

**Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra telekomunikační techniky**

**Vliv ohybu a deformací koaxiálních kabelů na šíření signálu  
The Influence of Bending and Deformation of Coaxial Cables  
for Signal Propagation**

**2015**

**Filip Literák**

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra telekomunikační techniky

## Zadání bakalářské práce

Student: **Filip Literák**

Studijní program: B2647 Informační a komunikační technologie

Studijní obor: 2612R059 Mobilní technologie

Téma: **Vliv ohybu a deformací koaxiálních kabelů na šíření signálu**  
**The Influence of Bending and Deformation of Coaxial Cables for Signal Propagation**

Zásady pro vypracování:

Cílem této práce je ověřit vlastnosti koaxiálních kabelů používaných v sítích mobilních operátorů.

1. Teoretický popis typů kabelů používaných v mobilních sítích a jejich parametrů.
2. Praktické proměření vlivu ohybu a deformací pro vybrané typy koaxiálních kabelů.
3. Analýza naměřených hodnot.

Seznam doporučené odborné literatury:


Sesia S.: LTE - The UMTS Long Term Evolution, Wiley 2009, ISBN 978-0-470-69716-0

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Roman Šebesta, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2014

Datum odevzdání: 07.05.2015

  
\_\_\_\_\_  
doc. Ing. Miroslav Vozňák, Ph.D.  
vedoucí katedry




  
\_\_\_\_\_  
prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
děkan fakulty

## Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

Dne: 6.5.2015

  
.....  
podpis studenta


## **Poděkování**

Rád bych poděkoval Ing. Romanu Šebestovi, Ph.D. za odbornou pomoc a konzultaci při tvorbě této bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Martinu Novotnému ze společnosti Suntel Group, s. r. o. a Ing. Janu Zdráhalovi ze společnosti KABEL Trade Praha, s. r. o. za odbornou pomoc a poskytnutí prostředků potřebných pro vznik této práce.

## Prohlášení zástupce spolupracující právnické nebo fyzické osoby

„Souhlasím se zveřejněním této bakalářské práce dle požadavků čl. 26, odst. 9 Studijního a zkušebního řádu pro studium v bakalářských programech VŠB-TUOstrava.“

Dne: 15.4.2015

  
.....  
podpis zástupce

## **Abstrakt**

Tato bakalářská práce se zabývá vlastnostmi koaxiálních kabelů používaných v sítích mobilních operátorů. Zejména pak vlivem jejich ohybu a následných deformací na šíření signálu. Náplní této práce je ověřit hodnoty minimálního poloměru ohybu vybraných typů kabelů uváděných výrobcem v katalogových listech. V praktické části provádím měření vlivu různých poloměrů ohybu koaxiálních kabelů na sílu přenášeného signálu. V závěru práce jsou shrnuty výsledky tohoto měření.

## **Klíčová slova**

Koaxiální kabel; napět'ový poměr stojatých vln; minimální poloměr ohybu; základnová stanice; mobilní síť

## **Abstract**

This bachelor thesis deals with properties of coaxial cables used in mobile operators network. Especially with the influence of their bending and deformation for signal propagation. The content of this thesis is to verify the values of minimum bending radius given in the datasheets. I am measuring the influence of different bending radius for signal propagation in the experimental part of thesis. The results of this measurement are summarized in the conclusion.

## **Key words**

Coaxial cable; voltage standing wave ratio; minimum bending radius; base transceiver station; mobile network

## Seznam použitých symbolů

Symbol	Jednotky	Význam symbolu
$b_k$	dB/m	Měrný útlum
$b_{k0}$	dB/m	Měrný útlum při $f = f_0$
$C$	F/km	Měrná kapacita
$D$	mm	Průměr vnějšího vodiče
$d$	mm	Průměr vnitřního vodiče
$f$	Hz	Frekvence
$G$	S/km	Měrný svod
$I$	A	Proud
$k_s$	-	Činitel zkrácení
$l$	m	Délka
$L$	H/km	Měrná indukčnost
$R$	$\Omega$ /km	Měrný odpor
$U$	V	Napětí
$v_f$	km/s	Fázová rychlost šíření
$Z_0$	$\Omega$	Impedance volného prostředí
$Z_c$	$\Omega$	Charakteristická impedance
$\alpha$	dB/km	Měrný útlum
$\beta$	rad/km	Měrný fázový posuv
$\gamma$	$\text{km}^{-1}$	Měrná vlnová míra přenosu
$\Delta I$	A	Úbytek proudu
$\Delta U$	V	Úbytek napětí
$\epsilon_r$	$\text{Fm}^{-1}$	Relativní permitivita
$\lambda$	m	Vlnová délka
$\omega$	$\text{rad}^{-1}$	Fázová rychlost



## Seznam použitých zkratek

Zkratka	Anglický význam	Český význam
<b>AuC</b>	Authenticity Centre	Centrum autentičnosti
<b>BBU</b>	Baseband Unit	Řídící jednotka
<b>BSC</b>	Base Station Controller	Základnová řídicí jednotka
<b>BSS</b>	Base Station Subsystem	Subsystem základnových stanic
<b>BTS</b>	Base Transceiver Station	Základnová stanice
<b>DTF</b>	Distance To Fault	Vzdálenost do chyby
<b>EDGE</b>	Enhanced Data rates for Global Evolution	Technologie mobilních datových přenosů
<b>EGSM</b>	Extended GSM	Rozšířená verze sítě GSM
<b>EIR</b>	Equipment Identity Register	Registr mobilních stanic
<b>GPRS</b>	General Packet Radio Service	Datová komunikace využívající princip spojování paketů
<b>GPS</b>	Global Position System	Globální poziční systém
<b>GSM</b>	Global System for Mobile communications	Globální systém pro mobilní komunikaci
<b>HLR</b>	Home Location Register	Domácí lokační registr
<b>IR</b>	Infrared Radiation	Infračervené záření
<b>LCF</b>	Low-Loss Foam-Dielectric Coaxial Cable	Nízko-útlumový koaxiální kabel s pěnovým dielektrikem
<b>LTE</b>	Long Term Evolution	Dlouhodobý rozvoj partnerského projektu třetí generace
<b>MM</b>	Multi-mode	Vícevidové optické vlákno
<b>MS</b>	Mobile Station	Mobilní stanice
<b>MSC</b>	Mobile Switching Centre	Radiotelefonní ústředna
<b>NMT</b>	Nordic Mobile Telephony	Mobilní síť první generace
<b>NSS</b>	Network and Switching Subsystem	Síťový a spínací subsystem
<b>OMC</b>	Operation and Maintenance Centre	Provozní a servisní centrum
<b>OSS</b>	Operation Support Subsystem	Operační podpůrný subsystem

---

<b>PGSM</b>	Primary GSM	Základní verze sítě GSM
<b>RRH</b>	Radio Remote Head	Vzdálená rádiová jednotka
<b>SCF</b>	Superflexible Foam-Dielectric Coaxial Cable	Ohebný koaxiální kabel s pěnový dielektrikem
<b>SM</b>	Single Mode	Jednovidové optické vlákno
<b>SMSC</b>	Short Message Service Center	Centrum krátkých textových zpráv
<b>UHF</b>	Ultra High Frequency	Ultra krátké vlny
<b>UMTS</b>	Universal Mobile Telecommunications System	Univerzální mobilní telekomunikační systém
<b>UV</b>	Ultraviolet	Ultrafialové záření
<b>VLR</b>	Visitor Location Register	Návštěvnický lokační registr
<b>VSWR</b>	Voltage Standing Wave Ratio	Napět'ový poměr stojatých vln
<b>WWAN</b>	Wireless Wide Area Network	Bezdrátové rozsáhlé sítě

---

# Obsah

Úvod.....	- 1 -
1 Mobilní síť .....	- 2 -
1.1 Síť GSM .....	- 2 -
1.2 Instalace na základnové stanici .....	- 4 -
2 Metalické vedení .....	- 6 -
2.1 Vlastnosti metalického vedení.....	- 7 -
2.2 Koaxiální kabel .....	- 8 -
2.2.1 Primární parametry.....	- 9 -
2.2.2 Sekundární parametry .....	- 10 -
2.3 Symetrické kabelové vedení.....	- 10 -
3 Optická vlákna.....	- 12 -
3.1 Přenosové parametry optických vláken.....	- 12 -
3.1.1 Měrný útlum vlákna .....	- 12 -
3.1.2 Disperze optického vlákna .....	- 13 -
4 Praktická část .....	- 14 -
4.1 Metodika měření .....	- 14 -
4.1.1 Měřené parametry .....	- 14 -
4.1.2 Použité přístroje.....	- 14 -
4.1.3 Měřicí pracoviště.....	- 17 -
4.1.4 Kalibrace analyzátoru.....	- 18 -
4.1.5 Měření vzdálenosti do chyby .....	- 18 -
4.2 Naměřené hodnoty .....	- 19 -
4.2.1 Měření minimálního poloměru ohybu.....	- 19 -
4.2.2 Možnosti opravy.....	- 27 -
Závěr .....	- 33 -
Použitá literatura .....	- 34 -
Seznam příloh.....	- 35 -

## Úvod

Tato bakalářská práce se zabývá měřením vlivu ohybu a deformací koaxiálních kabelů na šíření signálu. Jedná se o téma navržené společností Suntel Group, s. r. o., která se zabývá výstavbou a optimalizací kompletní infrastruktury mobilních sítí druhé až čtvrté generace.

Koaxiální kabely mají v telekomunikačních sítích stále své důležité místo. Používají se např. jako napáječe vysílacích a přijímacích antén na základnových stanicích v sítích mobilních operátorů. Při manipulaci s těmito kabely může však jednoduše dojít k deformaci jejich struktury. Ta je obzvláště náchylná na provádění ohybu. Cílem této práce je proto ověřit vlastnosti koaxiálních kabelů používaných v těchto sítích, zejména vliv ohybu na šíření signálu.

Teoretická část práce se zabývá popisem mobilních sítí a typů kabelů, které se v těchto sítích používají. Stručně je zde popsán mobilní systém druhé generace GSM, jeho architektura a instalace na základnové stanici. Dále jsou zde rozebrány jak koaxiální, tak i symetrické kabelové vedení a jejich základní vlastnosti. V poslední části teorie se věnují optickým vláknům a jejich parametrům, jelikož i tento typ kabelu je v mobilních sítích hojně využíván.

Praktická část se zabývá měřením síly signálu různých typů koaxiálních kabelů pro zvolené poloměry ohybu. Toto měření slouží k porovnání hodnoty minimálního poloměru ohybu udávané výrobcem. Dalším bodem praktické části je pokus o případné opravy zdeformovaných kabelů a jejich opětovné proměření. V závěru práce jsou shrnuty a rozebrány naměřené výsledky.

# 1 Mobilní sítě

Mobilní sítí rozumíme telefonní síť, jejíž uživatel není vázán na místa, kde je k dispozici telefonní přípojka. Telefonní přístroj komunikuje se sítí pomocí rádiových vln.

Mobilní telefonní sítě lze rozdělit na:

- Celulární (buňkové) rádiové sítě - pokrytí rozsáhlejší oblasti je zabezpečeno větším množstvím základnových stanic.
- Sítě satelitních telefonů - pro komunikaci využívá systém umělých družic Země, z nichž každá pokrývá rozsáhlé území.
- Sítě bezšňůrových telefonů - telefony mohou komunikovat buď s pevnou základnovou stanicí, nebo přímo mezi sebou.

Naprostá většina sítí mobilních operátorů spadá do skupiny rádiových sítí WWAN (Wireless Wide Area Network). Jedná se o skupinu bezdrátových sítí, která zajišťuje komunikaci v rozsáhlých oblastech, je licencovaná a využívá buňkovou architekturu. Mobilní rádiové sítě pracují v pásmu ultra krátkých vln UHF (Ultra High Frequency) a k přenosu informace využívají volné prostředí. Stručný přehled standardů mobilních sítí je znázorněn v tabulce 1.1.

Tabulka 1.1: *Stručný přehled generací mobilních sítí [9]*

Rok	Síť	Generace
1981	NMT	1G
1992/1995	GSM	2G
1998	GPRS	2,5G
1999	EDGE	2,75G
2000/2001	UMTS	3G
2011/2012/2013	LTE Advanced	4G

V kapitole 1.1 si blíže popíšeme druhou generaci mobilních sítí, především mobilní systém GSM (Global System for Mobile communications), jeho architekturu a základní vlastnosti.

## 1.1 Síť GSM

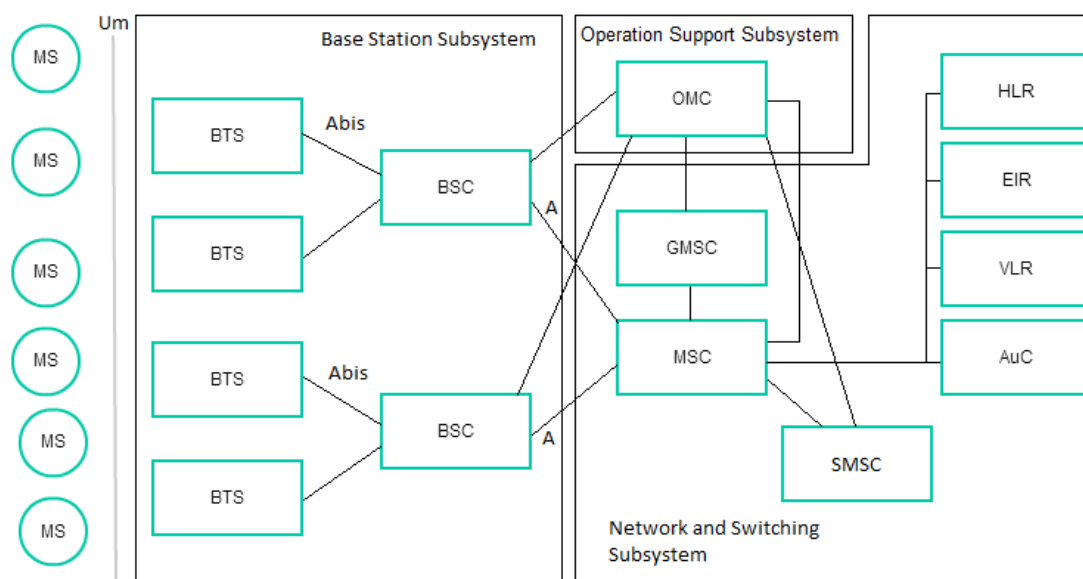
Síť GSM se řadí k mobilním sítím druhé generace. Hlavními důvody vzniku této sítě byly nedokonalosti první generace. Při vývoji nového systému byl kladen důraz hlavně na podporu mobility, zavedení mezinárodního roamingu, vyšší provozní kapacitu, vyšší kvalitu spojení, vysokou úroveň zabezpečení proti odposlechu a rozšíření sortimentu nabízených služeb.

Základní verze sítě GSM byla určena pro provoz v okolí kmitočtu 900 MHz a nesla označení PGSM (Primary GSM). Tato verze má dvě základní vysílací pásma o šířce 25 MHz, 890-915 MHz pro uplink (jednosměrné spojení od mobilní stanice směrem k základnové stanici BTS) a 935-960 MHz pro downlink (jednosměrné spojení od BTS směrem k mobilní stanici). Toto rozdělení umožňuje vytvořit 124 kanálů o šířce 200 kHz. Později rozšířený standard EGSM (Extended GSM) rozšiřuje základní pásma o 10 MHz na 880-915 MHz pro uplink a 925-960 MHz pro downlink, proto lze vytvořit 174 kanálů se stejnou šířkou 200 kHz.

Síť GSM 1800, jak už samotný název napovídá, pracuje v okolí kmitočtu 1800 MHz. Tato síť má k dispozici dvě vysílací pásma o šířce 75 MHz, pásmo 1710-1785 MHz ve směru uplink a pásmo 1805-1880 MHz ve směru downlink. Toto rozdělení umožňuje vytvoření 374 rádiových kanálů. [7]

## Architektura sítě

Architektura systému GSM, která je znázorněna na Obrázku 1.1, je velice propracovaná, hierarchická a snadno rozšiřitelná o další komponenty. Obsahuje celou řadu systémových entit a rozhraní. Pro zjednodušení ji lze rozdělit na tři subsystémy: subsystém základnových stanic BSS (Base Station Subsystem), síťový a spínací (přepojovací) subsystém NSS (Network and Switching Subsystem) a operační podpůrný subsystém OSS (Operation Support Subsystem).



Obrázek 1.1: *Architektura sítě GSM [9]*

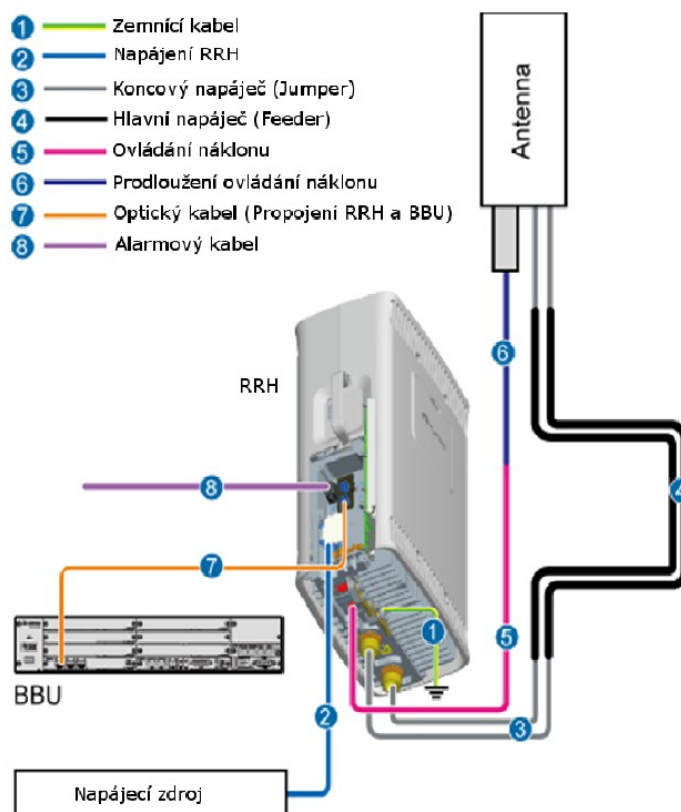
Subsystém základnových stanic poskytuje a spravuje přenosové cesty mezi mobilními stanicemi MS (Mobile Station) a síťovým subsystémem NSS. Subsystém BSS obsahuje základnové stanice BTS (Base Transceiver Station), jejichž hlavní funkcí je zajistit rádiové spojení s mobilními stanicemi a základnové řídicí jednoty BSC (Base Station Controller), které řídí větší počet BTS (obvykle několik desítek až stovek).

Subsystem NSS představuje hlavní část sítě GSM, která realizuje především přepojovací (spínací) funkce, řídí komunikaci mezi mobilními účastníky systému GSM a mezi účastníky externích telekomunikačních sítí. Tento subsystem tvoří radiotelefonní ústředna MSC (Mobile Switching Centre), domovský lokační registr HLR (Home Location Register), návštěvnický lokační registr VLR (Visitor Location Register), centrum autentičnosti AuC (Authenticity Centre), registr mobilních stanic EIR (Equipment Identity Register) a centrum krátkých textových zpráv SMSC (Short Message Service Center).

Do operačního podpůrného subsystemu mají přístup výhradně zaměstnanci daného operátora. Tento subsystem má za úkol zajišťovat řádnou činnost a servis celého systému GSM. Obsahuje provozní a servisní centrum OMC (Operation and Maintenance Centre), které se používá pro centralizované řízení provozu a pro procesy údržby celé sítě. [8]

## 1.2 Instalace na základnové stanici

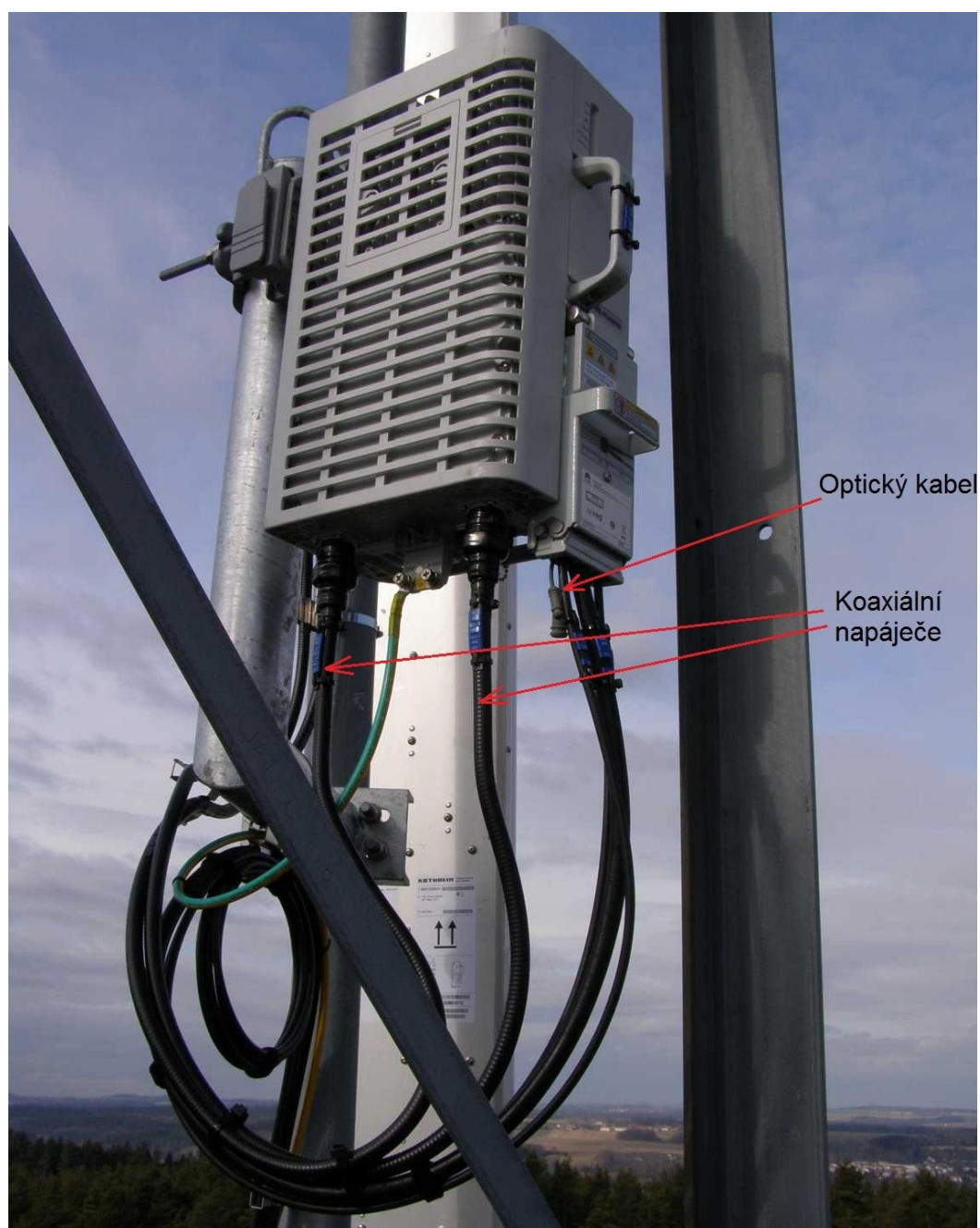
Na obrázku 1.2 je zobrazeno blokové schéma instalace kabelů na základnové stanici za použití vzdálených rádiových jednotek RRH (Radio Remote Head).



Obrázek 1.2: Instalace vzdálených rádiových jednotek [10]

Anténa, která přijímá nebo vysílá rádiový signál, je propojena s RRH pomocí soustavy koaxiálních napáječů. Jako hlavní napáječ (Feeder) se používá např. koaxiální kabel typu LCF78-50J nebo LCF12-50J. Koncový napáječ (Jumper) bývá často realizován pomocí

pružného koaxiálního kabelu typu SCF12-50J. Jednotka RRH upravuje rádiový signál tak, aby ho mohla po optické trase předat řídicí jednotce BBU (Baseband Unit), která signály zpracovává a posílá je pryč z BTS. Zapojení vzdálené rádiové jednotky je zachyceno na obrázku 1.3.



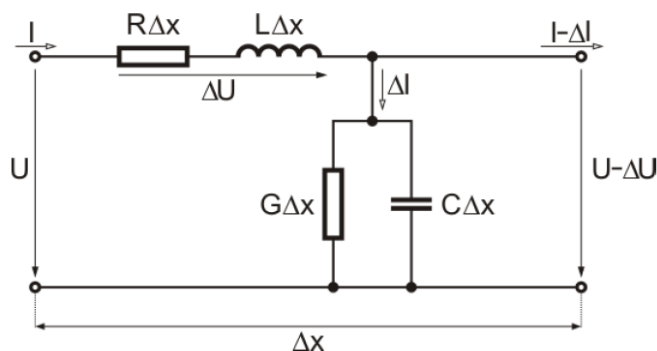
Obrázek 1.3: Zapojení vzdálené rádiové jednotky v praxi



## 2 Metalické vedení

Metalické přenosové cesty jsou v současné době realizovány telekomunikačními vedeními. Telekomunikační vedení lze definovat jako vhodně uspořádanou soustavu metalických vodičů. Tato vedení mohou přenést široké spektrum různých signálů. Vedle signálů stejnosměrných to mohou být i signály s velmi nízkými, tónovými, ale i vysokými kmitočty v řádech stovek MHz.

Telekomunikační vedení můžeme zjednodušeně považovat za homogenní vedení s rovnoměrně rozloženými elektrickými parametry. Homogenní vedení má ve všech svých částech stejné elektrické vlastnosti. Vlastnosti elementu homogenního vedení délky  $l$  můžeme modelovat náhradním schématem dle obr. 2.1.



Obrázek 2.1: Náhradní schéma elementu homogenního vedení

Symbolem  $\Delta$  vyjadřujeme elementární přírůstek příslušné veličiny. Přesného vyjádření bychom dosáhli pomocí tzv. diferenciálů, jejichž použití je však podmíněno znalostí příslušného matematického aparátu. [2]

Telekomunikační vedení je tvořeno nejčastěji dvojicí souběžných metalických vodičů (měděných, bronzových, hliníkových nebo ocelových) ve dvou základních uspořádáních umožňujících přenos širokého spektra signálů:

- symetrické vedení,
- asymetrické (koaxiální) vedení.

Z pohledu frekvencí lze symetrická vedení dále dělit na nízkofrekvenční a vysokofrekvenční. Nízkofrekvenční kabely se pak dělí na pupinované a nepupinované. Pupinované kabely jsou založeny na principu pupinace, tedy umělého zvyšování indukčnosti vedení. Do vedení se v pravidelných vzdálenostech vkládají indukční cívky. Toto umožní snížit útlum vedení a zmenšit zkreslení útlumové charakteristiky v omezeném kmitočtovém pásmu. Nepupinované kabely jsou určeny pro místní a spojovací účely.

Další dělení metalických vedení lze provést podle místa uložení na vedení úložné, závěsné, nadzemní a speciální. Nevýhodou nadzemních vedení je závislost jejich přenosových vlastností na klimatických podmínkách a též značný rušivý vliv cizích elektromagnetických polí. Kabelová úložná vedení jsou umístěna v zemi v hloubce asi 80 cm, kde jsou chráněna proti mechanickému poškození a proti vlivům náhlých klimatických změn a svou konstrukcí jsou i částečně chráněna proti působení rušivých elektromagnetických polí. Speciálním typem jsou kabely podmořské a kabely rozhlasové. [3]

## 2.1 Vlastnosti metalického vedení

Parametry metalického vedení se rozdělují na primární a sekundární, přičemž primární parametry určují elektrické vlastnosti vedení a sekundární parametry určují přenosové vlastnosti vedení.

Charakteristickými parametry homogenního vedení jsou tzv. primární parametry. Tyto parametry jsou konstantní a nezávisí na napětí a přenášeném proudu, ale závisí na konstrukci vedení, použitém materiálu a frekvenci přenášeného signálu. Primární parametry se vztahují na jednotku délky a jsou to:

- měrný odpor  $R$  [ $\Omega/\text{km}$ ],
- měrná indukčnost  $L$  [ $\text{H}/\text{km}$ ],
- měrná kapacita  $C$  [ $\text{F}/\text{km}$ ],
- měrný svod  $G$  [ $\text{S}/\text{km}$ ].

Při přenosu harmonického signálu vedením dochází průchodem proudu  $I$  podélnou impedancí elementu k úbytku napětí a příčná větev pak způsobuje úbytek proudu.

$$\Delta U = I (R + j\omega L) \Delta x, \quad (2.1)$$

$$\Delta I = U (G + j\omega C) \Delta x. \quad (2.2)$$

Pro sledování přenosových vlastností homogenního vedení se zavádějí sekundární parametry vedení:

**Charakteristická (vlnová) impedance  $Z_C$**  je definována jako poměr napětí  $U$  a proudu  $I$  v každém bodě homogenního vedení. Tento poměr je stálý, nezávisí na délce vedení a je vyjádřen v komplexním tvaru  $|Z_C|$ .

$$Z_C = \frac{U}{I} = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \sqrt{\frac{R+j\omega L}{G+j\omega C}} = |Z_C| \cdot e^{j\varphi_c}, \quad (2.3)$$

kde:

$|Z_C|$  modul  $Z_C$ ,  
 $e^{j\varphi_c}$  argument  $Z_C$ .

Modul vlnové impedance udává poměr velikosti napěťové a proudové vlny v každém místě homogenního vedení, a  $\varphi_c$  je argument vlnové impedance, který udává rozdíl mezi fází napěťové a proudové vlny v každém místě homogenního vedení.

**Měrná vlnová míra přenosu  $\gamma$**  je dalším důležitým sekundárním parametrem a vyjadřuje relativní změnu napětí a proudu v každém elementu vedení. Je vztažena na jednotkovou délku vedení a je konstantní v celé jeho délce.

$$\gamma = \frac{\Delta U}{U \cdot \Delta x} = \frac{\Delta I}{I \cdot \Delta x} = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)} = \alpha + j\beta, \quad (2.4)$$

kde:

$\alpha$  měrný útlum [dB/km],  
 $\beta$  měrný fázový posuv [rad/km].

Měrná vlnová míra přenosu je opět komplexní veličina. Její reálná část  $\alpha$  se nazývá měrný (vlnový) útlum a imaginární část  $\beta$  se nazývá měrný fázový posuv.

Měrný fázový posuv  $\beta$  udává zpoždění fáze šířící se vlny na jednotku délky. Zpoždění fáze o  $360^\circ$  ( $2\pi$ ) nastane ve vzdálenosti jedné délky vlny  $\lambda$  [m], tj.

$$\beta\lambda = 2\pi \quad (2.5)$$

a tudíž

$$\lambda = \frac{2\pi}{\beta}. \quad (2.6)$$

Proto se měrný fázový posuv někdy nazývá konstanta vlnové délky. Její hodnota je závislá na typu a konkrétních parametrech vedení. Rychlost, jakou se šíří fáze postupující harmonické vlny, je dána tzv. **fázovou rychlostí šíření  $v_f$**  [km/s], která se vypočte dle vztahu:

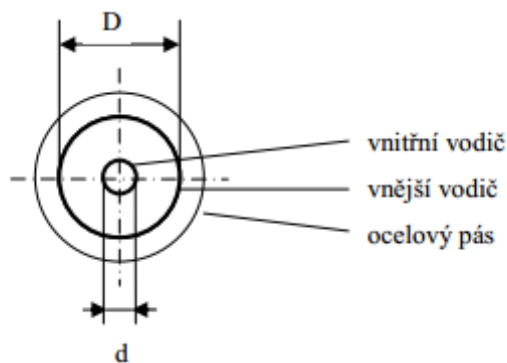
$$v_f = \frac{\lambda}{T} = \lambda \cdot f = \frac{2\pi f}{\beta} = \frac{\omega}{\beta}. \quad (2.7)$$

Fázová rychlost šíření  $v_f$  je opět závislá na typu vedení a jeho parametrech. Její hodnota je vždy nižší než rychlost šíření elektromagnetické vlny ve volném prostoru. [4]

## 2.2 Koaxiální kabel

Koaxiální kabel je nesymetrické dvou vodičové vedení se souosými, tj. koaxiálními nebo též koncentrickými vodiči. Vnitřní vodič je tvořen buď plným měděným drátem, nebo měděným lankem, u větších koaxiálních kabelů bývá dutý. Kolem vnitřního vodiče je tlustá, většinou polyetylenová izolace, která tvoří dielektrikum mezi vnitřním a vnějším vodičem. Vnější vodič je tvořen měděným páskem, který je svinut do trubky a spojený ve švu nebo hliníkovou fólií. Vnější vodič působí jako stínění proti rušení elektromagnetickými poli a zvyšuje tak odolnost proti přeslechům, musí však být zemněn. Vnitřní vodič má proto napětí proti zemi, proto se jedná o nesymetrické vedení. Vnější vodič je obklopen pláštěm, který slouží jako izolace i jako mechanická ochrana kabelu.

Uspořádání koaxiálního páru je patrné z obr. 2.2. Poměr vnitřního průměru trubky a průměru středového vodiče  $D/d$  je volen z hlediska minimálního měrného útlumu koaxiálního páru. Pro měděné vodiče při vzduchovém dielektriku je tento optimální poměr  $D/d = 3,6$ . [1]

Obrázek 2.2: *Uspořádání koaxiálního páru*

Nejrozšířenější typy koaxiálních párů používaných v telekomunikacích jsou:

- malý koaxiální pár s rozměry  $D/d = 4,4/1,2$  mm,
- střední koaxiální pár s rozměry  $D/d = 9,5/2,6$  mm.

### Parametry koaxiálního kabelu

Jelikož je koaxiální kabel typem metalického vedení, tak i zde můžeme provést dělení parametrů na primární a sekundární. V této kapitole si stručně popíšeme jednotlivé parametry.

#### 2.2.1 Primární parametry

**Odpor** [ $\Omega/\text{km}$ ] obou vodičů není stejný a proto platí:

$$R = 83,5 \sqrt{f \left( \frac{1}{d} + \frac{1}{D} \right)}, \quad (2.8)$$

kde:

$d$  průměr vnitřního vodiče [mm],

$D$  průměr vnější trubky [mm],

$f$  kmitočet [MHz].

**Měrná kapacita** [nF/km] je definována vztahem:

$$C = \frac{56 \epsilon_r}{\ln \frac{D}{d}}, \quad (2.9)$$

kde relativní permitivita  $\epsilon_r$  bývá 1,15 - 1,5.

**Měrná indukčnost** [nH/km] je:

$$L = 0,2 \ln \frac{D}{d}. \quad (2.10)$$

**Měrný svod** je:

$$G = k_s \omega C, \quad (2.11)$$

kde činitel zkrácení  $k_s$  bývá  $0,5 \cdot 10^{-4} = 0,005$  %

### 2.2.2 Sekundární parametry

**Charakteristická impedance** (také vlnový odpor neboli vlnová impedance) je jednou ze základních vlastností koaxiálních kabelů - je dána průměrem vnějšího a vnitřního vodiče a použitým dielektrikem. Udává se v ohmech [ $\Omega$ ] a vypočítá se ze vztahu:

$$Z_c = \frac{Z_0}{2\pi\sqrt{\epsilon_r}} \cdot \ln\left(\frac{D}{d}\right) \approx \frac{60}{\sqrt{\epsilon_r}} \cdot \ln\left(\frac{D}{d}\right), \quad (2.12)$$

kde:

$Z_0$  impedance volného prostředí a činí přibližně 377  $\Omega$ ,

$\epsilon_r$  relativní permitivita použitého dielektrika,

$D$  průměr vnějšího vodiče,

$d$  průměr vnitřního vodiče.

Nejčastěji se vyrábějí koaxiální kabely s charakteristickou impedancí o velikosti 50  $\Omega$ , které se používají na vysílačích, přijímačích jako napáječe antén a v pomalejších verzích počítačových sítí Ethernet nebo 75  $\Omega$ , využívaných zejména v televizní technice, ale také v telekomunikacích jako dálkový telefonní kabel pro nosnou telefonii.

**Měrný útlum**, který vyjadřuje, kolikrát se zmenší výkon signálu po průchodu kabelem jednotkové délky, je dalším parametrem koaxiálního vedení. Udává se v decibelech na jednotku délky [dB/m, dB/100m nebo dB/km] a je kmitočtově závislý. Je způsoben vlivem skin efektu vnitřního vodiče, ztrátami ve vodiči a v dielektriku a únikem elektromagnetické energie pláštěm kabelu.

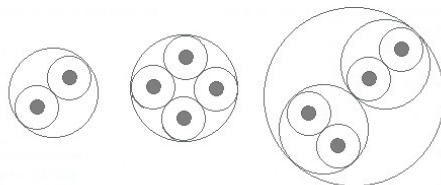
$$b_k(f) \cong (1,1 \text{ až } 1,2)b_{k0}(f_0)\sqrt{\frac{f}{f_0}}, \quad (2.13)$$

kde:

$b_{k0}$  měrný útlum při  $f = f_0$  [dB/100m].

### 2.3 Symetrické kabelové vedení

Vodiče symetrického kabelového prvku mají vůči zemi téměř shodné impedance, jsou tudíž vůči zemi symetrické. Měděný vodič tvoří jádro, které je izolováno plastovou izolací. Takto izolovaný vodič tvoří žílu. Stočením několika žil se vytvoří kabelový prvek symetrického kabelu. Nejčastějšími symetrickými prvky kabelu jsou pár, křížová čtyřka X nebo tzv. DM čtyřka, která vzniká stočením dvou párů. Uspořádání párů je patrné na obrázku 2.3.



Obrázek 2.3: Uspořádání párů v dálkových symetrických kabelech, zleva: pár, křížová čtyřka a DM čtyřka

Symetrické kabely jsou používány jako kabely signální, místní telefonní kabely a dálkové telefonní kabely.

Signální kabely slouží k přenosu signalizace pro účely telemetrie či dálkového ovládání. Mají přípustné provozní napětí mezi žilami až 360 V a průměr žil 1,0 až 1,2 mm. Izolace žil je buď gumová, plastová nebo papírová. Prvky tvoří buď samostatné žíly, páry nebo křížové čtyřky.

Místní telefonní kabely jsou určeny pro přenos hovorových signálů. Jsou tvořeny páry či čtyřkami stočenými do vrstev nebo páry stočenými do skupin. Izolace žil je papírová nebo plastová. Průměr žil je 0,4 až 0,8 mm, počet žil v kabelu se pohybuje od 4 do 2400.

Dálkové telefonní kabely byly určeny buď pro nízkofrekvenční provoz (kabely s DM čtyřkami) nebo pro vysokofrekvenční provoz (kabely s křížovými čtyřkami). Vysokofrekvenční dálkové kabely jsou tvořeny křížovými čtyřkami X. Analogově jsou provozovány až do kmitočtu 250 kHz (papír - vzduch) případně až do 550 kHz (styroflex - vzduch). [4]

## 3 Optická vlákna

Optická vlákna podobně jako metalické vlnovody nebo vedení slouží pro přenos elektromagnetických vln. Elektromagnetické vlny o velmi vysokém kmitočtu řádově stovek THz se nazývají též vlnami světelnými. Obecně je známo, že se světelné paprsky šíří volným prostorem přímočaře neboli po přímkové dráze. Právě této vlastnosti lze s výhodou využít k realizaci jednoduchého optického přenosového systému, kde mezi vysílačem a přijímačem existuje přímá viditelnost. Tuto podmínku je však v praxi možné splnit jen ve velice málo ojedinělých případech. Z hlediska širšího využití obecné schopnosti světla šířit se prostorem se jeví jako mnohem zajímavější nalezení vhodné optické struktury, která by umožnila přenos světelné energie mezi optickým vysílačem a přijímačem i bez nutnosti zachování přímé viditelnosti. Taková struktura se nazývá optický vlnovod nebo optické vlákno. Optické vlákno se svým tvarem a některými mechanickými vlastnostmi podobá elektrickému vodiči. Například je možné jej vcelku snadno ohýbat podél různých překážek, aniž by to mělo zásadní vliv na přenos světla uvnitř. Vlákno také velice účinně zamezuje pronikání okolního světla do svého jádra, což výrazně přispívá ke snížení vlivu vnějších světelných zdrojů na přenos světelného signálu uvnitř.

Optická vlákna se dělí podle možnosti přenášení jednoho či více paprsků na jednovodová SM (Single Mode) a mnohovodová MM (Multi-mode) optická vlákna. [4]

### 3.1 Přenosové parametry optických vláken

#### 3.1.1 Měrný útlum vlákna

Projevuje se stejně jako u metalických vodičů: s přibývajícím vzdáleností od zdroje postupně klesá výkon přenášeného signálu. Označuje se rovněž  $\propto$  [dB/km]. Hlavní příčiny útlumu u optických vláken jsou absorpce, rozptyl, mikroohyb a makroohyb.

**Vlastní absorpce** - absorpce světla na vlastních molekulách optického materiálu. Např. křemenný materiál vykazuje absorpční maxima jak v ultrafialové - UV (cca 40-400 nm), tak i infračervené - IR (cca 2000 nm - 100 $\mu$ m) oblasti. Mezi těmito dvěma oblastmi se nachází část spektra (700 - 1600 nm), kde je absorpce velice malá. To je také hlavním důvodem, proč jsou současné optické systémy provozovány v okolí tří vlnových délek: 850, 1300 a 1500 nm.

**Nevlastní absorpce** - absorpce světla na nečistotách, které mohou vniknout do materiálu vlákna v důsledku špatně provedené vnější ochrany.

**Lineární rozptyl** - tyto ztráty jsou způsobeny tím, že materiál jádra a pláště optického vlákna po výrobě není ideálně homogenní, čili nemá ve všech místech stejné vlastnosti. Nejčastěji udávaným typem lineárního rozptylu je tzv. Rayleighův rozptyl, který u dnešních vláken tvoří hlavní složku útlumu.

**Nelineární rozptyl** - u části optického zařízení dochází ke změně jeho vlnové délky (vysvětluje se kvantovou teorií elektromagnetického záření). Z hlediska pracovní vlnové délky je toto zařízení ztracené a projevuje se jako přidavný útlum.

**Ztráty mikroohyby** - poloměry ohybu vlákna jsou řádově jednotky milimetru a menší. Dají se odstranit při výrobě vlákna a při jeho instalaci do výsledného optického kabelu. Jsou kritickým faktorem při výrobě jednovidových optických vláken.

**Ztráty makroohyby** - poloměry ohybu vlákna jsou řádově desítky milimetrů. Mohou se projevit při nevhodné instalaci optického kabelu. Nesmí se překročit minimální poloměr ohybu, který se často udává jako katalogová hodnota.

### 3.1.2 Disperze optického vlákna

Tento parametr charakterizuje vlákno z hlediska maximální přenosové rychlosti. Disperzi způsobuje řada příčin a z tohoto důvodu ji dělíme na více druhů.

**Vidová disperze** vzniká u mnohovidových optických vláken a je způsobena tím, že každý paprsek ve vlákně dorazí díky rozdílnosti délek svých drah na konec vlákna v rozdílných časových okamžicích.

**Chromatická disperze** vzniká ve všech typech vláken, tedy jak v jednovidových tak v mnohovidových. Chromatická disperze se skládá z materiálové disperze, která je zapříčiněna rozdílnou rychlostí šíření paprsků o různých vlnových délkách a vlnové disperze, která je způsobena rozdílnou rychlostí šíření světla v jádře a plášti vlákna. [5][6]



## 4 Praktická část

Měření bylo provedeno pro společnost Suntel Group, s. r. o. s využitím poskytnutých koaxiálních kabelů a měřicího přístroje. Pro účely měření byl také poskytnut jeden kabel typu LCF78-50J a dvě koncovky společností Kabel Trade Praha, s. r. o., která je výhradním zastoupením výrobce měřených kabelů pro Českou a Slovenskou republiku. Cílem této práce je ověřit vlastnosti koaxiálních kabelů používaných v sítích mobilních operátorů. Hlavní náplní praktické části je měření vlivu různých poloměrů ohybu koaxiálních kabelů na sílu přenášeného signálu, zjištění, do jaké míry ohybu je kabel ještě použitelný a porovnání této hodnoty s údajem v katalogovém listu. Měření bylo provedeno na technologii GSM 900, pro koaxiální kabely od firmy RFS (Radio Frequency Systems) s různým průměrem a různé délky.

Dalším rozšířením praktické části byl pokus o opravu již zdeformovaných nebo ohnutých koaxiálních kabelů a jejich opětovné proměření. U všech tří měřených typů koaxiálních kabelů jsem se pokusil o zpětné narovnání po překročení mezního poloměru ohybu. U kabelů typu LCF12-50J a LCF78-50J jsem navíc provedl měření, při kterém jsem testoval, zda se dají tyto kabely po dosažení mezního poloměru ohybu narovnat, otočit o 180° kolem své osy a opět ve stejném místě ohnout na stejnou hodnotu poloměru ohybu.

### 4.1 Metodika měření

Jako nejvhodnější metodu pro měření vlivu ohybu koaxiálních kabelů na šíření signálu jsem zvolil metodu měření vzdálenosti do chyby DTF-VSWR (Distance To Fault - Voltage Standing Wave Ratio). Tato metoda měří délku instalovaného napáječe, odhalí chybně namontovaný konektor či závadu na kabelu.

#### 4.1.1 Měřené parametry

**VSWR** - napěťový poměr stojatých vln neboli poměr mezi maximálním a minimálním napětím v kabelové trase. Například hodnota VSWR 1,2:1 značí, že maximální amplituda stojaté vlny je 1,2 krát větší než minimální hodnota amplitudy stojaté vlny.

#### 4.1.2 Použité přístroje

Níže je uveden seznam potřebných zařízení pro prováděné měření. Jednotlivé přístroje jsou v této kapitole ještě podrobněji popsány.

- Měřicí přístroj Anritsu BTS Master MT8222A a příslušenství
- Software Line Sweep Tools
- Kalibrační člen 60S34R-MSO
- Koaxiální kabely s konektory
- Přípravek na měření poloměru ohybu

## Měřicí přístroj Anritsu BTS Master MT8222A

Jak již samotný název napovídá, Anritsu BTS Master MT8222A je vysoce výkonný přenosný měřicí přístroj, který slouží pro správu základnové stanice BTS. Několik analyzátorů integrovaných do jednoho přenosného zařízení, umožňuje kompletní kontrolu BTS. Mezi hlavní možnosti použití patří údržba, kontrola a nové instalace základnových stanic. V současné době se tento přístroj řadí mezi nejlepší na trhu. Kromě funkcí anténního a kabelového analyzátoru dokáže také měřit frekvenční spektrum v rozsahu od 100 kHz do 7,1 GHz a výkonové úrovně. Měřicí přístroj Anritsu BTS Master MT8222A je zobrazen na obrázku 4.1.

Hlavní vlastnosti:

- spektrální analyzátor
- kabelový a anténní analyzátor
- analyzátor vysílání
- měřič výkonu
- skener kanálů
- přijímač GPS



Obrázek 4.1: Měřicí přístroj Anritsu BTS Master MT8222A

## Software Line Sweep Tools

Celý balíček Anritsu Tool Box, jehož je software Line Sweep Tools součástí, lze zdarma stáhnout na stránkách výrobce měřicích přístrojů Anritsu. Tento program slouží převážně pro analýzu naměřených hodnot přístrojem Anritsu pomocí stolního počítače. Po přenesení uložených souborů z analyzátoru do osobního počítače je můžeme pomocí tohoto programu dále upravovat. Lze například přidávat značky do měření, změnit popis, měřítka os, odečítat hodnoty nebo přidat hodnotu pro limit.

## Kalibrační člen 60S34R-MSO

Před začátkem každého měření je nutné provést rychlou kalibraci měřicího přístroje pomocí kalibračního členu. Pro různé metody měření se kalibrace liší, proto se musí provádět vždy při změně typu měření. Kalibrační člen má tři vstupy, jeden pro zapojení se zátěží  $50 \Omega$ , druhý pro zapojení bez zátěže (naprázdno) a poslední pro zapojení ve zkratu (nakrátko), označené *Load*, *Open* a *Short*. Kalibrace pro použité metody měření bude podrobněji popsána v kapitole 4.1.4.

## Koaxiální kabely

Všechny kabely použité při měření jsou od společnosti RFS (Radio Frequency Systems), která se specializuje na výrobu koaxiálních kabelů pro mnoho telekomunikačních systémů. V tabulce 4.1 jsou popsány kabely použité při měření a jejich hlavní parametry. Základní dělení se provádí podle průměru kabelu udávaného v palcích. Dále je zde zobrazen minimální poloměr ohybu a útlum kabelu pro frekvenci 900 MHz a 1800 MHz. Označení SCF (Superflexible Foam-Dielectric Coaxial Cable) udává, že se jedná o ohebný kabel se spirálovitě zvlákněným vnějším vodičem, kdežto kabely s označením LCF (Low-Loss Foam-Dielectric Coaxial Cable) jsou tuhé. První číselná hodnota udává průměr kabelu a druhá číselná hodnota za pomlčkou udává velikost charakteristické impedance kabelu  $50 \Omega$ . Katalogové listy těchto kabelů jsou umístěny v příloze A.

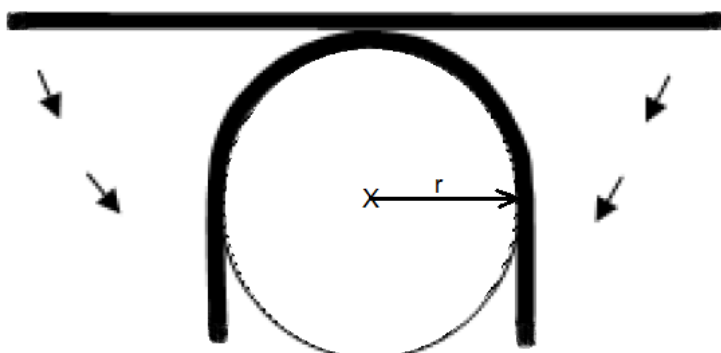
Tabulka 4.1: *Měřené koaxiální kabely*

Průměr kabelu	Označení	Min. poloměr ohybu [mm]	Min. poloměr ohybu [mm], opakovaný ohyb	Útlum pro $f = 900 \text{ MHz}$ [dB/100m]	Útlum pro $f = 1800 \text{ MHz}$ [dB/100m]
1/2"	SCF12-50J	-	32	10,2	14,9
1/2"	LCF12-50J	70	125	6,8	9,91
7/8"	LCF78-50J	120	250	3,57	5,21

## Přípravek na měření poloměru ohybu

Návrh a výroba přípravku na měření poloměru ohybu byl můj první praktický úkol. Jedná se o sadu kovových a dřevěných vzorků, které mají přesně daný poloměr a minimálně 180 stupňů zakřiveného povrchu, kolem kterého mohou být kabely ohýbány. Blokové schéma

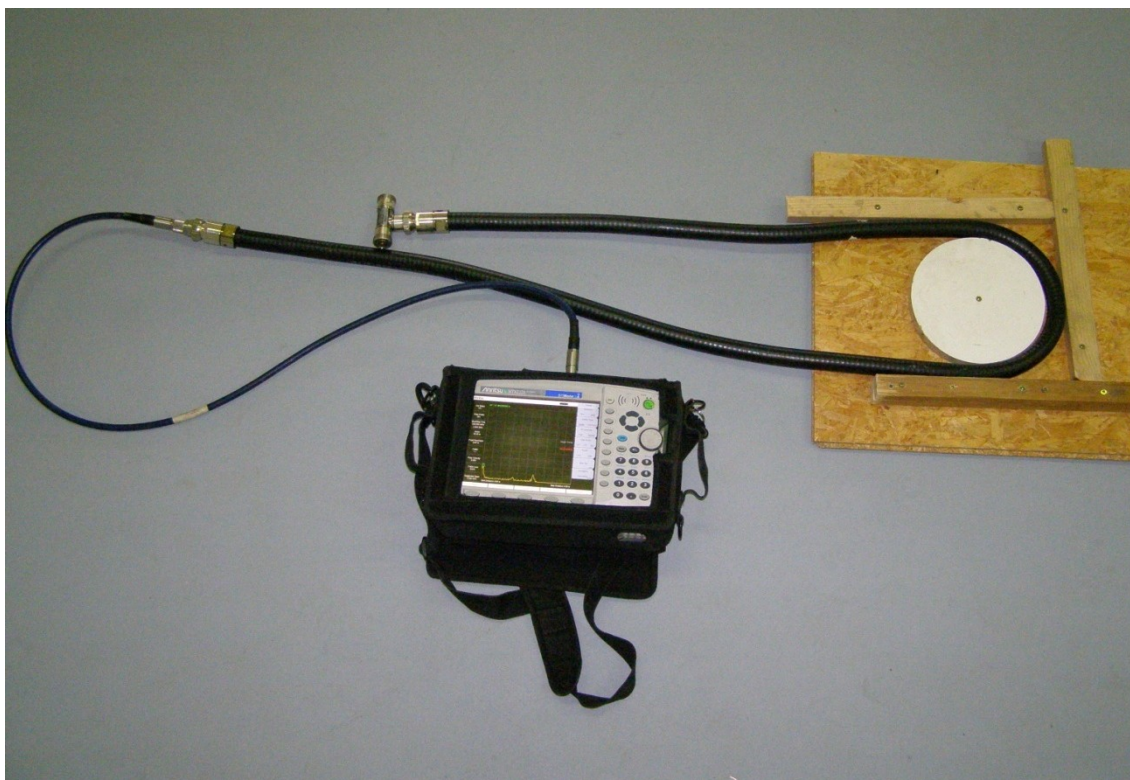
přípravku na měření poloměru ohybu je na obrázku 4.2. Hotový přípravek je zobrazen na obrázku C.2 v příloze C.



Obrázek 4.2: *Blokové schéma přípravku na měření poloměru ohybu*

#### 4.1.3 Měřicí pracoviště

Měření jsem prováděl v prostorech společnosti Sutel Group, s. r. o. s využitím poskytnutých koaxiálních kabelů a měřicího přístroje Anritsu. Na obrázku 4.3 je vyobrazeno měřicí pracoviště při měření vzdálenosti do chyby DTF-VSWR pro koaxiální kabel typu LCF78-50J a poloměr ohybu 100 mm.



Obrázek 4.3: *Měřicí pracoviště*

#### 4.1.4 Kalibrace analyzátoru

Aby mohlo být měření považováno za korektní, musí mít měřicí přístroj platnou kalibraci od akreditované laboratoře. Dále je nutné provést jeho rychlou kalibraci před začátkem měření. K tomuto účelu slouží kalibrační člen, správné nastavení frekvenčního pásma a parametrů měřeného kabelu. Opětovná kalibrace je vyžádána vždy, když teplota překročí rozsah kalibrační teploty, nebo když je odstraněn nebo nahrazen prodlužovací testovací kabel přístroje. Pokud se změní nastavená frekvence nebo metoda měření, je opět vyžádána opětovná kalibrace.

##### **Kalibrace analyzátoru pro měření vzdálenosti do chyby**

Při kalibraci pro toto měření je nejdůležitější volba vhodné délky kabelu. Je nutné mít rezervu v délce kabelu, aby byl vidět celý průběh a pokles křivky napětového poměru stojatých vln VSWR k nulové ose.

Postup:

1. Zapneme analyzátor. Stiskneme tlačítko **SHIFT** a následně **MODE**, zobrazí se nabídka měření, zvolíme **DTF-VSWR**.
2. Nastavíme potřebné údaje, délku kabelu a frekvenční rozsah měřené technologie, hodnoty **F1** (počáteční frekvence rozsahu) a **F2** (koncová frekvence rozsahu).
3. Dále vyplníme katalogové hodnoty kabelu **PROP VEL** a **CABLE LOSS**.
4. Pomocí tlačítka **SHIFT** a tlačítka **CALIBRATION** přepneme do nastavení kalibrace.
5. Zde nastavíme hodnoty **CAL TYPE** na **1-PORT**, **CAL POWER** na **HIGH** a **CAL-MODE** na **STANDARD**.
6. Stiskneme **START CAL** a postupujeme podle instrukcí na displeji. Měníme postupně výstupy kalibračního článku „Open“, „Short“ a „Load“.

#### 4.1.5 Měření vzdálenosti do chyby

Hlavní náplní této práce je zjistit minimální poloměr ohybu vybraných typů koaxiálních kabelů. Do jaké míry se může koaxiální kabel ohnout, aby ještě splňoval podmínky pro přenos signálu udávané mobilním operátorem. V závěru pak budou tyto hodnoty porovnány s hodnotami, které jsou uvedeny v katalogovém listu výrobce kabelu.

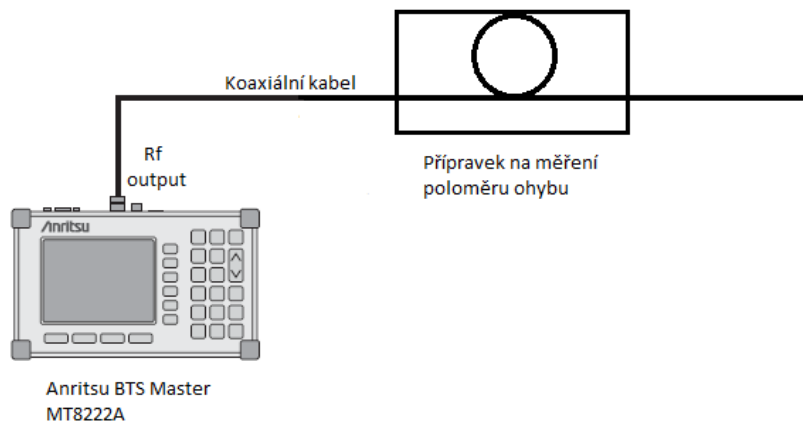
K tomuto účelu nejlépe poslouží metoda měření vzdálenosti do chyby neboli DTF. Tato metoda měří délku instalovaného napáječe, odhalí špatně namontovaný konektor či závadu na kabelu. Na konci vedení musí být připojena umělá zátěž o velikosti 50 Ω.

## Akceptační pravidlo

Změřený poměr stojatých vln musí splňovat kritéria (Vodafone):

1. Pro instalace nové kabelové trasy: hlavní napájecí kabel nebo koncový napáječ: „DTF VSWR“ max. 1,02, dva spojené konektory „DTF VSWR“ max. 1,04.
2. Pro stávající instalace kabelové trasy: hlavní napájecí kabel nebo koncový napáječ: „DTF VSWR“ max. 1,05, dva spojené konektory „DTF VSWR“ max. 1,1.

## Schéma zapojení



Obrázek 4.4: Schéma zapojení pro měření vzdálenosti do chyby

## Postup měření

1. Nejprve jsem provedl kalibraci měřicího přístroje, nastavení pro danou technologii a typ koaxiálního kabelu.
2. Následně jsem připojil koaxiální kabel k analyzátoru podle obrázku 4.4, pomocí přípravku na měření poloměru ohybu jsem kabel ohnul na první hodnotu poloměru ohybu a provedl jsem pět měření, abych vyloučil chyby.
3. Měření jsem patřičně pojmenoval a uložil do přístroje.
4. Kroky 2 a 3 jsem opakoval, dokud jsem nezměřil všechny typy kabelů pro všechny zvolené poloměry ohybu.

## 4.2 Naměřené hodnoty

### 4.2.1 Měření minimálního poloměru ohybu

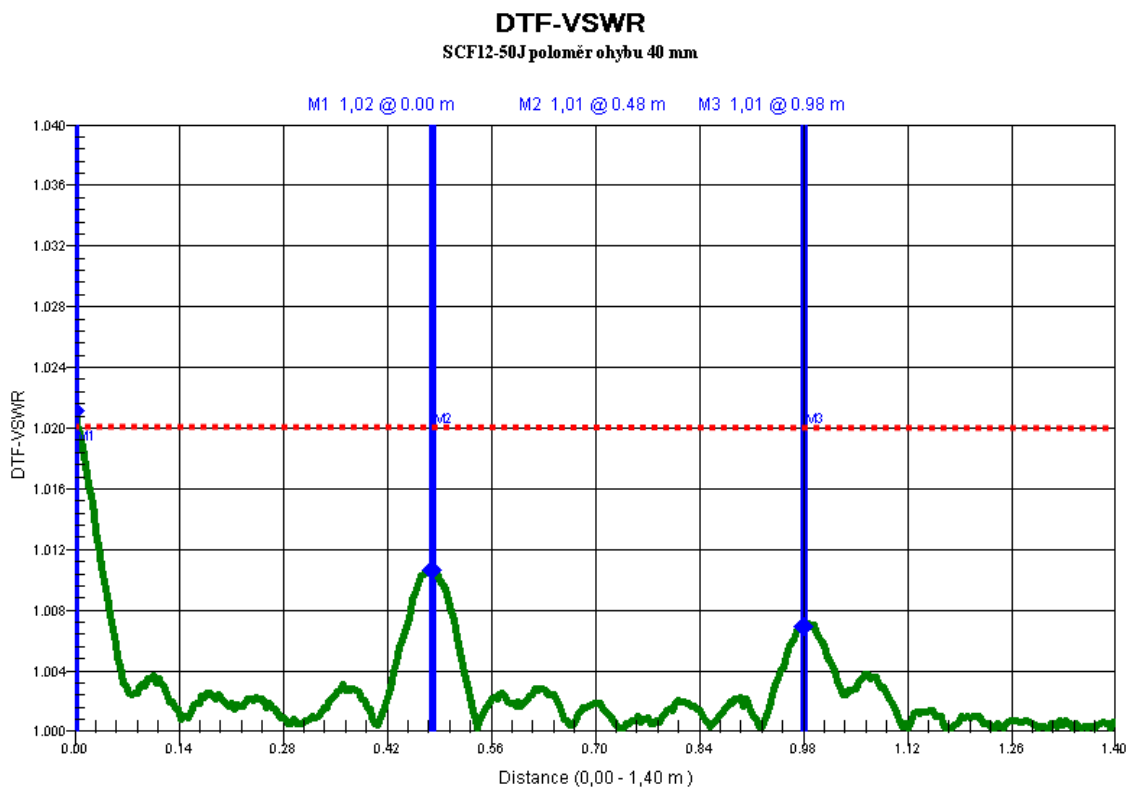
Kabel SCF12-50J

V tabulce 4.2 jsou uvedeny naměřené hodnoty pro koaxiální kabel SCF12-50J. V prvním sloupci je uveden poloměr ohybu v milimetrech. Pro každý poloměr ohybu jsem provedl pět měření, abych vyloučil případnou chybu měření. Naměřené hodnoty VSWR jsou zapsány v dalších pěti sloupcích. V posledním sloupci tabulky je vypočtená průměrná hodnota VSWR pro jednotlivé poloměry ohybu. Řádek s mezní hodnotou parametru VSWR je modře podbarven. Tato mezní hodnota nastane při poloměru ohybu 30 mm.



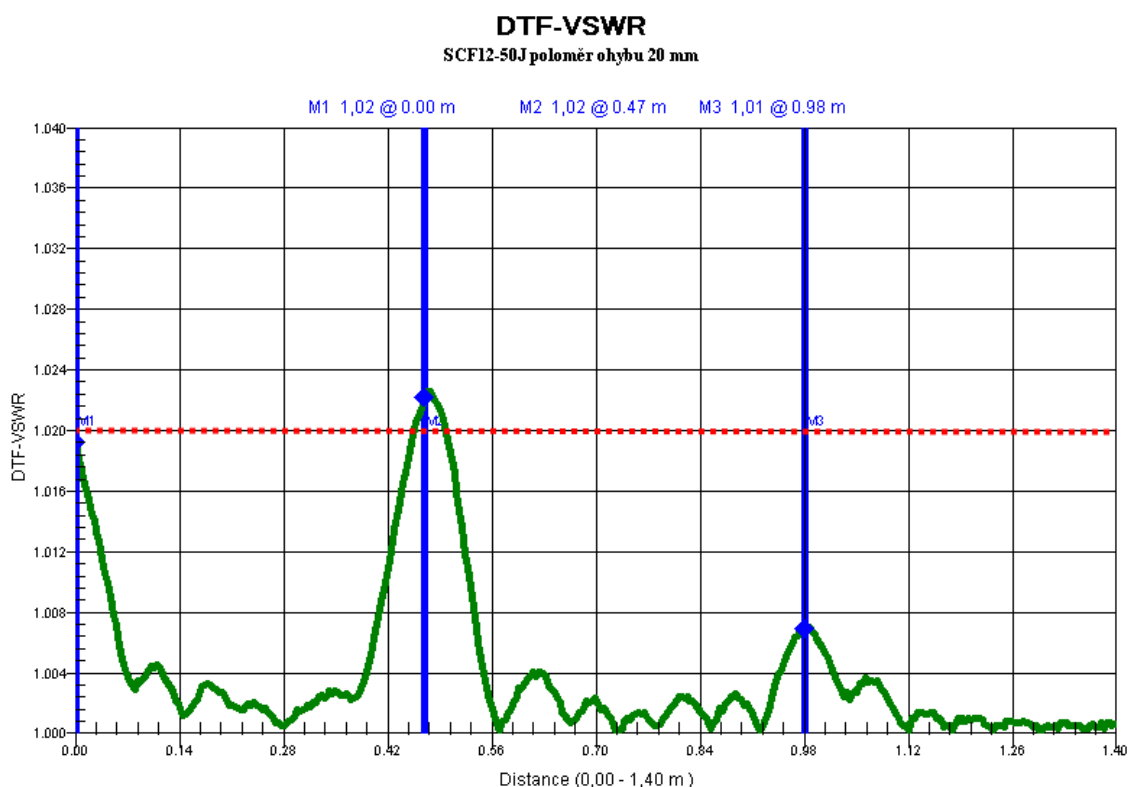
Tabulka 4.2: Naměřené hodnoty pro koaxiální kabel SCF12-50J

Poloměr ohybu [mm]	VSWR 1	VSWR 2	VSWR 3	VSWR 4	VSWR 5	Průměrná hodnota VSWR
150	1,0036	1,0036	1,0034	1,0034	1,0036	1,0035
100	1,0058	1,0058	1,0055	1,0058	1,0058	1,0057
90	1,0041	1,0050	1,0058	1,0065	1,0066	1,0052
80	1,0065	1,0066	1,0063	1,0066	1,0066	1,0065
70	1,0066	1,0065	1,0066	1,0065	1,0066	1,0065
60	1,0069	1,0069	1,0066	1,0067	1,0064	1,0067
50	1,0067	1,0067	1,0067	1,0065	1,0067	1,0067
40	1,0107	1,0108	1,0109	1,0108	1,0108	1,0108
30	1,0155	1,0155	1,0155	1,0155	1,0155	1,0155
20	1,0223	1,0226	1,0226	1,0226	1,0226	1,0225
10	1,0511	1,0513	1,0513	1,0521	1,0511	1,0514



Obrázek 4.5: Průběh parametru VSWR pro kabel SCF12-50J při poloměru ohybu 40 mm

Na obrázku 4.5 je zobrazen naměřený průběh parametru VSWR pro koaxiální kabel SCF12-50J při poloměru ohybu 40 mm. Jedná se o snímek obrazovky měřicího přístroje Anritsu. Na ose x je zobrazena délka v metrech a na ose y parametr VSWR. Mezní hodnota napět'ového poměru stojatých vln je vyznačena červenou tečkovanou čarou. Z obrázku lze vyčíst, že tento měřený kabel má délku 0,98 m, první koncovka je na značce M1 a hodnota DTF-VSWR v tomto místě je 1,02. Ohyb je prováděn ve vzdálenosti 0,48 m od začátku kabelu, tomu odpovídá značka M2 a hodnota DTF-VSWR je přibližně 1,01, což stále splňuje podmínky mobilního operátora. Přesná hodnota je uvedena v tabulce 4.2 a získá se vyexportováním naměřeného průběhu do souboru s koncovkou „csv“ pomocí programu Line Sweep Tools. Druhá koncovka je na značce M3 a hodnota DTF-VSWR v tomto místě je přibližně 1,01.



Obrázek 4.6: Průběh parametru VSWR pro kabel SCF12-50J při poloměru ohybu 20 mm

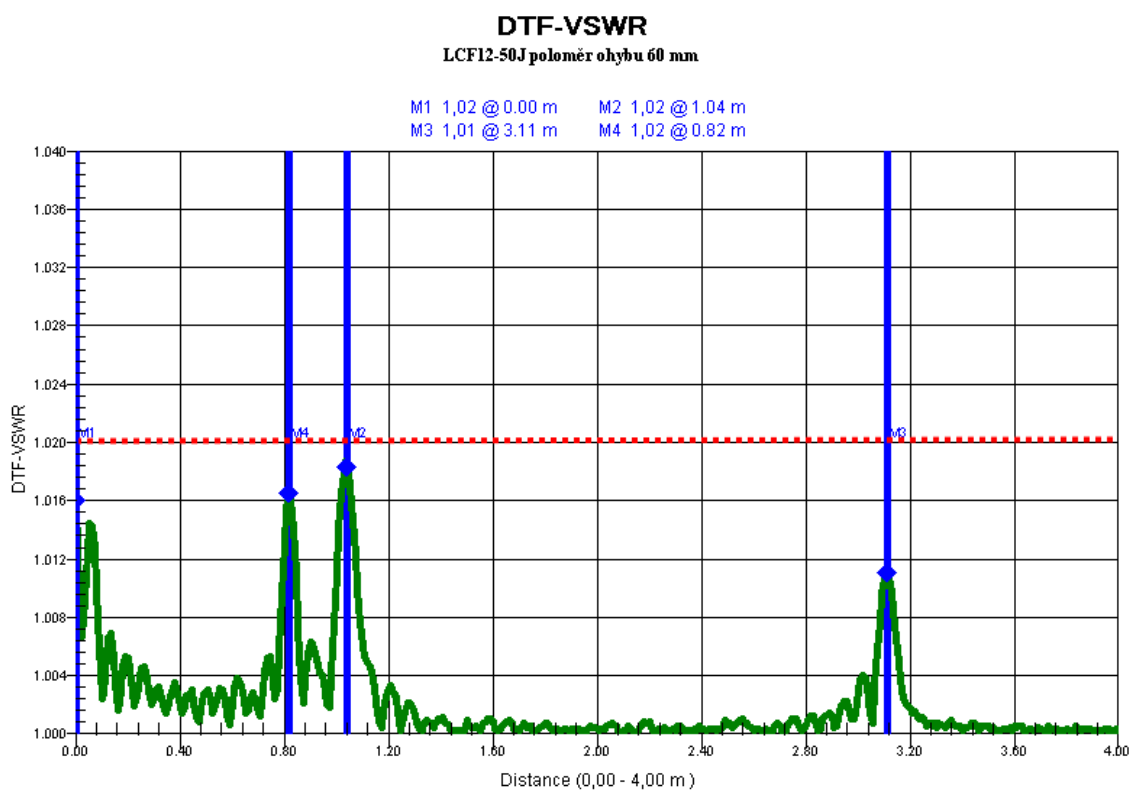
Průběh, který překračuje mezní hodnotu parametru VSWR a tím nesplňuje požadavky mobilního operátora, je znázorněn na obrázku 4.6. Jedná se o stejný koaxiální kabel, pouze hodnota poloměru ohybu se zmenšila na 20 mm. Ohyb byl prováděn ve stejném místě, ale v tomto případě již došlo k takovému narušení struktury kabelu a nárůstu napět'ového poměru stojatých vln, že jeho použití při tomto poloměru ohybu není možné.



## Kabel LCF12-50J

Tabulka 4.3: Naměřené hodnoty pro koaxiální kabel LCF12-50J

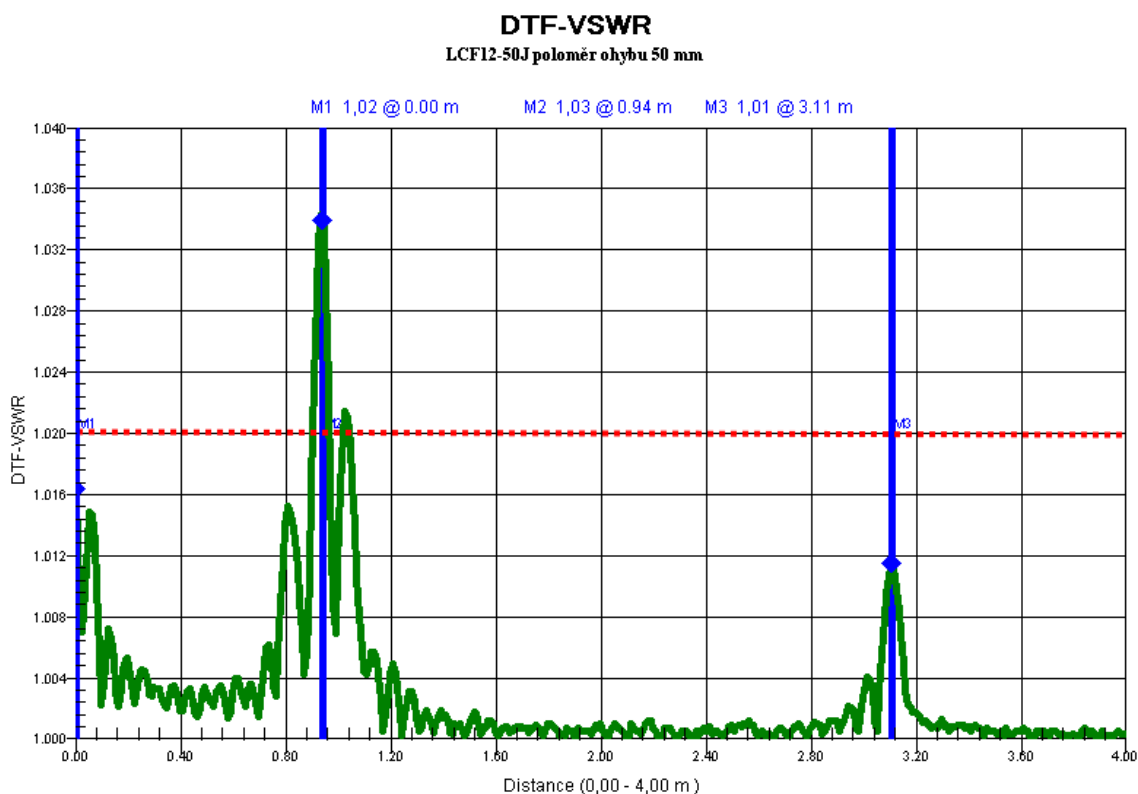
Poloměr ohybu [mm]	VSWR 1	VSWR 2	VSWR 3	VSWR 4	VSWR 5	Průměrná hodnota VSWR
150	1,0020	1,0019	1,0020	1,0018	1,0019	1,0019
100	1,0030	1,0033	1,0031	1,0033	1,0033	1,0032
90	1,0046	1,0046	1,0046	1,0046	1,0046	1,0046
80	1,0126	1,0127	1,0126	1,0127	1,0127	1,0126
70	1,0155	1,0155	1,0156	1,0155	1,0156	1,0155
60	1,0168	1,0168	1,0168	1,0166	1,0168	1,0168
50	1,0342	1,0342	1,0342	1,0342	1,0345	1,0343
40	1,0654	1,0652	1,0654	1,0651	1,0651	1,0652
30	1,3187	1,2948	1,3139	1,3139	1,3187	1,3141
20	1,6495	1,6465	1,6473	1,6465	1,6493	1,6478
10	3,5583	3,5559	3,5557	3,5566	3,5566	3,5566



Obrázek 4.7: Průběh parametru VSWR pro kabel LCF12-50J při poloměru ohybu 60 mm

V tabulce 4.3 jsou uvedeny naměřené hodnoty pro koaxiální kabel LCF12-50J. V prvním sloupci je uveden poloměr ohybu v milimetrech. Pro každý poloměr ohybu jsem opět provedl pět měření, abych vyloučil případnou chybu měření. Naměřené hodnoty VSWR jsou zapsány v dalších pěti sloupcích. V posledním sloupci tabulky je vypočtená průměrná hodnota VSWR pro jednotlivé poloměry ohybu. Řádek s mezní hodnotou parametru VSWR je modře podbarven. Tato mezní hodnota nastane při poloměru ohybu 60 mm.

Na obrázku 4.7 je zobrazen naměřený průběh parametru VSWR pro koaxiální kabel LCF12-50J při poloměru ohybu 60 mm. Z obrázku lze vyčíst, že tento měřený kabel má délku 3,11 m, první koncovka je na značce M1 a hodnota DTF-VSWR v tomto místě je přibližně 1,02. Ohyb je prováděn ve vzdálenosti 1,04 m od začátku kabelu, tomu odpovídá značka M2 a hodnota DTF-VSWR je přibližně 1,02, což stále splňuje podmínky mobilního operátora. Přesná hodnota je uvedena v tabulce 4.3. V průběhu je dále vidět druhá špička na značce M4 s hodnotou DTF-VSWR přibližně 1,02, která vznikla důsledkem toho, že při této hodnotě poloměru ohybu začalo docházet k deformaci struktury kabelu ve dvou místech. Tato deformace je zachycena na obrázku C.1 v příloze C. Druhá koncovka je na značce M3 a hodnota DTF-VSWR v tomto místě je přibližně 1,01.



Obrázek 4.8: Průběh parametru VSWR pro kabel LCF12-50J při poloměru ohybu 40 mm

Průběh překračující mezní hodnotu je vyobrazen na obrázku 4.8. Jedná se o stejný koaxiální kabel, pouze hodnota poloměru ohybu se zmenšila na 50 mm. Ohyb byl prováděn ve stejném místě, ale v tomto případě vznikla taková deformace struktury kabelu, že hodnota

parametru VSWR v místě ohybu, teda na značce M2, vzrostla přibližně na 1.03. Přesný údaj je opět uveden v tabulce 4.3.

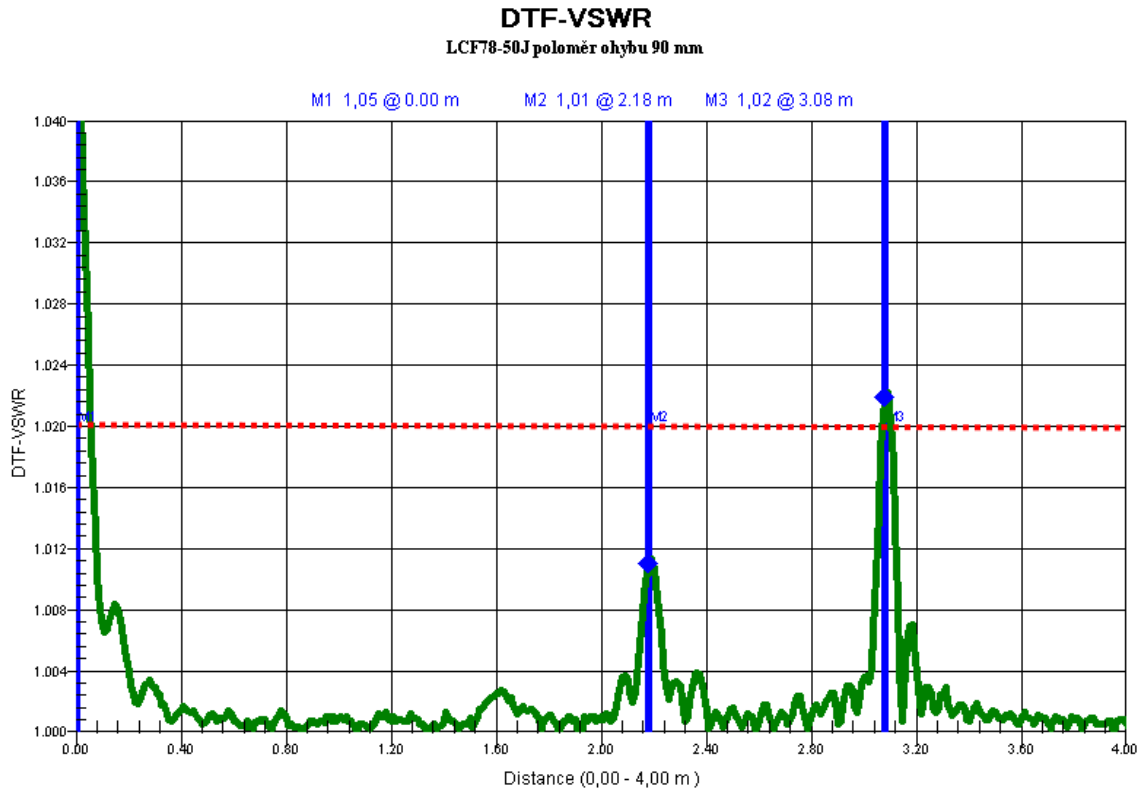
Kabel LCF78-50J

Tabulka 4.4: *Naměřené hodnoty pro koaxiální kabel LCF78-50J*

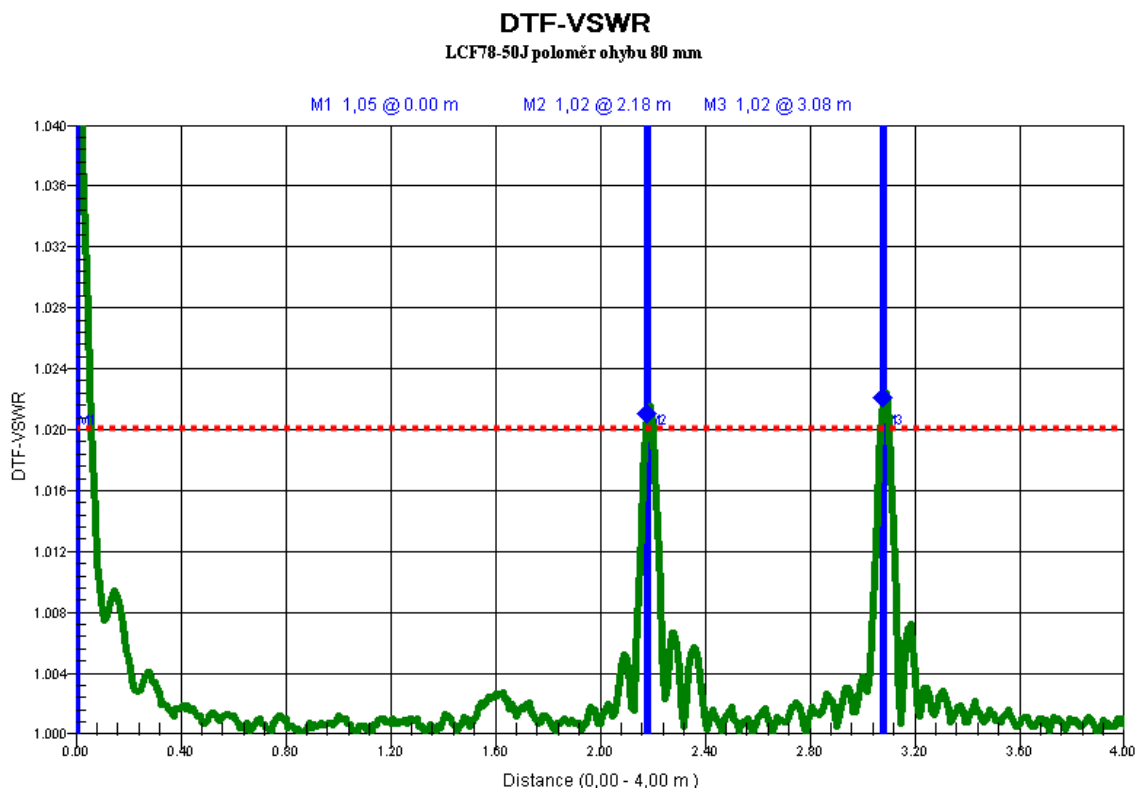
Poloměr ohybu [mm]	VSWR 1	VSWR 2	VSWR 3	VSWR 4	VSWR 5	Průměrná hodnota VSWR
<b>150</b>	1,0022	1,0018	1,0022	1,0019	1,0020	1,0020
<b>100</b>	1,0034	1,0034	1,0034	1,0034	1,0034	1,0034
<b>90</b>	1,0115	1,0113	1,0109	1,0112	1,0113	1,0112
<b>80</b>	1,0214	1,0214	1,0214	1,0214	1,0215	1,0214
<b>70</b>	1,0505	1,0505	1,0508	1,0505	1,0505	1,0506
<b>60</b>	1,0893	1,0889	1,0889	1,0889	1,0894	1,0890
<b>50</b>	1,1361	1,1369	1,1379	1,1322	1,1352	1,1357
<b>40</b>	1,3077	1,3096	1,3074	1,3073	1,2970	1,3058

V tabulce 4.4 jsou uvedeny naměřené hodnoty pro koaxiální kabel LCF78-50J, které byly vyexportovány z naměřených průběhů pomocí programu Line Sweep Tools. V prvním sloupci je uveden poloměr ohybu v milimetrech. Pro každý poloměr ohybu jsem opět provedl pět měření, abych vyloučil případnou chybu měření. Naměřené hodnoty VSWR jsou zapsány v dalších pěti sloupcích. V posledním sloupci tabulky je vypočtená průměrná hodnota VSWR pro jednotlivé poloměry ohybu. Řádek s mezní hodnotou parametru VSWR je modře podbarven. Tato mezní hodnota nastane při poloměru ohybu 90 mm.

Na obrázku 4.9 je zobrazen naměřený průběh parametru VSWR pro koaxiální kabel LCF78-50J při poloměru ohybu 90 mm. Z obrázku lze vyčíst, že tento měřený kabel má délku 3,08 m, první koncovka je na značce M1 a hodnota DTF-VSWR v tomto místě je 1,05, což již nesplňuje podmínky dané mobilním operátorem pro instalaci nové kabelové trasy. Tato hodnota je způsobena použitím starších koncovek pro účely měření. Pro účely mého měření je však nejdůležitější hodnota parametru VSWR naměřená na kabelu v místě ohybu. Ohyb je prováděn ve vzdálenosti 2,18 m od začátku kabelu, tomu odpovídá značka M2 a hodnota DTF-VSWR je přibližně 1,01. Tato hodnota stále splňuje mezní hodnotu mobilního operátora, která je znázorněna červenou tečkovanou čarou. Přesná hodnota je uvedena v tabulce 4.4. Druhá koncovka je na značce M3 a hodnota DTF-VSWR v tomto místě je přibližně 1,02.



Obrázek 4.9: Průběh parametru VSWR pro kabel LCF78-50J při poloměru ohybu 90 mm



Obrázek 4.10: Průběh parametru VSWR pro kabel LCF78-50J při poloměru ohybu 80 mm

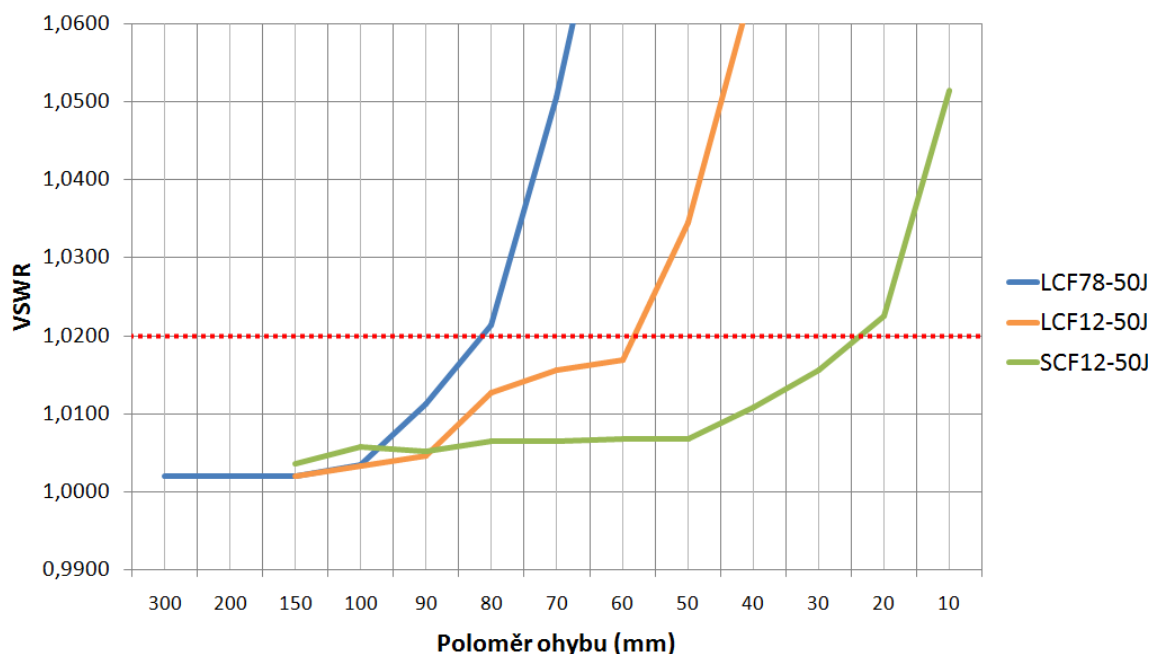
Již nevyhovující průběh parametru VSWR pro stejný kabel typu LCF78-50J, kdy hodnota na kabelu překročila limitní velikost 1,02, nastal při poloměru ohybu 80 mm a je zobrazen na obrázku 4.10. Ohyb byl prováděn ve stejném místě, ale v tomto případě již došlo k takové deformaci struktury kabelu, že jeho použití při tomto poloměru ohybu není možné.

V tabulce 4.5 jsou uvedeny výsledky měření pro všechny tři typy koaxiálních kabelů. V prvním sloupci je uveden poloměr ohybu v milimetrech, v dalších třech sloupcích jsou vypočtené průměrné hodnoty VSWR z naměřených hodnot pro dané typy koaxiálních kabelů. Mezní hodnoty, které ještě splňují akceptační pravidlo, jsou vyznačeny červeně. Pro kabel SCF12-50J odpovídá mezní hodnota poloměru ohybu 30 mm, zatímco výrobce neudává pro tento typ kabelu žádnou hodnotu minimálního poloměru ohybu. To může být způsobeno tím, že měřený kabel byl ohýbán opakovaně. Kabel LCF12-50J je ještě použitelný při poloměru ohybu 60 mm, výrobce v katalogovém listu udává hodnotu 70 mm a kabel LCF78-50J splňuje akceptační pravidlo až do poloměru ohybu 90 mm, přičemž hodnota uvedená v katalogovém listu je 120 mm. U obou kabelů je to způsobeno tím, že výrobce sleduje celou řadu parametrů, např. hustotu mědi, materiál dielektrika a elektrické vlastnosti a také to, zda ještě nedochází k deformaci struktury kabelu. Uvedená hodnota minimálního poloměru ohybu je navíc opatřena tolerancí danou výrobcem.

Tabulka 4.5: Srovnání všech měřených kabelů

Poloměr ohybu [mm]	Typ kabelu		
	SCF12-50J	LCF12-50J	LCF78-50J
	VSWR		
150	1,0035	1,0019	1,0020
100	1,0057	1,0032	1,0034
90	1,0052	1,0046	<b>1,0112</b>
80	1,0065	1,0127	1,0214
70	1,0065	1,0155	1,0506
60	1,0067	<b>1,0168</b>	1,0890
50	1,0067	1,0345	1,1357
40	1,0108	1,0651	1,3058
30	<b>1,0155</b>	1,3187	-
20	1,0225	1,6493	-
10	1,0514	3,5566	-

Grafické srovnání naměřených výsledků je zobrazeno na obrázku 4.11. Jedná se o graf závislosti poloměru ohybu na parametru VSWR pro měřené typy koaxiálních kabelů. Mezní hodnota poměru stojatých vln je naznačena červenou čarou. Z grafu lze opět vyčíst, při jaké hodnotě poloměru ohybu dojde k překročení mezní hodnoty VSWR. Z výsledků je patrné, že hodnota minimálního poloměru ohybu závisí na průměru a také na struktuře koaxiálního kabelu. Nejlepších hodnot dosáhl kabel typu SCF12-50J, který má nejmenší průměr a také speciálně upravenou strukturu. Ta umožňuje opakované ohýbání a také dosažení velmi malé hodnoty minimálního poloměru ohybu, proto se tento typ kabelu využívá výhradně jako koncový napáječ antén na základnové stanici.

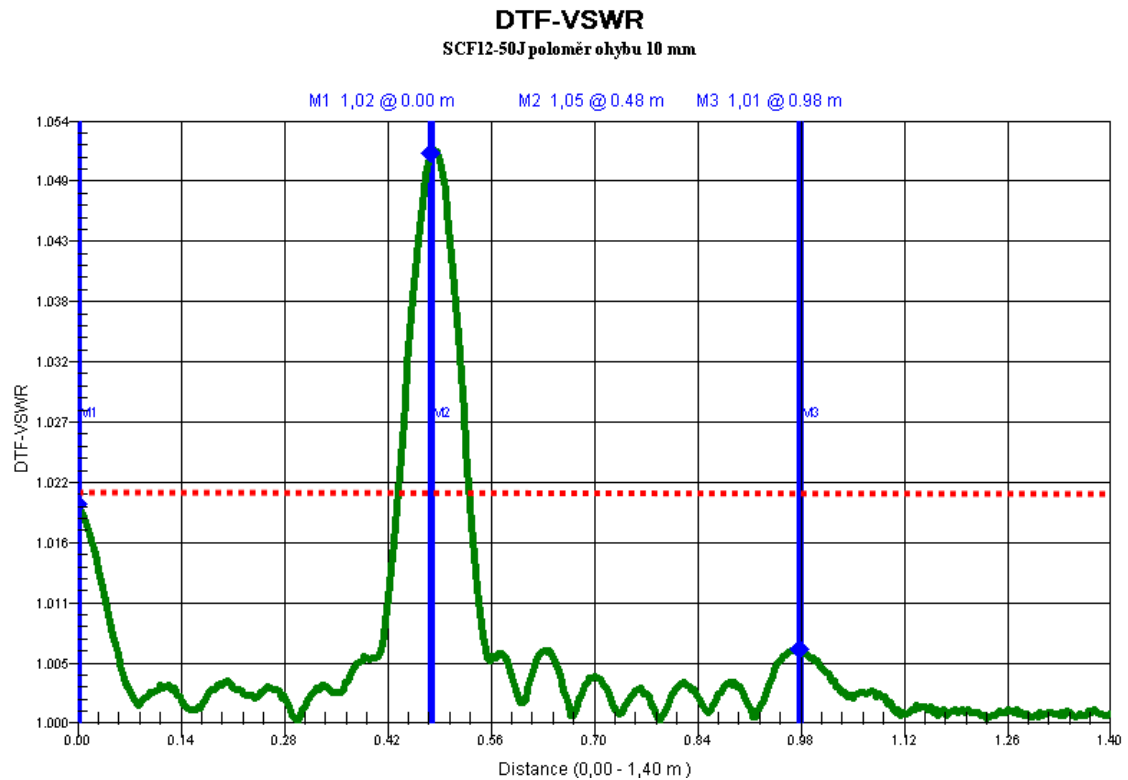


Obrázek 4.11: Graf závislosti poloměru ohybu na parametru VSWR

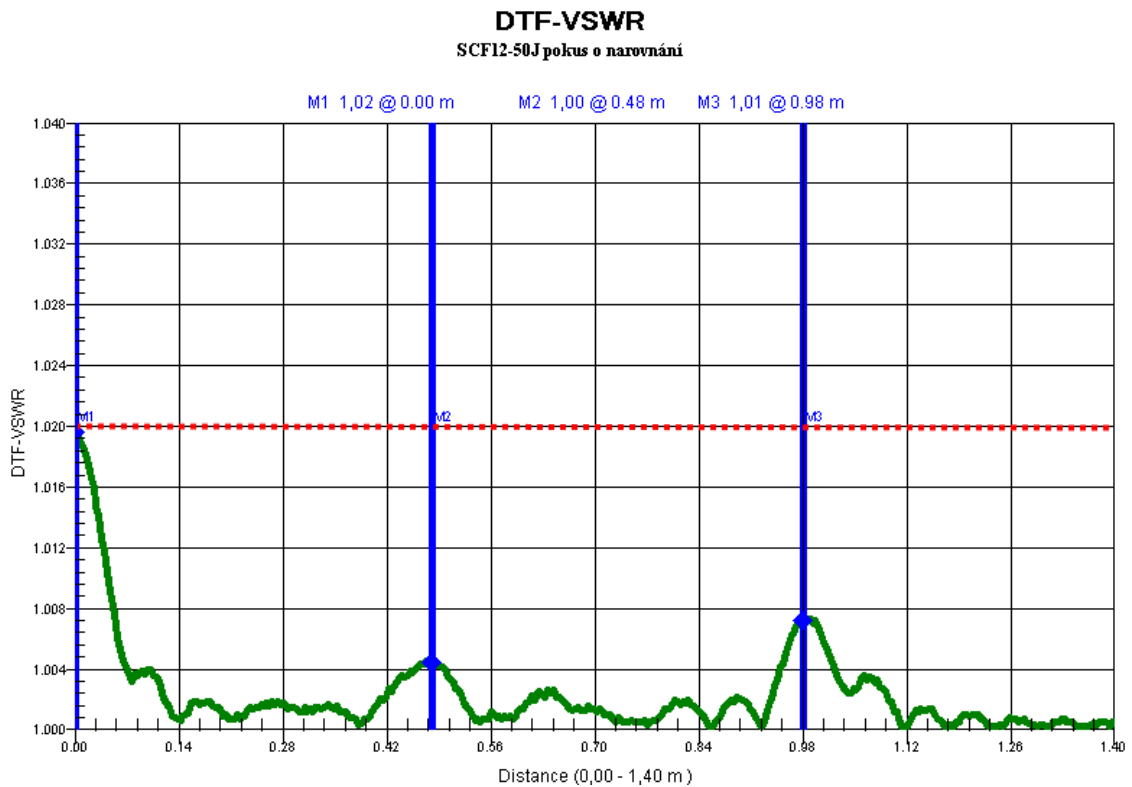
#### 4.2.2 Možnosti opravy

##### Kabel SCF12-50J

Průběh parametru VSWR pro kabel SCF12-50J při poloměru ohybu 10 mm je znázorněn na obrázku 4.12. Z tohoto průběhu je patrné, že hodnota VSWR v místě ohybu (na značce M2) je přibližně 1,05 a tudíž nesplňuje požadavky mobilního operátora. Na obrázku 4.13 je vyobrazen průběh stejného kabelu po provedení zpětného narovnání a lze z něj vyčíst, že průběh VSWR v místě ohybu klesl téměř na hodnotu 1,00, což vyhovuje zadaným podmínkám. Tento jev je zapříčiněn mechanickými vlastnostmi a strukturou kabelu, který má spirálovitě stočený vnější vodič a tudíž nedochází k jeho deformacím. Kabel je proto vhodný k opakovanému ohýbání.



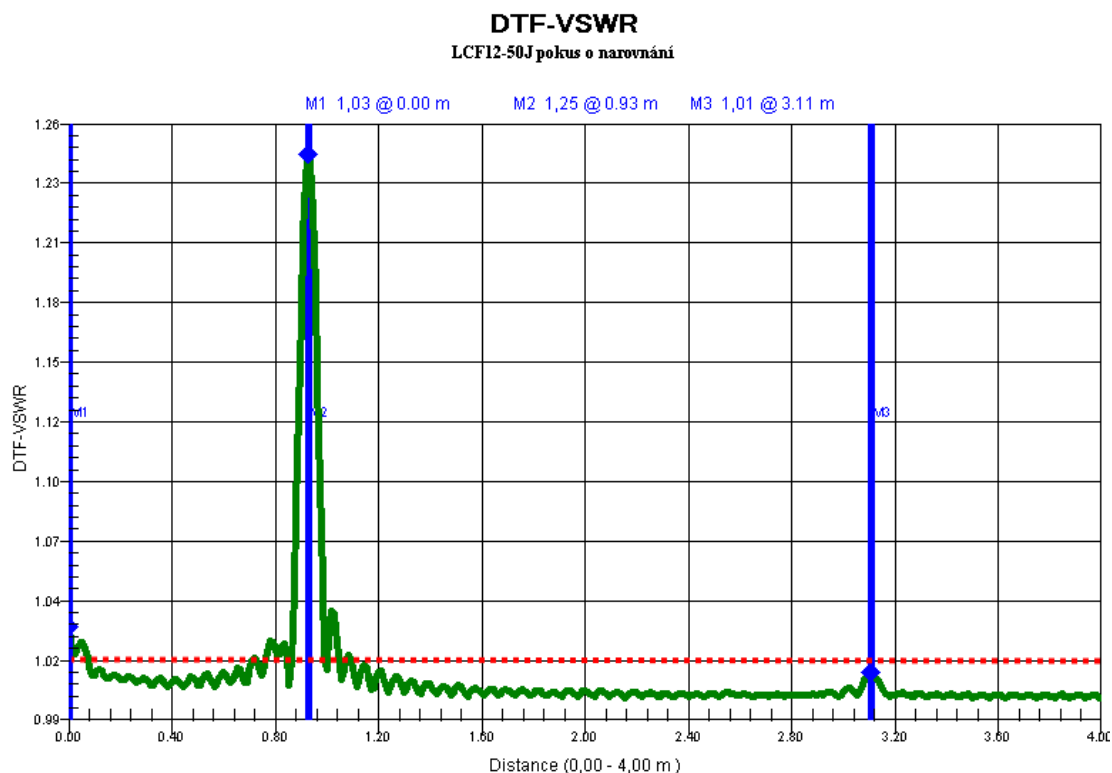
Obrázek 4.12: Průběh parametru VSWR pro kabel SCF12-50J při poloměru ohybu 10 mm



Obrázek 4.13: Průběh parametru VSWR pro kabel SCF12-50J při pokusu o narovnění

## Kabel LCF12-50J

Na obrázku 4.14 je zobrazen průběh parametru VSWR pro koaxiální kabel LCF12-50J při pokusu o narovnání. Z tohoto obrázku je patrné, že průběh nesplňuje požadavky mobilního operátora, jelikož hodnota parametru VSWR v místě ohybu je 1,25. Toto je zapříčiněno tím, že struktura kabelu před pokusem o narovnání byla zdeformována a kabel již nelze opravit. Průběh před narovnáváním je zobrazen v příloze B na obrázku B.2.9 a hodnota parametru VSWR v místě ohybu byla 3,56.

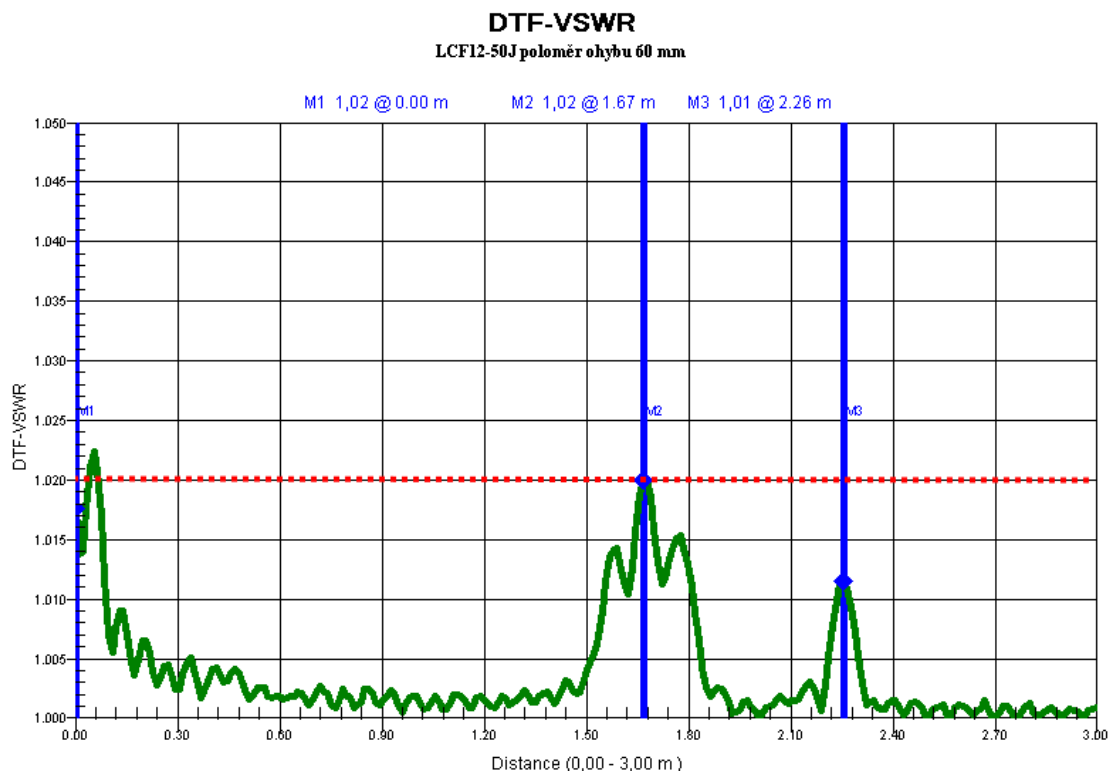


Obrázek 4.14: Průběh parametru VSWR pro kabel LCF12-50J při pokusu o narovnání

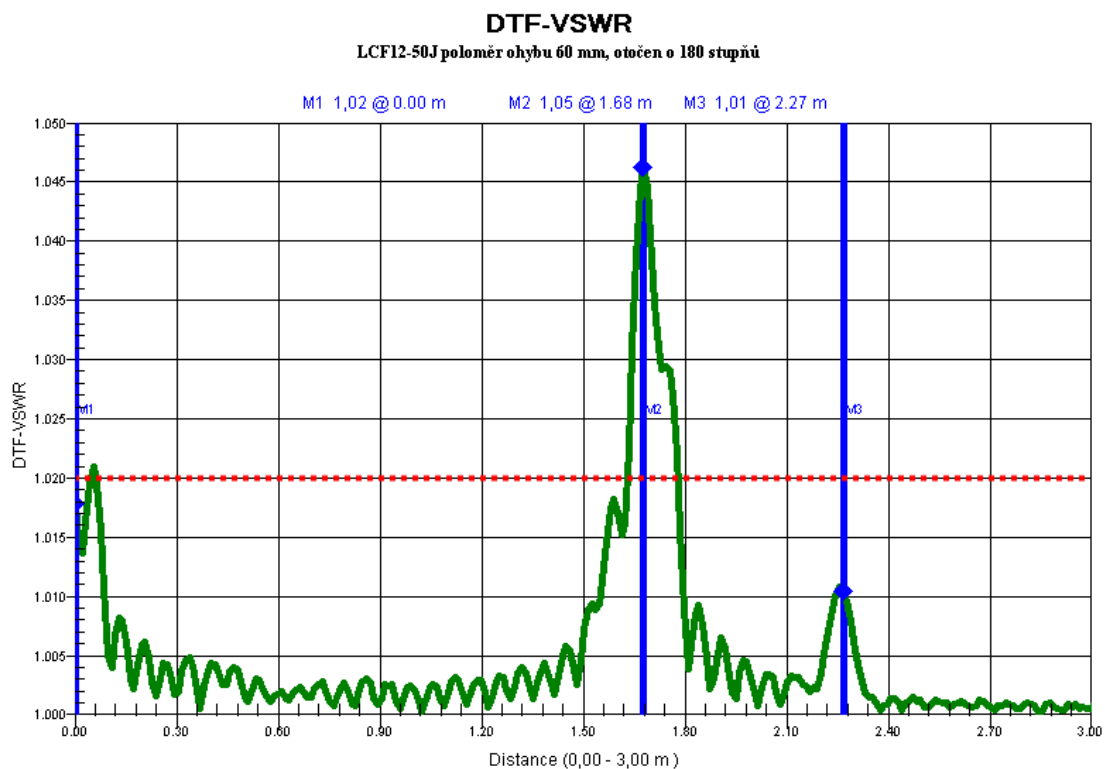
Průběh parametru VSWR při poloměru ohybu 60 mm je znázorněn na obrázku 4.15. Jedná se o stejný typ, ale jiný vzorek. Tento měřený napáječ má délku 2,26 m. Ve stejné vzdálenosti je umístěna koncovka a hodnota DTF VSWR dosahuje velikosti přibližně 1,01, čemuž odpovídá značka M3. Značka M1 představuje umístění první koncovky a hodnota DTF VSWR v tomto místě je přibližně 1,02. Ohyb byl prováděn ve vzdálenosti 1,67 m od začátku kabelu, tomuto odpovídá značka M2 v průběhu a parametr VSWR v tomto místě ukazuje přibližnou hodnotu 1,02, která ještě splňuje požadavky na mezní hodnotu VSWR na kabelu.

Průběh parametru VSWR při otočení kabelu o 180° kolem své osy a ohnutí na stejnou hodnotu poloměru ohybu je zobrazeno na obrázku 4.16. Hodnota parametru VSWR v místě ohybu vzrostla až na 1,05, což již nesplňuje požadavky mobilního operátora. Toto chování je zapříčiněno vznikem deformace struktury kabelu při narovnání, otočení a opětovném ohnutí.





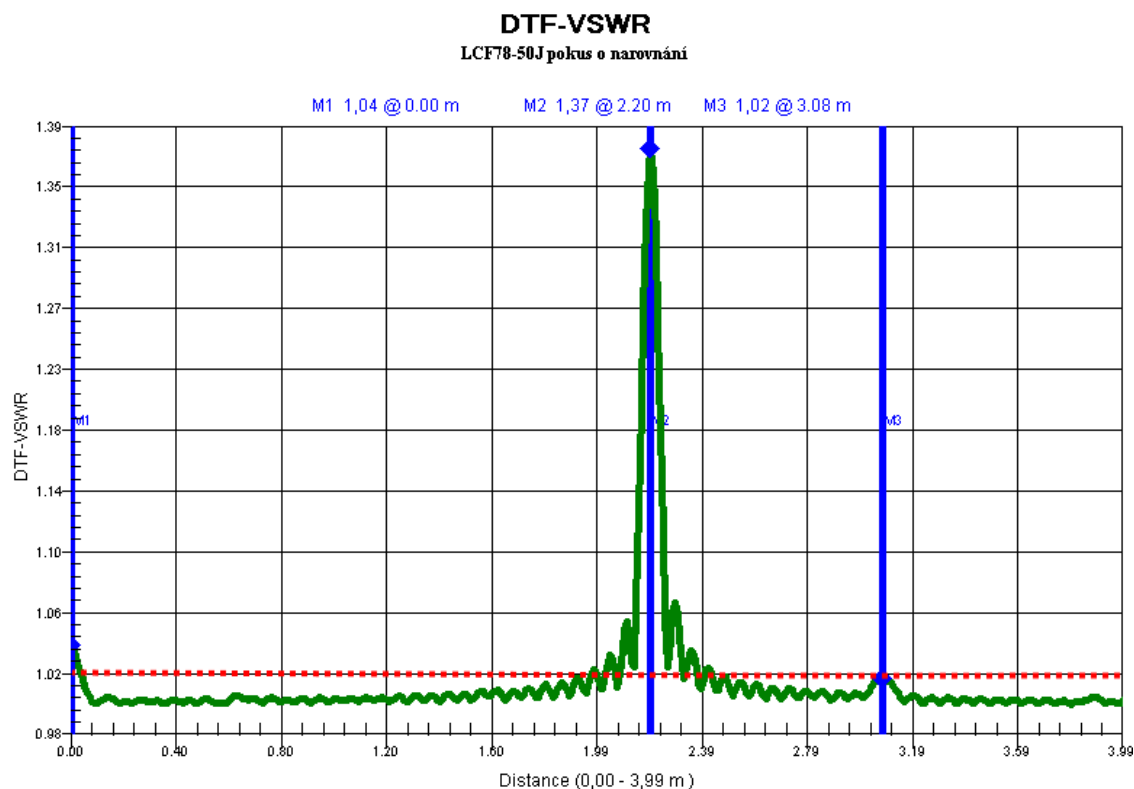
Obrázek 4.15: Průběh parametru VSWR pro kabel LCF12-50J při poloměru ohybu 60 mm



Obrázek 4.16: Průběh parametru VSWR pro kabel LCF12-50J při otočení o 180° a poloměru ohybu 60 mm

## Kabel LCF78-50J

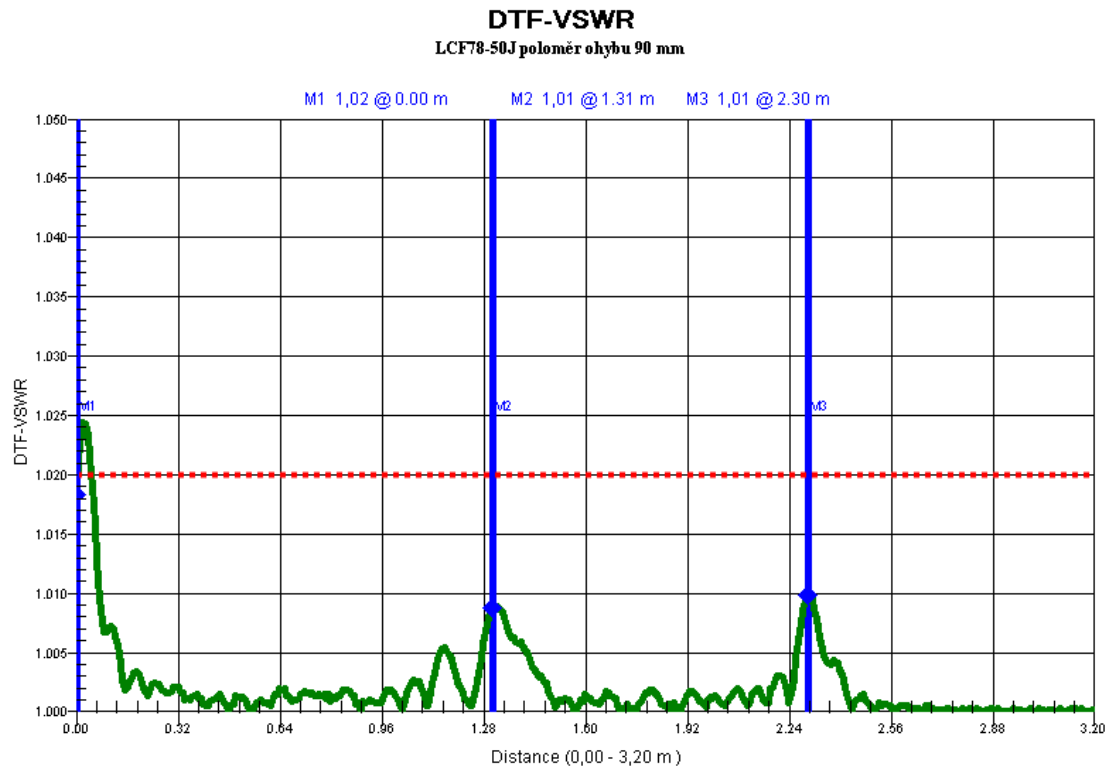
Průběh parametru VSWR pro koaxiální kabel LCF78-50J při pokusu o narovnání je znázorněn na obrázku 4.17. Z tohoto obrázku je patrné, že průběh nesplňuje požadavky mobilního operátora, jelikož hodnota parametru VSWR v místě ohybu je 1,37. Toto je zapříčiněno tím, že struktura kabelu před pokusem o narovnání byla zdeformována a kabel již nelze opravit. Průběh před narovnáváním je zobrazen v příloze B na obrázku B.3.7. Hodnota parametru VSWR v místě ohybu před pokusem o narovnání byla 2,71.



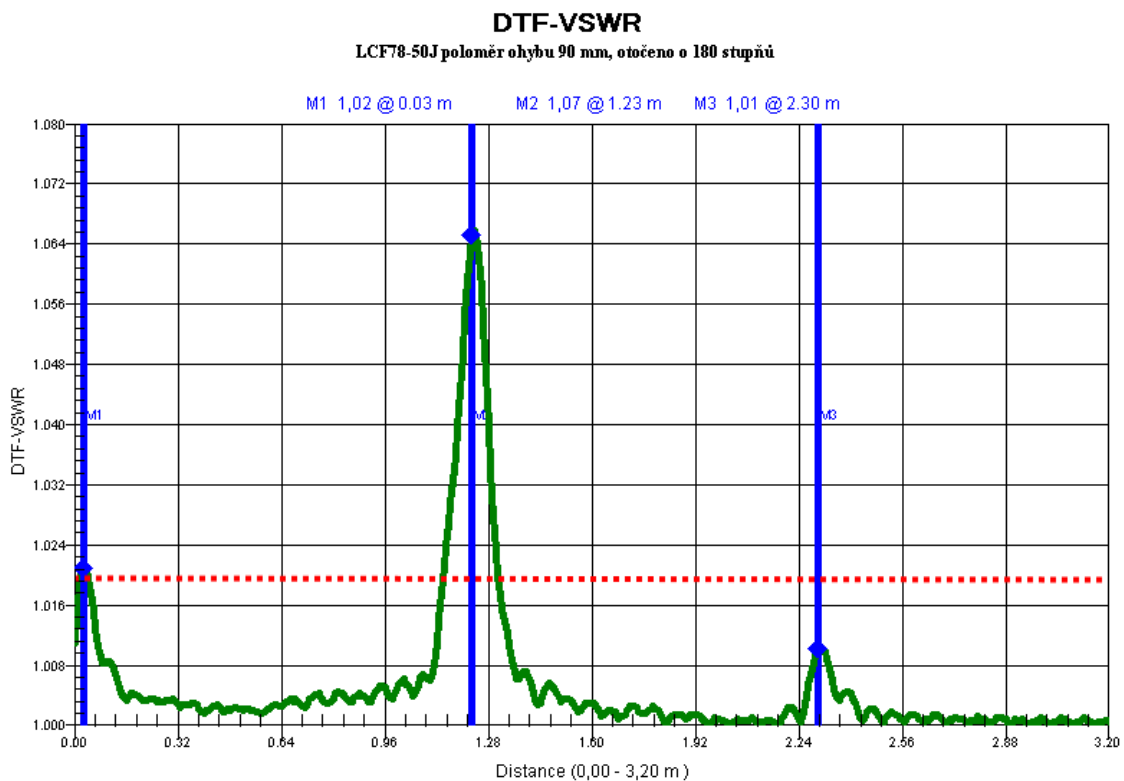
Obrázek 4.17: Průběh parametru VSWR pro kabel LCF78-50J při pokusu o narovnání

Průběh parametru VSWR pro koaxiální kabel LCF78-50J při poloměru ohybu 90 mm je znázorněn na obrázku 4.18. Jedná se o kabel, který byl pro účely měření poskytnutý společností KTP, s. r. o. Tento měřený napáječ má délku 2,30 m. Ve stejné vzdálenosti je umístěna koncovka a hodnota DTF VSWR dosahuje velikosti přibližně 1,01, čemuž odpovídá značka M3. Značka M1 představuje umístění první koncovky a hodnota DTF VSWR v tomto místě je přibližně 1,02. Ohyb byl prováděn ve vzdálenosti 1,31 m od začátku kabelu, tomuto odpovídá značka M2 v průběhu a parametr VSWR v tomto místě ukazuje přibližnou hodnotu 1,01.

Průběh parametru VSWR při otočení kabelu o 180° kolem své osy a ohnutí na stejnou hodnotu poloměru ohybu je zobrazeno na obrázku 4.19. Hodnota parametru VSWR v místě ohybu vzrostla až na 1,07, což již nesplňuje požadavky mobilního operátora. Toto chování je zapříčiněno vznikem deformace struktury kabelu při narovnání, otočení a opětovném ohnutí.



Obrázek 4.18: Průběh parametru VSWR pro kabel LCF78-50J při poloměru ohybu 90 mm



Obrázek 4.19: Průběh parametru VSWR pro kabel LCF78-50J při otočení o 180° a poloměru ohybu 90 mm

## Závěr

Ve své bakalářské práci jsem se věnoval vlivu ohybu a deformací koaxiálního kabelu na sílu přenášeného signálu. V teoretické části jsem popisoval mobilní sítě a typy kabelů, které se v těchto sítích používají. Praktická část se zabývá měřením vlivu ohybu a deformací vybraných typů koaxiálních kabelů na šíření signálu.

Z provedeného měření vyplývá, že všechny typy testovaných kabelů splnily akceptační pravidlo zadané mobilním operátorem při hodnotě minimálního poloměru ohybu pro opakované ohýbání, kterou udává výrobce v katalogovém listu. Kabely LCF78-50J a LCF12-50J tuto hodnotu dokonce vylepšily. Při měření byl však sledován pouze parametr VSWR, proto doporučuji držet se hodnoty minimálního poloměru ohybu udávané výrobcem daného kabelu, která je navíc opatřena tolerancí. Výrobce koaxiálních kabelů sleduje při jejich testování celou řadu parametrů, např. hustotu mědi, materiál dielektrika a různé elektrické vlastnosti. Tento fakt by mohl sloužit k dalšímu rozšíření práce, kdy by se při měření vlivu ohybu sledovalo více parametrů.

Z výsledků měření je dále patrné, že hodnota minimálního poloměru ohybu závisí na průměru a také na struktuře koaxiálního kabelu. Nejlepších hodnot dosáhl kabel typu SCF12-50J, který má nejmenší průměr a také speciálně upravenou strukturu. Ta umožňuje opakované ohýbání a také dosažení velmi malé hodnoty minimálního poloměru ohybu. Z tohoto důvodu se tento typ kabelu využívá výhradně jako koncový napáječ antén na základnové stanici.

Rozšíření měření o možnosti oprav potvrdilo mechanické vlastnosti daných typů koaxiálních kabelů. Kabel s označením SCF má speciálně upravenou strukturu a tudíž se dá i po překročení mezní hodnoty parametru VSWR narovnat a opět použít. Kdežto u kabelů s označením LCF dochází k nevratnému poškození struktury a pro další použití jsou nevhodující.

Tyto závěry získané z provedených měření hodlá zadavatel, tedy společnost Suntel Group, s. r. o., použít pro školení svých techniků, kteří s těmito kabely pracují.

## Použitá literatura

- [1] JANSEN, Horst. *Informační a komunikační technika*. Praha: Europa-Sobotáles, 2004. 400 s. ISBN 80-86706-08-7.
- [2] PRAVDA, Ivan. *Přenosová média, vlastnosti vedení, metalické páry, přeslechy*. Praha: České vysoké učení technické. 37 s.
- [3] FILKA, Miloslav. *Telekomunikační vedení*. 3. vyd. Brno: VUT, 1988, 225 s.
- [4] SVOBODA, Jaroslav. *Telekomunikační technika: průřezová učebnice pro odborná učiliště a střední školy*. 2. vyd. Praha: Sdělovací technika, 2000, 137 s. ISBN 80-901936-3-3.
- [5] ŠIŠKA, Petr. *Optoelektronika*. 1. vyd. Ostrava: VŠB-TUO, 2015, 83 s.
- [6] FILKA, Miloslav. *Optoelektronika pro telekomunikace a informatiku*. Vyd. 1. Brno: M. Filka, 2009, 369 s. ISBN 978-80-86785-14-1.
- [7] DOBOŠ, Lubomír. *Mobilné rádiové siete*. 1. vyd. Žilina: Žilinská univerzita, 2002, 312 s. ISBN 80-7100-936-9.
- [8] BLUNÁR, Karol a Zdeněk DIVIŠ. *Telekomunikační sítě*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2006, 630 s. ISBN 80-248-1077-8.
- [9] ŠEBESTA, Roman a Marek DVORSKÝ. *Rádiové sítě I pro integrovanou výuku VUT a VŠB-TUO [online]*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2014, 1 DVD-R. ISBN 978-80-248-3612-6.
- [10] HUAWEI TECHNOLOGIES CO. *RRU Installation guide*. 4. vydání. Čína 2009, 48 s. Dostupné z: <http://www.scribd.com/doc/141163886/RRU-Installation-Guide>

## Seznam příloh

Příloha A:	Katalogové listy koaxiálních kabelů .....	I
A.1	Koaxiální kabel SCF12-50J .....	I
A.2	Koaxiální kabel LCF12-50J .....	II
A.3	Koaxiální kabel LCF78-50J .....	III
Příloha B:	Naměřené průběhy .....	IV
B.1	Koaxiální kabel SCF12-50J .....	IV
B.2	Koaxiální kabel LCF12-50J .....	VII
B.3	Koaxiální kabel LCF78-50J .....	XII
Příloha C:	Vybrané fotografie .....	XVI

Součástí BP je CD.

Adresářová struktura přiloženého CD:

/Katalogove_listy	katalogové listy měřených koaxiálních kabelů
/Manualy	manuál a návod k použitému měřicímu přístroji
/Namerene_prubehey	průběhy změřených parametrů
/Prace	vlastní bakalářská práce ve formátu .pdf

<b>Product Data Sheet</b>	<b>SCF12-50J</b>																																																																																																																																																																																																													
<b>1/2" CELLFLEX® Superflexible Foam-Dielectric Coaxial Cable</b>																																																																																																																																																																																																														
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 60%;"> <p><b>Product Description</b></p> <p>CELLFLEX® 1/2" superflexible cable</p> <p>Application: OEM jumpers, Main feed transitions to equipment, GPS lines</p> </div> <div style="width: 35%; text-align: center;"> <p>1/2" CELLFLEX® Superflexible Foam Dielectric Coaxial Cable</p> </div> </div>																																																																																																																																																																																																														
<p><b>Features/Benefits</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Low Attenuation</b> The low attenuation of CELLFLEX® coaxial cable results in highly efficient signal transfer in your RF system.</li> <li>• <b>Complete Shielding</b> The solid outer conductor of CELLFLEX® coaxial cable creates a continuous RF/EMI shield that minimizes system interference.</li> <li>• <b>Low VSWR</b> Special low VSWR versions of CELLFLEX® coaxial cables contribute to low system noise.</li> <li>• <b>Outstanding Intermodulation Performance</b> CELLFLEX® coaxial cable's solid inner and outer conductors virtually eliminate intermods. Intermodulation performance is also confirmed with state-of-the-art equipment at the RFS factory.</li> <li>• <b>High Power Rating</b> Due to their low attenuation, outstanding heat transfer properties and temperature stabilized dielectric materials, CELLFLEX® cable provides safe long term operating life at high transmit power levels.</li> <li>• <b>Wide Range of Application</b> Typical areas of application are: feedlines for broadcast and terrestrial microwave antennas, wireless cellular, PCS and ESMR base stations, cabling of antenna arrays, and radio equipment interconnects.</li> </ul>																																																																																																																																																																																																														
<p><b>Technical Features</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">Structure</th> <th></th> <th></th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Inner conductor:</td> <td>Copper-Clad Aluminum Wire</td> <td>[mm (in)]</td> <td>3.56 (0.14)</td> </tr> <tr> <td>Dielectric:</td> <td>Foam Polyethylene</td> <td>[mm (in)]</td> <td>9.3 (0.366)</td> </tr> <tr> <td>Outer conductor:</td> <td>Corrugated Copper</td> <td>[mm (in)]</td> <td>12.3 (0.48)</td> </tr> <tr> <td>Jacket:</td> <td>Polyethylene, PE</td> <td>[mm (in)]</td> <td>13.75 (0.54)</td> </tr> <tr> <th colspan="4">Mechanical Properties</th> </tr> <tr> <td>Weight, approximately</td> <td></td> <td>[kg/m (lb/ft)]</td> <td>0.17 (0.11)</td> </tr> <tr> <td>Minimum bending radius, single bending</td> <td></td> <td>[mm (in)]</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Minimum bending radius, repeated bending</td> <td></td> <td>[mm (in)]</td> <td>32 (1.3)</td> </tr> <tr> <td>Bending moment</td> <td></td> <td>[Nm (lb-ft)]</td> <td>1.8 (1.33)</td> </tr> <tr> <td>Max. tensile force</td> <td></td> <td>[N (lb)]</td> <td>650 (146)</td> </tr> <tr> <td>Recommended / maximum clamp spacing</td> <td></td> <td>[m (ft)]</td> <td>0.3 / 0.3 (1 / 1)</td> </tr> <tr> <th colspan="4">Electrical Properties</th> </tr> <tr> <td>Characteristic impedance</td> <td></td> <td>[Ω]</td> <td>50 +/- 1</td> </tr> <tr> <td>Relative propagation velocity</td> <td></td> <td>[%]</td> <td>77</td> </tr> <tr> <td>Capacitance</td> <td></td> <td>[pF/m (pF/ft)]</td> <td>86 (26)</td> </tr> <tr> <td>Inductance</td> <td></td> <td>[µH/m (µH/ft)]</td> <td>0.215 (0.066)</td> </tr> <tr> <td>Max. operating frequency</td> <td></td> <td>[GHz]</td> <td>10.6</td> </tr> <tr> <td>Jacket spark test RMS</td> <td></td> <td>[V]</td> <td>5000</td> </tr> <tr> <td>Peak power rating</td> <td></td> <td>[kW]</td> <td>24</td> </tr> <tr> <td>RF Peak voltage rating</td> <td></td> <td>[V]</td> <td>1550</td> </tr> <tr> <td>DC-resistance inner conductor</td> <td></td> <td>[Ω/km (Ω/1000ft)]</td> <td>2.9 (0.88)</td> </tr> <tr> <td>DC-resistance outer conductor</td> <td></td> <td>[Ω/km (Ω/1000ft)]</td> <td>4.5 (1.37)</td> </tr> <tr> <th colspan="4">Recommended Temperature Range</th> </tr> <tr> <td>Storage temperature</td> <td></td> <td>[°C (°F)]</td> <td>-70 to 85 (-94 to 185)</td> </tr> <tr> <td>Installation temperature</td> <td></td> <td>[°C (°F)]</td> <td>-40 to 60 (-40 to 140)</td> </tr> <tr> <td>Operation temperature</td> <td></td> <td>[°C (°F)]</td> <td>-50 to 85 (-58 to 185)</td> </tr> <tr> <th colspan="4">Other Characteristics</th> </tr> <tr> <td>Fire Performance:</td> <td colspan="3">Halogene Free</td> </tr> <tr> <td>VSWR Performance:</td> <td>Standard</td> <td>[dB (VSWR)]</td> <td>Contact RFS for your VSWR performance specification for your required frequency band.</td> </tr> <tr> <td>Other Options:</td> <td colspan="3">Phase stabilized and phase matched cables and assemblies are available upon request.</td> </tr> </tbody> </table>			Structure				Inner conductor:	Copper-Clad Aluminum Wire	[mm (in)]	3.56 (0.14)	Dielectric:	Foam Polyethylene	[mm (in)]	9.3 (0.366)	Outer conductor:	Corrugated Copper	[mm (in)]	12.3 (0.48)	Jacket:	Polyethylene, PE	[mm (in)]	13.75 (0.54)	Mechanical Properties				Weight, approximately		[kg/m (lb/ft)]	0.17 (0.11)	Minimum bending radius, single bending		[mm (in)]		Minimum bending radius, repeated bending		[mm (in)]	32 (1.3)	Bending moment		[Nm (lb-ft)]	1.8 (1.33)	Max. tensile force		[N (lb)]	650 (146)	Recommended / maximum clamp spacing		[m (ft)]	0.3 / 0.3 (1 / 1)	Electrical Properties				Characteristic impedance		[Ω]	50 +/- 1	Relative propagation velocity		[%]	77	Capacitance		[pF/m (pF/ft)]	86 (26)	Inductance		[µH/m (µH/ft)]	0.215 (0.066)	Max. operating frequency		[GHz]	10.6	Jacket spark test RMS		[V]	5000	Peak power rating		[kW]	24	RF Peak voltage rating		[V]	1550	DC-resistance inner conductor		[Ω/km (Ω/1000ft)]	2.9 (0.88)	DC-resistance outer conductor		[Ω/km (Ω/1000ft)]	4.5 (1.37)	Recommended Temperature Range				Storage temperature		[°C (°F)]	-70 to 85 (-94 to 185)	Installation temperature		[°C (°F)]	-40 to 60 (-40 to 140)	Operation temperature		[°C (°F)]	-50 to 85 (-58 to 185)	Other Characteristics				Fire Performance:	Halogene Free			VSWR Performance:	Standard	[dB (VSWR)]	Contact RFS for your VSWR performance specification for your required frequency band.	Other Options:	Phase stabilized and phase matched cables and assemblies are available upon request.																																																																																		
Structure																																																																																																																																																																																																														
Inner conductor:	Copper-Clad Aluminum Wire	[mm (in)]	3.56 (0.14)																																																																																																																																																																																																											
Dielectric:	Foam Polyethylene	[mm (in)]	9.3 (0.366)																																																																																																																																																																																																											
Outer conductor:	Corrugated Copper	[mm (in)]	12.3 (0.48)																																																																																																																																																																																																											
Jacket:	Polyethylene, PE	[mm (in)]	13.75 (0.54)																																																																																																																																																																																																											
Mechanical Properties																																																																																																																																																																																																														
Weight, approximately		[kg/m (lb/ft)]	0.17 (0.11)																																																																																																																																																																																																											
Minimum bending radius, single bending		[mm (in)]																																																																																																																																																																																																												
Minimum bending radius, repeated bending		[mm (in)]	32 (1.3)																																																																																																																																																																																																											
Bending moment		[Nm (lb-ft)]	1.8 (1.33)																																																																																																																																																																																																											
Max. tensile force		[N (lb)]	650 (146)																																																																																																																																																																																																											
Recommended / maximum clamp spacing		[m (ft)]	0.3 / 0.3 (1 / 1)																																																																																																																																																																																																											
Electrical Properties																																																																																																																																																																																																														
Characteristic impedance		[Ω]	50 +/- 1																																																																																																																																																																																																											
Relative propagation velocity		[%]	77																																																																																																																																																																																																											
Capacitance		[pF/m (pF/ft)]	86 (26)																																																																																																																																																																																																											
Inductance		[µH/m (µH/ft)]	0.215 (0.066)																																																																																																																																																																																																											
Max. operating frequency		[GHz]	10.6																																																																																																																																																																																																											
Jacket spark test RMS		[V]	5000																																																																																																																																																																																																											
Peak power rating		[kW]	24																																																																																																																																																																																																											
RF Peak voltage rating		[V]	1550																																																																																																																																																																																																											
DC-resistance inner conductor		[Ω/km (Ω/1000ft)]	2.9 (0.88)																																																																																																																																																																																																											
DC-resistance outer conductor		[Ω/km (Ω/1000ft)]	4.5 (1.37)																																																																																																																																																																																																											
Recommended Temperature Range																																																																																																																																																																																																														
Storage temperature		[°C (°F)]	-70 to 85 (-94 to 185)																																																																																																																																																																																																											
Installation temperature		[°C (°F)]	-40 to 60 (-40 to 140)																																																																																																																																																																																																											
Operation temperature		[°C (°F)]	-50 to 85 (-58 to 185)																																																																																																																																																																																																											
Other Characteristics																																																																																																																																																																																																														
Fire Performance:	Halogene Free																																																																																																																																																																																																													
VSWR Performance:	Standard	[dB (VSWR)]	Contact RFS for your VSWR performance specification for your required frequency band.																																																																																																																																																																																																											
Other Options:	Phase stabilized and phase matched cables and assemblies are available upon request.																																																																																																																																																																																																													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Frequency [ MHz ]</th> <th colspan="2">Attenuation [ dB/100m [ dB/100ft ]</th> <th>Power [ kW ]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.5</td><td>0.221</td><td>0.0673</td><td>24.0</td></tr> <tr><td>1.0</td><td>0.312</td><td>0.0952</td><td>22.6</td></tr> <tr><td>1.5</td><td>0.383</td><td>0.117</td><td>18.4</td></tr> <tr><td>2.0</td><td>0.442</td><td>0.135</td><td>16.0</td></tr> <tr><td>10</td><td>0.995</td><td>0.303</td><td>7.10</td></tr> <tr><td>20</td><td>1.41</td><td>0.430</td><td>5.01</td></tr> <tr><td>30</td><td>1.73</td><td>0.529</td><td>4.08</td></tr> <tr><td>50</td><td>2.25</td><td>0.686</td><td>3.14</td></tr> <tr><td>88</td><td>3.01</td><td>0.916</td><td>2.35</td></tr> <tr><td>100</td><td>3.21</td><td>0.978</td><td>2.20</td></tr> <tr><td>108</td><td>3.34</td><td>1.02</td><td>2.11</td></tr> <tr><td>150</td><td>3.96</td><td>1.21</td><td>1.78</td></tr> <tr><td>174</td><td>4.27</td><td>1.30</td><td>1.65</td></tr> <tr><td>200</td><td>4.60</td><td>1.40</td><td>1.53</td></tr> <tr><td>300</td><td>5.68</td><td>1.73</td><td>1.24</td></tr> <tr><td>400</td><td>6.61</td><td>2.01</td><td>1.07</td></tr> <tr><td>450</td><td>7.04</td><td>2.14</td><td>1.00</td></tr> <tr><td>500</td><td>7.44</td><td>2.27</td><td>0.949</td></tr> <tr><td>512</td><td>7.53</td><td>2.30</td><td>0.938</td></tr> <tr><td>600</td><td>8.20</td><td>2.50</td><td>0.861</td></tr> <tr><td>700</td><td>8.91</td><td>2.71</td><td>0.792</td></tr> <tr><td>750</td><td>9.24</td><td>2.82</td><td>0.764</td></tr> <tr><td>800</td><td>9.57</td><td>2.92</td><td>0.738</td></tr> <tr><td>824</td><td>9.72</td><td>2.96</td><td>0.726</td></tr> <tr><td>894</td><td>10.2</td><td>3.10</td><td>0.692</td></tr> <tr><td>900</td><td>10.2</td><td>3.11</td><td>0.692</td></tr> <tr><td>925</td><td>10.4</td><td>3.16</td><td>0.679</td></tr> <tr><td>960</td><td>10.6</td><td>3.22</td><td>0.666</td></tr> <tr><td>1000</td><td>10.8</td><td>3.29</td><td>0.654</td></tr> <tr><td>1250</td><td>12.2</td><td>3.72</td><td>0.579</td></tr> <tr><td>1400</td><td>13.0</td><td>3.96</td><td>0.543</td></tr> <tr><td>1500</td><td>13.5</td><td>4.11</td><td>0.523</td></tr> <tr><td>1700</td><td>14.5</td><td>4.41</td><td>0.487</td></tr> <tr><td>1800</td><td>14.9</td><td>4.55</td><td>0.474</td></tr> <tr><td>2000</td><td>15.8</td><td>4.82</td><td>0.447</td></tr> <tr><td>2100</td><td>16.3</td><td>4.96</td><td>0.433</td></tr> <tr><td>2200</td><td>16.7</td><td>5.09</td><td>0.423</td></tr> <tr><td>2400</td><td>17.5</td><td>5.35</td><td>0.403</td></tr> <tr><td>2500</td><td>17.9</td><td>5.47</td><td>0.394</td></tr> <tr><td>2600</td><td>18.4</td><td>5.59</td><td>0.384</td></tr> <tr><td>2700</td><td>18.8</td><td>5.72</td><td>0.376</td></tr> <tr><td>3000</td><td>19.9</td><td>6.07</td><td>0.355</td></tr> <tr><td>3500</td><td>21.8</td><td>6.63</td><td>0.324</td></tr> <tr><td>4000</td><td>23.5</td><td>7.16</td><td>0.300</td></tr> <tr><td>5000</td><td>26.8</td><td>8.16</td><td>0.263</td></tr> <tr><td>6000</td><td>29.8</td><td>9.09</td><td>0.237</td></tr> <tr><td>7000</td><td>32.7</td><td>9.97</td><td>0.216</td></tr> <tr><td>8000</td><td>35.5</td><td>10.8</td><td>0.199</td></tr> <tr><td>9000</td><td>38.1</td><td>11.6</td><td>0.185</td></tr> <tr><td>10000</td><td>40.6</td><td>12.4</td><td>0.174</td></tr> </tbody> </table> <p style="font-size: small; margin-top: 5px;">Attenuation at 20°C (68°F) cable temperature Mean power rating at 40°C (104°F) ambient temperature</p>			Frequency [ MHz ]	Attenuation [ dB/100m [ dB/100ft ]		Power [ kW ]	0.5	0.221	0.0673	24.0	1.0	0.312	0.0952	22.6	1.5	0.383	0.117	18.4	2.0	0.442	0.135	16.0	10	0.995	0.303	7.10	20	1.41	0.430	5.01	30	1.73	0.529	4.08	50	2.25	0.686	3.14	88	3.01	0.916	2.35	100	3.21	0.978	2.20	108	3.34	1.02	2.11	150	3.96	1.21	1.78	174	4.27	1.30	1.65	200	4.60	1.40	1.53	300	5.68	1.73	1.24	400	6.61	2.01	1.07	450	7.04	2.14	1.00	500	7.44	2.27	0.949	512	7.53	2.30	0.938	600	8.20	2.50	0.861	700	8.91	2.71	0.792	750	9.24	2.82	0.764	800	9.57	2.92	0.738	824	9.72	2.96	0.726	894	10.2	3.10	0.692	900	10.2	3.11	0.692	925	10.4	3.16	0.679	960	10.6	3.22	0.666	1000	10.8	3.29	0.654	1250	12.2	3.72	0.579	1400	13.0	3.96	0.543	1500	13.5	4.11	0.523	1700	14.5	4.41	0.487	1800	14.9	4.55	0.474	2000	15.8	4.82	0.447	2100	16.3	4.96	0.433	2200	16.7	5.09	0.423	2400	17.5	5.35	0.403	2500	17.9	5.47	0.394	2600	18.4	5.59	0.384	2700	18.8	5.72	0.376	3000	19.9	6.07	0.355	3500	21.8	6.63	0.324	4000	23.5	7.16	0.300	5000	26.8	8.16	0.263	6000	29.8	9.09	0.237	7000	32.7	9.97	0.216	8000	35.5	10.8	0.199	9000	38.1	11.6	0.185	10000	40.6	12.4	0.174
Frequency [ MHz ]	Attenuation [ dB/100m [ dB/100ft ]		Power [ kW ]																																																																																																																																																																																																											
0.5	0.221	0.0673	24.0																																																																																																																																																																																																											
1.0	0.312	0.0952	22.6																																																																																																																																																																																																											
1.5	0.383	0.117	18.4																																																																																																																																																																																																											
2.0	0.442	0.135	16.0																																																																																																																																																																																																											
10	0.995	0.303	7.10																																																																																																																																																																																																											
20	1.41	0.430	5.01																																																																																																																																																																																																											
30	1.73	0.529	4.08																																																																																																																																																																																																											
50	2.25	0.686	3.14																																																																																																																																																																																																											
88	3.01	0.916	2.35																																																																																																																																																																																																											
100	3.21	0.978	2.20																																																																																																																																																																																																											
108	3.34	1.02	2.11																																																																																																																																																																																																											
150	3.96	1.21	1.78																																																																																																																																																																																																											
174	4.27	1.30	1.65																																																																																																																																																																																																											
200	4.60	1.40	1.53																																																																																																																																																																																																											
300	5.68	1.73	1.24																																																																																																																																																																																																											
400	6.61	2.01	1.07																																																																																																																																																																																																											
450	7.04	2.14	1.00																																																																																																																																																																																																											
500	7.44	2.27	0.949																																																																																																																																																																																																											
512	7.53	2.30	0.938																																																																																																																																																																																																											
600	8.20	2.50	0.861																																																																																																																																																																																																											
700	8.91	2.71	0.792																																																																																																																																																																																																											
750	9.24	2.82	0.764																																																																																																																																																																																																											
800	9.57	2.92	0.738																																																																																																																																																																																																											
824	9.72	2.96	0.726																																																																																																																																																																																																											
894	10.2	3.10	0.692																																																																																																																																																																																																											
900	10.2	3.11	0.692																																																																																																																																																																																																											
925	10.4	3.16	0.679																																																																																																																																																																																																											
960	10.6	3.22	0.666																																																																																																																																																																																																											
1000	10.8	3.29	0.654																																																																																																																																																																																																											
1250	12.2	3.72	0.579																																																																																																																																																																																																											
1400	13.0	3.96	0.543																																																																																																																																																																																																											
1500	13.5	4.11	0.523																																																																																																																																																																																																											
1700	14.5	4.41	0.487																																																																																																																																																																																																											
1800	14.9	4.55	0.474																																																																																																																																																																																																											
2000	15.8	4.82	0.447																																																																																																																																																																																																											
2100	16.3	4.96	0.433																																																																																																																																																																																																											
2200	16.7	5.09	0.423																																																																																																																																																																																																											
2400	17.5	5.35	0.403																																																																																																																																																																																																											
2500	17.9	5.47	0.394																																																																																																																																																																																																											
2600	18.4	5.59	0.384																																																																																																																																																																																																											
2700	18.8	5.72	0.376																																																																																																																																																																																																											
3000	19.9	6.07	0.355																																																																																																																																																																																																											
3500	21.8	6.63	0.324																																																																																																																																																																																																											
4000	23.5	7.16	0.300																																																																																																																																																																																																											
5000	26.8	8.16	0.263																																																																																																																																																																																																											
6000	29.8	9.09	0.237																																																																																																																																																																																																											
7000	32.7	9.97	0.216																																																																																																																																																																																																											
8000	35.5	10.8	0.199																																																																																																																																																																																																											
9000	38.1	11.6	0.185																																																																																																																																																																																																											
10000	40.6	12.4	0.174																																																																																																																																																																																																											
<b>RFS The Clear Choice ®</b>	<b>SCF12-50J</b>	Rev: D / 22.Nov.2013																																																																																																																																																																																																												
Please visit us on the Internet at <a href="http://www.rfsworld.com">http://www.rfsworld.com</a>		Print Date: 17.03.2015 Radio Frequency Systems																																																																																																																																																																																																												

RFI INFORMATION: L'azienda RFS è specializzata in soluzioni di comunicazione ad alta velocità, in un'ampia gamma di frequenze, in tutto il mondo.

A.2 Koaxiální kabel LCF12-50J

Product Data Sheet

LCF12-50J



1/2" CELLFLEX® Low-Loss Foam-Dielectric Coaxial Cable

Product Description

CELLFLEX® 1/2" low loss flexible cable

Application: OEM jumpers, Main feed transitions to equipment, GPS lines



1/2" CELLFLEX® Low-Loss Foam Dielectric Coaxial Cable

Features/Benefits

- Low Attenuation**  
The low attenuation of CELLFLEX® coaxial cable results in highly efficient signal transfer in your RF system.
- Complete Shielding**  
The solid outer conductor of CELLFLEX® coaxial cable creates a continuous RF/EMI shield that minimizes system interference.
- Low VSWR**  
Special low VSWR versions of CELLFLEX® coaxial cables contribute to low system noise.
- Outstanding Intermodulation Performance**  
CELLFLEX® coaxial cable's solid inner and outer conductors virtually eliminate intermods. Intermodulation performance is also confirmed with state-of-the-art equipment at the RFS factory.
- High Power Rating**  
Due to their low attenuation, outstanding heat transfer properties and temperature stabilized dielectric materials, CELLFLEX® cable provides safe long term operating life at high transmit power levels.
- Wide Range of Application**  
Typical areas of application are: feedlines for broadcast and terrestrial microwave antennas, wireless cellular, PCS and ESMR base stations, cabling of antenna arrays, and radio equipment interconnects.

Technical Features

Structure

Inner conductor:	Copper-Clad Aluminum Wire	[mm (in)]	4.8 (0.19)
Dielectric:	Foam Polyethylene	[mm (in)]	11.9 (0.47)
Outer conductor:	Corrugated Copper	[mm (in)]	13.8 (0.54)
Jacket:	Polyethylene, PE	[mm (in)]	15.8 (0.62)

Mechanical Properties

Weight, approximately	[kg/m (lb/ft)]	0.2 (0.14)
Minimum bending radius, single bending	[mm (in)]	70 (3)
Minimum bending radius, repeated bending	[mm (in)]	125 (5)
Bending moment	[Nm (lb-ft)]	6.5 (4.79)
Max. tensile force	[N (lb)]	1100 (247)
Recommended / maximum clamp spacing	[m (ft)]	0.6 / 1 (2 / 3.25)

Electrical Properties

Characteristic Impedance	[Ω]	50 +/- 1
Relative propagation velocity	[%]	88
Capacitance	[pF/m (pF/ft)]	76 (23.2)
Inductance	[μH/m (μH/ft)]	0.19 (0.058)
Max. operating frequency	[GHz]	8.8
Jacket spark test RMS	[V]	8000
Peak power rating	[kW]	38
RF Peak voltage rating	[V]	1950
DC-resistance inner conductor	[Ω/km (Ω/1000ft)]	1.57 (0.48)
DC-resistance outer conductor	[Ω/km (Ω/1000ft)]	2.7 (0.82)
<b>Recommended Temperature Range</b>		
Storage temperature	[°C (°F)]	-70 to 85 (-94 to 185)
Installation temperature	[°C (°F)]	-40 to 60 (-40 to 140)
Operation temperature	[°C (°F)]	-50 to 85 (-58 to 185)

Other Characteristics

Fire Performance:	Halogen Free		
VSWR Performance:	Standard	[dB (VSWR)]	Contact RFS for your VSWR performance specification for your required frequency band.
Other Options:	Phase stabilized and phase matched cables and assemblies are available upon request.		

Frequency [ MHz ]	Attenuation [ dB/100m ]	Attenuation [ dB/100ft ]	Power [ kW ]
0.5	0.149	0.0454	38.0
1.0	0.211	0.0643	38.0
1.5	0.258	0.0788	32.9
2.0	0.298	0.0910	28.5
10	0.671	0.204	12.7
20	0.951	0.290	8.93
30	1.17	0.356	7.26
50	1.51	0.462	5.63
88	2.02	0.616	4.21
100	2.16	0.658	3.93
108	2.24	0.684	3.79
150	2.66	0.810	3.19
174	2.87	0.875	2.96
200	3.08	0.940	2.76
300	3.81	1.16	2.23
400	4.43	1.35	1.92
450	4.71	1.44	1.80
500	4.98	1.52	1.71
512	5.04	1.54	1.69
600	5.48	1.67	1.55
700	5.95	1.81	1.43
750	6.17	1.88	1.38
800	6.39	1.95	1.33
824	6.49	1.98	1.31
894	6.78	2.07	1.25
900	6.80	2.07	1.25
925	6.90	2.10	1.23
960	7.04	2.15	1.21
1000	7.20	2.19	1.18
1250	8.12	2.48	1.05
1400	8.64	2.63	0.963
1500	8.97	2.73	0.947
1700	9.61	2.93	0.884
1800	9.91	3.02	0.857
2000	10.5	3.20	0.809
2100	10.8	3.29	0.787
2200	11.1	3.38	0.765
2400	11.6	3.54	0.732
2500	11.9	3.62	0.714
2600	12.2	3.70	0.696
2700	12.4	3.78	0.685
3000	13.2	4.01	0.644
3500	14.4	4.38	0.590
4000	15.5	4.72	0.548
5000	17.6	5.37	0.483
6000	19.6	5.97	0.433
7000	21.4	6.54	0.397
8000	23.2	7.07	0.366
8800	24.6	7.49	0.345

Attenuation at 20°C (68°F) cable temperature.  
Mean power rating at 40°C (104°F) ambient temperature

All information contained in the present datasheet is subject to confirmation at time of ordering

RFS The Clear Choice®

LCF12-50J

Rev: D / 15.Aug.2013

Print Date: 08.02.2015

Please visit us on the internet at <http://www.rfs-world.com/>

Radio Frequency Systems



A.3 Koaxiální kabel LCF78-50JA-A0

Product Data Sheet

LCF78-50JA-A0



7/8" CELLFLEX® Premium Attenuation Low-Loss Foam-Dielectric Coaxial Cable

Product Description

CELLFLEX® 7/8" premium attenuation low loss flexible cable  
 Application: Main feed line



7/8" CELLFLEX® Low-Loss Foam Dielectric Coaxial Cable

Features/Benefits

- Ultra Low Attenuation**  
The further reduced attenuation of CELLFLEX® premium attenuation coaxial cable results in extremely efficient signal transfer in your RF system, especially at high frequencies.
- Complete Shielding**  
The solid outer conductor of CELLFLEX® coaxial cable creates a continuous RFI/EMI shield that minimizes system interference.
- Low VSWR**  
Special low VSWR versions of CELLFLEX® coaxial cables contribute to low system noise.
- Outstanding Intermodulation Performance**  
CELLFLEX® coaxial cable's solid inner and outer conductors virtually eliminate intermods. Intermodulation performance is also confirmed with state-of-the-art equipment at the RFS factory.
- High Power Rating**  
Due to their low attenuation, outstanding heat transfer properties and temperature stabilized dielectric materials, CELLFLEX® cable provides safe long term operating life at high transmit power levels.
- Wide Range of Application**  
Typical areas of application are: feedlines for broadcast and terrestrial microwave antennas, wireless cellular, PCS and ESMR base stations, cabling of antenna arrays, and radio equipment interconnects.

Technical Features

Structure

Inner conductor:	Copper Tube	[mm (in)]	9.32 (0.37)
Dielectric:	Foam Polyethylene	[mm (in)]	22.4 (0.88)
Outer conductor:	Corrugated Copper	[mm (in)]	25.2 (0.99)
Jacket:	Polyethylene, PE	[mm (in)]	27.8 (1.09)

Mechanical Properties

Weight, approximately	[kg/m (lb/ft)]	0.41 (0.28)
Minimum bending radius, single bending	[mm (in)]	120 (5)
Minimum bending radius, repeated bending	[mm (in)]	250 (10)
Bending moment	[Nm (lb-ft)]	13 (9.6)
Max. tensile force	[N (lb)]	1440 (324)
Recommended / maximum clamp spacing	[m (ft)]	0.8 / 1 (2.75 / 3.25)

Electrical Properties

Characteristic impedance	[Ω]	50 +/- 1
Relative propagation velocity	[%]	90
Capacitance	[pF/m (pF/ft)]	74 (22.5)
Inductance	[μH/m (μH/ft)]	0.185 (0.056)
Max. operating frequency	[GHz]	5
Jacket spark test RMS	[V]	8000
Peak power rating	[kW]	85
RF Peak voltage rating	[V]	2920
DC-resistance inner conductor	[Ω/km (Ω/1000ft)]	1.54 (0.47)
DC-resistance outer conductor	[Ω/km (Ω/1000ft)]	1.55 (0.47)

Recommended Temperature Range

Storage temperature	[°C (°F)]	-70 to 85 (-94 to 185)
Installation temperature	[°C (°F)]	-40 to 60 (-40 to 140)
Operation temperature	[°C (°F)]	-50 to 85 (-58 to 185)

Other Characteristics

Fire Performance: Halogen Free  
 VSWR Performance: Standard [dB (VSWR)] 24 (1.135)  
 Other Options: Phase stabilized and phase matched cables and assemblies are available upon request.

Frequency [ MHz ]	Attenuation		Power [ kW ]
	[ dB/100m ]	[ dB/100ft ]	
0.5	0.0780	0.0238	85.0
1.0	0.110	0.0336	85.0
1.5	0.135	0.0412	73.6
2.0	0.156	0.0476	63.7
10	0.351	0.107	28.3
20	0.498	0.152	20.0
30	0.612	0.186	16.2
50	0.793	0.242	12.5
88	1.06	0.323	9.38
100	1.13	0.345	8.80
108	1.18	0.358	8.42
150	1.39	0.425	7.15
174	1.50	0.458	6.63
200	1.62	0.493	6.14
300	2.0	0.608	4.97
400	2.32	0.707	4.28
450	2.47	0.753	4.02
500	2.61	0.796	3.81
512	2.64	0.806	3.77
600	2.88	0.876	3.45
700	3.12	0.951	3.19
750	3.24	0.987	3.07
800	3.35	1.02	2.97
824	3.41	1.04	2.91
894	3.56	1.08	2.79
900	3.57	1.09	2.78
925	3.62	1.10	2.75
960	3.70	1.13	2.69
1000	3.78	1.15	2.63
1250	4.27	1.30	2.33
1400	4.54	1.38	2.19
1500	4.71	1.44	2.11
1700	5.05	1.54	1.97
1800	5.21	1.59	1.91
2000	5.52	1.68	1.80
2100	5.67	1.73	1.75
2200	5.82	1.77	1.71
2400	6.11	1.86	1.63
2500	6.25	1.91	1.59
2600	6.39	1.95	1.56
2700	6.53	1.99	1.52
3000	6.93	2.11	1.43
3500	7.56	2.30	1.31
4000	8.16	2.49	1.22
4900	9.17	2.80	1.08
5000	9.28	2.83	1.07

Attenuation at 20°C (68°F) cable temperature  
 Mean power rating at 40°C (104°F) ambient temperature

RFS The Clear Choice®

LCF78-50JA-A0

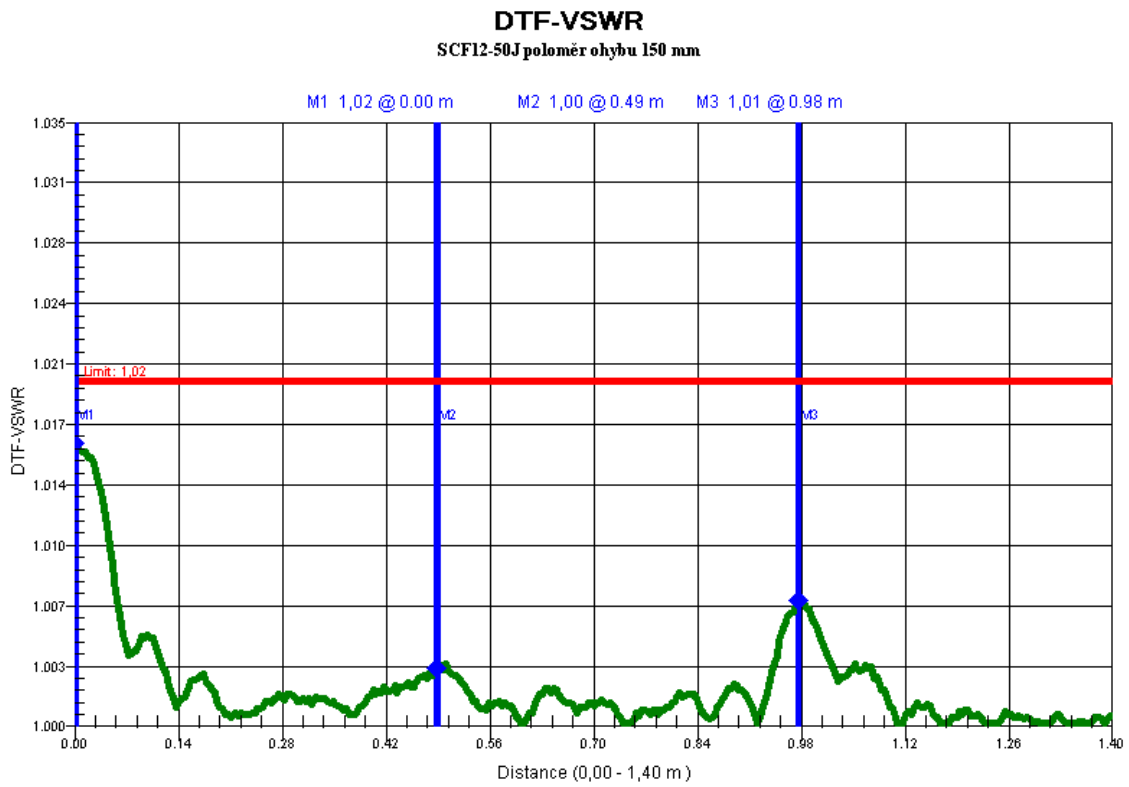
Rev: D / 11.Dec.2013

Print Date: 17.03.2015

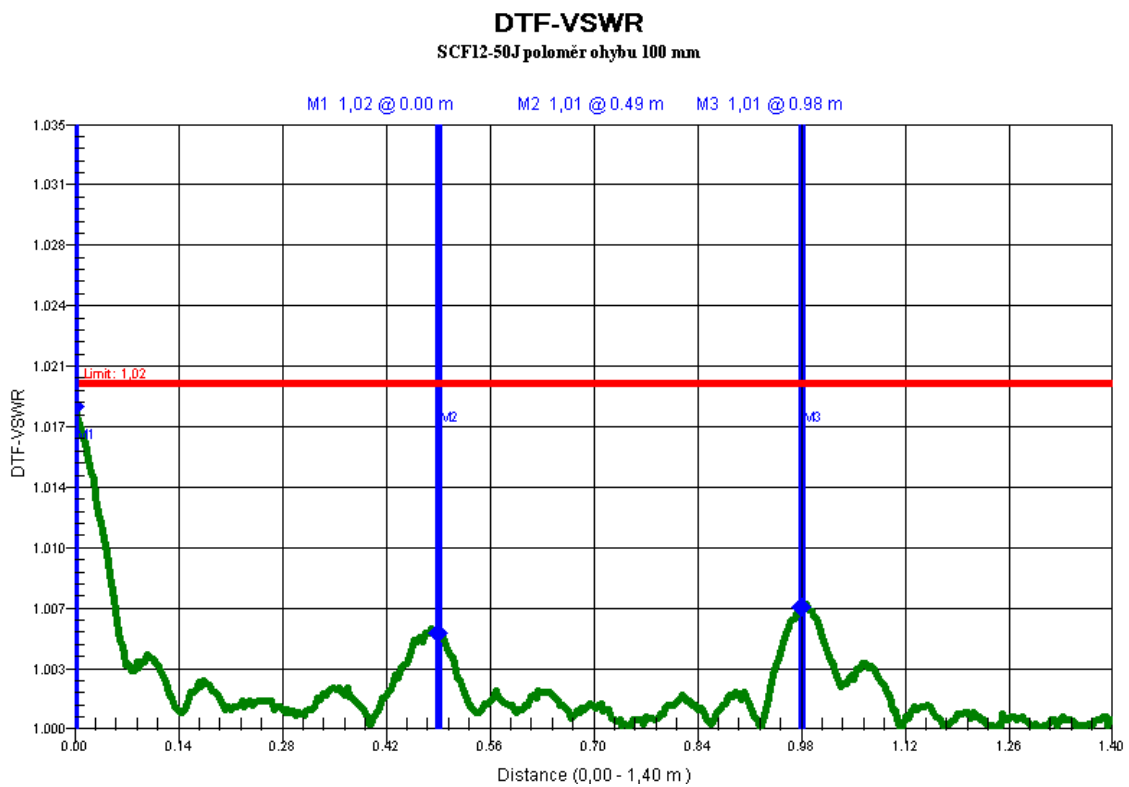
Please visit us on the internet at <http://www.rfsworld.com>

Radio Frequency Systems

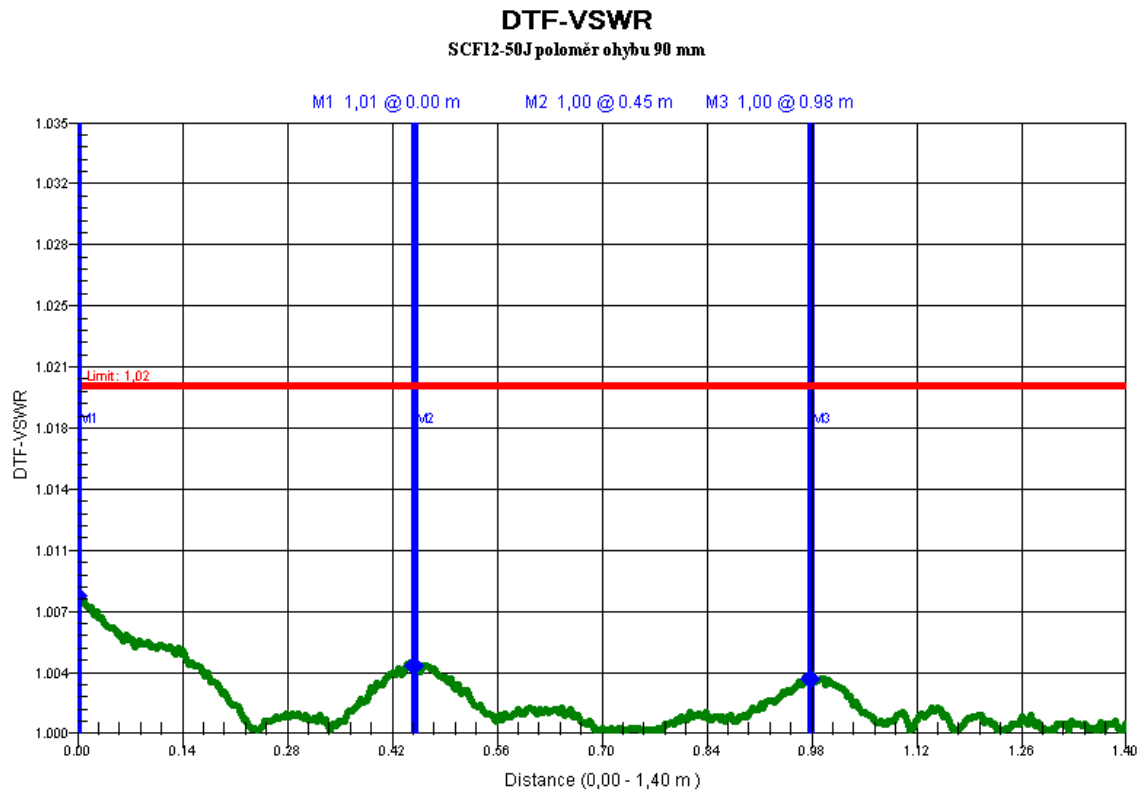
B.1 Koaxiální kabel SCF12-50J



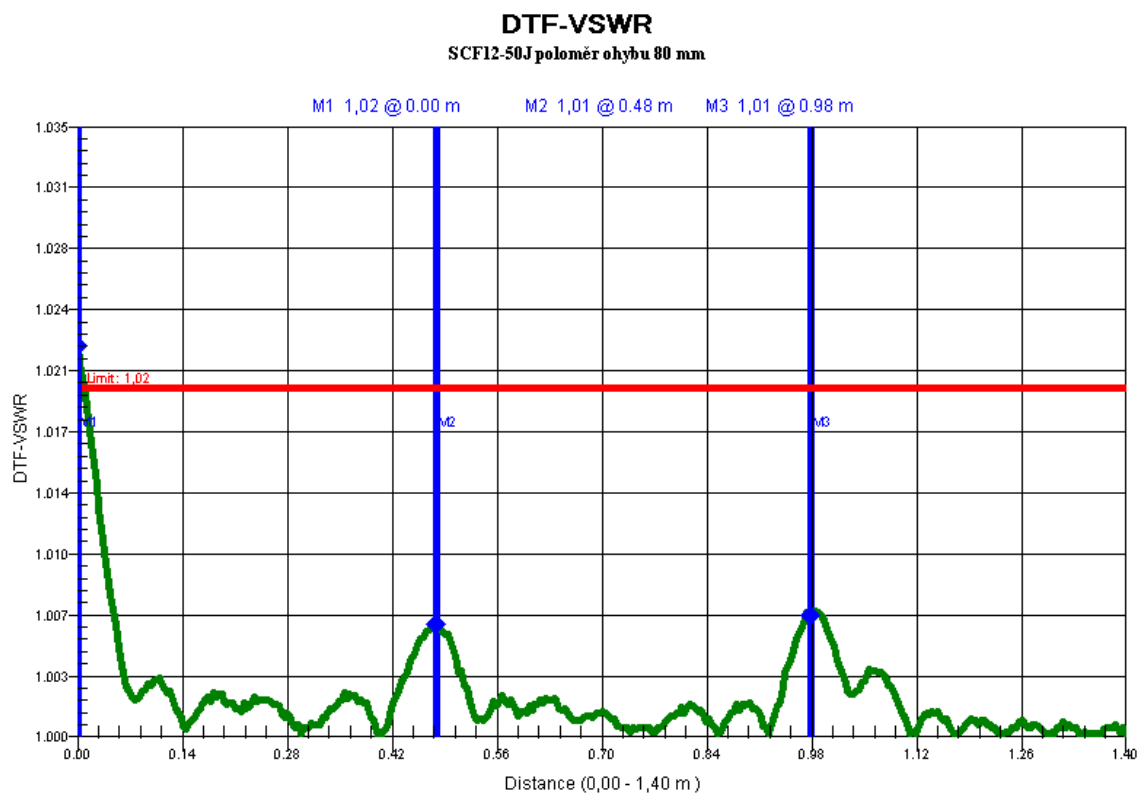
Obrázek B.1.1: *Průběh parametru VSWR kabelu SCF12-50J při poloměru ohybu 150 mm*



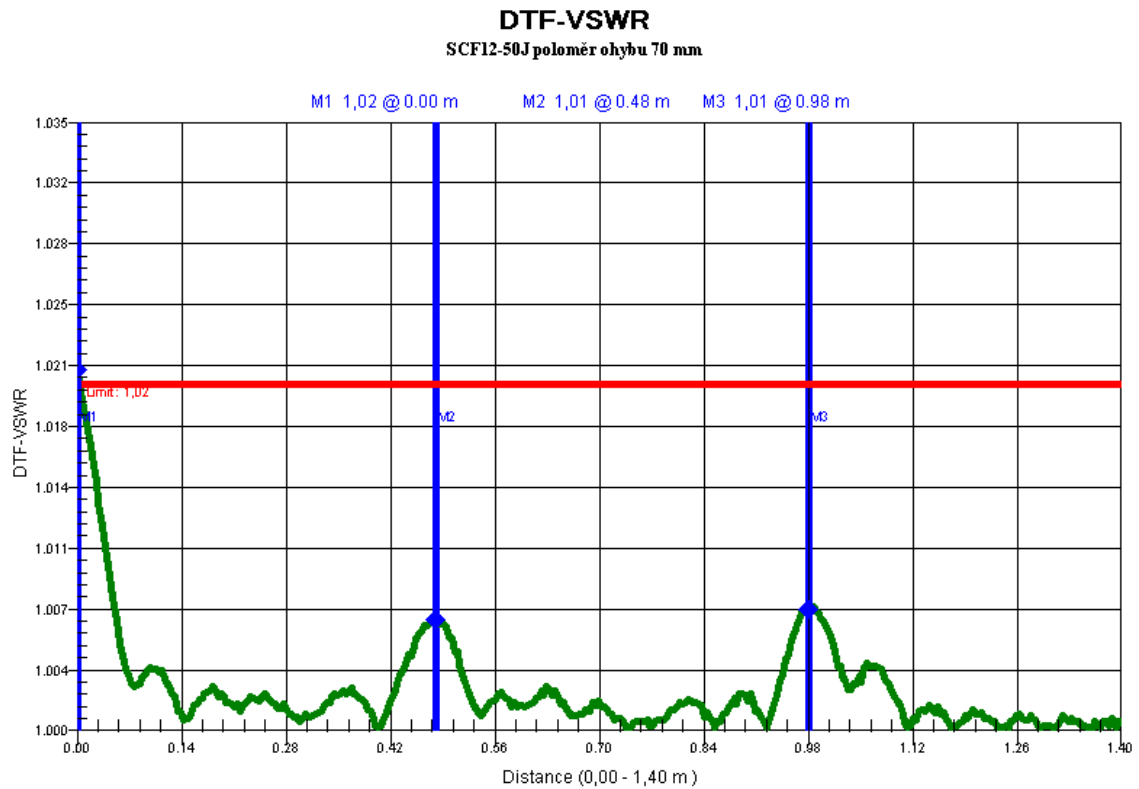
Obrázek B.1.2: *Průběh parametru VSWR kabelu SCF12-50J při poloměru ohybu 100 mm*



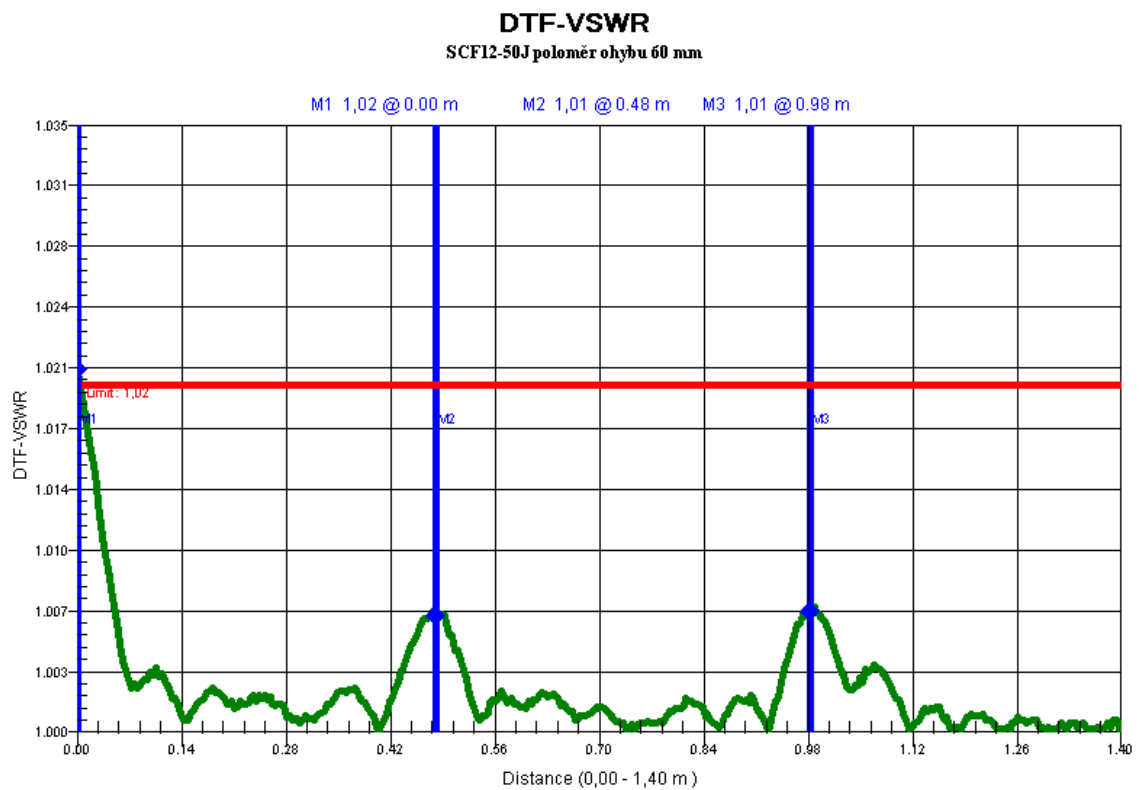
Obrázek B.1.3: Průběh parametru VSWR kabelu SCF12-50J při poloměru ohybu 90 mm



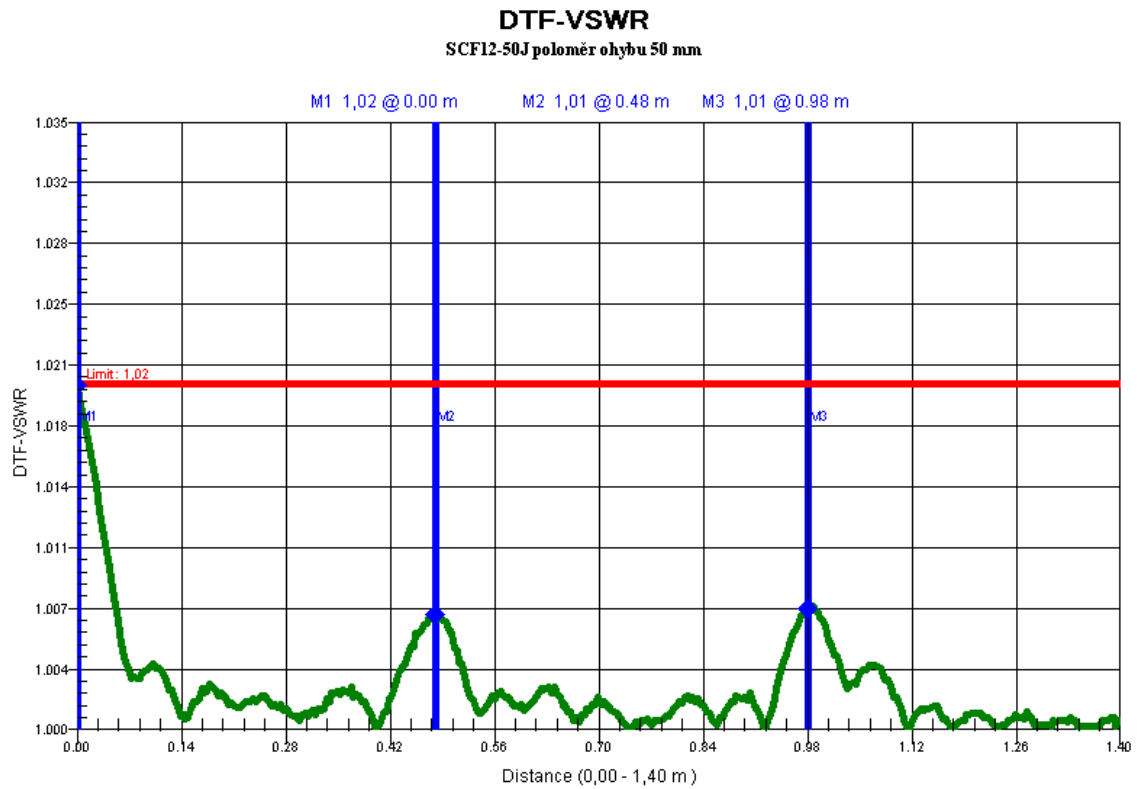
Obrázek B.1.4: Průběh parametru VSWR kabelu SCF12-50J při poloměru ohybu 80 mm



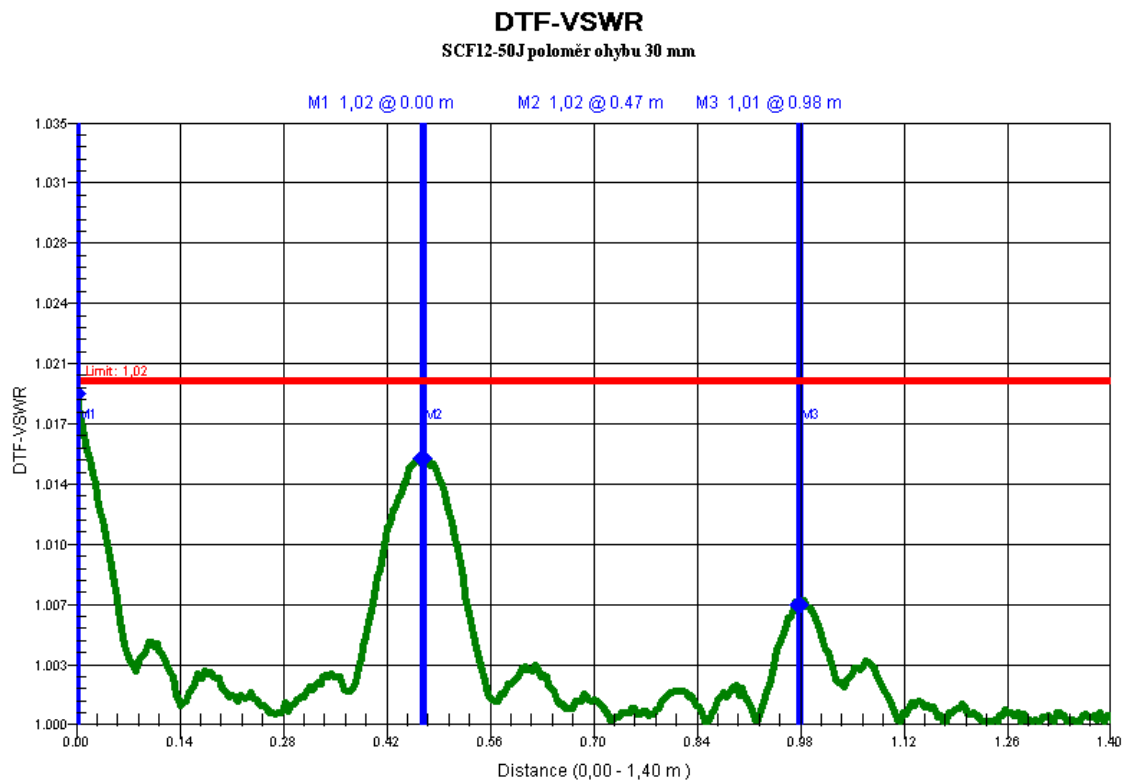
Obrázek B.1.5: Průběh parametru VSWR kabelu SCF12-50J při poloměru ohybu 70 mm



Obrázek B.1.6: Průběh parametru VSWR kabelu SCF12-50J při poloměru ohybu 60 mm

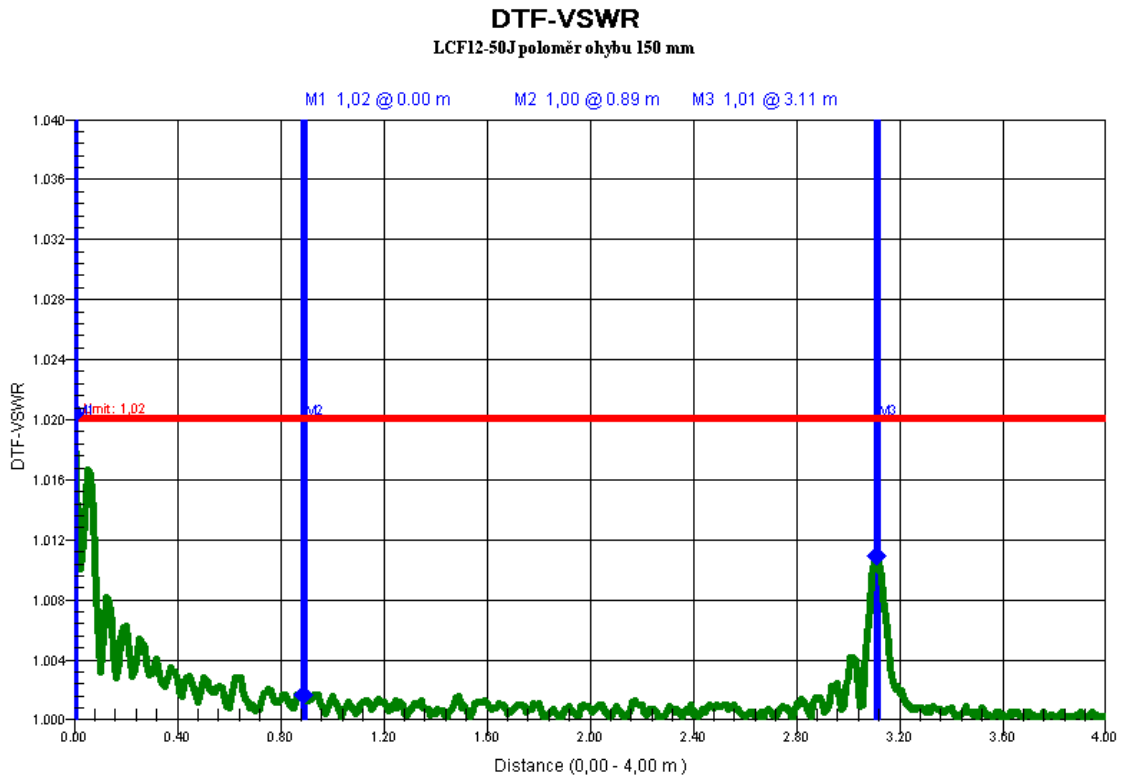


Obrázek B.1.7: Průběh parametru VSWR kabelu SCF12-50J při poloměru ohybu 50 mm

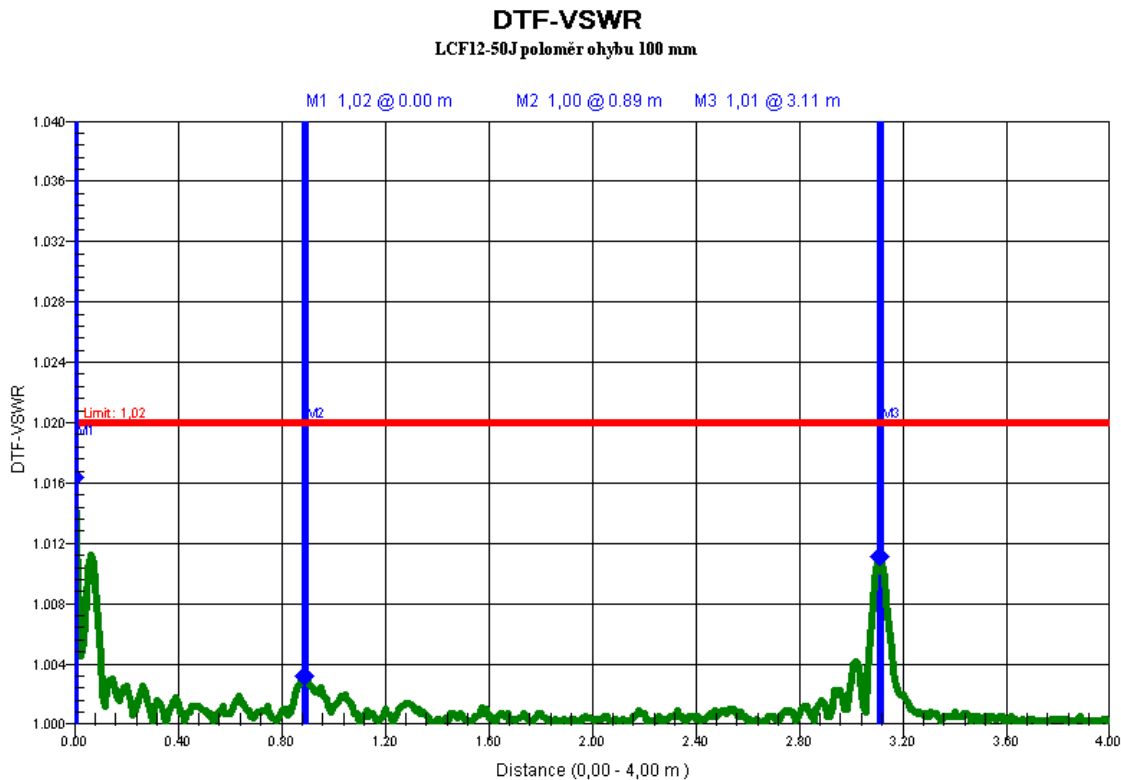


Obrázek B.1.8: Průběh parametru VSWR kabelu SCF12-50J při poloměru ohybu 30 mm

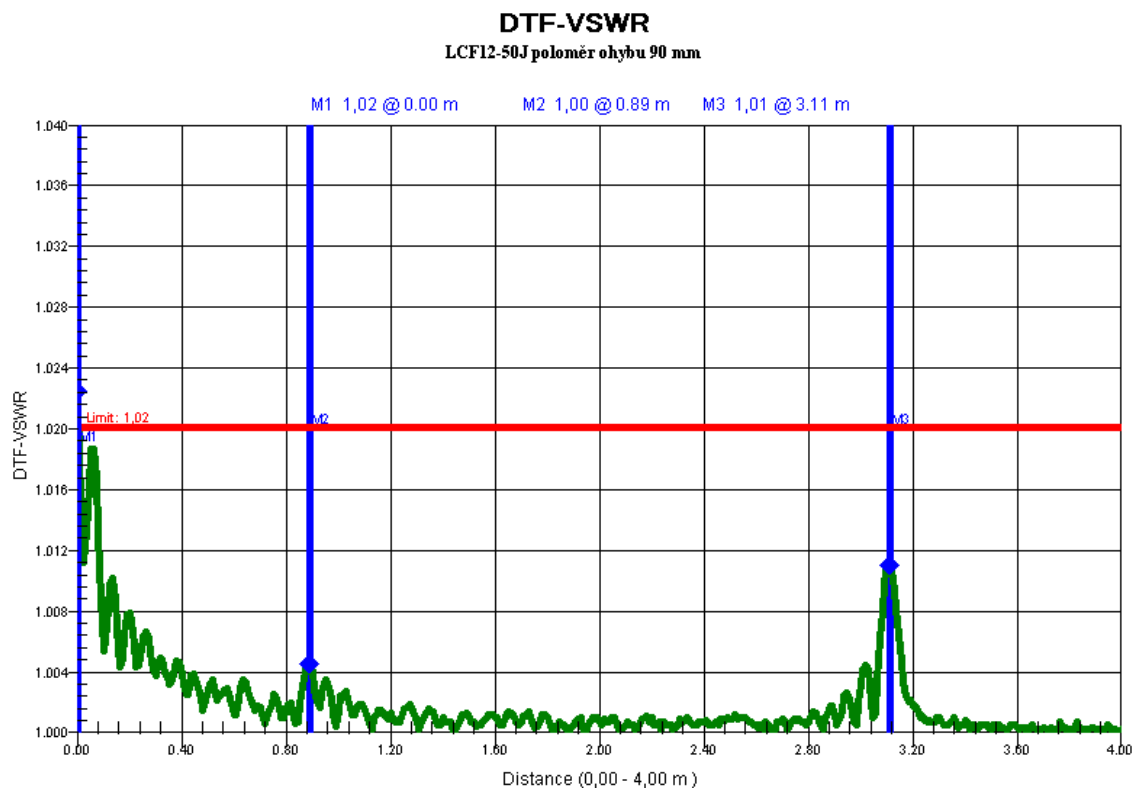
B.2 Koaxiální kabel LCF12-50J



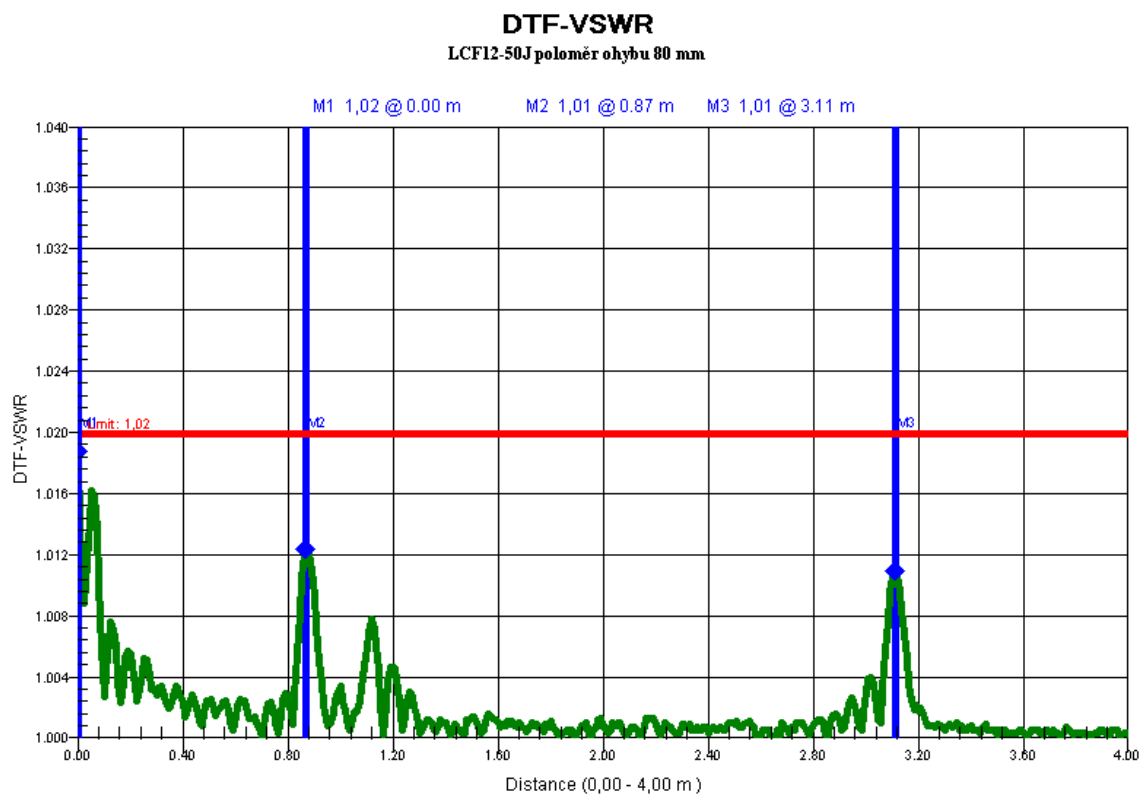
Obrázek B.2.1: Průběh parametru VSWR kabelu LCF12-50J při poloměru ohybu 150 mm



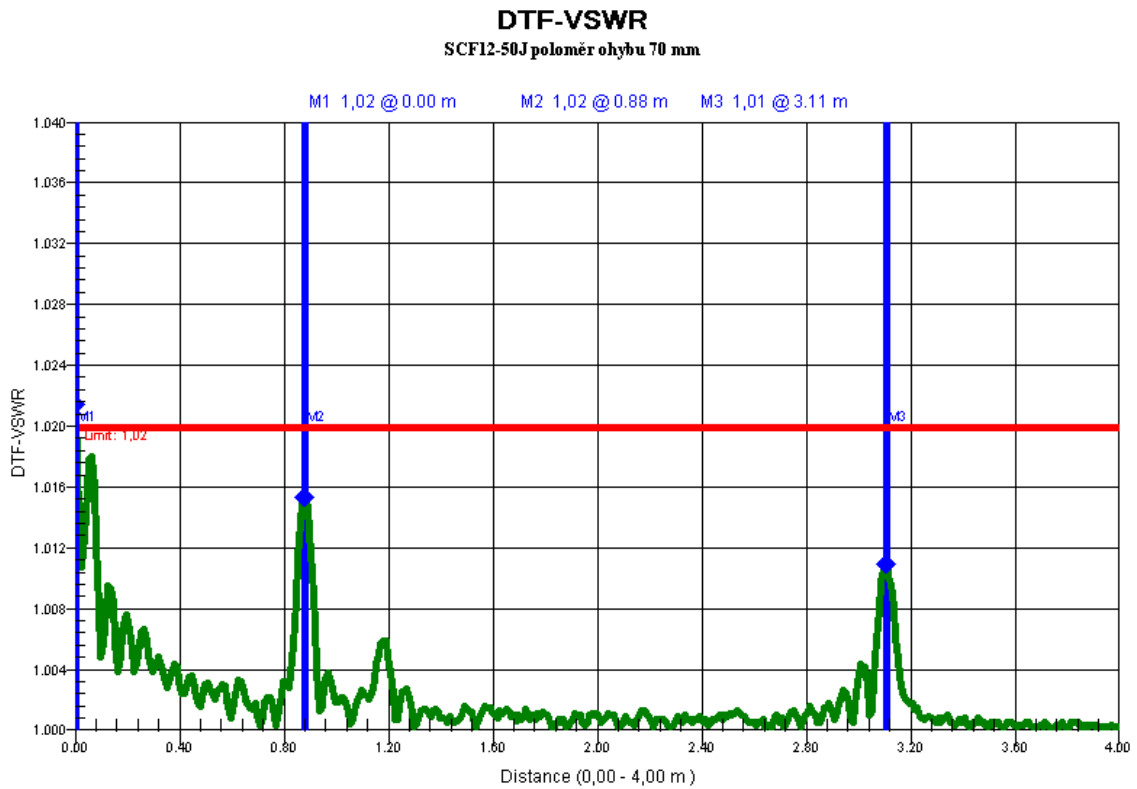
Obrázek B.2.2: Průběh parametru VSWR kabelu LCF12-50J při poloměru ohybu 100 mm



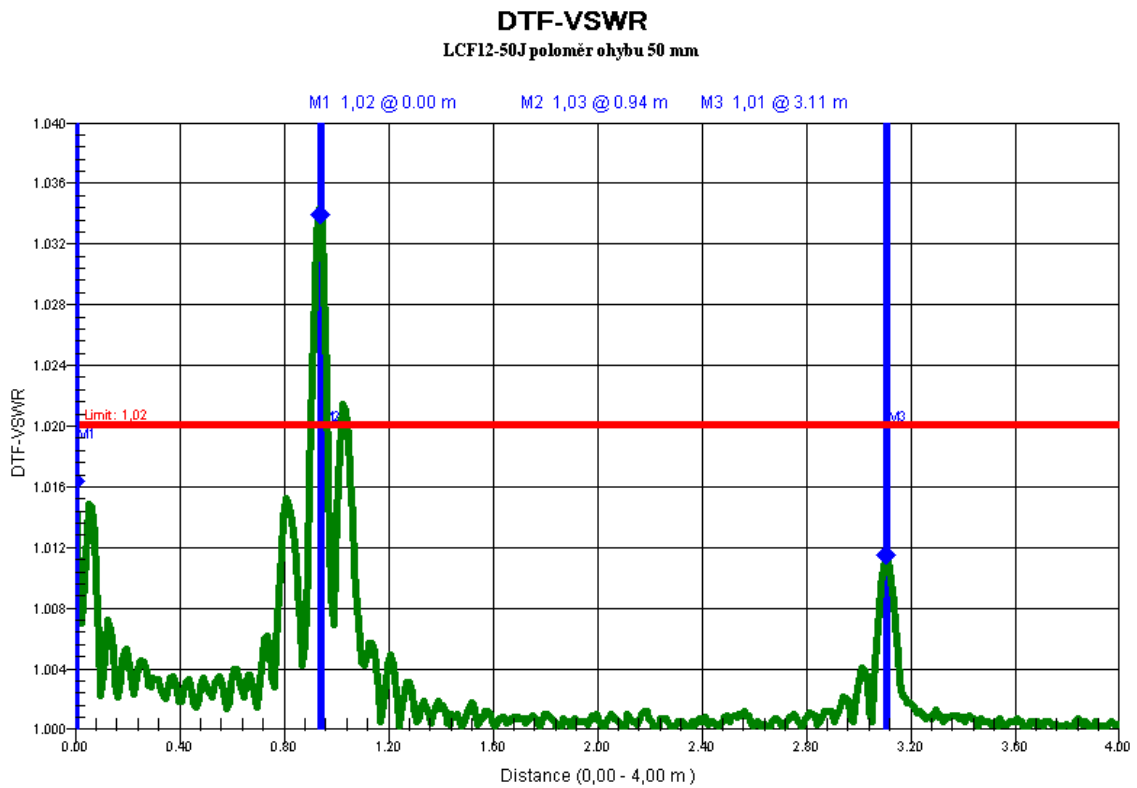
Obrázek B.2.3: Průběh parametru VSWR kabelu LCF12-50J při poloměru ohybu 90 mm



Obrázek B.2.4: Průběh parametru VSWR kabelu LCF12-50J při poloměru ohybu 80 mm

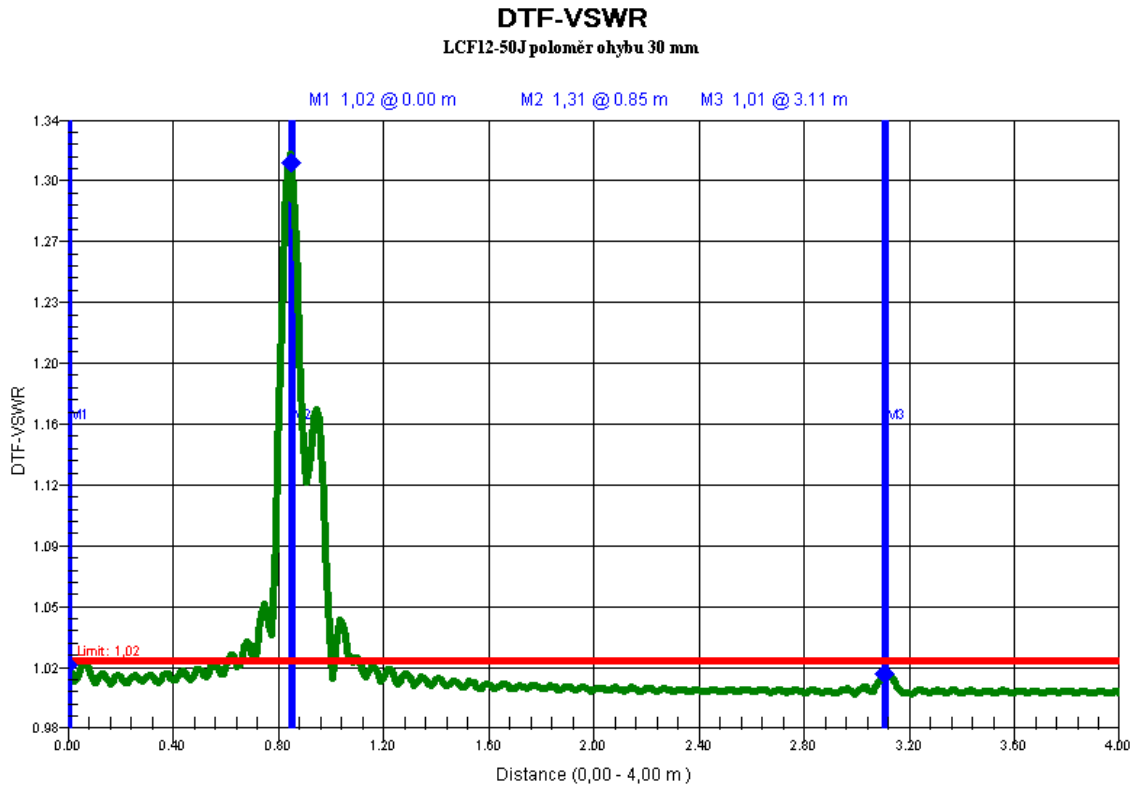


Obrázek B.2.5: Průběh parametru VSWR kabelu LCF12-50J při poloměru ohybu 70 mm

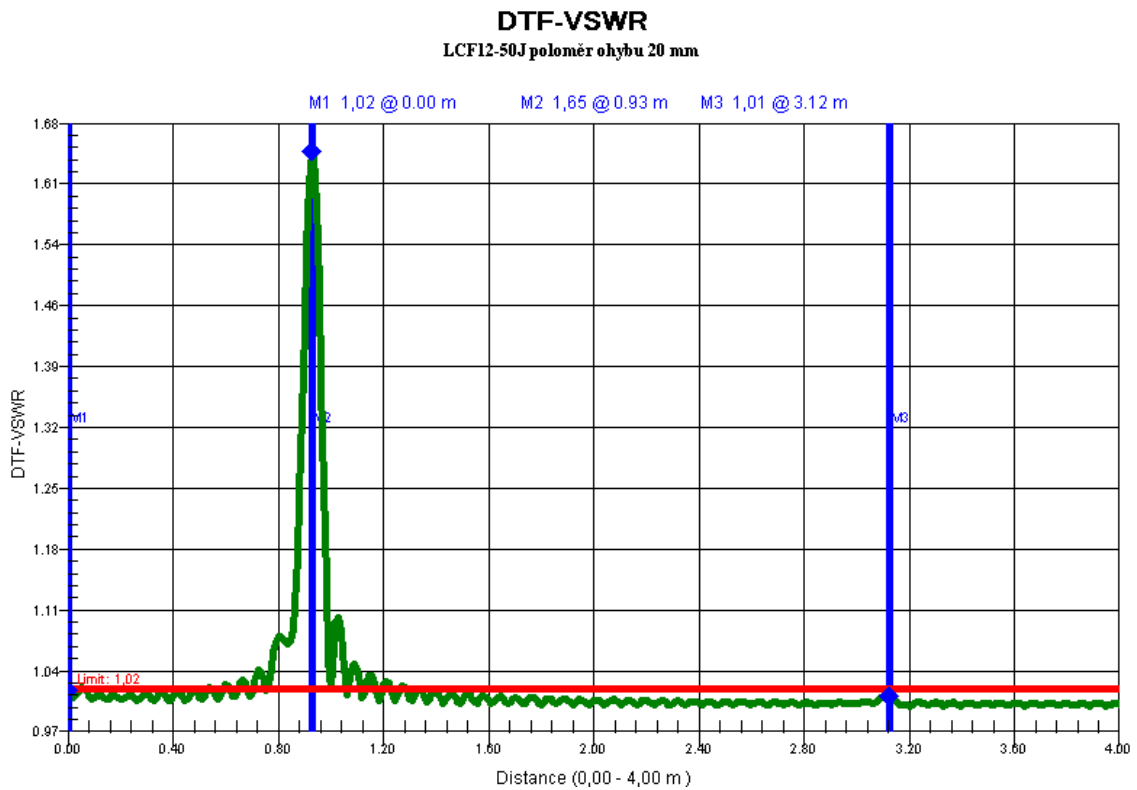


Obrázek B.2.6: Průběh parametru VSWR kabelu LCF12-50J při poloměru ohybu 50 mm

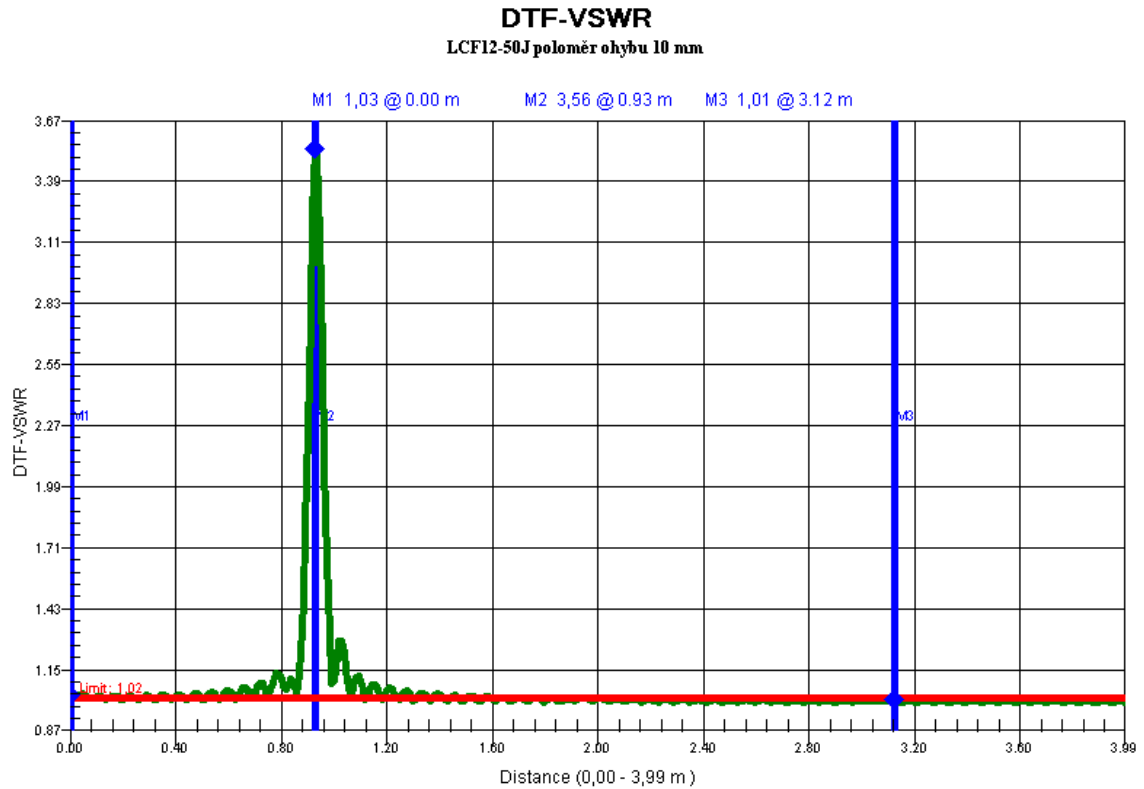




Obrázek B.2.7: Průběh parametru VSWR kabelu LCF12-50J při poloměru ohybu 30 mm

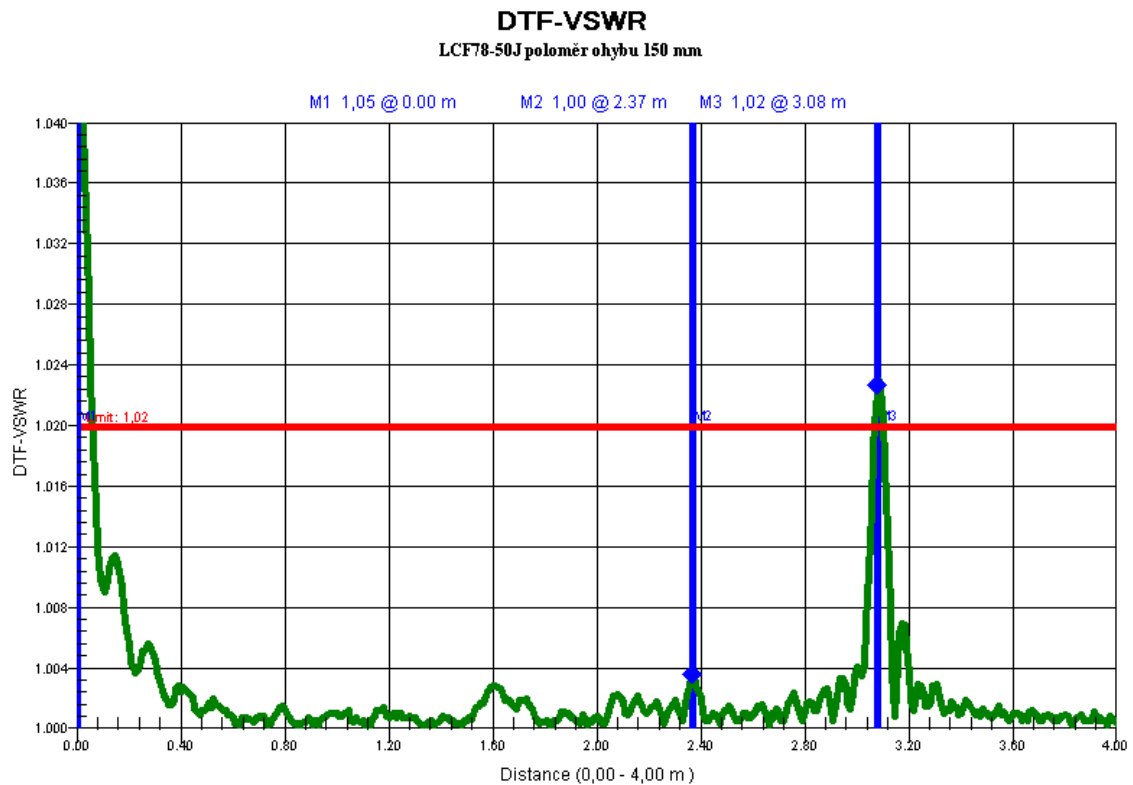


Obrázek B.2.8: Průběh parametru VSWR kabelu LCF12-50J při poloměru ohybu 20 mm

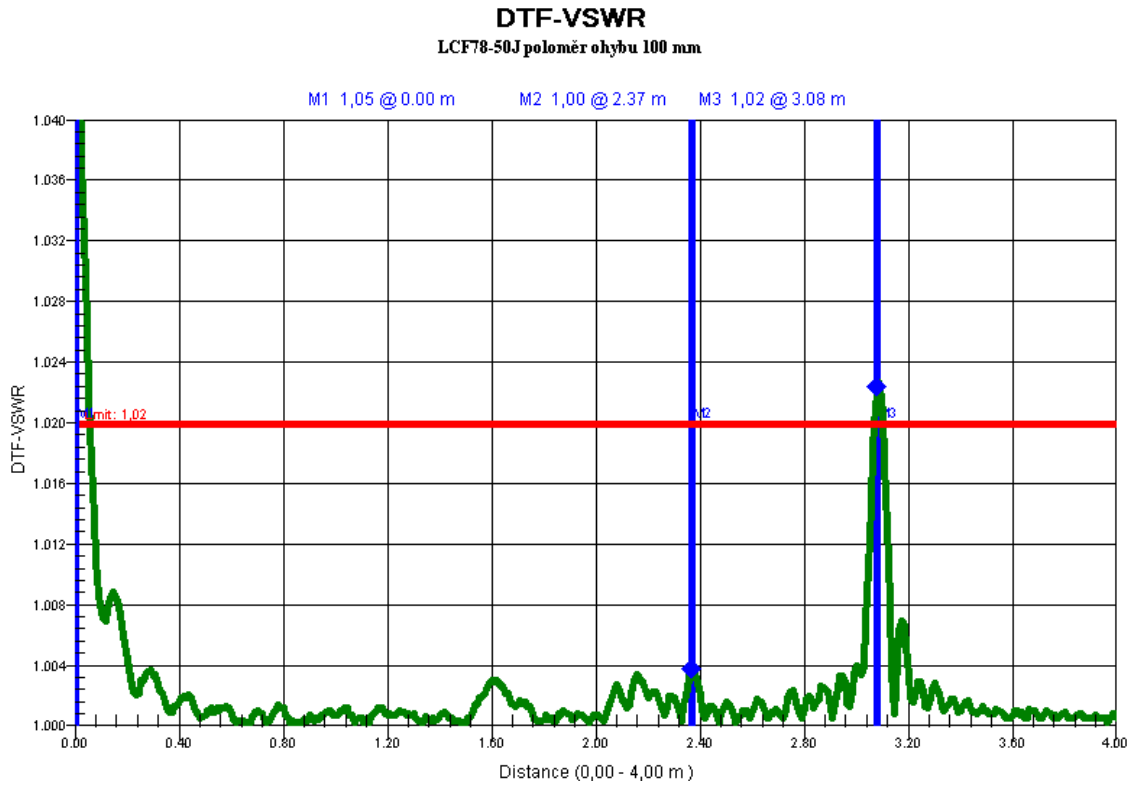


Obrázek B.2.9: Průběh parametru VSWR kabelu LCF12-50J při poloměru ohybu 10 mm

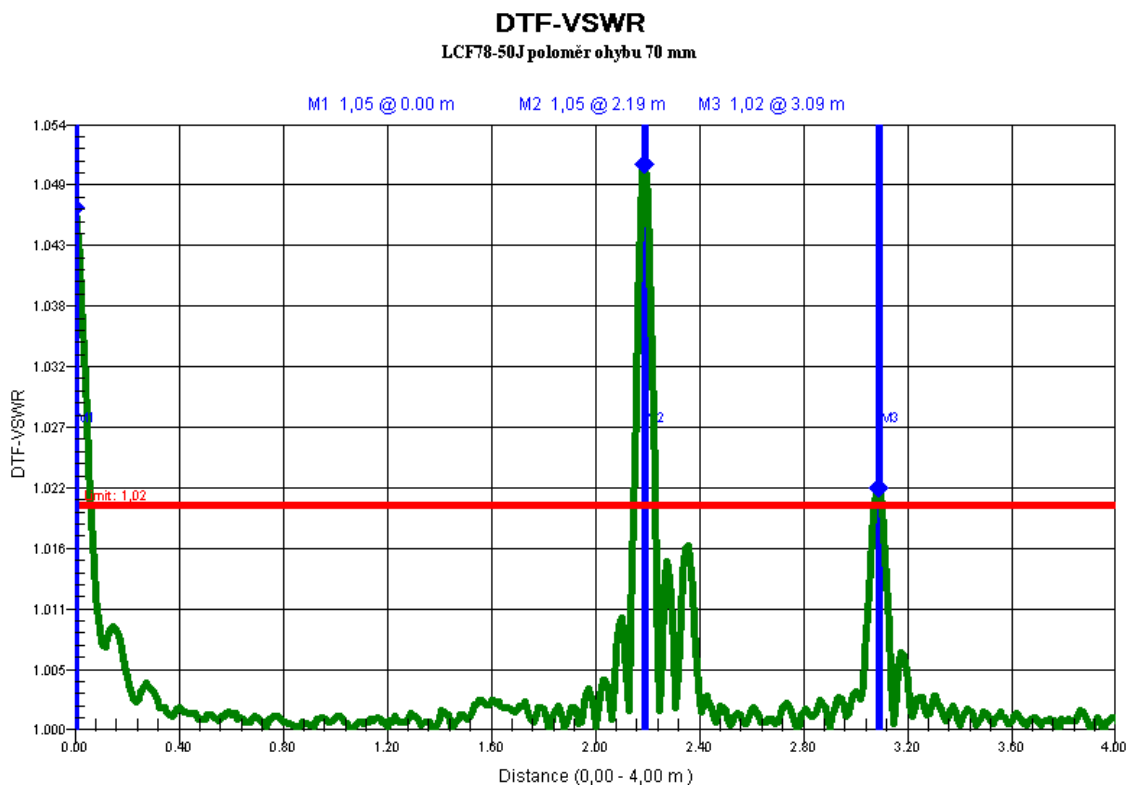
### B.3 Koaxiální kabel LCF78-50J



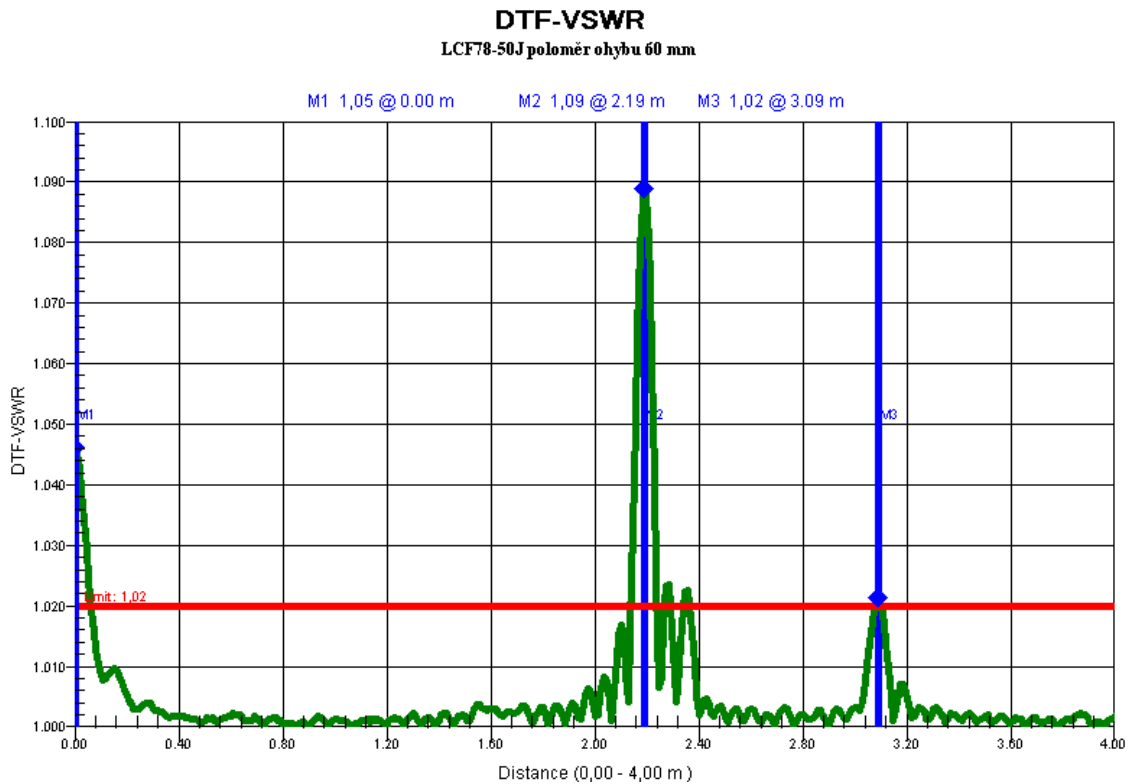
Obrázek B.3.1: Průběh parametru VSWR kabelu LCF78-50J při poloměru ohybu 150 mm



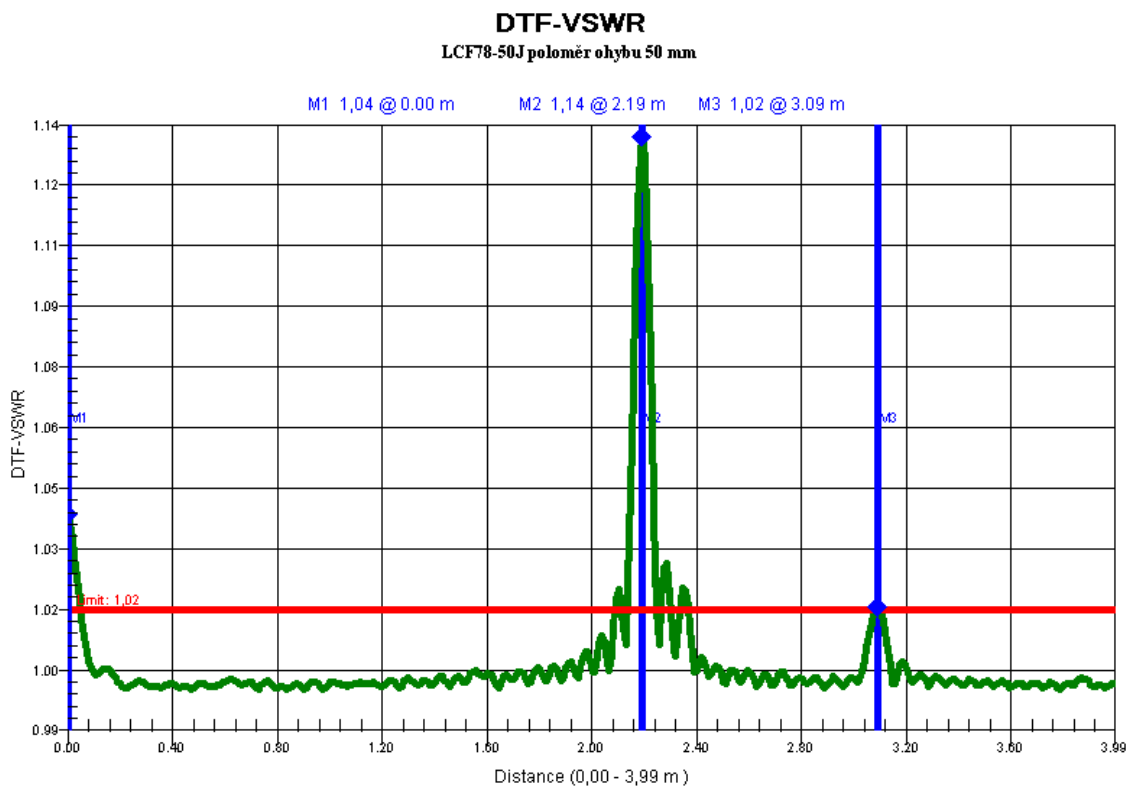
Obrázek B.3.2: Průběh parametru VSWR kabelu LCF78-50J při poloměru ohybu 100 mm



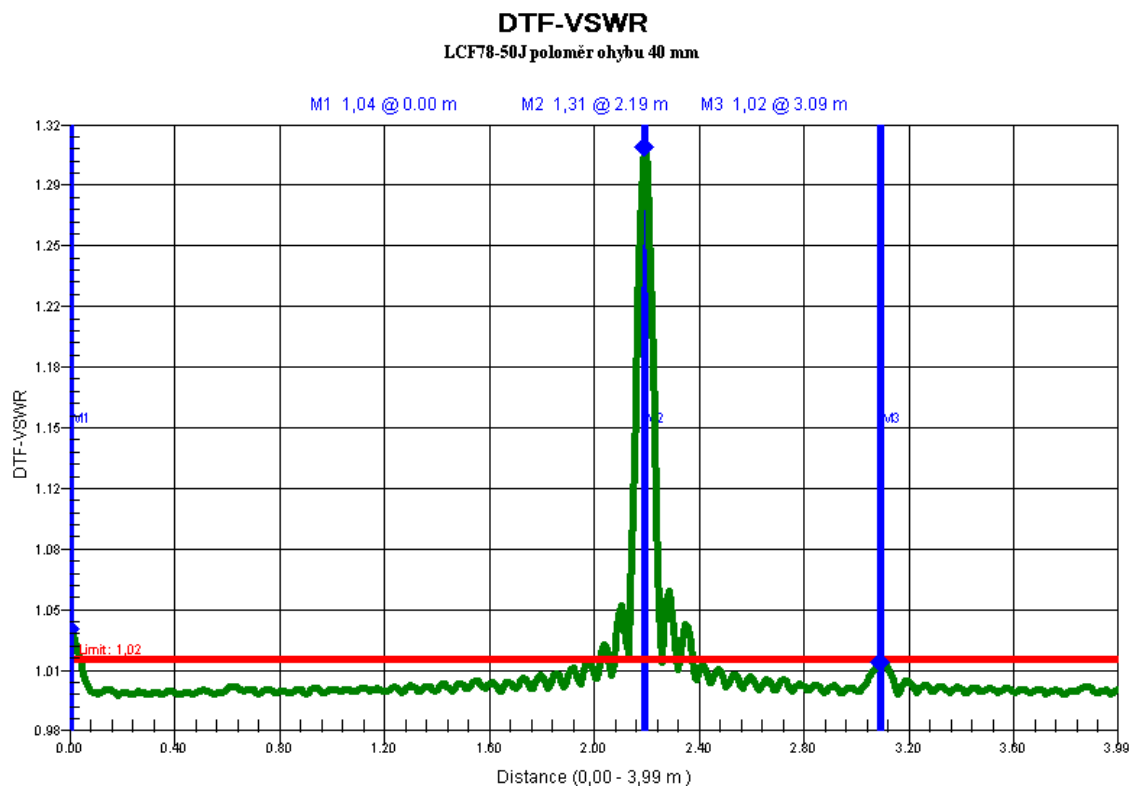
Obrázek B.3.3: Průběh parametru VSWR kabelu LCF78-50J při poloměru ohybu 70 mm



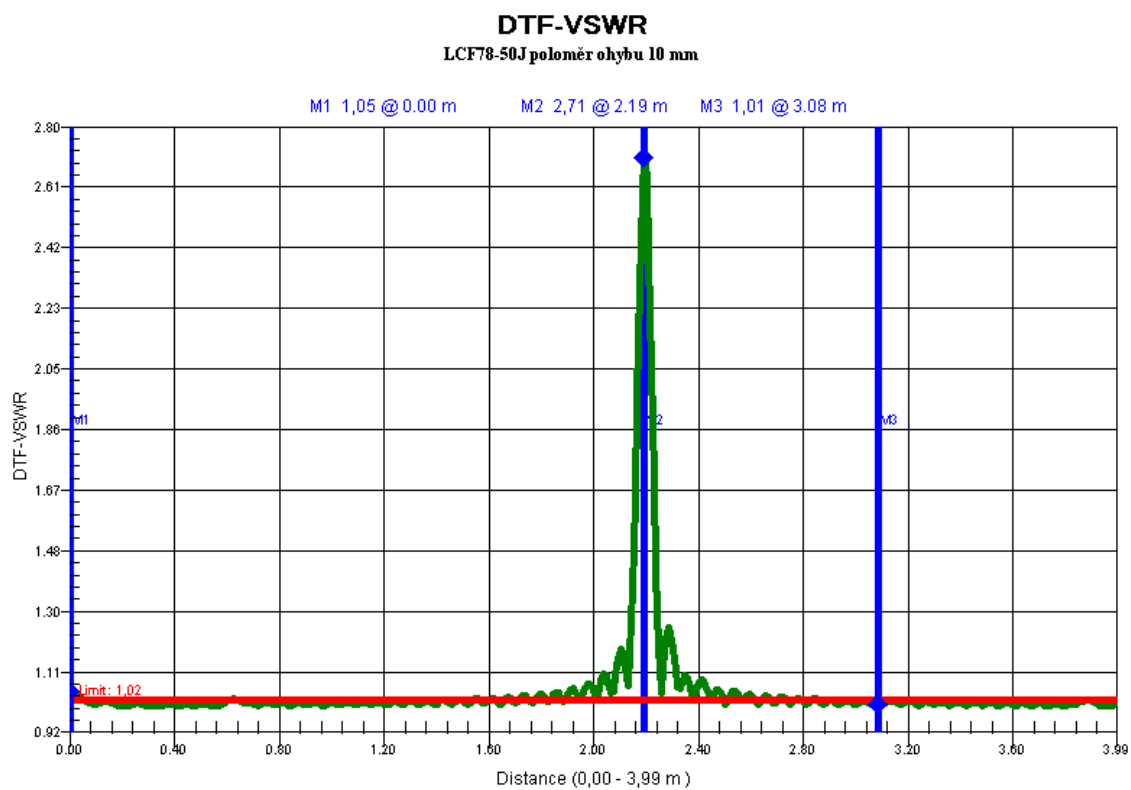
Obrázek B.3.4: Průběh parametru VSWR kabelu LCF78-50J při poloměru ohybu 60 mm



Obrázek B.3.5: Průběh parametru VSWR kabelu LCF78-50J při poloměru ohybu 50 mm

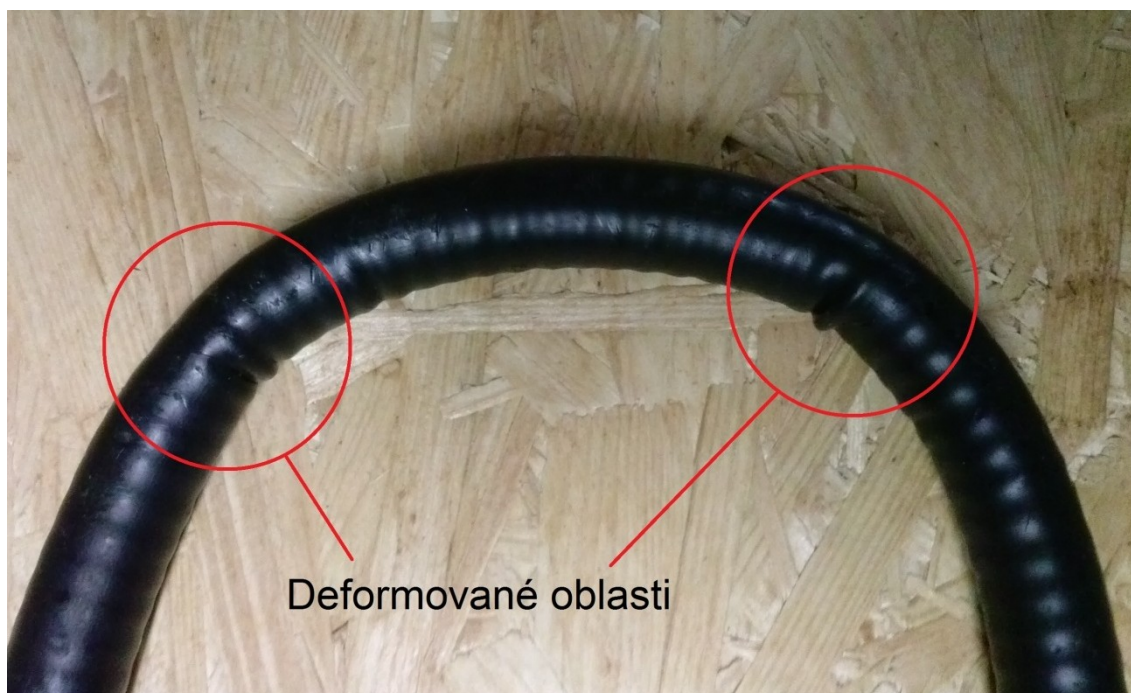


Obrázek B.3.6: Průběh parametru VSWR kabelu LC78-50J při poloměru ohybu 40 mm



Obrázek B.3.7: Průběh parametru VSWR kabelu LCF78-50J při poloměru ohybu 10 mm

Příloha C: *Vybrané fotografie*



Obrázek C.1: *Deformace kabelu LCF12-50J*



Obrázek C.2: *Přípravek na měření poloměru ohybu*