



**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ  
KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE**

# **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Vliv vnějšího prostředí na parametry mikrovlnných  
antén**

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Matouš KOLSKÝ**  
Osobní číslo: **E14N0011K**  
Studijní program: **N2644 Aplikovaná elektrotechnika**  
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**  
Název tématu: **Vliv vnějšího prostředí na parametry mikrovlnných antén**  
Zadávající katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :


1. Popište historický vývoj mikrovlnných spojů a antén.
2. Analyzujte současný stav trhu v ČR s ohledem na odolnost antén vůči vnějším vlivům.
3. Porovnejte a změřte vlastnosti dostupných vf antén.
4. Provedte měření vlivu vnějšího prostředí na parametry antén.
5. Provedte zhodnocení získaných parametrů antén.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího  
Rozsah kvalifikační práce: 40 - 60 stran  
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická  
Seznam odborné literatury:


1. Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí diplomové práce: Ing. et Ing. Petr Kašpar, Ph.D.  
Katedra technologií a měření

Datum zadání diplomové práce: 15. října 2015  
Termín odevzdání diplomové práce: 16. května 2016

  
Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.  
děkan



  
Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2015

## Anotace

Tato diplomová práce se zabývá vlivem vnějšího prostředí na parametry mikrovlnných antén.

V první kapitole je nastíněn historický vývoj radiové technologie s důrazem na důležité technologie z mikrovlnné části frekvenčního spektra.

Druhá kapitola pak ukazuje členění antén dostupných na trhu a potencionální vliv vnějšího prostředí na ně.

Ve třetí kapitole práce vysvětluje důležité parametry antén a způsob jejich měření včetně již konkrétního měření na zapůjčených vzorcích.

Čtvrtá kapitola se zabývá klimatickou zkouškou a měřením vlivu vnějšího prostředí na parametry antén.

Poslední, pátá kapitola, hodnotí výsledky z měření a srovnává hodnoty z obou měření s parametry udávanými výrobcí.

## Klíčová slova

Parametry antén, měření antén, mikrovlnné antény, vliv vnějšího prostředí, klimatická zkouška.

## Abstract

This thesis deals with the influence of external environment to parameters of microwave antennas.

The first chapter outlines the history of the development of radio technology, with emphasizing of the important technology of the microwave part of the spectrum.

The second chapter shows the division of antennas available on the market and the potential impact of the external environment on them.

In the third chapter are explained the important parameters of antennas and their measurement, including specific measurements on the borrowed samples.

The fourth chapter deals with the climatic tests and measurement of the impact of the external environment on the antennas parameters.

The last, fifth chapter evaluates the results of the measurements and compares the values of two measurements with the parameters specified by the manufacturer.

## Key words

Antenna parameters, measurements of antennas, microwave antennas, external environment, climatic tests.

## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu použitých zdrojů.

Veškerý software použitý při psaní této práce byl legální.

V Sedlčanech, dne 15. 5. 2016

.....

Matouš Kolský

## Poděkování

Rád bych zde poděkoval svému vedoucímu diplomové práce Ing. et Ing. Petru Kašparovi, Ph.D. za dobré vedení při tvorbě této práce a zapůjčení vzorků antén. Dále také Ing. Janu Mrázovi, Ph.D. za pomoc a rady při měření v bezodrazové komoře. A také ještě Doc. Ing. Františkovi Steinerovi, Ph.D. za provedení klimatických zkoušek.

## Obsah

Obsah .....	7
Seznam obrázků .....	9
Seznam tabulek .....	9
Seznam příloh.....	9
Seznam symbolů a zkratk.....	10
Úvod .....	11
1 Historický vývoj mikrovlnných spojů a antén.....	12
1.1 Důležité okamžiky z historie mikrovlnných technologií .....	12
1.2 Frekvenční spektrum .....	14
1.3 Nejdůležitější mikrovlnné technologie.....	16
1.3.1 Radioreléové spoje.....	16
1.3.2 Družicové spoje .....	17
1.3.3 Wi-Fi .....	18
2 Současný stav trhu s ohledem na odolnost antén vůči vnějším vlivům.....	21
2.1 Členění antén .....	21
2.1.1 Všesměrové antény.....	22
2.1.2 Sektorové antény .....	22
2.1.3 Směrové antény .....	23
2.2 Vnější vlivy.....	23
2.2.1 Přímé působení vnějších vlivů .....	23
2.2.2 Vliv dlouhodobého působení vnějších vlivů .....	24
2.2.3 Ochrana proti vnějším vlivům .....	24
3 Změření a porovnání vlastností dostupných vf antén.....	25
3.1 Parametry antén .....	25
3.1.1 Rezonanční frekvence.....	25



3.1.2 Zisk.....	26
3.1.3 Vyzařovací (směrové) charakteristiky.....	27
3.1.4 Polarizace.....	28
3.1.5 Impedanční charakteristiky.....	28
3.2 Měření parametrů antén.....	29
3.2.1 Měření impedančních charakteristik.....	29
3.2.2 Měření směrových vyzařovacích charakteristik.....	30
3.3 Poskytnuté vzorky antén.....	32
3.4 Průběh měření.....	34
3.4.1 Měření parametrů v bezodrazové komoře.....	34
4 Měření vlivu vnějšího prostředí na parametry antén.....	38
4.1 Vliv vnějšího prostředí na parametry antén.....	38
4.1.1 Zkouška v klimatické komoře.....	38
4.1.2 Nastavení testu.....	39
4.2 Naměřené parametry po pobytu v klimatické komoře.....	39
5 Zhodnocení vlivu klimatických zkoušek na parametry antén.....	40
5.1 Zhodnocení stavu antén.....	40
5.2 Zhodnocení vlivu klimatických zkoušek.....	41
Závěr.....	42
Použitá literatura.....	44

## Seznam obrázků

Obrázek 1.1 - Rozdělení frekvenčního spektra 3 kHz až 300 GHz [A1].....	15
Obrázek 3.1 - Anténa Maxlink 24.....	33
Obrázek 3.2 - Anténa Jirous JRC-24 .....	33
Obrázek 3.3 - Částečně bezodrazová komora Frankonia SAC-3 .....	35
Obrázek 3.4 - Vektorový obvodový analyzátor R&S ZVB8 .....	36
Obrázek 3.5 – Schwarzbeck BBHA 9120 E - Double Ridged Broadband Horn Antenna .....	37
Obrázek 4.1 - Průběh teploty a rel. vlhkosti při klimatických zkouškách .....	39

## Seznam tabulek

Tabulka 3.1 - Poskytnuté vzorky antén .....	32
Tabulka 3.2 - Parametry antén – první měření .....	38
Tabulka 4.1 - Parametry antén – druhé měření .....	40
Tabulka 5.1 - Zhodnocení vlivu klimatických zkoušek na parametry antén..	42

## Seznam příloh

Příloha I. - Anténa 1021, měření 1	
Příloha II. - Anténa 1021, měření 2	
Příloha III. - Anténa 3232, měření 1	
Příloha IV. - Anténa 3232, měření 2	
Příloha V. - Anténa 3539, měření 1	
Příloha VI. - Anténa 3539, měření 2	
Příloha VII. - Anténa 3540, měření 1	
Příloha VIII. - Anténa 3540, měření 2	
Příloha IX. - JRC-24 – Montážní návod	
Příloha X. - Maxlink 24 – Vyzařovací diagram	

## Seznam symbolů a zkratek

ABS	-	Akrylonitrilbutadienstyren
ČSN	-	Označení české technické normy
ČTÚ	-	Český telekomunikační úřad
DPH	-	Daň z přidané hodnoty
DSSS	-	Direct Spread Spectrum
E [V/m]	-	Intenzita elektrického pole
EHF	-	Extremely High Frequency
EN	-	označení evropské normy
FHSS	-	Frquency Hopping Spread Spectrum
GEO	-	Geostationary orbit
GPIB	-	General Purpose Interface Bus
GSM	-	Globální Systém pro Mobilní komunikaci
H [A/m]	-	Intenzita magnetického pole
IDU	-	InDoor Unit
IEEE	-	Institut pro elektrotech. a elektronické inženýrství
ISP	-	Internet Service Provider
LAN	-	Local Area Network
LEO	-	Low Earth Orbit
LTE	-	Long Term Evolution
MIMO	-	Mutiple-Input, Multiple-Output
ODU	-	OutDoor Unit
OFDM	-	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
P2P	-	Point-to-point
PMMA	-	Polymethylmethakrylát
PSV (SWR)	-	Poměr stojatého vlnění (Standing Wave Ratio)
QAM	-	Kvadrurní amplitudová modulace
RR	-	Radio-Relay
SHF	-	Super High Frequency
UHF	-	Utra High Frequency
UV	-	Ultrafialové záření
Wi-Fi	-	Bezdrátová technologie standardů IEEE 802.11

## Úvod

V moderní době zaujímají telekomunikace pevně své místo v naší společnosti. Téměř všechnen čas běžného dne trávíme v dosahu radiových technologií, často bez uvědomění o jejich přítomnosti. Bezdrátové spoje a jejich antény jsou téměř všudypřítomné. Zajišťují nám telekomunikační spojení se světem, přenos rádiového a televizního vysílání, připojení k internetu, navigaci a mnoho dalších služeb. Ovšem bez kvalitních antén by jen s obtížemi mohli plnit všechny požadavky na ně kladené. Velká penetrace radiových spojení, ale přináší i značné problémy s rušením, což na kvalitu antén klade ještě větší důraz. Za kvalitou nynějších antén stojí letité zkušenosti, znalosti a spousta práce mnoha techniků po celém světě.

Tato práce si klade za cíl osvětlit problematiku důležitých parametrů antén a jejich měření, včetně praktické realizace měření anténích parametrů u vybraných antén. Dalším cílem práce je praktickým způsobem ověřit odolnost antén vůči vlivům vnějšího prostředí, a to konkrétně vystavením vybraných antén zkouškám v klimatické komoře a následným měřením jejich parametrů.

Práce má pět kapitol. První kapitola poskytuje náhled do historie mikrovlnných technologií zkrze historii radiotechniky. Také lokalizuje mikrovlnnou techniku v rámci frekvenčního spektra. Nejdůležitější mikrovlnné technologie jsou uvedeny v závěru první kapitoly. Technologie Wi-fi je pak popsána i z hlediska skutečného nasazení v reálných podmínkách posledních deseti let.

Druhá kapitola ukazuje, jaké možnosti poskytuje trh. Člení antény do skupin stejně jak se to děje v tržním prostředí. Dále uvádí, s jakými vlivy vnějšího prostředí se antény musí běžně potýkat.

Třetí kapitola se soustředí na rozebrání vlastních parametrů antén a metod jejich měření použitých v této práci. Dále uvádí seznam poskytnutých antén a jejich parametry uváděné výrobcí. Následuje detailní popis prvního měření, včetně popisu prostředí bezodrazové komory. V závěru kapitoly jsou uvedeny naměřené parametry.

Kapitola čtvrtá je zaměřena na simulaci vlivů vnějšího prostředí. Popisuje použité normované klimatické zkoušky a jejich nasazení. Dále uvádí naměřené parametry antén po expozici klimatickým zkouškám.

V páté, poslední, kapitole jsou všechna změřená data i pozorované změny analyzovány a je zhodnocen vliv vnějšího prostředí na parametry antén.

## 1 Historický vývoj mikrovlnných spojů a antén

### 1.1 Důležité okamžiky z historie mikrovlnných technologií

---

Počátky historie mikrovlnných spojů a antén lze odvozovat od historického vývoje radiotechniky. V roce 1842 vynikající experimentátor a vynálezce prvního elektromagnetického telegrafu Joseph Henry zjistil, že při přeskoku jiskry vzniká v paralelním obvodu proud. Vyzařování elektromagnetického vlnění při zaklívání pozoroval také Thomas Alva Edison a s podnikavostí sobě vlastní si již v roce 1885 nechal patentovat svůj, na tomto jevu založený, sdělovací systém.

V roce 1873 publikoval James Clerk Maxwell pojednání o elektřině a magnetismu (*Treatise on Electricity and Magnetism*), v němž formuloval hypotézy o elektromagnetickém vlnění a položil tak teoretický základ nejen pro radiotechniku. Elektromagnetické vlnění prakticky dokázal až Heinrich Hertz v roce 1888 pomocí přístroje na produkci a detekci velmi krátkých vln. Využíval k tomu Ruhmkorffův induktor a anténou byl přerušovaný vodič sekundární cívky. Šlo vlastně o půlvlnnou dipólovou anténu. Pro své experimenty využíval i dipól s reflektorem ve tvaru parabolického válce.

O Hertzovy pokusy se zajímal Marchese Guglielmo Marconi, nejčastěji udávaný vynálezce bezdrátového telegrafu, jež sice nebyl první, ale jeho rozvojem a komerčním použitím byl nejvýznamnější. Pro své pokusy používal mimo jiné parabolických válců v centimetrovém pásmu a dělal pokusy i s vlnovody.

V roce 1927 představil japonský profesor Hidetsugu Yagi a jeho asistent Shintaro Uda anténu Yagi-Uda, známou spíše jako Yagiho anténu. V následujících letech bylo uskutečněno mnoho pokusů v mikrovlnném pásmu včetně experimentálního spojení mezi Anglií a Francií v roce 1931, s použitím parabolických antén.

Velkým milníkem byl vynález magnetronu. Jeho oscilace pozoroval a popsal profesor August Žáček již ve dvacátých letech dvacátého století. Nicméně až pánové John Randall, James Sayers a Henry Albert Howard "Harry" Boot počátkem let čtyřicátých vyvinuli dostatečně výkonný magnetron, který umožnil další rozvoj mikrovlnné techniky. Jelikož zuřila druhá světová válka, první použití přišlo záhy v radarových systémech, které pomáhali chránit Velkou Británii před nálety německých letadel. V USA kde probíhala licenční výroba magnetronů firmou Raytheon, jej dále vylepšil Percy Lebaron Spencer. Ten také v roce 1945 pozoroval, že se mu vlivem mikrovlnného záření rozpustila tabulka čokolády v kapse a tím položil základy ke vzniku mikrovlnné trouby.

Druhá světová válka taktéž urychlila vývoj v oblasti antén. Vznikly nejrůznější reflektorové a šterbinové antény, antény čočkovité, antény s podélným vyzařováním a také fázové řady pro mikrovlnné vlnění.

Po použití v radiolokaci se použití mikrovln výrazně rozšířilo do oblasti telekomunikací. Vznikly technologie radioreléových spojů a satelitní technika. První družice využívající mikrovlnné technologie byl americký Courier 1B vypuštěný již v roce 1960. Na poli antén vznikly, díky polovodičům, aktivní přijímací antény, využívající elektroniku. Také sériově vyráběné plošné spoje se uplatnili v konstrukci antén. Na samém konci dvacátého století, s rozmachem osobních počítačů a internetu, přišli na scénu mikrovlnné spoje pro datové sítě lokálních rozměrů, především technologie Wi-Fi. Tyto technologie s sebou přinesli antény malých rozměrů avšak s dobrou citlivostí. Narůstající poptávka po spolehlivém přenosu větších datových toků zapříčinila vznik multi-anténních systémů a také antény dvoupolarizační. [3] [6] [20] [21] [23]

## 1.2 Frekvenční spektrum

---

O mikrovlnách se mluví jako o elektromagnetickém vlnění s vlnou v rozsahu 10 cm až 1 mm (frekvencí 3 až 300 GHz) tedy v pásmech SHF a EHF. Nicméně i v předcházejícím pásmu UHF (frekvence 300MHz až 3 GHz) se lze setkat s mikrovlnnými zařízeními, např. s populární technologií Wi-Fi na frekvenci 2,4GHz. Naopak frekvenčně nedaleko vzdálené technologie, jako je GSM (900; 1,8 a 1,9 GHz) a LTE (1,8; 2,1 a 2,6 GHz) za mikrovlnné nepovažujeme. Klíčové je v tomto případě způsob šíření elektromagnetického vlnění. I když v pásmu UHF se lze setkat jak s šířením prostřednictvím prostorové a přímé vlny současně, o mikrovlnných technologiích mluvíme v souvislosti s využitím šíření přímou vlnou a z toho vychází jeden z klíčových požadavků těchto technologií a to je přímá viditelnost mezi stranami mikrovlnného spoje. Vyznačení části mikrovlnného spektra tedy nelze ostře vytyčit, jelikož přechod mezi rádiovým a mikrovlnným frekvenčním rozsahem je plynulý.

Využití frekvenčního spektra je celosvětově koordinováno. Též je spravováno i na úrovni jednotlivých států. U nás vykonává správu frekvenčního spektra Český telekomunikační úřad (ČTÚ). Správa spektra mimo jiné obnáší:

- přidělování rádiových frekvenčních pásem jednotlivým radiokomunikačním službám a stanovení technických parametrů a podmínek využití.
- kontrola využívání rádiového spektra
- udělování oprávnění k využívání frekvenčního pásma
- vystavování průkazů odborné způsobilosti pro obsluhu zařízení v leteckém a lodním pásmu, zařízení v pásmu krátkých vln a pro amatérskou radiokomunikační službu

Využívat kmitočty lze jen na základě všeobecného nebo individuálního oprávnění.

Pro využívání kmitočtů na základě všeobecného oprávnění není třeba žádat o licenci, ale je nutné řídit se pravidly konkrétních všeobecných oprávnění. Bezlicenční provoz není zpoplatněn a neprobíhá zde ani ústřední plánování a evidence spojů. Velkou nevýhodou je neexistence záruky ochrany proti rušení jinými spoji, či jinou technologií v tomto pásmu pracující. Všeobecné oprávnění pouze stanovuje podmínky využití, např. maximální povolený vysílací výkon a povinnost pro toho, kdo již existující technologii způsobil rušení, jej na své náklady odstranit.

Pro využívání frekvenčních pásma na základě individuálního oprávnění je nutno požádat ČTÚ o licenci. Pro získání licence je nutno splnit řadu podmínek. Pro některá frekvenční pásma může být počet oprávnění omezen a jeho získání může být podmíněno výběrovým řízením, či aukcí. Provoz v licenčních pásmech je ústředně plánován a je zde evidence spojů. Za provoz spoje se platí roční poplatky, ale je zajištěna ochrana proti rušení.

Informace o rozdělení rádiových kmitočtů a využívání jednotlivých kmitočtových pásem lze najít na internetových stránkách českého telekomunikačního úřadu. Konkrétně na adrese <http://spektrum.ctu.cz/> spustil ČTÚ aplikaci „Využití rádiového spektra“, kde lze tyto informace přehledně získat. [4] [5]

Frekvence	3	30	300 kHz	3	30	300 MHz	3	30	300 GHz
Vlnová délka	1	10 km	1	100 m	10	1	100 mm	10	1
Označení	<b>VLF</b>	<b>LF</b>	<b>MF</b>	<b>HF</b>	<b>VHF</b>	<b>UHF</b>	<b>SHF</b>	<b>EHF</b>	
Využití	Komunikace s ponorkami	Navigace, AM vysílání, časové signály	AM vysílání	Krátkovlnné vysílání	FM radiové a TV vysílání	TV vysílání, Wi-Fi	Mikrovlnná zařízení, Wi-Fi,	Radiostanice, Vysokorychlostní přenos dat	

Obrázek 1.1 - Rozdělení frekvenčního spektra 3 kHz až 300 GHz [5]



## 1.3 Nejdůležitější mikrovlnné technologie

---

### 1.3.1 Radioreléové spoje

Radioreléové spoje (dále jen RR spoje) jsou rádiovými zařízeními pro přenos signálů mezi dvěma body. I když se v principu nemusí jednat o mikrovlnná zařízení, požadavky na velkou přenosovou rychlost moderních telekomunikací si prakticky vynucuje použití mikrovln a velké šířky pásma. Používají se jako spoje pro telekomunikační a datové přenosy všude tam, kde nelze spoj realizovat metalickým nebo optickým kabelovým vedením, kvůli přílišné složitosti, či velkým finančním nákladům. Jedná se o point-to-point spoje s přímou viditelností mezi stranami. Nelze-li přímou viditelnost zajistit, spojují se RR spoje do retranslačních řetězců. Lze také využít i pasívní retranslace v podobě odrazných ploch, nebo vlnovodem spojených antén. V případě spojování do sériových řetězců, se předávaný signál v rámci řetězce nedekóduje, ale jen opakuje, což nevede ke ztrátě průchodnosti ani při více prvkovém řetězci. Mezi dvěma body lze dělat spoje i na desítky kilometrů a řetězcem spojů pak lze překlenout velké vzdálenosti. Obvykle mohou pracovat v polo či plně duplexním režimu a použita je vícestavová modulace QAM (např. 64QAM; 128QAM; klidně až 1024QAM). RR spoj se obvykle sestává z parabolické antény potřebné velikosti, kryté takzvaným radomem, nebo v případě větších antén (např. průměr okolo 1m) kryté speciální plachtou. Na zadní straně antény bývá vnější jednotka ODU (OutDoor Unit), která je koaxiálním kabelem spojená s vnitřní jednotkou IDU (InDoor Unit). Někdy jsou tyto jednotky sdruženy a data jsou přiváděna přímo do ODU. RR spoje se vyrábějí pro činnost ve volné i v licenční části spektra s rychlostmi od 2Mbps až k rychlostem 1150Mbps (RR spoje v pásmu 80GHz, použití na krátké vzdálenosti). [1] [2]

Regulovaná pásma

3,5 GHz, 6 GHz, 7 GHz, 11 GHz, 13 GHz, 18 GHz, 23 GHz, 26 GHz, 38 GHz, 40 GHz

Volná pásma

2,4 GHz, 5 GHz, 10 GHz, 17GHz, 24 GHz, 80 GHz

### 1.3.2 Družicové spoje

Družice obíhají ve velké výšce nad zemským povrchem, zhruba od 160 km pro družice s nízkou kruhovou dráhou (LEO - Low Earth Orbit), až po 36000 km pro geostacionární družice (GEO). Obzvláště GEO družice potřebují soustředit vysílaný výkon do poměrně úzkého paprsku a vzhledem k zásobování družice elektrickou energií ze solárních panelů, nemůže být ani vysílaný výkon příliš velký. Také volba použitých frekvencí je limitována útlumem atmosféry a požadavky na velkou přenosovou rychlost. Proto se využití mikrovln v satelitní technice se ukázalo jako velice výhodné již brzy po vzniku celé satelitní techniky. První použití mikrovln ve vesmíru bylo na americké družici Courier 1B již v roce 1960. Nejvíce se využívají parabolické antény pro vysokou směrovost a dobré rozměry v mikrovlnném pásmu. Nevýhodou může být poměrně dlouhá latence signálu, řádově ve stovkách milisekund, která může být pro některé datové služby problematická. Výhodou pak je schopnost pokrýt signálem široké území, včetně zapadlých lokalit, kam se jiné technologie dostávají obtížněji. Toho využívá například oblíbená služba satelitního televizního vysílání, kdy je jednou družicí pokryto území obvykle několik států. Na straně zákazníků se používá především offsetových antén (dobrá montáž a údržba) a satelitních přijímačů. Další oblíbenou službou je globální poziční systém GPS. Ten umožňuje na základě přesného měření času a znalosti polohy družic triangulovat polohu přijímače s přesností na metry až centimetry. Dále našla satelitní technika uplatnění v různých telekomunikačních využitích a rozsáhle ji využívá také armáda. [3][18]

## Používaná pásma

P	0,3 – 1	GHz	X	8 – 12,5	GHz
L	1 – 2	GHz	Ku	12 – 18	GHz
S	2 – 4	GHz	K	18 – 26	GHz
C	4 – 8	GHz	Ka	26 – 40	GHz

### 1.3.3 Wi-Fi

Mezi sítě LAN patří jeden z nejvýznamnějších obyvatelů mikrovlnného pásma, technologie Wi-Fi. Wi-Fi je označení pro několik standardů 802.11, které přicházeli postupně na svět. První standard označený číselně 802.11 byl organizací IEEE vydán v červenci 1994. Využíval bezlicenčního pásma 2,4GHz a přenosovou metodu FHSS (frequency hopping spread spectrum) a také DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum).

- FHSS vychází z konceptu již ze čtyřicátých let, kdy hudební skladatel George Antheil a herečka Hedy Lammar navrhovali využít předem definované sekvence přeskoků mezi vysílacími frekvencemi, aby z odolnili přenos rádiového signálu proti rušení a odposlechu. Metoda doznala vojenského využití počátkem šedesátých let a v osmdesátých letech byla uvolněna pro civilní využití.
- U DSSS je každý bit nahrazen pseudonáhodnou sekvencí 11 bitů. Tato zavedená redundance má za následek rozprostření signálu do větší části spektra za účelem zvýšení odolnosti vůči rušení.

Přenosové rychlosti byly 1 a 2 Mbps, což ve srovnání s metalickou sítí nebylo mnoho. Začalo se tedy pracovat na nástupci a vznikly standardy 802.11a a 802.11b.

Dříve vznikl 802.11b jak rozšíření staršího standardu 802.11. Omezuje se pouze na DSSS a přidává přenosové rychlosti 5,5 a 11 Mbps. Použité je pásmo 2,4 až 2,485 GHz, které je rozděleno na 14 kanálů. Nicméně zákonné úpravy jednotlivých států různě omezují použití na 13 či 11 kanálů. První kanál začíná na frekvenci 2412 MHz a další jsou pak umístěny po pěti MHz (2417;

2422; 2427; atd....) až do třináctého kanálu (2472 MHz). Trochu stranou je pak čtrnáctý kanál (2484 MHz), ale ten bývá v dosti zemích zakázán, povolen je např. v Japonsku. Problémem je šířka pásma 22MHz při vysílání na kanále. Dochází tak k překryvu až třech sousedních kanálů, což v znamená rušení od sousedních kanálů už v principu činnosti.

O trochu lepší situace je na standardu 802.11a. Ten využívá pásmo 5 GHz a kanály jsou zde od sebe vzdálené 20 MHz. Použitá modulace je zde OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) a šířka pásma 20 MHz. Vysílání na kanálu se tedy sousedního kanálu dotýká, ale primárně do něj nezasahuje. Modulace OFDM využívá frekvenční dělení spektra na několik stovek až tisíc subnosných ortogonálních kmitočtů a zlepšuje tak spektrální účinnost modulace. Přenosová rychlost byla zvýšena až na 54 Mbps. Ač tento standard pochází stejně jako 802.11b z roku 1999, pásmo 5 GHz bylo u nás uvolněno k bezlicenčnímu použití až v roce 2006.

Z roku 2003 pochází standard 802.11g. Ten je podobný jak 802.11a, ale využívá pásmo 2,4 GHz. Přináší do tohoto pásma modulaci OFDM, rychlost až 54 Mbps a šířku pásma 20 MHz. Obsahuje i zpětnou kompatibilitu se zařízeními standardu 802.11b a modulaci DSSS.

V roce 2009 přišel standard 802.11n. Již před vydáním standardu bylo možné koupit zařízení draft-n, což byla v podstatě iniciativa nedočkavých výrobců. Tento standard je aplikovatelný v pásmu 2,4GHz i v pásmu 5 GHz. Umožňuje vybrat šířku pásma 20 nebo 40 MHz, samozřejmě na úkor zarušení více okolních kanálů. Dále možnost využít MIMO (Multiple-Input, Multiple-Output), neboli více anténní systém, kdy se využívá vícecestné šíření signálu namísto snahy o jeho potlačení. Tento standard podporuje až 4 antény. Přenosová rychlost se zvýšila až na 600 Mbps.

Nejnovější standard 802.11ac byl schválen v roce 2014. Pro pásmo 5 GHz umožňuje navíc rozšířit šířku pásma na 80 resp. 160 MHz a podporuje až 8 antén v MIMO konfiguraci. Uváděná max. propustnost je až 3,2 Gbps. [1] [4] [6] [31]

### *1.3.3.1 Wi-Fi v reálném použití*

K reálnému použití této technologie je třeba podotknout, že je prapůvodně dělána na vnitřní použití, obzvláště pásmo 2,4GHz trpí při venkovním použití na silné rušení. V ČR, ale třeba také v Polsku a obecně v zemích východní Evropy se Wi-Fi technologie rozšířila i do sféry poskytování internetu, kdy po roce 2000 začalo vznikat větší množství lokálních ISP (internet Service Provider) poskytujících připojení k internetu právě přes Wi-Fi. Je to důsledek špatných rozhodnutí tehdejšího managementu SPT Telecomu (nyní O2) a odkladu nasazení technologie ADSL na telefonních linkách. V následujících letech, šla cena Wi-Fi technologií dolů na, pro běžné domácnosti, přijatelnou úroveň a vlivem konkurence mezi Wi-Fi poskytovateli spadla i cena měsíčního paušálu za připojení a poptávka několikanásobně vzrostla. I v malých městech do deseti tisíc obyvatel pak běžně existovalo několik poskytovatelů využívající Wi-Fi což zákonitě přineslo velké problémy s rušením v pásmu 2,4 GHz a po čase i v pásmu 5 GHz. Situace byla místy tak vyhrocená, že mezi poskytovateli zuřil lítý radioelektronický boj. Maximální povolený výkon byl a je od té doby soustavně překračován, začal být využíván i u nás zakázaný čtrnáctý kanál. Také se spoje začali ladit i mimo specifikované kanály. Tyto soustavná porušení zákona není v silách ČTÚ řešit. Poškozeným byl samozřejmě zákazník, protože výpadky byly na denním pořádku a ne jeden poskytovatel nátlak rozhněvaných zákazníků nevydržel a svoji síť raději prodal. Situace se díky nasycení trhu a také díky příchodu chytřejších zařízení (hlavně zařízení Routerboard firmy Mikrotik)) stabilizovala. Také chování uživatelů se trochu změnilo, kdy se zákazníci rychlého připojení nasytili a přestali stahovat obsah jen proto, že najednou mohli. Ubylo i provozu p2p sítí. A v neposlední řadě se i společnost O2 vzpamatovala a začala poskytovat ADSL internet za rozumnou cenu.

Typů antén používaných u Wi-Fi je velké množství. Zatímco u vnitřních prostor se Wi-Fi prakticky omezuje k používání různých nízkoziskových (0 až 5 dB) všesměrových antének, lidově přezdívaných pendrek, u venkovního použití je situace mnohem pestřejší. Používají se antény všesměrové, sektorové i směrové. Od použití všesměrovky s velkým ziskem (více jak 10 dB) a klientů připojených na několika kilometrovou vzdálenost se upouští, kvůli rušení.

Daleko častěji se staví lokálněji působící přístupové body se sektorovými anténami vykrývající jen část oblasti, nebo třeba i jen jednu ulici. Asi nejpoužívanější je v dnešní době takzvané kompletní klientské outdoorové řešení. Jedná se o klientské zařízení a dvoupolarizační anténu umístěné společně v odolném plastovém boxu s možností jednoduché venkovní instalace (kolikrát pouze pomocí plastové stahovací pásky). Na spoje se pak používají nejčastěji parabolické směrové antény, oblíbené jsou i antény typu Yagi. [6]

## 2 Současný stav trhu s ohledem na odolnost antén vůči vnějším vlivům

Volba správné antény je stejně důležitá jako volba použité technologie, pracovního kmitočtu, modulace, apod. Špatně zvolená anténa může snadno degradovat kvalitu celého bezdrátového spoje. Při volbě správného typu je nutné dopředu znát jaký prostor je třeba anténou vykrýt, zvolit vhodnou polarizaci (městská zástavba vs. otevřený prostor) a požadovaný minimální zisk antény. Při provozu v bezlicenčních pásmech v městské zástavbě je dobré mít navíc přehled o umístění, polarizaci a kmitočtu okolních vysílačů a volit anténu i podle vyzřovacích diagramů k potlačení rušení mikrovlnného spoje.

### 2.1 Členění antén

---

Asi nejpoužívanější členění antén je podle použití, resp. směrovosti. Antény tedy rozlišujeme na všesměrové, sektorové a směrové. Kromě toho lze antény dělit podle místa použití na vnitřní a pro venkovní použití. Vnitřními anténami se zde zabývat nebudeme. Také se zaměříme pouze na antény technologie Wi-Fi pásma 2,4GHz a 5GHz.

### 2.1.1 Všesměrové antény

Všesměrové antény jsou antény, jež mají vyzařovací úhel v horizontální rovině 360°. V rovině vertikální je pak vyzařovací úhel malý, například jen 6° (u 15dBi všesměrové antény, 2,4GHz). Platí zásada, že čím větší zisk, tím menší vyzařovací úhel ve vertikální rovině. Všesměrové antény se vyrábí převážně s vertikální polarizací, ale lze se setkat i s horizontálními všesměrovkami. Vertikální všesměrové antény jsou obvykle dlouhé a úzké trubky z ABS plastu s vrstvou PMMA (polymethylmethakrylát), kvůli zvýšení odolnosti proti UV záření. Nahoře bývají opatřeny přesahující plastovou, nebo také hliníkovou čepičkou.

Horizontální všesměrová anténa je zpravidla tlustší než vertikální. To proto, že se ve skutečnosti jedná o několik zřazovaných sektorových antén postavených tak, aby vykrývali prostor 360°. Konstrukčně jsou obdobné vertikálním všesměrovkám.

Na trhu jsou k dostání také všesměrové antény duální pro pásmo jak 5GHz, tak 2,5GHz. Stejně tak lze koupit všesměrové antény MIMO. Jde vlastně o dvě antény v jednom pouzdře. [26] [27] [32] [33] [34]

### 2.1.2 Sektorové antény

Tyto antény mají omezený úhel vyzařování v horizontální rovině, ale o to větší zisk. Větší bývá také vertikální vyzařovací úhel. Nasazují se tam, kde není potřeba pokrytí celého okolí, nebo by bylo naopak kontraproduktivní. Reálně se lze setkat s anténami s pokrytím od 30° až do 180°, vykrývají tak pouze určitý sektor, podle potřeby spíše na kratší vzdálenost. V dnešní době hojně používaná klientská zařízení také obsahují sektorovou anténu spolu se zařízením v jednom obalu.

Materiálově se povětšinou jedná o spojení ABS plast a pozinkovaný ocelový plech, nebo slitiny hliníku. Tyto antény většinou bývají lepené. Stejně jako u antén všesměrových, jsou zastoupeny ve všemožných variantách pro obě

pásmo 2,4GHz a 5GHz, obou polarizační i MIMO antény. [26] [27] [32] [33] [34]

### 2.1.3 Směrové antény

Antény, které mají vyzařovací diagram v obou rovinnách zúžený do úzkého prostoru, jsou antény směrové. Mají velký zisk a jsou používány hlavně v point-to-point spojích i na větší vzdálenosti. Nejoblíbenější antény z této kategorie jsou nejrůznější parabolické antény s pevným, nebo mřížovaným reflektorem. Další oblíbenou anténou, zařazovanou mezi směrové, je anténa typu Yagi a to i přes poněkud vyšší vyzařovací úhel.

U parabolických antén je obvyklý plastový kryt ozařovače a parabolický reflektor. Někdy se také používá hliníkový ozařovač samotný nebo v silonovém pouzdře. Parabolický reflektor je buďto plný z ocelového plechu či častěji z hliníkových slitin. Anebo drátěné síto z ocelových drátů. Ostatní montážní prvky mohou být z pozinkované oceli či hliníkových slitin. [26] [27] [28] [30] [32] [33] [34]

## 2.2 Vnější vlivy

---

Na venkovně používané antény mají vliv různé klimatické vlivy a jejich střídání. Vlivy mohou působit přímo a dlouhodobým vystavením.

### 2.2.1 Přímé působení vnějších vlivů

Přímé působení je např. působením větru, kdy při prudších nárazových větrech může utrpět mechanická konstrukce poškození nebo může dojít k pohnutí antény a rozladění spoje. Dalším nebezpečím je voda, která se při špatné konstrukci těsnících prvků dokáže dostat do míst, kde zkratují elektrické části antény, a dojde k velkému poklesu zisku antény. Také může



dojít ke zničení vysílacích částí připojeného zařízení. Kombinace větru a vody může anténu poškodit silným krupobitím, anebo ji vyřadit z provozu při zapadání sněhem.

### 2.2.2 Vliv dlouhodobého působení vnějších vlivů

Kromě přímého působení mohou vnější vlivy působit na anténu svými dlouhodobými účinky. Dlouhodobé působení a střídání teploty, tlaku, vlhkosti a slunečního záření dovede postupně zhoršovat parametry antén. Vlhkost může způsobovat korozi, obzvláště u plechových dílů, které jsou chráněné jen barvou. UV záření působí křehnutí plastů. Střídání teplot zase způsobuje ztrátu těsnicí schopnosti u gumových těsnění. Vliv může mít též působení hmyzu, či jiných živočichů, kteří si dokáží v přístupných prostorách antény (odtokové dírky krytů, prostor parabolické antény s krytem) vytvářet hnízda, klást larvy či zanášet do antény cizí předměty.

### 2.2.3 Ochrana proti vnějším vlivům

Proti přímému působení vnějších vlivů se lze bránit vhodnou konstrukcí antény a její správnou montáží. Je třeba dobře dotáhnout anténí držák a vyndat zášlepy z příslušných odtokových otvorů, je-li jimi anténa vybavena. Také je třeba dbát, aby tyto otvory směřovaly vždy směrem dolů. Taktéž přívodní kabely by měly být upevněny a to tak, aby po nich nestékala voda do antény. Kontektorové spoje je potřeba zajistit kvalitní vulkanizační páskou.

Proti dlouhodobému působení vnějších vlivů je nejlepší obranou její dobrá konstrukce vycházející z provozních zkušeností a ještě více než u přímých vlivů je důležitá správná montáž a umístění antény. Nutná je také pravidelná kontrola a údržba antény.

Žádná anténa nevydrží věčně, ale správným používáním a pravidelným servisem obvykle dokáže několikrát přečkat morální životnost provozované technologie.

## 3 Změření a porovnání vlastností dostupných vf antén

### 3.1 Parametry antén

---

Existuje mnoho typů antén a ještě více jejich různých variací. Každá může být vhodná pro trochu jiné využití. Ke vzájemnému porovnání antén nám slouží jejich důležité parametry. Parametry antén jsou navzájem různě provázané a můžeme je členit např. podle dominantní vlastnosti – parametru od kterého se jednotlivé dílčí parametry odvozují.

#### 3.1.1 Rezonanční frekvence

Anténa je vlastně otevřený rezonanční obvod a jako takový má svou rezonanční frekvenci. Tedy frekvenci, kdy anténa vyzáří, resp. přijme největší množství energie – má největší zisk. Rezonanční frekvence antény je dána především její konstrukcí, tedy fyzickými rozměry některých částí. Např. u klasického půlvlnného dipólu odpovídá jeho délka polovině vlnové délky rezonanční frekvence.

Platí vztah:

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad (1)$$

kde  $\lambda$  představuje vlnovou délku,  $v$  rychlost šíření vln (nejčastěji se pro běžné výpočty používá rychlost světla) a  $f$  je ona rezonanční frekvence. Rezonanční frekvenci ale může ovlivnit i výška umístění antény na zemi, kdy dochází k ovlivnění kapacity rezonančního obvodu a tedy i rezonanční frekvence. [7] [9] [19] [22]

### 3.1.1.1 Šířka pásma

Udává interval okolo rezonanční frekvence. Krajní body intervalu jsou dané poklesem zisku o 3 dB od zisku na rezonanční frekvenci.

### 3.1.2 Zisk

Udává účinnost antény v porovnání se referenční izotropickou anténou.

Podle vztahu:

$$G = 10 \log \frac{P_1}{P_0} [dB] \quad (2)$$

kde  $G$  je zisk antény  $P_1$  je výkon na anténě a  $P_0$  výkon na referenční anténě.

Referenční izotropická anténa je teoretická anténa v praxi nerealizovatelná. Jedná se v podstatě o bod, jehož vysílání není směrově omezeno. Zisk antény vztahovaný k této izotropické anténě má pak jednotky dBi.

Další používanou referenční anténou je půlvlnný dipól, který už prakticky realizovatelný je. Vůči izotropické anténě má zisk 2,14 dBi. Antény, které svůj zisk odvozují k referenčnímu půlvlnnému dipólu jej udávají v jednotkách dBd.

Zisk antény je frekvenčně i směrově závislý, na základě čehož vznikají frekvenční a směrové charakteristiky. Na změřených frekvenčních charakteristikách je zajímavé, že ač má anténa rezonanční frekvenci blízko k frekvenci 8 GHz, tak její použití je především v pásmu 5 – 6 GHz v rovné části vlevo uprostřed. Tak to určil i výrobce. To nás samozřejmě nelimituje v použití na jiné frekvenci (např. 8 GHz, s nízkou šířkou kanálu), jen je třeba respektovat onu závislost zisku na kmitočtu.

Směrová závislost zisku je klíčová vlastnost antén vyšší velikost zisku je dána vyšším soustředěním vyzářené (resp. přijímané) energie do určitého směru a platí zde přímá úměra, čím je anténa směrovější, tím vyšší má ve směru hlavního laloku zisk. [7] [9] [13] [14] [22]

### 3.1.3 Vyzařovací (směrové) charakteristiky

Nebo také směrové charakteristiky. Zobrazují závislost zisku na úhlu natočení antény. Jinak řečeno vyznačují směrovost antény. Jelikož směrovost antény je prostorová záležitost, zobrazují se směrové charakteristiky v řezech ve dvou rovinách. V rovině vektoru intenzity elektrického pole E, jinak často označované jako vertikální polarizace. A v rovině vektoru intenzity magnetického pole H analogicky označované jako horizontální polarizace. Směrové charakteristiky mohou být zobrazeny v grafu jako polární, viz změřené charakteristiky, nebo roviné (klasický graf závislosti zisku na úhlu v intervalu  $-180^\circ - 180^\circ$ ).

Ze směrových charakteristik lze vyčíst několik dalších parametrů a dávají dobrý přehled o kvalitě antény. Dobrá znalost směrových charakteristik použitých antén je jedním z předpokladů pro výběr správné antény do obtížného prostředí (např. pro prostředí s velkým rušením) a neměla by být podceňována. [9] [22]

#### 3.1.3.1 Vyzařovací úhel

Udává šířku hlavního svazku ve stupních v místě poklesu o 3dB (tj. na poloviční výkon). Může a často také bývá různý v různých rovinách. Např. výkonné všesměrové antény mívají vyzařovací úhel  $360^\circ$  v jedné rovině, zatímco v druhé rovině např. pouze  $13^\circ$ .

#### 3.1.3.2 Činitel zpětného příjmu (předozadní poměr)

Udává logaritmický poměr mezi výkonem přijímaným/vyzářeným v hlavním směru a výkonem v nežádoucím směru. Nejčastěji tedy  $0^\circ/180^\circ$ . Počítá se podle vzorce:

$$B = 10 \log \frac{P_{(0^\circ)}}{P_{(180^\circ)}} [dB] \quad (3)$$

Např. pro slušnou hodnotu 30dB přijímá/vysílá anténa 1000x větší výkon v čelním směru, než zezadu. [10] [22]

### 3.1.4 Polarizace

Natočení vektoru elektrického pole  $E$  v prostoru udává směr polarizace. V případě, že je kolmý k zemskému povrchu je polarizace antény je označována jako vertikální. Pro vektor elektrického pole rovnoběžný s horizontem označujeme polarizaci antény jako horizontální. Dost antén umožňuje montáž jak s vertikální, tak s horizontální polarizací. Jsou i antény používající obě polarizace – antény duální. Toto platí, když se směr vektoru elektrického pole nemění, ale mění se pouze jeho velikost. Pak mluvíme o polarizacích lineárních. V případě, že se natočení vektoru elektrického pole v prostoru s časem mění, jedná se o polarizaci kruhovou, tu dále můžeme rozdělit na levotočivou a pravotočivou, podle směru rotace vektoru elektrického pole. [10] [19] [22]

### 3.1.5 Impedanční charakteristiky

Anténa je otevřený rezonanční obvod a tedy její impedance má svoji induktivní i kapacitní složku. Ty jsou ovlivněny konstrukcí antény, ale lze je samozřejmě ovlivňovat i přidáním induktivního, či kapacitního prvku. K ovlivnění kapacitní složky dochází i v případech, kdy je anténa umístěna v nízké výšce nad zemským povrchem. Především ve vzdálenostech nižších než  $\lambda/2$  se kapacitní složka zvětšuje a dochází tak k poklesu rezonanční frekvence.

#### 3.1.5.1 Vstupní impedance

Impedance je frekvenčně závislá. Má kapacitní i induktivní složku. Na rezonanční frekvenci se tyto složky navzájem eliminují a anténa má pouze činný odpor. Ten lze ještě rozdělit na odpor ztrátový, tedy joulovy ztráty, a na odpor vyzařovací, na kterém se mění přivedený elektrický výkon na vyzářené elektromagnetické vlnění. [10] [11] [14]

### 3.1.5.2 Poměr stojatých vln (PSV)

Jeden z nejdůležitějších údajů o funkci antény. Udává přizpůsobení impedance antény a napáječe. Při nedokonalém přizpůsobení, se část vlnění může na rozhraní vedení/anténa odrazit. Odražená vlna se setká s přímou a kde se střetnou ve fázi, vznikne stojatá vlna s max. amplitudou. Tam, kde se setkají v protifázi, vznikne stojatá vlna s minimální amplitudou. Poměr této maximální amplitudy s minimální je PSV. Je-li tento poměr 1, je anténa dokonale impedančně přizpůsobena a ke vzniku stojatých vln nedošlo. Čím větší je hodnota PSV, tím více výkonu se odrazí zpět. U slušných antén se PSV pohybuje do hodnoty 1,5. To odpovídá 5% odraženého výkonu. U antén s vysokým PSV může dojít ke zničení koncového stupně připojeného zařízení. [11] [12] [22]

## 3.2 Měření parametrů antén

---

V dřívějších dobách se používal hlavně skalární obvodový analyzátor, který měřil pouze závislost úrovně signálu na frekvenci. Dnes se již povětšinou používá vektorový obvodový analyzátor, který měří komplexně. Na měřený obvod se dívá jako na dvojbran a výstupem jsou pak matice S parametrů s dvěma indexy (např.  $S_{21}$  představuje zesílení). [15] [16]

### 3.2.1 Měření impedančních charakteristik

Výstupem analyzátorů bývá většinou soubor hodnot a grafické znázornění měřené veličiny. Měřit můžeme rezonanční charakteristiku v podobě závislosti impedance na frekvenci, ale nejčastěji měřená veličina je poměr stojatého vlnění (PSV, SWR) zastoupený parametrem  $S_{11}$ .

Pro všechny druhy analyzátorů platí, že je před zahájením měření je třeba kalibrovat. V případě měření antén se provádí open-short kalibrace s

připojeným měřicím kabelem. Jedině tak dosahujeme při následném měření správných výsledků. Také je potřeba při měření minimalizovat odrazy vyzářeného vlnění od překážek. Odražené a přijaté vlny by zkreslovali měření. Proto se provádí nejlépe v bezodrazové komoře s anténou namířenou na prvky komory absorbující elmag. vlnění v případě laboratorních měření. Nebo s anténou ve volném prostoru v případě teréních měření. [8] [15] [22] [24]

### 3.2.2 Měření směrových vyzařovacích charakteristik

Měření směrových charakteristik je časově náročná činnost, která pro správné a přesné výsledky vyžaduje zautomatizování měřicího procesu. Měření může probíhat ve vzdálené nebo blízké zóně. Pro elektricky velké antény, které mají největší rozměr  $D \gg \lambda$  se vzdálená zóna se nejčastěji určuje podle vzorce:

$$R_f > \frac{2D^2}{\lambda} \quad (4)$$

Tato hodnota není pevně daná a různí autoři používají různá hodnoty. Pro měření na blízké zóně ještě rozlišujeme měření na rovinné, válcové a kulové ploše. Všechny metody měření směrových charakteristik spočívají v nasbírání pole dat (amplituda a fáze v závislosti na poloze sondy, resp. úhlu natočení antény) nejčastěji vektorovým obvody analyzátořem. Nasbíraná data se následně projedou výpočty, které se mohou pro jednotlivé metody různě lišit. [8] [22]

#### 3.2.2.1 Měření ve vzdálené zóně v anechoické komoře

Pokud to kombinace rozměrů apertury antény a pracovní frekvence dovolí lze dělat měření v místnosti. Speciální místnost se obvykle pokrývá útlumovým materiálem, který je navržený tak, aby vysoce pohlcoval vlny pro měřené frekvence. Tyto útlumové materiály omezí odrazy od stěn, podlahy a stropu,

kteře se mohou kombinovat s hlavním signálem a tím poškozovat rovnoměrné ozáření (jak amplitudové, tak i fázové) měřené antény.

Měření vychází z výkonové bilance anténího spoje, kde:

$$P_p = P_v + G_v + G_p - L_0 \quad (5)$$

$P_p$  – přijatý výkon,  $P_v$  – vysílaný výkon,  $G_v$  – zisk vysílací antény,  $G_p$  – zisk přijímací antény,  $L_0$  – útlum volného prostoru vše vyjádřeno v [dB]. Za předpokladu, že dochází k měření na vzdálené zóně, či na volném prostoru a útlum anténích kabelů je zanedbán.

Oba výkony, resp. úrovně signálu, buďto známe, nebo přímo měříme. Zisk vysílací antény nejčastěji známe, ale není to podmínkou. Vzájemným měřením 3 různých antén s neznámým ziskem, vždy v páru, lze zisk dopočítat též. Útlum prostředí lze pro měření ve vzdálené zóně dopočítat jako:

$$L_0 = 20 \log \frac{4\pi R}{\lambda} [dB] \quad (6)$$

Jedinou neznámou, a to zisk měřené antény, pak lze snadno dopočítat

$$G_p = P_p - P_v - G_v + L_0 [dB] \quad (7)$$

Není nutno počítat s výkony. Obvodový vektorový analyzátor měří parametr  $S_{12}$  – zpětný přenosový koeficient, který vyjádřeno v decibelech:

$$A_z = 20 \log |S_{12}| [dB] \quad (8)$$

Můžeme dosadit namísto rozdílu výkonů:

$$G_p = A_z - G_v + L_0 [dBi] \quad (9)$$

Tyto výpočty se provedou pro všechny úhly natočení v obou rovinách. Výsledné pole dat nám po zanesení do grafu dá směrovou charakteristiku.



Dále tyto hodnoty můžeme použít pro výpočet vyzařovacího úhlu, předozadního poměru apod. [8] [22] [23]

### 3.3 Poskytnuté vzorky antén

---

K měření byly zapůjčeny 4 vzorky dvou různých typů antén. Šlo o antény primárně určené pro technologii Wi-fi 5GHz. Jednalo se o parabolické antény průměru cca 40cm od známých výrobců. Oba typy měli podobné, srovnatelné parametry, lišil se pouze jejich stav. Od každého výrobce byla jedna nová a jedna již používaná anténa.

Číslo vzorku	Typ antény	Stav antény
1021	MaxLink 24	použitá
3232	Jirous JRC-24	použitá
3539	MaxLink 24	nová
3540	Jirous JRC-24	nová

*Tabulka 0.1 - Poskytnuté vzorky antén*

#### 3.3.1 Anténa MaxLink 24

Kmitočtové pásmo: 5,15 – 5,85 GHz

Zisk: 24 dBi

PSV: < 1,5

Vyzařovací úhel (H/V): 6°/6°

Předozadní poměr: > 30 dB

Běžná maloobchodní cena (s DPH): 1 150,- + 400,- (Radomový kryt) [26]  
[32] [33]



Obrázek 0.1 - Anténa Maxlink 24

### 3.3.2 Anténa Jirous JRC-24

Kmitočtové pásmo: 5,0 – 5,95 GHz

Zisk: 22<sub>5,2GHz</sub> – 23<sub>5,8GHz</sub> dBi

PSV<sub>5,35 – 5,9 GHz</sub>: ≤ 1,5

Vyzařovací úhel: 8,8°

Předozadní poměr: > 30 dB

Běžná maloobchodní cena (s DPH): 2 800,- (2 kusy) [29] [32] [33]



Obrázek 0.2 - Anténa Jirous JRC-24

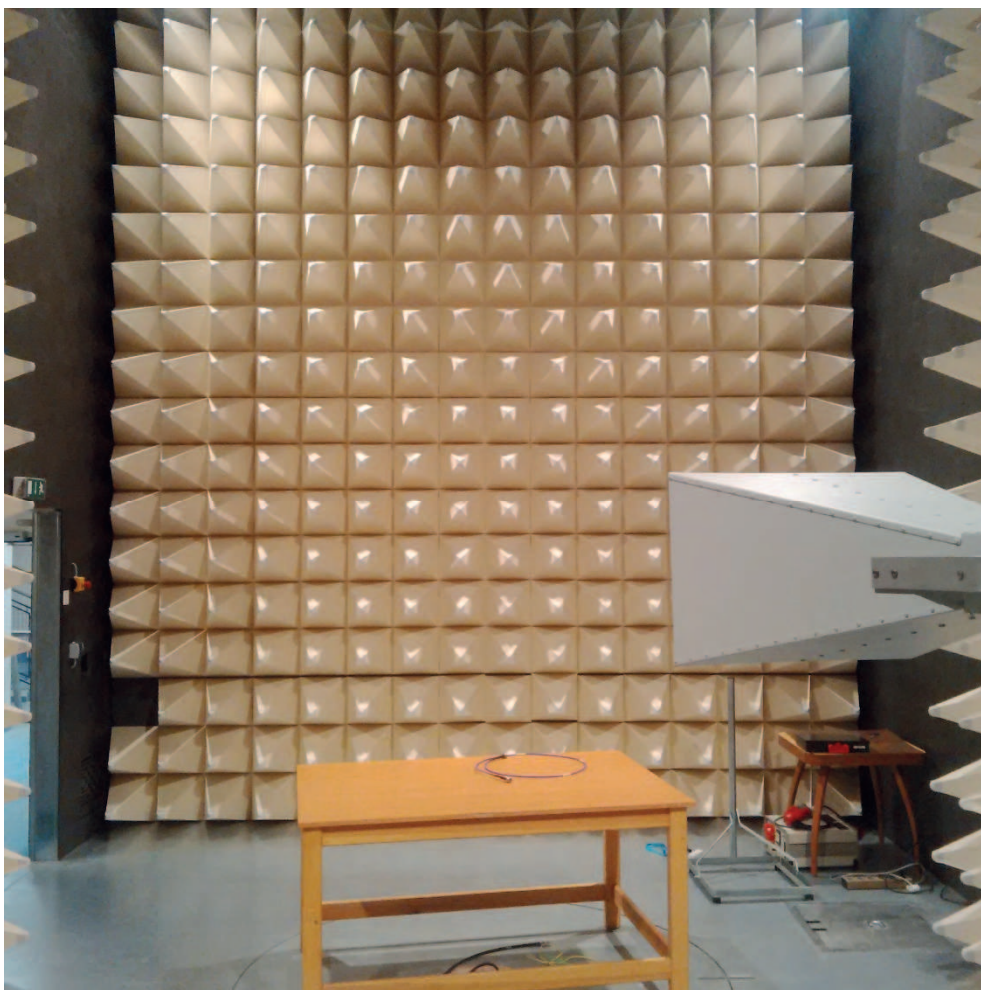
## 3.4 Průběh měření

---

U všech 4 vzorků antén bylo provedeno měření PSV a směrových vyzařovacích diagramů v obou rovinnách.

### 3.4.1 Měření parametrů v bezodrazové komoře

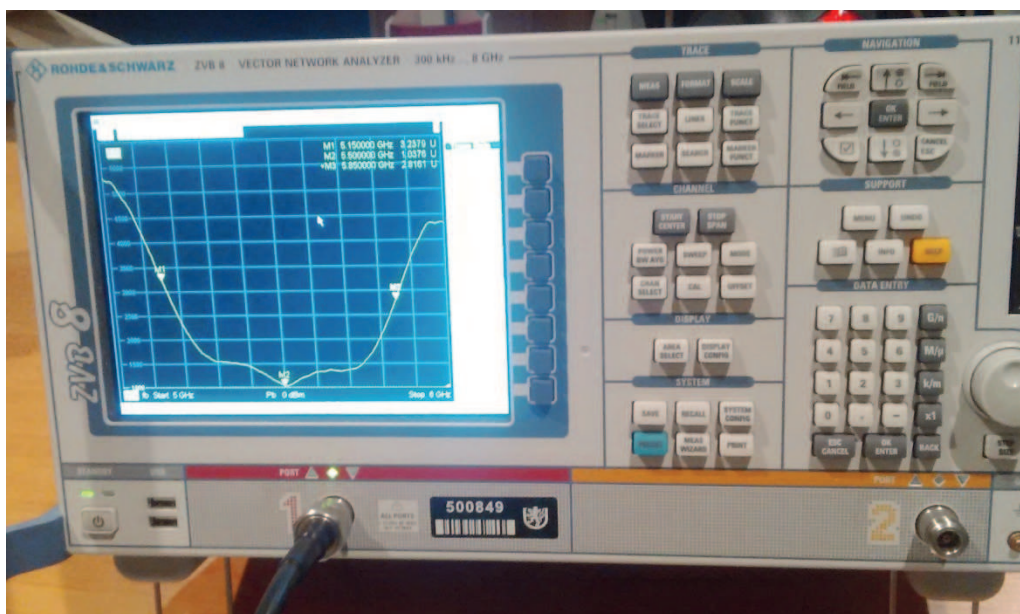
První měření probíhalo 18. 12. 2015 v bezodrazové komoře na Západočeské univerzitě, fakultě elektrotechnické. Částečně bezodrazová komora Frankonia SAC-3, která se nachází v přízemí budovy FEL, je elektromagneticky stíněná komora speciálně určená pro měření se sníženým ovlivněním rušivého elektromagnetického vlnění. Toho je dosahováno konstrukcí komory se stínění pozinkovanými ocelovými plechy doplněnými o obložení deskami s feritovým absorbním materiálem po stěnách a stropu komory. Toto obložení je ještě doplněno o pyramidové hybridní absorbéry, které jsou rozmístěné také na stropě a po stěnách komory. V této konfiguraci se jedná o částečně bezodrazovou komoru, která umožňuje odrazy od země. V případě potřeby, což bylo i v tomto měření, je možnost doplnit pokrytí podlahy o desky s feritovým absorbérem a hybridní pyramidové absorbéry, aby vznikla komora bezodrazová a mohlo být simulováno měření antény ve vzdálené zóně. V komoře se nachází řízená točna ovládaná z kontrolní místnosti komory a také anténí stojan s možností ovládat výšku měřící antény.



Obrázek 0.3 - Částečně bezodrazová komora Frankonia SAC-3

#### 3.4.1.1 Měření PSV

Nejprve bylo provedeno měření PSV přineseným vektorovým obvodovým analyzátozem Rhode&Schwarz ZVB 8. Vektorový obvodový analyzátor byl postaven na stůl umístěný na točně v bezodrazové komoře. Poté jej, i s měřicím kabelem, Ing. Jan Mráz Ph.D. pomocí kalibrační sady kalibroval. Byla připojena první měřená anténa, namířena na pyramidové hybridní absorbéry na stěně, aby bylo pohlceno co největší množství vyzářené elektromagnetické energie a nedošlo k ovlivnění měření odrazy. Takto byl změřen parametr  $S_{11}$ , který odpovídá přímo měřenému PSV. Měření bylo zopakováno pro všechny antény a výsledky byly z vektorového obvodového analyzátoru exportovány na přinesený flashdisk.



Obrázek 0.4 - Vektorový obvodový analyzátor R&S ZVB8

#### 3.4.1.2 Měření směrových charakteristik

Pro měření směrových charakteristik byl vektorový obvodový analyzátor přenesen do řídicí místnosti bezodrazové komory, kde byl jedním portem připojen k anténímu svodu, který vedl podpodlahovým kabelovým kanálem do středu točny. Druhý port analyzátoru byl připojen k nastavitelnému anténímu stojanu. Opět byl Ing. Janem Mrázem Ph.D. a jeho kalibrační sadou zkalibrován, jelikož se změnilo měřicí uspořádání. V řídicí místnosti bezodrazové komory se dále nachází kontrolér, který je pomocí sběrnice GPIB spojen s ovládáním točny a nastavitelným anténím stojanem. Dále je na tuto sběrnici připojen analyzátor a počítač s nainstalovaným programem Matlab s obslužnými skripty. Na nastavitelném anténím stojanu byla ve výšce 1,8 m trychtýřová anténa s hřebenovým vlnovodem, přezdívaná pro svůj tvar ploutvová anténa (obr. 3.5). Tato anténa má dobré širokopásmové vlastnosti a velký odstup od postraních laloků. Na stůl stojící na točně v bezodrazové komoře byl umístěn pozinkový anténí stojan. Do výšky 1,8 m od podlahy bezodrazové komory na něj byla přimontována první z měřených antén ve vertikální polarizaci. Stůl, stojan i anténa byli vycentrováni tak, aby bylo umožněno otáčení točny s anténou ve svém středu a měřená anténa byla nasměrována na střed měřící ploutvové antény. Toto nasměrování a nulový sklon antény byl ještě ověřen pomocí ručního laserového dálkoměru.



Obrázek 0.5 – Schwarzbeck BBHA 9120 E - Double Ridged Broadband Horn Antenna [25]

Bezodrazová komora byla zavřena a z kontrolní místnosti byl spuštěn obslužný skript pro měření směrových charakteristik. Měření probíhalo v rozsahu 4 – 8 GHz pro natočení antény 0 – 360°. Měření jedné směrové charakteristiky probíhalo cca půl hodiny, po té byla bezodrazová komora opět otevřena a proběhla buď změna polarizace antén, nebo výměna měřené antény za jinou.

Takto byly změřeny všechny 4 antény v obou polarizacích, celkem tedy 8 měření. Z každého měření byly pomocí skriptů v programu Matlab vygenerovány grafy směrových charakteristik pro frekvenci 5,5 GHz a grafy závislosti zisku na frekvenci.

#### *3.4.1.3 Naměřené parametry*

Měření probíhalo v obou polarizacích, takže některé údaje byly v podstatě změřeny dvakrát. Vzhledem k prostorovosti vyzařovacích laloků by měli hodnoty rezonanční frekvence, zisku a předozadního poměru být stejné v obou polarizacích. Je to zároveň i kontrola správnosti měření. V případě, že měření bylo správné a hodnoty se liší jen nepatrně, uvádím zde tu menší – nevýhodnější z nich.

Číslo vzorku	Udáno výrobcem		Změřeno			
	MaxLink	Jirous	1021	3232	3539	3540
Typ antény	MaxLink	Jirous	MaxLink	Jirous	MaxLink	Jirous
Stav antény			použitá	použitá	nová	nová
Rezonanční frekvence [GHz]	5,15–5,85	5,0–5,95	5,77	5,99	5,99	5,99
Zisk (5,5 GHz) [dBi]	24	24	24,57	22,91	24,78	23,2
PSV (5,5 GHz)	< 1,5	< 1,5	1,06	1,36	1,4	1,18
Vyzařovací úhel (H/V) [°]	6 / 6	8,8	10 / 10	10 / 11	10 / 10	10 / 11
Předozadní poměr [dB]	> 30	> 30	30,34	30,24	31,11	30,20

Tabulka 0.2 - Parametry antén – první měření

## 4 Měření vlivu vnějšího prostředí na parametry antén

### 4.1 Vliv vnějšího prostředí na parametry antén

#### 4.1.1 Zkouška v klimatické komoře

Pro nasimulování vlivu vnějšího prostředí v krátkém čase bylo zvoleno podrobit antény pobytu v klimatické komoře. Byla využita laboratoř klimatických zkoušek Západočeské univerzity, v budově fakulty elektrotechnické. Podle Normy ČSN EN 60068-1 byly po uvážení vybrány zkoušky ČSN EN 60068-2-30 Vlhké teplo cyklické a ČSN EN 60068-2-14 Změna teploty. Tyto zkoušky dobře simulují podmínky, jež mohou panovat ve vnějším prostředí a zkoušené antény jim mohou být vystaveny.

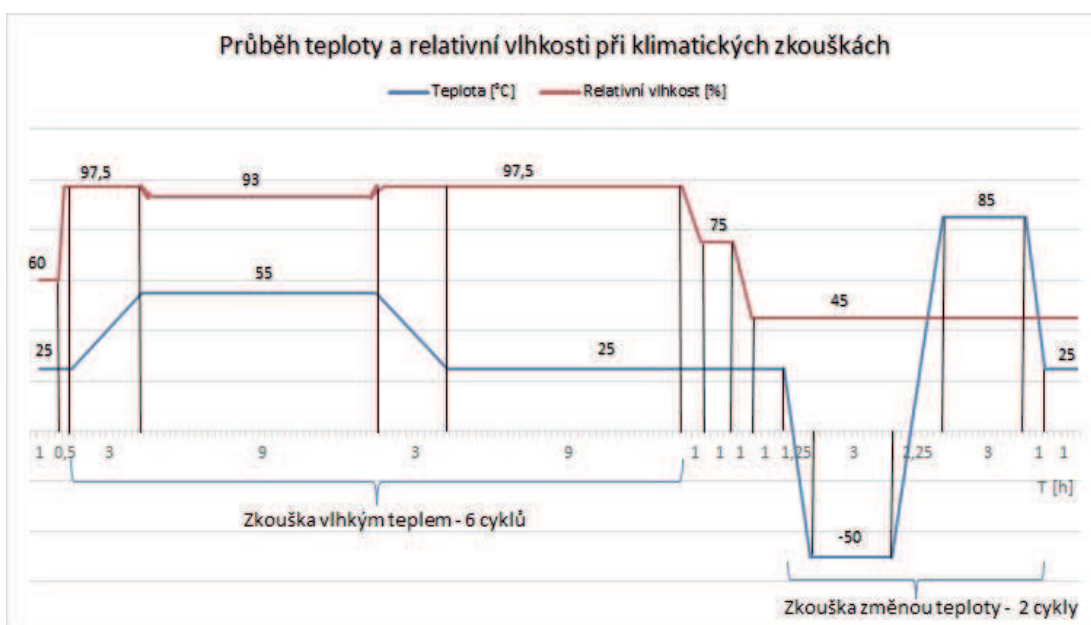
Zkouška vlhkým cyklickým teplem vystavuje zkoušený předmět střídavě běžné a vysoké teplotě při zachování vysoké úrovně relativní vlhkosti. Z normou definovaných možností byla vybrána přísnější úroveň zkoušky s vyšší teplotou 55°C a počet cyklů byla zvolen 6. Aklimatizační doba mezi zkouškami byla vypuštěna, jelikož měření vlivu jednotlivých zkoušek neprobíhalo a aklimatizační doba tedy nebyla nutná.

Druhá zkouška – změnou teploty, spočívala ve střídání nízké a vysoké teploty při konstantní relativní vlhkosti ne větší než 50 %. Z možných teplot byly vybrány teploty -50°C a +85°C s rychlostí změny 1°C/min a čas expozice

zvolen 3 h pro každou z hraničních teplot. Počet cyklů zkoušky byl 2. Po zkoušce změnou teploty následovala ještě aklimatizační doba cca 2 hodiny. [17] [23]

#### 4.1.2 Nastavení testu

Změny teploty a relativní vlhkosti během testu ukazuje následující graf. Normou předepsaná aklimatizační doba mezi zkouškami mohla být vynechána, z důvodů nevyhodnocování dílčího vlivu jednotlivých zkoušek, ale pouze vlivu celkového. Celková doba pobytu antén v klimatické komoře byla 7 dní a 3 hodiny.



Obrázek 4.1.1 - Průběh teploty a rel. vlhkosti při klimatických zkouškách

#### 4.2 Naměřené parametry po pobytu v klimatické komoře

Druhé měření parametrů antén probíhalo 14. 4. 2016 na stejném místě jako měření předešlé. Bylo provedeno měření PSV pro všechny 4 vzorky a následně měření směrových vyzařovacích charakteristik pro všechny antény



v obou polarizacích. Výstupem byly data a grafy parametrů antén po pobytu v klimatické komoře.

Číslo vzorku	Udáno výrobcem		Změřeno			
			1021	3232	3539	3540
Typ antény	MaxLink	Jirous	MaxLink	Jirous	MaxLink	Jirous
Stav antény			použitá	použitá	nová	nová
Rezonanční frekvence [GHz]	5,15–5,85	5,0–5,95	5,75	5,99	5,99	5,98
Zisk (5,5 GHz) [dBi]	24	24	23,82	23,32	24,36	23,67
PSV (5,5 GHz)	< 1,5	< 1,5	1,02	1,37	1,34	1,18
Vyzařovací úhel (H/V) [°]	6 / 6	8,8	11 / 10	10 / 9	10 / 9	11 / 10
Předozadní poměr [dB]	> 30	> 30	30,70	30,43	31,54	29,97

Tabulka 4.1 - Parametry antén – druhé měření

## 5 Zhodnocení vlivu klimatických zkoušek na parametry antén

### 5.1 Zhodnocení stavu antén

K měření byly zapůjčeny celkem 4 antény. Šlo o dva typy od různých výrobců vždy v páru nová – použitá. Oba typy byly parabolické antény technologie Wi-fi 5 GHz s průměrem přibližně 40cm a udávaným ziskem přibližně 24dB.

Při srovnání výrobci udávaných parametrů, viz 3.3 poskytnuté vzorky antén, vidíme, že se antény příliš neliší. Antény Jirous JRC-24 mají oproti anténám Maxlink 24 asi o 200MHz širší pásmo ale o 2,8° širší vyzařovací úhel. Cenově jsou na tom také podobně, nicméně anténu Jirous JRC-24 lze koupit pouze po dvou kusech s radomovým krytem.

Srovnání naměřených parametrů z prvního měření, viz 3.4 tab. 2. Parametry antén – první měření, pak ukazuje, že reálně jsou si antény velice podobné. Výrazný rozpor mezi hodnotami udanými výrobcem a změřenými hodnotami v podstatě není, pouze výrobci udávané vyzařovací úhly jsou ve skutečnosti větší.

Ze směrových charakteristik lze vidět rozdílnou konstrukci antén, kde u antén Maxlink jsou směrové charakteristiky hezky pravidelné, takřka učebnicové.

Anténa Jirous JRC-24 využívá odlišnou konstrukci ozařovače, což ústí v lehkou nesymetrii, která se projevuje malým zubem na hlavním laloku.

Měření PSV v rozsahu 5 – 6 GHz ukázalo, že u antén 3232, 3539, 3540 se hodnota PSV pohybuje na přijatelné úrovni. U antény 1021 byla situace jiná. Zde se hodnota PSV v krajích měřeného intervalu dostávala do nepříjemně vysokých hodnot. Dobré použití antény je tak omezeno do intervalu zhruba 5,2 – 5,8 GHz, což při použití pro technologii wi-fi (5,15 – 5,875 GHz) může dojít vykročení z intervalu. Doporučil bych tuto anténu použít jen pro střední pásmo 5,47 - 5,725 GHz, tedy standard IEEE 802.11a.

Rozdíly v páru stará – nová nejsou u antén Jirous JRC-24 výrazné, maximálně trochu horší PSV u použité antény 3232. U páru maxlink byla situace jiná. Anténa 1021 má jiný průběh PSV (viz výše). Tato konkrétní anténa byla již v minulosti používána, je tedy možné, že nepěkný průběh PSV je důsledkem stárnutí, případně důsledek vnějších vlivů. Já se ale spíše domnívám, že se jedná o starší vývojový typ, který byl vyvinut právě pro standard 802.11a ještě předtím než došlo k uvolnění nižší a vyšší částí 5GHz pásma. Výrobce pak konstrukci antény upravil, aby si zachovala příznivé parametry v celé délce 5GHz pásma.

## 5.2 Zhodnocení vlivu klimatických zkoušek

---

Vliv vnějšího prostředí simulovaný klimatickou zkouškou by se měl projevit v rozdílných – zhoršených parametrech. Mezi prvním a druhým měřením se měřené parametry změnily jen málo. Prakticky lze tak říci, že klimatická zkouška neměla na parametry antén žádný prokazatelný vliv. Kontrola po vizuální stránce odhalila pouze nepatrné stopy koroze montážních kovových dílů. Je znát, že se jedná o antény renomovaných výrobců, které již prošly dlouhým vývojem i aplikací poznatků z praktického nasazení. Rozhodně se dá říci, že se jedná o kvalitní, vyšlechtěné antény, což mohu potvrdit i ze své zkušenosti anténího technika.

Číslo vzorku		1021	3232	3539	3540
Typ antény		MaxLink	Jirous	MaxLink	Jirous
Stav antény		použitá	použitá	nová	nová
Rezonanční frekvence [GHz]	měření 1	5,77	5,99	5,99	5,99
	měření 2	5,75	5,99	5,99	5,98
Zisk (5,5 GHz) [dB]	měření 1	24,57	22,91	24,78	23,2
	měření 2	23,82	23,32	24,36	23,67
PSV (5,5 GHz)	měření 1	1,06	1,36	1,4	1,18
	měření 2	1,02	1,37	1,34	1,18
Vyzářovací úhel (H/V) [°]	měření 1	10 / 10	10 / 11	10 / 10	10 / 11
	měření 2	11 / 10	10 / 9	10 / 9	11 / 10
Předozadní poměr [dB]	měření 1	30,34	30,24	31,11	30,20
	měření 2	30,70	30,43	31,54	29,97

Tabulka 5.1 - Zhodnocení vlivu klimatických zkoušek na parametry antén

## Závěr

Tato práce měla za cíl osvětlit problematiku anténích parametrů, jejich měření a vlivu vnějších podmínek na jejich parametry. Následně provést simulaci vnějšího vlivu klimatickou zkouškou a měřením ověřit případnou degradaci parametrů poskytnutých antén.

První kapitola nastínila historický vývoj mikrovlnných anténích technologií a představila důležité technologie.

Ve druhé kapitole byl analyzován trh v ČR a byl představen vliv vnějších podmínek na antény a některé způsoby ochrany před těmito vlivy.

Na začátku třetí kapitoly jsou popsány důležité parametry antén a použitý způsob jejich měření je popsán jak teoreticky, tak i jak byl prakticky realizován. Následují parametry antén udávané výrobcí.

Čtvrtá kapitola se týkala nastavení klimatické zkoušky, které byly antény vystaveny a následného měření vlivu těchto zkoušek na parametry antén.

V poslední kapitole jsou antény porovnány a zhodnocen je i simulovaný vliv vnějších podmínek.

Měřením bylo prokázáno, že poskytnuté antény renomovaných výrobců bez problému přečkaly vystavení klimatickým zkouškám, aniž by došlo

k prokazatelné změně jejich parametrů. Lze říci, že se jedná o kvalitní, léty vyšleptané modely antén, které jsou konstruovány již s ohledem na provoz v podmínkách vnějších vlivů. Jejich životnost je tedy spíše ovlivněna dodržáním správných montážních postupů a použitím kvalitních kabelů a izolačních materiálů. To mohu potvrdit i díky své praxi anténího technika. Bude-li dodržen pravidelný servis, mohou tyto antény svou životností překročit morální životnost použité technologie.

## Použitá literatura

- [1] *Principy digitální mikrovlnné komunikace*. In: ALCOMA [online]. 2012 [Cit. 15. 5. 2016] dostupné z: <http://www.alcoma.cz/media/document/2-manual-cz-principy-digitalni-mikrovlne-komunikace-2.1.pdf>
- [2] *Stručná teorie mikrovlnných spojů*. In: KAISER DATA [online]. [Cit. 15. 5. 2016]. Dostupné z: <http://www.bezdratove-telekomunikace.cz/katalog-pojitek/o-radiovyhspojich/>
- [3] PETERKA, Jiří. *Mikrovlnné a družicové spoje* [online]. 1992 [Cit. 15. 5. 2016] Dostupné z: <http://www.earchiv.cz/a92/a206c110.php3>
- [4] Český telekomunikační úřad [online]. [Cit. 15. 5. 2016] Dostupné z: <http://www.ctu.cz>
- [5] *Využití rádiového spektra*. In: Český telekomunikační úřad [online]. [Cit. 15. 5. 2016] Dostupné z: <http://spektrum.ctu.cz>
- [6] *Historie wi-fi: od FHSS k bezdratu*. In: [www.svethardware.cz](http://www.svethardware.cz) [online]. [Cit. 15. 5. 2016] Dostupné z: <http://www.svethardware.cz/historie-wi-fi-od-fhss-k-bezdratu/27860>
- [7] *Úvod do antén*. In: [vyvoj.hw.cz](http://vyvoj.hw.cz) [online]. [Cit. 6. 5. 2016] Dostupné z: <http://vyvoj.hw.cz/teorie-a-praxe/dokumentace/uvod-do-anten.html>
- [8] SCHEJBAL, Vladimír. *Šíření vln v blízké a vzdálené zóně antény* [Cit. 6. 5. 2016] Dostupné z: <http://hajny.webpark.cz/RADAR/Schejbal.pdf>
- [9] *Parametry a typy antén*. In: Učíme v prostoru [online]. [Cit. 6. 5. 2016] Dostupné z: [http://uvp3d.cz/dum/?page\\_id=2652](http://uvp3d.cz/dum/?page_id=2652)
- [10] *Antény*. In: [www.dlabos.wz.cz](http://www.dlabos.wz.cz) [online]. [Cit. 6. 5. 2016] Dostupné z: <http://dlabos.wz.cz/en/Anteny.html>
- [11] *Měření na anténách*. In: OK1IKE [online] [Cit. 6. 5. 2016] Dostupné z: [http://ok1ike.c-a-v.com/soubory/ant\\_mereni.htm](http://ok1ike.c-a-v.com/soubory/ant_mereni.htm)
- [12] BÍLEK, Jan, OK1TIC. *Precizní měřič PSV pro KV, VKV a UKV pásma* [Cit. 6. 5. 2016] Dostupné z: <http://rf-10.nazory.cz/psv.pdf>
- [13] MACOUN, Jindřich, OK1VR. *O účinnosti antény (1)* [Cit. 6. 5. 2016] Dostupné z: [http://www.crk.cz/FILES/VR-ANT/31.%20O%20C3%BA%C4%8Dinnosti%20anteny%20\(1\).pdf](http://www.crk.cz/FILES/VR-ANT/31.%20O%20C3%BA%C4%8Dinnosti%20anteny%20(1).pdf)

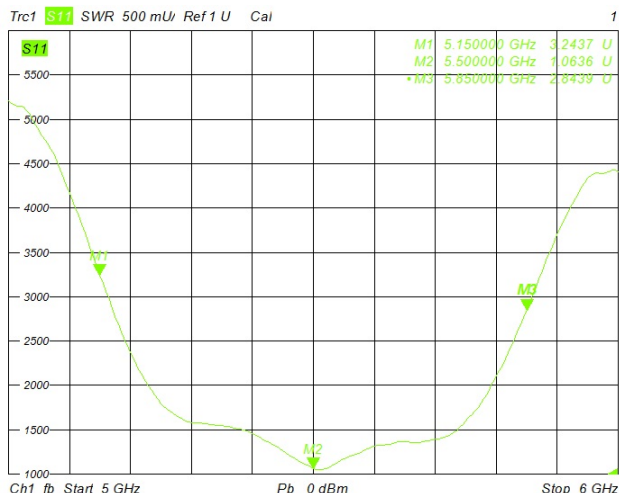
- [14] *Vyzařovací odpor*. In: OK1DKZ [Cit. 6. 5. 2016] Dostupné z: <https://sites.google.com/site/ok1dkz/technical/vyzarovaci-odpor>
- [15] ZEMAN, Zdeněk. *Měření koaxiálních kabelů a antén*. České Budějovice 2010. Bakalářská práce. Jihočeská univerzita v Českých budějovicích, Pedagogická fakulta
- [16] *Vektorový analyzátor: co ukrývá, k čemu slouží* In: vyvoj.hw.cz [Cit. 6. 5. 2016] Dostupné z: <http://vyvoj.hw.cz/testovani-a-mereni/vektorovy-analyzator-co-ukryva-k-cemu-slouzi-a-jak-jej-spravne-pouzivat.html>
- [17] *Klimatické a tepelné zkoušky*. In: RICE [online]. [cit. 15. 5. 2016]. Dostupné z: [http://www.rice.zcu.cz/cz/services/ETL/services/clima\\_tests.html](http://www.rice.zcu.cz/cz/services/ETL/services/clima_tests.html)
- [18] *Družicové telekomunikační spoje*. In: Access server [online]. 2010 [Cit. 15. 5. 2016]. Dostupné z: <http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2010020002>
- [19] *Konstrukční elektronika a radio*. Praha: Amaro, s.r.o, 2002, LI/2002, č. 3. ISSN 1211- 3557. Dostupné z: <http://www.anteny-info.cz/docs/extern/Obr.49.%20KE%203-2002%20%C5%A0roubovice.pdf>
- [20] *Z historie radaru* In: [www.army.cz](http://www.army.cz) [online]. [Cit. 15. 5. 2016]. dostupné z: [http://www.army.cz/images/id\\_8001\\_9000/8753/radar/k22.htm](http://www.army.cz/images/id_8001_9000/8753/radar/k22.htm)
- [21] *Microwave Theory and Techniques*. In: IEEE Xplore [online]. [Cit. 15. 5. 2016]. Dostupné z: [http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=1132829&url=ht tp%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fxppls%2Fabs\\_all.jsp%3Farnumber%3D1132829](http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=1132829&url=ht tp%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fxppls%2Fabs_all.jsp%3Farnumber%3D1132829)
- [22] MAZÁNEK, Miloš, PECHAČ, Pavel. *Šíření elektromagnetických vln a antény*. 2. vydání. Praha: ČVUT. 259s. ISBN 80-01-03032-6
- [23] PAVELEC, Miroslav. *Vliv vnějšího prostředí na parametry mikrovlnných antén*. Plzeň. 2014. Diplomová práce. Západočeská univerzita. Fakulta elektrotechnická. Katedra technologií a měření. Vedoucí práce Petr KAŠPAR
- [24] NOVÁČEK, Zdeněk. *Elektromagnetické vlny, antény a vedení. Přednášky*. Brno. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií.

- [25] *BBHA 9120 E - Double Ridged Broadband Horn Antenna*. In: Schwarzbeck [online]. [Cit. 15. 5. 2016] dostupné z: <http://www.schwarzbeck.de/en/antennas/broadband-horn-antennas/double-ridged-horn-antenna/405-bbha-9120-e-double-ridged-broadband-horn-antenna.html>
- [26] *Discomp* [online]. [Cit. 15. 5. 2016] dostupné z: <https://www.discomp.cz/> - Antény Maxlink
- [27] *Wifi-obchod* [online]. [Cit. 15. 5. 2016] dostupné z: <http://www.wifi-obchod.cz/> - Antény DCOM
- [28] *Wayant* [online]. [Cit. 15. 5. 2016] dostupné z: <http://www.wayant.cz/> - Antény WayAnt
- [29] *Jirous* [online]. [Cit. 15. 5. 2016] dostupné z: <http://cz.jirous.com/> - Antény Jirous
- [30] *UBNT* [online]. [Cit. 15. 5. 2016] dostupné z: <https://www.ubnt.com/>
- [31] *Mikrotik* [online]. [Cit. 15. 5. 2016] dostupné z: <http://www.mikrotik.cz/>
- [32] *I4wifi* [online]. [Cit. 15. 5. 2016] dostupné z: <http://www.i4wifi.cz/>
- [33] *Wifi.aspa* [online]. [Cit. 15. 5. 2016] dostupné z: <http://wifi.aspa.cz/>
- [34] *Wifi-shop* [online]. [Cit. 15. 5. 2016] dostupné z: <https://www.wifi-shop.cz>

Vzorek číslo: 1021  
 Typ: Maxlink 24 dBi  
 Stav: použitá



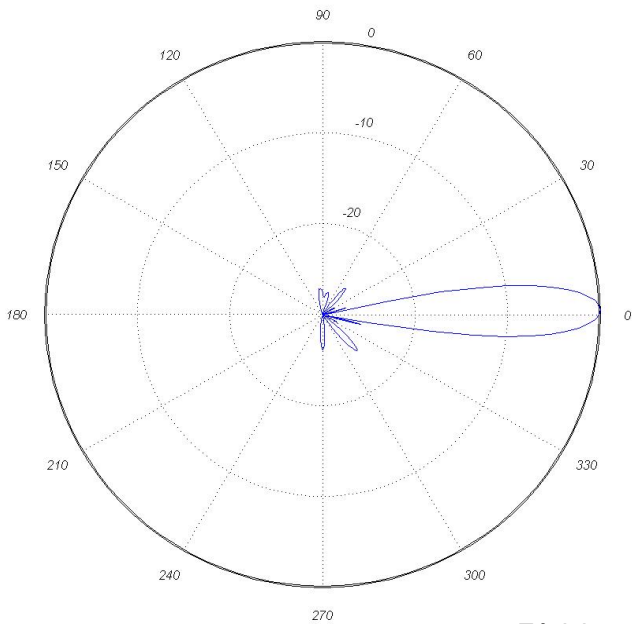
Průběh PSV v závislosti na frekvenci



Směrové charakteristiky

Rovina E

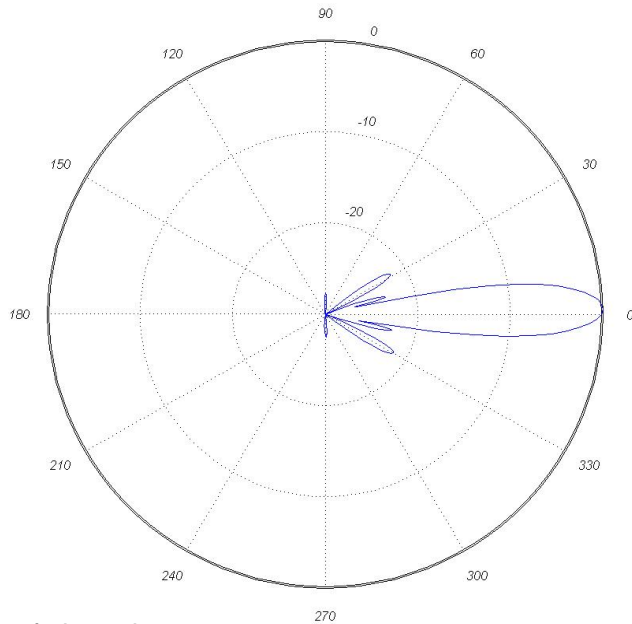
Diagram pro  $f = 5500$  MHz. Vyzarovaci uhel je 10 stupnu.  
 Cinitel potlaceni zpetneho prijmu: 30.34 dB. Potlaceni vedlejsich svazku: 24.54 dB.



Rovina E

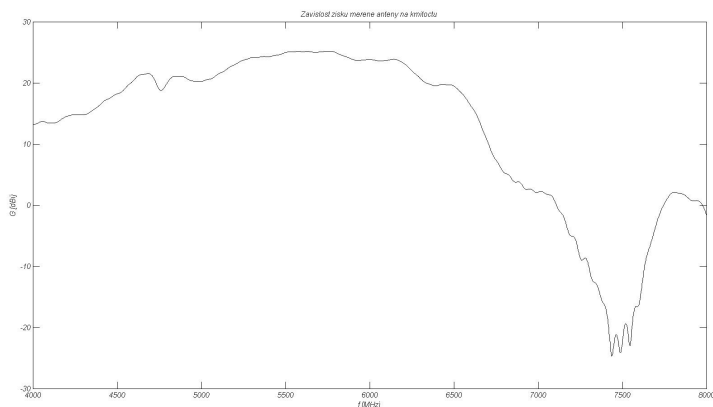
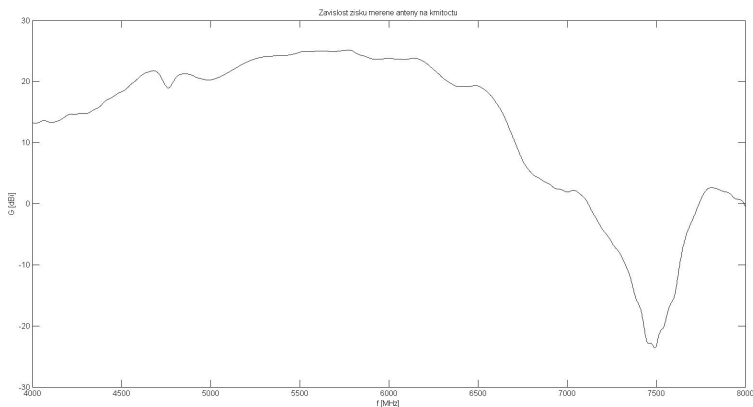
Rovina H

Diagram pro  $f = 5500$  MHz. Vyzarovaci uhel je 10 stupnu.  
 Cinitel potlaceni zpetneho prijmu: 31.41 dB. Potlaceni vedlejsich svazku: 21.50 dB.



Rovina H

Závislost zisku na frekvenci v rozsahu 4 - 8 GHz

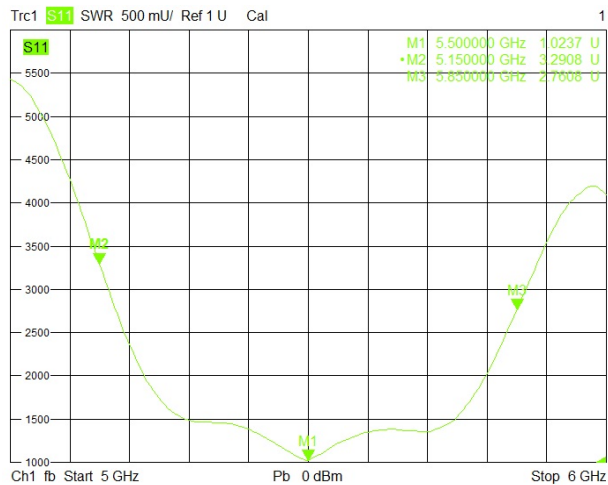




Vzorek číslo: 1021  
 Typ: Maxlink 24 dBi  
 Stav: použitá



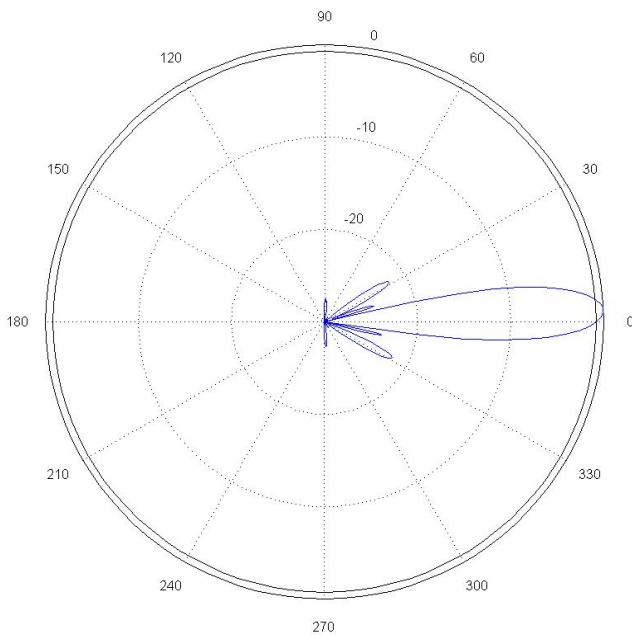
Průběh PSV v závislosti na frekvenci



Směrové charakteristiky

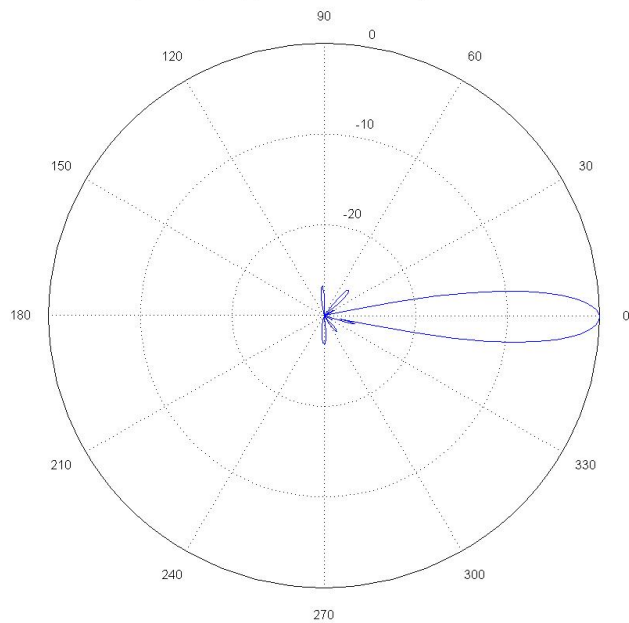
Rovina E

Diagram pro  $f = 5500$  MHz. Vyzarovací uhel je 11 stupnu.  
 Cititel potlacení zpätneho prijmu: 30.70 dB. Potlacení vedlejsich svazku: 21.76 dB.



Rovina H

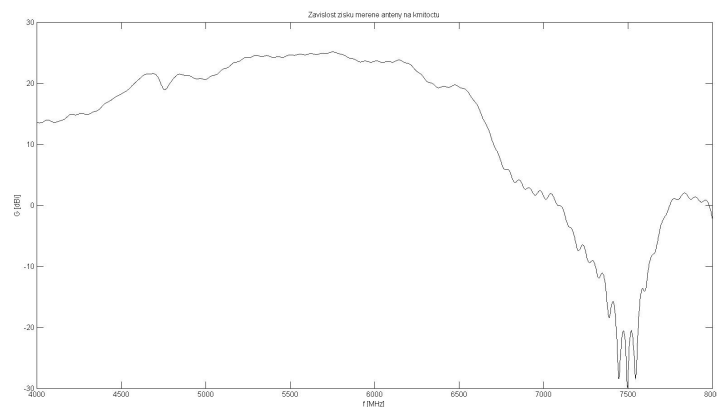
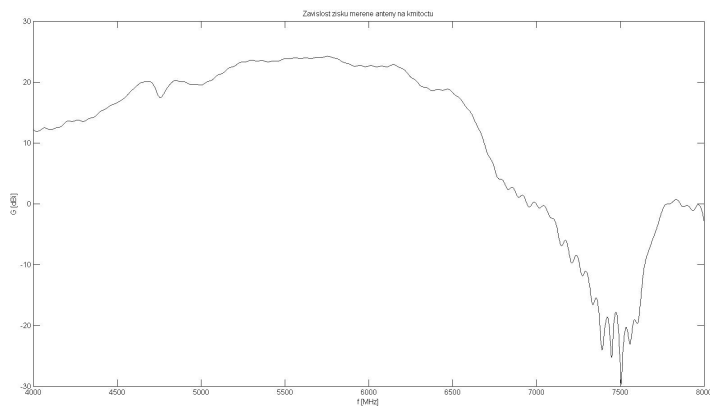
Diagram pro  $f = 5500$  MHz. Vyzarovací uhel je 10 stupnu.  
 Cititel potlacení zpätneho prijmu: 32.67 dB. Potlacení vedlejsich svazku: 26.13 dB.



Rovina E

Závislost zisku na frekvenci  
 v rozsahu 4 - 8 GHz

Rovina E

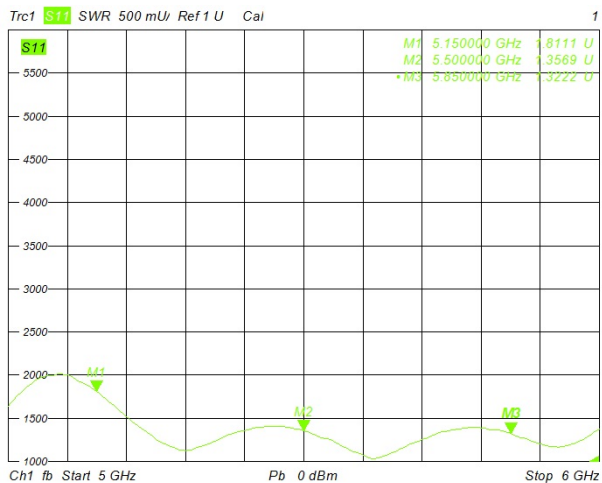


Vzorek číslo: 3232  
 Typ: Jirous JRC-24  
 Stav: použitá



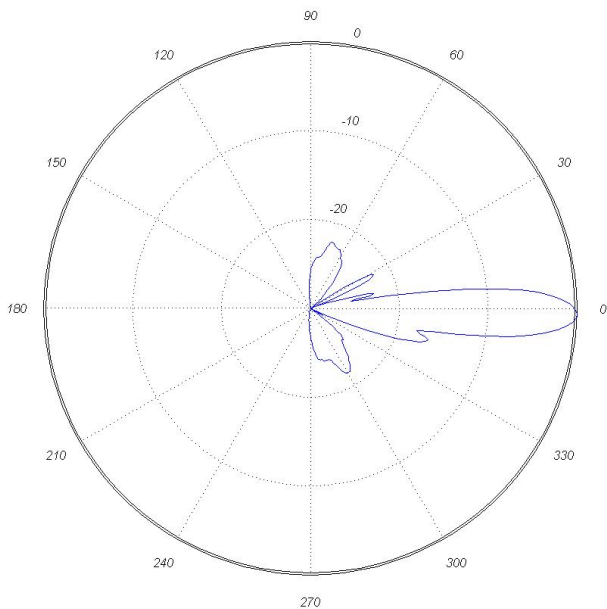
Rovina E

Průběh PSV v závislosti na frekvenci



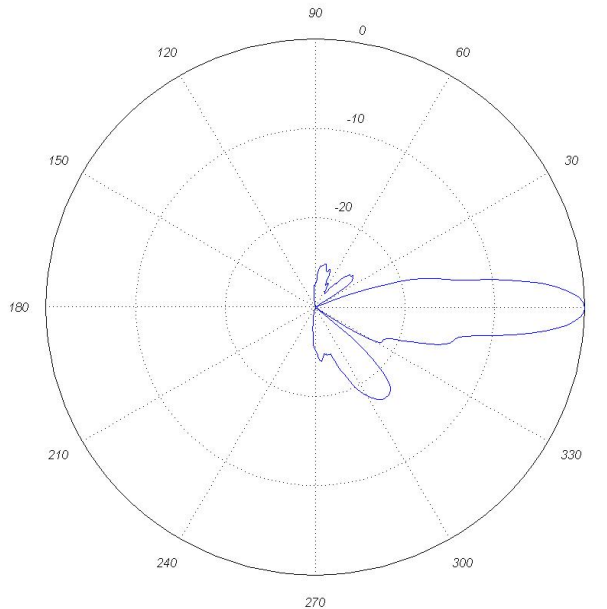
Směrové charakteristiky

Diagram pro  $f = 5500$  MHz. Vyzarovací uhel je 10 stupnu.  
 Cinitel potlaceni zpetneho prijmu: 30.24 dB. Potlaceni vedlejsich svazku: 16.30 dB.



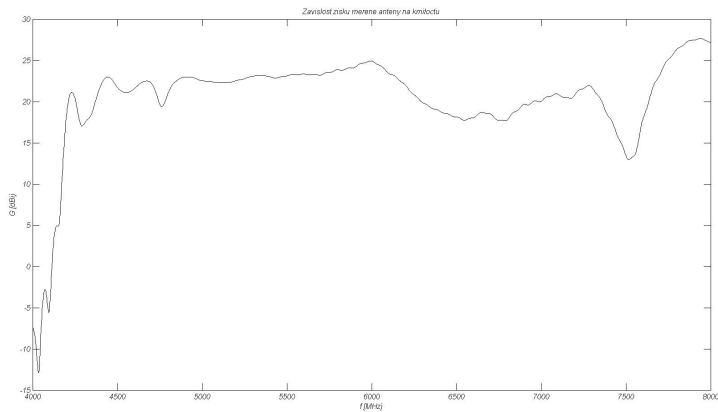
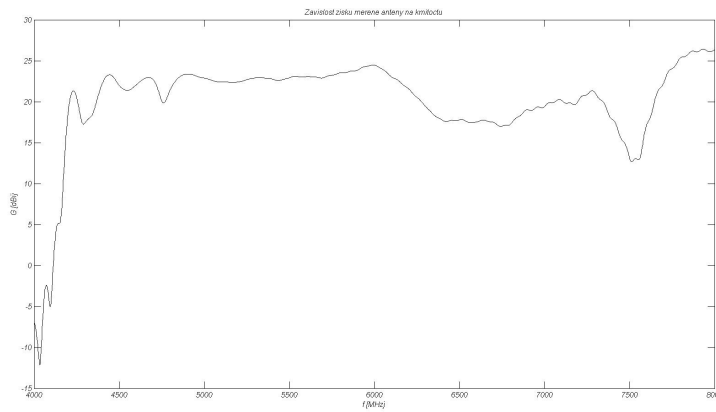
Rovina E

Diagram pro  $f = 5500$  MHz. Vyzarovací uhel je 11 stupnu.  
 Cinitel potlaceni zpetneho prijmu: 31.04 dB. Potlaceni vedlejsich svazku: 17.16 dB.



Rovina H

Závislost zisku na frekvenci  
 v rozsahu 4 - 8 GHz

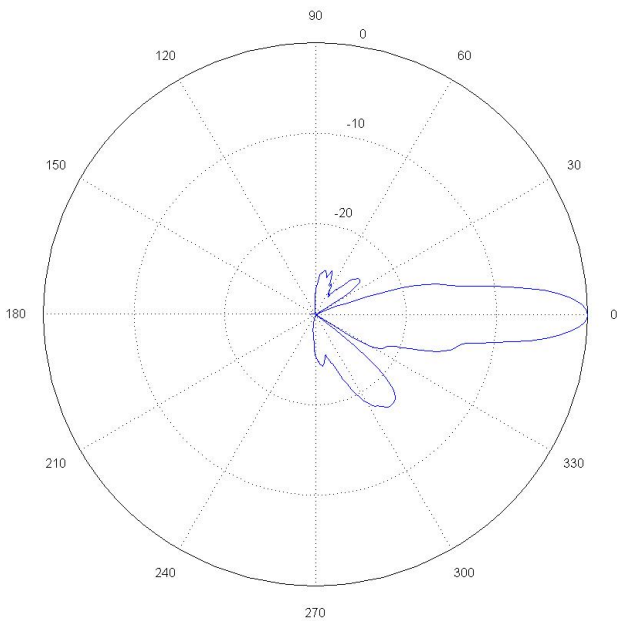


Vzorek číslo: 3232  
 Typ: Jirous JRC-24  
 Stav: použitá



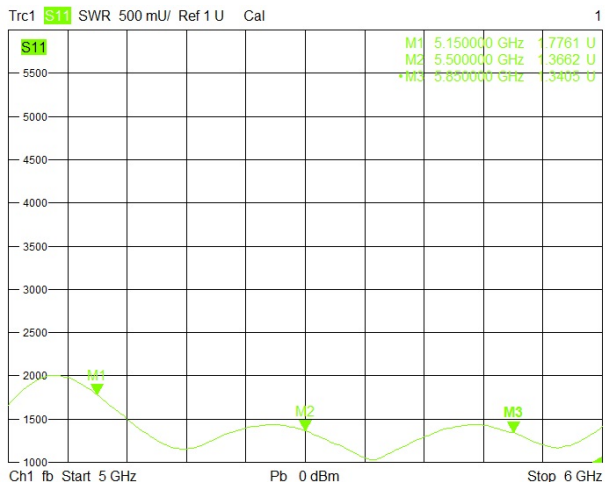
Rovina E

Diagram pro  $f = 5500$  MHz. Vyzarovaci uhel je 10 stupnu.  
 Cinitel potlacení zpětneho prijmu: 30.43 dB. Potlacení vedlejších svazku: 16.92 dB.



Rovina E

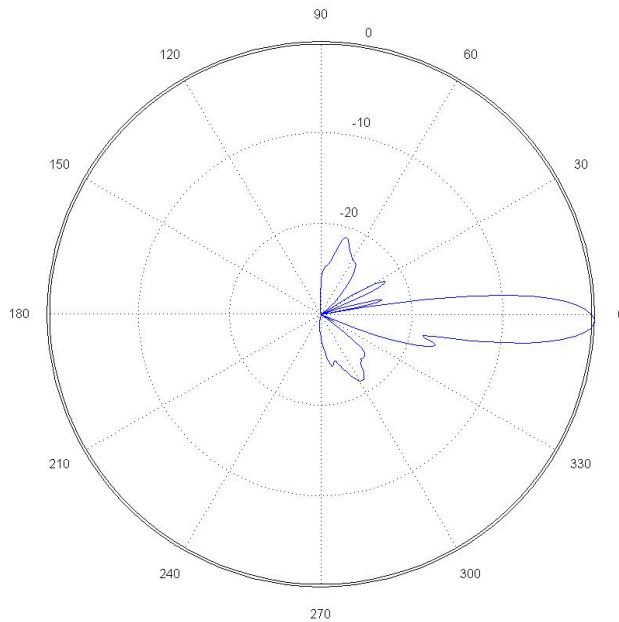
Průběh PSV v závislosti na frekvenci



Směrové charakteristiky

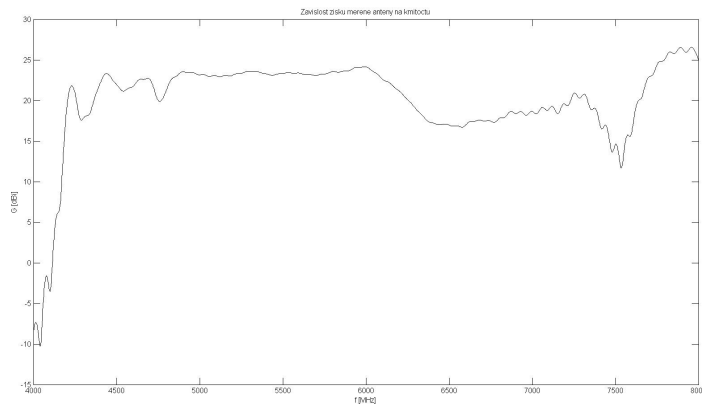
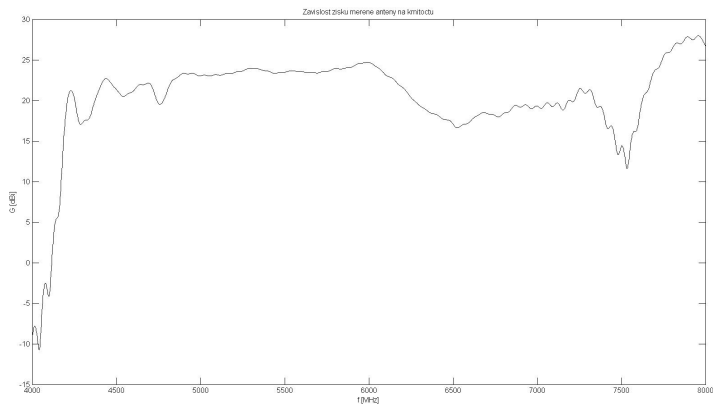
Rovina H

Diagram pro  $f = 5500$  MHz. Vyzarovaci uhel je 9 stupnu.  
 Cinitel potlacení zpětneho prijmu: 30.83 dB. Potlacení vedlejších svazku: 17.01 dB.



Rovina H

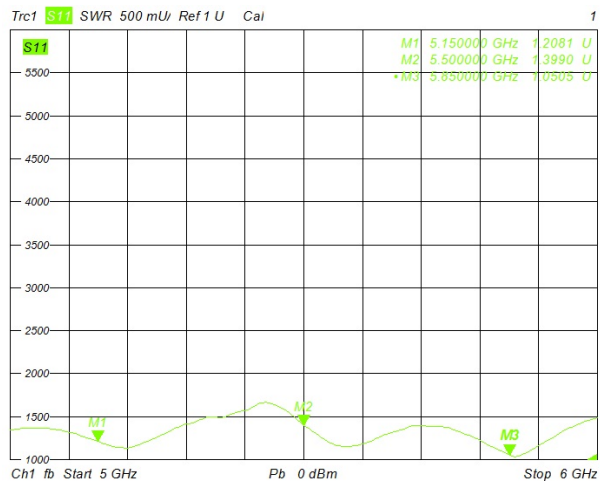
Závislost zisku na frekvenci  
 v rozsahu 4 - 8 GHz



Vzorek číslo: 3539  
 Typ: Maxlink 24 dBi  
 Stav: nová



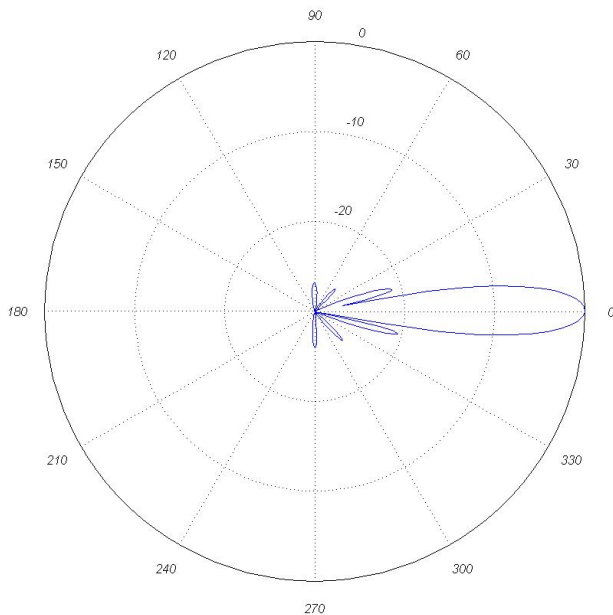
Průběh PSV v závislosti na frekvenci



Směrové charakteristiky

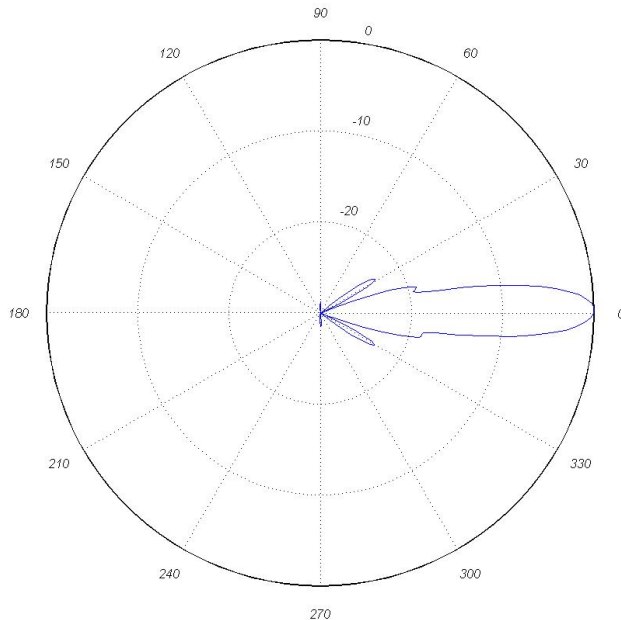
Rovina E

Diagram pro  $f = 5500$  MHz. Vyzarovaci uhel je  $10$  stupnu.  
 Ciniteľ potlaceni zpetneho prijmu:  $31.11$  dB. Potlaceni vedlejsich svazku:  $20.44$  dB.



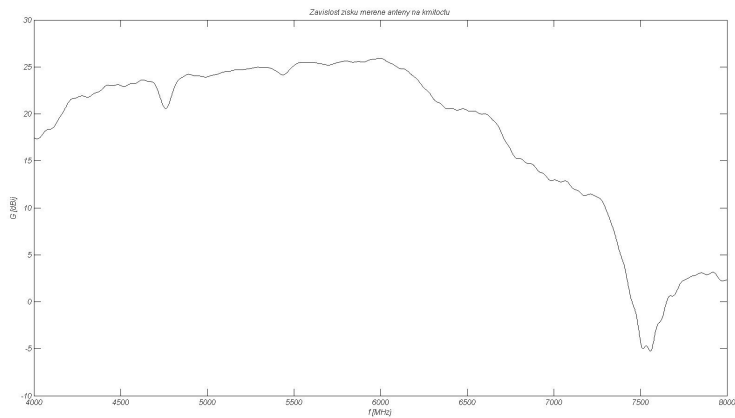
Rovina H

Diagram pro  $f = 5500$  MHz. Vyzarovaci uhel je  $10$  stupnu.  
 Ciniteľ potlaceni zpetneho prijmu:  $31.91$  dB. Potlaceni vedlejsich svazku:  $22.95$  dB.

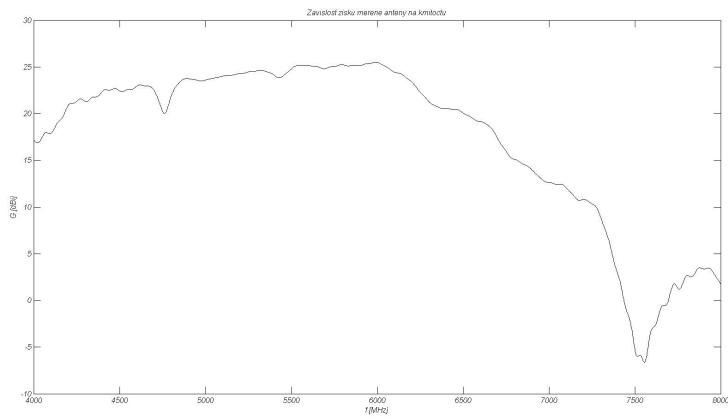


Závislost zisku na frekvenci  
 v rozsahu 4 - 8 GHz

Rovina E



Rovina H

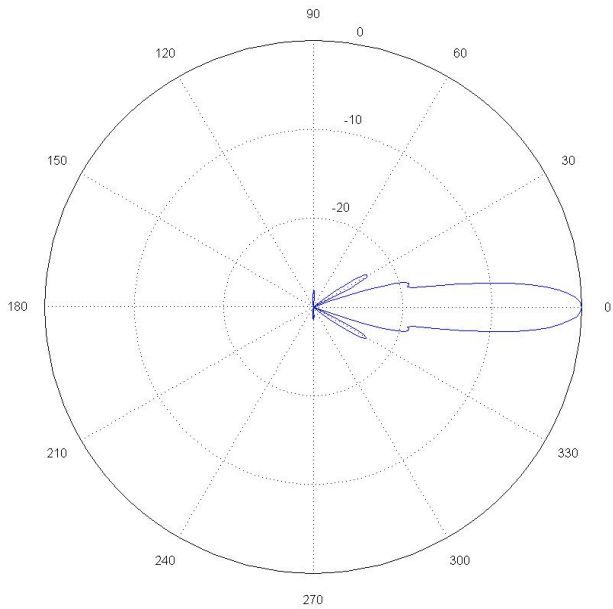


Vzorek číslo: 3539  
 Typ: Maxlink 24 dBi  
 Stav: nová



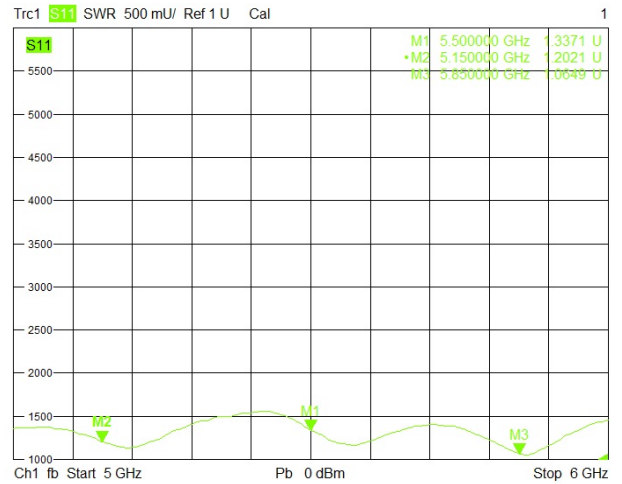
Rovina E

Diagram pro  $f = 5500$  MHz. Vyzarovaci uhel je 10 stupnu.  
 Cinitel potlaceni zpetneho prijmu: 33.48 dB. Potlaceni vedlejsich svazku: 22.97 dB.



Rovina E

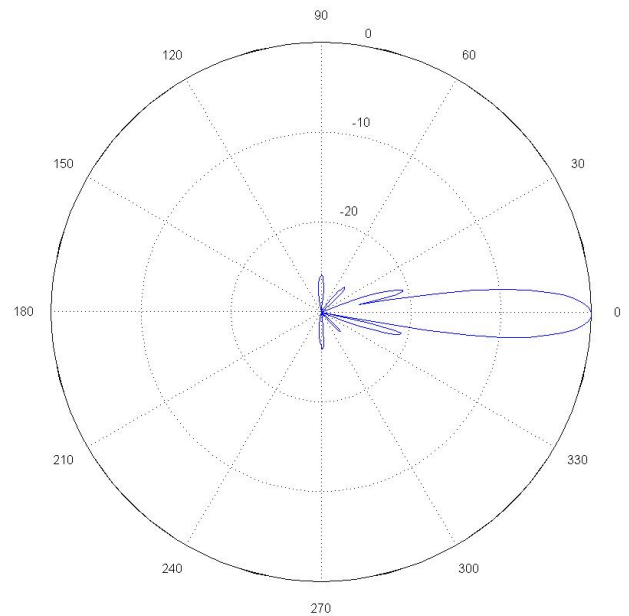
Průběh PSV v závislosti na frekvenci



Směrové charakteristiky

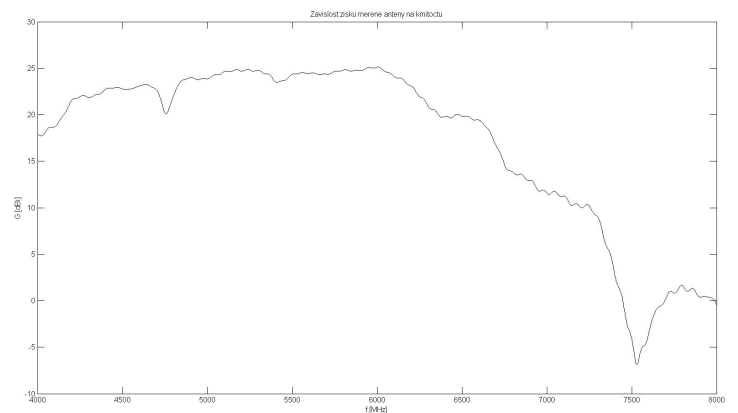
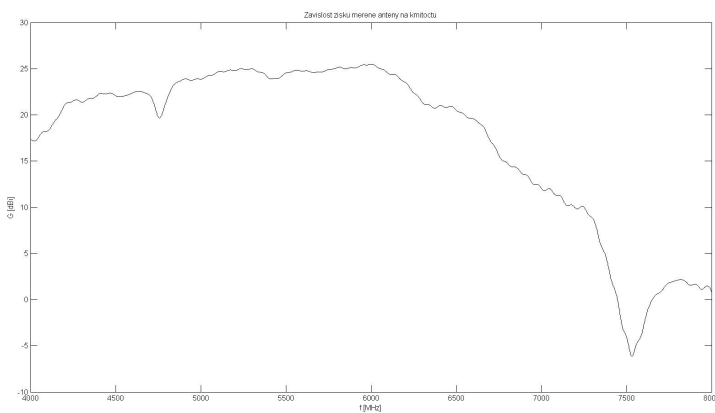
Rovina H

Diagram pro  $f = 5500$  MHz. Vyzarovaci uhel je 9 stupnu.  
 Cinitel potlaceni zpetneho prijmu: 31.54 dB. Potlaceni vedlejsich svazku: 20.63 dB.



Rovina H

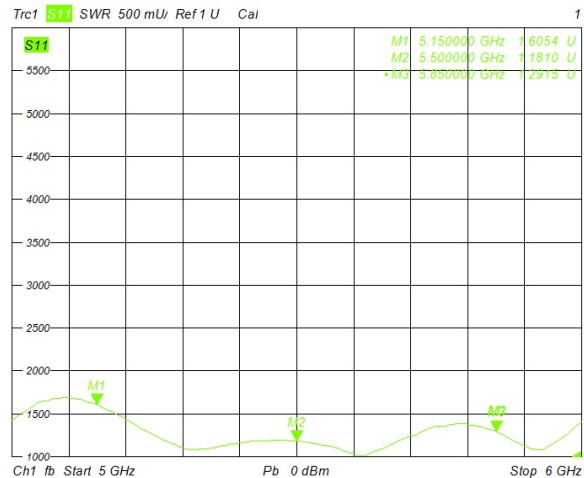
Závislost zisku na frekvenci  
 v rozsahu 4 - 8 GHz



Vzorek číslo: 3540  
 Typ: Jirous JRC-24  
 Stav: nová



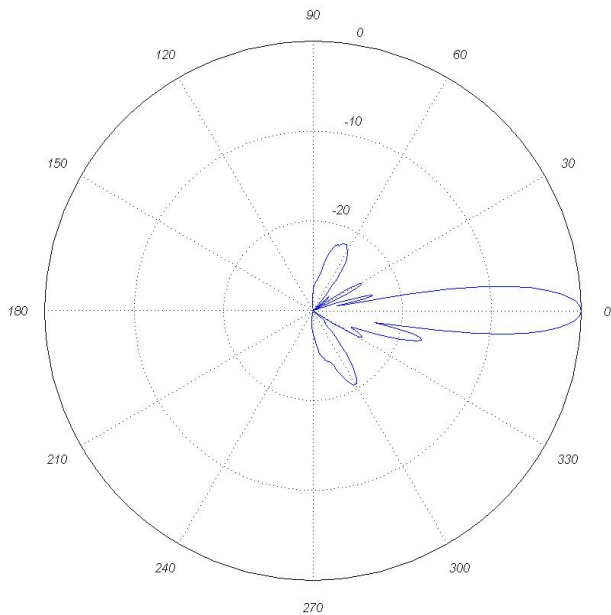
Průběh PSV v závislosti na frekvenci



Směrové charakteristiky

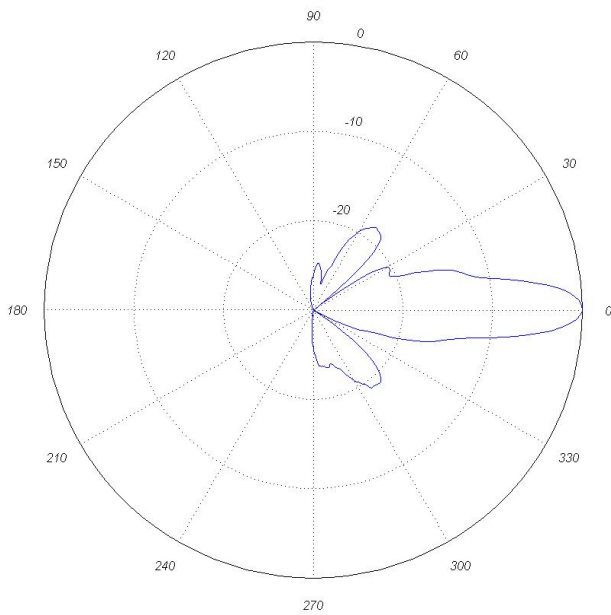
Rovina E

Diagram pro  $f = 5500$  MHz. Vyzarovaci uhel je 10 stupnu.  
 Cinitel potlacení zpětného příjmu: 30.20 dB. Potlacení vedlejších svazku: 17.45 dB.



Rovina H

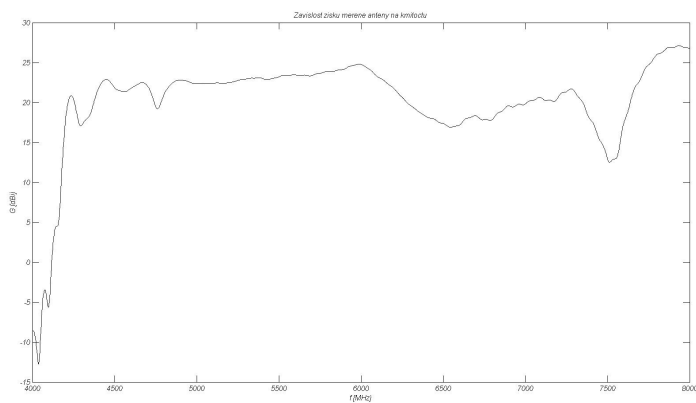
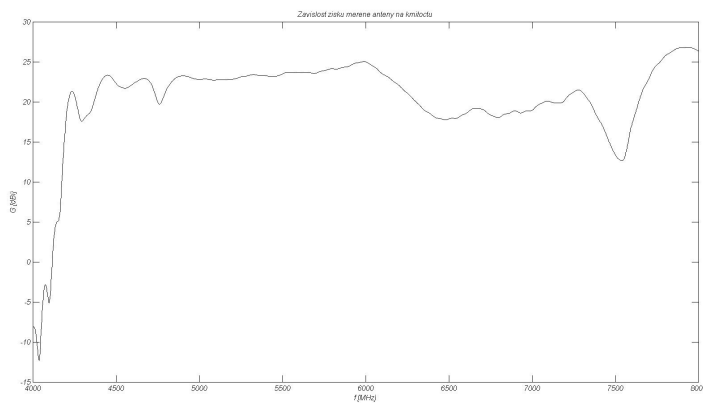
Diagram pro  $f = 5500$  MHz. Vyzarovaci uhel je 11 stupnu.  
 Cinitel potlacení zpětného příjmu: 30.55 dB. Potlacení vedlejších svazku: 18.40 dB.



Závislost zisku na frekvenci  
 v rozsahu 4 - 8 GHz

Rovina E

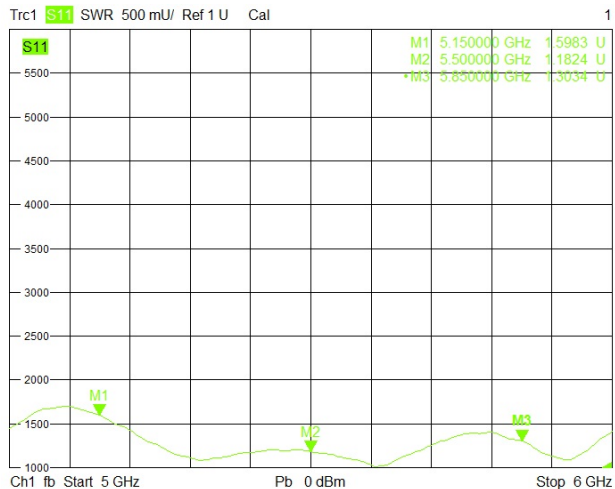
Rovina H



Vzorek číslo: 3540  
 Typ: Jirous JRC-24  
 Stav: nová



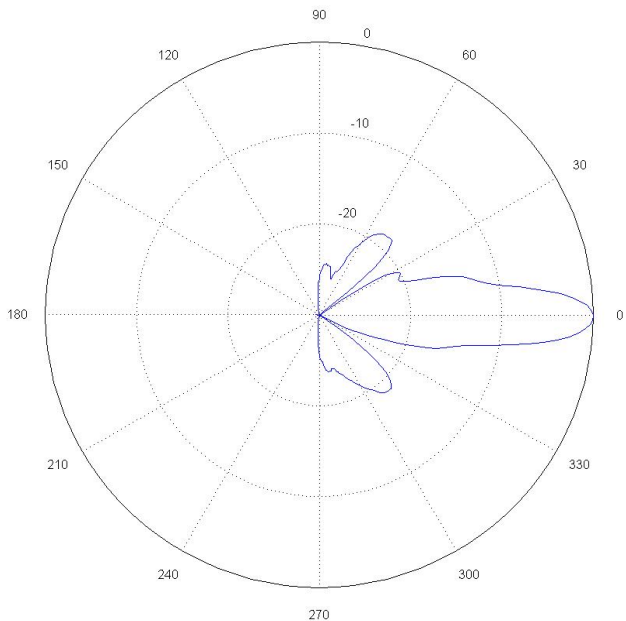
Průběh PSV v závislosti na frekvenci



Směrové charakteristiky

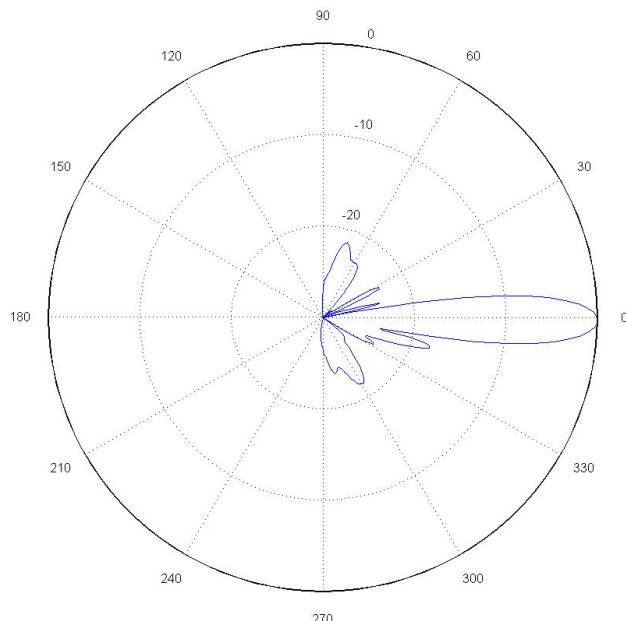
Rovina E

Diagram pro  $f = 5500$  MHz. Vyzarovací uhel je 11 stupnu. Cíntel potlacení zpetneho prijmu: 31.02 dB. Potlacení vedlejších svazku: 18.51 dB.



Rovina H

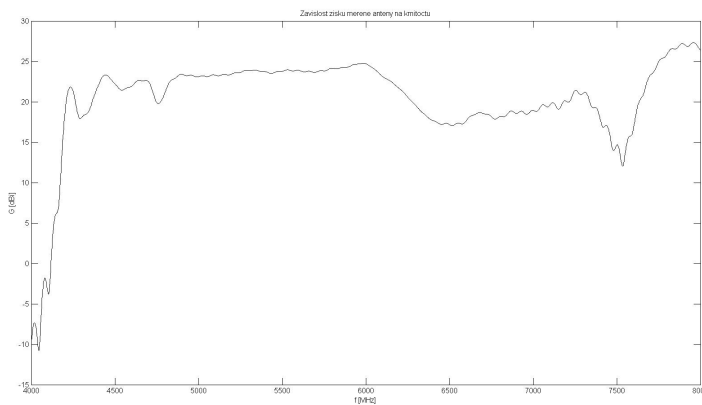
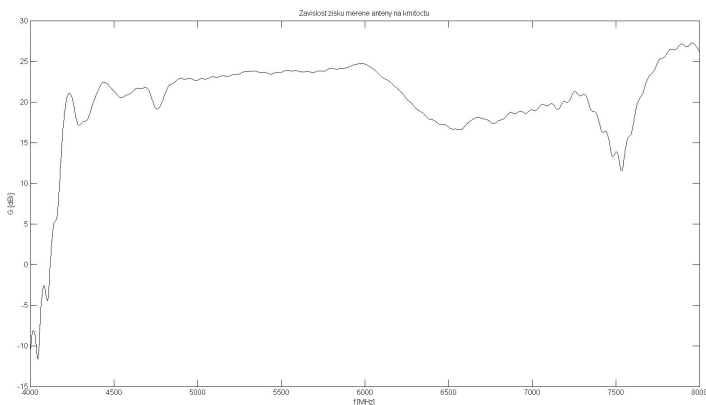
Diagram pro  $f = 5500$  MHz. Vyzarovací uhel je 10 stupnu. Cíntel potlacení zpetneho prijmu: 29.97 dB. Potlacení vedlejších svazku: 17.87 dB.



Závislost zisku na frekvenci v rozsahu 4 - 8 GHz

Rovina E

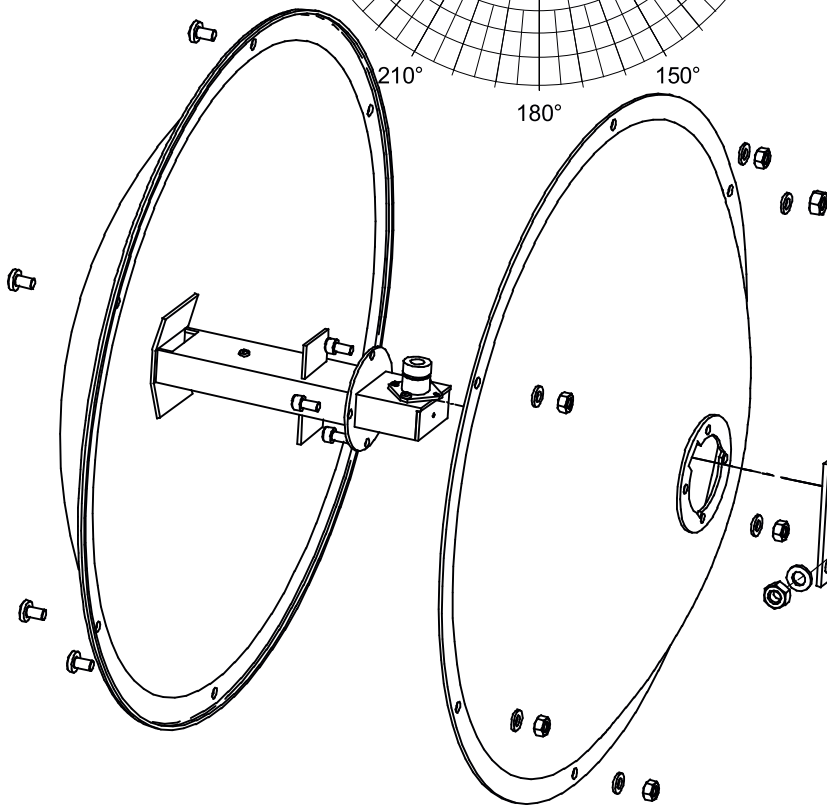
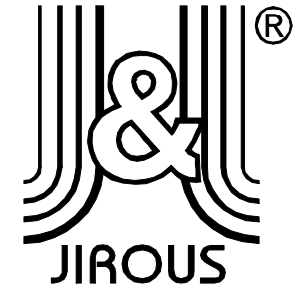
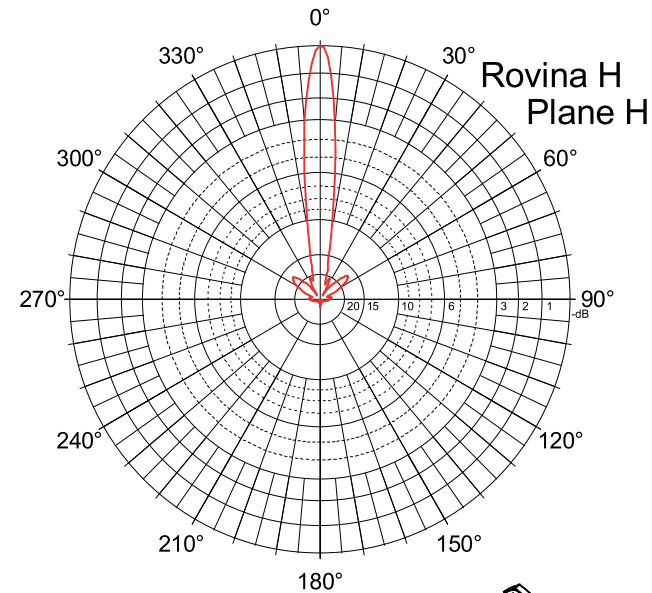
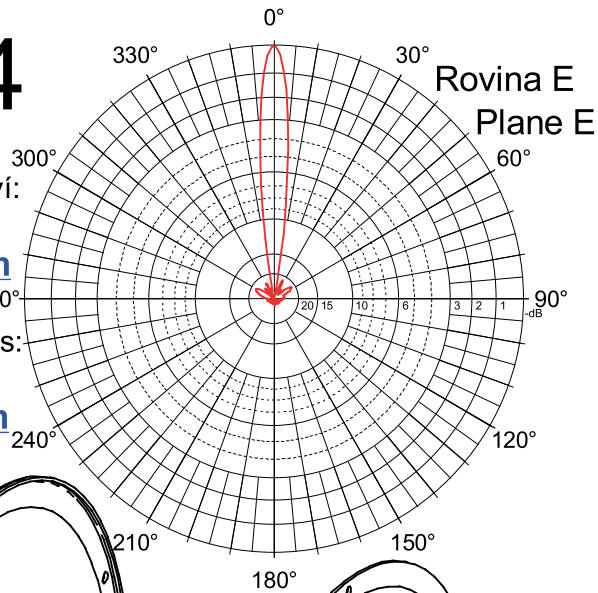
Rovina H



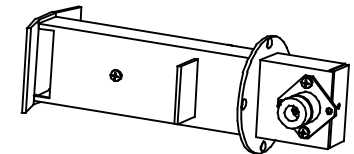
# JRC-24

Doporučujeme příslušenství:  
**GentleBOX JR-200**  
 více na [www.jirous.com](http://www.jirous.com)

We recommend accessories:  
**GentleBOX JR-200**  
 more at [www.jirous.com](http://www.jirous.com)



Horizontální polarizace  
 Horizontal polarization



Nová povrchová úprava zářiče.  
 Ekologicky šetrnější, s  
 prodlouženou životností.

New surface finish of radiator.  
 Environmentally friendly, long lifetime.

Vertikální polarizace. Konektor nahoru!  
 Vertical polarization. Connector UP!

Kmitočtové pásmo	5,0– 5,95 GHz	Frequency range
Zisk	22 <sub>5,2GHz</sub> – 23,5 <sub>5,8GHz</sub> dBi	Gain
PSV 5,35 – 5,9 GHz	≤ 1,5	VSWR 5,35 – 5,9 GHz
Vyzařovací úhel	8,8° (-3dB)	Beamwith
Předozadní poměr	>30 dB	Front to back ratio
Konektor	N – Female	Connektor
Ø Paraboly	38 cm	Parabola Ø



Maxlink parabola 5 GHz 24 dBi - Vyzařovací diagram

