: Struktura antény – Typ 2: pohled zdola zleva.....	10
Obr. 3.5: Vysvětlení významů jednotlivých parametrů antény – Typ 2 (převzato z [1]). .....	11
Obr. 3.6: Kmitočtový průběh velikosti činitele odrazu na vstupu antény: výsledek simulace – Typ 2 .....	12
Obr. 3.7: Kmitočtový průběh $s_{11}$ – Typ 2 (převzato z [1]). ....	12
Obr. 3.8: Směrová charakteristika – Typ 2 (část převzata z [1]).....	13
Obr. 4.1: Struktura antény – Oba typy: pohled shora.....	14
Obr. 4.2: Struktura antény – Oba typy: pohled zdola.....	14
Obr. 4.3: Struktura antény – Oba typy: pohled shora zprava. ....	14
Obr. 4.4: Struktura antény – Oba typy: pohled zdola zleva .....	14
Obr. 4.5: Rozložení antény.....	15
Obr. 4.6: Vysvětlení významů jednotlivých parametrů antény – Typ 1 (převzato z [1]) .....	15
Obr. 4.7: Vysvětlení významů jednotlivých parametrů antény – Typ 2 (převzato z [1]) .....	15

Obr. 4.8: Kmitočtový průběh velikosti činitele odrazu: výsledek simulace - Oba typy. .....	17
Obr. 4.9: Kmitočtový průběh velikosti činitele odrazu - Oba typy (převzato z [1]). ....	17
Obr. 5.1: Struktura antény – Oba typy: pohled shora. ....	18
Obr. 5.2: Struktura antény – Oba typy: pohled zdola. ....	18
Obr. 5.3: Struktura antény – Oba typy: pohled shora zprava. ....	18
Obr. 5.4: Struktura antény – Oba typy: pohled zdola zleva .....	18
Obr. 5.5: Návrh desky plošných spojů: pohled shora. ....	19
Obr. 5.6: Návrh desky plošných spojů: pohled zdola. ....	19
Obr. 5.7: Kmitočtový průběh velikosti činitele odrazu: výsledek simulace - Oba typy. .....	19
Obr. 5.8: Kmitočtový průběh velikosti činitele odrazu - Oba typy (převzato z [1]). ....	20
Obr. 5.9: Směrová charakteristika - Oba typy. ....	21

## SEZNAM TABULEK

Tab. 2.1: Číselné hodnoty parametrů antény - Typ 1.....	7
Tab. 3.1: Číselné hodnoty parametrů antény - Typ 2.....	11
Tab. 4.1: Číselné hodnoty parametrů antény - Oba typy.....	15

# ÚVOD

Tato bakalářská práce se věnuje ověření funkčnosti antény, publikované v článku Slot antennas with an extended ground for multiple-antenna systems in compact wireless devices [1].

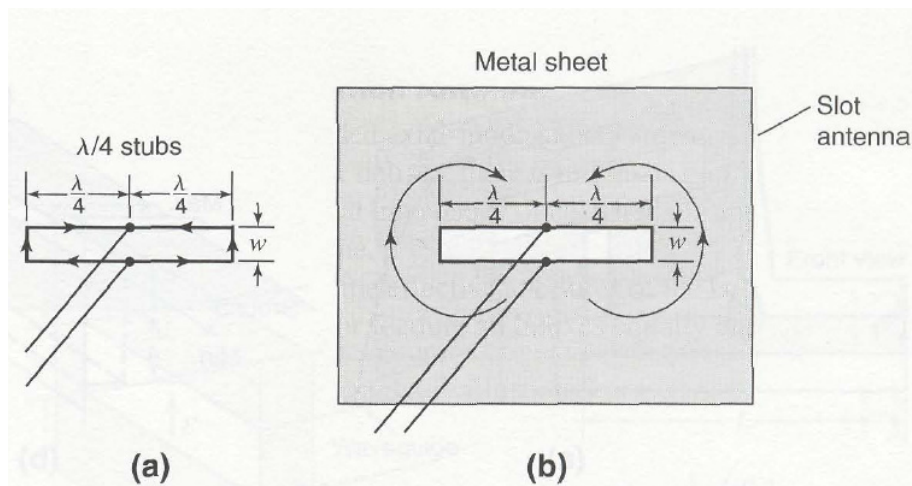
Článek se zabývá miniaturizací antén, která umožňuje jejich použití v kompaktních bezdrátových zařízeních, jako jsou například mobilní telefony, PDA a další. Jelikož je trendem vyrábět stále menší zařízení, je problematika miniaturizace antén velmi aktuální.

Nejprve se budeme zabývat principem činnosti štěrbinových antén. Po té vytvoříme počítačový model obou typů antén, které jsou popsány v článku [1]. Antény namodelujeme a porovnáme výsledky s těmi, ke kterým došel autor článku.

Dále pak spojíme oba typy do jedné antény a vytvoříme simulaci. Poté se pokusíme vyrobit anténu, kterou jsme namodelovali. Případným upravením parametrů docílíme toho, aby anténa odpovídala zadanému kmitočtovému pásmu. Anténu vyrobíme a experimentálně ověříme její vlastnosti.

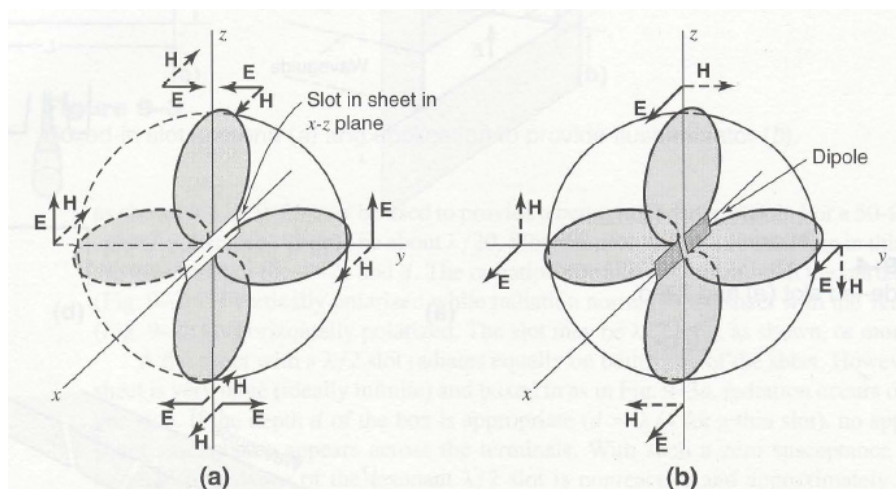
# 1 ŠTĚRBINOVÉ ANTÉNY

V principu funguje štěrbinová anténa jako dipól. Zatímco elektrický dipól vyzařuje díky elektrickým proudům (kmitání elektrických nábojů), štěrbinu si lze představit jako dipól založený na proudu magnetickém [2].



Obr. 1.1 Štěrbinová anténa versus dipól: a) dipól, b) štěrbinová anténa. Obrázek byl převzat z [2].

Vzhledem k dualitě elektrických a magnetických polí je základní odlišností mezi elektrickým dipólem a štěrbinou orientace rovin E a H (viz obr. 1.2).



Obr. 1.2 Orientace rovin E a H: a) štěrbinová anténa, b) dipól. Obrázek byl převzat z [2].

## 2 SIMULACE ANTÉNY - TYP 1

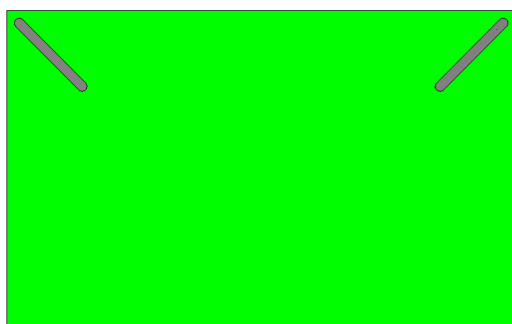
V této kapitole je popsán postup, který byl použit při simulaci štěrbinové antény prvního typu v programu CST Microwave Studio.

V první části se věnujeme struktuře antény. Je zde popsána její geometrie a jsou zde uvedeny materiály, které jsme použili při její konstrukci. Druhá část se zabývá popisem funkce antény. Třetí část je zaměřena na nastavení simulace štěrbinové antény. Čtvrtá část je zaměřena na diskusi výsledků simulací (kmitočtové průběhy velikosti činitele odrazu, vyzařovací charakteristiky).

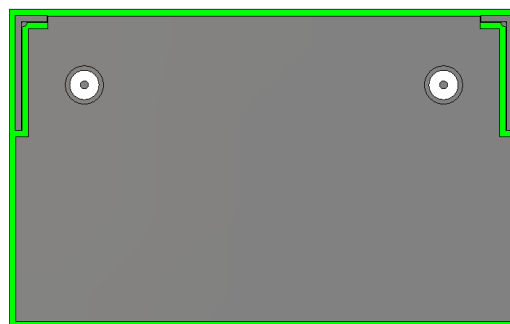
### 2.1 Struktura antény

Autor použil pro konstrukci antény substrát FR-4, který je typický velkou tolerancí permitivity. V numerickém modelu jsme proto použili materiál ARLON 25N. Jako dielektrikum konektoru koaxiálního kabelu byl uvažován TEFLON. Zbývající části byly uvažovány jako dokonale elektricky vodivé.

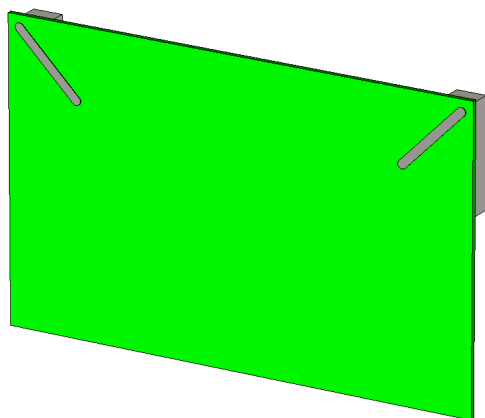
Struktura antény je zobrazena na obr. 2.1 (pohled shora) a obr. 2.2 (pohled zdola). Pro lepší představu jsem přidal i obr. 2.3, což je pohled shora zprava, a obr. 2.4, což je pohled zdola zleva.



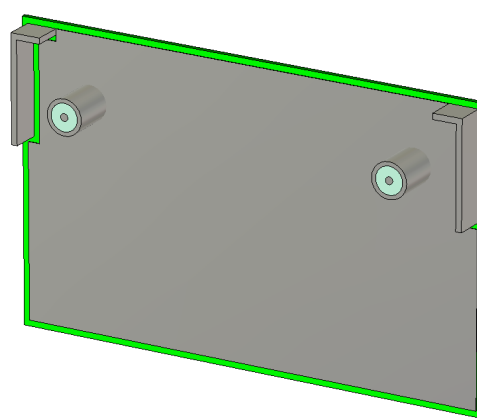
Obr. 2.1 Struktura antény - Typ 1:  
pohled shora.



Obr. 2.2 Struktura antény - Typ 1:  
pohled zdola.



Obr. 2.3 Struktura antény - Typ 1:  
pohled shora zprava.

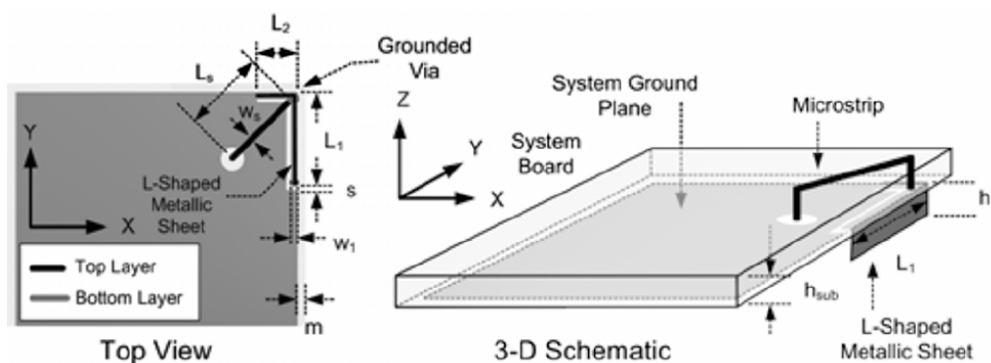


Obr. 2.4 Struktura antény - Typ 1:  
pohled zdola zleva.

Číselné hodnoty parametrů antény, které jsme použili při simulaci, jsou uvedeny v Tab. 2.1, přičemž rozměry antény byli 80 x 50 mm. Význam parametrů by měl být zřejmý z obr. 2.5.

Parametr	$h_1$	$h_{sub}$	$L_1$	$L_2$	$L_s$	$m$	$s$	$W_1$	$W_s$
mm	5,0	0,8	18,0	5,0	14,0	1,0	1,0	1,0	0,8

Tab. 2.1 Číselné hodnoty parametrů antény - Typ 1.



Obr. 2.5 Vysvětlení významu jednotlivých parametrů antény – Typ 1.  
Obrázek byl převzat z [1].

U antény je použit substrát ARLON 25N. Na spodní straně substrátu je umístěn kovový plech ve tvaru L. Mikropásek je umístěn na vrchní straně. Kovový plech ve tvaru L se nachází ve štěrbině, která je vyrytá v zemnicí ploše. Tato štěrbinu je uzavřená na konci kratšího ramene, kde je tento plech spojen se zemí. Jedna strana mikropásku je propojena průchodkou s prodlouženou zemí (kovový plech ve tvaru L). Druhá strana je vyvedena na spodní stranu desky a je zapojena do konektoru koaxiálního kabelu. Anténa je napájena mikropáskovým vedením.

## 2.2 Popis funkce antény

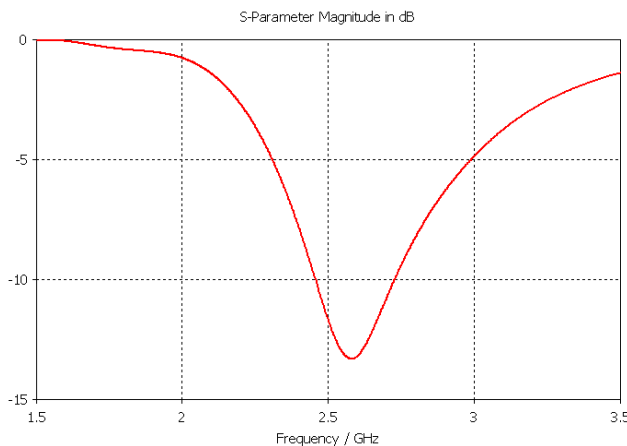
Tato anténa vznikla ze  $\lambda/4$  štěrbinové antény s přidáním kovovým plechem ve tvaru L, který slouží jako prodloužená zem, a s mikropáskem, který má funkci zářiče, byl přidán proto, aby redukoval velikost antény. Anténa je navržena tak, že kovový plech ve tvaru L byl umístěn ve štěrbině co nejbližší zemnicí plochy a jeho výška se může měnit v závislosti na velikosti prostoru. Čím je ale výška větší, tím je i větší ziskovost antény. Šíře štěrbinu je co nejmenší kvůli tomu, abychom redukovali obsazené místo na desce. Kovový plech ve tvaru L byl přidán proto, aby fungoval jako prodloužená zemnicí plocha, což způsobí zlepšení výkonu. [1]

## 2.3 Nastavení simulace

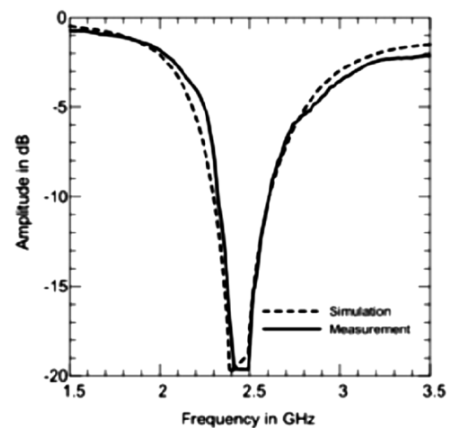
Jelikož anténa, kterou simulujeme, má pracovat na frekvenci určenou pro bezdrátovou komunikaci WLAN, zvolili jsme rozsah frekvencí od 1,5 GHz do 3,5 GHz. Nastavili jsme si 2 porty (na oba koaxiální konektory). Dále jsme nastavili hustotu sítě na 20 diskretizačních prvků na vlnovou délku s ohledem na přesnost měření (čím více prvků na vlnovou délku, tím přesnější výsledek). Vyšší hustotu jsme nenastavovali, protože při zvyšování hustoty se nám výsledky neměnily. Poté jsme provedli analýzu. Po analýze jsme zjistili rezonanční kmitočet. Ten jsme využili při výpočtu směrových vlastností antény.

## 2.4 Výsledky

Prvním výsledkem analýzy byl kmitočtový průběh velikosti činitele odrazu na vstupu antény. Obr. 2.6 zobrazuje průběh simulovaný, obr. 2.7 zobrazuje průběh publikovaný. Na obr. 2.7 je čárkovaně uvedena charakteristika simulovaná a plnou čarou charakteristika změřená.



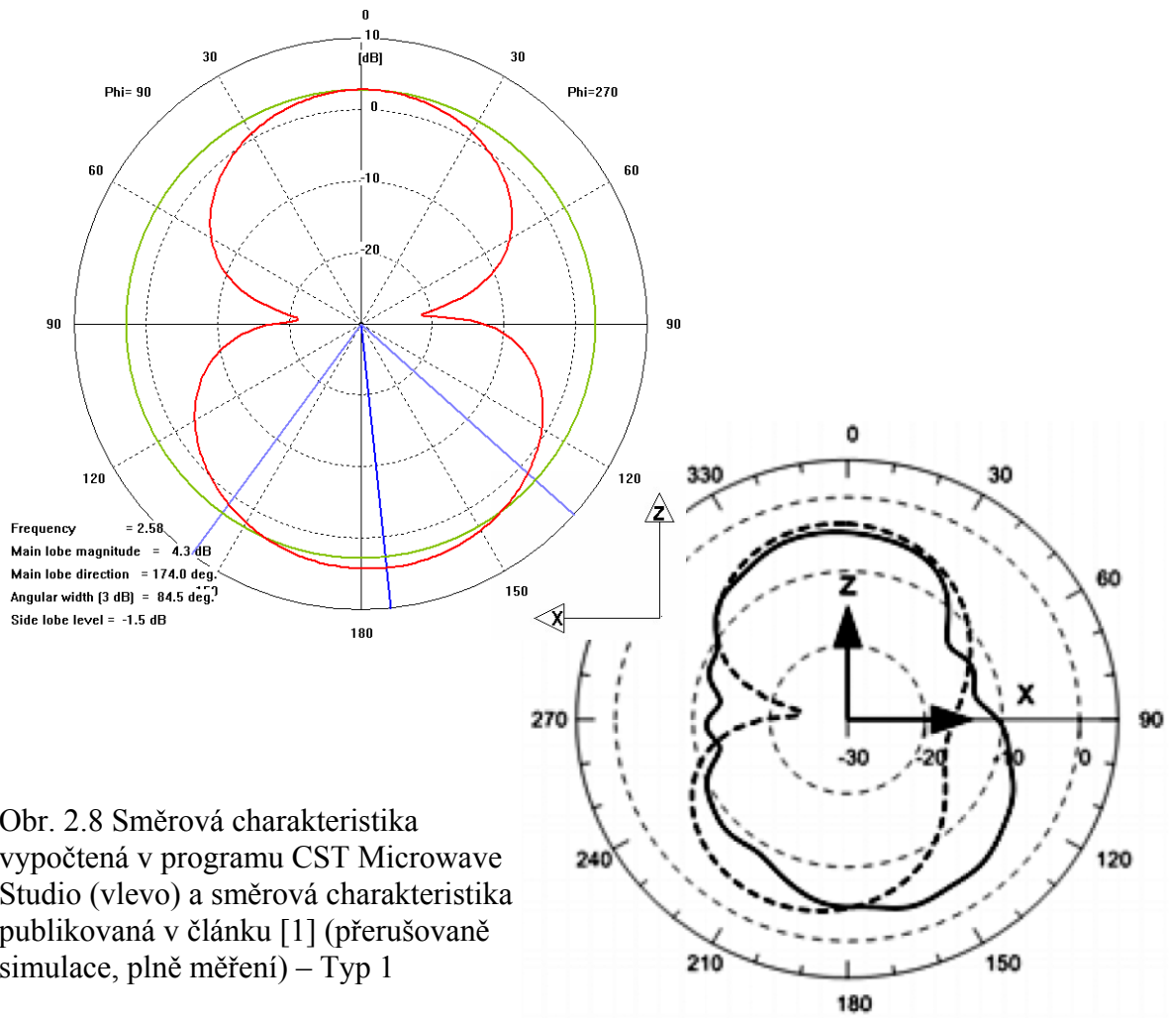
Obr. 2.6 Kmitočtový průběh velikosti činitele odrazu na vstupu antény: výsledek simulace – Typ 1.



Obr. 2.7 Kmitočtový průběh  $s_{11}$ , Typ 1, Převzato z [1].

Z obr. 2.6 a 2.7 lze vyčíst, že anténa v obou případech rezonuje přibližně na frekvenci 2.5 GHz.

Vypočtené a publikované vyzařovací charakteristiky jsou vykresleny na obr. 2.8.



Obr. 2.8 Směrová charakteristika vypočtená v programu CST Microwave Studio (vlevo) a směrová charakteristika publikovaná v článku [1] (přerušovaně simulace, plně měření) – Typ 1

Uvážíme-li, že směrová charakteristika z článku je horizontálně a vertikálně překlopena, dojdeme k závěru, že shoda mezi naší simulací a simulací publikovanou je vcelku dobrá.

## 3 SIMULACE ANTÉNY - TYP 2

V této kapitole je popsán postup, který byl použit při simulaci štěrbinové antény druhého typu v programu CST Microwave Studio.

V první části se věnujeme struktuře antény. Je zde popsána její geometrie a jsou zde uvedeny materiály, které jsme použili při její konstrukci. Druhá část se zabývá popisem funkce antény. Třetí část je zaměřena na nastavení simulace štěrbinové antény. Čtvrtá část je zaměřena na diskusi výsledků simulací (kmitočtové průběhy velikosti činitele odrazu, vyzařovací charakteristiky).

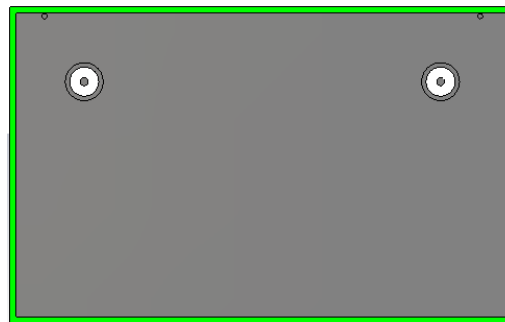
### 3.1 Struktura antény

Stejně jako u předchozího typu antény, i zde použil autor substrát FR-4. My jsme jej opět nahradili materiálem ARLON 25N. Jako dielektrikum konektoru koaxiálního kabelu byl uvažován TEFLON. Zbývající části byly uvažovány jako dokonale elektricky vodivé.

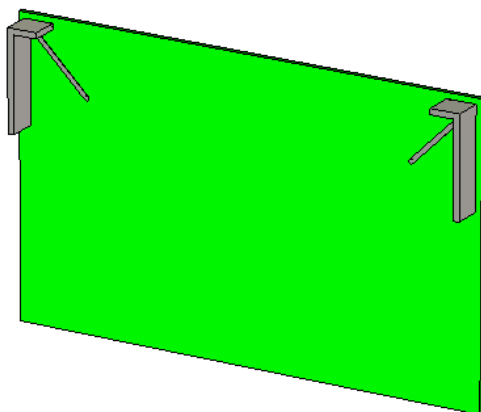
Struktura antény je zobrazena na obr. 3.1 (pohled shora) a obr. 3.2 (pohled zdola). Pro lepší představu jsem přidal i obr. 3.3, což je pohled shora zprava, a obr. 3.4, což je pohled zdola zleva.



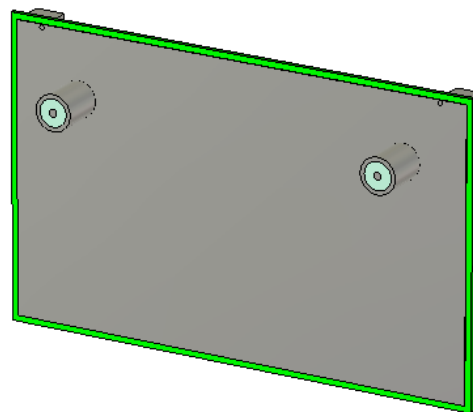
Obr. 3.1 Struktura antény - Typ 2:  
pohled shora.



Obr. 3.2 Struktura antény - Typ 2:  
pohled zdola.



Obr. 3.3 Struktura antény - Typ 2:  
pohled shora zprava.

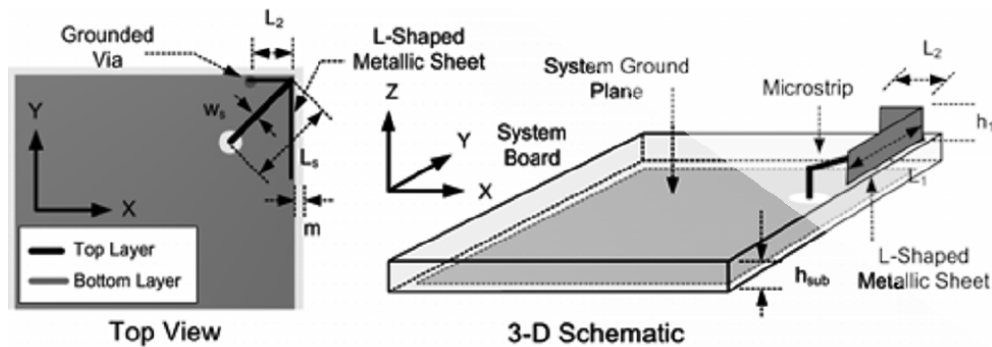


Obr. 3.4 Struktura antény - Typ 2:  
pohled zdola zleva.

Číselné hodnoty parametrů antény, které jsme použili při simulaci, jsou uvedeny v Tab. 3.1, přičemž rozměry antény byli 80 x 50 mm. Význam parametrů by měl být zřejmý z obr. 3.5.

Parametr	$h_1$	$h_{\text{sub}}$	$L_1$	$L_2$	$L_s$	$m$	$W_s$
mm	5,0	0,8	17,0	5,0	14,0	1,0	0,8

Tab. 3.1 Číselné hodnoty parametrů antény - Typ 2.



Obr. 3.5 Vysvětlení významu jednotlivých parametrů antény - Typ 2.  
Obrázek byl převzat z [1].

U antény je použit substrát ARLON 25N. Na horní straně substrátu je umístěn kovový plech ve tvaru L, který slouží jako prodloužená zem, a mikropásek, který pracuje jako zářič. Kovový plech ve tvaru L je na konci kratšího ramene propojen se zemí průchodkou. Jedna strana mikropásku je propojena s prodlouženou zemí (kovový plech ve tvaru L). Druhá strana je vyvedena na spodní stranu desky a je zapojena do konektoru koaxiálního kabelu.

## 3.2 Popis funkce antény

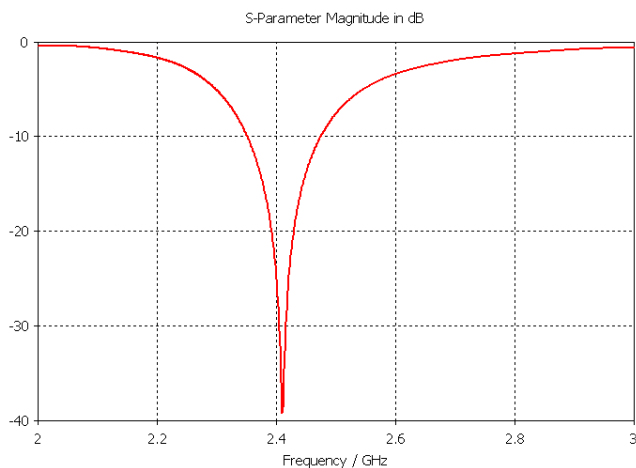
Tato anténa vznikla také ze  $\lambda/4$  štěrbinové antény s přidáním kovovým plechem ve tvaru L, který slouží jako prodloužená zem, a s mikropáskem, který má funkci zářiče, který redukuje velikost antény. Anténa je navržena tak, že kovový plech ve tvaru L byl umístěn na vrchní straně systémové desky. Jako štěrbinu, kterou známe z prvního typu, slouží výška substrátu. Toto nám umožní obsadit větší místo na desce. Kovový plech ve tvaru L lze samozřejmě také měnit, stejně jako v prvním případě. Čím je ale výška větší, tím je i větší ziskovost antény. Kovový plech ve tvaru L byl zde také přidán proto, aby fungoval jako prodloužená zemní plocha, což způsobí zlepšení výkonu. [1]

### 3.3 Nastavení simulace

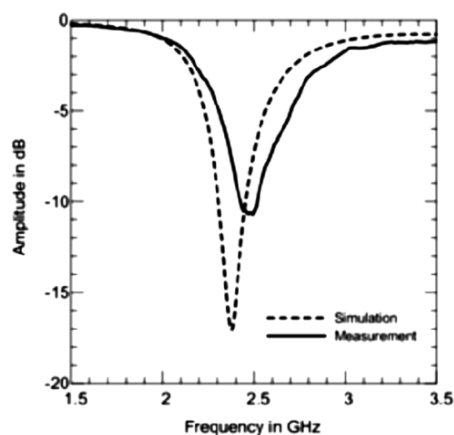
Nastavení jsme provedli stejně jako u předchozího typu, tj. zvolili jsme rozsah frekvencí od 1,5 GHz do 3,5 GHz. Nastavili jsme si 2 porty (na oba koaxiální konektory). Dále jsme nastavili hustotu sítě na 20 diskretizačních prvků na vlnovou délku s ohledem na přesnost měření (čím více prvků na vlnovou délku, tím přesnější výsledek). Vyšší hustotu jsme nenastavovali, protože při zvyšování hustoty se nám výsledky opět neměnily. Poté jsme provedli analýzu. Po analýze jsme zjistili rezonanční kmitočet. Ten jsme využili při výpočtu směrových vlastností antény.

### 3.4 Výsledky

Prvním výsledkem analýzy byl kmitočtový průběh velikosti činitele odrazu na vstupu antény. Obr. 3.6 zobrazuje průběh simulovaný, obr. 3.7 zobrazuje průběh publikovaný. Na obr. 3.7 je čárkovaně uvedena charakteristika simulovaná a plnou čarou charakteristika změřená.



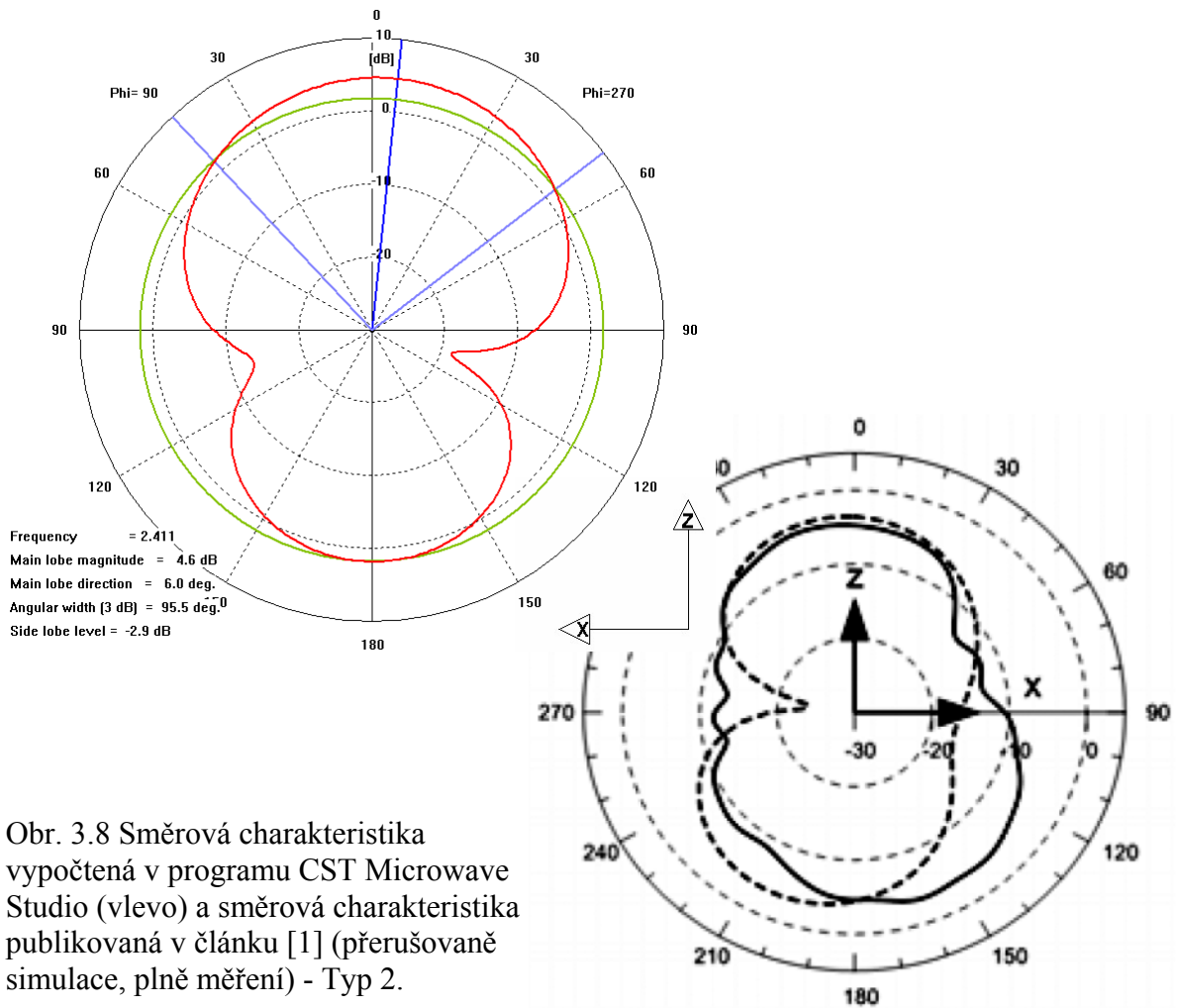
Obr. 3.6 Kmitočtový průběh velikosti činitele odrazu na vstupu antény: výsledek simulace – Typ 2.



Obr. 3.7 Kmitočtový průběh  $s_{11}$ , Typ 2, Převzato z [1].

Z obr. 3.6 a 3.7 lze vyčíst, že anténa v obou případech rezonuje přibližně na frekvenci 2.4 GHz.

Vypočtené a publikované vyzařovací charakteristiky jsou vykresleny na obr. 3.8.



Obr. 3.8 Směrová charakteristika vypočtená v programu CST Microwave Studio (vlevo) a směrová charakteristika publikovaná v článku [1] (přerušované simulace, plně měření) - Typ 2.

Uvážíme-li, že směrová charakteristika z článku je horizontálně a vertikálně překlopena, dojdeme k závěru, že shoda mezi naší simulací a simulací publikovanou je vcelku dobrá i u tohoto typu antény.

## 4 SIMULACE ANTÉNY – OBA TYPY

V této kapitole je popsán postup, který byl použit při simulaci štěrbinové antény obou typů v programu CST Microwave Studio.

V první části se věnujeme struktuře antény. Je zde popsána její geometrie a jsou zde uvedeny materiály, které jsme použili při její konstrukci. Třetí část je zaměřena na nastavení simulace štěrbinové antény. Čtvrtá část je zaměřena na diskusi výsledků simulací (kmitočtové průběhy velikosti činitele odrazu).

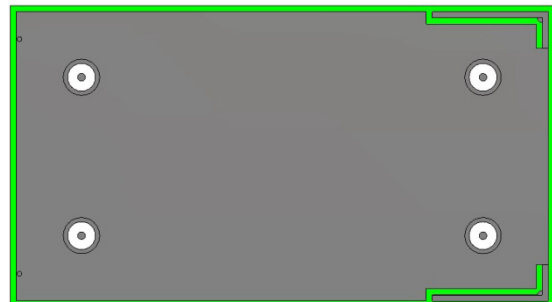
### 4.1 Struktura antény

Stejně jako u předchozích dvou typů antén, i zde použil autor substrát FR-4. My jsme jej opět nahradili materiálem ARLON 25N. Jako dielektrikum konektoru koaxiálního kabelu byl uvažován TEFLON. Zbývající části byly uvažovány jako dokonale elektricky vodivé.

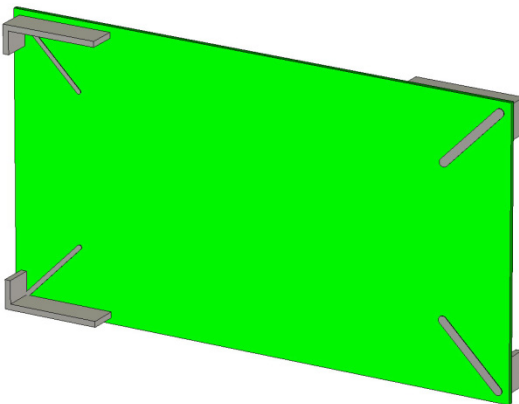
Struktura antény je zobrazena na obr. 4.1 (pohled shora) a obr. 4.2 (pohled zdola). Pro lepší představu jsem přidal i obr. 4.3, což je pohled shora zprava, a obr. 4.4, což je pohled zdola zleva.



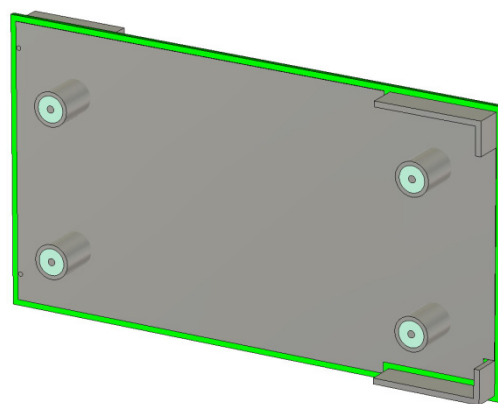
Obr. 4.1 Struktura antény – Oba typy: pohled shora.



Obr. 4.2 Struktura antény – Oba typy: pohled zdola.

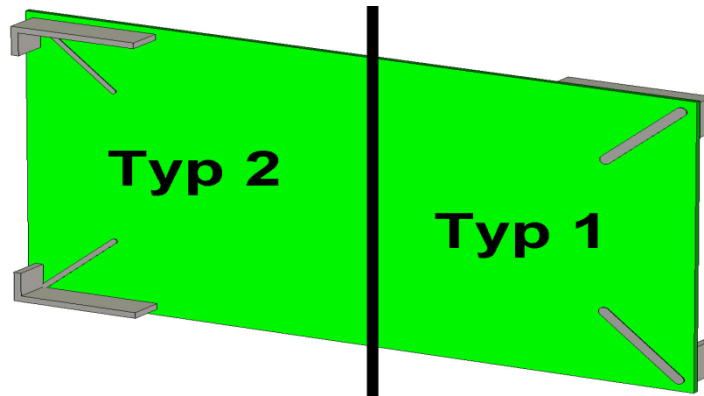


Obr. 4.3 Struktura antény – Oba typy: pohled shora zprava.



Obr. 4.4 Struktura antény – Oba typy: pohled zdola zleva.

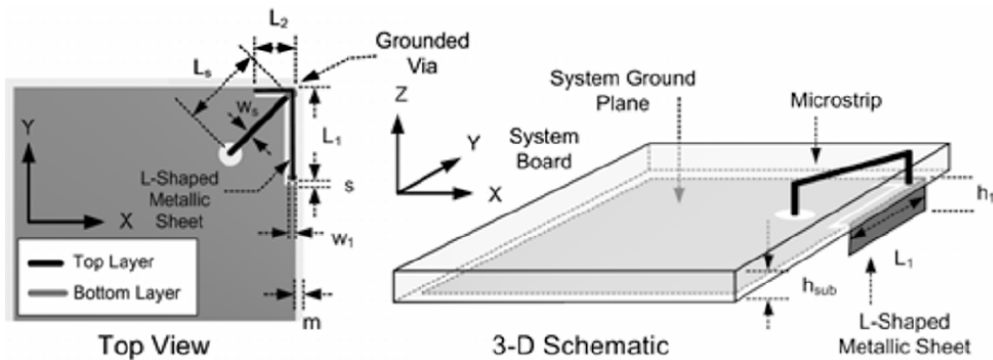
Číselné hodnoty parametrů antény, které jsme použili při simulaci, jsou uvedeny v Tab. 4.1, přičemž rozměry antény byly  $90 \times 50$  mm. Význam parametrů by měl být zřejmý z obr. 4.5, obr. 4.6 a obr. 4.7.



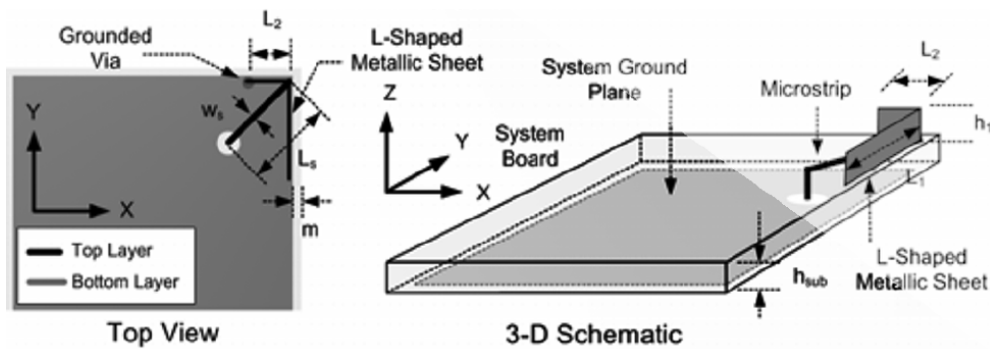
Obr. 4.5 Rozložení antény.

Parametr	$h_1$	$h_{sub}$	$L_1$	$L_2$	$L_s$	$m$	$s$	$W_1$	$W_s$
Typ 1 [mm]	5,0	0,8	19,2	6,0	14,0	1,0	1,0	1,0	0,8
Typ 2 [mm]	5,0	0,8	16,7	5,0	14,0	1,0	-	-	0,8

Tab. 4.1 Číselné hodnoty parametrů antény – Oba typy.



Obr. 4.6 Vysvětlení významu jednotlivých parametrů antény – Typ 1.  
Obrázek byl převzat z [1].



Obr. 4.7 Vysvětlení významu jednotlivých parametrů antény - Typ 2.  
Obrázek byl převzat z [1].

U antény je použit substrát ARLON 25N. Anténa je složená z obou předchozích typů, jak lze vyčíst z obr. 4.5 z předchozí stránky.

Levá část antény je zapojení typu 2, která má na horní straně substrátu umístěn kovový plech ve tvaru L, který slouží jako prodloužená zem, a mikropásek, který pracuje jako zářič. Kovový plech ve tvaru L je na konci kratšího ramene propojen se zemí průchodkou. Jedna strana mikropásku je propojena s prodlouženou zemí (kovový plech ve tvaru L). Druhá strana je vyvedena na spodní stranu desky a je zapojena do konektoru koaxiálního kabelu.

Pravá část antény je zapojení typu 1 a je zapojena tak, že na spodní straně substrátu je umístěn kovový plech ve tvaru L. Mikropásek je umístěn na vrchní straně. Kovový plech ve tvaru L se nachází ve štěrbině, která je vyrytá v zemnicí ploše. Tato štěrbina je uzavřená na konci kratšího ramene, kde je tento plech spojen se zemí. Jedna strana mikropásku je propojena průchodkou s prodlouženou zemí (kovový plech ve tvaru L). Druhá strana je vyvedena na spodní stranu desky a je zapojena do konektoru koaxiálního kabelu. Anténa je napájena mikropáskovým vedením.

## 4.2 Popis funkce antény

Tato anténa vznikla ze  $\lambda/4$  štěrbinové antény s přidáním kovovým plechem ve tvaru L a s mikropáskem, který má funkci zářiče. Mikropásek, který se nachází na vrchní straně substrátu, je zde proto, aby redukoval velikost antény. Anténa je navržena tak, že v levé části se nachází kovový plech ve tvaru L, který je umístěn na vrchní straně systémové desky. Jako štěrbina slouží výška substrátu. V pravé části antény je umístěn na spodní straně substrátu. Kovový plech ve tvaru L je umístěn ve štěrbině, co nejbližší zemnicí plochy.

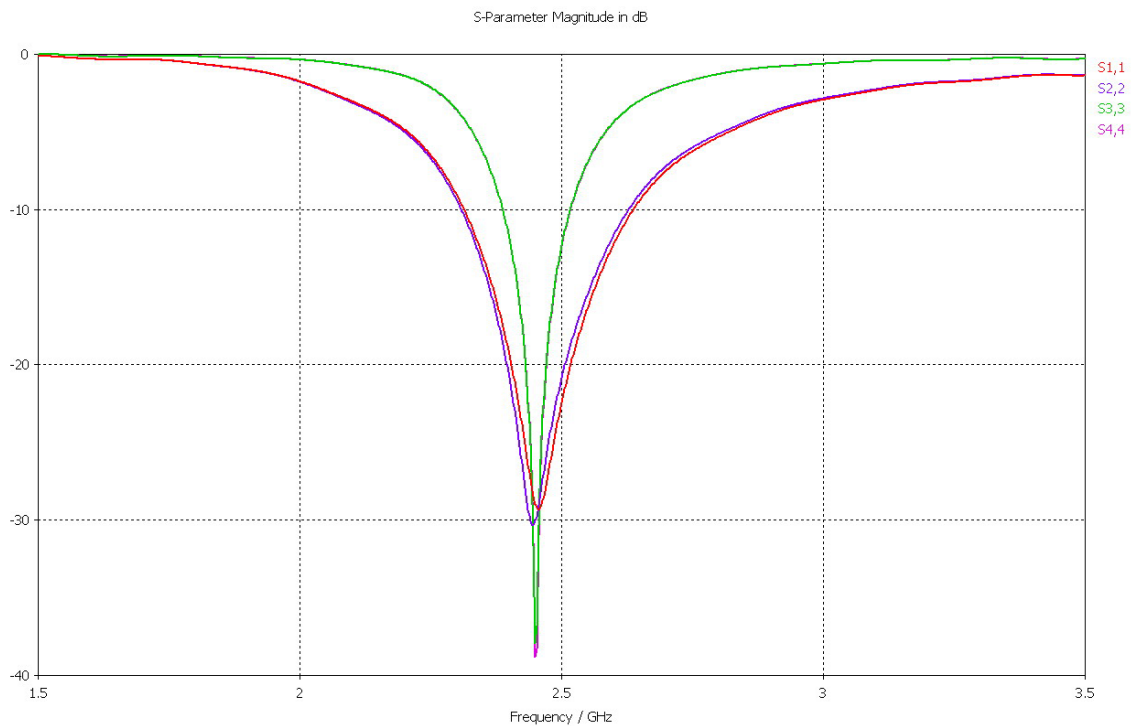
Kovový plech ve tvaru L lze samozřejmě měnit, stejně jako u předchozích případů. Čím je výška větší, tím je i větší ziskovost antény. Kovový plech ve tvaru L byl zde přidán proto, aby fungoval jako prodloužená zemnicí plocha, což způsobí zlepšení výkonu. [1]

## 4.3 Nastavení simulace

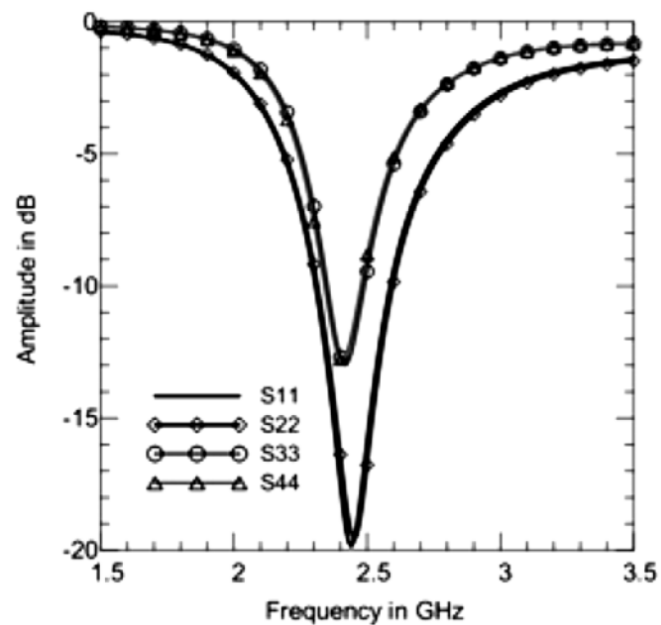
Nastavení jsme provedli stejně jako u předchozích dvou typů, tj. zvolili jsme rozsah frekvencí od 1,5 GHz do 3,5 GHz. Nastavili jsme si 4 porty (na všechny čtyři koaxiální konektory). Dále jsme nastavili hustotu sítě na 20 diskretizačních prvků na vlnovou délku s ohledem na přesnost měření (čím více prvků na vlnovou délku, tím přesnější výsledek). Vyšší hustotu jsme nenastavovali, protože při zvyšování hustoty se nám výsledky neměnily. Poté jsme provedli analýzu.

## 4.4 Výsledky

Výsledkem analýzy byl kmitočtový průběh velikosti činitele odrazu na vstupu antény. Obr. 4.8 zobrazuje průběh simulovaný, obr. 4.9 zobrazuje průběh publikovaný.



Obr. 4.8 Kmitočtový průběh velikosti činitele odrazu: výsledek simulace – Oba typy.



Obr. 4.9 Kmitočtový průběh velikosti činitele odrazu - Oba typy, Převzato z [1].

Z obr. 4.8 a 4.9 lze vyčíst, že anténa v obou případech rezonuje přibližně na frekvenci 2.45 GHz.

Jelikož nám simulace vyšla zhruba stejně jako autorovi, můžeme tedy přistoupit k sestavení antény.

## 5 REÁLNÁ ANTÉNA – OBA TYPY

Návrhem a simulací antény jsem se zabýval v předchozí kapitole; zde je popsána realizace antény.

V první části se věnujeme struktuře antény (hotový výrobek). Druhá část je zaměřena na diskusi výsledků simulací (kmitočtové průběhy velikosti činitele odrazu).

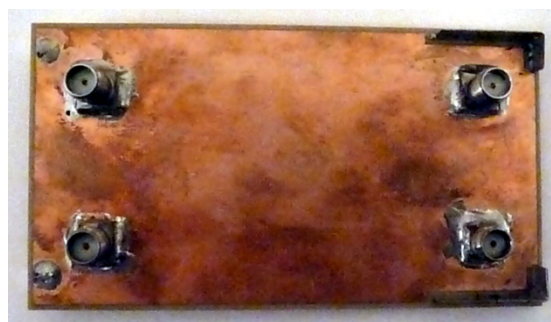
### 5.1 Struktura antény

Anténa je vyrobena z desky plošných spojů za použití materiálu Arlon 25N jako substrátu, 4 SMA koaxiálních konektorů a zinkového plechu na zhotovení kovových plechů ve tvaru L.

Hotová anténa je zobrazena na obr. 5.1 (pohled shora) a obr. 5.2 (pohled zdola). Pro lepší představu jsem přidal i obr. 5.3, což je pohled shora zprava, a obr. 5.4, což je pohled zdola zleva.



Obr. 5.1 Struktura antény – Oba typy: pohled shora.



Obr. 5.2 Struktura antény – Oba typy: pohled zdola.

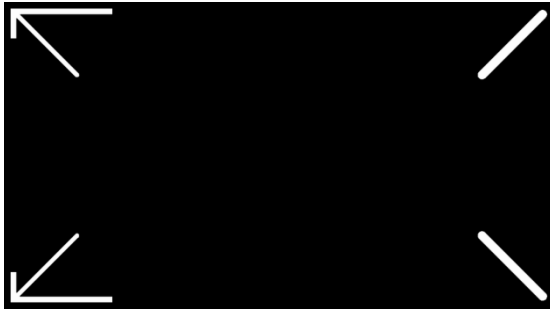


Obr. 5.3 Struktura antény – Oba typy: pohled shora zprava.

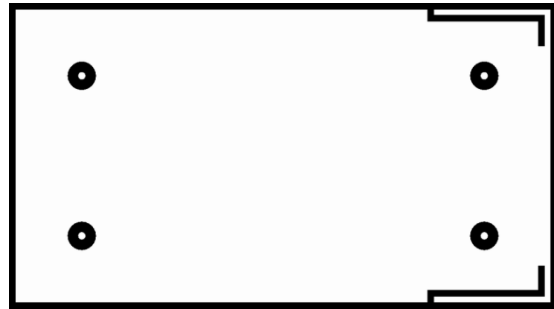


Obr. 5.4 Struktura antény – Oba typy: pohled zdola zleva.

Pro výrobu desky plošných spojů bylo zapotřebí vyhotovení předlohy, jaká se používá při návrhu desek plošných spojů (na obr. 5.5 je vyobrazen pohled shora, na obr. 5.6 pohled zdola).



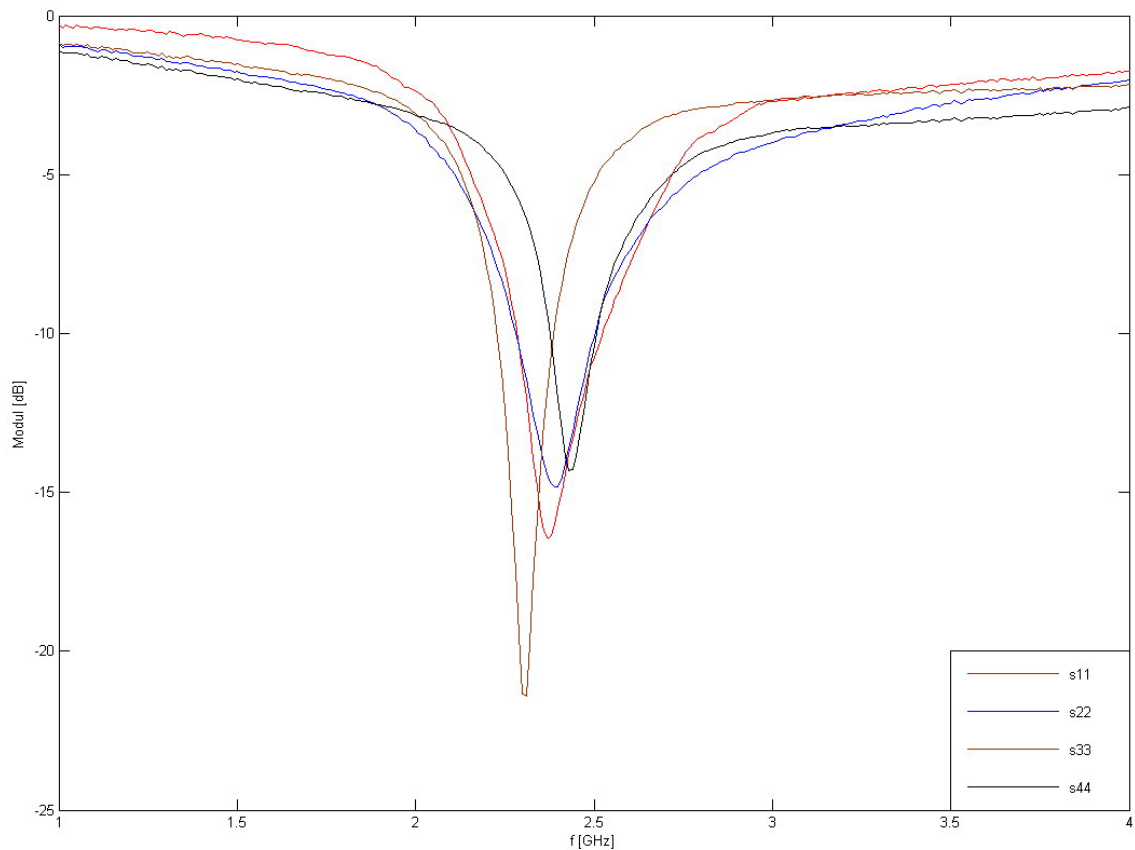
Obr. 5.5 Návrh desky plošných spojů: pohled shora.



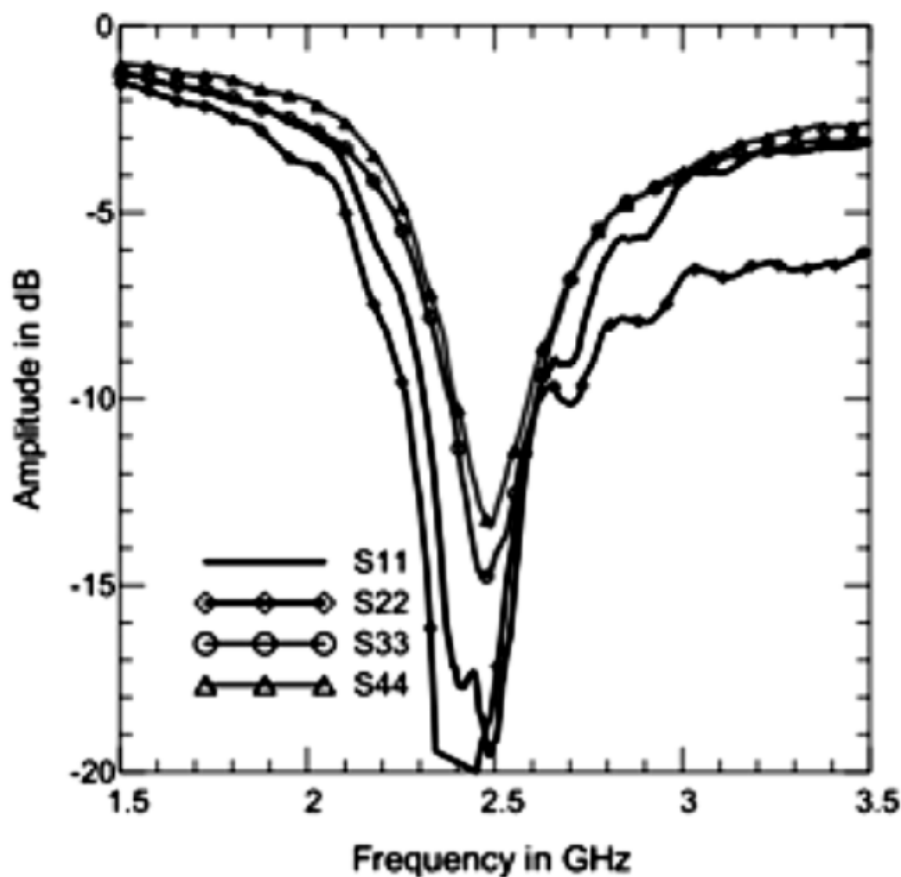
Obr. 5.6 Návrh desky plošných spojů: pohled zdola.

## 5.2 Výsledky

Prvním výsledkem analýzy byl kmitočtový průběh velikosti činitele odrazu na vstupu antény. Obr. 5.7 zobrazuje průběh změřený, obr. 5.8 (na další straně) zobrazuje průběh publikovaný.



Obr. 5.7 Kmitočtový průběh velikosti činitele odrazu: výsledek měření – Oba typy.



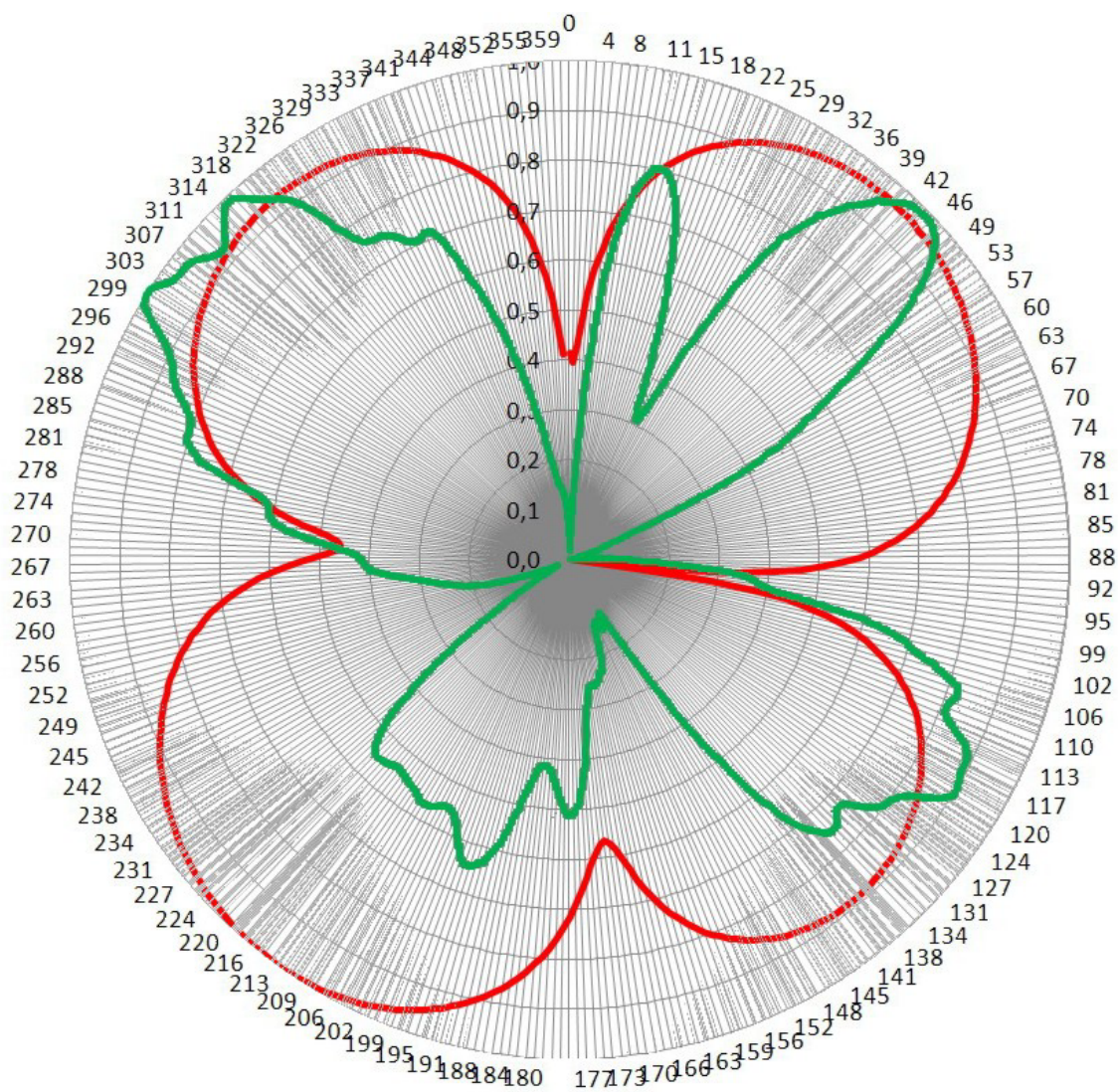
Obr. 5.8 Kmitočtový průběh velikosti činitele odrazu - Oba typy, Převzato z [1].

Z obr. 5.7 a 5.8 lze vyčíst, že anténa v obou případech rezonuje zhruba mezi frekvencí 2.4 – 2.5 GHz.

Uvážíme-li, že při měření byly použity kovové konektory, které nejspíš ovlivnily měření, dojdeme k závěru, že shoda mezi naší reálně změřenou anténou a anténou publikovanou je vcelku dobrá.

Jelikož jsme neměli k dispozici směrové charakteristiky od autora článku [1], uvedl jsem zde alespoň charakteristiku, která byla vypočítána pomocí programu CST Microwave Studio. Pro porovnání se skutečnými hodnotami jsem zde zobrazil charakteristiku, která byla změřena na námi vytvořeném výrobku.

Simulované a měřené směrové charakteristiky jsou vykresleny na obr. 5.9 na další straně.



Obr. 5.9 Směrová charakteristika vypočtená v programu CST Microwave Studio (červená) a směrová charakteristika námi změřená (zelená) – Oba typy.

Uvážíme-li, že směrová charakteristika vypočtená pomocí programu CST Microwave Studio vychází z ideálních bezztrátových prvků, dojdeme k závěru, že shoda mezi simulací a námi změřenou charakteristikou je vcelku dobrá.

## 6 ZÁVĚR

Simulací jsme ověřili funkčnost publikované antény. Při simulaci jsme zjistili drobné odchylky, které jsou nejspíš způsobené náhradou substrátu FR4 substrátem ARLON 25N. Další odchylky mohou být dány také tím, že jsme při návrhu použili bezeztrátové materiály.

Při zhotovení a experimentálnímu ověření vlastností publikované antény jsme došli k závěru, že anténa pracuje tak jak má. Zjistili jsme drobné odchylky, ty byly způsobeny tím, že jsme při měření použili měřicí sondy s kovovými konektory. Tyto konektory se nacházely velice blízko našich prodloužených zemí (kovových plechů ve tvaru L).

Co se týče srovnání směrové charakteristik simulované a změřené, je zřejmé, že je zde rozdíl. Charakteristika změřená obsahuje parazitní laloky, které jsou nejspíše způsobeny tím, že jsem při simulaci nepočítal s reálnými hodnotami, ale uvažoval jsem s ideálními parametry v ideálním prostředí.

## LITERATURA

- [1] LAI, M. I., JENG, S. K. Slot antennas with an extended ground for multiple-antenna systems in compact wireless devices. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 2009, vol. 8, p. 19-22.
- [2] KRAUS J. D., MARHEFKA R. J., *Antennas for All Applications*. McGraw-Hill Science/Engineering/Math, 2001.

## SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ

<i>WLAN</i>	z anglického: Wireless local area network neboli lokální bezdrátová síť
$\lambda$	vlnová délka [m]
DPS	deska plošných spojů