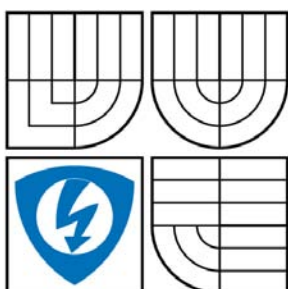


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

## ANTÉNY POZEMNÍ STANICE PRO DRUŽICOVOU KOMUNIKACI V PÁSMECH VKV A UKV

GROUND STATION ANTENNAS FOR SATELLITE COMMUNICATION IN VHF AND UHF BANDS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

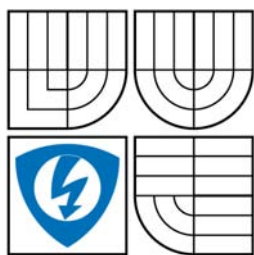
IVAN ERVENKA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. PAVEL VYSKOČIL

BRNO 2009



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor  
Elektronika a sdělovací technika

**Student:** Ivan Červenka

**ID:** 100272

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2008/2009

## NÁZEV TÉMATU:

**Antény pozemní stanice pro družicovou komunikaci v pásmech VKV a UKV**

## POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Prostudujte problematiku návrhu a konstrukce Yagiho antén s kruhovou polarizací. Uvažovaná frekvenční pásma jsou 145 MHz a 435 MHz. Po návrhu antén odsimulujte jejich parametry ve vhodném programu (NEC). Uvažujte návrh krátkých antén.

Navržené kruhové Yagiho antény realizujte. Proveďte praktické měření jejich parametrů. Změřené parametry antén porovnejte s výsledky simulací.

## DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] MATUSZCZYK, J. Antény prakticky. Praha: BEN - technická literatura, 2002.

[2] NOVÁK, Z. Elektromagnetické vlny, antény a vedení. Elektronické skriptum. Brno: FEKT VUT v Brně, 2006.

**Termín zadání:** 9.2.2009

**Termín odevzdání:** 5.6.2009

**Vedoucí práce:** Ing. Pavel Vyskočil

**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 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.

## **ABSTRAKT**

Témou bakalárskej práce je preštudovať problematiku Yagiho krížových antén s kruhovou polarizáciou, ich návrhy simulácie a spraviť praktickú realizáciu. Krížové antény s kruhovou polarizáciou majú byť navrhnuté pre frekvenčné pásmo  $f=145$  MHz a  $f=435$  MHz. Táto práca je zameraná hlavne na simuláciu prvkov, ich vplyv na výsledné vlastnosti antény a dosiahnutie optimálneho návrhu antény a praktické overenie simulácií.

## **ABSTRACT**

Subject of my bachelor's project is to study Yagi's problems of cross antennas with circle polarization, their designs of simulation and construction. Cross antennas with circle polarization should be designed for frequency band  $f=145$  MHz and  $f=435$  MHz. This project is oriented mainly on components simulation, their influence on final character of antennae, to reach an optimal antennae design and practical tests of simulations.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

krížová anténa, kruhová polarizácia

## **KEYWORDS**

cross antennae, circle polarization

Červenka, I. *Antény pozemní stanice pro družicovou komunikaci v pásmech VKV a UKV* .  
Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií.  
Ústav radioelektroniky, 2009. 31 s., 5 s. příloh. Bakalářská práce. Vedoucí práce: ing. Pavel  
Vyskočil

## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Antény pozemní stanice pro družicovou komunikaci v pásmech VKV a UKV 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 .....

.....

(podpis autora)

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji vedoucímu bakalářské práce ing. Pavlovi Vyskočilovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne .....

.....

(podpis autora)

# OBSAH

<b>Zoznam obrázkov:</b>	<b>ix</b>
<b>Zoznam tabuliek:</b>	<b>x</b>
<b>1 Úvod</b>	<b>1</b>
<b>2 Yagiho anténa</b>	<b>2</b>
2.1 Príjmacie antény .....	2
2.2 Zloženie yagiho antény .....	2
2.3 Polarizácia antén .....	4
<b>3 Krížová Yagiho anténa</b>	<b>5</b>
3.1 Spôsob realizácie .....	5
3.2 Fázovací a zlučovací obvod antény .....	5
<b>4 Návrh Yagiho antény</b>	<b>8</b>
4.1 Výpočet jednotlivých prvkov Yagiho antén .....	8
4.2 Simulácie Yagiho antén: .....	9
4.3 Optimalizácia .....	16
<b>5 Konštrukcia krížových yagiho antén</b>	<b>24</b>
5.1 Materiál .....	24
5.2 Spojovanie jednotlivých prvkov .....	24
5.3 Elektrické zapojenie krížových antén .....	24
<b>6 Meranie antény</b>	<b>26</b>
<b>7 Záver</b>	<b>29</b>
<b>8 Literatúra</b>	<b>30</b>
<b>Zoznam Príloh</b>	<b>31</b>

## ZOZNAM OBRÁZKOV:

Obr. 2.1	Príjmacia anténa v poli rovinatej vlny (prevzaté z[1]).	2
Obr. 2.2	Anténa Yagi + označenie (prevzaté z [1]).	3
Obr. 2.3	Druhy dipólov (prevzaté z [1]).	3
Obr. 3.3	Zlučovacie obvod LC (prevzaté z [4]).	6
Obr. 3.4	Konštrukcia zlučovača tvoreného smerovým vedením (prevzaté z [4]).	6
Obr. 3.5	Konštrukcia zlučovača tvoreného smerovým vedením(prevzaté z[4])	6
Obr. 3.6	Konštrukcia zlučovača tvoreného hybridným obvodom (prevzaté z [4]).	7
Obr. 3.7	Zlúčenie dvoch dipólov	7
Obr. 4.1	Smerová charakteristika horizontálna 5 prvková krížová Yagiho anténa	10
Obr. 4.2	Závislosť impedancie na frekvencii pre 5 prvkovú krížovú Yagiho anténu	10
Obr. 4.3	Závislosť pomeru stojatých vln na frekvencii krížovej yagiho antény 5 prvkov	11
Obr. 4.4	Smerové charakteristiky v horizontálnej i vertikálnej rovine pre 5 prvkovú krížovú Yagiho anténu	11
Obr. 4.5	Smerová charakteristika horizontálna 6 prvková krížová Yagiho anténa	12
Obr. 4.6	Závislosť pomeru stojatých vln na frekvencii krížovej yagiho antény 6 prvkov	12
Obr. 4.7	Závislosť impedancie na frekvencii pre 6 prvkovú krížovú Yagiho anténu	13
Obr. 4.8	Smerové charakteristiky v horizontálnej i vertikálnej rovine pre 6 prvkovú krížovú Yagiho anténu	13
Obr. 4.9	Smerová charakteristika horizontálna 10 prvková krížová Yagiho anténa	14
Obr. 4.10	Závislosť pomeru stojatých vln na frekvencii krížovej yagiho antény 10 prvkov	14
Obr. 4.11	Závislosť impedancie na frekvencii pre 10 prvkovú krížovú Yagiho anténu	15
Obr. 4.12	Smerové charakteristiky v horizontálnej i vertikálnej rovine pre 10 prvkovú krížovú Yagiho anténu	15
Obr. 4.13	Závislosť pomeru stojatých vln na frekvencii krížovej yagiho antény 5 prvkov	16
Obr. 4.14	Závislosť impedancie na frekvencii pre 5 prvkovú krížovú Yagiho anténu	17
Obr. 4.15	Smerová charakteristika horizontálna 5 prvková krížová Yagiho anténa	17
Obr. 4.16	Smerové charakteristiky v horizontálnej i vertikálnej rovine pre 5 prvkovú krížovú Yagiho anténu	18
Obr. 4.17	závislosť pomeru stojatých vln na frekvencii krížovej yagiho antény 6 prvkov	19
Obr. 4.18	Závislosť impedancie na frekvencii pre 6 prvkovú krížovú Yagiho anténu	19

Obr. 4.19 Smerová charakteristika horizontálna 6 prvková krížová Yagiho anténa .....	20
Obr. 4.20 Smerové charakteristiky v horizontálnej i vertikálnej rovine pre 6 prvkovú krížovú Yagiho anténu .....	20
Obr. 4.21 závislosť pomeru stojatých vln na frekvencii krížovej yagiho antény 10 prvkov .....	21
Obr. 4.22 Závislosť impedancie na frekvencii pre 10 prvkovú krížovú Yagiho anténu	22
Obr. 4.23 Smerová charakteristika horizontálna 10 prvková krížová Yagiho anténa ....	22
Obr. 4.24 Smerové charakteristiky v horizontálnej i vertikálnej rovine pre 10 prvkovú krížovú Yagiho anténu .....	23
Obr. 5.1 Elektrické zapojenie krížovej Yagiho antény pre frekvenciu 145 MHz .....	24
Obr. 5.2 Elektrické zapojenie krížovej Yagiho antény pre frekvenciu 435 MHz .....	25
Obr. 6.1 Závislosť koeficienta odrazu na frekvencií 6 prvkovej krížovej Yagiho antény .....	26
Obr. 6.2 Závislosť pomeru stojatých vln na frekvencií 6 prvkovej krížovej Yagiho antény .....	27
Obr. 6.3 Závislosť koeficientu odrazu na frekvencií 6 prvkovej krížovej Yagiho antény .....	27
Obr. 6.4 Závislosť pomeru stojatých vln na frekvencií 6 prvkovej krížovej Yagiho antény .....	28



## ZOZNAM TABULIEK:

Tabulka 4.1 Výstupné informácie pre 5 prvkovú anténu vypočítané programom Yagi Calculator .....	8
Tabuľka 4.2 Výstupné informácie pre 6 prvkovú anténu vypočítané programom Yagi Calculator .....	9
Tabuľka 4.3 Výstupné informácie pre 10 prvkovú anténu vypočítané programom Yagi Calculator .....	9
Tabuľka 4.4 Optimalizované prvky pri $f=145,9$ MHz, 5 prvková anténa .....	16
Tabuľka 4.5 Optimalizované prvky pri $f=145,9$ MHz, 6 prvková anténa .....	18
Tabuľka 4.6 Optimalizované prvky pri $f=435,3$ MHz 10 prvková anténa .....	21

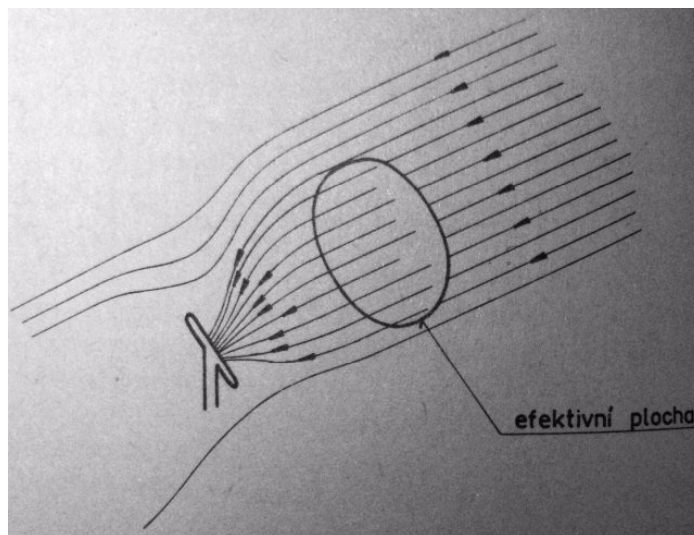
# 1 ÚVOD

Témou bakalárskej práce je preštudovať problematiku Yagiho krížových antén s kruhovou polarizáciou, ich návrhy, simulácie a spraviť praktickú realizáciu. Krížové antény s kruhovou polarizáciou sa veľmi často používajú pre príjem, vysielanie z družíc. Antény podľa zadania majú byť navrhnuté pre frekvenčné pásmo  $f = 145$  MHz a  $f = 435$  MHz. Táto práca je zameraná hlavne na simuláciu prvkov, ich vplyv na výsledné vlastnosti antény, dosiahnutie optimálneho návrhu antény a praktickým skonštruovaním overiť simulácie.

## 2 YAGIHO ANTÉNA

### 2.1 Príjmacie antény

Príjmacia anténa odoberá z elektromagnetického poľa časť jeho energie a predáva ho do dipólu. Anténa svojou prítomnosťou deformuje pole dopadajúcej vlny tak, že tok energie smeruje priamo do svoriek antény. Na obrázku je principiálne zobrazený tok energie v rovinnej vlně v prítomnosti antény. Je vidieť, že množstvo energie, ktorá prejde do antény je úmerná veľkosti vyznačenej plochy tzv. efektívnej plochy antény. Veľkosť tejto plochy závisí na miere deformácie dopadajúceho poľa. Deformáciu spôsobuje elektrický prúd, ktorý sa v anténe indukuje a pôsobí na pole späť[1].

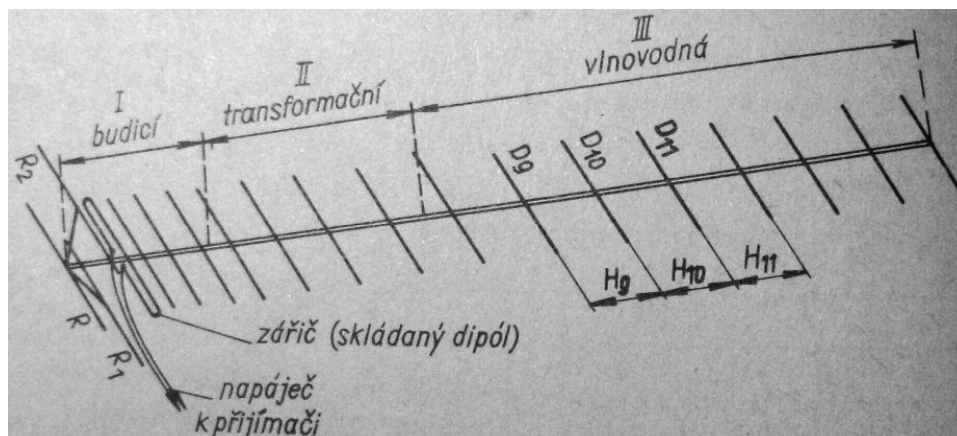


Obr. 2.1 Príjmacia anténa v poli rovinnej vlny (prevzaté z[1]).

### 2.2 Zloženie yagiho antény

Anténa typu Yagi sa skladá z troch základných častí :

1. Reflektor
2. Dipól (Dipólový žiarič)
3. Direktor



Obr. 2.2 Anténa Yagi + označení (prevzaté z [1]).

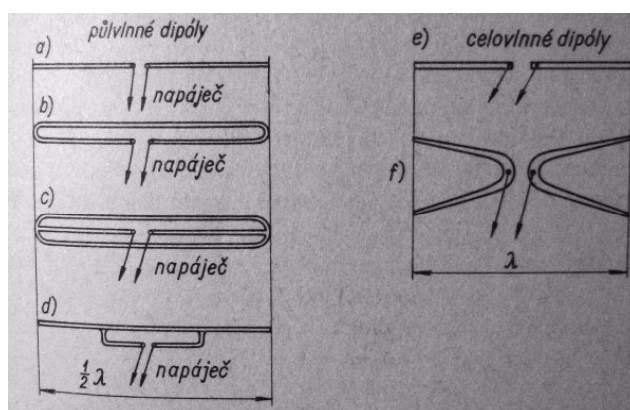
1. Reflektor u přijímačej antény ma za úlohu odrážať tú časť energie ktorá nebola zachytená dipólom a tým zväčšiť zisk antény. „Délka jednoprvkového reflektoru a jeho vzdálenost od žařiče musí být takové, aby proudy procházející reflektorem byli v protifázi vzhledem k žařiči neboť pak dochází k odrazu. Reflektor tedy musí být vzdálen  $0.15 \lambda$  až  $0.25 \lambda$  od žařiče a musí být o něco delší než  $0.5 \lambda$ “[1].

2. Dipól môže byť buď: I) polvlňný

- a– jednoduchý
- b– skladaný
- c– skladaný s dvojitým ramenom
- d– napájaný bočnikom

II) celovlnný

- e – jednoduchý
- f – skupinový



Obr. 2.3 Druhy dipólov (prevzaté z [1]).

Pri konštrukciách typu Yagi sa vo väčšine prípadov používajú polvlňné dipóly skladané pretože polvlňný dipól jednoduchý má malú impedanciu. „Zisk žařiče nemá vpliv na zisk celé antény, významný je však vliv žařiče na výslednou impedanci“[1]

Ramená dipólu vodiivo spájajú miesta v priestore medzi, ktorými je v poli rovinatej vlny elektrické napätie úmerné intenzite poľa a rozmeru dipólu. Toto napätie vyvoláva elektrický prúd dipólu. Prúdový vzruch sa vodičom šíri konečnou rýchlosťou. Ak je dipól tak dlhý, že doba za ktorú prúd prejde z jedného konca na druhý koniec dipólu je rovnaká ako perióda kmitu elektromagnetického vlnenia vravíme že dipól má rezonančnú dĺžku. Osamotený tenký dipól je v rezonancii keď je jeho dĺžka násobkom polovice vlnovej dĺžky prijmanej vlny. Dipóly majú rôznu impedanciu napríklad  $75\Omega$ ,  $200\Omega$ ,  $300\Omega$ . Impedancia dipólu a impedancia napájajúca sa prispôsobuje cez takzvaný balun, ktorý určitým pomerom pretransformuje impedanciu dipólu na impedanciu napájacieho kábla.

3. Direktory zabezpečujú smerovosť antény. Čím väčší počet direktorov tým anténa vysiela alebo prijma signál v užšom pásme je smerovejšia a zvyšuje sa jej zisk. Zvyšovanie počtu direktorov má zmysel len do  $8\lambda$  celkovej dĺžky antény. Nad touto hodnotou sa zisk nezvyšuje nejako enormne a je prakticky zanedbateľný. [2]

## 2.3 Polarizácia antén

Polarizácia popisuje ako je u vlnenia orientovaný vektor intenzity elektrického poľa. Polarizácia antény je totožná s polarizáciou elektromagnetických vln, pričom elektromagnetickú vlnu tvorí elektrické a magnetické pole, ktoré sú na seba kolmé.

- Polarizácia môže byť
- a)– horizontálna
  - b)– vertikálna
  - c)– eliptická (kruhová) – pravotočivá  
– ľavotočivá

a) nastáva keď sú elektrické siločiarly vodorovné k zemi

b) nastáva keď sú elektrické siločiarly kolmé k zemi

c) intenzita elektromagnetického poľa má konštantnú veľkosť, ale jej smer sa otáča s osou v smere polarizovanej vlny.

### 3 KRÍŽOVÁ YAGIHO ANTÉNA

Krížová Yagiho anténa nám slúži ako anténa pre príjem kruhovo polarizovanej vlny. Krížovú anténu prakticky dostaneme prekřížením dvoch rovnakých yagiho antén. Prekříženie antén môže byť realizované dvomi rôznymi spôsobmi

#### 3.1 Spôsob realizácie

- Kolmé prekříženie bez posunu prvkov(1)
- Kolmé prekříženie s posuvom prvkov voči sebe(2)

1). Vzniká prekřížením dvoch antén, ktoré sú na seba kolmé a jednotlivé prvky antény nie sú voči sebe posunuté. V takomto prípade je však pri konštrukcii dôležité použiť fázovací obvod, ktorý bude fázy jednotlivých antén posúvať(obrať).

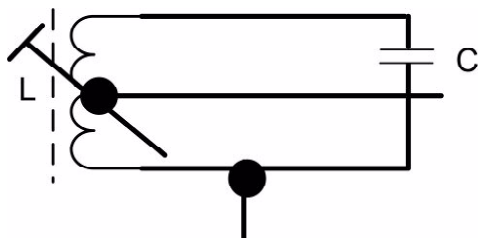
2). Vzniká prekřížením dvoch antén, ktoré sú na seba kolmé a jednotlivé prvky antén sú voči sebe posunuté o  $\frac{\lambda}{4}$  vlnovej dĺžky antény. V tomto prípade je však treba signály z oboch antén zlúčiť dohromady.

#### 3.2 Fázovací a zlučovací obvod antény

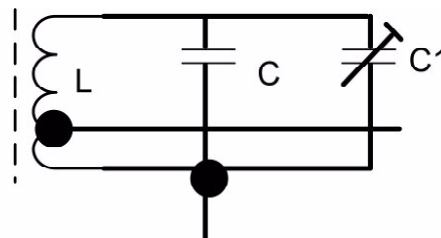
Fázovací obvod (fázovač) - je tvorený paralelne zapojenou cievkou a kondenzátorom. Fázovací obvod môže mať dva spôsoby realizácie:

1. S trvalo naladeným kmitočtom  $f_0$  . V zapojení sa používa nemenný kondenzátor alebo cievka, ktoré sú umiestnené priamo na plošnej doske. Veľkou výhodou je stabilita kmitočtu. Nevýhodou je však nemennosť kmitočtu  $f_0$  .

2. S plynule laditeľnými prvkami buď L obr a) alebo C obr b).Zmenou polohy jadra sa indukčnosť cievky dá meniť až o 25%. Pri zmene kapacity sa do obvodu paralelne pridáva ešte kondenzátor  $C_1$ , ktorý zabezpečuje lepšiu stabilitu obvodu. Výhodou týchto zapojení je meniteľnosť kmitočtu  $f_0$  . Nevýhodou je však menšia stabilita kmitočtu  $f_0$  .



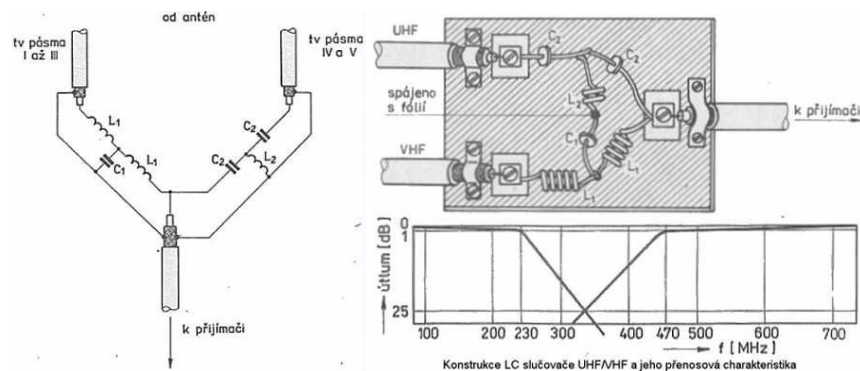
Obr. 3.1 Fázovací obvod s laditeľnou L



Obr. 3.2 Fázovací obvod s laditeľným C

Zlučovací obvod(zlučovač) – v praxi existujú dva základné spôsoby zlúčenia:

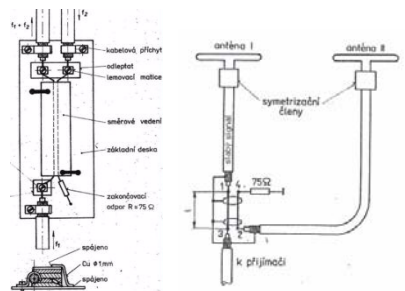
1.obvody LC(obr4) –použitie kanálových zadrží, priepustí, selektívne zlučovače tento typ zlučovača zlučuje rôzne typy kmitočtov, ale nie je schopný zlúčiť dva susedné alebo dokonca dva rovnaké kmitočty



Obr. 3.3 Zlučovací obvod LC (prevzaté z [4]).

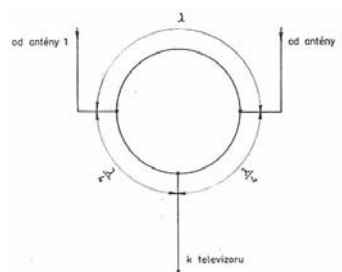
2.využitím prenosových vlastností vedenia:

a. zlučovač tvorený smerovým vedením – tento typ je vhodný pre zlúčenie slabého signálu so silným. Zlúčiť sa môžu dva signály s rovnakým kmitočtom



Obr. 3.4 Konštrukcia zlučovača tvoreného smerovým vedením (prevzaté z [4]).

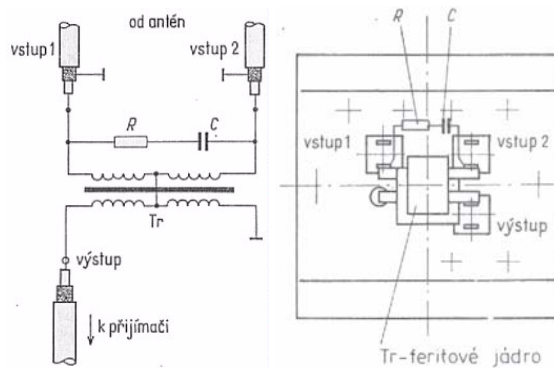
b. zlučovač tvorený kruhovým vedením- tento druh je vhodný pre zlúčenie rovnocenných signálov s blízkyimi kmitočtami. Dĺžka kmitočtu je vzťahovaná k strednému kmitočtu



Obr. 3.5 Konštrukcia zlučovača tvoreného smerovým vedením(prevzaté z[4])

c. hybridný obvod- transformátor je na dvojtvorovom feritovom jadre. Jeho výhodou je veľká šírka pásma (50 MHz -800 MHz) a priechodzí útlm je asi 3 dB. Tento typ je vhodný k zlučovaniu silnejších rovnocenných signálov. Jeho oddeľvací útlm nie

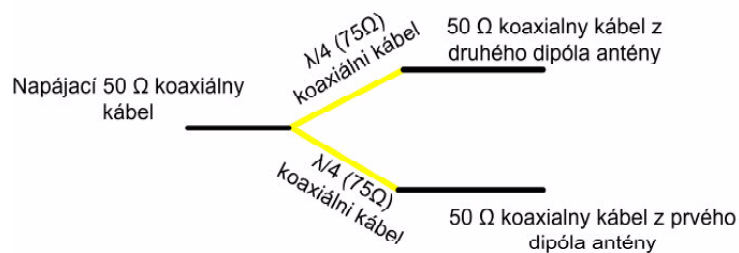
je však príliš veľký z toho vyplýva, že pri zlučovaní blízkych kmitočtov dochádza k strate kvality signálu



Obr. 3.6 Konštrukcia zlučovača tvoreného hybridným obvodom (prevzaté z [4]).

d) smerová väzba

e)  $\frac{\lambda}{4}$  rovnaké úseky vedenia. Po impedančnom prispôbení obidvoch dipólov na 50 sa zlúčenie vytvorí dvoma koaxiálnymi vodičmi o dĺžke  $\frac{\lambda}{4}$  s impedanciami 75  $\Omega$ , ktoré sa spoja a na výstupe nasledne dostávame požadovaných 50 [6]



Obr. 3.7 Zlúčenie dvoch dipólov

f) kruhový zlučovač  $6 \cdot \frac{\lambda}{4}$ ,  $3 \cdot \frac{\lambda}{4}$



## 4 NÁVRH YAGIHO ANTÉNY

Pre návrh Yagiho antény bol po preštudovaní odbornej literatúry a konzultovaní s vedúcim bakalárskej práce použitý program Yagi Calculator [3], ktorý je voľne šíriteľný na internete. Od klasického návrhu bolo ustúpené hlavne preto, že je moc zložitý a empirickými vzťahmi sa dala navrhnúť maximálne trojprvková anténa, ktorá nebola vyhovujúca s ohľadom na požiadavky zadania.

### 4.1 Výpočet jednotlivých prvkov Yagiho antén

1. V programe Yagi Calculator boli nastavené vstupné informácie:

- frekvencia  $f = 145$  MHz
- vlnová dĺžka = 2068 mm
- priemer ráhna = 25 mm
- priemer direktorov = 6 mm
- priemer dipólu = 6 mm
- počet direktorov = 3

Tabulka 4.1 Výstupné informácie pre 5 prvkovú anténu vypočítané programom Yagi Calculator

		Dĺžka(mm)		Pozícia na ráhne (mm)	
reflektor		1018		30	
Dipól skladaný		999		444	
Dipól jednoduchý		980		444	
Direktor	Dĺžka (mm)	Medzera (mm)	Pozícia na ráhne (mm)	Zisk (dBd)	Zisk (dBi)
1	934	155	599	4,9	7,1
2	925	372	971	6,6	8,7
3	917	445	1415	7,9	10,0

2. V programe Yagi Calculator boli nastavené vstupné informácie:

- frekvencia  $f = 145$  MHz
- vlnová dĺžka = 2068 mm
- priemer ráhna = 25 mm
- priemer direktorov = 6 mm
- priemer dipólu = 6 mm
- počet direktorov = 4

Tabuľka 4.2 Výstupné informácie pre 6 prvkovú anténu vypočítané programom Yagi Calculator

		Dĺžka(mm)		Pozícia na ráhne (mm)	
reflektor		1018		30	
Dipól skladaný		999		444	
Dipól jednoduchý		980		444	
Direktor	Dĺžka (mm)	Medzera (mm)	Pozícia na ráhne (mm)	Zisk (dBd)	Zisk (dBi)
1	934	155	599	4,9	7,1
2	925	372	971	6,6	8,7
3	917	445	1415	7,9	10,0
4	909	517	1932	8,9	11,1

3. V programe Yagi Calculator boli nastavené vstupné informácie:

- frekvencia  $f = 435$  MHz
- vlnová dĺžka = 689 mm
- priemer ráhna = 25 mm
- priemer direktorov = 6 mm
- priemer dipólu = 6 mm
- počet direktorov = 8

Tabuľka 4.3 Výstupné informácie pre 10 prvkovú anténu vypočítané programom Yagi Calculator

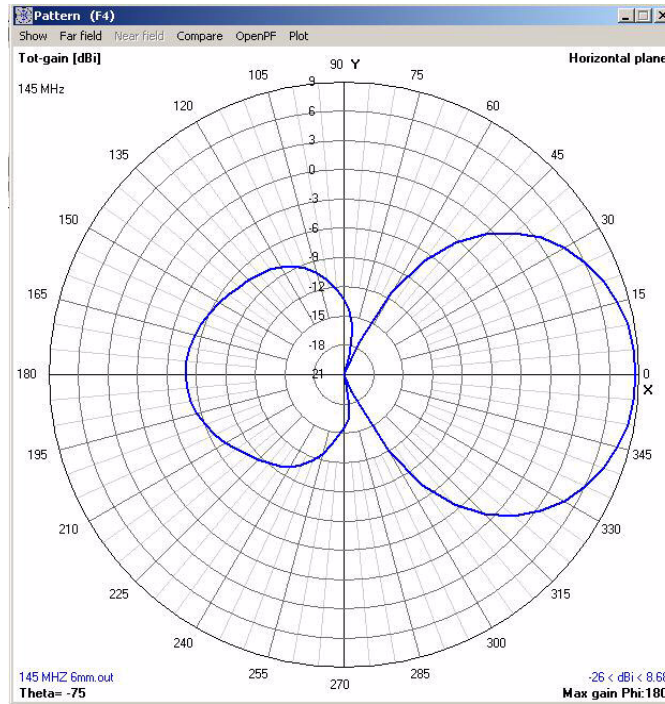
		Dĺžka(mm)		Pozícia na ráhne (mm)	
reflektor		1018		30	
Dipól skladaný		999		444	
Dipól jednoduchý		980		444	
Direktor	Dĺžka (mm)	Medzera (mm)	Pozícia na ráhne (mm)	Zisk (dBd)	Zisk (dBi)
1	309	52	220	5,3	7,4
2	306	124	334	6,8	8,9
3	302	148	492	8,0	10,2
4	299	172	664	9,0	11,2
5	297	193	857	9,9	12,0
6	294	207	1064	10,6	12,8
7	291	217	1281	11,3	13,4
8	289	227	1508	11,8	14,0

## 4.2 Simulácie Yagiho antén:

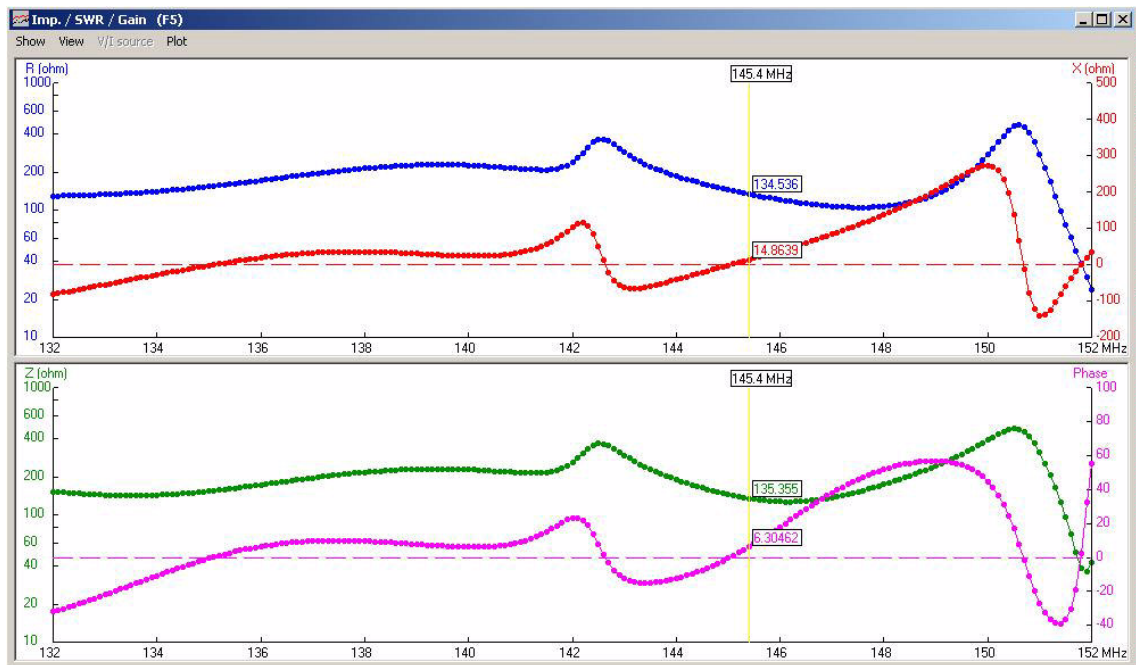
1. Výsledky simulácii z programu 4NEC2 pre krížovú Yagiho anténu pre frekvenciu  $f = 145$  MHz 5 prvkovú

- Zisk antény: 8,68 dBi
- Pomer stojatých vln SWR: 1,45 pri frekvencii 145,4 MHz

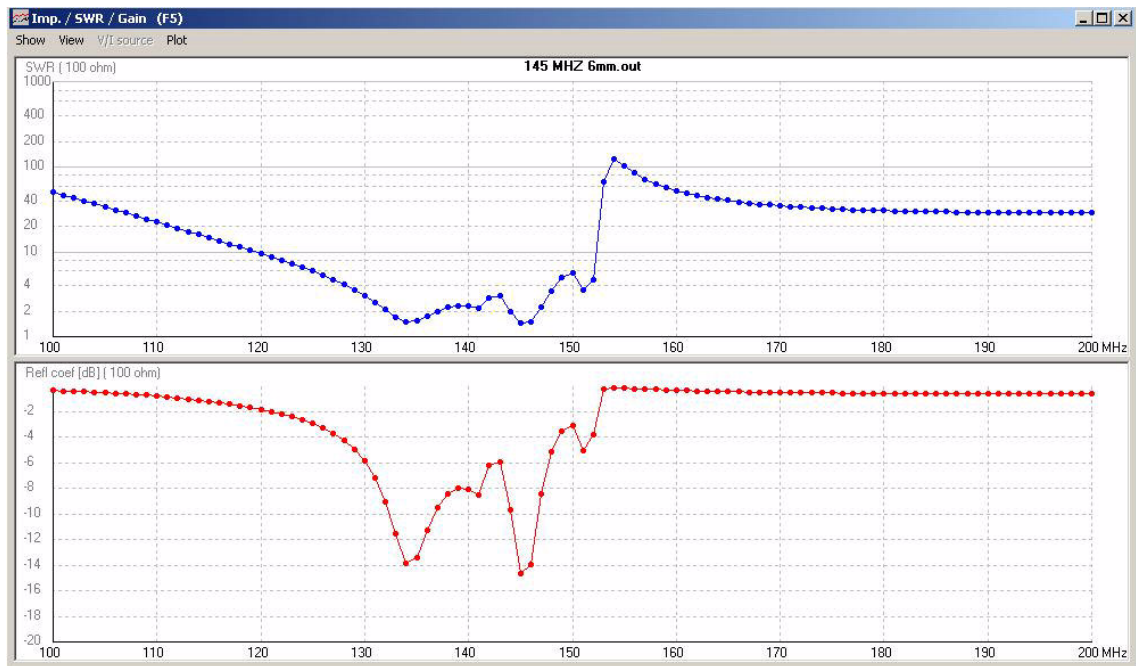
- Koeficient odrazu: -15,08 dB
- Impedancia: 134 ohm



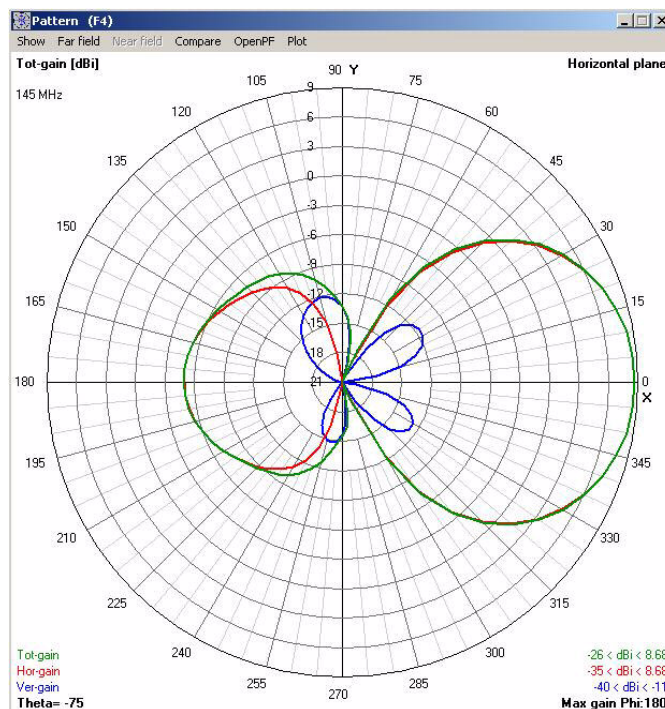
Obr. 4.1 Smerová charakteristika horizontálna 5 prvková krížová Yagiho anténa



Obr. 4.2 Závislosť impedancie na frekvencii pre 5 prvková krížová Yagiho anténu



Obr. 4.3 Závislosť pomeru stojatých vln na frekvencii krížovej yagiho antény 5 prvkov

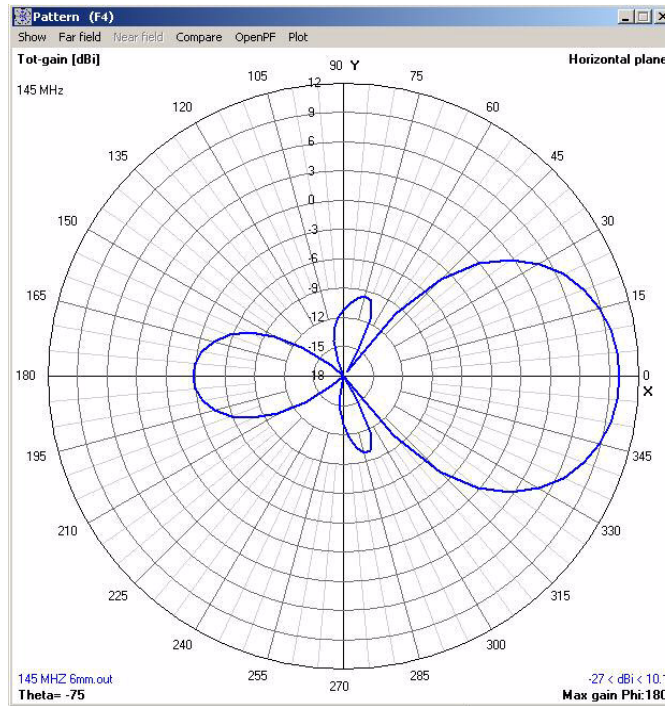


Obr. 4.4 Smerové charakteristiky v horizontálnej i vertikálnej rovine pre 5 prvkovú krížovú Yagiho anténu

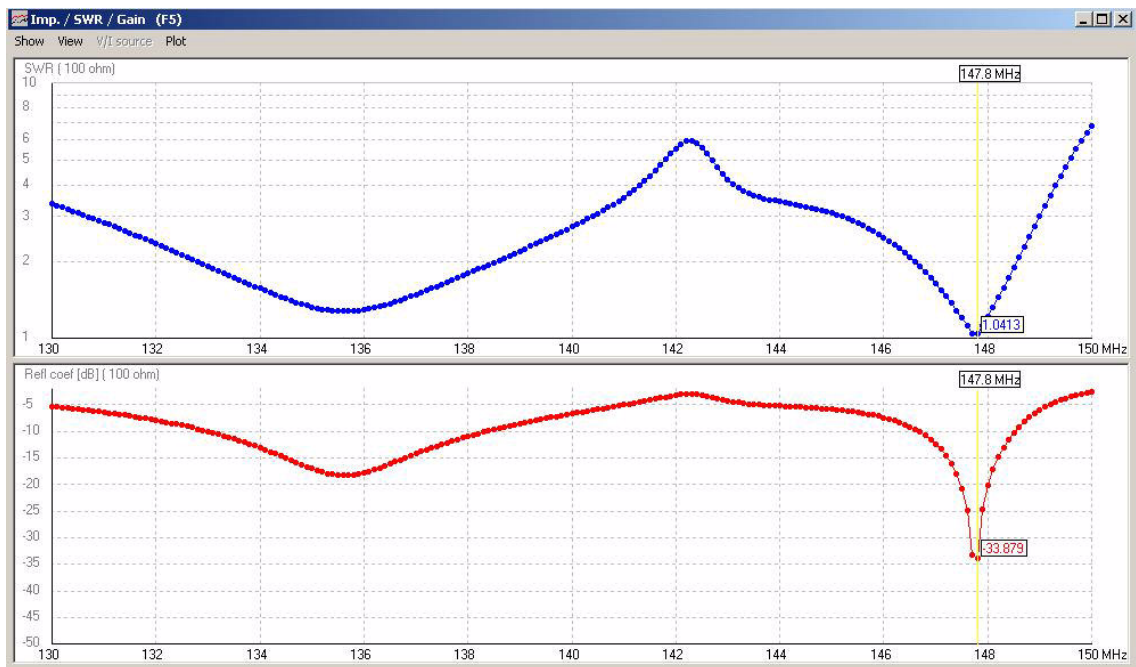
2. Výsledky simulácii z programu 4NEC2 pre krížovú Yagiho anténu pre frekvenciu  $f=145$  MHz 6 prvkovú

- Zisk antény: 10,1 dBi
- Pomer stojatých vln SWR: 1,04 pri frekvencii 147,8 MHz

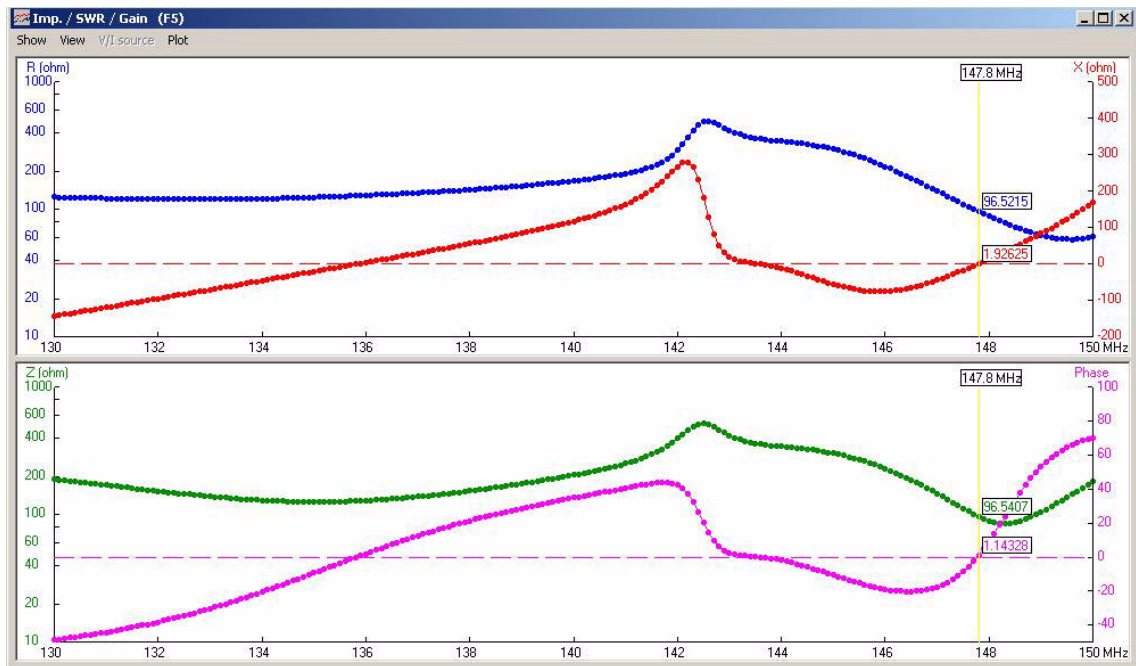
- Koeficient odrazu: -33,88 dB
- Impedancia: 96 ohm



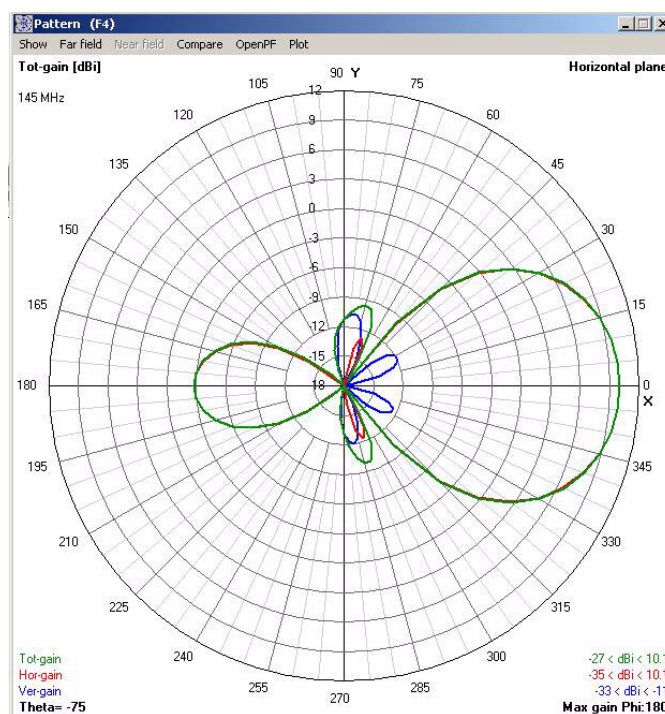
Obr. 4.5 Smerová charakteristika horizontálna 6 prvková krížová Yagiho anténa



Obr. 4.6 Závislosť pomeru stojatých vln na frekvencii krížovej yagiho antény 6 prvkov



Obr. 4.7 Závislosť impedancie na frekvencii pre 6 prvkovú krížovú Yagiho anténu

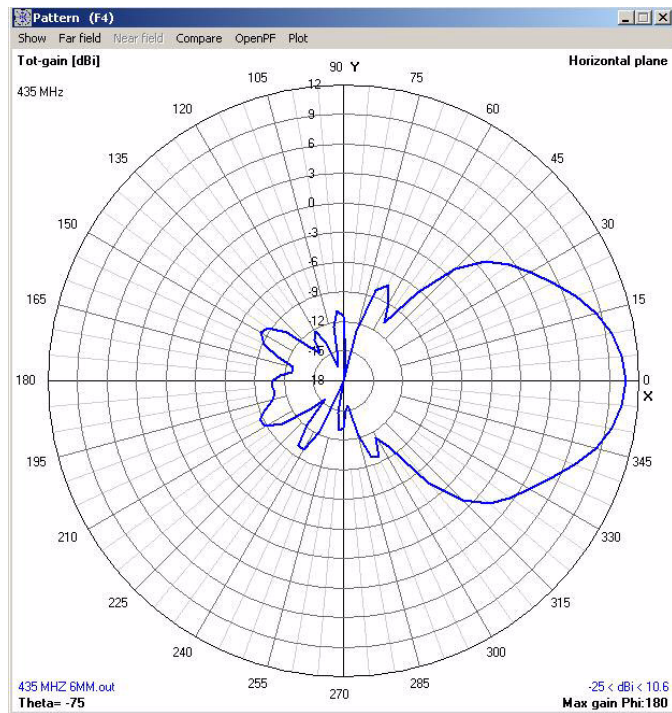


Obr. 4.8 Smerové charakteristiky v horizontálnej i vertikálnej rovine pre 6 prvkovú krížovú Yagiho anténu

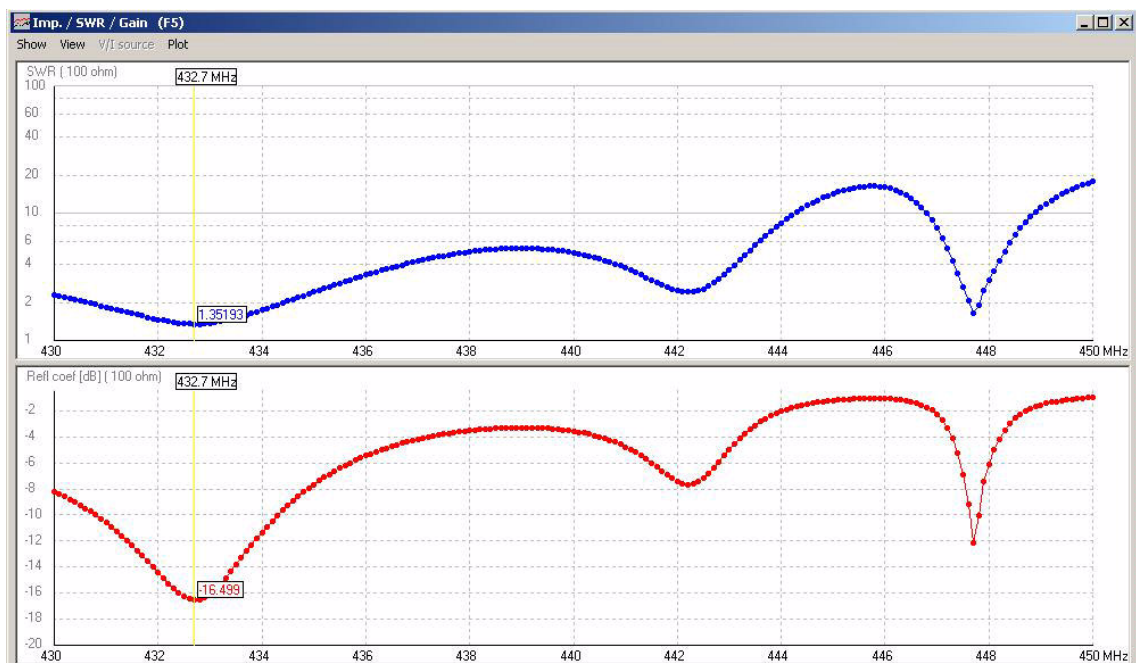
3. Výsledky simulácii z programu 4NEC2 pre krížovú Yagiho anténu pre frekvenciu  $f = 435$  MHz 10 prvkov

- Zisk antény: 10,6 dBi

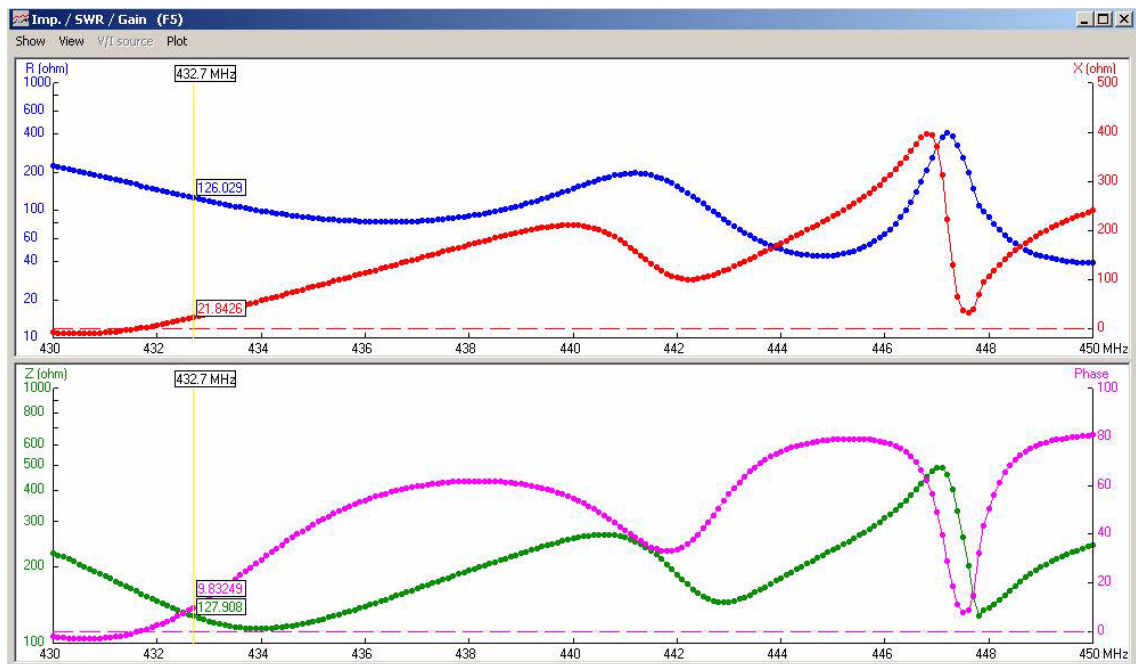
- Pomer stojatých vln SWR: 1,35 pri frekvencii 432,7 MHz
- Koeficient odrazu: -16,5 dB
- Impedancia: 126 ohm



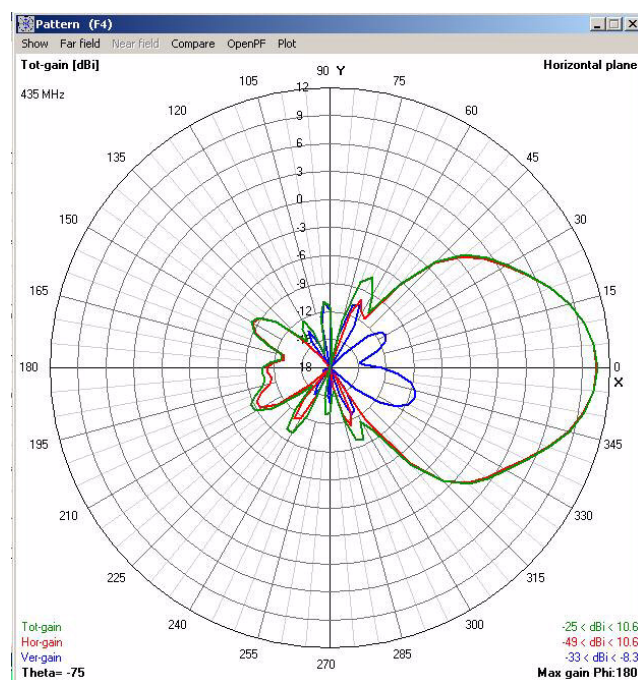
Obr. 4.9 Smerová charakteristika horizontálna 10 prvková krížová Yagiho anténa



Obr. 4.10 Závislosť pomeru stojatých vln na frekvencii krížovej yagiho antény 10 prvkov



Obr. 4.11 Závislosť impedancie na frekvencii pre 10 prvkovú krížovú Yagiho anténu



Obr. 4.12 Smerové charakteristiky v horizontálnej i vertikálnej rovine pre 10 prvkovú krížovú Yagiho anténu

Na internete je pre antény pre družicovú komunikáciu udávané, pre frekvenciu  $f=145$  MHz jej optimálny kmitočet  $f=145,9$  MHz a pre frekvenciu  $f=435$  MHz je optimálny kmitočet  $f=435,3$  MHz. Ako vidieť z odsimulovaných priebehov antény je treba optimalizovať



## 4.3 Optimalizácia

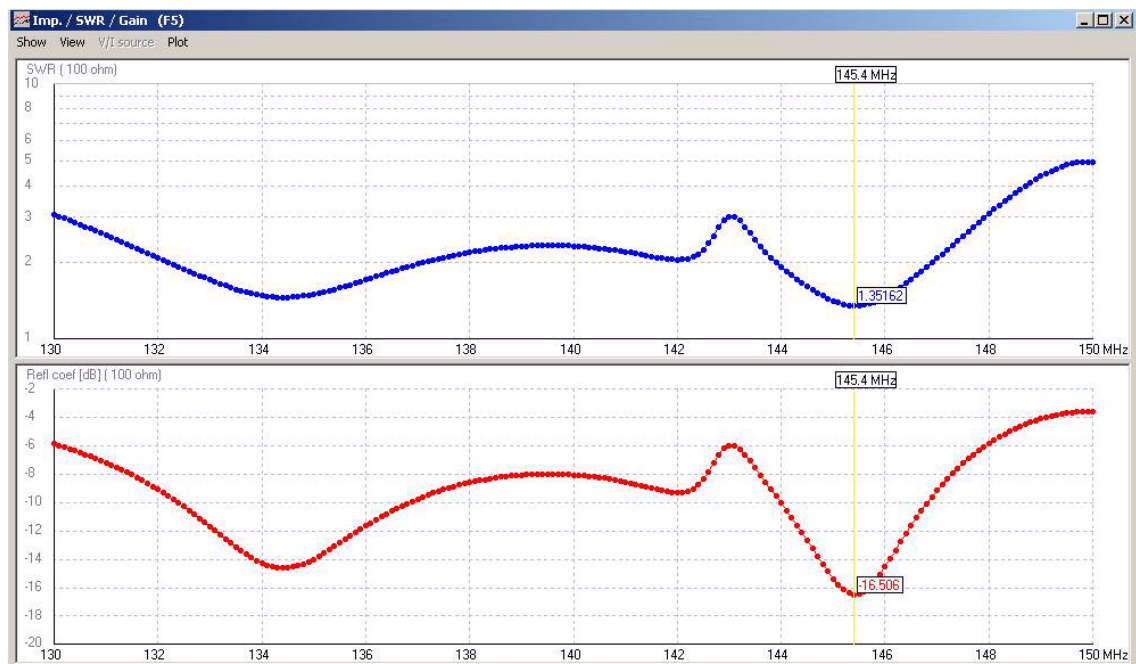
Optimalizácia bola robená v programe 4NEC2 [6] skúmaním vplyvu dĺžiek direktorov antény. Ostatné prvky sa nemenili. Pri skracovaní sa posúval kmitočet hore a naopak pri predlžovaní direktorov sa posúval dole. Pri predlžovaní direktorov je však treba dať pozor, aby dĺžka nepresiahla dĺžku dipólu. Po niekoľkých pokusoch sa podarilo antény optimalizovať približne na frekvenciu z tabuliek. Pri tejto optimalizácii sa síce antény podarilo optimalizovať približne na ideálny kmitočet, ale zároveň sa zhoršili niektoré jej vlastnosti napríklad smerovosť. Pri pokuse meniť polohy direktorov na ráhne sa podarilo anténu optimalizovať celkom dobre, ale v konečnom výsledku by anténa nebola vhodná pre kruhovú polarizáciu. Impedancia pri simuláciach by mala byť 100  $\Omega$ , pretože dipóly boli pri simuláciach zapojené paralelne a program 4NEC2 nemohol napájať anténu dvoma zdrojmi takže keď má každý dipól 200 ohmov výsledná impedancia bude 100 ohmov, ale pri praktickej konštrukcii bude týchto 200 ohmov transformovaných a následne zlúčených na 50 ohmov

Tabuľka 4.4 Optimalizované prvky pri  $f=145,9$  MHz, 5 prvková anténa

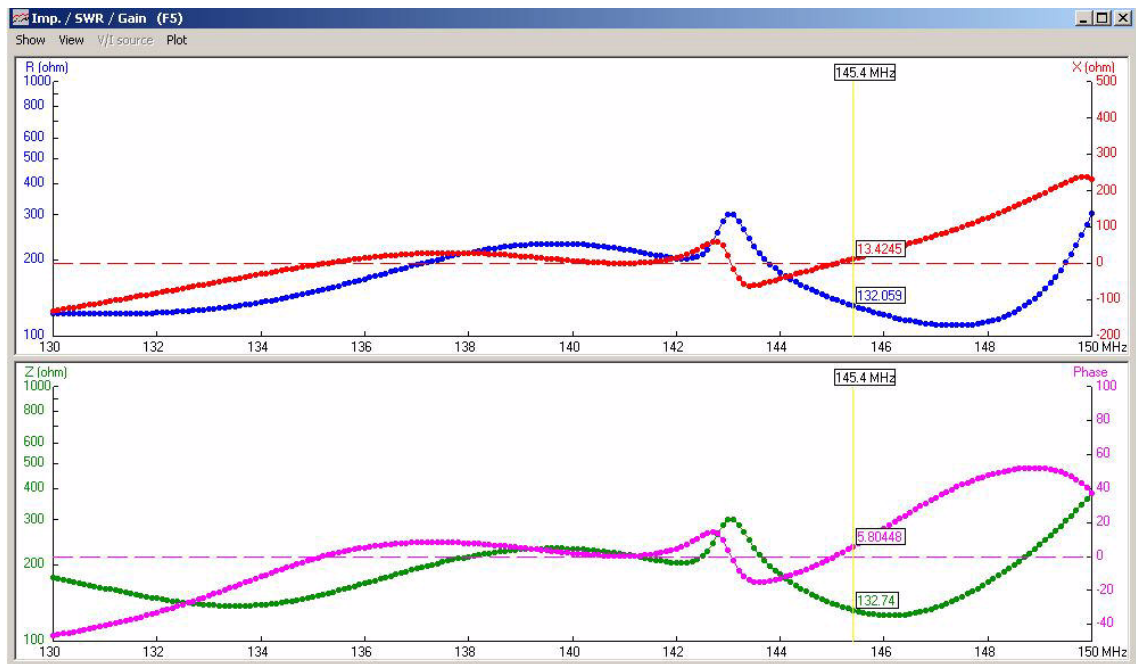
Direktor	Dĺžka (mm)	Medzera (mm)	Pozícia na ráhne (mm)
1	932	155	599
2	923	372	971
3	915	445	1415

1. Výsledky simulácii z programu 4NEC2 pre krížovú Yagiho anténu pre frekvenciu  $f = 145$  MHz 5 prvkov optimalizovaná

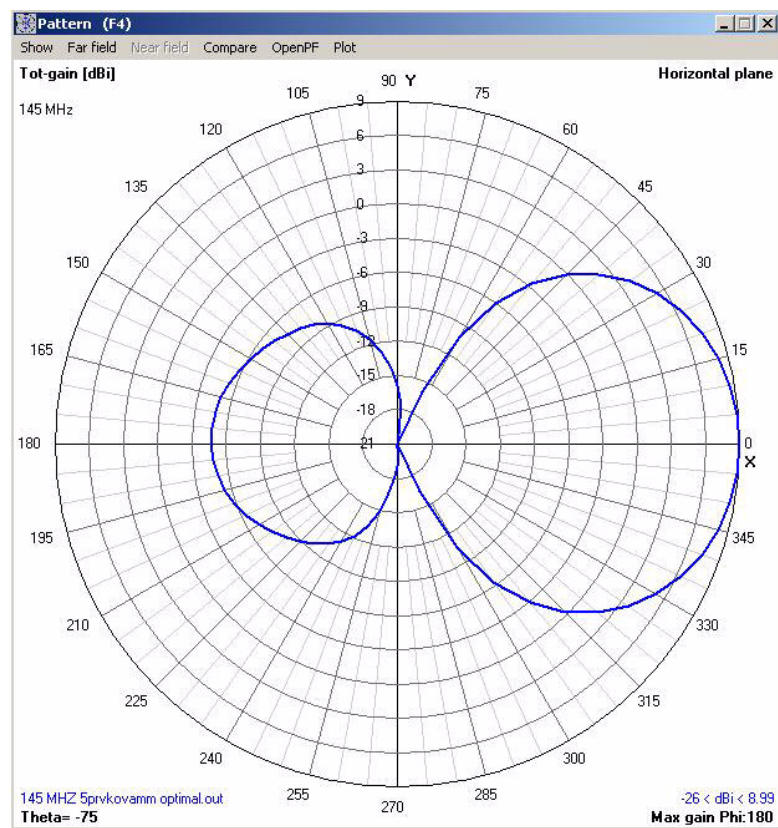
- Zisk antény: 8,99 dBi
- Pomer stojatých vln SWR: 1,35 pri frekvencii 145,4 MHz
- Koeficient odrazu: -16,51 dB
- Impedancia: 132 ohm



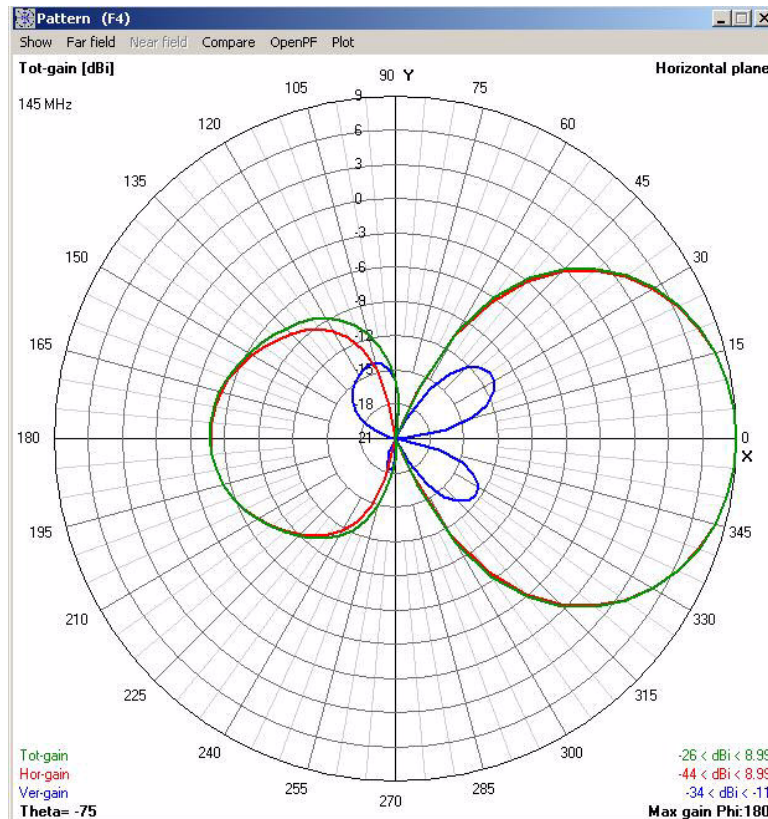
Obr. 4.13 Závislosť pomeru stojatých vln na frekvencii krížovej yagiho antény 5 prvkov



Obr. 4.14 Závislosť impedancie na frekvencii pre 5 prvkovú krížovú Yagiho anténu



Obr. 4.15 Smerová charakteristika horizontálna 5 prvková krížová Yagiho anténa



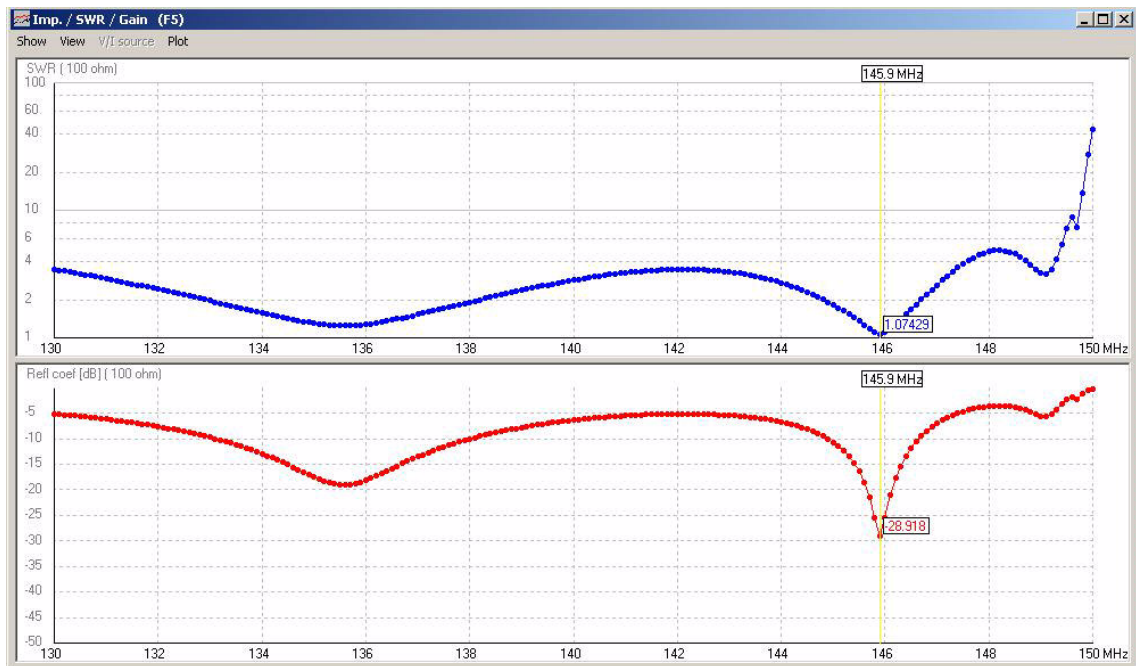
Obr. 4.16 Smerové charakteristiky v horizontálnej i vertikálnej rovine pre 5 prvkovú krížovú Yagiho anténu

Tabuľka 4.5 Optimalizované prvky pri  $f=145,9$  MHz, 6 prvková anténa

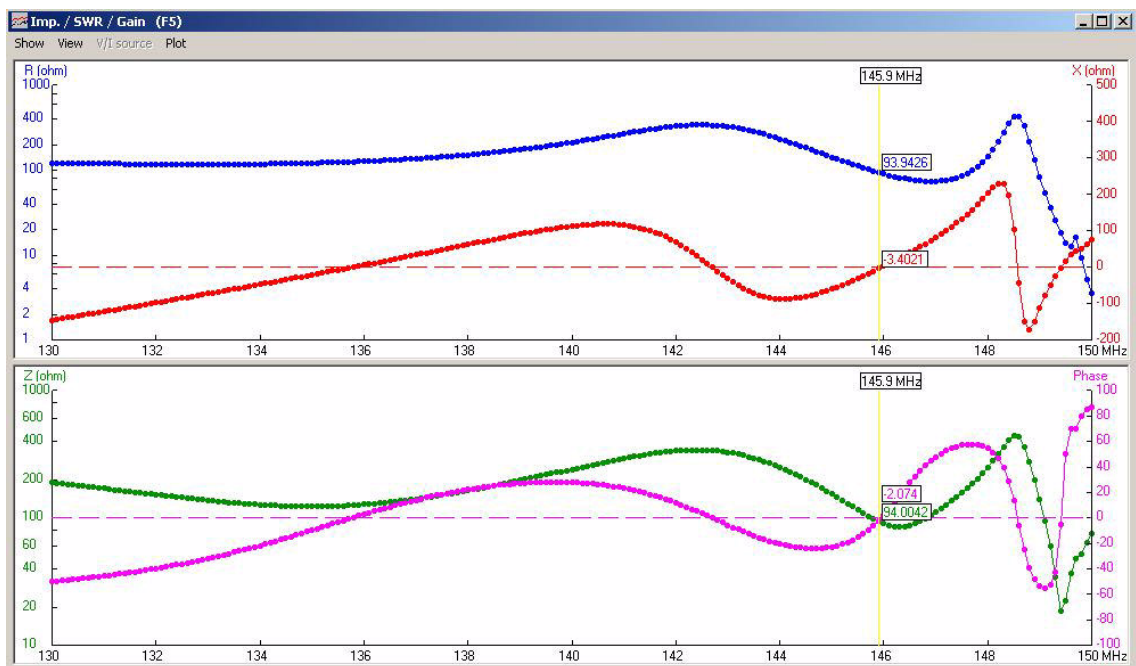
Direktor	Dĺžka (mm)	Medzera (mm)	Pozícia na ráhne (mm)
1	946	155	599
2	940	372	971
3	932	445	1415
4	924	517	1932

2. Výsledky simulácii z programu 4NEC2 pre krížovú Yagiho anténu pre frekvenciu  $f=145$  MHz 6 prvkov optimalizovaná

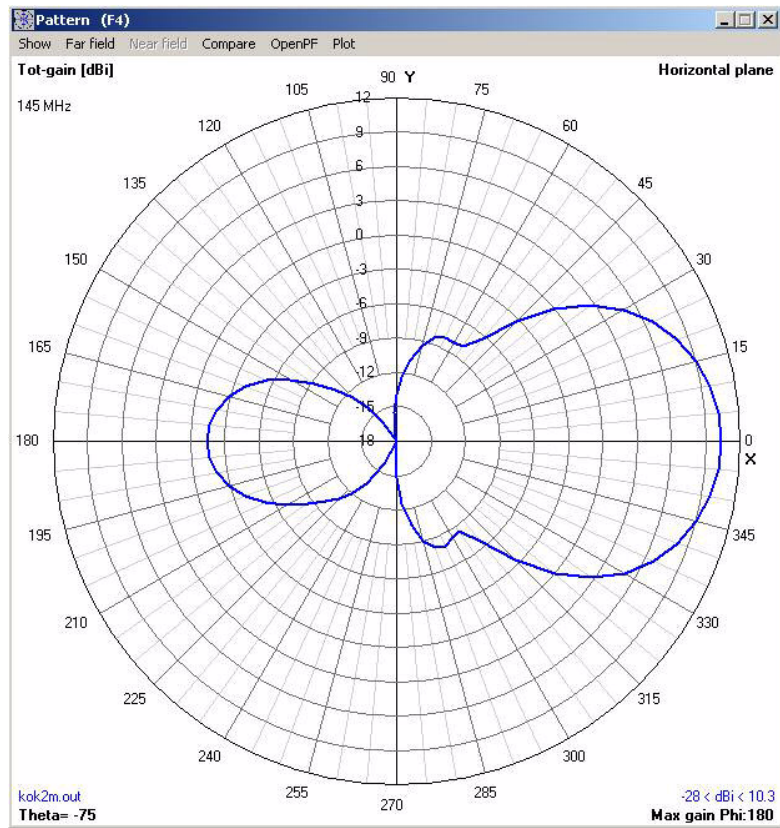
- Zisk antény: 10,3 dBi
- Pomer stojatých vln SWR: 1,07 pri frekvencii 145,9 MHz
- Koeficient odrazu: -28,91 dB
- Impedancia: 93,9 ohm



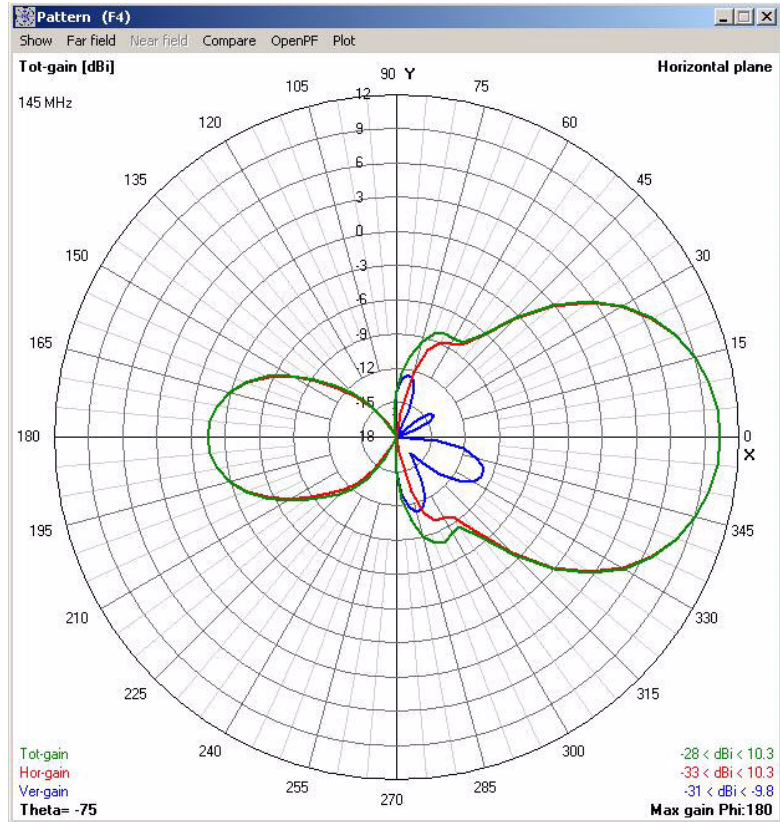
Obr. 4.17 závislosť pomeru stojatých vln na frekvencii krížovej yagiho antény 6 prvkov



Obr. 4.18 Závislosť impedancie na frekvencii pre 6 prvkovú krížovú Yagiho anténu



Obr. 4.19 Smerová charakteristika horizontálna 6 prvková krížová Yagiho anténa



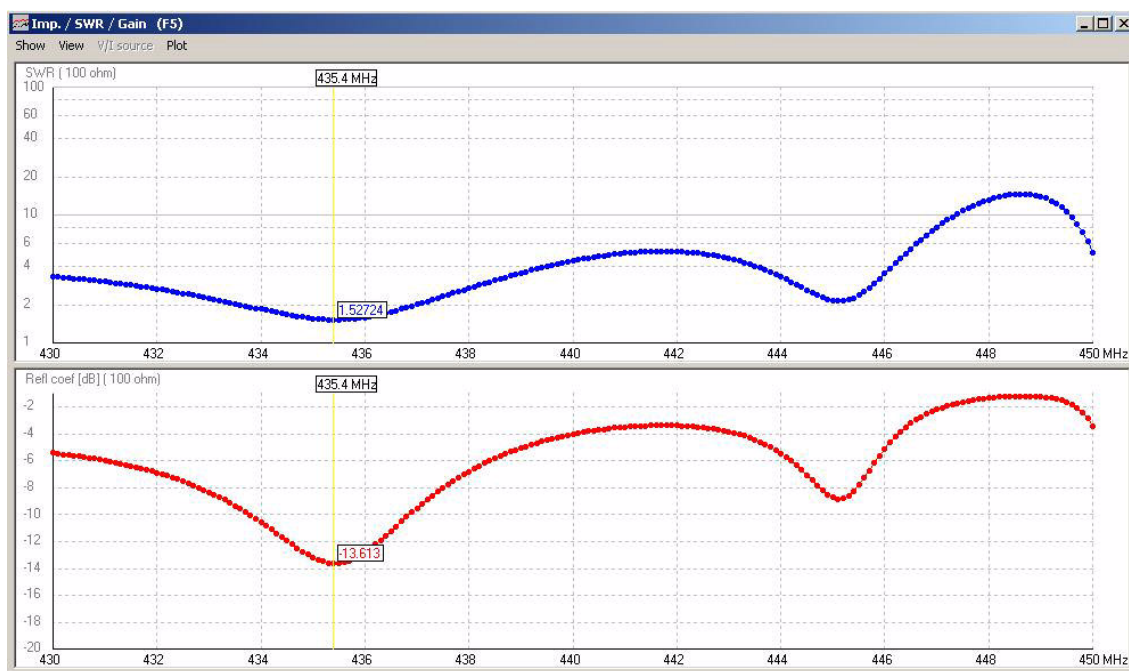
Obr. 4.20 Smerové charakteristiky v horizontálnej i vertikálnej rovine pre 6 prvková krížová Yagiho anténu

Tabuľka 4.6 Optimalizované prvky pri  $f=435,3$  MHz 10 prvková anténa

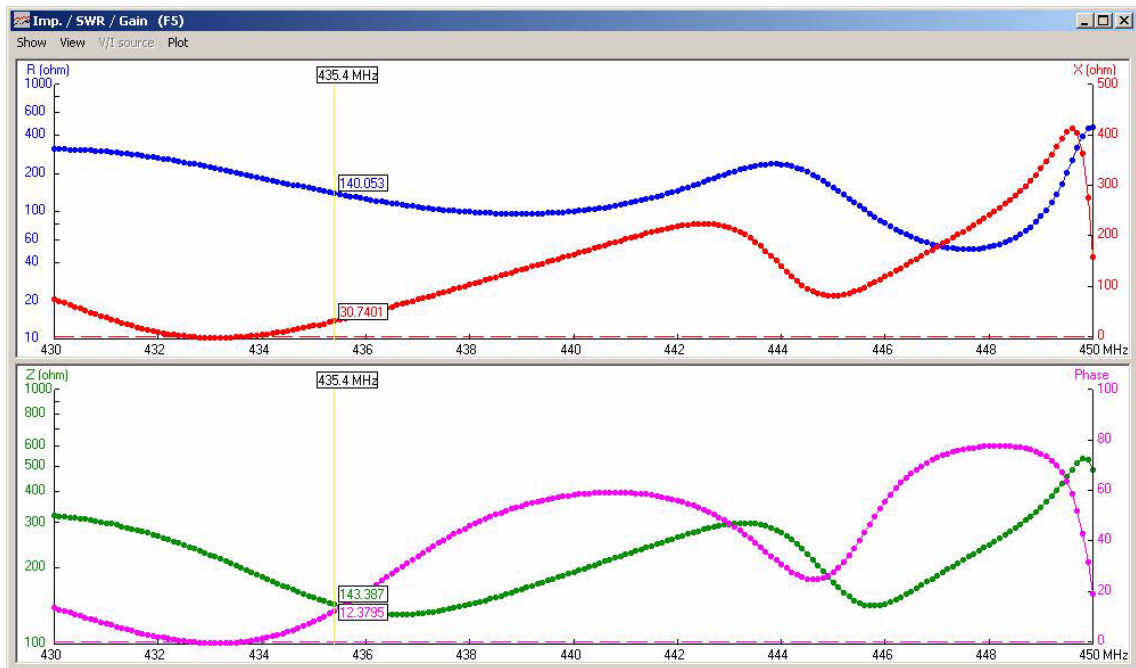
Direktor	Dĺžka (mm)	Medzera (mm)	Pozícia na ráhne (mm)
1	307	52	220
2	304	124	344
3	300	148	492
4	397	172	664
5	295	193	857
6	292	207	1064
7	289	217	1281
8	287	227	1508

3. Výsledky simulácie z programu 4NEC2 pre krížovú Yagiho anténu pre frekvenciu  $f = 435$  MHz 10 prvkov optimalizovaná

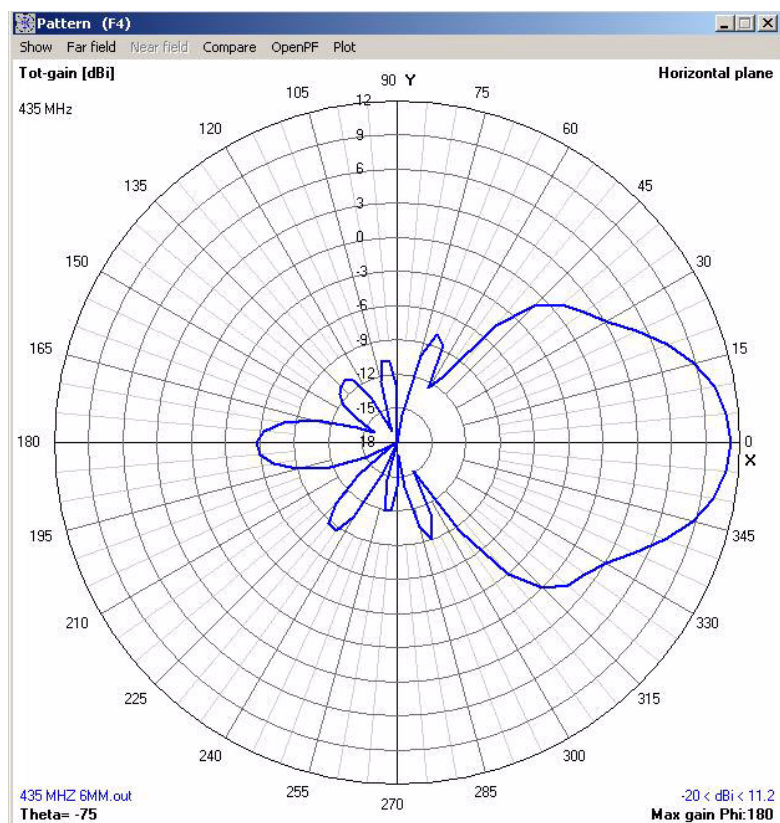
- Zisk antény: 11,2 dBi
- Pomer stojatých vln SWR: 1,52 pri frekvencii 435,4 MHz
- Koeficient odrazu: -13,613 dB
- Impedancia 140 ohm



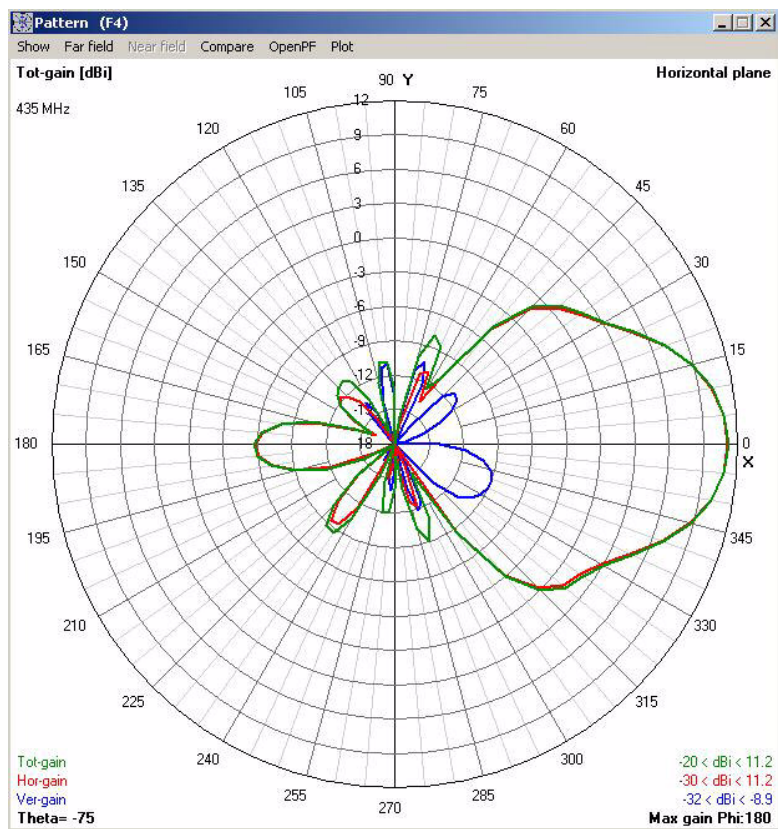
Obr. 4.21 závislosť pomeru stojatých vln na frekvencii krížovej yagiho antény 10 prvkov



Obr. 4.22 Závislosť impedancie na frekvencii pre 10 prvkovú krížovú Yagiho anténu



Obr. 4.23 Smerová charakteristika horizontálna 10 prvková krížová Yagiho anténa



Obr. 4.24 Smerové charakteristiky v horizontálnej i vertikálnej rovine pre 10 prvkovú krížovú Yagiho anténu



## 5 KONŠTRUKCIA KRÍŽOVÝCH YAGIHO ANTÉN

Mechanická konštrukcia 145 MHz antény viz príloha A.1, A.2 a 435 MHz viz príloha A.3, A.4 Prakticky bola skonštruovaná len jedna anténa pre frekvenciu 145 MHz druhá pre frekvenciu 435 MHz po konzultácii s vedúcim projektu nebola konštrukčne zhotovená z časových dôvodov

### 5.1 Materiál

Anténa bola konštruovaná z hliníku. Ráho antény tvorí štvorcový profil 25x25 mm, do ktorého bola zasunutá štvorcová zátku z plastu. Direktory, reflektor a dipól sú z plnej tyčovej guľatiny o priemere 6 mm. Plastová krabička vodotesná, UV odolná má rozmery 130x85x35 mm a slúži k mechanickému a elektrickému zapojeniu dipóla.

### 5.2 Spojovanie jednotlivých prvkov

Podľa literatúry musia byť všetky prvky vodivo spojené k ráhnu alebo naopak všetky prvky odizolované. Pri realizácii boli jednotlivé prvky s ráhnom mechanicky spojené tzv. kirmovaním (zalisovaním). Výhoda tohto postupu je, že je zabezpečené 100 % vodivé spojenie nevýhoda nerozoberateľnosť. Dipól sa dá doladiť do rezonancie pomocou pohyblivých skratovacích koncov o rozmeroch 65x15x5 mm. Od druhého možného spôsobu sa upustilo zo zložitosti realizácie v dôsledku nedostatku jednotlivých nevodivých prvkov.

### 5.3 Elektrické zapojenie krížových antén

Antény sú ku generátoru napájané cez N konektor.

Anténa 145 MHz



Obr. 5.1 Elektrické zapojenie krížovej Yagiho antény pre frekvenciu 145 MHz

## Anténa 435 MHz

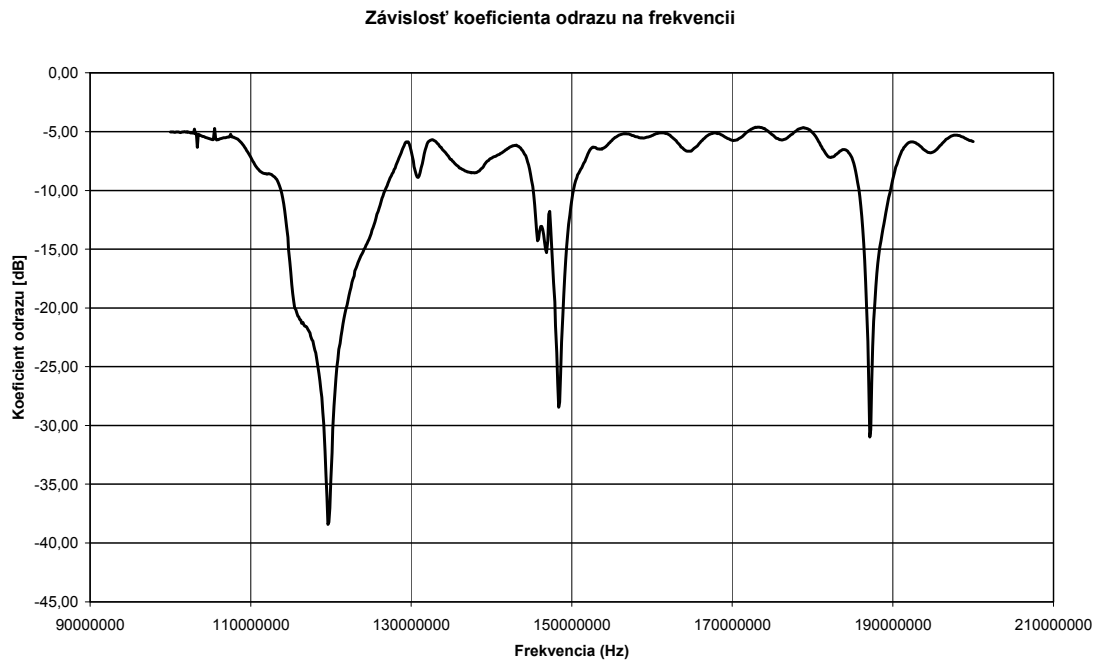


Obr. 5.2 Elektrické zapojenie krížovej Yagiho antény pre frekvenciu 435 MHz

## 6 MERANIE ANTÉNY

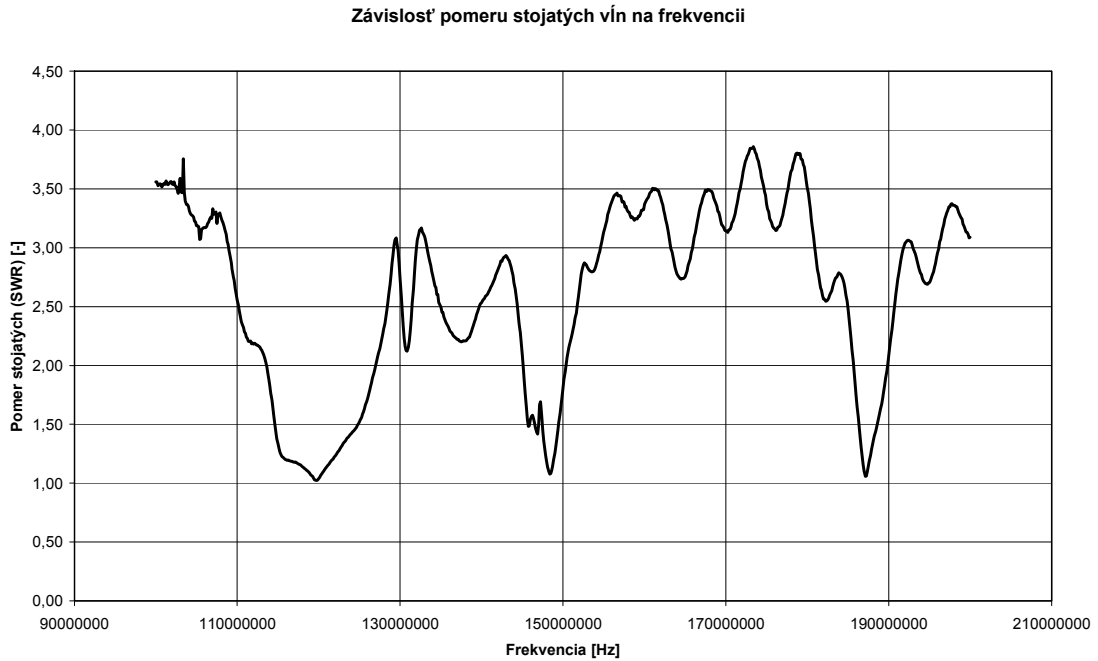
Meranie sa uskutočnilo vo výške 2 metre od podlahy na streche budovy fakulty pomocou PNA Series Network Analyzer (E8364B).

Výsledky prvého merania:



Obr. 6.1 Závislosť koeficienta odrazu na frekvencii 6 prvkovej krížovej Yagiho antény

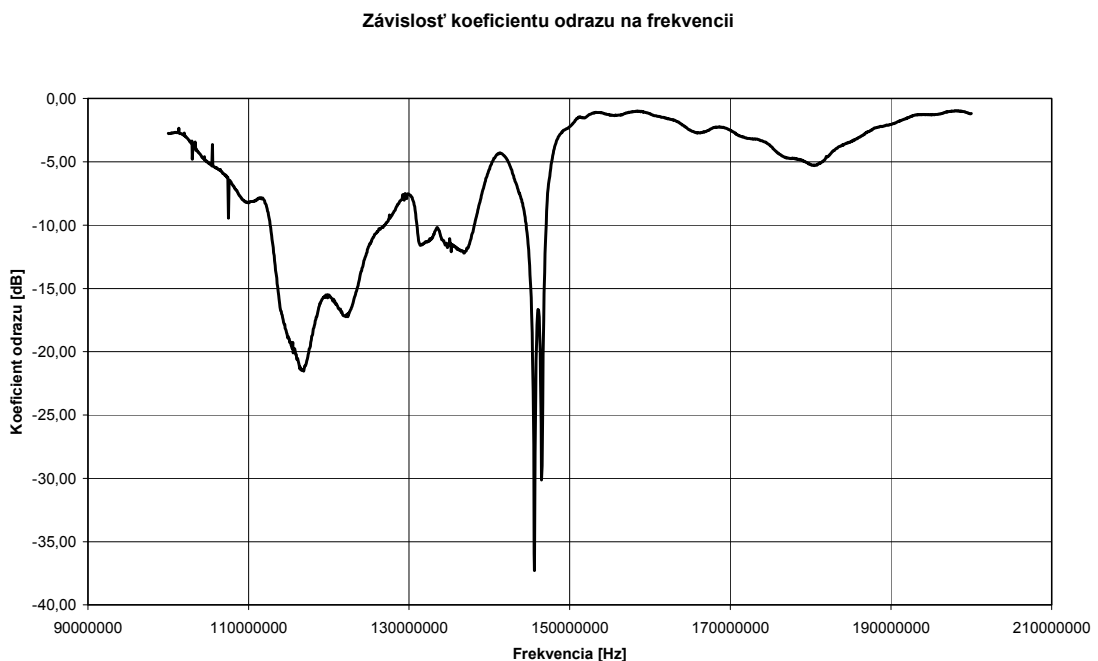
Ako vidieť z grafu anténa rezonovala na troch kmitočtoch návrh bol riešený na kmitočte 145,9 MHz anténa rezonovala na kmitočte 149 MHz koeficient odrazu bol -23 dB. Anténa sa následne dolad'ovala pomocou skratovac'ých koncov viz meranie 2



Obr. 6.2 Závislosť pomeru stojatých vln na frekvencii 6 prvkovej krížovej Yagiho antény

Pomer stojatých vln SWR bol 1,08.

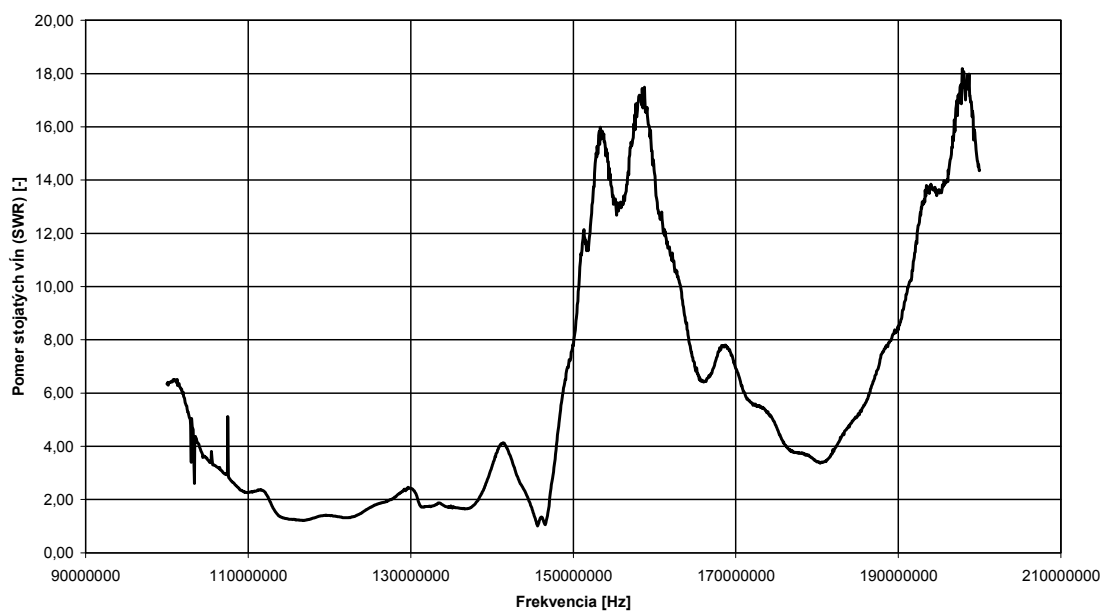
Výsledky druhého merania:



Obr. 6.3 Závislosť koeficientu odrazu na frekvencii 6 prvkovej krížovej Yagiho antény

Ako vidieť z grafu pracovný kmitočet bol 145,9 MHz ale vznikol tam zákmit, ktorý sa ladením antény nepodarilo odstrániť anténa mala koeficient odrazu -37,3 dB a v podstate pracuje na požadovanom kmitočte

Závislosť pomeru stojatých vln na frekvencii



Obr. 6.4 Závislosť pomeru stojatých vln na frekvenciách 6 prvkovej krížovej Yagiho antény

Pomer stojatých vln bol 1,06

## 7 ZÁVER

V bakalárskej práci som sa oboznámil s princípom činnosti antén, s prácou v programe 4NEC2. Antény mali byť ideálne navrhnuté pre frekvenčné družicové pásmo  $f=145,9$  MHz a  $f=435,3$  MHz. Pretože optimalizácia antén nie je tak jednoduchou záležitosťou simuláciami, optimalizáciou a návrhmi sa mi podarilo dostať sa celkom blízko alebo aj úplne presne na zadané kmitočty. V dôsledku zmien jednotlivých dĺžok direktorov sa menili rôznorode aj vlastnosti antén a nedalo sa jednoznačne dospieť k výsledku. Simuláciami som najprv pozoroval zmeny na jednoduchej Yagiho anténe a zistil som, že zisk, pomer stojatých vln (SWR), a koeficient odrazu bol rovnaký pri 6 a 5 prvkovej pri 10 prvkovej sa zmenil len zisk aj to zanedbateľným spôsobom (0,4 dBi). Pri prekrížení sa zmenili bočné laloky, ktoré sa pri kruhovej polarizácii zväčšili. Z tohto vyplýva, že prekrížením dvoch antén je v praxi možné. Pre pásmo  $f=145,9$  som sa rozhodol prakticky skonštruovať 6 prvkovú Yagiho anténu, ktorá simuláciami vykazovala najlepšie parametre. Čo sa týka kruhovej polarizácie bola riešená prekrížením dvoch rovnakých Yagiho antén posunutých o  $\frac{\lambda}{4}$  vlnovej dĺžky. Zlúčenie signálov bolo riešené koaxiálnymi vodičmi o impedancii 75 ohm a dĺžke  $\frac{\lambda}{4}$ , ktoré zlúčili dva 50 ohmové koaxiálne vodiče vedené z dipólov do jedného 50 ohmového vodiča, ktorým sa potom napájala krížová anténa. Po praktickej realizácii a premeraní jej základných parametrov môžem konštatovať, že anténa pre frekvenčné pásmo  $f=145,9$  MHz rezonovala na požadovanom navrhovanom kmitočte mala celkom slušný koeficient odrazu -37,3 dB, pomer stojatých vln bol 1,06 pri simulácii vychádzal koeficient odrazu -28,91dB, pomer stojatých vln 1,07. Anténa by však mohla byť ešte lepšie doladená, aby mala väčšiu šírku pásma. Taktiež by chcelo premerať smerové charakteristiky, ktoré som bohužiaľ tiež z časovej tiesni nestihol zmerať. Druhá anténa po konzultácii s vedúcim práce nebola z časových dôvodov skonštruovaná.

## 8 LITERATÚRA

- [1] Tomáš Český, Antény pro příjem televize. Praha:SNL, 1987.236 stran (61,62s.) – [cit.14.5.2009]
- [2] Jacek Matuszczyk, Antény prakticky. Praha:BEN technická literatura 3.české vydanie, 2005.239 stran.[cit.14.5.2009], ISBN 80-7300-178-0
- [3] VK5DJ's Amateur Radio Site[online].  
Dostupné na WWW: <[http://vk5dj.mountgambier.org/Amateur\\_radio.html](http://vk5dj.mountgambier.org/Amateur_radio.html)>
- [4] Pavel Slezák 2002, ELEKTROMAGNETICKÉ VLNĚNÍ PRO PŘENOS RÁDIOVÝCH A TV SIGNÁLŮ [online]- [cit.14.5.2009].  
Dostupné na WWW: <<http://www.sweb.cz/elmag.sps/3.htm>>
- [5] Amateurradio-Station DK7ZB [online].  
Dostupné na WWW: <<http://www.qsl.net/dk7zb/start1.htm>>
- [6] 4NEC2 based antenna modeler and optimizer [online].  
Dostupné na WWW:< <http://home.ict.nl/~arivoors/Home.htm> >
- [7] OZ2OE Technical Home Page - Building a circular polarized yagi [online]- [cit.14.5.2009].  
Dostupné na WWW :  
<[http://www.ve3sqb.com/hamaerials/oz2oe/build\\_yagi.html](http://www.ve3sqb.com/hamaerials/oz2oe/build_yagi.html)>

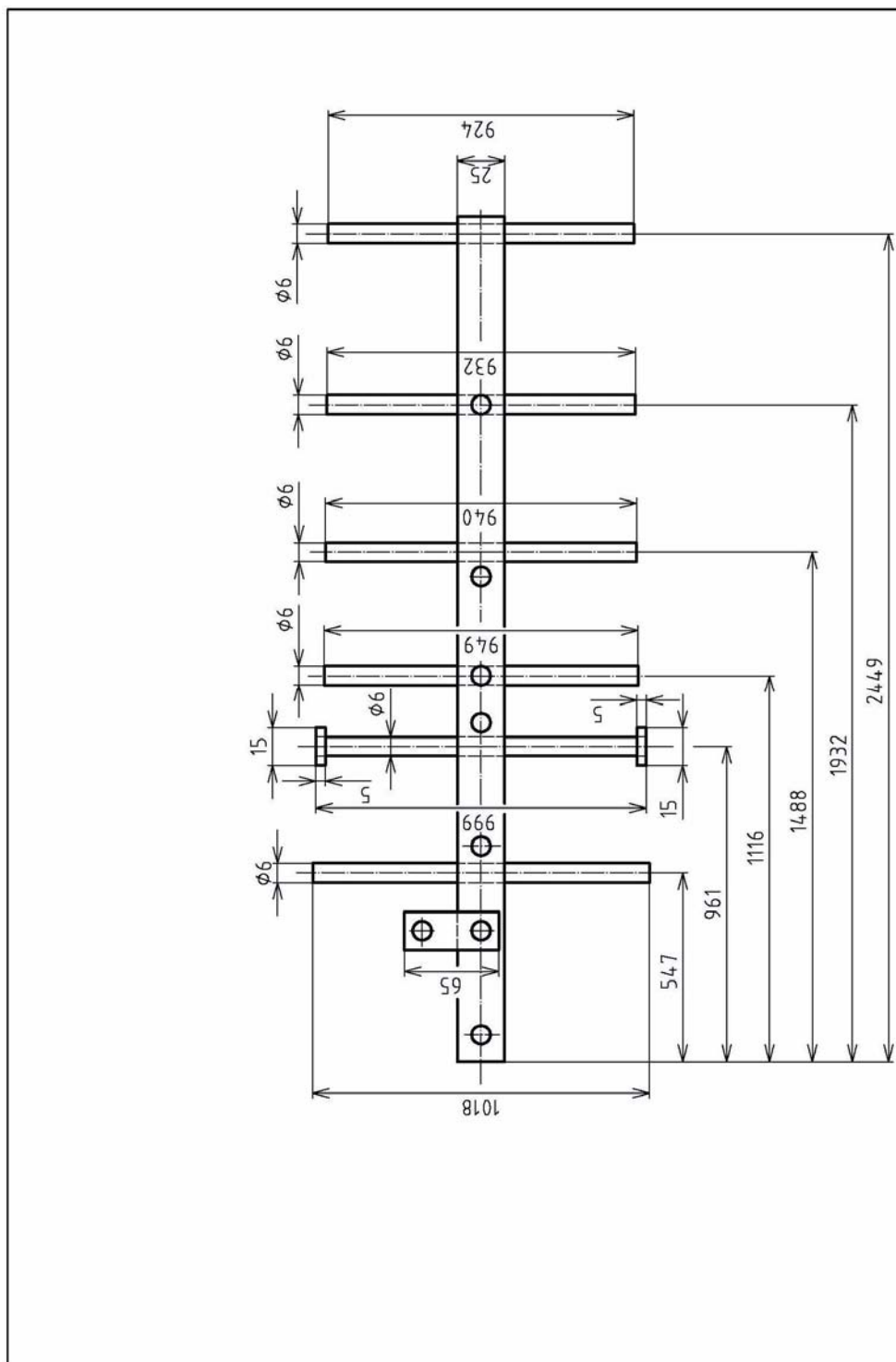
# ZOZNAM PRÍLOH

<b>A</b>	<b>Konštrukcia zariadení</b>	<b>32</b>
A.1	Pohľad A anténa 145 MHz 6 prvková .....	32
A.2	Pohľad B anténa 145 MHz 6 prvková .....	33
A.3	Pohľad A anténa 435 MHz 10 prvková .....	34
A.4	Pohľad B anténa 435 MHz 10 prvková .....	35
A.5	Rez dipólmi.....	36



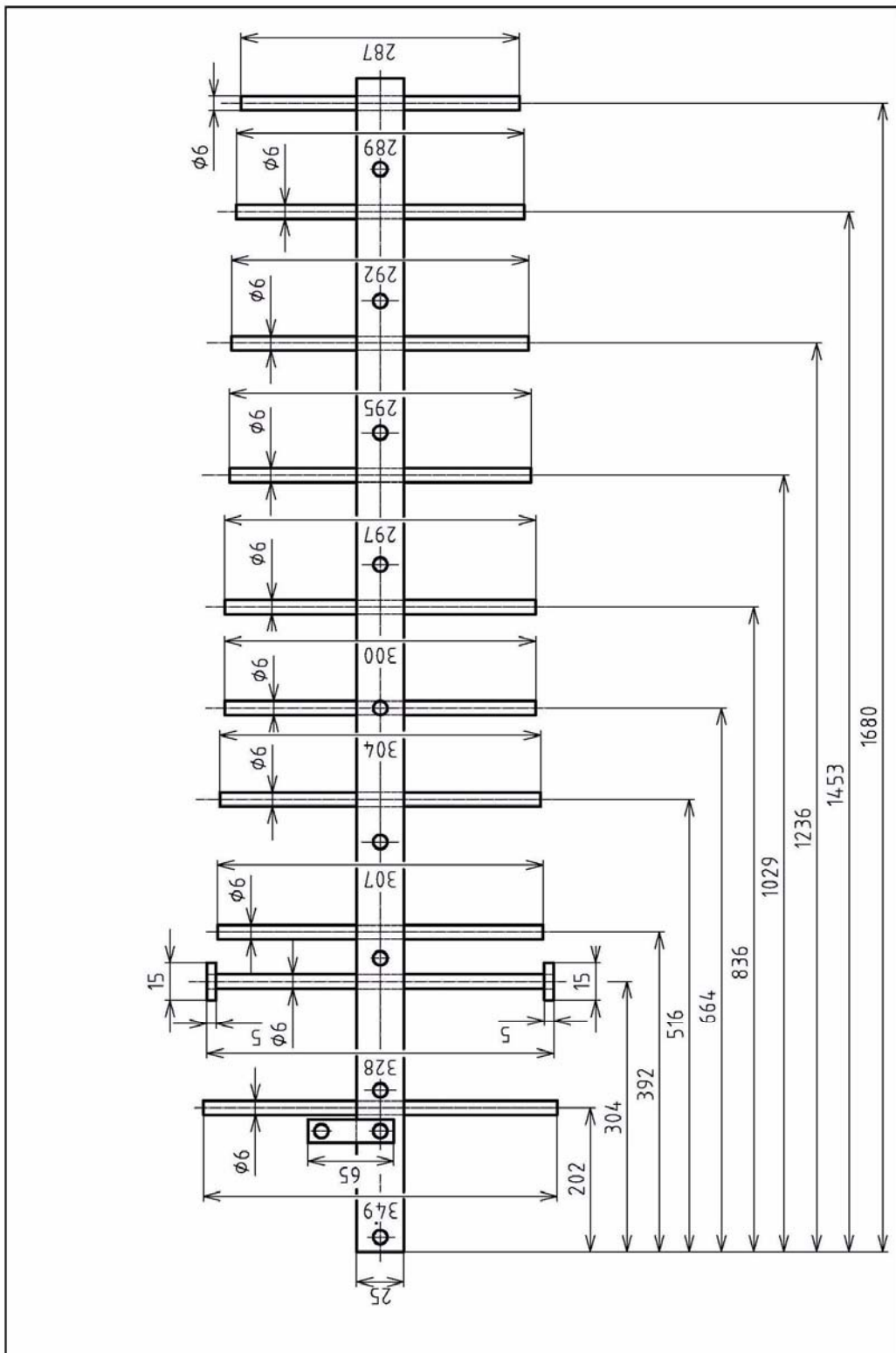
# A KONŠTRUKCIA ZARIADENÍ

## A.1 Pohľad A anténa 145 MHz 6 prvková

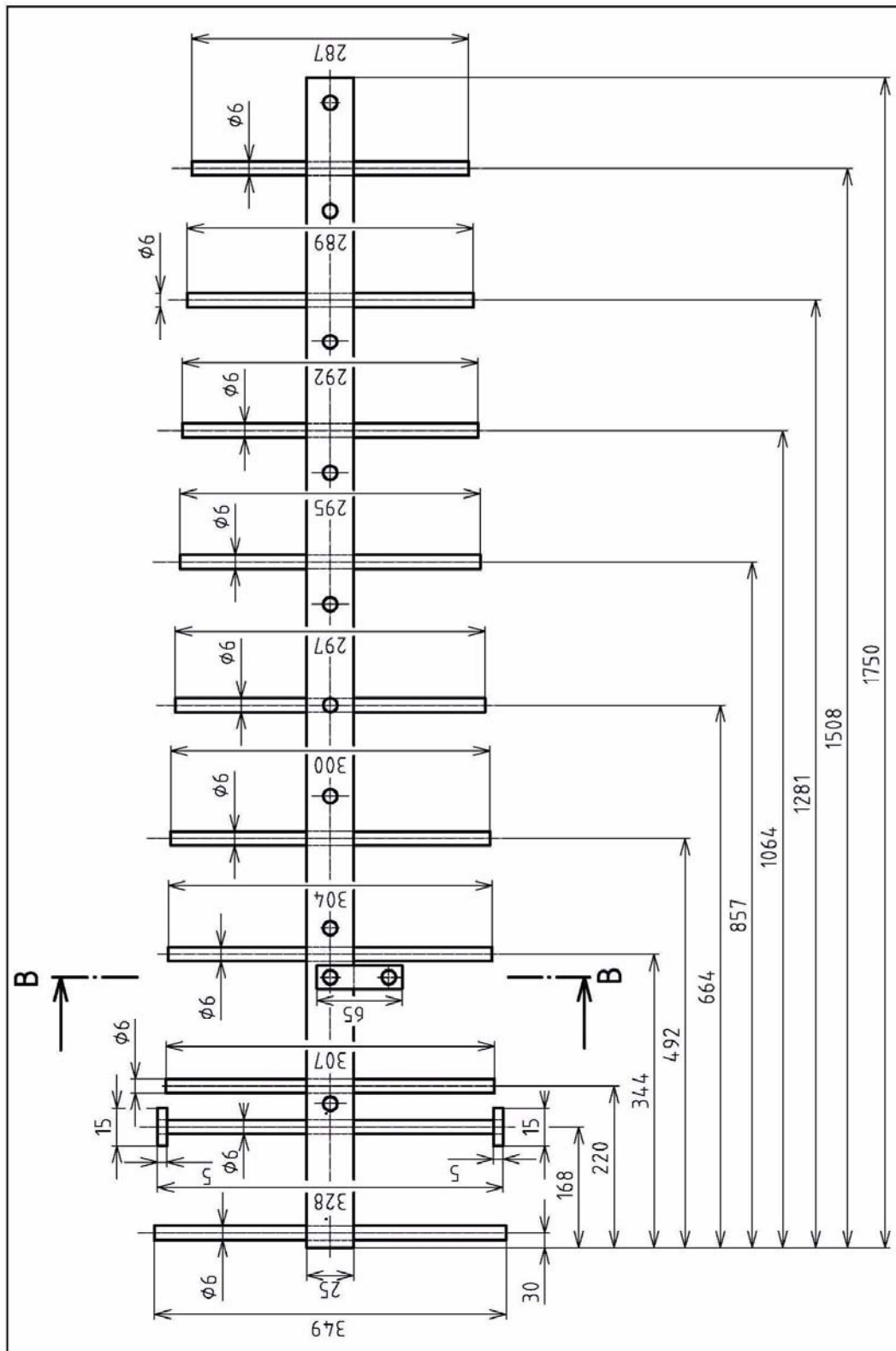




### A.3 Pohľad A anténa 435 MHz 10 prvková



### A.4 Pohľad B anténa 435 MHz 10 prvková



## A.5 Rez dipólmi

