



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

ANTÉNA PRO RFID ČTEČKU

RFID READER ANTENNA

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jan Trubák

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Tomáš Mikulášek, Ph.D.

BRNO 2017



Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Elektronika a sdělovací technika**
Ústav radioelektroniky

Student: Bc. Jan Trubák

ID: 142747

Ročník: 2

Akademický rok: 2016/17

NÁZEV TÉMATU:

Anténa pro RFID čtečku

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Podrobně se seznamte s typy antén používanými pro čtení RFID tagů v pásmu UHF. Diskutujte vlastnosti antén a relevantně je mezi sebou porovnejte. Po dohodě s vedoucím práce navrhnete vhodnou anténu pro RFID čtečku. Při návrhu antény zohledněte rozmístění RFID tagů v prostoru a uvažujte, že bude anténa využita v reálném provozu.

Parametry antény ověřte simulací ve vhodném programovém prostředí. Dokončete návrh antény a experimentálně ověřte její vlastnosti. Diskutujte dosažené výsledky.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] FINKENZELLER, K. RFID handbook: Fundamentals and applications in contactless smart cards, radio frequency identification and near-field communication, Wiley & Sons, 2003.
- [2] BALANIS, C.A. Antenna theory: Analysis and design. Wiley & Sons, 1996.

Termín zadání: 6.2.2017

Termín odevzdání: 16.5.2017

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

Konzultant: Ing. Martin Trtílek

prof. Ing. Tomáš Kratochvíl, Ph.D.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

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

ABSTRAKT

Práce je zaměřena na návrh antény do konkrétní aplikace XY. Důraz je kladen na úzkou šířku svazku antény, která zajistí plnohodnotný zisk pouze pro tag umístěný přímo pod anténou. V práci je uváženo celkem 5 návrhů, které by pro aplikaci XY mohly být použity. V práci jsou také uvedeny výsledky terénního měření, které potvrzují vylepšené charakteristiky antény s parazitním flíčkem.

KLÍČOVÁ SLOVA

RFID anténa, Yagi-Uda anténa, planární anténa, parazitní flíček, koaxiální napájení, útlum vody na 900 MHz, kapacitní napájení antény, vzduchový substrát, bezodrazová komora

ABSTRACT

This thesis is focused on the design of the antenna to a specific application XY. Emphasis is placed on a narrow antenna beam width, which will ensure full-fledged profit for the tag directly below the antenna. This thesis presents a total of five proposals that could be used by XY application. This thesis also presents the results of field measurements, which confirm the improved characteristics of the antenna with parasitic patch.

KEYWORDS

RFID antennas, Yagi-Uda antenna, planar antenna, parasitic patch, coaxial feeding, water attenuation at 900 MHz, capacitive feed probe, air substrate, non-impact chamber

TRUBÁK, J. *Anténa pro RFID čtečku*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav radioelektroniky, 2017. 44 s., 4 s. příloh. Diplomová práce. Vedoucí práce: Ing. Tomáš Mikulášek, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svoji diplomovou práci na téma Anténa pro RFID čtečku jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové 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 diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Tomáši Mikuláškoví, Ph.D., Ing. Dr. Techn. Vojtěchu Derbekovi, Ing. Zbyňku Pospíchalovi a Ing. Martinu Trtílkovi za odbornou pomoc a cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

Experimentální část této diplomové práce byla realizována na výzkumné infrastruktuře
vybudované v rámci projektu CZ.1.05/2.1.00/03.0072

Centrum senzorických, informačních a komunikačních systémů (SIX)
operačního programu Výzkum a vývoj pro inovace.

OBSAH

Seznam obrázků	vii
Seznam tabulek	viii
Úvod	1
1 RFID v UHF pásmu	2
1.1 Typy antén používaných v UHF	3
1.2 Lineární a kruhová polarizace antény	3
1.3 Teoretický vliv tekutin na signál	4
2 Umístění čtecí antény	5
3 Návrh čtecích RFID antén	7
3.1 Návrh Yagi-Uda antény	7
3.2 Návrh planární antény napájené koaxiální sondou	9
3.3 Model planární antény	11
3.4 Úprava planární antény pomocí parazitního flíčku.....	13
3.5 Model planární antény s parazitním flíčkem	14
3.6 Planární anténa napájená L sondou	15
3.7 Model planární antény napájené L sondou	17
3.8 Planární anténa napájená vazebním diskem	18
3.9 Model planární antény napájené vazebním diskem	19
3.10 Vyhodnocení modelů	21
4 Realizace a měření	23
4.1 Vektorový analyzátor – činitel odrazu	24
4.2 Bezodrazová komora – směrová charakteristika	25
4.3 Porovnání simulací s laboratorním měřením	26
5 Terénní měření	28
5.1 Umístění antén a příprava pracoviště.....	28
5.2 Výsledky měření pro jednotlivé antény a vzdálenosti	30
5.2.1 Výsledky pro vzdálenost 55 cm:.....	30
5.2.2 Výsledky pro vzdálenost 65 cm:.....	31

6 Závěr	32
Literatura	33
Seznam symbolů, veličin a zkratk	34
A Hodnoty z terénního měření	35
B Vliv tekutiny na RSSI přijímaného signálu	37
C Skript v Matlabu	38

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1.1: UHF RFID pásma podle jednotlivých regionů.	2
Obrázek 2.1: Názorná ukázka prostředí, do kterého má být anténa umístěna.	5
Obrázek 2.2: Umístění tagu na boční stranu nosiče.	6
Obrázek 3.1: Určení zisku antény podle šířky svazku v rovinách E a H. Převzato z [5].	8
Obrázek 3.2: Možnosti napájení antény s označením jednotlivých rozměrů. Převzato z [7].	9
Obrázek 3.3: Model planární antény.	12
Obrázek 3.4: Činitel odrazu na vstupu planární antény.	12
Obrázek 3.5: Směrové charakteristiky planární antény.	13
Obrázek 3.6: Model planární antény s parazitním flíčkem.	14
Obrázek 3.7: Činitel odrazu na vstupu planární antény s parazitním flíčkem.	15
Obrázek 3.8: Směrové charakteristiky planární antény s parazitním flíčkem.	15
Obrázek 3.9: Náčrt planární antény napájené L sondou.	16
Obrázek 3.10: Model planární antény napájené L sondou.	17
Obrázek 3.11: Činitel odrazu na vstupu planární antény napájené L sondou.	18
Obrázek 3.12: Směrové charakteristiky planární antény napájené L sondou.	18
Obrázek 3.13: Model planární antény napájené vazebním diskem.	19
Obrázek 3.14: Činitel odrazu na vstupu planární antény napájené vazebním diskem. ..	20
Obrázek 3.15: Směrové charakteristiky planární antény napájené vazebním diskem. ...	20
Obrázek 4.1: Realizovaná planární anténa s parazitním flíčkem a distančními sloupky.	23
Obrázek 4.2: Činitel odrazu na vstupu planární antény s parazitním flíčkem.	25
Obrázek 4.3: Zobrazení směrových charakteristik antény s a bez parazitního flíčku. ...	26
Obrázek 5.1: Uspořádání terénního měření s jednotlivými anténami.	29
Obrázek 5.2: Umístění tagů na boční stranu nosičů.	29
Obrázek 5.3: Matice nosičů s umístěnými tagy.	30
Obrázek 5.4: Detail tagů použitých v testovacím měření.	30
Obrázek B.1: Znázornění pokusu a přidávání jednotlivých řad vody.	37

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1.1: Stručný přehled frekvenčních pásem používaných RFID technologií [1].	2
Tabulka 3.1: Poloměr ozářeného prostoru v závislosti na šířce svazku a čtecí vzdálenosti.	7
Tabulka 3.2: Rozměry navržené Yagi-Uda antény pro zisk 14,6 dBi.	8
Tabulka 3.3: Rozměry planární antény vypočtené skriptem v Matlabu.	11
Tabulka 3.4: Rozměry modelu planární antény.	12
Tabulka 3.5: Rozměry modelu planární antény s parazitním flíčkem.	14
Tabulka 3.6: Teoretické rozměry planární antény napájené L sondou.	16
Tabulka 3.7: Seznam rozměrů modelu planární antény napájené L sondou.	17
Tabulka 3.8: Vstupní parametry pro optimalizaci planární antény napájené vazebním diskem.	19
Tabulka 3.9: Seznam rozměrů planární antény napájené vazebním diskem.	19
Tabulka 3.10: Porovnání činitele odrazu modelovaných antén.	21
Tabulka 3.11: Porovnání směrových charakteristik modelovaných antén.	21
Tabulka 4.1: Rozměry jednotlivých destiček zadané do výroby.	23
Tabulka 4.2: Porovnání šířek svazků v jednotlivých rovinách.	26
Tabulka 4.3: Porovnání simulace a měření.	27
Tabulka 5.1: Výběr nejsilněji identifikovaných tagů pro vzdálenost 55 cm.	31
Tabulka 5.2: Výběr nejsilněji identifikovaných tagů pro vzdálenost 65 cm.	31
Tabulka B.1: Hodnoty naměřené při testovacím měření.	37

ÚVOD

Technologie Radio Frequency Identification (RFID) je v dnešní době téměř všude kolem nás. RFID technologie se díky své jednoduchosti a všestrannosti stále více uplatňuje při řešení každodenních problémů. Setkáváme se s ní například v podobě platebních karet, jdeme-li nakupovat, při běžeckých závodech, kdy zajišťuje přesnou časomíru. RFID technologie se také s výhodou používá ve skladech, kde jsou pomocí malých a levných čipů označeny jednotlivé položky.

Tento dokument se zabývá možnostmi návrhu antény pro RFID čtečku ve speciální aplikaci XY firmy Photon Systems Instruments (PSI). Cílem je navrhnout anténu pro frekvence 902-928 MHz takovým způsobem, aby její směrová charakteristika měla co nejužší šířku svazku a zajistila tak snímání pouze jediného tagu nacházejícího se přímo pod anténou. Tagy od sebe budou vzdáleny minimálně 30 cm a budou umístěny na speciálních nosičích, které budou naskládány vedle sebe ve čtvercové či obdélníkové matici.

Práce je rozdělena na šest základních částí. První část se věnuje obecnému popisu a principům RFID technologie se zaměřením na UHF pásmo. V druhé části je představena aplikace XY, do které je anténa navrhována. Ve třetí části se práce zabývá jednotlivými variacemi antén, jejich modely v CST a vybráním neoptimálnějšího řešení pro realizaci. Čtvrtá část popisuje postup výroby a měření reálných charakteristik antény. V páté části jsou uvedeny výsledky terénního měření, které bylo provedeno přímo v podmínkách firmy PSI, kde bude anténa pracovat. Poslední část se věnuje shrnutí dosažených výsledků.

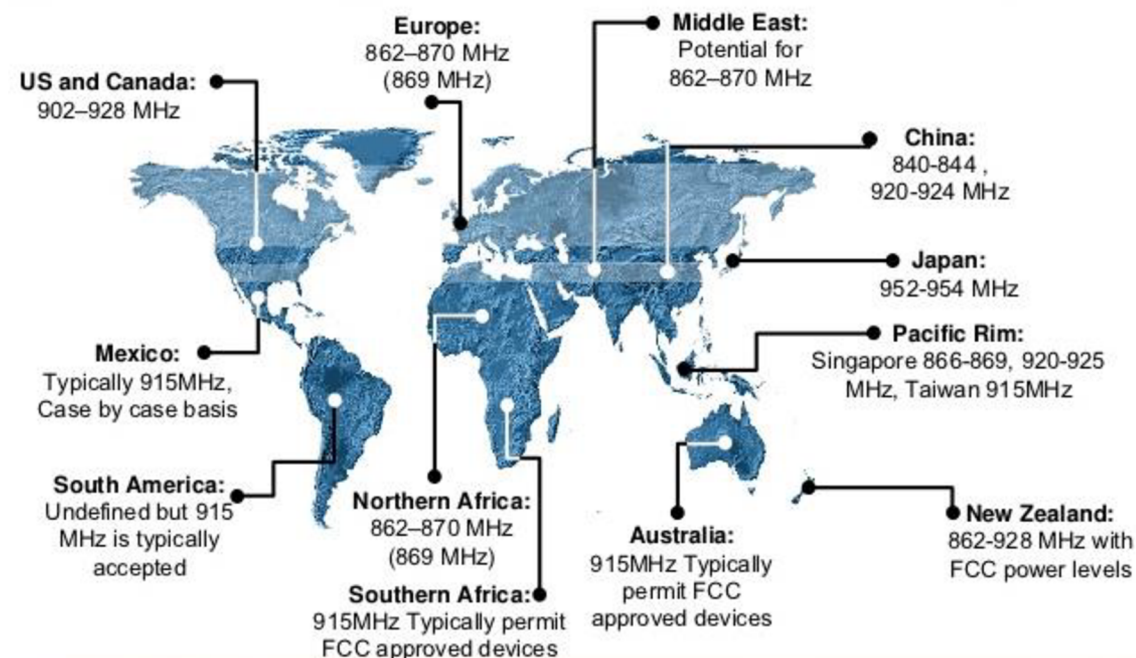
1 RFID V UHF PÁSMU

Radio Frequency Identification (RFID) je technologie určená k bezdrátové identifikaci zboží, osob, zvířat a celkově všeho, k čemu je možné připevnit RFID tag. Technologii RFID je podle ITU možné používat v několika různých frekvenčních pásmech. Stručný přehled těchto pásem je v následující tabulce (Tabulka 1.1).

Tabulka 1.1: Stručný přehled frekvenčních pásem používaných RFID technologií [1].

Frekvence	Označení pásma	Vazba
125/134 [kHz]	LF	induktivní
13,56 [MHz]	HF	induktivní
860-960 [MHz]	UHF	vyzařováním
2,4 [GHz]	UHF	vyzařováním

Pro aplikaci XY bylo zvoleno pásmo UHF, které celosvětově pracuje na frekvencích 860-960 MHz a jeho vlnová délka se pohybuje kolem 31 cm až 34 cm. Rozsahy UHF pásem, ve kterých je možné používat technologii RFID se liší podle jednotlivých regionů, které jsou stanoveny ITU (International Telecommunication Union). Na níže uvedeném obrázku (Obrázek 1.1) převzatého z [2] je možné si udělat představu o tom, kde a na jakých frekvencích je možné RFID technologii v UHF pásmu používat. Aplikace XY, pro kterou je anténa vyvíjena, bude použita na území Koreje, kde jsou pro RFID v UHF pásmu vyhrazeny frekvence od 917 MHz do 923,5 MHz.



Obrázek 1.1: UHF RFID pásma podle jednotlivých regionů.

V následující kapitolách bude shrnuto, jaké typy antén se v UHF pásmu nejčastěji

používají a jaké jsou jejich výhody a nevýhody. Dále bude uvedena teorie o typech polarizace vlny a teorie o vlivu tekutin na útlum elektromagnetického záření v pásmu UHF.

1.1 Typy antén používaných v UHF

Pro pásmo UHF, tedy frekvence 860-960 MHz, se nejčastěji používají antény drátového a planárního typu. Charakteristickým zástupcem drátových antén je například Yagi-Uda a jako zástupce planárních byla vybrána anténa flíčková. Tyto antény a jejich variace byly vybrány pro detailnější analýzu, kterou se práce zabývá v kapitole 3.

Antény typu Yagi-Uda byly vybrány zejména díky úzké šířce svazku. Jejich nevýhodou jsou však rozměry, pro dosažení úzké šířky svazku a velikého zisku je totiž potřeba použít větší množství direktorů, přičemž s každým direktorem nabývá anténa na rozměrech.

Flíčkové antény jsou naopak svými rozměry vhodné pro implementaci do menších prostor, jako je v případě naší aplikace XY. Nevýhodou flíčkových antén je menší zisk, větší šířka svazku a užší šířka pásma. Některé z těchto vlastností, jako je zisk a šířka svazku, se dají vylepšit postupy uvedenými v [3], které jsou popsány v kapitole 3.4.

V práci jsou také popsány alternativní způsoby napájení antény pomocí kapacitní vazby. Výhody a nevýhody jednotlivých způsobů napájení jsou popsány v kapitolách 3.6 a 3.8.

1.2 Lineární a kruhová polarizace antény

Jednou ze základních vlastností antény je i druh polarizace, jakým je anténa schopna přijímat nebo vysílat elektromagnetické vlnění. Základními druhy polarizace jsou lineární (horizontální a vertikální) a kruhová (pravotočivá a levotočivá).

Ve většině aplikací používajících RFID technologii se setkáváme s anténami, které jsou navrženy pro kruhovou polarizaci. V případě kruhové polarizace totiž nezáleží na úhlu natočení tagu směrem k anténě. Ke špatné orientaci tagu vzhledem k anténě by mohlo u velkého neuspořádaného množství tagů docházet velice často. Lineárně polarizovaná vlna vysílaná tagem bude anténou přijata vždy, tento příjem však bude zatížený útlumem 3 dB právě z důvodu schopnosti antény přijímat signál s libovolnou lineární polarizací.

Anténa, která je navržena jako lineárně polarizovaná, není schopna přijímat elektromagnetické vlnění z tagů, které jsou otočeny o 90° vzhledem k požadované polarizaci. Z důvodu návrhu pro konkrétní aplikaci XY, u které je známo, jakým způsobem budou tagy na nosičích umístěny, bude anténa navrhována jako lineárně polarizovaná. Tato skutečnost pak získá výhodu výše zmiňovaných 3dB, které by se na zisku antény ztratili v případě kruhově polarizované antény.

1.3 Teoretický vliv tekutin na signál

Šíření elektromagnetického signálu prostorem je obecně zatěžováno útlumem. V případě šíření bezeztrátovým prostředím se dá útlum FSL (Free Space Loss) [dB] vypočítat pomocí následujícího vzorce:

$$FSL = \left(\frac{4\pi df}{c} \right)^2, \quad (1.1)$$

kde d je vzdálenost od zdroje signálu, f je frekvence vlny a c je rychlost světla. V případě šíření ztrátovým prostředím, v tomto případě vodou, je signál na frekvenci kolem 900 MHz navíc utlumen o 45,7 dB/m (převzato z [4]).

Aplikace, pro kterou je anténa navrhována, má sloužit pro detekci tagů na nosičích, ve kterých se nacházejí nejrůznější druhy rostlin, jež potřebují ke svému růstu vláhu. Z tohoto důvodu se může stát, že zemina bude příliš vlhká, a proto bude způsobovat útlum signálu tagu, který tak bude hůře rozeznatelný.

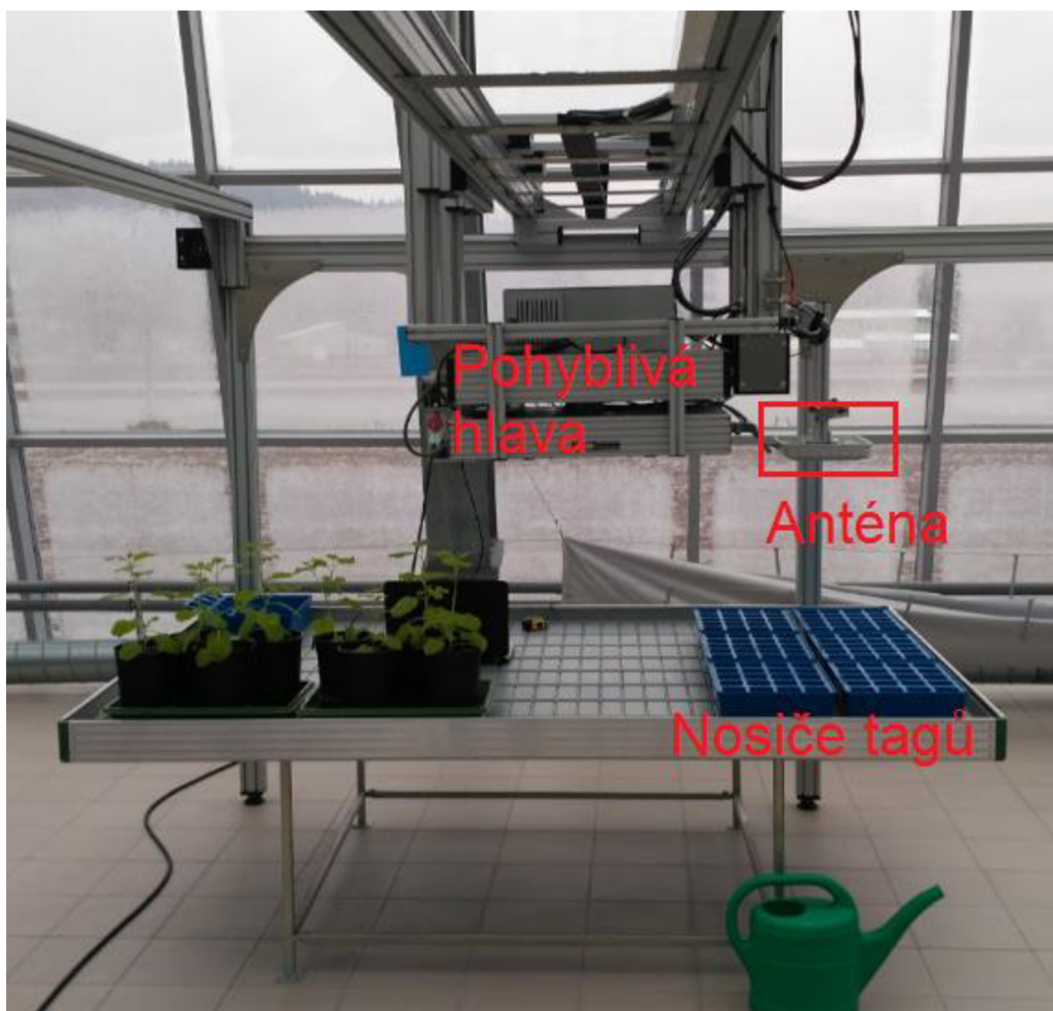
V případě, že tag umístěný přímo pod čtecí anténou bude obklopen vlhkou zeminou, může nastat situace, kdy čtečka bude přijímat silněji signál ze sousedního tagu, než z toho pod anténou. Více o praktickém dopadu tekutiny v okolí tagů je uvedeno v příloze B.

Další kapitola bude popisovat, do jakého prostoru bude čtecí anténa umístěna a přiblíží celkové používání aplikace XY.

2 UMÍSTĚNÍ ČTECÍ ANTÉNY

Anténa bude použita ve speciální aplikaci XY firmy PSI, kde bude sloužit k detekci tagu, který je umístěn přímo pod čtecí anténou ve vzdálenosti od 0,5 m do 1 m. Pojmenování aplikace XY vychází ze schopnosti zařízení libovolně se po těchto osách pohybovat. Tagy jsou umístěny na nosičích o rozměrech 36,5 x 30 x 10,5 cm. Z těchto rozměrů také vyplývá i minimální vzdálenost, ve které bude umístěn sousední tag. Navržená čtecí anténa musí splňovat základní parametry, jako je: vstupní impedance 50 Ω , poměr stojatých vln lepší než 1,5 a dostatečný zisk pro přečtení tagu. Nejdůležitějším parametrem pro aplikaci XY je však úzká šířka svazku pro poloviční výkon, která bude zajišťovat plnohodnotný příjem signálu pouze od tagu, který je umístěn přímo pod anténou. Signál od ostatních tagů bude přijímán s menším zesílením. Tímto způsobem bude zaručeno, že čtečka připojená k anténě na základě RSSI hodnoty jednoznačně určí požadovaný tag. RSSI, neboli Received Signal Strength Indicator je hodnota, která vyjadřuje, jak silný je signál, který čtečka od konkrétního tagu přijala.

Názorná ukázka aplikace a jejího uspořádání je uvedena níže (Obrázek 2.1)

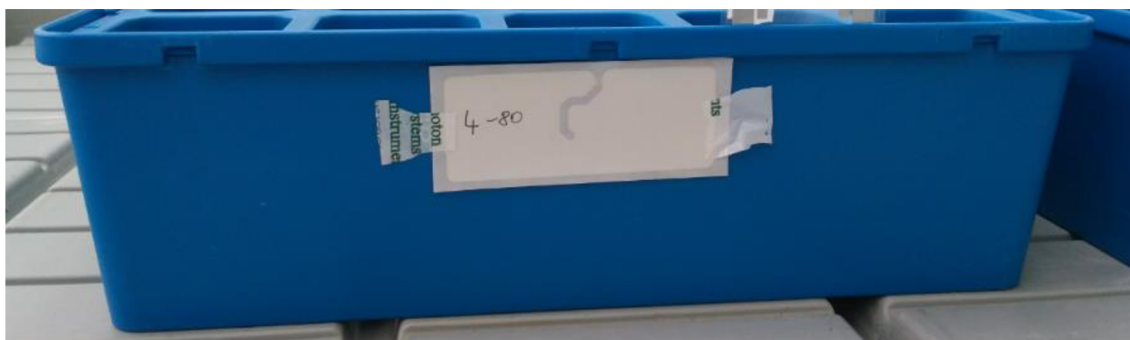


Obrázek 2.1: Názorná ukázka prostředí, do kterého má být anténa umístěna.

Prostředí, do kterého má být navržená anténa umístěna je svým způsobem velice

specifické. Vyskytuje se v něm velké množství kovových předmětů, které by mohly ovlivnit charakteristické parametry navržené antény. Díky těmto kovovým předmětům mohou také vznikat odrazy a mnohonásobné cesty šíření, které ovlivňují výslednou sílu signálu přijímaného v místě antény. Aby se co nejvíce potlačil vliv kovů, které jsou v okolí, bude s výhodou použita anténa s reflektorem. Díky reflektoru anténa primárně vyzařuje pouze do jedné poloroviny a kovové předměty v opačné polorovině nemají na anténu takový vliv.

Pro ucelení představy o aplikaci je ještě třeba popsat, jakým způsobem jsou tagy na jednotlivých nosičích umístěny. Pro zachování pravidelného rozmístění budou tagy umístovány stále na stejné místo na nosiči. Jelikož budou použity tagy se směrovou charakteristikou podobnou drátovému dipólu, je možné umístit tagy na boční stranu nosiče. Zajistí se tím vyzařování směrem ke čtecí anténě respektující lineární polarizaci tagu a vyřeší se i otázka snadného umístění tagu. Příklad umístění tagu je na následujícím obrázku (Obrázek 2.2).



Obrázek 2.2: Umístění tagu na boční stranu nosiče.

V následující kapitole bude popsán vývoj návrhu čtecí antény. Práce se zaměřuje především na směrovou charakteristiku a následně na možnost implementace antény do aplikace XY.

3 NÁVRH ČTECÍCH RFID ANTÉN

Aplikace, ve které má být anténa implementována, vyžaduje, aby šířka svazku antény byla co nejužší. V případě, že bude zajištěna úzká šířka svazku, bude anténa přijímat dominantně signál pouze od tagu, který je umístěný přímo pod ní a signály okolních tagů budou utlumeny tak, že z hodnoty RSSI bude zřetelně rozeznatelné, že se pod měřicí anténou nenacházejí.

V následující tabulce (Tabulce 3.1) jsou uvedeny orientační hodnoty poloměrů ozářených ploch pro jednotlivé kombinace šířky svazku a čtecí vzdálenosti. Na základě této tabulky je možné si vytvořit základní představu o parametrech, které musí anténa splňovat.

Tabulka 3.1: Poloměr ozářeného prostoru v závislosti na šířce svazku a čtecí vzdálenosti.

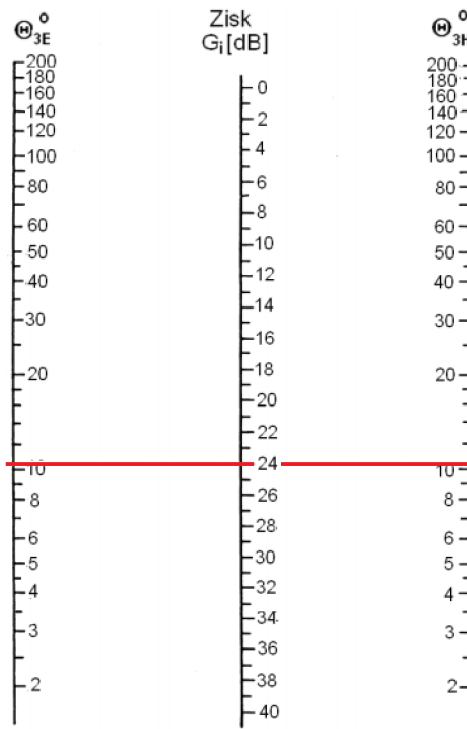
Výsledek v tabulce je poloměr ozářeného kruhu v cm.		Šířka svazku antény [°]						
		30	40	50	55	60	70	80
Čtecí vzdálenost [m]	0,3	8	11	14	16	17	21	25
	0,4	11	15	19	21	23	28	34
	0,5	13	18	23	26	29	35	42
	0,55	15	20	26	29	32	39	46
	0,65	17	24	30	34	38	46	55
	0,75	20	27	35	39	43	53	63
	1	27	36	47	52	58	70	84

Zeleně jsou označeny kombinace, které, v případě umístění antény přímo nad pozici tagu, ozářují pouze jeden jediný tag a červeně jsou označeny kombinace, kdy bude nastávat případ kolize mezi více tagy. Šířka svazku antény je uvažována pro pokles o 3dB.

Anténou, která se v UHF pásmu používá a je charakteristická svojí úzkou směrovou charakteristikou, je Yagi-Uda anténa. Návrh takovéto antény je popsán v následující kapitole.

3.1 Návrh Yagi-Uda antény

Yagi-Uda je směrová anténa, která se obecně skládá z napájeného skládaného dipólu, reflektoru a několika direktorů. Konkrétní vlastnosti antény nejvíce závisí na počtu použitých direktorů. Podle počtu direktorů pak může mít Yagi-Uda anténa zisk od 6 do 15 dBi. Čím více direktorů je použito, tím je možné získat větší zisk a užší šířku svazku v rovinách E a H. Tyto parametry jsou spolu navzájem svázané, jak je uvedeno na následujícím obrázku (Obrázek 3.1).



Obrázek 3.1: Určení zisku antény podle šířky svazku v rovinách E a H. Převzato z [5].

Na Obrázku 3.1 je zvýrazněna hodnota zisku pro šířku svazku uvedenou v původním zadání diplomové práce. Úhlu 11° odpovídá zisk asi 24 dBi. Takto vysokého zisku není možné pomocí Yagi-Uda antény dosáhnout. V případě zaměření se na Obrázek 3.1 a zisk kolem 14 dBi, kterých je anténa Yagi-Uda schopna dosáhnout, je možné odečíst, že pro tento zisk lze dosáhnout šířky svazku někde mezi 30° až 40° .

Podle informací v [6] je možné sestavit Yagi-Uda anténu se ziskem kolem 14 dBi následujícím způsobem: tato anténa by měla celkem 15 elementů (13 direktorů, jeden reflektor a jeden budící skládaný dipól). Rozměry jednotlivých elementů jsou uvedeny v následující tabulce (Tabulka 3.2).

Tabulka 3.2: Rozměry navržené Yagi-Uda antény pro zisk 14,6 dBi.

	Relativní hodnota	Absolutní hodnota [cm]
Délka reflektoru	$0,500 \lambda$	16,66
Délka skládaného dipólu	$0,470 \lambda$	15,66
Délka direktorů	$0,406 \lambda$	13,53
Vzdálenost mezi reflektorem a budícím skládaným dipólem	$0,250 \lambda$	8,33
Vzdálenost mezi direktory	$0,340 \lambda$	11,33
Průměr elementů	$0,003 \lambda$	0,10

Navržená anténa má zisk zhruba 14,6 dBi a šířku svazku kolem $27^\circ \times 27^\circ$. S takovými parametry by byla anténa pro tuto aplikaci ideální, velikým nedostatkem a

překážkou je však nadměrný rozměr antény. Yagi-Uda anténa s patnácti elementy bude mít pro frekvenci kolem 915 MHz délku asi 133 cm. Tento rozměr je pro aplikaci XY nepřijatelný, z toho důvodu se práce zaměřuje na antény, které by pro tuto aplikaci mohly být rozměrově přijatelnější, tedy planární antény.

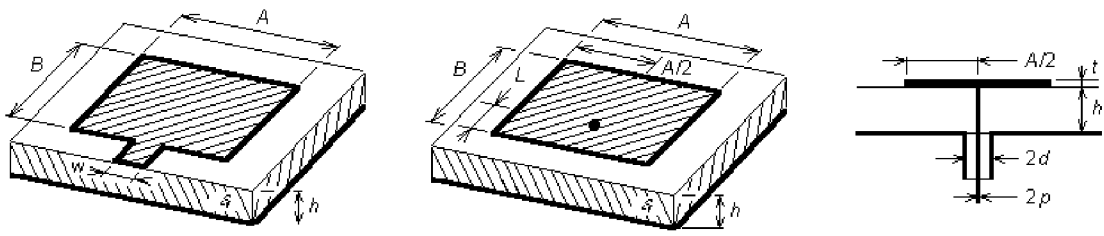
Návrhem a simulací planárních antén i jejich variací se práce zabývá v následujících kapitolách. Před samotnou výrobou tedy budou všechny návrhy simulovány a optimalizovány taky, aby bylo možné vybrat opravdu to neoptimálnější řešení.

3.2 Návrh planární antény napájené koaxiální sondou

V této části bude popsán podrobný návrh planární antény, který bude sloužit jako základ pro další část práce. Planární antény obecně mají velikou výhodu ve svých malých rozměrech. Tato vlastnost je pro aplikaci důležitá, protože aplikace XY musí současně se čtením tagů navrhovanou anténou zvládat řadu dalších funkcí (např. fluorescence), které by mohly být většími rozměry antény omezeny. Na druhou stranu nejsou planární antény často schopné poskytnout dostatečnou šířku pásma.

Obecně se zvětšování šířky pásma dosahuje zvětšováním tloušťky substrátu. Tato metoda se ale ukázala být kontraproduktivní, protože se začaly šířit povrchové vlny na rozhraní vzduch-dielektrikum a tento druh ztrát způsobuje pokles efektivity vyzařování. Aby bylo dosaženo větší šířky pásma a zároveň nedocházelo k snížení efektivity vyzařování, bude místo substrátu s relativní permitivitou větší než 1 použita pouze vzduchová mezera s relativní permitivitou právě 1. V takovémto případě bude možné navrhnout anténu, která bude mít dostatečnou šířku pásma pokrývající požadovanou část UHF pásma (902-928 MHz).

Na následujícím obrázku (Obrázek 3.2) jsou znázorněny některé z možností napájení planární antény [7]. Mikropáskové napájení (úplně vlevo) je výhodné svým prostorovým řešením, protože nezvyšuje rozměr antény, na druhou stranu se mikropáskové napájení promítá do směrové charakteristiky antény a to pro tuto aplikaci není žádoucí. Dalším důvodem, proč není možné mikropáskové napájení s výhodou použít, je skutečnost, že tloušťka vzduchového dielektrika je minimálně 1 cm a pro takové rozměry není připojení konektoru antény možné. Pro aplikaci XY tedy bude použita anténa napájená koaxiální sondou (uprostřed a vpravo), která za určitých podmínek nemá takový vliv na směrovou charakteristiku.



Obrázek 3.2: Možnosti napájení antény s označením jednotlivých rozměrů. Převzato z [7].

Celý návrh probíhal pomocí kombinace vzorců 3.1 až 3.9 [8]. Vstupní hodnoty byly zvoleny následujícím způsobem:

Tloušťka vzduchového dielektrika	$h = 10$	[mm]
Frekvence	$f = 915$	[MHz]
Charakteristická impedance	$Z_0 = 50$	[Ω]
Rychlost světla	$c = 3 \cdot 10^8$	[m/s]
Relativní permitivita vzduchu	$\epsilon_r = 1$	[-]

Šířka flíčku A [m]:

$$A = \frac{c}{2f} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (3.1)$$

Efektivní relativní permitivita ϵ_{ef} [-]:

$$\epsilon_{ef} = 0,5(\epsilon_r + 1) + 0,5 \frac{\epsilon_r - 1}{\sqrt{1 + 12h/A}} \quad (3.2)$$

Prodloužení flíčku způsobené rozptylovými poli ΔL [m]:

$$\Delta L = h \left(0,412 \left(\frac{(\epsilon_{ef} + 0,3) \left(\frac{A}{h} + 0,264 \right)}{(\epsilon_{ef} - 0,258) \left(\frac{A}{h} + 0,8 \right)} \right) \right) \quad (3.3)$$

Délka flíčku B [m]:

$$B = \frac{c}{2f \sqrt{\epsilon_{ef}}} - 2\Delta L \quad (3.4)$$

Vlnová délka λ [m]:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (3.5)$$

Vlnové číslo k [m^{-1}]:

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (3.6)$$

Pomocné proměnné pro výpočet umístění napájení koaxiální sondou:

$$G = \left(\frac{A}{120\lambda} \right) \left(1 - \left(\frac{1}{24} \right) (kh)^2 \right) \quad (3.7)$$

$$Z_{IN} = \frac{1}{2G} \quad (3.8)$$

Vzdálenost L [m] od hrany flíčku pro umístění napájení koaxiální sondou:

$$L = \frac{B}{\pi} a \cos \left(\sqrt{\frac{Z_0}{Z_{IN}}} \right) \quad (3.9)$$

Pro napájení planární antény byl vybrán koaxiální kabel s charakteristickou impedancí $Z_0 = 50 \Omega$.

Pro urychlení výpočtu rozměrů antény a možnosti aplikace možných změn v zadání byly výše uvedené vztahy sepsány do skriptu v programu MATLAB (příloha C). Následným použitím tohoto skriptu byly vypočteny rozměry planární antény (Tabulka 3.3)

Tabulka 3.3: Rozměry planární antény vypočtené skriptem v Matlabu.

Parametr	Označení	Absolutní rozměr [mm]	Relativní rozměr
Šířka flíčku	A	163,9	0,50 λ
Délka flíčku	B	149,9	0,45 λ
Tloušťka vzduchového dielektrika	h	10,0	0,03 λ
Umístění koaxiálního napájení	L	41,5	0,12 λ

Ověření teoretických rozměrů planární antény bude probíhat modelováním antény v programu CST. Tomuto modelu se práce věnuje v následující kapitole.

3.3 Model planární antény

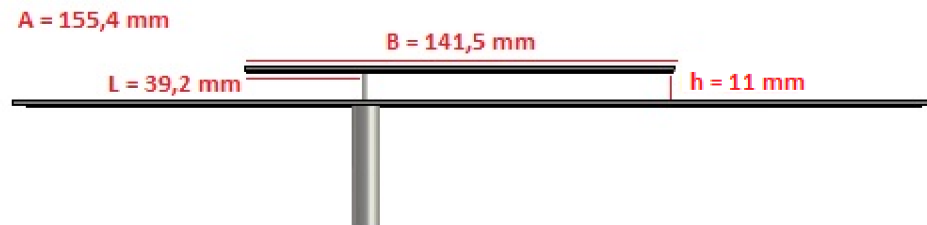
Pro ověření správnosti teoreticky vypočítaných rozměrů, byly rozměry planární antény přeneseny do výpočetního programu CST, který je vyvinutý speciálně pro simulace vysokofrekvenčních struktur. Simulací v CST je možné získat parametry antény ještě dříve, než se samotná anténa realizuje. Šetří se tak spotřeba materiálu a přispívá se k tomu, že do výroby se dostanou pouze správně navržené struktury.

V CST modelu byla anténa navržena z perfektně elektricky vodivého materiálu o tloušťce 0,4 mm. Tyto podmínky teoretické vzorce neuvážují, proto musela být provedena optimalizace tak, aby model antény opět co nejlépe odpovídal požadovanému zadání. Pomocí optimalizačních funkcí programu CST se nakonec jako nejlepší jeví anténa s rozměry uvedenými v tabulce níže (Tabulka 3.4).

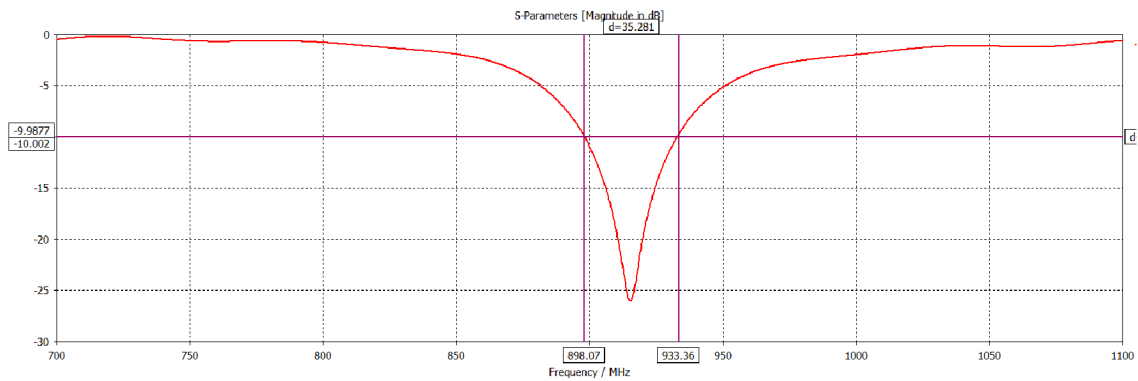
Tabulka 3.4: Rozměry modelu planární antény.

Parametr	Označení	Absolutní rozměr [mm]	Relativní rozměr
Šířka flíčku	A	155,4	0,47 λ
Délka flíčku	B	141,5	0,43 λ
Tloušťka vzduchového dielektrika	h	11,0	0,03 λ
Umístění koaxiálního napájení	L	39,2	0,12 λ
Šířka zemní desky		300,0	1,00 λ
Délka zemní desky		300,0	1,00 λ

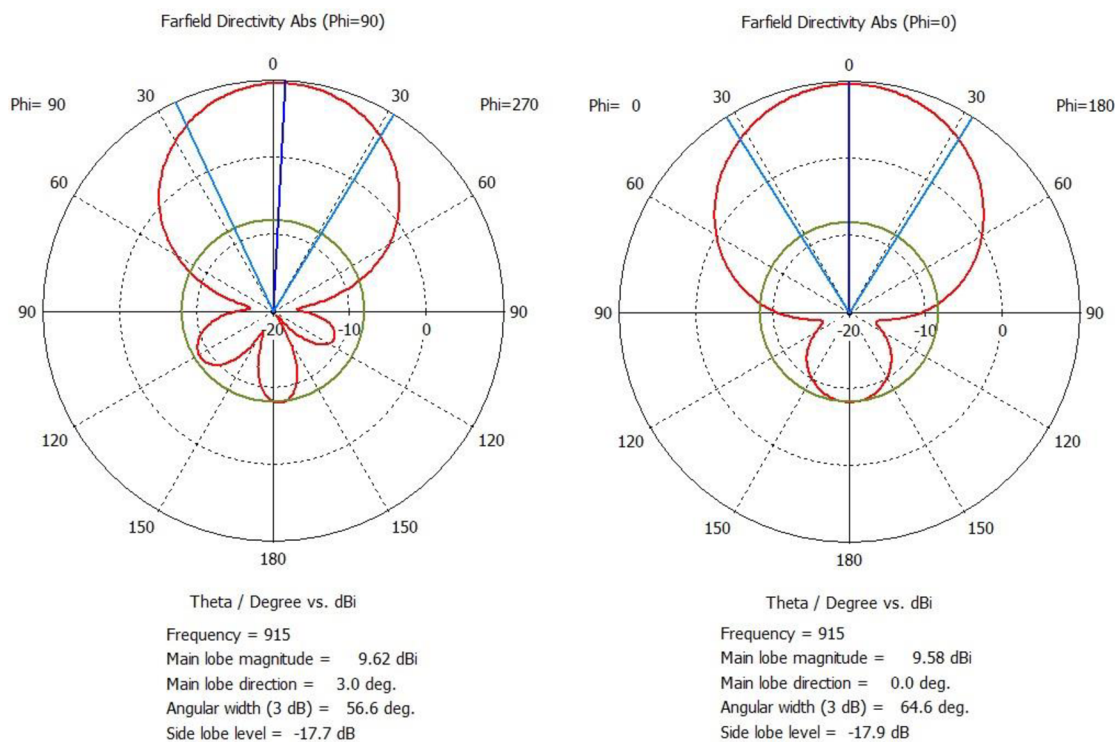
Na následujících obrázcích bude znázorněno, jak vypadá model antény (Obrázek 3.3), jaký průběh má činitel odrazu na vstupu antény (Obrázek 3.4) a jak vypadá směrová charakteristika (Obrázek 3.5).



Obrázek 3.3: Model planární antény.



Obrázek 3.4: Činitel odrazu na vstupu planární antény.



Obrázek 3.5: Směrové charakteristiky planární antény.

Jak je možné vidět na předchozím snímku (Obrázek 3.5), šířka svazku pro poloviční výkon má hodnotu $56,6^\circ \times 64,6^\circ$. Pro takovou šířku svazku by bylo nutné číst tagy ze vzdálenosti do 50 cm, aby bylo zajištěno, že anténa snímá plnohodnotně pouze jeden tag. Aplikace by ale měla být více všestranná a měla by být schopna přečíst tagy i z větší vzdálenosti, proto je potřeba zkusit šířku svazku ještě zúžit. Zúžení bude v této práci experimentálně prováděno pomocí parazitního flíčku, jehož návrh a model v CST je podrobně popsán v následujících kapitolách.

3.4 Úprava planární antény pomocí parazitního flíčku

Anténa sestavená pouze s jedním flíčkem nemá dostatečně úzkou šířku svazku. Tuto skutečnost je možné vylepšit přidáním parazitního flíčku přímo nad již vyrobený první flíček. Přidání takového flíčku může mít za následek dvě hlavní skutečnosti v závislosti na vzdálenosti, do které se umístí.

První skutečností je rozšíření šířky pásma antény. To nastává v případech, kdy je parazitní flíček vzdálen do $0,1 \lambda$ od flíčku prvního. Vzhledem k tomu, že pásmo, pro které je nutné anténu navrhnout, je poměrně úzké a je již obslouženo základní flíčkovou anténou, není tato skutečnost příliš zajímavá, a proto se práce bude zabývat spíše druhou skutečností [3].

Druhá skutečnost spočívá ve zvýšení zisku antény a tím i zúžení šířky svazku. Tento případ nastává pro vzdálenost parazitního flíčku $0,3 \lambda$ a více. Tento parazitní flíček je možné si představit jako direktor u antény Yagi-Uda. Experimentálním modelováním v CST pro vzdálenosti parazitního flíčku nad $0,3 \lambda$, které vychází

z publikace [3], bylo dosaženo zajímavých výsledků, které jsou podrobněji popsány v kapitole 3.5.

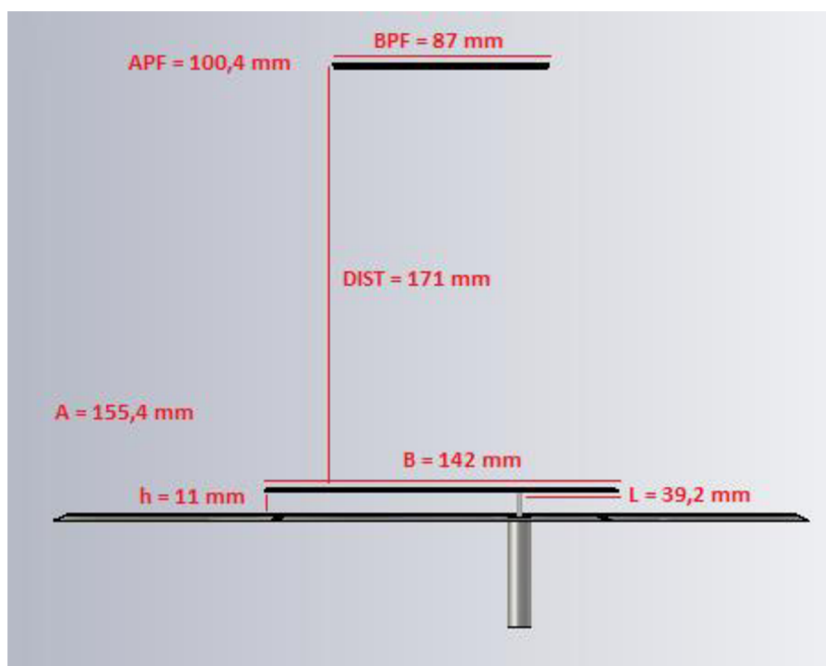
3.5 Model planární antény s parazitním flíčkem

Teoretické rozměry uvedené v kapitole 3.4 byly experimentálně modelovány v programu CST. Pomocí optimalizačních funkcí bylo nalezeno řešení, které vylepšuje šířku svazku a zisk antény. Výsledné rozměry modelu jsou uvedeny v následující tabulce (Tabulka 3.5).

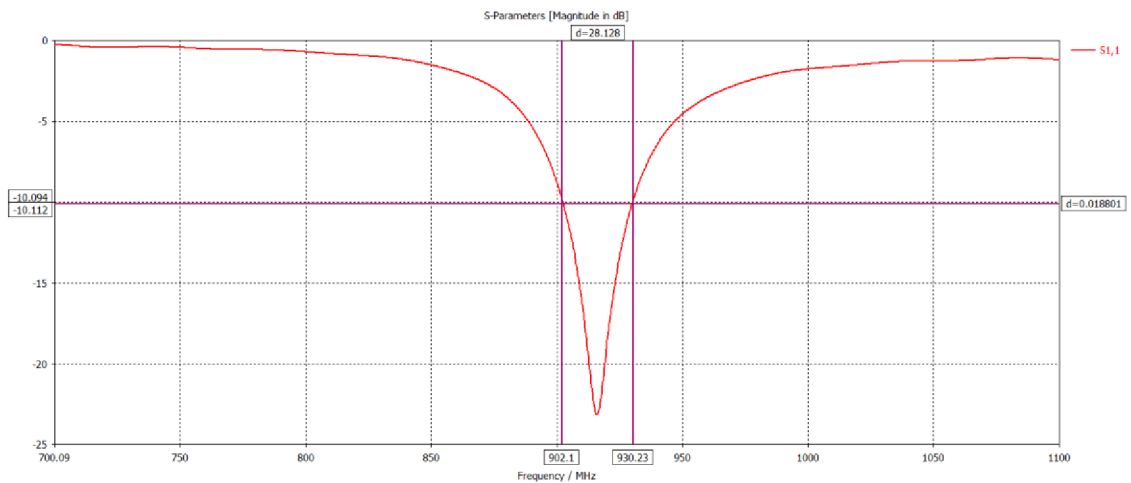
Tabulka 3.5: Rozměry modelu planární antény s parazitním flíčkem.

Parametr	Označení	Absolutní rozměr [mm]	Relativní rozměr
Šířka flíčku	A	155,4	$0,47 \lambda$
Délka flíčku	B	142,0	$0,43 \lambda$
Tloušťka vzduchového dielektrika	h	11	$0,03 \lambda$
Umístění koaxiálního napájení	L	39,2	$0,12 \lambda$
Šířka parazitního flíčku	APF	100,4	$0,30 \lambda$
Délka parazitního flíčku	BPF	87,0	$0,26 \lambda$
Vzdálenost mezi jednotlivými flíčky	DIST	171	$0,52 \lambda$

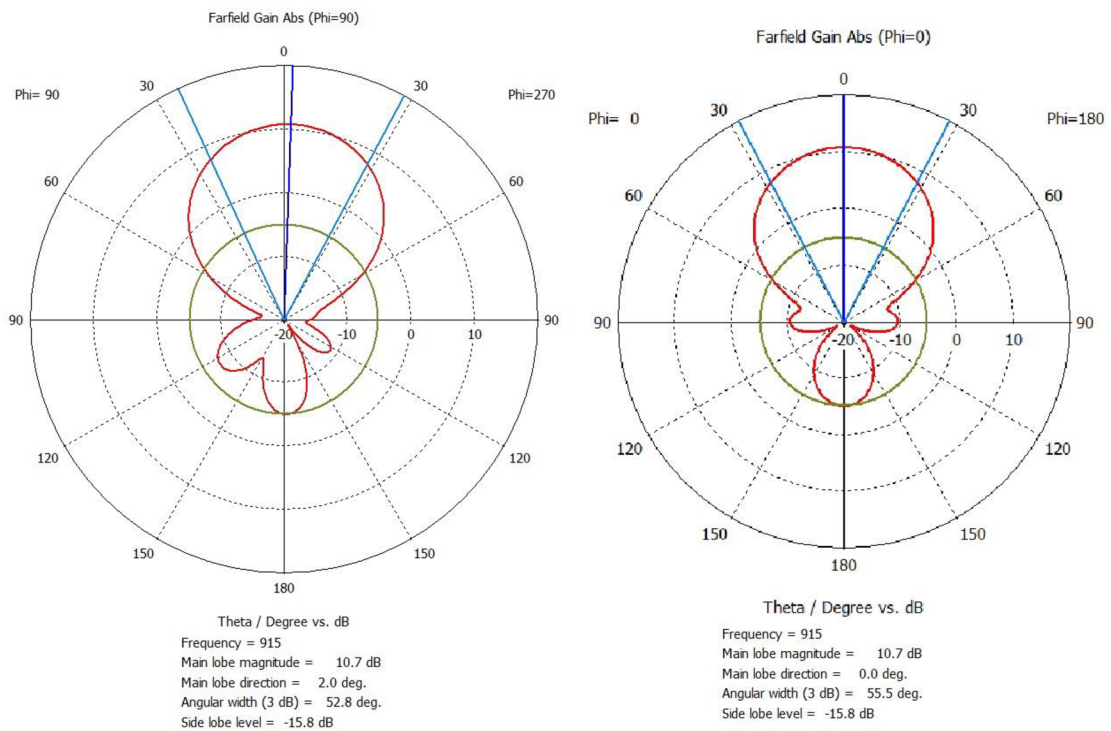
Pro lepší představu o tom, jak vypadá planární anténa s parazitním flíčkem, jsou uvedeny obrázky z programu CST. Obrázek 3.6 zobrazuje simulovaný model, Obrázek 3.7 uvádí hodnoty činitele odrazu na vstupu antény a Obrázek 3.8 znázorňuje směrové charakteristiky modelu.



Obrázek 3.6: Model planární antény s parazitním flíčkem.



Obrázek 3.7: Činitel odrazu na vstupu planární antény s parazitním flíčkem.



Obrázek 3.8: Směrové charakteristiky planární antény s parazitním flíčkem.

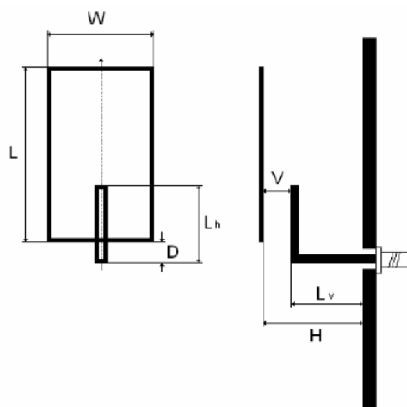
Z výše uvedených obrázků je vidět, že došlo k vylepšení charakteristik, hlavně v šířce svazku v H rovině. Zároveň však došlo ke zvýšení antény. V následujících kapitolách budou uvedeny návrhy a simulace alternativních způsobů napájení za účelem snížení celkové výšky antény. Na závěr budou parametry porovnány mezi sebou a bude vybrán ten neoptimálnější model pro výrobu.

3.6 Planární anténa napájená L sondou

Přidáním parazitního flíčku v předchozí kapitole se anténa značně zvýšila, což by v této

aplikaci mohl být problém. Z toho důvodu nyní bude zkoumáno, jaký má napájení pomocí L sondy vliv na charakteristiky antény.

Pro vytvoření představy, jak takové napájení vypadá, je možné nahlédnout na následující obrázek (Obrázek 3.9), ve kterém jsou označeny i jednotlivé rozměry antény.



Obrázek 3.9: Náčrt planární antény napájené L sondou.

Ve výzkumu (uvedeném v [9]) je hlavní výhodou takto navržené antény její šířka pásma, která dosahuje hodnot i přes 30%, zatímco u klasicky napájené planární antény se jedná o šířku pásma v jednotkách procent (3-10%).

Princip fungování takovéto antény spočívá v tom, že jak flíček, tak L sonda mají svoji vlastní rezonanční frekvenci. Při optimálním nastavení délky flíčku a ramen L sondy jsou rezonanční frekvence jednotlivých prvků umístěny vedle sebe a celková šířka pásma se tak zvětší. Dalším důležitým parametrem je tloušťka vzduchového dielektrika, která při správném nastavení umožňuje, že blízké pole L sondy je kapacitní vazbou svázáno s flíčkem, který je pak tímto způsobem napájen. Podle výzkumu v [9] jsou neoptimálnější rozměry pro frekvenci 915 MHz uvedeny v následující tabulce (Tabulka 3.6). Délka a šířka flíčku byla vypočítána opět pomocí skriptu v MATLABU, který je uveden v příloze C.

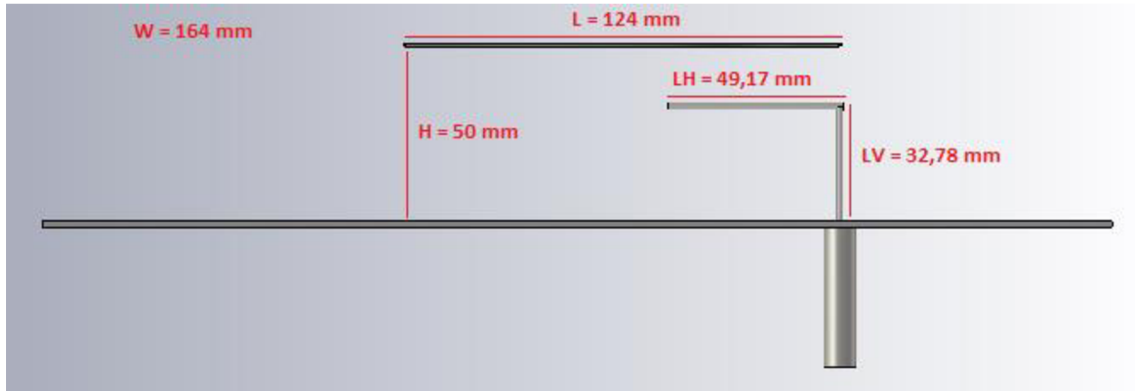
Tabulka 3.6: Teoretické rozměry planární antény napájené L sondou.

	Označení	Absolutní rozměr [mm]	Relativní rozměr
Horizontální délka L sondy	L_H	49,17	$0,15 \lambda$
Vertikální délka L sondy	L_V	32,78	$0,10 \lambda$
Tloušťka vzduchového dielektrika	H	49,17	$0,15 \lambda$
Umístění konektoru	D	0	0
Délka flíčku	L	124,00	$0,38 \lambda$
Šířka flíčku	W	164,00	$0,50 \lambda$

Model této antény byl opět vytvořen a optimalizován v programu CST. Tento model se podrobněji rozebírá v následující kapitole 3.7.

3.7 Model planární antény napájené L sondou

Pro ověření parametrů uvedených v kapitole 3.6 byl vytvořen model v simulačním programu CST. Simulovaný model je možné vidět na následujícím obrázku (Obrázek 3.10).



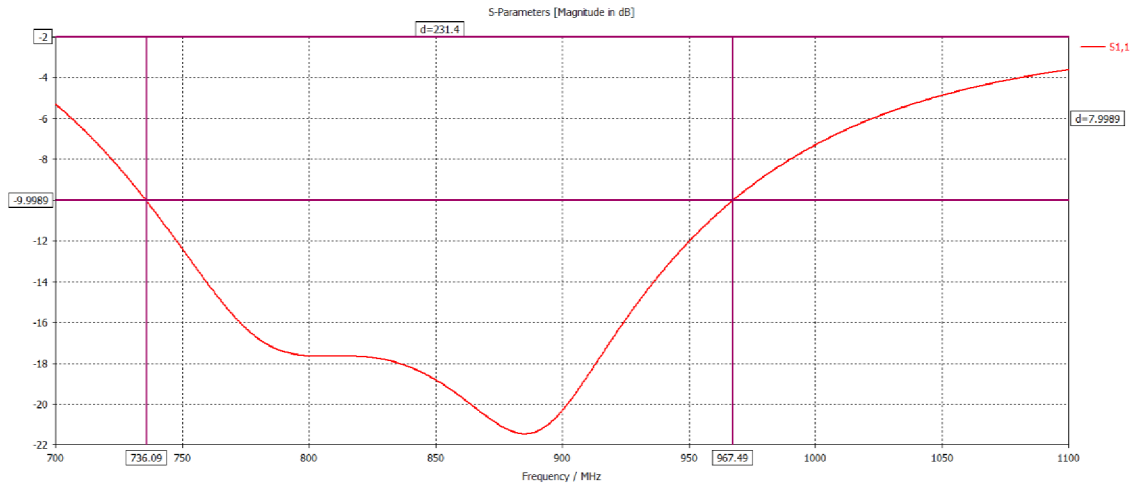
Obrázek 3.10: Model planární antény napájené L sondou.

Rozměry z kapitoly 3.6 byly uvedeny s takovou přesností, že v programu nebylo nutné provádět optimalizaci. Požadavek na funkci v pásmu 902-928 MHz byl splněn přímo s teoretickými rozměry. Následující tabulka uvádí kompletní seznam rozměrů této antény (Tabulka 3.7).

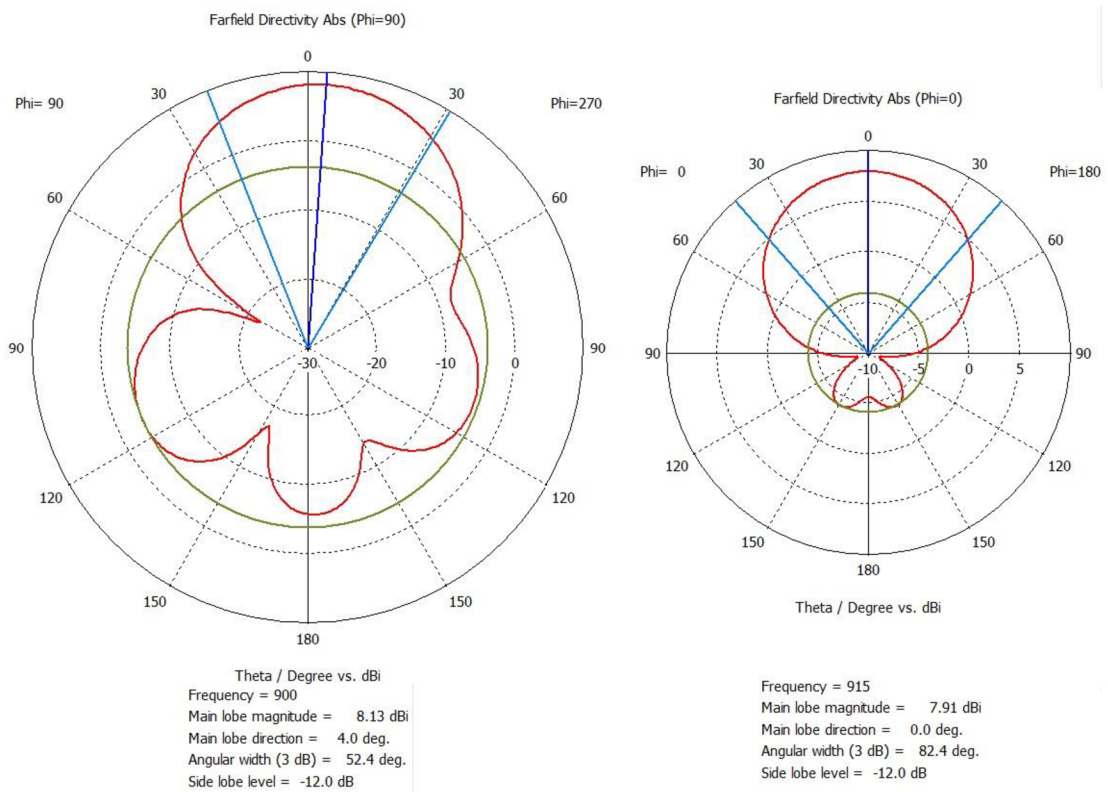
Tabulka 3.7: Seznam rozměrů modelu planární antény napájené L sondou.

	Označení	Optimalizovaný rozměr [mm]
Horizontální délka L sondy	L_H	49,17
Vertikální délka L sondy	L_V	32,78
Tloušťka vzduchového dielektrika	H	50,00
Délka flíčku.	L	124,00
Šířka flíčku	W	164,00

Výsledný průběh činitele odrazu na vstupu antény je uveden na obrázku 3.11, směrové charakteristiky na obrázku 3.12.



Obrázek 3.11: Činitel odrazu na vstupu planární antény napájené L sondou.



Obrázek 3.12: Směrové charakteristiky planární antény napájené L sondou.

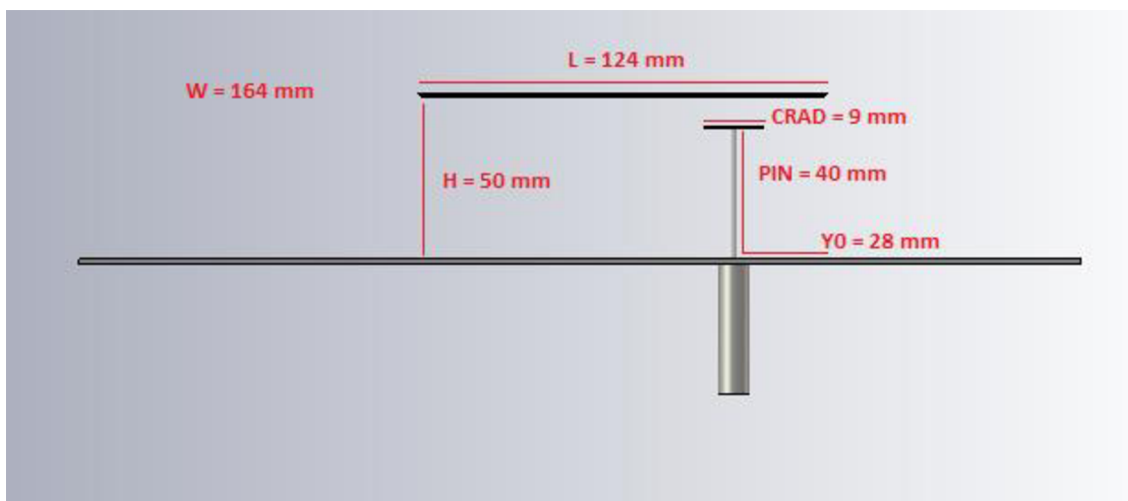
Porovnání výsledků s ostatními modely je uvedeno v kapitole 3.10.

Následující kapitola se bude zabývat další možností kapacitního napájení planární antény, tentokrát pomocí vazebního disku.

3.8 Planární anténa napájená vazebním diskem

Další možností, jak napájet planární anténu je pomocí vazebního disku. Optimalizace

napájení tímto způsobem probíhala v této práci čistě experimentálním způsobem pomocí simulačního programu CST. Pro vytvoření představy je struktura znázorněna na obrázku níže (Obrázek 3.13).



Obrázek 3.13: Model planární antény napájené vazebním diskem.

Vstupními hodnotami byly pouze parametry pro délku flíčku, šířku flíčku a potencionální umístění napájení koaxiální sondou, které byly opět získány ze skriptu v MATLABU uvedeném v příloze C. Tyto parametry jsou uvedeny v následující tabulce (Tabulka 3.8).

Tabulka 3.8: Vstupní parametry pro optimalizaci planární antény napájené vazebním diskem.

	Označení	Absolutní rozměr [mm]	Relativní rozměr
Délka flíčku	L	101,0	0,30 λ
Šířka flíčku	W	163,9	0,50 λ
Umístění napájení koaxiální sondou	Y ₀	28,5	0,08 λ
Výška vzduchového dielektrika	H	49,2	0,15 λ

Další rozměry, jako je průměr vazebního disku, vzdálenost vazebního disku od flíčku a délka pinu k vazebnímu disku jsou podrobně uvedeny v kapitole 3.9.

3.9 Model planární antény napájené vazebním diskem

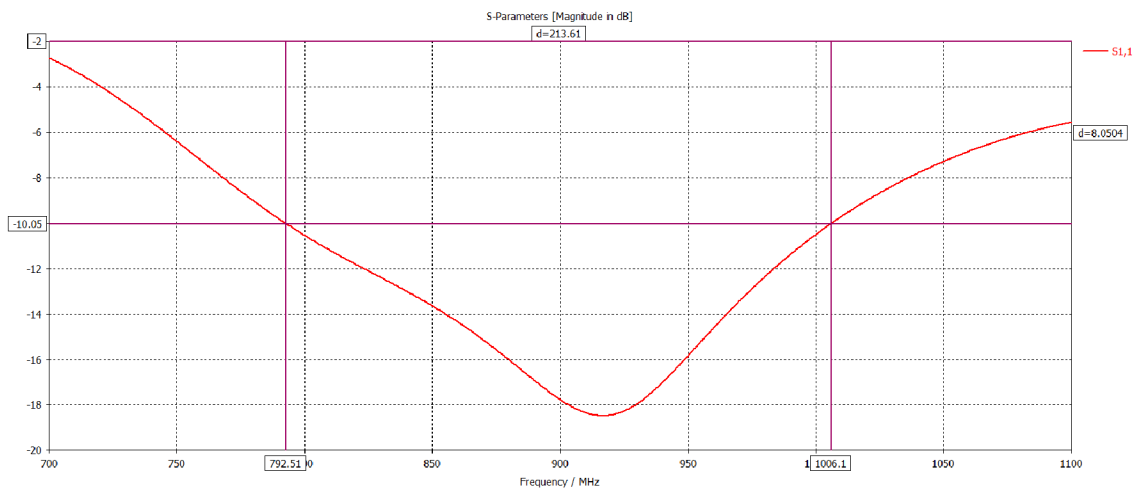
Modelování planární antény napájené vazebním diskem probíhalo experimentálně. Pomocí parametrického rozmitání jednotlivých parametrů byl model postupně optimalizován tak, aby anténa splňovala zadané požadavky. Výsledné rozměry jsou shrnuty v následující tabulce (Tabulka 3.9).

Tabulka 3.9: Seznam rozměrů planární antény napájené vazebním diskem.

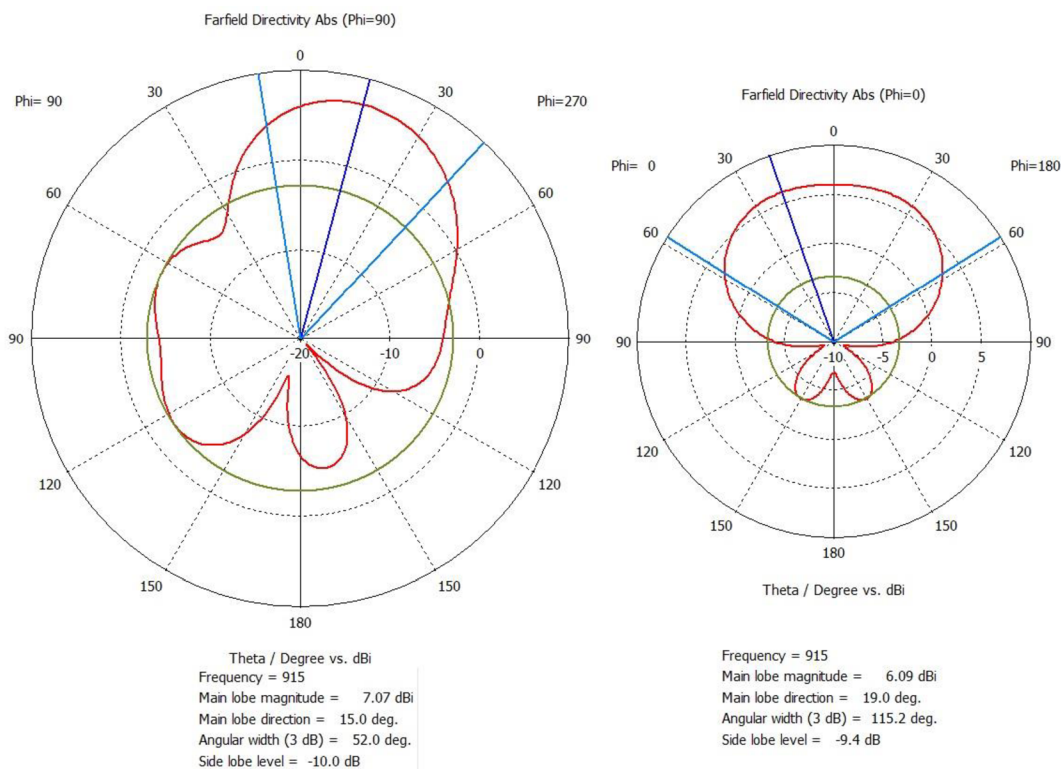
	Označení	Absolutní rozměr [mm]	Relativní rozměr
--	----------	--------------------------	------------------

Délka pinu s diskem	PIN	40,0	$0,12 \lambda$
Průměr disku	CRAD	9,0	$0,03 \lambda$
Vzdálenost pinu od hrany flíčku	Y_0	28,0	$0,08 \lambda$
Tloušťka vzduchového dielektrika	H	50,0	$0,15 \lambda$
Délka flíčku	L	124,0	$0,38 \lambda$
Šířka flíčku	W	164,0	$0,50 \lambda$

Průběh činitele odrazu na vstupu antény je zaznamenán na obrázku 3.14 a výsledné směrové charakteristiky jsou uvedeny na obrázku 3.15.



Obrázek 3.14: Činitel odrazu na vstupu planární antény napájené vazebním diskem.



Obrázek 3.15: Směrové charakteristiky planární antény napájené vazebním diskem.

V následující kapitole proběhne výsledné porovnání jednotlivých modelů planárních antén a bude rozhodnuto, jaký model bude zadán do výroby.

3.10 Vyhodnocení modelů

V předchozích kapitolách byla uvedena teorie k jednotlivým možnostem, které byly v rámci práce uvažovány. Na základě těchto teoretických poznatků byly vytvořeny modely v programu CST. Nyní budou porovnány výsledné parametry jednotlivých antén a bude vybrána ta nejvhodnější z nich, která bude zadána do výroby.

Při uvážení skutečnosti, že anténa má sloužit pro konkrétní aplikaci XY firmy PSI (popsané v kapitole 2), byl kladen důraz zejména na následující parametry:

- Činitel odrazu na vstupu antény pro požadované pásmo 902-928 MHz
- Šířka hlavního svazku a tvar směrové charakteristiky
- Zisk v hlavním směru

Následující tabulka (Tabulka 3.10) porovnává činitele odrazu jednotlivých modelů. Anténa bude splňovat podmínku v případě, že pásmo bude obsahovat frekvence 902-928 MHz.

Tabulka 3.10: Porovnání činitele odrazu modelovaných antén.

Planární anténa	Min. frekvence [MHz]	Max. frekvence [MHz]	Šířka pásma [MHz]	Šířka pásma [%]
Základní	898	933	35	3,7
S parazitním flíčkem	902	930	28	3,0
Napájená L sondou	736	967	231	23,9
Napájená vazebním diskem	792	1006	214	21,3

Z tabulky je vidět, že všechny uvažované modely splňují základní podmínku o činiteli odrazu na frekvencích 902-928 MHz. Rozhodnutí o tom, který model bude zadán do výroby, tedy bude učiněno na základě porovnání směrových charakteristik v následující tabulce (Tabulka 3.11).

Tabulka 3.11: Porovnání směrových charakteristik modelovaných antén.

Planární anténa:	Zisk [dBi]	Šířka svazku E x H [°]
Základní	9,6	56,6 x 64,6
S parazitním flíčkem	10,7	52,1 x 55,5
Napájená L sondou	8,1	52,4 x 82,4
Napájená vazebním diskem	7,1	52,0 x 115,2

Z tabulky je možné vyčíst, že zatímco šířka svazku v E rovině se příliš nemění, v H rovině už jsou rozdíly od 10° do 60°. Vzhledem k tomu, že v aplikaci XY jsou tagy pod anténou naskládány ve čtvercové či obdélníkové matici, je nutné brát ohled na šířku

svazku i v rovině H . Z tohoto důvodu byl pro realizaci vybrán model planární antény s parazitním flíčkem, který má nejužší šířku svazku v obou rovinách a tím pádem i největší zisk.

V následující kapitole je uveden postup realizace antény a způsob jejího měření.

4 REALIZACE A MĚŘENÍ

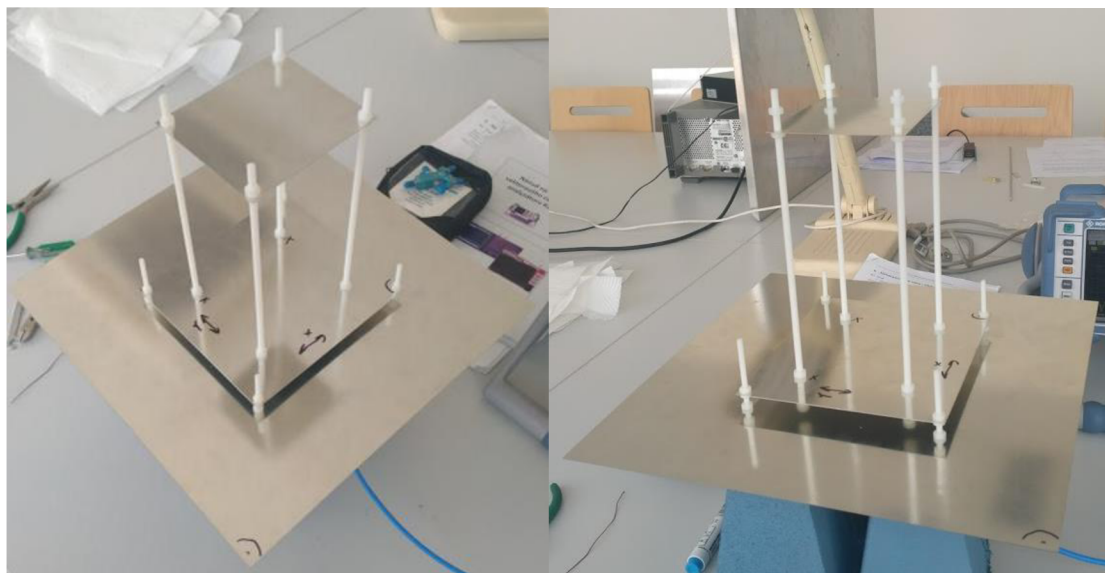
Na základě výsledků simulací jednotlivých modelů byla k výrobě vybrána planární anténa s parazitním flíčkem. Anténa byla vyráběna ve školní dílně a na její výrobu byl použit pocínovaný nerezový plech o tloušťce 0,4 mm. Rozměry zadané do výroby jsou podrobně uvedeny v kapitole 3.5, ale pro lepší orientaci budou rozměry jednotlivých destiček uvedeny v následující tabulce (Tabulka 4.1).

Tabulka 4.1: Rozměry jednotlivých destiček zadané do výroby.

Zemní deska	300 x 300 mm
Flíček	142,0 x 155,5 mm
Parazitní flíček	87,0 x 100,5 mm

Z důvodu volby vzduchového dielektrika bylo potřeba zvolit metodu, jakou budou jednotlivé plechové destičky pevně distancovány podle simulovaných parametrů. Nakonec byla zvolena metoda pomocí distančních sloupků o průměrech 4 mm a 5 mm. Tyto sloupky jsou vyrobeny z plastového materiálu, který nemá na elektrické vlastnosti antény téměř žádný vliv.

Aby bylo možné sloupky použít, bylo třeba do plechových destiček vytvořit otvory, kterými se sloupek protáhne a následně se pomocí maticek, kterými je možné pohybovat po celé délce sloupku, nastaví požadovaná vzdálenost mezi jednotlivými destičkami. Použití distančních sloupků a realizovanou anténu je možné vidět na níže uvedeném obrázku (Obrázek 4.1).



Obrázek 4.1: Realizovaná planární anténa s parazitním flíčkem a distančními sloupky.

Po sestavení antény začal proces ověřování reálných parametrů. Jak bylo naznačeno v předchozích kapitolách, tak hlavními parametry, na které se při návrhu antény práce zaměřuje, jsou činitel odrazu na vstupu antény a tvar směrové charakteristiky. Tyto dva základní parametry byly proměřeny v laboratořích

specializovaných na vysokofrekvenční techniku. Díky moderním vektorovým analyzátorům bylo možné proměřit vstupní parametry antény a díky speciálně upravené bezodrazové komoře bylo možné ověřit tvar směrové charakteristiky realizované antény.

Principy jednotlivých zařízení a význam měřených parametrů budou vysvětleny v následujících kapitolách.

4.1 Vektorový analyzátor – činitel odrazu

Činitel odrazu na vstupu antény je jedním ze základních parametrů, který anténu charakterizuje. V případě, kdy anténa není dokonale přizpůsobená, se část energie přímé vlny na vstupu antény odráží zpět směrem ke zdroji jako vlna odražená. Poměr vlny odražené a původní vlny přímé závisí na míře nepřizpůsobení, která se udává jako činitel odrazu ρ . Činitel odrazu je svázán s činitelem stojatého vlnění δ přes následující vztah:

$$\rho = \frac{\delta - 1}{\delta + 1} \quad (6.1)$$

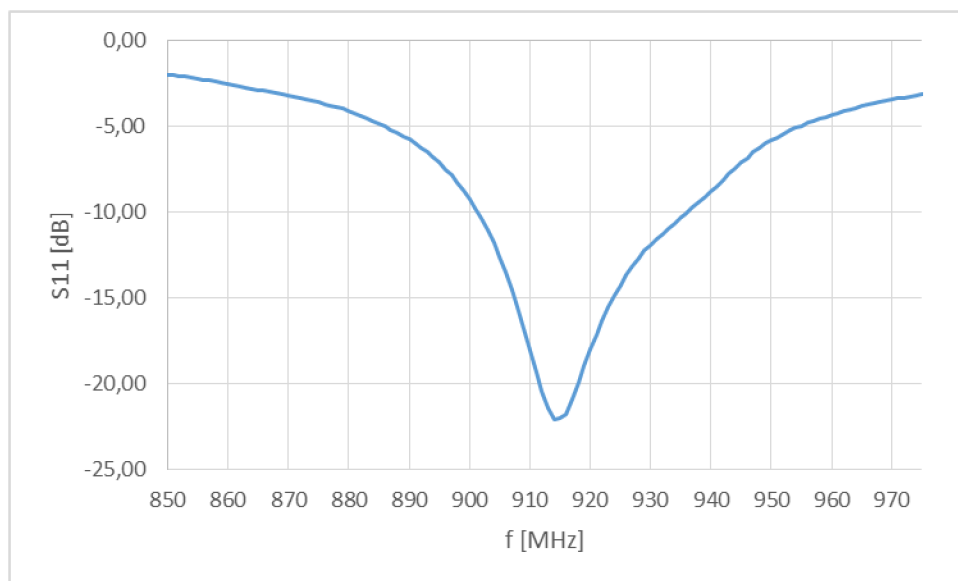
Činitel odrazu může nabývat hodnot od 0 (v případě dokonalého přizpůsobení) a 1 (v případě totálního odrazu). Pro účely práce je však vhodnější vyjadřovat činitel odrazu v decibelové míře, kdy vztah pro přepočítání je následující:

$$\rho[dB] = 20 \log(\rho) \quad (6.2)$$

Jako dostatečná hodnota činitele odrazu se považuje -10 dB, což vyjadřuje, že na vstupu antény se zpět odrazí pouze 30% z celkové energie.

Před měřením tohoto parametru je důležité mít vektorový analyzátor správně kalibrovaný, což se provádí speciálními kalibračními sadami s definovaným přizpůsobením.

Po přípravě pracoviště byla anténa připojena ke správně kalibrovanému vektorovému analyzátoru a bylo provedeno měření činitele odrazu. Výsledky měření je možné pozorovat na následujícím obrázku (Obrázek 4.2).



Obrázek 4.2: Činitel odrazu na vstupu planární antény s parazitním flíčkem.

Z obrázku (Obrázek 4.2) je možné vyčíst, že anténa splňuje podmínku $S_{11} < -10\text{dB}$ pro frekvence 901-936 MHz, což je pásmo, které bez problémů pokrývá pásmo požadované (902-928 MHz).

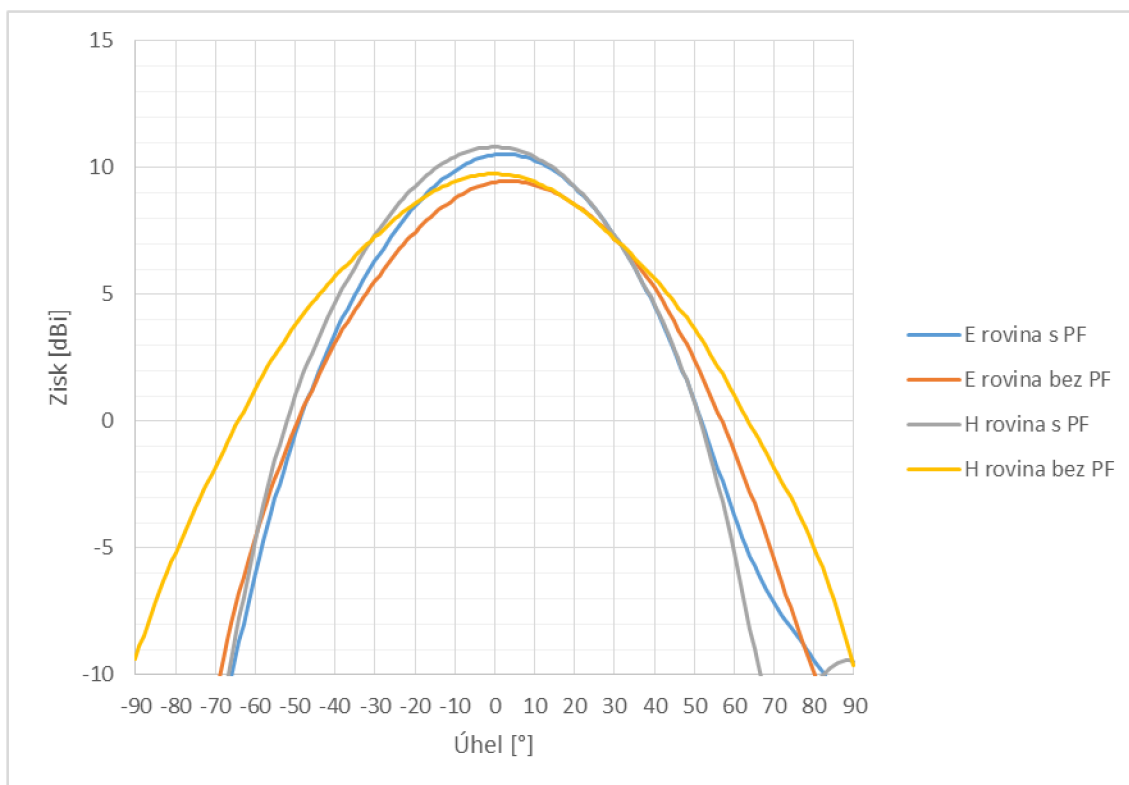
Díky skutečnosti, že činitel odrazu splňuje podmínku v požadovaném pásmu, se může přejít na měření zisku a směrové charakteristiky antény. Postup tohoto měření je uveden v následující kapitole.

4.2 Bezodrazová komora – směrová charakteristika

Směrová charakteristika antény je grafickým vyjádřením směrových vlastností antény. Směrové vlastnosti antény jsou vyjádřeny ve formě absolutní hodnoty podílu elektrické intenzity vyzařovaného vlnění v daném směru a nejvyšší hodnoty intenzity vyzařovaného vlnění [7].

Měření směrových charakteristik musí probíhat v prostorách, kde je minimální pravděpodobnost parazitního záření. Takovým prostorem je například bezodrazová komora, ve které probíhalo měření i této antény. Bezodrazová komora plní dvě základní funkce, izoluje měřicí soustavu od okolního záření a pohlcuje záření vzniklé uvnitř komory tak, že nedochází k jeho odrazům. Díky těmto vlastnostem je zajištěno, že energie přijímaná měřenou anténou vychází pouze z měřicí soustavy.

Samotné měření pak spočívá v připevnění měřené antény na pohyblivé rameno, které je schopné se natáčet podle potřeby tak, že v každém okamžiku je definovaný úhel, ze kterého záření k měřené anténě přichází. Tímto způsobem byla změřena i tato anténa a výsledky je možné pozorovat na následujícím obrázku (Obrázek 4.3).



Obrázek 4.3: Zobrazení směrových charakteristik antény s a bez parazitního flíčku.

Následující tabulka uvádí konkrétní parametry směrové charakteristiky:

Tabulka 4.2: Porovnání šířek svazků v jednotlivých rovinách.

	Šířka svazku v E rovině [°]	Šířka svazku v H rovině [°]	Maximální zisk [dBi]
S parazitním flíčkem	54	56	10,5
Bez parazitního flíčku	59	66	9,5

Z hodnot uvedených v tabulce je vidět, že parazitní flíček vylepšil směrové charakteristiky základní planární antény a potvrzuje se tak teoretický předpoklad uvedený v kapitole 3.10. V E rovině došlo k zúžení šířky svazku o 5° (cca 8,5%) a v H rovině dokonce o 10° (cca 15%)

4.3 Porovnání simulací s laboratorním měřením

Jako nejvhodnější byla na základě modelů v CST vybrána planární anténa s parazitním flíčkem. Ta byla následně sestrojena a proměřena v laboratoři. V následující tabulce (Tabulka 4.3) budou porovnány odchylky jednotlivých parametrů mezi simulací a laboratorním měřením.

Tabulka 4.3: Porovnání simulace a měření.

	S11 < -10 dB [MHz]	Šířka pásma [MHz]	Šířka pásma [%]	Šířka svazku [°]	Zisk [dBi]
Simulace	902 až 930	28	3,0	52,8 x 55,5	10,7
Měření	902 až 936	34	3,6	54 x 56	10,5

Z předchozí tabulky je možné vidět, že parametry realizované antény jsou v některých ohledech dokonce lepší než parametry simulované antény. Obecně je možné konstatovat, že realizace antény proběhla na velice vysoké úrovni a její charakteristiky se velice podobají charakteristikám simulované antény. Nepatrné odchylky mohly být způsobeny chybou měření v bezodrazové komoře, reálným prostředím v okolí antény při měření parametru S11 a také vlivem distančních sloupků, které v simulacích také uvažovány nejsou.

Pro dokončení práce byla realizovaná anténa opět zanesena přímo do prostředí aplikace XY firmy PSI, kde byla terénním měřením ověřena její funkčnost. Podrobnosti o terénním měření jsou popsány v následující kapitole.

5 TERÉNNÍ MĚŘENÍ

Pro ověření správnosti návrhu a realizace planární antény s parazitním fličkem byla anténa zanesena přímo do prostředí aplikace XY, kde bude v reálném provozu používána.

V rámci práce bylo provedeno zkušební měření s průmyslově vyrobenou anténou PATCH-25-V2 s těmito parametry vypsány z [10]:

- zisk 9 dBi
- pásmo 860-960 MHz
- šířka svazku zhruba 65 x 65 stupňů
- kruhově polarizovaná
- označení ČA1

Dále proběhlo měření s anténou vyrobenou na základě poznatků v této diplomové práci. Tato nová anténa disponuje následujícími parametry:

- zisk 10,7 dBi
- pásmo 902-936 MHz
- šířka svazku 54° x 56°
- lineárně polarizovaná
- označení ČA2

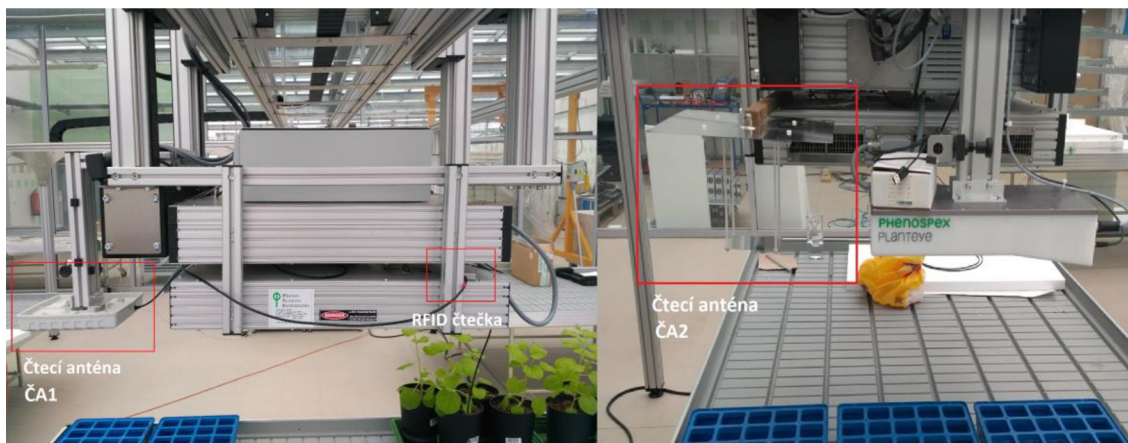
Cílem měření bylo otestovat funkčnost antény v podmínkách, do kterých by měla být umístěna a ověřit vliv vylepšených parametrů na výsledek měření. Během měření bylo testováno:

1. Rozpoznávání tagů pro vzdálenosti 0,55 m a 0,65 m.
2. Vliv tekutiny na sílu přijímaného signálu (podrobnosti v příloze B)

Anténa byla připojena k UHF RFID čtečce firmy Metra Blansko. Čtečka je určena pro práci v UHF pásmu a je schopna identifikovat hodnotu RSSI. Při vhodných podmínkách je tak schopna určit, jaký tag je pod anténou umístěn. Celková konfigurace aplikace XY je uvedena v následující kapitole.

5.1 Umístění antén a příprava pracoviště

K terénnímu měření byla použita přímo aplikace XY od firmy PSI. Čtecí antény byly umístěny na držák vedle hlavní části s kamerami. Umístění jednotlivých antén je zaznamenáno na následujícím obrázku (Obrázek 5.1).



Obrázek 5.1: Uspořádání terénního měření s jednotlivými anténami.

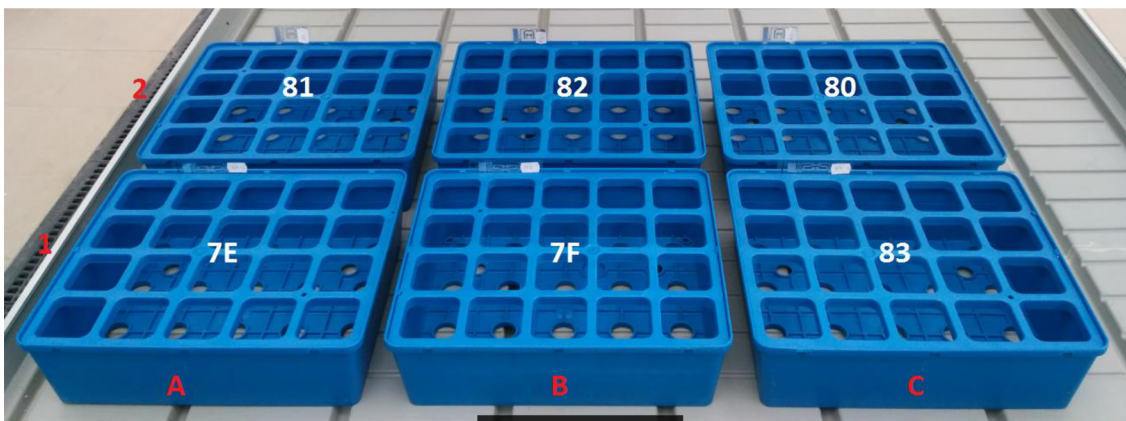
Stůl, na kterém byly nosiče umístěny nebyl ze železného materiálu.

Testovací tagy byly umístěny na jednotlivé nosiče způsobem uvedeným na následujícím obrázku (Obrázek 5.2).



Obrázek 5.2: Umístění tagů na boční stranu nosičů.

Rozmístění tagů k jednotlivým nosičům a pozicím je naznačeno na následujícím obrázku (Obrázek 5.3). Rozmístění tagů bylo stejné pro obě čtecí antény. Následně byla testována schopnost určení tagu umístěného na nosiči pod danou pozicí. Bílým textem jsou označeny jednotlivé tagy a kombinací červených textů pak vzniká matice pozic, nad které mohla být anténa umístěna.



Obrázek 5.3: Matice nosičů s umístěnými tagy.

Detail testovacího tagu je uveden na následujícím obrázku. Je důležité mít na paměti, že čím větší anténu tag má, tím silnější může být jeho odpověď. Proto byly použity tagy 80-83, 7E a 7F, které měly největší rozměry a největší hodnoty RSSI.



Obrázek 5.4: Detail tagů použitých v testovacím měření.

5.2 Výsledky měření pro jednotlivé antény a vzdálenosti

Měření proběhlo pro dvě čtecí antény a dvě čtecí vzdálenosti antény od nosičů (dále jen čtecí vzdálenost). Mezi těmito měřeními se nezměnilo nic jiného než čtecí vzdálenost. Antény byly pomocí aplikace XY umístěny vždy přesně nad danou pozici (A1, A2, B1, B2, C1, C2).

5.2.1 Výsledky pro vzdálenost 55 cm:

Z naměřených hodnot uvedených v příloze A je možné usoudit, že pro tuto čtecí vzdálenost je úspěšnost jednoznačného určení anténou ČA1 50%, zatímco úspěšnost jednoznačného určení tagu anténou ČA2 je 100%. Dalším důkazem, že anténa ČA2 je pro aplikaci vhodnější je skutečnost, že hodnota RSSI přijímaná anténami je v průměru o 4 dB větší u antény ČA2 než u antény ČA1. V obou případech je anténa schopna přijímat dostatečnou energii pro identifikaci tagu.

Pro snazší orientaci je uvedena tabulka (Tabulka 5.1), ve které jsou vypsány pouze tagy, které byly identifikovány s největší hodnotou RSSI.

Tabulka 5.1: Výběr nejsilněji identifikovaných tagů pro vzdálenost 55 cm.

Pozice	Tag určený anténou ČA1	Hodnota RSSI určená ČA1 [dBm]	Tag určený anténou ČA2	Hodnota RSSI určená ČA2 [dBm]
A1	7E	-34	7E	-30
A2	81	-34	81	-30
B1	7F/82	-34	7F	-30
B2	82/7F	-36	82	-32
C1	83	-32	83	-30
C2	80/83	-36	80	-30

Jednotlivá pole jsou zvýrazněna podle povahy výsledku. **Zelené pole** – určeno jednoznačně, **Oranžové pole** – určeno nejednoznačně, **Červené pole** – určeno chybně.

5.2.2 Výsledky pro vzdálenost 65 cm:

Z naměřených hodnot uvedených v příloze A je možné usoudit, že pro tuto čtecí vzdálenost je úspěšnost jednoznačného určení tagu anténou ČA1 0%, zatímco úspěšnost jednoznačného určení tagu anténou ČA2 je 83%, pouze jedno nejednoznačné určení. Dalším důkazem, že anténa ČA2 je pro aplikaci vhodnější je skutečnost, že hodnota RSSI přijímaná anténami je opět v průměru o 4 dB větší u antény ČA2 než u antény ČA1. V obou případech je anténa schopna přijímat dostatečnou energii pro identifikaci tagu.

Pro snazší orientaci je uvedena tabulka (Tabulka 5.2), ve které jsou vypsány pouze tagy, které byly identifikovány s největší hodnotou RSSI.

Tabulka 5.2: Výběr nejsilněji identifikovaných tagů pro vzdálenost 65 cm.

Pozice	Tag určený anténou ČA1	Hodnota RSSI určená ČA1 [dBm]	Tag určený anténou ČA2	Hodnota RSSI určená ČA2 [dBm]
A1	81	-36	7E/81	-30
A2	7E/7F/81	-38	81	-30
B1	82	-36	7F	-30
B2	83	-36	82	-30
C1	80/83	-34	83	-30
C2	83	-34	80	-30

Jednotlivá pole jsou zvýrazněna podle povahy výsledku. **Zelené pole** – určeno jednoznačně, **Oranžové pole** – určeno nejednoznačně, **Červené pole** – určeno chybně.

Terénním měřením realizované antény (ČA2) se potvrdily její vylepšené vlastnosti a je tak vhodná pro použití v aplikaci XY.

6 ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo seznámit se s možnostmi realizace antén pro čtení RFID tagů a vyrobit anténu vhodnou pro aplikaci XY, která je popsána v kapitole 2. Důraz byl kladen na co nejužší šířku svazku antény a co největší zisk v hlavním směru vyzařování. V práci je uvedeno celkem 5 návrhů, který by mohly být pro použití v aplikaci vhodné.

První je Yagi-Uda anténa, která má největší zisk (14,6 dBi) a nejužší šířku svazku ($27^\circ \times 27^\circ$), ale svými rozměry (délka 133cm) se do aplikace XY nedá přímo použít. Další čtyři návrhy se zabývají planárními strukturami a jejich variacemi, které jsou svými rozměry (max. 30 cm) v aplikaci XY použitelné. Byly vytvořeny jejich modely a na základě charakteristik vypočtených v programu CST bylo vybráno nejoptimálnější řešení pro realizaci v podobě planární antény s parazitním flíčkem, která má šířku svazku $54^\circ \times 56^\circ$ a zisk 10,5 dBi.

V rámci práce proběhlo terénní měření, které porovnává výsledky získané průmyslově vyrobenou anténou s výsledky získanými anténou realizovanou na základě této práce. Z výsledků v kapitole 5 je patrné, že realizovaná anténa dosahuje lepších výsledků než anténa průmyslová a je tak vhodná pro použití v aplikaci XY.

LITERATURA

- [1] FINKENZELLER, K. *RFID handbook: Fundamentals and applications in contactless smart cards, radio frequency identification and near-field communication*, Wiley & Sons, 2003
- [2] *UHF RFID frequencies* [online]. [cit. 2016-12-10]. Dostupné z: <http://image.slidesharecdn.com/demystifying-radio-frequency-identification-rfid-the-basics4822/95/demystifying-radio-frequency-identification-rfid-the-basics-34-728.jpg?cb=1275014410>
- [3] LEE, Richard Q. a Kai-Fong LEE. *Experimental Study of the Two-Layer Electromagnetically Coupled Rectangular Patch Antenna* [online]. [cit. 2016-12-10].
- [4] NIEMEIER, James J. *Radio in hydroscience: unconventional links and new sensor possibilities* [online]. 2010 [cit. 2016-12-10]. Theses.
- [5] MACOUN, Jindra. *Směrovost a zisk antén (2)* [online]. 2012 [cit. 2016-12-10]. Dostupné z: [http://www.crk.cz/FILES/VR-ANT/40.%20Sm%C4%9Brovost%20a%20zisk%20ant%C3%A9n%20\(2\).pdf](http://www.crk.cz/FILES/VR-ANT/40.%20Sm%C4%9Brovost%20a%20zisk%20ant%C3%A9n%20(2).pdf)
- [6] BALANIS, C.A. *Antenna theory: analysis and design*. 3rd ed. Hoboken: Wiley-Interscience, 2005, xvii, 1117 s. ISBN 978-0-471-66782-7.
- [7] RAIDA, Z., et al. *Multimediální učebnice: Elektromagnetické vlny Mikrovlnná technika* [online]. c2008 [cit. 2016-12-10]. Dostupný na WWW: < <http://www.urel.feec.vutbr.cz/~raida/multimedia/index.php?lang=cz> >.
- [8] ČERNOHORSKÝ, Dušan a Zdeněk NOVÁČEK. *Navrhování radiových spojů* [online]. VUT Brno, 1992 [cit. 2017-05-15]. ISBN 80-214-0382-9.
- [9] HAZDRA, Pavel, Miloš MAZÁNEK a Jiří ČERMÁK. *Wideband Rectangular Microstrip Patch Antenna Using L-Probe Feeding System* [online]. Praha, 2007 [cit. 2017-05-15].
- [10] *Datasheet: PATCH-25-V2* [online]. In: . s. 4 [cit. 2016-12-10]. Dostupné z: http://poynting.tech/wp-content/uploads/2015/10/PATCH-25_TechnicalSpecification_Document.pdf

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

RSSI	Received Signal Strength Indicator
A	Šířka flíčku
B	Délka flíčku
L	Umístění koaxiálního napájení
e_r	Relativní permitivita
e_{ef}	Efektivní relativní permitivita
h	Výška vzduchové mezery
Z_0	Charakteristická impedance koaxiálního vedení
Z_{IN}	Impedance na hraně flíčku
c	Rychlost světla
λ	Vlnová délka
k	Vlnové číslo
S11	Reálná část činitele odrazu na vstupu antény
f	Frekvence
APF	Šířka parazitního flíčku
BPF	Délka parazitního flíčku
DIST	Vzdálenost mezi flíčky
FSL	Útlum šíření volným prostorem
ρ	Činitel odrazu
δ	Činitel stojatého vlnění

A HODNOTY Z TERÉNNÍHO MĚŘENÍ

Hodnoty naměřené pro vzdálenost 0,55m:

	ČA1		ČA2			ČA1		ČA2			ČA1		ČA2	
Pozice antény A2	Tag	RSSI	Tag	RSSI	Pozice antény B2	Tag	RSSI	Tag	RSSI	Pozice antény C2	Tag	RSSI	Tag	RSSI
	81	-34	81	-30		82	-36	82	-32		80	-36	80	-30
	7E	-36	7E	-32		7F	-36	7F	-34		83	-36	82	-31
	7F	-38	7F	-32		83	-40	80	-36		7F	-46	7F	-34
	82	-46	82	-34		7E	-46	81	-36		81	-52	83	-34
	83	-46	80	-46		80	-46	83	-36		82	-52	7E	-42
	80	-48	83	-51		81	-46	7E	-42		7E	NaN	81	NaN
Pozice antény A1	Tag	RSSI	Tag	RSSI	Pozice antény B1	Tag	RSSI	Tag	RSSI	Pozice antény C1	Tag	RSSI	Tag	RSSI
	7E	-34	7E	-30		7F	-34	7F	-30		83	-32	83	-30
	81	-36	81	-32		82	-34	7E	-32		80	-34	7F	-32
	82	-38	7F	-34		81	-38	82	-34		82	-42	80	-36
	7F	-42	82	-40		80	-42	83	-34		7F	-48	82	-40
	80	-43	83	-42		83	-44	80	-40		81	NaN	7E	-42
	83	-48	80	NaN		7E	NaN	81	-42		7E	NaN	81	NaN

Hodnoty naměřené pro vzdálenost 65 cm:

ČA1			ČA2			ČA1			ČA2		
Pozice antény A2	Tag	RSSI	Tag	RSSI	RSSI	Pozice antény B2	Tag	RSSI	Tag	RSSI	RSSI
	7E	-38	81	-30	-30		83	-36	82	-30	-30
	7F	-38	7E	-31	-32		7F	-38	7F	-32	-32
	81	-38	7F	-32	-32		82	-40	81	-32	-32
	82	-40	82	-32	-32		80	-46	80	-34	-34
	80	-43	83	-42	-42		81	-48	83	-34	-34
	83	-43	80	-46	-46		7E	-48	7E	-36	-36

ČA1			ČA2			ČA1			ČA2		
Pozice antény A1	Tag	RSSI	Tag	RSSI	RSSI	Pozice antény B1	Tag	RSSI	Tag	RSSI	RSSI
	81	-36	7E	-30	-30		82	-36	7F	-30	-30
	7E	-38	81	-30	-30		7F	-40	7E	-31	-31
	82	-44	7F	-32	-32		81	-42	82	-32	-32
	7F	-44	82	-34	-34		83	-44	83	-32	-32
	80	-48	83	-36	-36		7E	-44	80	-36	-36
	83	-48	80	-46	-46		80	-44	81	-36	-36

ČA1			ČA2			ČA1			ČA2		
Pozice antény C2	Tag	RSSI	Tag	RSSI	RSSI	Pozice antény C1	Tag	RSSI	Tag	RSSI	RSSI
	83	-34	80	-30	-30		80	-34	83	-30	-30
	80	-40	7F	-32	-32		83	-34	7F	-32	-32
	7F	-42	82	-32	-32		82	-42	80	-34	-34
	82	-52	83	-34	-34		7F	-54	82	-36	-36
	81	NaN	7E	-48	-48		7E	NaN	7E	-38	-38
	7E	NaN	81	-50	-50		81	NaN	81	NaN	NaN

určeno jednoznačně správně

určeno nejednoznačně

určeno chybně

B Vliv tekutiny na RSSI přijímaného signálu

Testování vlivu tekutiny bylo prováděno ze vzdálenosti 55 cm a bylo omezeno pouze na dva nosiče, jak je možné vidět na Obrázku B.1. Na stejném obrázku je také možné sledovat, jakým způsobem byly přidávány kelímky s vodou. Hodnoty naměřené při tomto pokusu jsou uvedeny v následující Tabulce B.1. Na bližším nosiči byl umístěn tag s číslem 83 a na vzdálenějším tag s číslem 80.

Tabulka B.1: Hodnoty naměřené při testovacím měření.

Podmínka	Hodnota RSSI tagu 80 [dBm]	Hodnota RSSI tagu 83 [dBm]
bez vody	-34	-32
1 řada vody	-34	-36
2 řady vody	-31	-38
3 řady vody	-36	-38



Obrázek B.1: Znárodnění pokusu a přidávání jednotlivých řad vody.

Z tabulky je vidět, že tagy, u kterých není kelímek s vodou, nabývají hodnot -34 až -31 dBm. Tagy, u kterých voda je, nabývají hodnot -38 až -36 dBm. Voda tedy v těchto případech způsobuje útlum 2 až 6 dB. I s tímto útlumem bylo možné tagy bez problémů rozeznat.

C SKRIPT V MATLABU

```
e_r = 1;           % relativni permitivita dielektrika
h = 10e-3;        % vyska dielektrika [m]
f = 0.915e9;      % frekvence [Hz]
Z0 = 50;          % charakteristicka impedance [Ohm]
c = 3e8;          % rychlost svetla [m/s]

% sirka pasku [m]
W = (c/(2*f))*sqrt(2/(e_r+1))
%efektivni permitivita dielektrika
e_ef = 0.5*(e_r+1) + 0.5*(e_r-1)/sqrt(1+12*h/W);
% prodlouzeni kvuli rozptylovym polim [m]
dL=h*(0.412*((e_ef+0.3)*((W/h)+0.264))/((e_ef-0.258)*((W/h)+0.8)));
% slkutečna délka flíčku [m]
L = c/(2*f*sqrt(e_ef))-2*dL
% vlnová délka [m]
lam = c/f;
% vlnové číslo
k0 = (2*pi)/lam;
% pomocná proměná pro výpočet impedance na začátku flíčku
G1 = (W/(120*lam))*(1-(1/24)*((k0*h)^2));
% vstupní impedance [Ohm]
Zin = 1/(2*G1)
% vzdálenost umístění koaxiálního napájení flíčku [m]
y0 = (L/pi)*acos(sqrt(Z0/Zin))
```