

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

BEZDRÁTOVÝ OPTICKÝ SPOJ

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

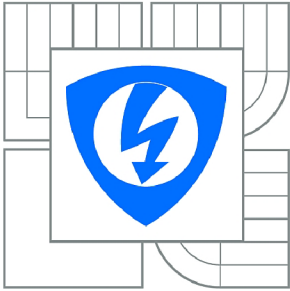
Bc. JAKUB ŠÁLA

BRNO 2010



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**

ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

BEZDRÁTOVÝ OPTICKÝ SPOJ

FREE-SPACE OPTICS DATA LINK

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

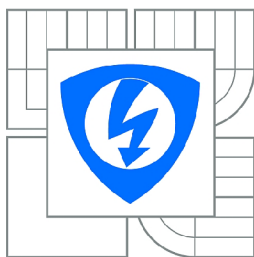
Bc. JAKUB ŠÁLA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JAN ŠPORIK

BRNO 2010



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav telekomunikací

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Telekomunikační a informační technika

Student: Bc. Jakub Šála

ID: 77740

Ročník: 2

Akademický rok: 2009/2010

NÁZEV TÉMATU:

Bezdrátový optický spoj

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Cílem práce je seznámit se současnými možnostmi bezdrátových optických spojů (OBS). Blíže prostudovat omezení nasazení tohoto spoje v praxi s ohledem na dostupnost spoje. Provedte měření na OBS a ze zjištěných hodnot určete dostupnost spoje. Dále provedte měření na alternativních variantách bezdrátových a metalických spojů. Porovnejte zjištěné parametry. Na základě těchto údajů určete vhodnost použití OBS v místě vašeho bydliště.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] FILKA, M. Optoelektronika pro telekomunikace a informatiku. Brno: Centa, 2009. 369 s. ISBN 978-80-86785-14-1.
- [2] FILKA, M. Optické sítě-přednášky. VUT FEKT. Skripta. Brno 2007.
- [3] SALEH, B. E. A. TEICH, M.C. Základy fotoniky, svazek 1. Dušek, R. M.; FIALA, J.; VACEK, J. Praha: MATFYZPRESS, 1994. 226 s. ISBN 80-85863-01-4.
- [4] WILFERT, O. Optoelektronika. Brno: PC-DIR, 1993. 135 s. ISBN 80-214-0551-1.
- [5] WILFERT, O. Fotonika a optické komunikace. Brno: VUT FEKT, 2007. 128 s. ISBN 978-80-214-3537-7.

Termín zadání: 29.1.2010

Termín odevzdání: 26.5.2010

Vedoucí práce: Ing. Jan Šporik

prof. Ing. Kamil Vrba, CSc.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

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

ANOTACE

V této diplomové práci je zachycena problematika současných možností bezdrátových optických spojů, omezení jejich nasazení v praxi s ohledem na dostupnost a spolehlivost. Jsou provedena měření na bezdrátovém optickém spoji a ze zjištěných hodnot je vypočtena dostupnost spoje. Následně jsou provedena měření na alternativních variantách bezdrátových a metalických spojů. Zjištěné hodnoty jsou porovnány s bezdrátovým optickým spojem. Dále je proveden návrh bezdrátového optického spoje v místě bydliště.

KLÍČOVÁ SLOVA

Optický bezdrátový spoj, Absorpce, Rozptyl, Útlum, Turbulence, Dostupnost, Optické vlákno, Wi-Fi, 802.11g, 802.11n, Koaxiální kabel, Kroucená dvoulinka, Iperf, Přenosová rychlost, Kolísání zpoždění, Ztrátovost

ABSTRAKT

In this thesis, shows a current issue for free space optics, limiting their use in practice with regard to the availability and reliability. They conducted measurements on wireless optical links and the observed values is calculated by the availability of the connection. Subsequently, measurements are performed on alternate versions of wireless and copper connections. Observed values were compared with a wireless optical link. It is made of optical design of wireless connections at home.

KEYWORDS

Free space optics, Absorption, Scattering, Attenuation, Turbulence, Availability, Fiber optics, Wi-Fi, 802.11g, 802.11n, Coaxial cable, Twisted pair, Iperf, Transmission speed, Jitter, Loss

Šála J. Optický bezdrátový spoj. Brno: Vysoké učení technické v Brně. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav telekomunikací. 2010. 71 s. Diplomová práce. Vedoucí diplomové práce Ing. Jan Šporik.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „BEZDRÁTOVÝ OPTICKÝ SPOJ“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne

.....
(podpis autora)

Děkuji vedoucímu diplomové práce panu Ing. Janu Šporikovi, studentovi doktorského studia VUT Brno, Fakulty elektrotechniky a komunikačních technologií za velmi užitečnou metodickou pomoc a cenné rady při zpracování práce. Dále by jsem chtěl poděkovat občanskému sdružení UnArt Slavičín za zapuštění antén a outdoorových klientů nutných pro provedení měření, občanskému sdružení KLFREE z Kladna za poskytnutí informací o svém optickém bezdrátovém spoji a firmě PROFIBRE za zapuštění měřicího přístroje EXFO AXS-200.

V Brně dne

.....
podpis autora

OBSAH

ÚVOD	11
1 OPTICKÝ BEZDRÁTOVÝ SPOJ	12
1.1 PRINCIP OPTICKÉHO BEZDRÁTOVÉHO SPOJE	12
1.1.1 VÝHODY POUŽITÍ OBS	13
1.1.2 NEVÝHODY POUŽITÍ OBS.....	13
1.2 VYSÍLAČ.....	13
1.2.1 PRINCIP FUNKCE VYSÍLAČE	14
1.3 PŘIJÍMAČ.....	14
1.3.1 PRINCIP FUNKCE PŘIJÍMAČE	14
2 ATMOSFÉRICKÉ PŘENOSOVÉ PROSTŘEDÍ	15
2.1 ŠÍŘENÍ SVĚTELNÉHO PAPRSKU	15
2.1.1 VLNOVÉ DÉLKY VYUŽÍVANÉ OBS	17
2.2 PŘENOSOVÁ RYCHLOST OBS.....	18
2.3 SLOŽENÍ ATMOSFÉRY	18
2.3.1 ABSORPCE.....	20
2.3.2 ROZPTYL	20
2.3.3 ÚTLUM.....	23
2.3.4 TURBULENCE.....	24
3 SPOLEHLIVOST A DOSTUPNOST	25
4 ALTERNATIVNÍ SPOJE.....	27
4.1 OPTICKÉ VLÁKNO.....	27
4.2 RADIORELÉOVÉ SPOJE.....	28
4.2.1 MIKROVLNNÉ SPOJE.....	28
4.2.2 DRUŽICOVÉ SPOJE.....	28
4.2.3 WI-FI TECHNOLOGIE.....	29
4.3 METALICKÉ SPOJE.....	31
4.3.1 KOAXIÁLNÍ KABEL	31
4.3.2 KROUCENÁ DVOULINKA.....	32

5	VÝPOČET DOSTUPNOSTI OBS Z NAMĚŘENÝCH HODNOT	34
6	ALTERNATIVNÍ SPOJE – MĚŘENÍ	40
6.1	RADIORELÉOVÉ SPOJE	40
6.1.1	WIFI TECHNOLOGIE	40
6.2	METALICKÉ SPOJE	47
6.3	KROUCENÁ DVOULINKA	48
6.4	OPTICKÉ VLÁKNO	51
7	OPTICKÝ BEZDRÁTOVÝ SPOJ	56
8	POROVNÁNÍ	59
9	NÁVRH OBS	60
	ZÁVĚR	64
	LITERATURA	66

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr.1.1:Optický bezdrátový spoj v počítačové (páteří)síti [3].....	12
Obr.2.1:Vlnové spektrum a jeho využití [5].....	15
Obr.2.2:Složení atmosféry s místem, kde se nachází OBS [7].....	19
Obr.2.3:Raylegův rozptyl (šipka určuje směr odkud přichází rozptylové záření)[14].....	21
Obr.2.4:Mieův rozptyl [14].....	22
Obr.3.1Parametry úniku [3].....	25
Obr.4.1:Družicový spoj [27].....	29
Obr.5.1:Útlum OBS v závislosti na měřeném čase [28].....	35
Obr.5.2:Provoz OBS za dobu jednoho roku [29].....	37
Obr.5.3:Provoz na OBS za poslední měsíc [29].....	38
Obr.5.4:Umístění OBS 1 [29]	38
Obr.5.5:Umístění OBS 2 [29]	39
Obr.5.6:Umístění OBS 3 [29]	39
Obr.6.1:Zobrazení přenosové rychlosti v závislosti na čase.....	42
Obr.6.2:Zobrazení kolísání zpoždění v závislosti na čase.....	43
Obr.6.3:Celkový počet přenesených a ztracených datagramů v závislosti na čase	44
Obr.6.4:Přenosová rychlost v závislosti na čase.....	45
Obr.6.5:Zobrazení kolísání zpoždění v závislosti na čase.....	46
Obr.6.6:Zobrazení celkového počtu přenášených datagramů v závislosti na čase.....	47
Obr.6.7:Zobrazení ztracených datagramů v závislosti na čase.....	47
Obr.6.8:Přenosová rychlost v závislosti na čase.....	49
Obr.6.9:Kolísání zpoždění na čase.....	49
Obr.6.10:Celkový počet přenášených datagramů v závislosti na čase.....	50
Obr.6.11:Ztracené datagramy v závislosti na čase.....	50
Obr.6.12:Šířka pásma optického vlákna v závislosti na čase.....	53
Obr.6.13:Kolísání zpoždění v závislosti na čase.....	53
Obr.6.14:Celkový počet datagramů v závislosti na měřeném čase.....	54
Obr.6.15:Ztracené datagramy v závislosti na měřeném čase.....	54
Obr.7.1:Měřicí přístroj EXFO AXS-200.....	57
Obr.7.2: Zobrazení kolísání zpoždění v závislosti na čase [34].....	58
Obr.9.1:Umístění OBS.....	61
Obr.9.2:TereScope 700/G [35]	61

Úvod

Úkolem diplomové práce bylo seznámit se současnými možnostmi optických bezdrátových spojů, jejich výhodami a zároveň nevýhodami, zjistit jaké nepříznivé jevy ovlivňují používání optického bezdrátového spoje v praxi. Na základě znalostí těchto jevů zhodnotit jaký budou mít vliv na dostupnost a spolehlivost optického bezdrátového spoje.

Porovnat optický bezdrátový spoj s alternativními technologiemi jako jsou optické vlákno, radioreléové spoje a metalické spoje. Popsat parametry těchto jednotlivých alternativních spojů. Pak provést měření na optickém bezdrátovém spoji i alternativních spojích a porovnat jednotlivé naměřené výsledky.

Kapitola jedna je zaměřena především na popis principu optického bezdrátového spoje, výhody, nevýhody a složení hlavic optického bezdrátového spoje spolu s popisem vysílacího a přijímacího systému.

Kapitola dva rozebírá přenosové prostředí, tedy atmosféru. Popisuje vlivy jednotlivých jevů na vysílaný optický paprsek.

Kapitola tři popisuje dostupnost a spolehlivost optického bezdrátového spoje, výpočet úniku a z něho pak vycházející celkovou dostupnost.

V kapitole čtyři jsou teoreticky popsány alternativní spoje, jejich vlastnosti a teoretické přenosové parametry.

Kapitola pět je zaměřena na praktický výpočet dostupnosti optického bezdrátového spoje z naměřených údajů.

V kapitole šest jsou provedeny měření na alternativních spojích, jako jsou standardy wi-fi technologie 802.11g/n, z metalických spojů kroucená dvoulinka a posléze samostatně optické vlákno.

Kapitola sedm popisuje měření na optickém bezdrátovém spoji.

V kapitole osm je provedeno porovnání naměřených údajů optického bezdrátového spoje s údaji alternativních spojů.

Kapitola devět je zaměřena na teoretický návrh optického bezdrátového spoje spolu s rozpočtem tohoto spoje v místě mého bydliště.

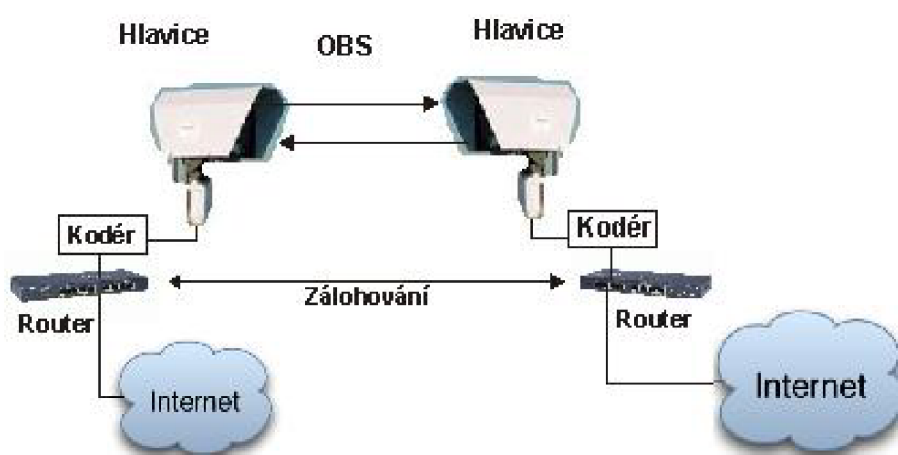
1 Optický bezdrátový spoj

V kapitole je popsán princip optického bezdrátového spoje (OBS), výhody a nevýhody jeho použití. Obsahuje také popis funkce vysílacího a přijímacího systému hlavic.

Existují dva druhy OBS, v jednom dochází k elektro-optickému převodu a druhý je plně optický OBS. Práce je zaměřena na OBS s elektro-optickým převodem.

1.1 Princip optického bezdrátového spoje

Jedná se o technologii, která pracuje na stejném principu jako optické vlákno, ale s tím rozdílem, že jako přenosové médium je použita volná atmosféra a ne vlnovod. Tato technologie má své kořeny přibližně v 60-tých letech, ale možnost využití všech vlastností OBS přichází ke slovu až v poslední době, kdy rostou požadavky na rychlost připojení a přenosovou kapacitu spojení. OBS v sobě kombinuje velkou přenosovou kapacitu optických sítí, ale i jednoduchost instalace jaká je u bezdrátových wi-fi sítí. Umožňuje využívat plně duplexní širokopásmové komunikační přenosy a to pomocí světelných paprsků o různých vlnových délkách na krátké vzdálenosti v řádech metrů, ale i na dlouhé vzdálenosti v řádech kilometrů. OBS se skládá ze dvou hlavic. Hlavice jsou vybaveny jak vysílacím, tak i přijímacím systémem, kde každá z těchto hlavic je připojena buď k serveru, ústředně, routeru nebo i osobnímu počítači (obecně k aktivnímu síťovému prvku). Blokové schéma optického bezdrátového spoje je zobrazeno na Obr.1.1. [1, 2]



Obr.1.1: Optický bezdrátový spoj v počítačové (páteřní)síti [3]

1.1.1 Výhody použití OBS

OBS spoj má řadu výhod, zde jsou popsány některé z nich:

- spojení jsou nelicencované – využívá nelicencovaná frekvenční pásma
- transparentnost – lze přenášet data různých specifikací i hlasové kanály
- přenosová rychlost – dosahuje se přenosových rychlostí až 10 Gbit/s, v praxi se používá nejčastěji 1Gbit/s, protože je cenově dostupný
- vysoká bezpečnost – pokud je dodržena nízká intenzita paprsku, nepředstavuje nebezpečí ohrožení zdravý
 - díky velmi úzkému svazku paprsků klesá možnost odposlechu, při pokusu o odposlech je nutné do paprsku vstoupit a tím dojde k přerušení, které se dá na straně přijímače detekovat
- flexibilitnost – velmi rychlá instalace případná reinstalace
- spolehlivost a dostupnost – čím kratší vzdálenost, tím větší spolehlivost z důvodu šíření světelného paprsku v atmosféře

1.1.2 Nevýhody použití OBS

OBS má ale i své nevýhody, nejzávažnější jsou:

- přímá viditelnost – nutnost přímé viditelnosti z vysílače na přijímač
- vliv atmosférických jevů – mlhy, smog, sněžení. Tyto jevy způsobují útlum výkonu světelného paprsku.
- vzdálenost – největší spolehlivost je u spojů do 500 m, ale max. vzdálenost je cca 6 km (s rostoucí vzdáleností roste vliv útlumu atmosféry)

1.2 Vysílač

Jedná se o část hlavice, ve které probíhá tvarování vyzařovaného svazku a která zabezpečuje i modulaci svazku. Vysílač se skládá z následujících bloku: budič optického zdroje, laserová dioda, zaměřovací systém, elektronický zaměřovací systém vysílací optická soustava. [3, 4]

1.2.1 Princip funkce vysílače

Optický svazek vystupující z laserové diody dále vstupuje do vysílací optické soustavy, která se stará o jeho prostorové tvarování. Pak svazek projde optickým průzorem, který je zde jako ochrana před nečistotami, které se nacházejí v atmosféře. Následuje zaměřovací systém, který je zde kvůli směrování optické osy vysílacího systému. Zaměřovací systém je ovládán buď elektronicky nebo mechanicky. K hrubému nastavení směru vysílání slouží dalekohled, který je pevně spojený s vysílačem. Součástí je i snímací fotodioda, která tvoří část pouzdra laserové led diody. Je zde použita z důvodu proudové stabilizace optického výkonu. Účinnost výkonu optické stabilizace lze zvýšit i pomocí teplotní stabilizace s využitím Peltierova chladiče.[3,4]

1.3 Přijímač

Je část hlavice, která prostřednictvím přijímací optické soustavy soustřeďuje přijatý optický svazek na aktivní plochu fotodiody. Přijímač se skládá z následujících bloků: přijímací optická soustava, fotodioda, předzesilovač, demodulátor. Je předpokládáno, že přijímač využívá fotodiodu PIN, která převede dopadající optický výkon rovnou na fotoproud, který je dále zpracován. [3]

1.3.1 Princip funkce přijímače

Dopadající optický výkon vstupuje přes optický průzor na aktivní plochu fotodiody. O soustředění tohoto výkonu se stará přijímací optická soustava. Směrování optické osy zabezpečuje stejně jako u vysílače zaměřovací systém, i zde je ovládán mechanicky nebo elektronicky. Nedílnou součástí zaměřovacího zařízení je dalekohled. Je nutné snížit vlivy záření pozadí, k tomu jsou využity interferenční filtry navrženy s ohledem na vlnovou délku, na které přijímač pracuje.[3]

2 Atmosférické přenosové prostředí

V kapitole je popsáno atmosférické přenosové prostředí, šíření světelného paprsku, ale především bude zaměřena na jevy, které mohou v atmosférickém přenosovém prostředí (APP) působit na světelný paprsek.

2.1 Šíření světelného paprsku

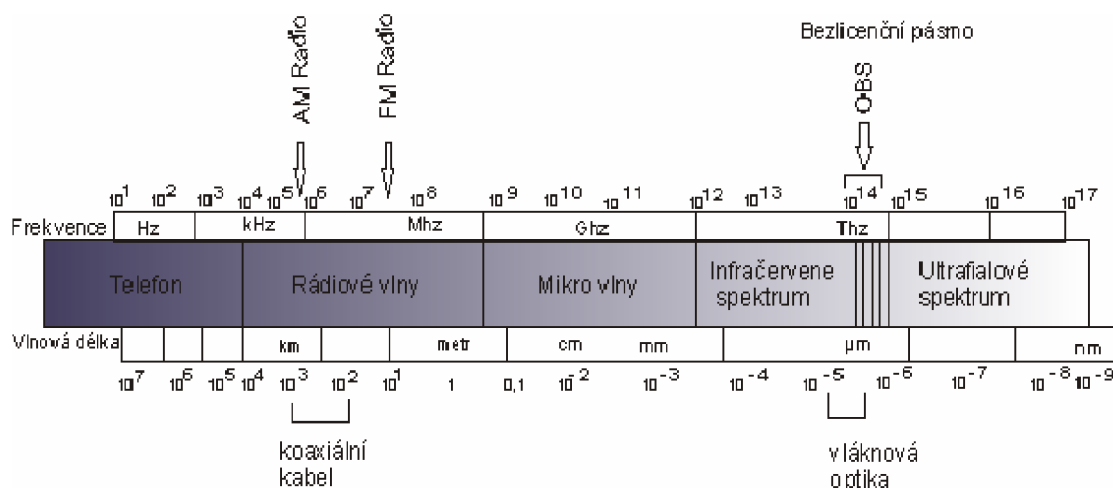
Světelný paprsek lze definovat jako elektromagnetické záření, jehož vlnové spektrum se nachází v rozmezí 10nm až 1mm.

Na Obr. 2.1. je zobrazeno vlnové spektrum a jeho možností využití. Rychlost šíření světelného paprsku v APP lze určit pomocí vztahu: [3]

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (ms^{-1}, ms^{-1}, l) \quad (2.1)$$

kde c je rychlost světla

ϵ_r je relativní permitivita atmosférického vzduchu



Obr.2.1: Vlnové spektrum a jeho využití [5]

APP má značný vliv na kvalitu přenášeného optického paprsku. APP je nestacionární a nehomogenní a jeho vliv na parametry přenosového kanálu má náhodný charakter. [3]

Základními veličinami, které ovlivňují modelování vlivu atmosférického přenosového prostředí OBS jsou: [3]

- index lomu prostředí n
- strukturální parametr indexu lomu C_n^2
- koeficient útlumu $\alpha_{1,\text{atm}}$

Tyto veličiny jsou závislé na souřadnicích prostoru, času a vlnové délce optické vlny. [3]

Tyto závislosti lze matematicky popsat takto:

- $\alpha_{1,\text{atm}} = \alpha_{1,\text{atm}}(r, t, \lambda)$
- $n = n(r, t, \lambda)$
- $C_n^2 = C_n^2(r, t, \lambda)$

2.1.1 Vlnové délky využívané OBS

V kapitole 2.1 (viz Obr. 2.1.) zobrazeno vlnové spektrum s možností využití. Podrobněji jsou rozděleny v Tab.2.1.

Tab. 2.1: Elektromagnetické spektrum s příslušnými vlnovými délkami [6]

Název vlny	Vlnová délka λ	
extrémně dlouhé vlny	$10^3 - 10^2$ km	
velmi dlouhé vlny	$10^2 - 10$ km	
dlouhé vlny (DV)	10 - 1 km	
střední vlny (SV)	1 - 0,1 km	
krátké vlny (KV)	100 - 10 m	
velmi krátké vlny (VKV)	10 - 1 m	
ultra krátké vlny (UKV)	1 - 0,1 m	
Mikrovlny	100 - 10 mm	
Mikrovlny	10 - 1 mm	
infračervené záření	1 mm – 750 nm	
	Daleké infračervené	1mm – 10 μ m
	Střední infračervené	10 μ m – 2,5 μ m
	Blízké infračervené	2500 nm – 750 nm
viditelné záření	400 -800 nm	
ultrafialové záření	400 - 10 nm	
rentgenovo záření	10 - 0,1 nm	
gama záření	$10^{-10} - 10^{-14}$ m	

Systemy OBS dnes převážně využívají vlnové délky blízké infračervenému záření. Dle použitých optických prvků se používají pro přenos dvě následující vlnové délky:

- 750 nm – 850 nm (375 THz)
- 1550 nm (194 THz)

Většina dnešních spojů pracuje na vlnové délce $\lambda = 850\text{nm}$, především kvůli cenové dostupnosti polovodičových zdrojů a detektorů optického záření. Začíná se pomalu přecházet na vlnovou délku $\lambda = 1550\text{nm}$ a to především díky výhodnějším podmínkám pro bezpečnost oka a pokožky. Lze tím podstatně zvýšit výkon laserového vysílače a přitom nedochází k žádným negativním projevům. [13]

2.2 Přenosová rychlost OBS

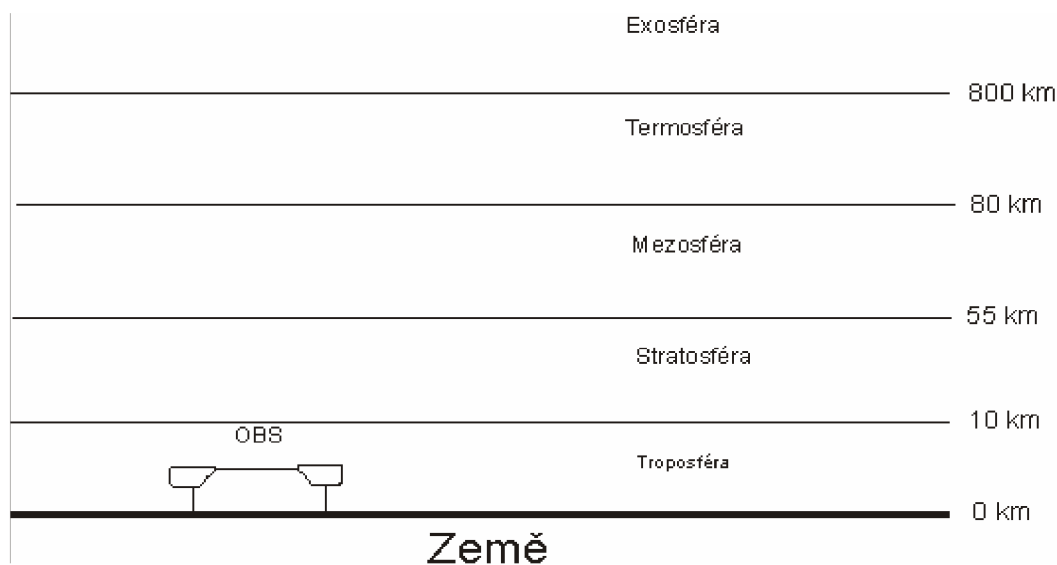
Přenosová rychlost OBS může dosahovat až hodnoty 10 GBit/s. Záleží však na použitém zařízení, vzdálenosti a přenosovém prostředí. V následující tabulce jsou jako příklad uvedeny přenosové rychlosti jednotlivých laserových pojítek od firmy MRV.

Tabulka 2.2: Laserová pojítka MRV a jejich přenosová rychlost, vzdálenost a vlnová délka

Název série	Přenosová rychlost	Max. dosah [m]	Vlnová délka [nm]
TereScope TS-10GE	10 Gbit/s	350	1528-1565
TereScope TS-5000	10-1250 Mbit/s	7000	830-860
TereScope TS-4000	1-155 Mbit/s	3000	830-860
TereScope TS-2000	2-1250 Mbit/s	4100	830-860
TereScope TS-800	10-155 Mbit/s	1900	830-860
TereScope TS-700	10-1250 Mbit/s	750	830-860

2.3 Složení atmosféry

Zemská atmosféra je složena z několika charakteristických vrstev, a to Troposféry, Stratosféry, Mezosféry, Termosféry a Exosféry, které jsou znázorněny na Obr. 2.2. Z obrázku vyplývá, že atmosférické přenosové prostředí se nachází v nejnižší vrstvě, tedy v Troposféře.[3]



Obr.2.2 : Složení atmosféry s místem, kde se nachází OBS [7]

Troposféra je charakteristická hlavně tím, že zde vodní páry podléhají kondenzaci, tvoří se zde oblaka, mlha, bouřky, větry, větrné turbulence projevuje se vliv deště a sněhu. [7]

Díky mechanickému působení a teplotnímu gradientu dochází k tomu, že teplota a tlak ovzduší v troposféře se mění v závislosti jak na prostoru, tak i času. Na optický svazek, který tímto prostředím prochází tak působí nepříznivé jevy, díky kterým podléhá tvarovým a energetickým změnám. [4]

Těmito jevy mohou být :

- Extinkce optické intenzity
- Fluktuace optické intenzity
- Krátkodobé přerušení svazku
- Absorpce
- Záření pozadí

Vždy dochází ke společnému působení těchto jevů na optický svazek (fluktuace optické intenzity vyvolá extinkce optické intenzity). [4]

2.3.1 Absorpce

Absorpce se objevuje, když v APP roste obsah molekul vody a zanikají fotony. To způsobuje, že dojde k poklesu hustoty přenášeného výkonu a přímo se tak ovlivní dostupnost systému. [9]

2.3.2 Rozptyl

Rozptyl nás informuje o povaze světla, která se snaží projít přenosovým prostředím, tedy atmosférou. Rozptyl světla může výrazně ovlivnit výkonnost systému OBS. Rozptyl není spojen se ztrátou energie kvůli pohlcováním světla. Spíše to může být chápáno jako přeměrování nebo přerozdělení světla, které může vést k významnému snížení intenzity světla obdrženého v přijímači. [10]

Rozptylů existuje několik charakteristik v závislosti na velikosti částic. Jeden popis je uveden jako $x_0 = 2\pi r / \lambda$, kde λ je vlnová délka přenosu a r je poloměr částic. Pro $x_0 \ll 1$ je rozptyl v režimu Rayleigh, pro $x_0 = 1$ je v režimu Mie a pro $x_0 \gg 1$ je rozptyl v režimu geometrické optiky. [10]

Rayleighův rozptyl

Je to rozptyl světla na molekulách plynu, případně na jiných částicích, které jsou daleko menší než vlnová délka. Rayleighův klasický vzorec pro rozptyl je: [11, 10]

$$I_{\theta} = I_0 * \frac{\pi^2 * \alpha^2}{2 * \epsilon_0^2 * \lambda^4} * \frac{F(\theta)}{r^2} \quad (2.2)$$

Kde:

- I_{θ} je intenzita světla rozptýleného jednou částicí (molekulou) pod úhlem θ ,
- I_0 celková intenzita dopadajícího (primárního) záření,

- ε_0 permitivita vakua ($8,85419 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2 \text{ J}^{-1} \text{ m}^{-1}$),
 α polarizovatelnost z Clausiovy-Mossottiovy rovnice pomocí indexů lomu disperzního podílu (n_1) a čistého disperzního prostředí (n_0),

$$\alpha = 3 \varepsilon_0 \cdot v \cdot \frac{n_1^2 - n_0^2}{n_1^2 + 2 n_0^2}$$

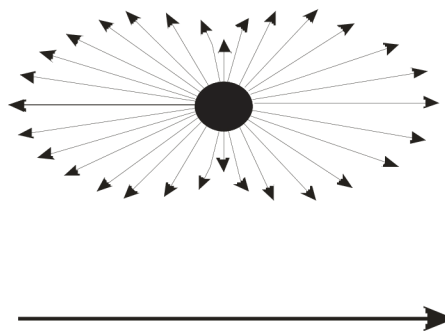
- λ vlnová délka
 r vzdálenost detektoru měřícího intenzitu
 Θ úhel pozorování,
 $F(\theta)$ je funkce úhlu pozorování, jejíž tvar závisí na charakteru primárního paprsku

Dochází tedy k tomu, že více rozptyluje světlo krátkých vlnových délek.

Rozptyl slunečního záření na částicích, jež jsou ve srovnání s molekulami o několik řádů větší, má vzhledem k vlnové délce neutrální charakter, tzn. že různé vlnové délky jsou stejně účinně rozptylovány a rozptýlené světlo má přirozenou bílou barvu. Z těchto skutečností okamžitě vyplývá vysvětlení modré až modrofialové barvy bezoblačné oblohy, působené slunečním zářením rozptýleným především molekulami vzduchu, a bílé barvy Sluncem ozářených oblaků, neboť v tomto případě vnímáme sluneční záření rozptýlené aerosolovými částicemi (oblačnými kapkami nebo ledovými částicemi). [12]

Další rozdíl mezi rozptylem slunečního záření na molekulách vzduchu a na větších aerosolových částicích spočívá v odlišném rozdělení účinnosti rozptylu do různých směrů vzhledem ke směru dopadajících přímých slunečních paprsků. [12]

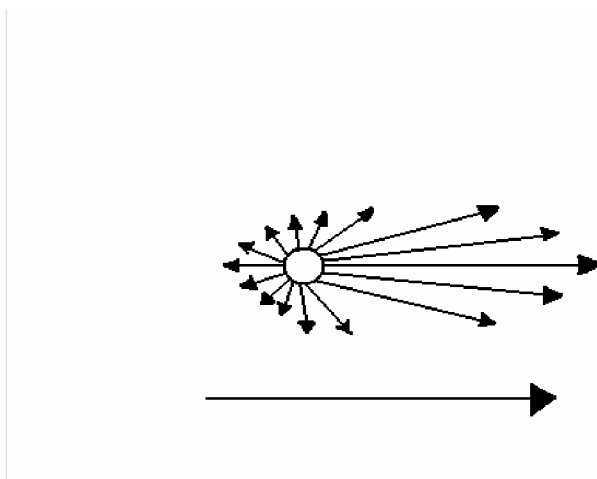
Na Obr. 2.3 je vidět že malé částice rozptylují světlo do všech stran.



Obr. 2.3: Raylegův rozptyl (šipka určuje směr odkud přichází rozptylové záření) [14]

Mieuv rozptyl

K tomuto jevu dochází, když světlo dopadne na kapičku vody, aerosolovou či jinou částici v atmosféře, jejíž průměr je přibližně stejný jako vlnová délka světla. Je to silně proměnná složka extinkce, protože „zaprášenosť“ atmosféry je vždy jiná. Na Obr. 2.4 je znázorněn rozptyl světla. [14]



Obr.2.4: Mieův rozptyl [14]

Meteorologická vzdálenost V_M

Meteorologická vzdálenost je definovaná jako vzdálenost při níž nabývá propustnost atmosférického přenosového prostředí hodnot $T=0,05$ což jsou 5 procenta (při vlnové délce $\lambda=555\text{nm}$). Vzorec, pomocí kterého zjistíme propustnost má následující: [3]

$$T = \frac{I_2}{I_1} = e^{-\alpha_e \Delta z} \quad (-) \quad (2.3)$$

Kde $\Delta z = V_M$

Úpravou vztahu získáme koeficient extinkce α_e [3]

$$\alpha_e = \frac{3,91}{V_M} \quad (\text{km}^{-1}; \text{km}). \quad (2.4)$$

Obecně lze napsat že pro různou délku vlny platí :[3]

$$\alpha_e(\lambda) = \frac{3,91}{V_M \left(\frac{555}{\lambda} \right)^q}; \quad (km^{-1}; km, m) \quad (2.5)$$

2.3.3 Útlum

Na velikost útlumu má hlavní vliv vzdálenost mezi přijímačem a vysílačem. Čím větší je vzdálenost, tím větší je útlum světla v atmosféře. Útlum se razantně zvyšuje např. smogem, deštěm, sněhem a především mlhou. [2]

Koeficient útlumu v atmosférickém přenosovém prostředí je definován vztahem: [3]

$$\alpha_{1,APP} = \frac{-1}{L_{APP}} * 10 \log \frac{I_2}{I_1} \quad (dB) \quad (2.6)$$

V následující tabulce jsou porovnány hodnoty koeficientu útlumu v závislosti na stavu atmosféry .[3]

Tab. 2.3 : Atmosférický útlum v závislosti na stavu atmosféry [5]

$\alpha_{1,APP}[dB.km^{-1}]$	Stav atmosféry
0-3	Čistá
3-6	Opar, slabý déšť
6-17	Slabá mlha, silný déšť
6-26	Sníh
20-30	Lehká mlha
50-100	Silná mlha
300-400	Mraky

2.3.4 Turbulence

Zejména díky atmosférickým turbulencím může degradovat výkon OBS v rozsahu 1 km a větší. Díky mechanickým a teplotním jevům, které působí v atmosféře dochází k proudění vzduchu. Nehomogenity v teplotě a tlaku atmosféry vedou ke změnám indexu lomu podél přenosové cesty. Tyto nehomogenity indexu můžou zhoršit kvalitu přenášeného optického výkonu. Může dojít k výkyvům intenzity a fáze přijímaného signálu, což může vést ke zvýšené pravděpodobnosti vzniku chyb a omezení výkonu komunikačních systémů. [13]

Mechanická turbulence – vzniká třením proudícího vzduchu o zemský povrch[13]

Teplotní turbulence - nestabilní teplotní vrstvení [13]

Parametr, který je nezbytný pro určení síly turbulence se nazývá strukturní parametr indexu lomu, který má tvar:

$$C_n^2 \left(m^{-\frac{2}{3}} \right) \quad (2.7)$$

V Tab.2.4 je zobrazeno rozdělení síly turbulence podle strukturního parametru indexu lomu. [3]

Tab. 2.4: Míra turbulence podle stavu atmosférického přenosového prostředí [3]

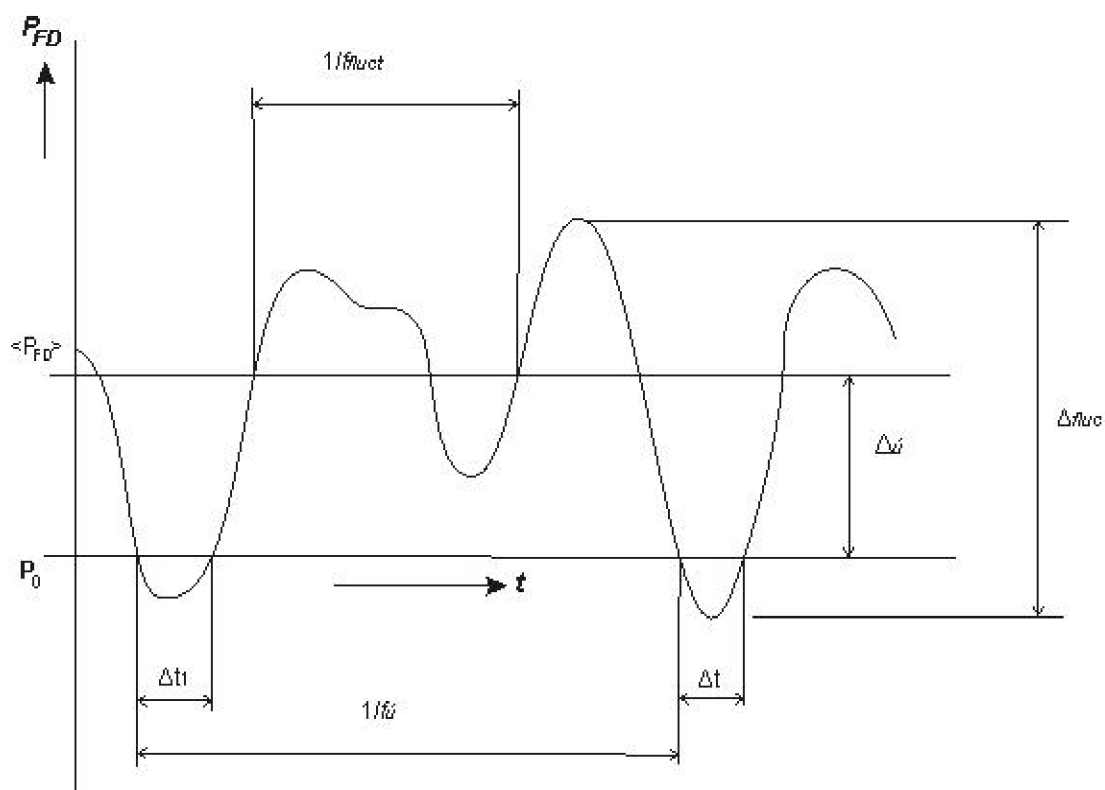
$C_n^2 \left(m^{-\frac{2}{3}} \right)$	Míra turbulence
10^{-14}	Slabá
10^{-13}	Střední
10^{-12}	Silná

3 Spolehlivost a dostupnost

Spolehlivost je nepřímo úměrně závislá na vzdálenosti vysílače s přijímačem. Platí, že čím kratší je vzdálenost, tím větší je spolehlivost. Jak uvádí někteří výrobci, tak se jedná o několik stovek metrů, ale při stabilním počasí a čisté atmosféře se může jednat až o vzdálenosti v kilometrech. Vhodné dimenzování spoje je hlavní otázkou, která se musí při realizaci OBS řešit. [1, 15]

Největší problém, který může vzniknout při realizaci je hustá mlha, tento problém se dá odstranit např. instalací vhodného záložního spoje. [15]

Když dojde k poklesu přijímaného výkonu, pod stanovenou minimální citlivost přijímače vznikne tzv. únik. Únik a jeho parametry jsou zobrazeny na Obr. 3.1. Únik značí to, že spojení mezi vysílačem a přijímačem je nedostupné. [3]



Obr.3.1 Parametry úniku [3]

Jednotlivé parametry v grafu jsou:

P_{FD} - optický výkon na fotodiodě přijímače, P_0 - citlivost přijímače, f_{fluct} - frekvence fluktací,
 f_i - frekvence úniku, Δ_{fluk} - dynamika fluktuací, Δ_i - hloubka úniku, t - čas,
 Δt_i - časové intervaly, kdy je úroveň optického výkonu na fotodiodě menší než požadovaná.[3]

Při ohodnocování spoje se uvádí relativní časový interval p (v %) během něhož došlo k úniku. Zjistíme ho z rovnice: [3]

$$p = \frac{\sum_i \Delta t_i}{T} * 100, \quad (\%) \quad (3.1)$$

kde T je celkový časový interval měření (obvykle se používá delší časové období, např. rok).

Dostupnost spoje tedy zjistíme tak, že odečteme vypočtené procento úniku od 100%. V ideálním případě by měla vyjít hodnota 99,999 %. Toho se docílí použitím vhodného zálohování spoje např. rádiovým spojem.

4 Alternativní spoje

V kapitole jsou v teoretické rovině popsány alternativní přenosové technologie, jejich vlastnosti a přenosové parametry. Jedná se zejména o spoje jako optické vlákno, rádiové a metalické spoje. V rádiových spojích jsou zahrnuty mikrovlnné, družicové spoje, technologie wi-fi a v metalických spojích je to koaxiální kabel a kroucená dvoulinka.

4.1 Optické vlákno

Optické vlákno a OBS pracují na stejném principu s tím rozdílem, že přenosové prostředí pro OBS je volná atmosféra a pro optické vlákno je to vlnovod.

Optická vlákna dělíme na jednovidová a vícevidová. Jednovidová vlákna jsou využívána především při přenosu dat na větší vzdálenosti (dálková vedení). Vícevidová jsou využívána na mnohem menší vzdálenost (do 2km). V Tab. 4.1 jsou parametry jednovidových a mnohavidových vláken. [21, 23]

Tab. 4.1 : Optická vlákna parametry [23]

	Vlnová délka λ	A [dB/km]	Pásmo [MHz.km]	Použití	Vzdálenost
jednovidová	1350nm; 1550nm	0,35 0,25	10^4 - 10^5	Dálkové vedení 2,5-40Gbit/s	Až 100km
vícevidová	850nm	5-10	6-50	10Gbit/s;	Do 300m
				1Gbit/s;	500-600m
				100Mbit/s	600m-2km

Dalo by se říci, že jediný rozdílem je přenosové prostředí. Technologie optického vlákna je využívána častěji než OBS. Někdy použití optického vlákna bývá příliš nákladné, stavebně nemožné a proto se používá OBS. Především z důvodu zachování stejně přenosové rychlosti jako u optického vlákna.

OBS má i své slabé stránky, je to především ono přenosové prostředí- atmosféra. Na vysílaný paprsek působí spousta nepříznivých jevu, nejhorší z těchto vlivů je mlha, která má velký vliv na útlum výkonu paprsku. [2]

4.2 Radioreléové spoje

Kapitola je zaměřena především na seznámení s radioreléovými spoji, jako jsou mikrovlnné spoje, družicový spoj a technologie wi-fi, jejich vlastnosti a přenosové parametry, jako jsou například použité frekvence (viz Obr. 2.1).

4.2.1 Mikrovlnné spoje

Mikrovlnné spoje využívají elektromagnetické vlny o extrémně krátké vlnové délce, která je nepřímo úměrná velké frekvenci. Spoje pracují jak v licencovaném, tak i bezlicenčním pásmu. V praxi se používají frekvenční pásma od 1 do 12 GHz (vlnové délky přibližně 30 až 2,5 cm). Existují i spoje pracující v pásmu 11-38 GHz, 24 GHz ale i 80 GHz. Vlny o takto vysoké frekvenci lze pomocí vhodných parabolických vysílacích antén soustředit do úzkého paprsku, a ten nasměrovat na přijímací anténu. Paprsek pak vykazuje minimální rozptyl, dovoluje používat relativně malý výkon vysílače a je velmi odolný vůči rušení. Je nutná přímá viditelnost přijímače a vysílače. [24, 25]

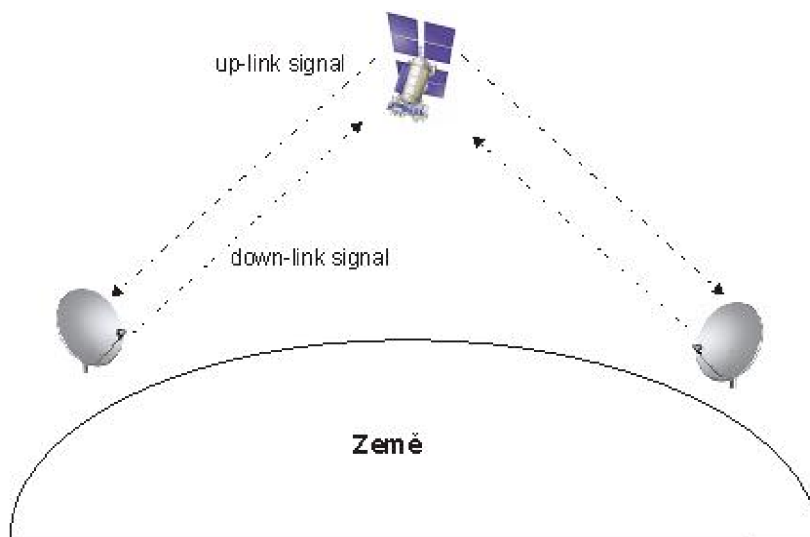
Tab. 4.2 : Porovnání mikrovlnných spojů [26]

	Frekvenční pásmo [GHz]	Max. přenosová kapacita [Mbit/s]	Vzdálenost [km]
Mikrovlnný spoj 10,5 GHz	10,3 až 10,6	155	40
Mikrovlnný spoj 5,4 GHz	5,4 až 5,7	Až 18	Jednotky km
Mikrovlnný spoj 11-38 GHz	11 až 38	376	Jednotky km
Mikrovlnný spoj 80 GHz	74-76 až 84-86	1250	2*

*povolená délka spoje je podle VO omezena

4.2.2 Družicové spoje

Družicový spoj využívá tzv. geostacionární družice, které se pohybují ve výšce zhruba 36000 km nad zemí. Rozlišujeme pasivní a aktivní družice. Pasivní fungují pouze jako „odrážeč“ signálu, kdežto aktivní přijímaný signál převedou do jiného frekvenčního pásma, zesílí a pošlou zpět k Zemi. Na Obr. 4.1 je ukázka družicového spoje. [27]



Obr. 4.1: Družicový spoj [27]

Družicové spoje používají různá frekvenční pásma. Je to C-pásmo a Ku-pásmo. V C-pásmu se vysílá ze Země k družici na frekvenci 6 GHz, a v opačném směru dochází k vysílání v pásmu 4 GHz. K tomu jsou zapotřebí relativně velké antény. Ku-pásmo pracuje s vyššími frekvencemi (12-24 GHz), což umožňuje používat rozměrově menší antény (60-100 cm). Pomocí družicových spojů lze vytvořit přenosové kanály a okruhy širokého spektra přenosových rychlostí (několik desítek až stovek megabitů za sekundu), které se svými vlastnostmi plně vyrovnají pozemním kabelovým spojům a v mnohém je i předčí. Družicové spoje však mají i své nevýhody. Tou nejvýraznější je zpoždění, které při přenosu vzniká. [27]

Ze Země na geostacionární družici a zpět dorazí signál přibližně za 250 až 300 ms (podle místa na Zemi odkud byl vyslán a v kterém byl přijat). Bude-li se čekat ještě na potvrzující odpověď, která nemůže přijít dříve než za cca 500-600 milisekund, což je velmi dlouhá doba. [27]

4.2.3 Wi-Fi technologie

Jde o bezdrátovou technologii, která pracuje v bezlicenčním nekoordinovaném pásmu 2,4 GHz a pásmu 5 GHz. Pro pásmo 2,4 GHz platí standardy 802.11b,g a 5 GHz 802.11a. Standard 802.11n může pracovat v obou pásmech. [17]

802.11a

Jde o standard s dalšími doplňky pro lokální bezdrátové sítě. Tento standard pracuje v pásmu 5 GHz a využívá modulaci OFDM. Je méně náchylný na vysokofrekvenční rušení než standardy 802.11b a 802.11g. Má kratší dosah než standardy 802.11b a 802.11g (asi 60m). Maximální přenosová rychlost na fyzické vrstvě je 54 Mbit/s. Reálná uživatelská rychlost se však pohybuje do 25 Mbit/s. [16, 20]

802.11b

Pracuje v pásmu 2.4 GHz a maximální nominální rychlostí 11 Mbit/s. Reálná přenosová rychlost však dosahuje hodnot maximálně 4,3 Mbit/s. [17]

802.11g

Jedná se o wi-fi standard, který rozšiřuje standard 802.11b, se kterým je kompatibilní. Pracuje v pásmu 2.4 GHz. Stejně jako 802.11b může podporovat maximálně 3 nepřekrývající se kanály. Udávaná maximální nominální rychlost je 54 Mbit/s, což odpovídá reálné přenosové rychlosti zhruba 22 Mbit/s. V závislosti na použité modulaci lze dosahovat na fyzické vrstvě různých přenosových rychlostí, jak je uvedeno v Tab. 4.3. Podobnost 802.11b a 802.11g je i v dosahu vzdáleností. U stejných rychlostí umožňuje přístup k datům až 100m od základny, při větších rychlostech dosah u 802.11g klesá až ke 30 metrům. [16, 18]

Tab. 4.3: Rychlosti 802.11g v závislosti na modulaci [16]

Modulace	Rychlost [Mbit/s]
DSSS	2,1; 5,5; 11
BPSK	6; 9
QPSK	12; 18
16-QAM	24; 36; 48; 54

802.11n

Standart, který si klade za cíl upravit fyzickou vrstvu a část linkové vrstvy, takzvanou MAC (Media Access Control) podvrstvu tak, aby se docílilo reálných přenosových rychlostí přes 100 Mbit/s. Navazuje na předchozí standardy 802.11 přidáním MIMO (multiple input, multiple output). Standart může pracovat jak v pásmu 2,4 GHz tak i 5 GHz. Maximální nominální přenosová rychlost je 600 Mbit/s. Reálná přenosová rychlost je maximálně 140 Mbit/s až na vzdálenost 250 m.[17,20]

V následující Tab. 4.4 jsou porovnány jednotlivé standardy. Jejich přenosová rychlost, dostupnost a používaná modulace. [20]

Tab. 4.4: Porovnání jednotlivých standardů [20]

Standart	Vydání	Pásmo [GHz]	Teoretická rychlost na fyzické vrstvě [Mbit/s]	Reálná rychlost na aplikační vrstvě [Mbit/s]	Modulace	Dosah indoor [m]	Dosah Outdoor [m]
802.11b	1999	2,4	11	4,3	DSSS	38	140
802.11a	1999	5	54	25	OFDM	35	120
802.11g	2003	2,4	54	22	OFDM	38	140
802.11n	2009	2,5 + 5	600	74-140	SDM+OFDM	70	250

4.3 Metalické spoje

Kapitola je zaměřena především na popis koaxiálních kabelu a kroucené dvoulinky. Jsou zde popsány jejich vlastnosti a přenosové parametry.

4.3.1 Koaxiální kabel

Koaxiální kabel tvoří vnitřní vodič (měděný nebo postříbřený), na který je nanášena izolační vrstva dielektrika. Na této vrstvě je pak nanášeno vodivé opletení, které je překryto další izolační vrstvou - pláštěm. [21]

Dělíme jej na dva druhy, a to tenký a tlustý koaxiální kabel. Existují dvě verze Ethernetu pro koaxiální kabel. Jimiž jsou 10Base5 a 10Base2 jejichž parametry jsou zobrazeny v Tab. 4.5.[19]

Tab. 4.5 : Porovnání tenkého a tlustého koaxiálního kabelu

	Ethernet	Přenosová rychlost[Mbit/s]	Max. délka segmentu [m]	Impedance [Ω]
Tenký koaxiální kabel	10Base5	10	185	50
Tlustý koaxiální kabel	10Base2	10	500	50

Koaxiální kabel se již dnes využívá jenom velmi zřídka a to díky své malé přenosové rychlosti. Stále je ale používán především pro rozvody CATV(antény), ve sdělovacích sítích, pro rozvody kabelové televize nebo v rámci sítí HFC. [21]

4.3.2 Kroucená dvoulinka

S kroucenou dvoulinkou se v praxi lze setkat velmi často především v rámci „počítačových“ rozvodů. Její použití je omezeno vzdáleností. Používá se převážně na kratší vzdálenosti v rozsahu desítek metrů, maximálně však 100 metrů. [21]

Tab. 4.6: Kategorie kroucené dvoulinky spolu s parametry

Kategorie	Vzdálenost [m]	Kmitočet [MHz]	Standard	Přenosová rychlost [Mbit/s]
CAT 3	100	16	10Base-T, 100Base-T4	10
CAT 4	100	20	10Base-T, 100Base-T4	16
CAT 5, 5E	100	100-120	100BASE-TX, 1000BASE-T	1000
CAT 6	100	500	10BASE-T, 100BASE-TX, 1000BASE-T/TX, 10GBASE-T	10000

Přenosová rychlost, kterou v praxi na kroucené dvoulince můžeme dosáhnout, je závislá i na tom, kolik párů (dvojic vodičů, resp. dvoulinek) použijeme. Dnešní nejpoužívanější kategorie kabeláže CAT 5, 5E a CAT 6 se skládají ze dvou nebo čtyř párů kroucené dvoulinky v závislosti na využitém standardu.

5 Výpočet dostupnosti OBS z naměřených hodnot

Dostupnost OBS je závislá na spoustě vlivů. Jako jsou vzdálenosti vysílače a přijímače, stabilitě počasí a také čistotě ovzduší. Podle jednotlivých výrobců se může jednat o vzdálenosti od několika stovek metrů až po několik kilometrů (viz Kapitola 3).

Pro výpočet dostupnosti byly použity hodnoty změřené na modelu OBS TereScope 700/G od firmy MRV. Tento OBS je teoreticky schopen pracovat s přenosovou rychlostí až 1 Gbit/s na fyzické vrstvě.

Základní parametry udávané výrobcem:

- Vlnová délka - 850 nm
- Útlum – záleží na vzdálenosti hlavic a stavu atmosféry viz Tab 5.1
- Datové protokoly - Giga bit-Ethernet, Fiber Channel

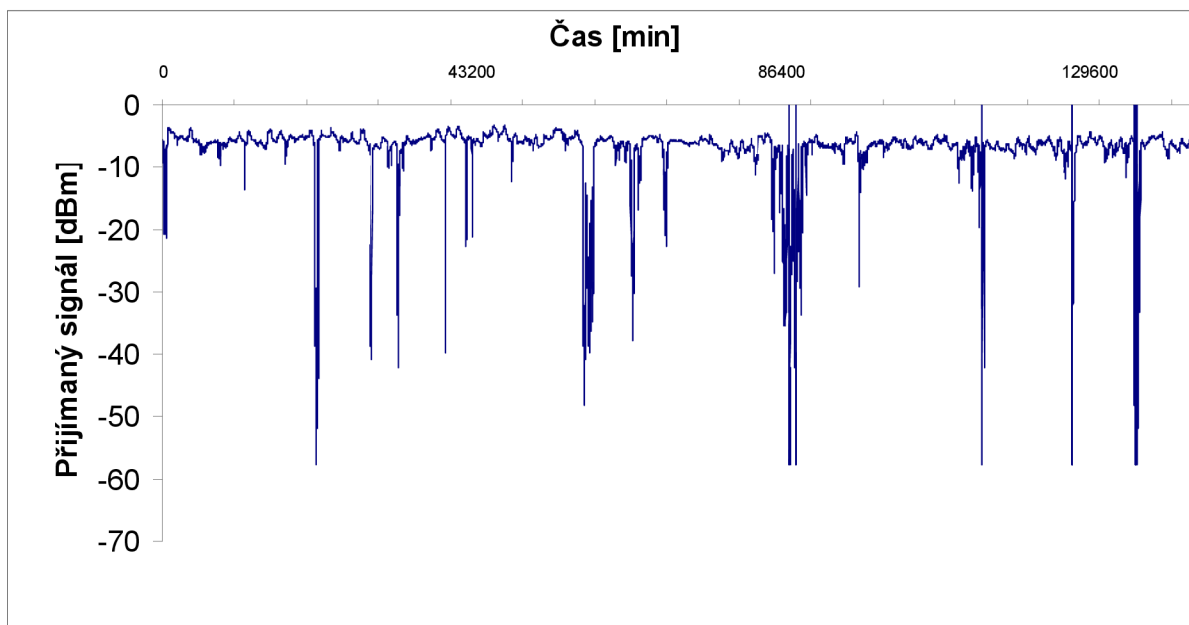
Tab. 5.1 : Dosah v závislosti na útlumu atmosféry

Vzdálenost [m]	Útlum atmosféry [dB/km]
1100	3
950	5
730	10
570	17
425	30

Vysílací a přijímací hlavice měřeného OBS jsou od sebe vzdáleny 200 metrů. Na hlavicích byla měřena hodnota RSSI přijímaného signálu v mV v intervalech 5 minut po celkovou dobu měření, tedy 110 dnů. Naměřené hodnoty byly vyneseny do grafu (Obr. 5.1). V Tab.5.2 jsou uvedeny příklady naměřených hodnot. Z hodnot byla pak vypočtena celková dostupnost spoje pro měřenou dobu. OBS byl považován za nedostupný pokud přijímaný signál překročil mezní hranici - 33 dBm, která byla stanovena jako mezní dostupnost. Pokud klesne útlum pod tuto hranici dojde k tzv. úniku (viz Kap.3).

Tab. 5.2: Příklad naměřených hodnot útlumu na OBS

Čas[min]	Přijímaný signál [dBm]
5	-9,21885
10	-8,23912
15	-6,51193
20	-7,89846
25	-6,48823
30	-6,94996
...	...
...	...
145440	-5,8937
145445	-6,0498
145450	-5,98256
145455	-5,87163



Obr. 5.1: Útlum OBS v závislosti na měřeném čase [28]

Z celkového počtu 29091 hodnot přijímaného signálu, jež byly při měření zjištěny došlo k překročení mezní hranice 551 krát. Pomocí rovnice (3.1) se v matlabu vypočetl únik.

Velikost úniku tedy je:

$$p = \frac{\sum_i \Delta t_i}{T} * 100 = \frac{551}{29091} * 100 = 1.894\%$$

Jakmile je známa velikost úniku, je možné vypočítat hodnotu dostupnosti spoje pro měřeném období. Dostupnost se vypočte tak, že se zjištěné procento úniku odečte od 100 %.

Dostupnost tedy je:

$$100\% - 1,894\% = 98,106\%$$

Velikost dostupnosti by měla v ideálním případě dosahovat hodnoty 99,99 % a vyšší. Takto vysokého procenta dostupnosti lze dosáhnout např. volbou zálohovacího spoje pro případ nedostupnosti OBS.

Dostupnost měřeného OBS tedy nedosahuje ideálních hodnot. To může mít na svědomí např. ranní výskyt mlh, hustý déšť nebo přerušení světelného svazku letícím ptákem.

Z těchto důvodů je vhodné při využití OBS zvolit i vhodný zálohovací spoj. V praxi se nejčastěji kombinuje OBS s některým z wi-fi standardů.

Jako příklad dosažení 100 % dostupnosti byl použil OBS TereScope 5000 také od firmy MRV. Vzdálenost mezi hlavicemi je 1000 metrů.

Parametry modelu TereScope 5000:

- Vlnová délka – 850 nm
- Útlum – záleží na vzdálenosti hlavic a stavu atmosféry (Tab.5.3)
- Datové protokoly – Fast Ethernet, ATM, OC3, STM1, E3, T3, OC1/STM0

Tab. 5.3 : Dosah v závislosti na útlumu atmosféry

Vzdálenost [m]	Útlum atmosféry [dB/km]
5500	3
4100	5
2700	10
1850	17
1200	30

Tento OBS je v provozu od května roku 2009. Intenzita provozu za celou dobu je zobrazena na Obr. 5.2, kde jsou uvedeny maximální a minimální dosažené hodnoty na vstupu a výstupu.

Na dalším obrázku je zobrazen provoz za poslední měsíc (Obr. 5.3) spolu s dosaženými maximálními a minimálními hodnotami.

Popis položek na obrázcích :

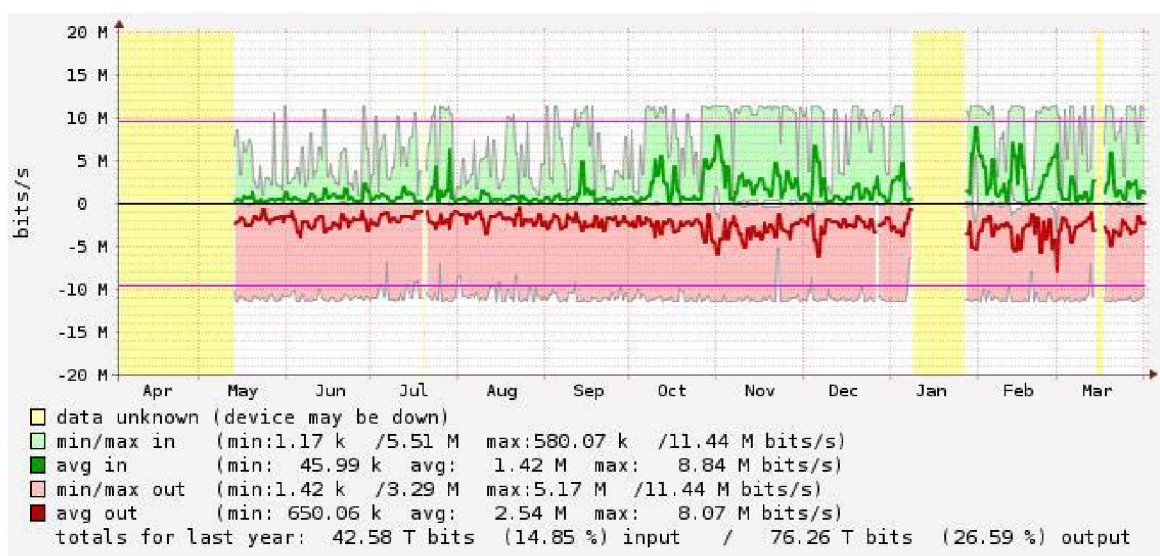
žlutá – neznámá data, výpadek klienta sledujícího provoz

Světle zelená - min/max hodnoty přenosové rychlosti na vstupu

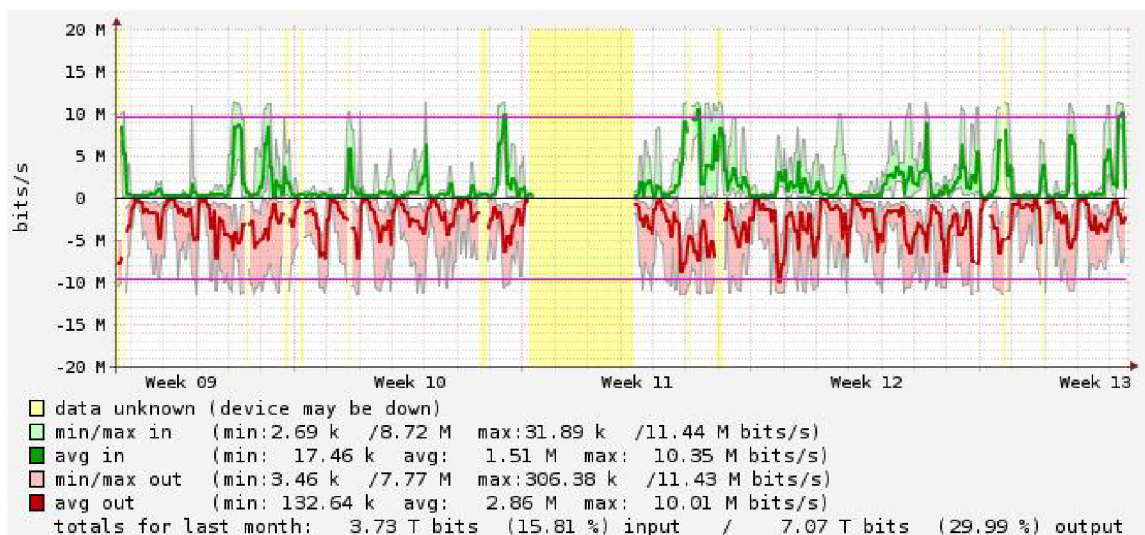
Zelená - průměrná hodnota přenosové rychlosti na vstupu

Růžová - min/max přenosová rychlost na výstupu

Červená - průměrná hodnota přenosové rychlosti na výstupu



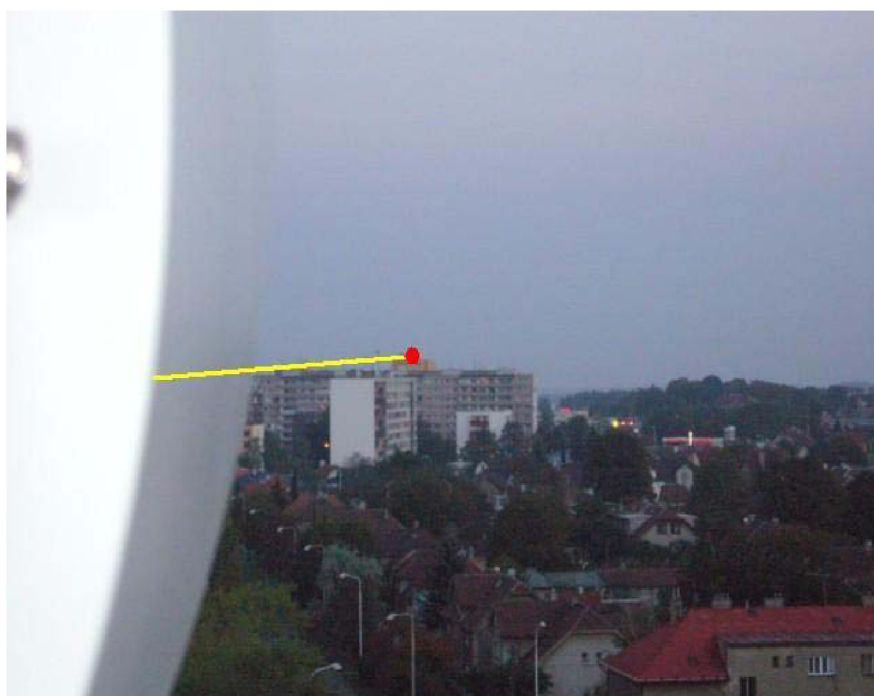
Obr. 5.2 : Provoz OBS za dobu jednoho roku [29]



Obr. 5.3 : Provoz na OBS za poslední měsíc [29]

Prázdná místa jednotlivých obrázků neznamenají výpadek provozu, došlo pouze k výpadku programu, který zaznamenává provoz na spoji.

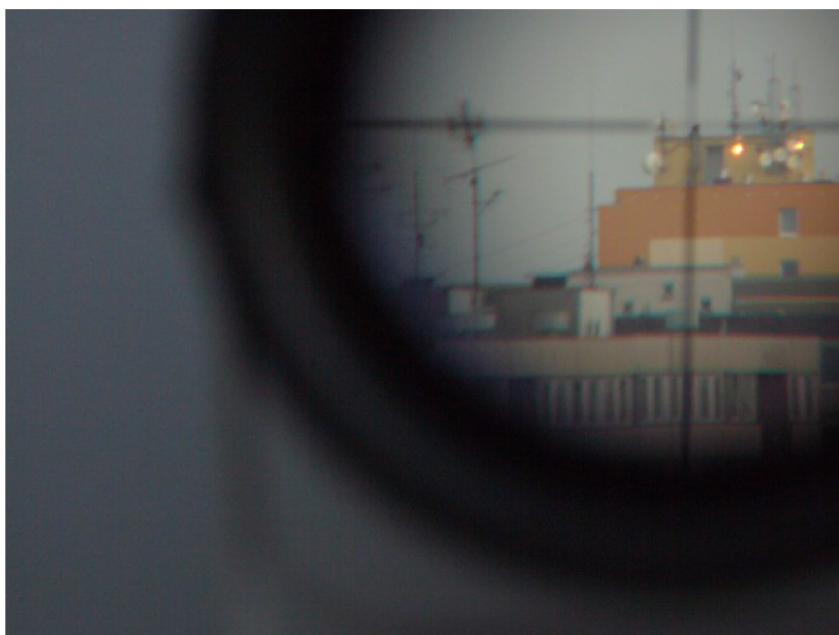
OBS dosáhl vysokého procenta dostupnosti i bez zálohování některým alternativním spojem. Jeden z důvodů dosažené spolehlivosti může být i příznivé počasí a čistota atmosféry. Lokalita, kde je spoj instalován, je převážně nížinného rázu. OBS se nachází v Kladně, přesněji Kladno-střed a je umístěn na střeše dvou panelových domů. K výskytu mlh zde dochází velmi málo, díky čemuž dosahuje dostupnost ideálních hodnot.



Obr. 5.4 : Umístění OBS 1 [29]



Obr. 5.5: Umístění OBS 2 [29]



Obr. 5.6: Umístění OBS 3 [29]

6 Alternativní spoje – měření

V kapitole budou provedena měření parametrů alternativních spojů jakými jsou rádiové, metalické spoje a optické vlákno.

6.1 Radioreléové spoje

Kapitola je zaměřená především na technologii wi-fi a její jednotlivé standardy, na kterých byla provedené měření k určení přenosové rychlosti, kolísání zpoždění a ztrátovosti datagramů.

6.1.1 Wifi technologie

U wi-fi technologie byl kladen důraz především na porovnání standardů 802.11g a 802.11n. Bylo provedeno měření pro určení maximální přenosové rychlosti, kolísání zpoždění a měření, které určuje celkový počet přenesených datagramů a také počet ztracených datagramů. K měření byl využit program jperf verze 2.0.0.

Jperf:

Program jperf je běžně používaný síťový testovací nástroj pro vytváření TCP, UDP datových toků a měření propustnosti sítě. Jperf umožňuje uživateli nastavit různé parametry, které mohou být použity pro testování sítě, nebo alternativně pro optimalizaci a ladění sítě. Má funkci klienta a serveru. Je to open source software a běží na různých platformách včetně Linux a Windows. [30]

Pokud je jperf používán pro měření UDP kapacity, umožňuje specifikovat velikost datagramu, a poskytuje výsledky propustnosti a ztrát datagramu. [30]

802.11g

Pro měření standardu byla zprovozněna „domácí“ síť. Tato síť byla složena ze dvou 12 dB klientských antén pracujících na frekvenci 2400-2500 Mhz, vzdálenost antén byla cca 30 metrů, dvěma miniaturními 2,4 GHz outdoorovými klienty Bullet, které lze jednoduše připevnit přímo k anténě, čímž odpadá potřeba použití ztrátového koaxiálního kabelu

(parametry v Tab. 6.1). Dva PoE adaptéry, které slouží pro napájení outdoorového klienta Bullet a dvojící PC, kdy jeden simuluje serverovou část a druhý klientskou. Pro měření byl připojen pouze jeden klientský PC.

Tab. 6.1 : Parametry outdoorového klienta

Parametry	
Frekvence:	2412 - 2462 MHz
LAN port:	1x RJ45 10/100 Mbit/s
Max. výstupní výkon:	20dBm
Modulace:	DSSS, OFDM
Napájení:	Pouze po Ethernetu 12-24 V
Procesor:	MIPS 4KC, 180MHz
RAM:	16 MB
Šifrování:	WEP 64, WEP 128, WPA, WPA2, 802.1X
Přenosová rychlost:	1, 2, 6, 11, 24 ,36, 48, 54 Mbit/s
Normy:	802.11b/g

Hardwarová konfigurace obou PC:

Klient: Compaq nx6125

CPU - Mobile AMD Sempron™ 3100+ 1.80GHz

Paměť – DIMM 1 = 1 GB 166MHz; DIMM 2 = 256 MB 166 MHz

Síťová karta – Broadcom NetLink (TM) Gigabit Ethernet

Základní deska – Hewlett-Packard 308B Chipset ATI Xpress 200

Server: CPU - Intel Celeron D 3,06 GHz

Paměť – 512 MB 200MHz

Základní deska – Gigabyte 8I865GME-775-RH

Realtek RTL8139 Family PCI Fast Ethernet NIC

Na oba PC byl nainstaloval program jperf, nastaven a posléze provedena měření. Je potřeba nastavit jak „serverovou“ tak i „klientskou“ část.

Nastavení programu jperf na „serverovém“ pc:

Choose iperf mode ---> server

Transport layer options ---> Choose the protokol to use ---> UDP

Nastavení programu jperf na „klientském“ pc:

Choose iperf mode ---> klient

Choose iperf mode ---> Server address ---> zadá se ip adresa serveru

Application layer options ---> Transmit ---> nastavení doby testu

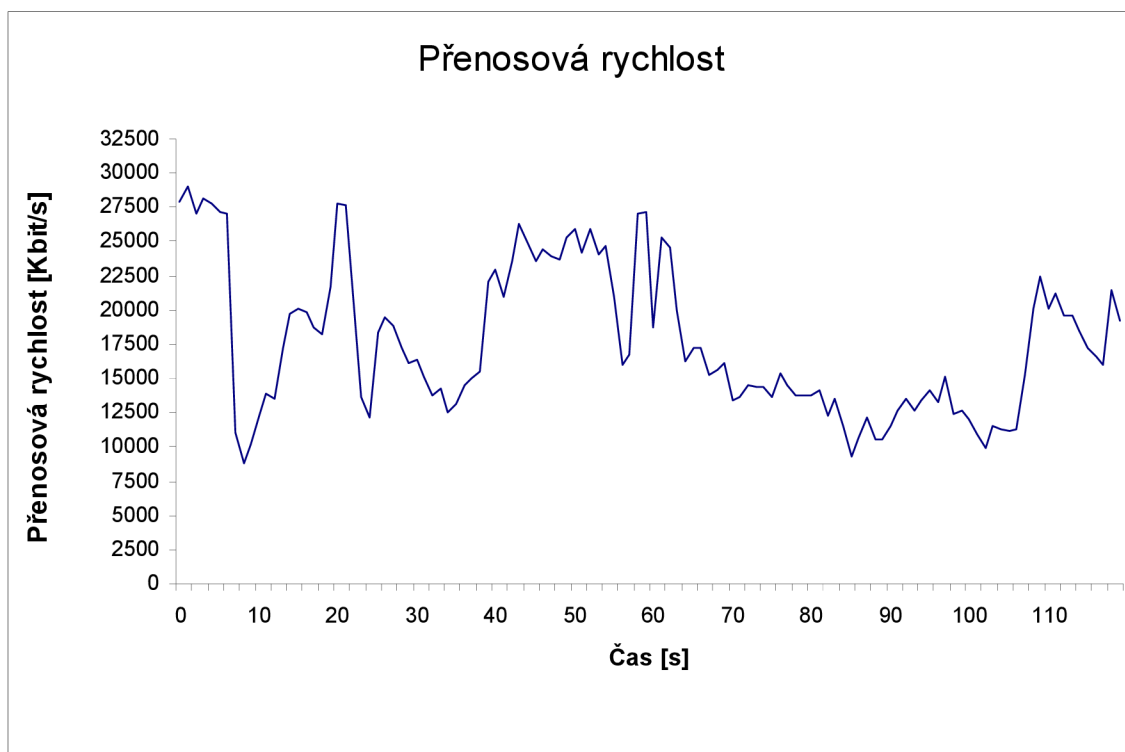
Application layer options ---> Report interval ---> interval

Transport layer options ---> Choose the protokol to use ---> UDP

Transport layer options ---> Choose the protokol to use ---> UDP ---> UDP Bandwith ---> zadání velikosti zatížení

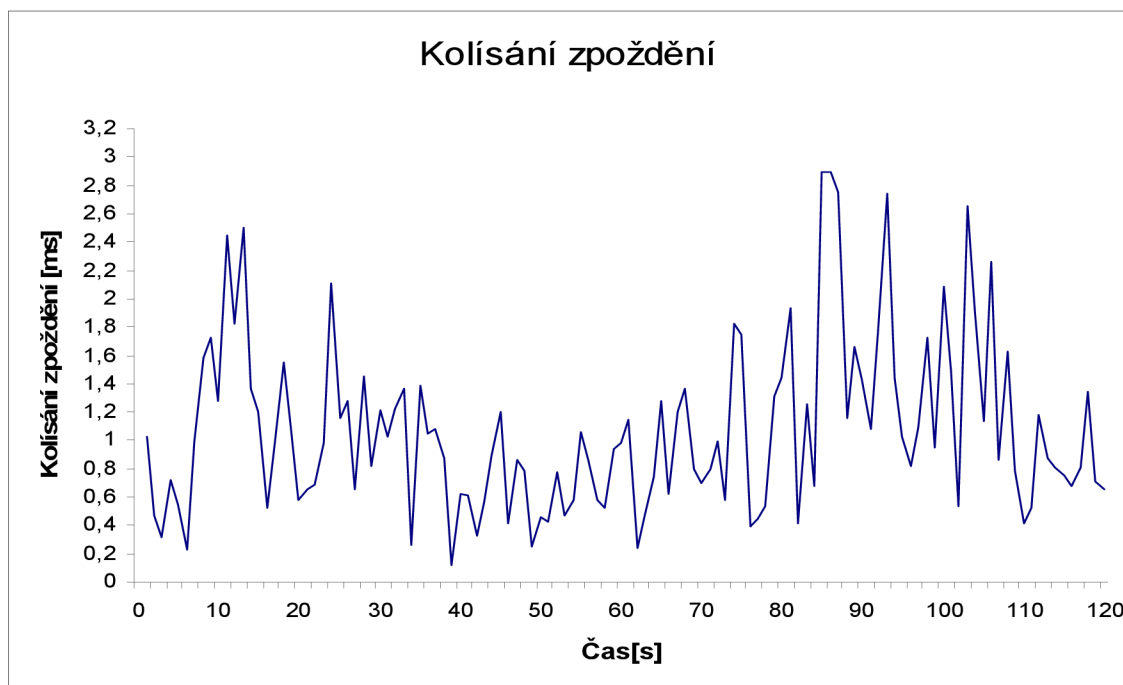
Klientský PC generoval UDP zatížení 20 Mbytu/s, což je 160 Mbit/s.

Z hodnot získaných z měření byly sestaveny následující grafy. Každé měření bylo prováděno po dobu 120 s. Na Obr.6.1 je zobrazena přenosová rychlost v závislosti na čase. Z naměřených hodnot byla vypočtena průměrná přenosová rychlost, která dosahuje hodnoty 17650 kbit/s. Je nutno podotknout že naměřené hodnoty platí pro jednosměrný datový tok (poloduplex).



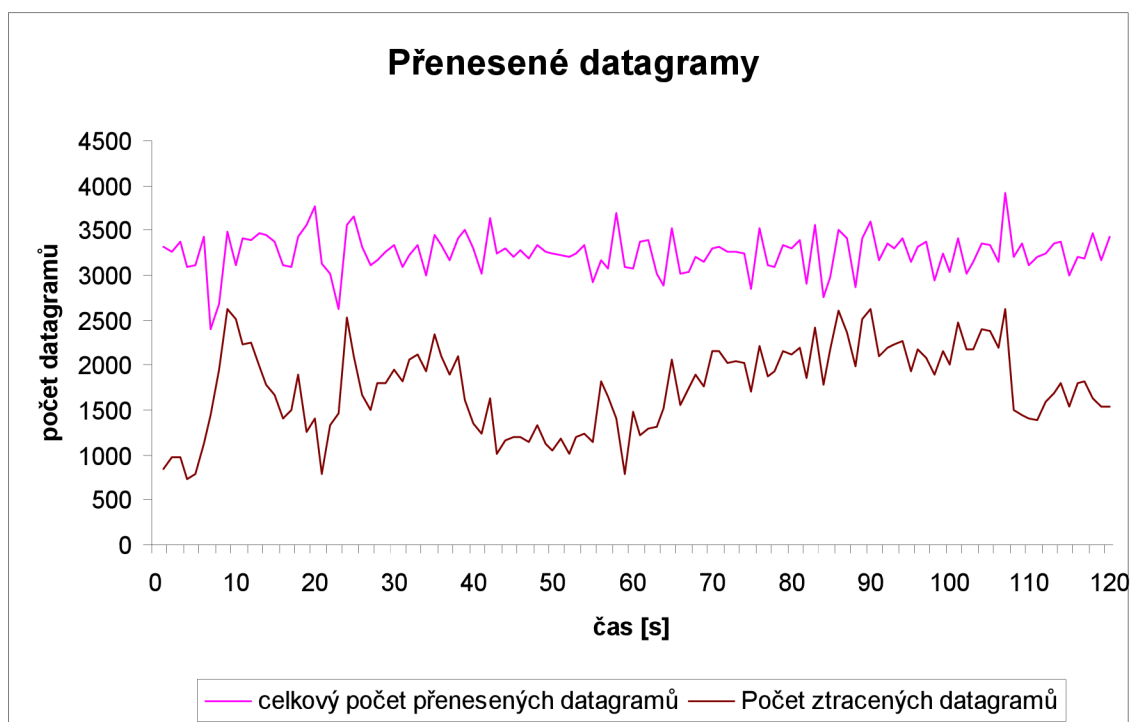
Obr. 6.1 : Přenosová rychlost v závislosti na čase

Na Obr. 6.2 je zobrazeno kolísání zpoždění, neboli jitter. Pohybuje se v rozmezí od 0,119 ms až do hodnoty 2,892 ms. Průměrná hodnota kolísání zpoždění je přitom 1,075 ms.



Obr. 6.2 : Zobrazení kolísání zpoždění v závislosti na čase

Na Obr.6.3 zobrazuje přenášené a ztracené datagramy v době, kdy bylo prováděno měření. Z obrázku je zřejmé, že došlo k velké ztrátovosti přenášených datagramů, to mohlo být způsobené tím, že zařízení byly umístěny ve velmi malé vzdálenosti od sebe (cca 20 m) a velikostí zatížení, kvůli kterému došlo k přetečení vyrovnávací paměti (buffer), jejíž velikost byla nastavena na 8 Kbytu. Z celkového počtu 389638 datagramů, které byly přenášeny se ztratilo 210029 datagramu, jde tedy o ztrátovost větší jak 50 %, přesně 53,9 %. Velikost jednotlivých přenášených datagramu byla 1470 bytů.



Obr. 6.3 : Zobrazení celkového počtu přenesených datagramů a ztracených datagramů v závislosti na čase

802.11n

Pro měření standardu 802.11n byly využity dvě MIMO 19 dB sektorové antény 10°, které byly rozmístěny ve vzdálenosti cca 400 m.

Stejně jako u měření prováděných pro standard 802.11g i zde byl kladen důraz na zjištění přenosové rychlosti, kolísání zpoždění, celkového počtu přenášených a ztracených datagramů během přenosu v jednosměrném datovém provozu. I zde byl použit měřicí program jperf, který byl nainstalován na obou připojených PC.

Hardwarová konfigurace obou PC:

Klient: Lenovo ThinkPad R500

CPU- Intel Core 2 Duo 2200 MHz

Paměť – 2 GB DDR3 1066 MHz

Síťová karta - Gigabit Ethernet , WLAN 802.11b/g/n

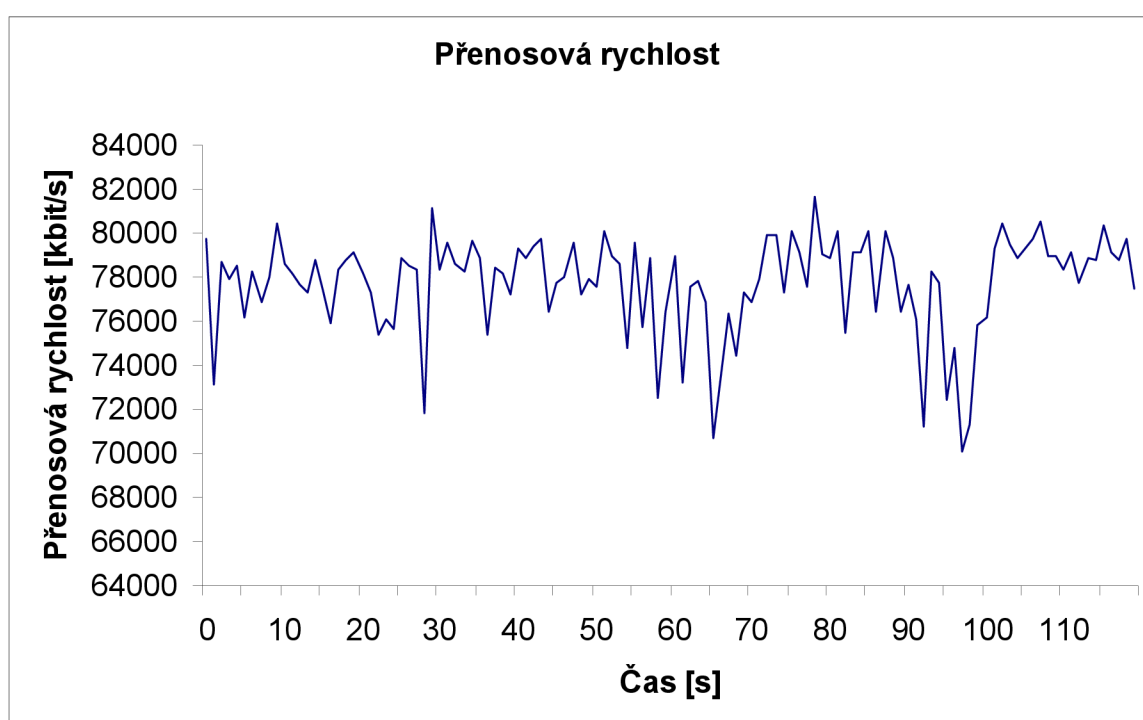
Server: Sony VAIO E

CPU - Procesor Intel® Core™ i3-330M, 2,13 GHz

Paměť- 4 GB DDR3 SDRAM

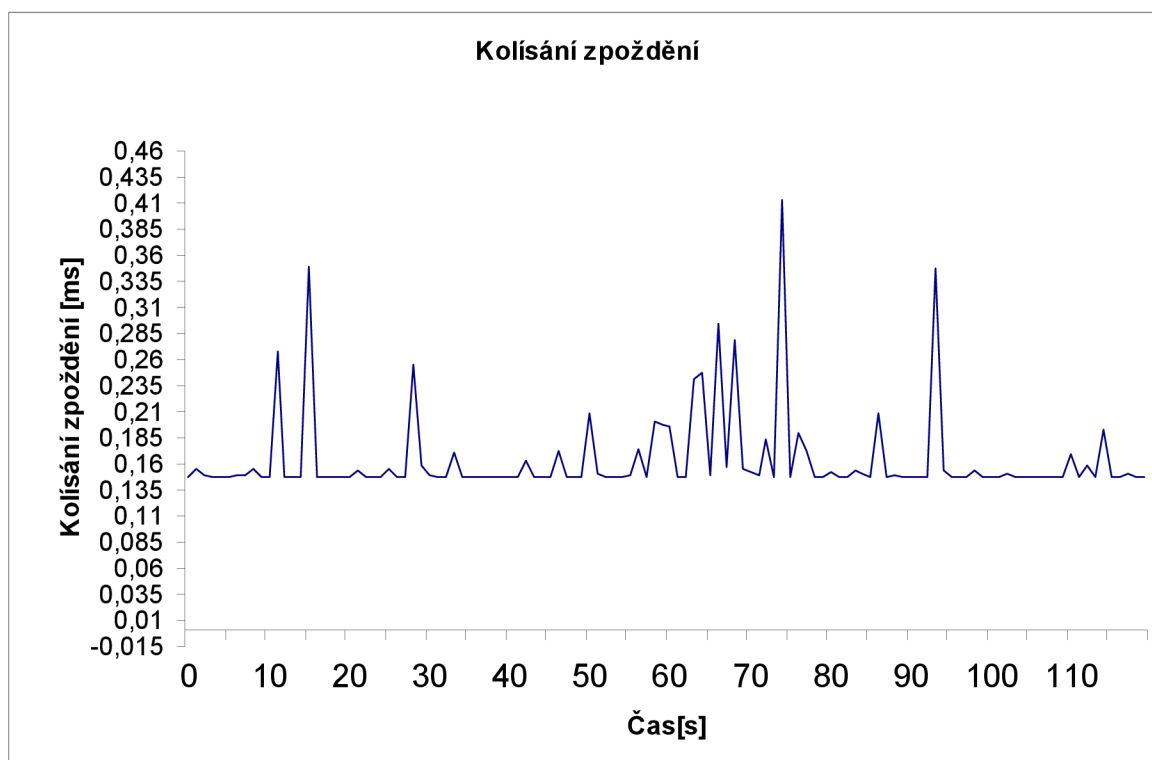
Síťová karta – Gigabit Ethernet , WLAN 802.11b/g/n

Jako první bylo provedeno měření zjišťující přenosovou rychlost. Doba měření byla stanovena na 120s a hodnoty byly zaznamenávány každou 1s. Ze zjištěných hodnot byl sestaven graf (viz Obr 6.4) a vypočtena průměrná hodnoty přenosové rychlosti, která dosahuje hodnota 77705,59 Kbit/s.



Obr. 6.4 : Přenosová rychlost v závislosti na čase

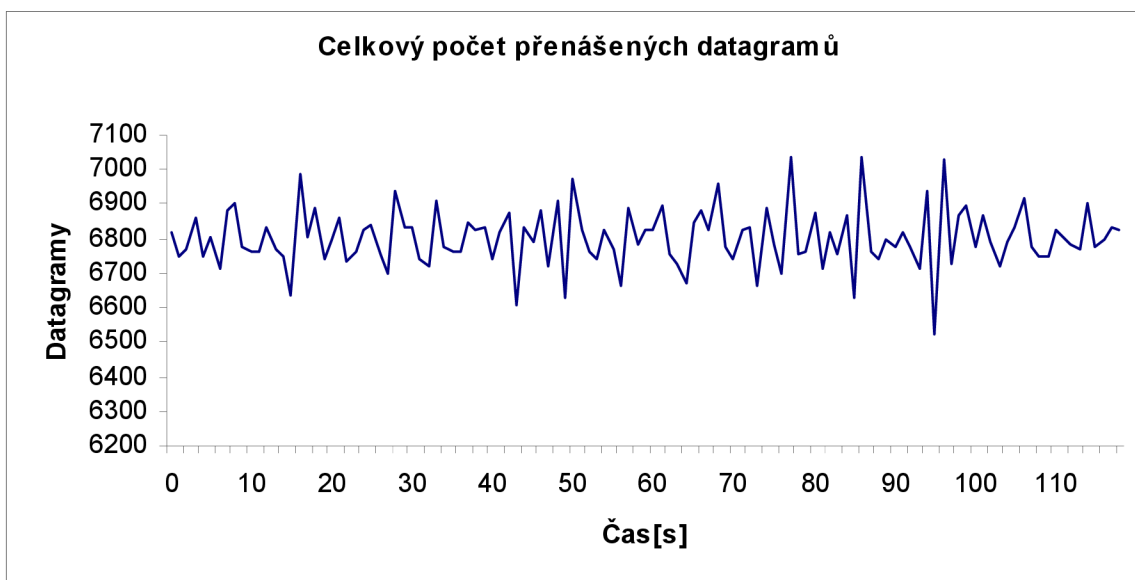
Kolísání zpoždění (Obr. 6.5) u standardu 801.11n se pohybovalo po dobu měření v rozmezí od 0,147 ms až po 0,413 ms a jeho průměrná hodnota byla 0,164 ms.



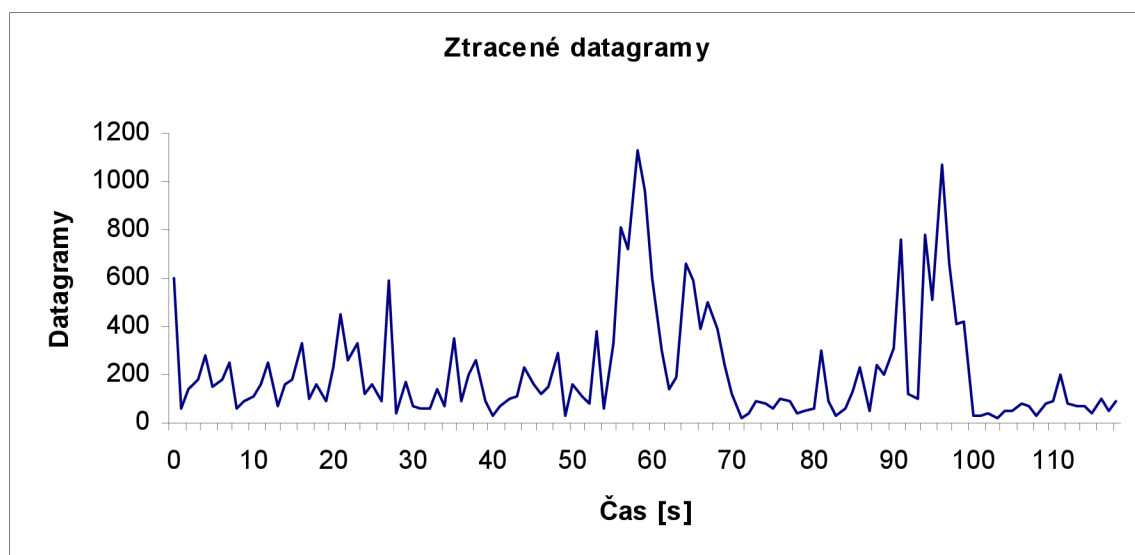
Obr. 6.5 : Zobrazení kolísání zpoždění v závislosti na čase

Na následujících grafech je zobrazen celkový počet přenášených datagramů (Obr. 6.6) a počet ztracených datagramů (Obr. 6.7). Počet ztracených datagramů zde není tak velký jako u standardu 802.11g. To mohlo být způsobeno větší vzdáleností mezi anténami testovacího spoje. Velikost vyrovnávací paměti byla zvolena stejná jako u standardu 802.11g, tedy 8 Kbyťů.

Počet celkově přenášených datagramů byl 809426 a počet ztracených dosahoval hodnoty 26027, tedy zhruba 3,2 %. Velikost datagramu byla při měření zvolena též stejně jako v případě 802.11g a to 1470 byťů.



Obr. 6.6 : Zobrazení celkového počtu přenášených datagramů v závislosti na čase



Obr. 6.7 : Zobrazení ztracených datagramů v závislosti na čase

6.2 Metalické spoje

Kapitola je zaměřena na měření parametrů kroucenou dvoulinku a to z toho důvodu, že jde o nejpoužívanější metalický spoj v současné době. Byla provedena měření na přenosovou rychlost, kolísání zpoždění a ztrátovost datagramu.

6.3 Kroucená dvoulinka

Měření bylo provedeno na kroucené dvoulince (UTP) kategorie 5E (standard 1000base-t) dlouhé cca 40 metů. Kabelem byly propojeny dva PC kde každý byl vybaven síťovou kartou pracující s přenosovou rychlostí 1 Gbit/s. Měření byla provedena opět v programu jperf. V klientské části programu bylo zvoleno testovací UDP zatížení na 600 Mbytu/s.

Konfigurace jednotlivých PC:

Klient: Compaq nx6125

CPU - Mobile AMD Sempron™ 3100+ 1.80GHz

Paměť – DIMM 1 = 1 GB 333MHz; DIMM 2 = 256 MB 333 MHz

Síťová karta – Broadcom NetLink (TM) Gigabit Ethernet

Server: Sony VAIO E

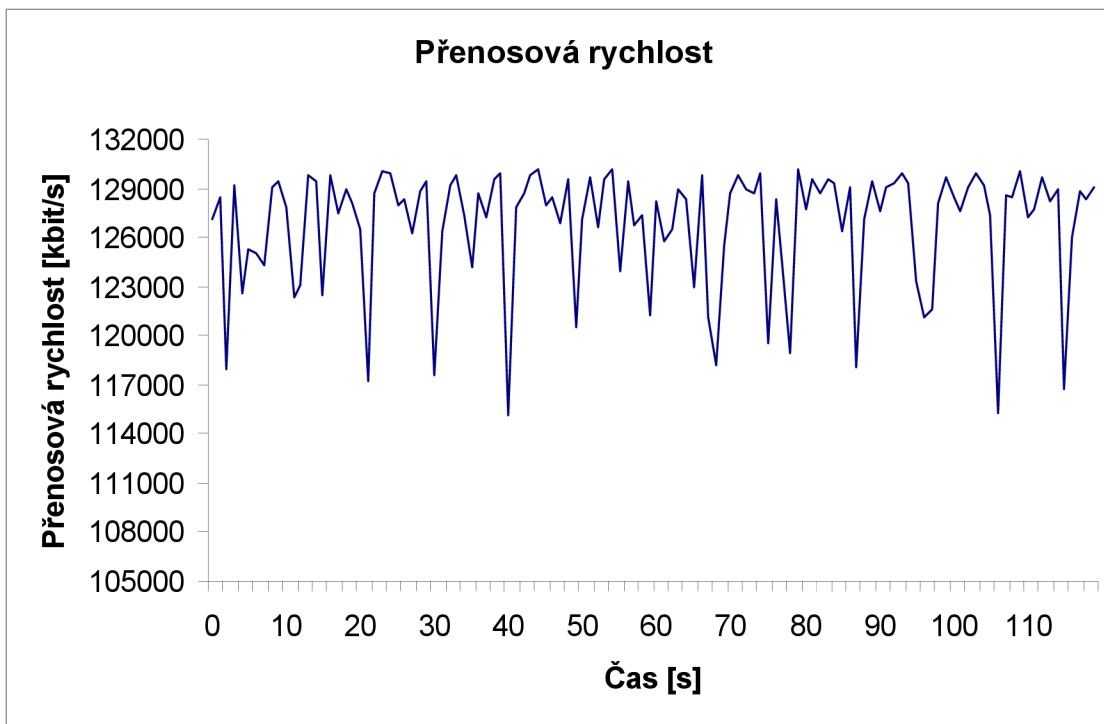
CPU - Procesor Intel® Core™ i3-330M, 2,13 GHz

Paměť- 4 GB DDR3 SDRAM

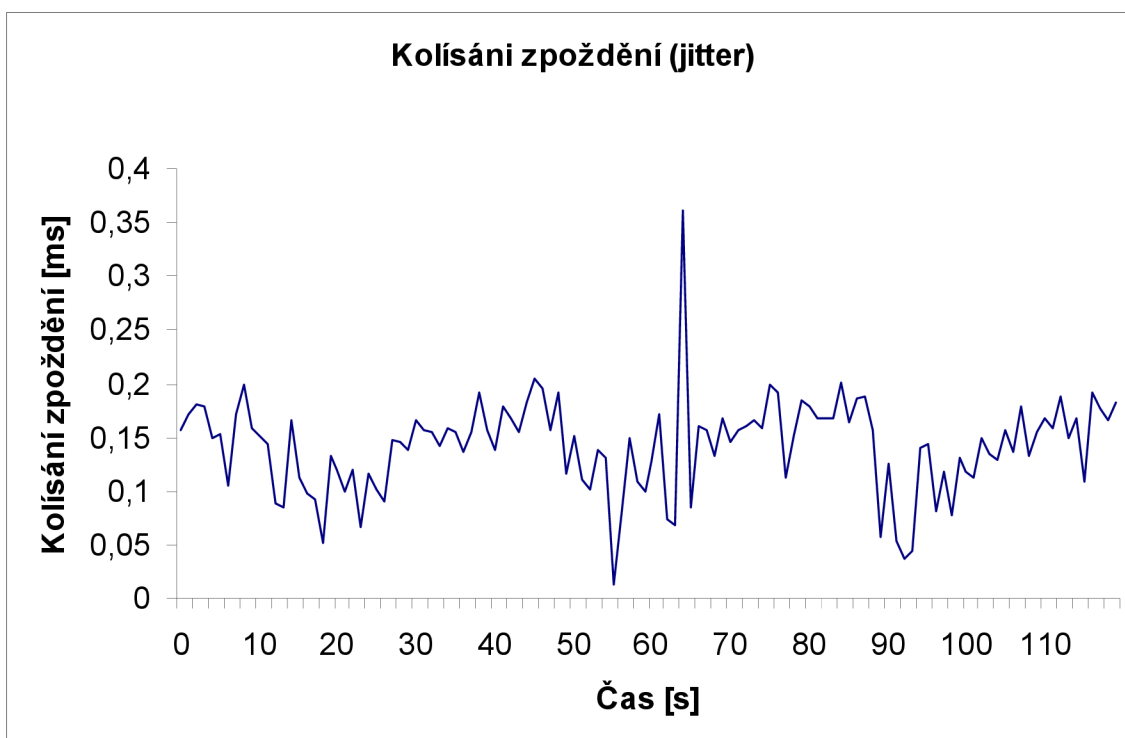
Síťová karta – Gigabit Ethernet

Ze zjištěných hodnot byly sestaveny jednotlivé grafy zobrazující přenosovou rychlost, kolísání zpoždění, celkový počet přenášených a ztracených datagramů.

Na Obr. 6.8 je vyobrazena přenosová rychlost. UTP kabel kategorie 5E je schopen teoretický pracovat s maximální přenosovou rychlostí až 1 Gbit/s. Naměřené hodnoty však kolísaly v rozmezí od 115 Mbit/s do 131 Mbit/s s průměrnou hodnotou 126,830 Mbit/s. Hodnoty jsou platné pro jednosměrný datový tok.

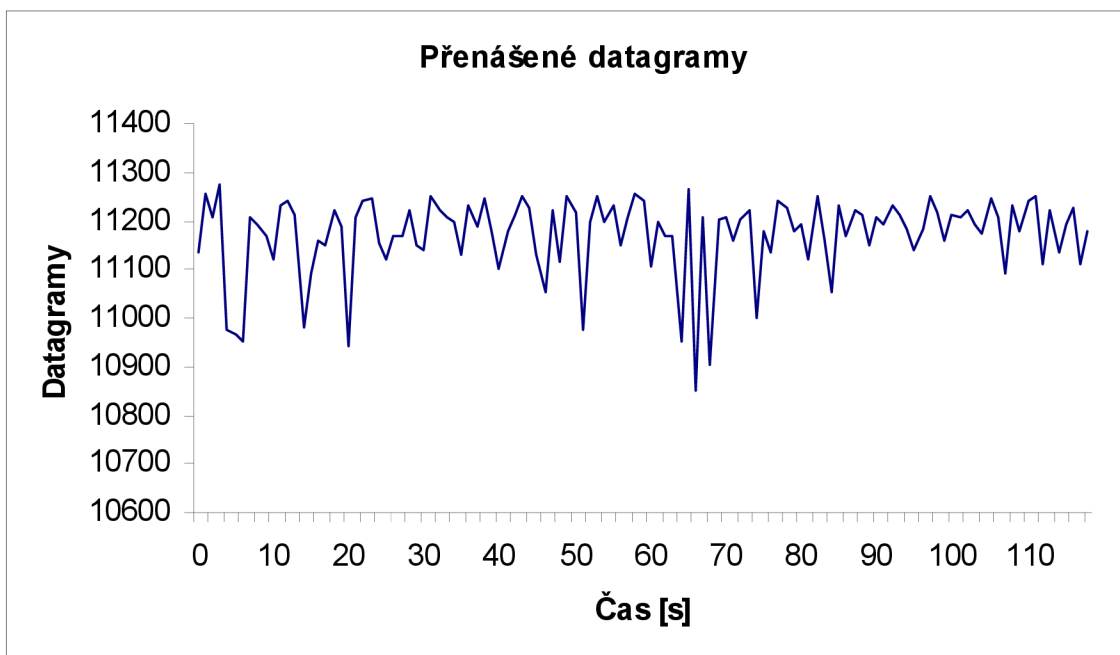


Obr. 6.8 : Přenosová rychlost v závislosti na čase

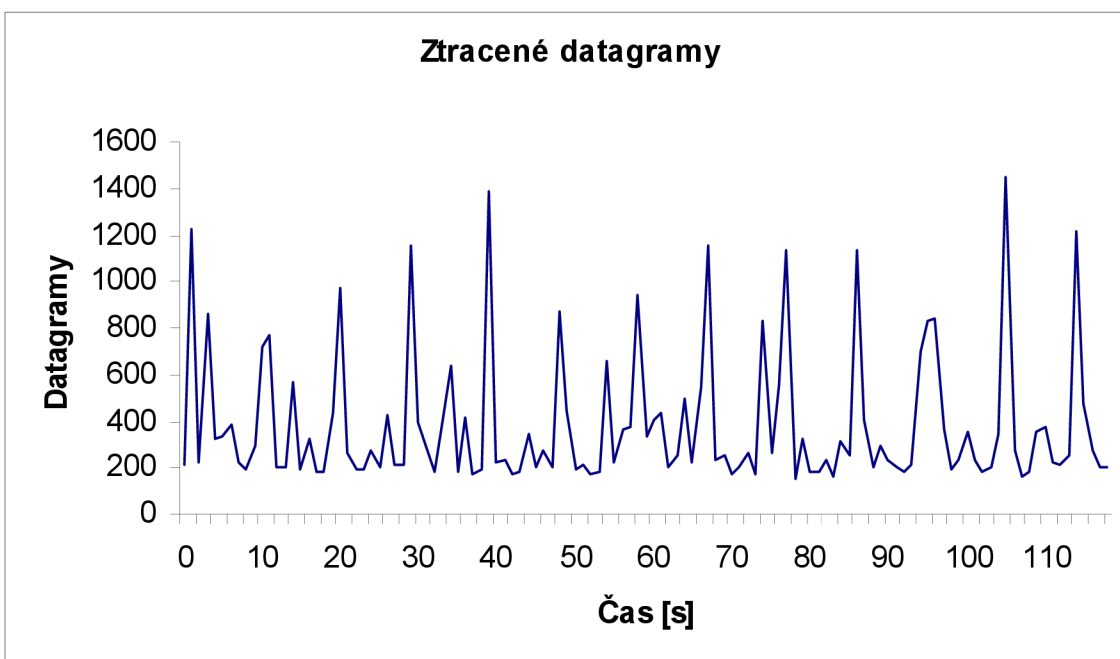


Obr. 6.9 : Kolísání zpoždění na čase

Kolísání zpoždění (Obr.6.9) při měření UTP kabelu kategorie 5e se pohybovalo v rozmezí od 0,013 ms do 0,362 ms, průměrná hodnota dosáhla velikosti 0,142 ms.



Obr. 6.10 : Celkový počet přenášených datagramů v závislosti na čase



Obr. 6.11 : Ztracené datagramy v závislosti na čase

Celkový počet přenášených datagramů (Obr.6.10) dosáhl při měření hodnoty 1329359, počet ztracených datagramů (Obr.6.11) hodnoty 45976. Z naměřených hodnot je tedy zřejmé, že ztrátovost je 3,5 %. Ztrátovost mohla být způsobena i přetečením vyrovnávací paměti, která měla pro měření nastavenou velikost 8 Kbyte. Je nutno dodat, že velikost datagramu

byla 1470 byte.

6.4 Optické vlákno

Měření na optickém vláknu byla prováděno mezi dvěma media konvertory (Optokon CS-110/s31 a optokon CS-110/s55), které byly propojeny optickým vlákem. Tyto media konvertory jsou schopny pracovat s přenosovou rychlostí na fyzické vrstvě 100Mbit/s. Typ optického vlákna, které bylo použito k měření je Optokon SSC-28SM-j-001. Pro dosažení lepšího vyřízení vlákna, by bylo vhodné použít gigabitové media konvertory, bohužel ty se nepodařilo opatřit.

Na konvertory byly napojeny dva PC. K samotnému měření byl využit program jperf, jenž byl spuštěn na obou PC (klient, server). Klientský počítač generoval UDP zatížení 100 Mbytu/s, což je 800 Mbitu/s.

Základní parametry media konvertorů optokon CS-110/s31 a optokon CS-110/s55 : [31]

Tab. 6.2 : Základní parametry použitých media konvertorů [31]

Standardy	IEEE 802.3 10Base-T, 802.3u 100Base-TX, 100Base-FX
Vlnová délka	850 nm, 1300 nm – vícebodová 1310 nm, 1460-1610 nm - jednovidová

Základní parametry optického vlákna SSC-28SM-j-001: [32]

Tab. 6.3 : Základní parametry optického vlákna [32]

Standardy	ISO/IEC 11801, TIA 568A, CENELEC
Vkládaný útlum	0,15 dB
Návratový útlum	> 30 dB

Konfigurace jednotlivých PC byla:

Server: Asus eee 900

CPU - Intel Celeron M ULV 353 Dothan 900 MHz

Paměť – 1 GB DDR2 400 MHz

Síťová karta - Atheros L2 Fast Ethernet 100Mbit, WLAN 802.11b/g

Klient: Compaq nx6125

CPU - Mobile AMD Sempron™ 3100+ 1.80GHz

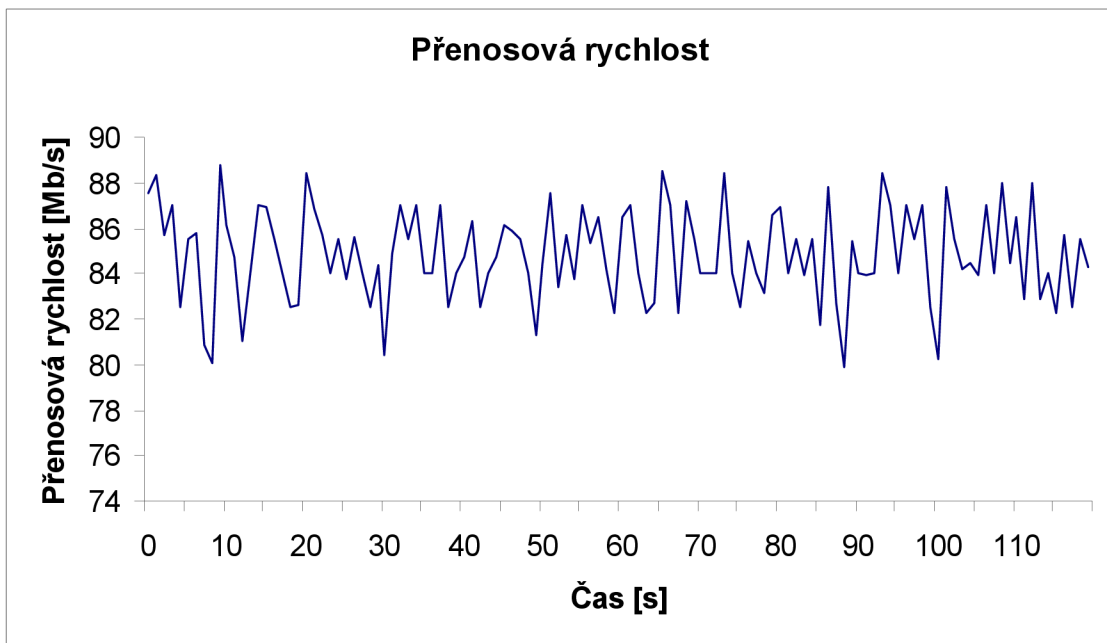
Paměť – DIMM 1 = 1 GB 333MHz; DIMM 2 = 256 MB 333 MHz

Síťová karta – Broadcom NetLink (TM) Gigabit Ethernet

Byly provedeny opět tři měření, a to na zjištění přenosové rychlosti, kolísání zpoždění a ztrátovosti datagramů.

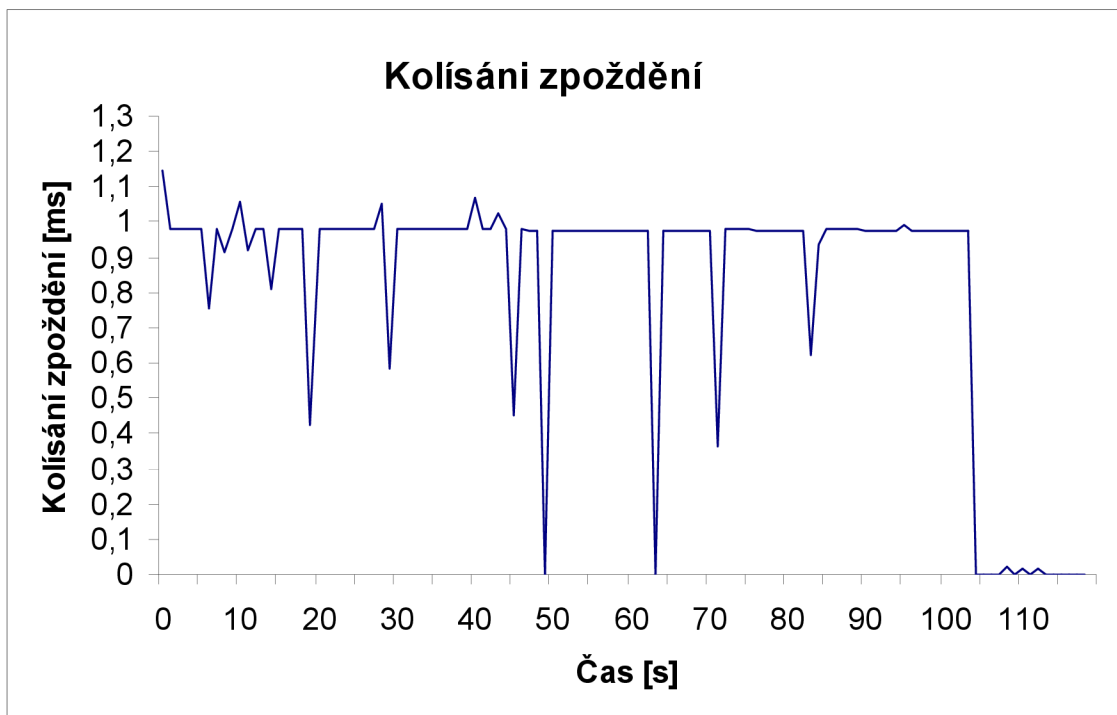
Velikost přenosové rychlosti na aplikační vrstvě dosahovala při měření hodnot od 80,1 Mbit/s do 88,8 Mbit/s. Průměrná přenosová rychlost byla 84,819 Mbit/s. Graf z naměřených hodnot je zobrazen na Obr. 6.12.

Optické vlákno jakožto přenosové médium umožňuje přenos i 40 Gbit/s, musí se však použít vhodný standard. Z pohledu provedeného měření tedy nebylo možné maximálně vytížit optické vlákno.



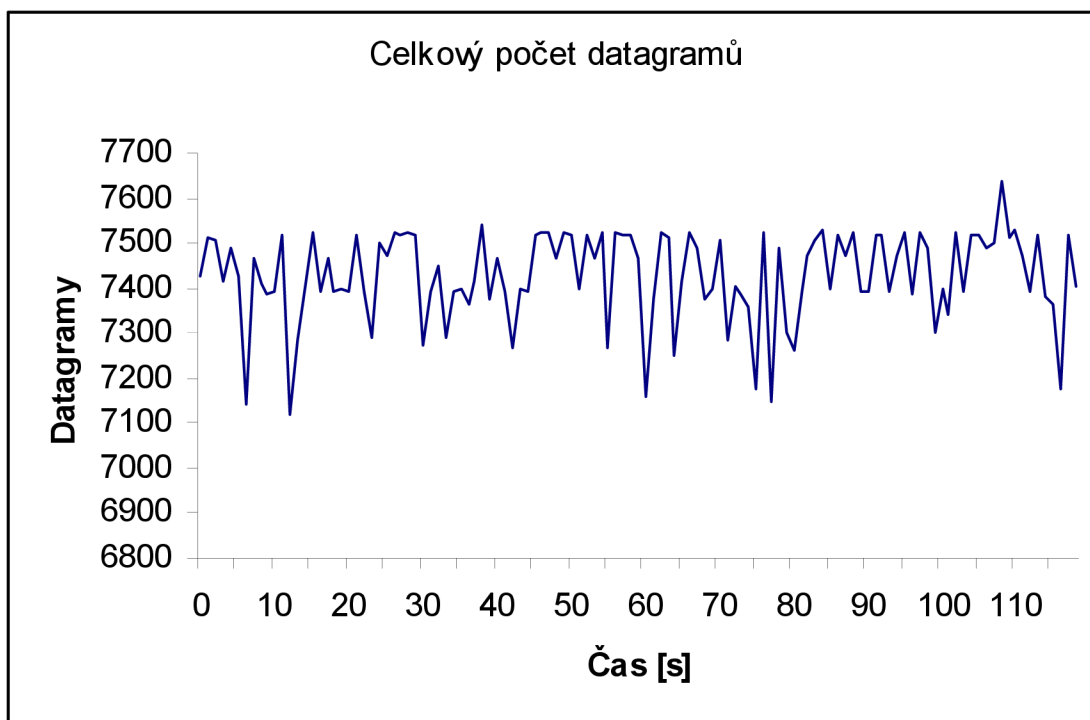
Obr. 6.12 : Šířka pásma optického vlákna v závislosti na čase

Z dalších provedených měření byla zjištěna velikost kolísání zpoždění (Obr.6.13). To se při měření pohybovalo v rozmezí od 0 ms až do 1,148 ms. Průměrná hodnota kolísání zpoždění tedy je 0,81707 ms.

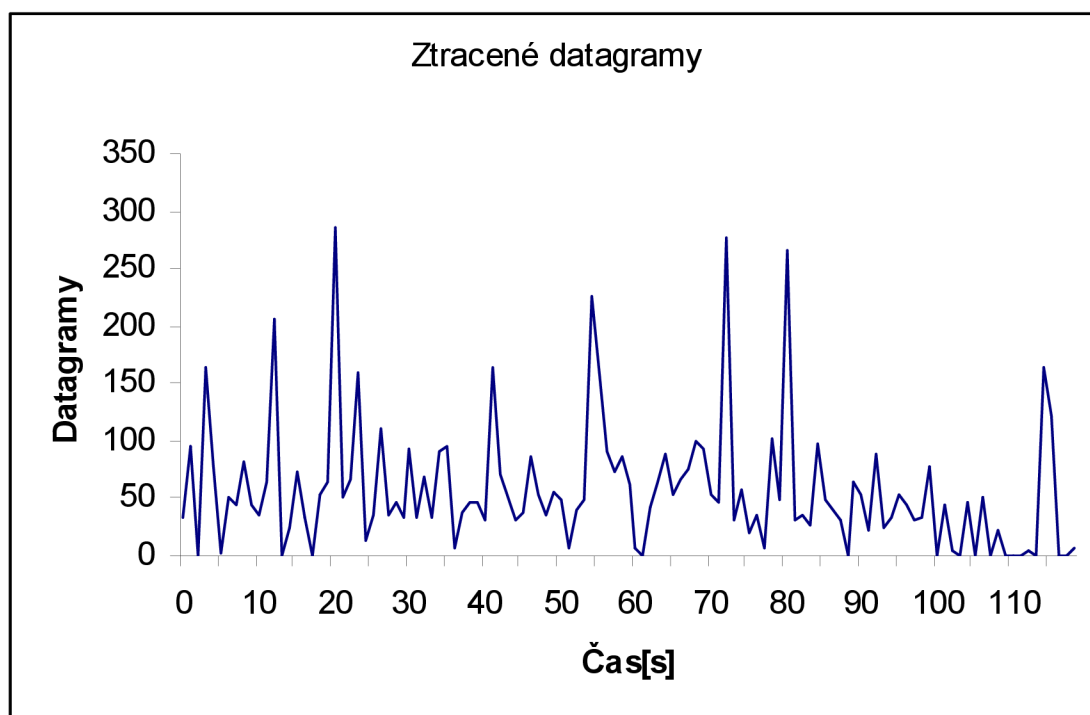


Obr. 6.13 : Kolísání zpoždění v závislosti na čase

Měření sledující ztrátovost datagramů bylo provedeno pro dvě velikosti vyrovnávací paměti. Nejprve byla nastavena na velikost 0,01 Mbytu (Obr .6.14 a Obr. 6.15) a posléze na 0,39 Mbytu. Velikost datagramů byla pro první případ volena 1470 bytu a pro druhý případ 61440 bytu .



Obr. 6.14 : Celkový počet datagramů v závislosti na měřeném čase



Obr. 6.15 : Ztracené datagramy v závislosti na měřeném čase

Celkový poměr ztracených a odeslaných datagramů měřených pro velikost vyrovnávací paměti 0,01 Mbytu byl 6829 ku 891210. Ztraceno tedy bylo 0,77% z odeslaných datagramů.

Poměr ztracených a odeslaných datagramů pro velikost vyrovnávací paměti 0,39 Mbytu byl 0/860579, ztrátovost 0%.

7 Optický bezdrátový spoj

Měření byla prováděna na modelu OBS TereScope 700/G od firmy MRV. Jednotlivé hlavice OBS byly od sebe vzdáleny 200 metřů. Použitý spoj je schopen pracovat s max. přenosovou rychlostí až 1 Gb/s na fyzické vrstvě.

Při měření jsme se snažily maximálně vytižit OBS, to se nám bohužel nepovedlo a to z důvodu nízkého výkonu PC, na kterých byl spuštěn testovací program jper. Byla ale možnost provést měření pomocí měřicího přístroje EXFO AXS-200 (Obr.7.1), který měří parametry na linkové vrstvě.

Měřicí přístroj EXFO AXS-200

Základní specifikace: [33]

- Metalický port : 1x 10/100/1000 Base-T Ethernet, Optický port:1x Gigabit Ethernet
- testování výkonnosti a propustnosti dle metodiky RFC 2544
- testy BERT až do 4 vrstvy s možností nastavení příslušných standardů a konfiguraci testů
- monitorování optického výkonu během všech fází testů
- generování zatížení a vyhodnocení provozu s možností úpravy parametrů jako propustnost, velikost rámce a zpoždění

Měření tedy byly provedeny pomocí tohoto měřicího přístroje a ne pomocí programu Jperf neboť by se nedosáhlo maximálního vytižení OBS. V tab.7.1 jsou zobrazeny přenosové rychlosti na linkové vrstvě pro různé délky rámců naměřené přístrojem EXFO AXS-200 a jsou uváděna pro jednosměrný datový tok (RFC 2544 testování). [33]

RFC 2544 testování:[33]

- Nabízí možnost provést konfiguraci duálního testování and-to-and
- Obousměrné testování výkonnosti (propustnost, zpoždění atd.)

Tab. 7.1 : Přenosová rychlost na linkové vrstvě

Velikost rámce	Max. testovací rychlost [Mbps]	Přenosová rychlost na linkové vrstvě [Mbps]
64	1000	761,904
256	1000	927,536
1518	1000	986,996



Obr. 7.1 : Měřicí přístroj EXFO AXS-200

Pro porovnání byl použit příklad měření OBS stejného typu, tedy TereScope 700/G na němž bylo provedeno měření společností CESNET. Měření bylo provedeno jak měřícím přístrojem EXFO AXS-200 tak i pomocí programu jperf.

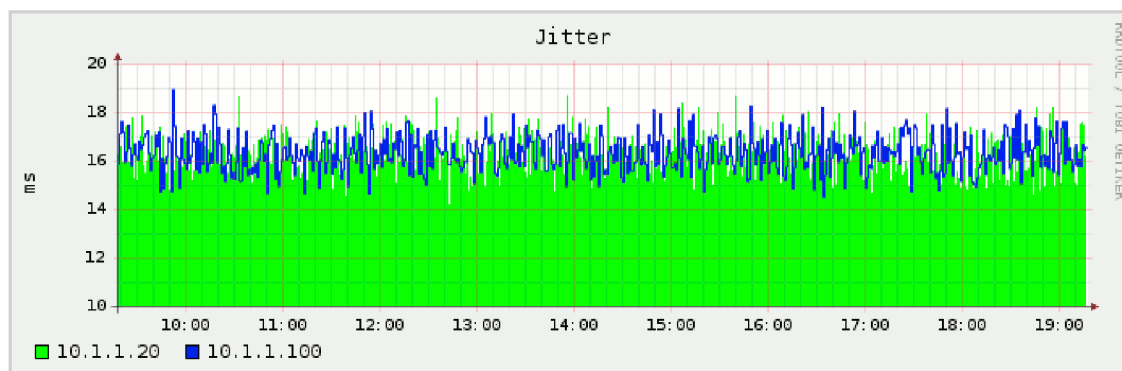
Příklad max. vytížení OBS TereScope 700/G:

Společnosti CESNET se podařilo vytížit použitý OBS prakticky na maximum viz článek: „Laserový spoj MRV TereScope 700/G“[34], který je uveden na stránkách společnosti CESNET (www.cesnet.cz). [34]

Ze článku jsou převzaty výsledky měření programem iperf pro jednosměrný datový tok, které jsou uvedeny v Tab. 7.2. [34]

Tab. 7.2 : Naměřené hodnoty na OBS TereScope 700/G společností CESNET[34]

Interval:	0.0-36,000 sec
Přenosová rychlost:	956,991Mbit/sec
Kolísání zpoždění:	0.016 ms
Ztracené / přenášené Datagramy:	93,600 / 2,929,658,400 (0.003 %)



Obr. 7.2 : Zobrazení kolísání zpoždění v závislosti na čase [34]

8 Porovnání

V kapitole je provedeno zjednodušené porovnání OBS s alternativními technologiemi. V Tab. 8.1 jsou porovnány přenosové rychlosti, kolísání zpoždění a ztrátovost datagramů všechny měření byla prováděna na aplikační vrstvě. U OBS použijeme pro porovnání hodnoty z měření prováděného společností CESNET, protože námi měřené hodnoty platí pro linkovou vrstvu, nikoliv pro aplikační vrstvu, na které jsou prováděna ostatní měření.

Tab. 8.1: Porovnání naměřených hodnot OBS s alternativními technologiemi

	Průměrná přenosová rychlost [Mbit/s]	Průměrné kolísání zpoždění [ms]	Poměr odeslaných a ztracených datagramů [%]
OBS	956,99	0,016	0,003
802.11g	17,65	1,075	53,9
802.11n	77,70	0,164	3,2
Kroucená dvoulinka	126,83	0,142	3,5
Optické vlákno	84,82	0,817	0,77*

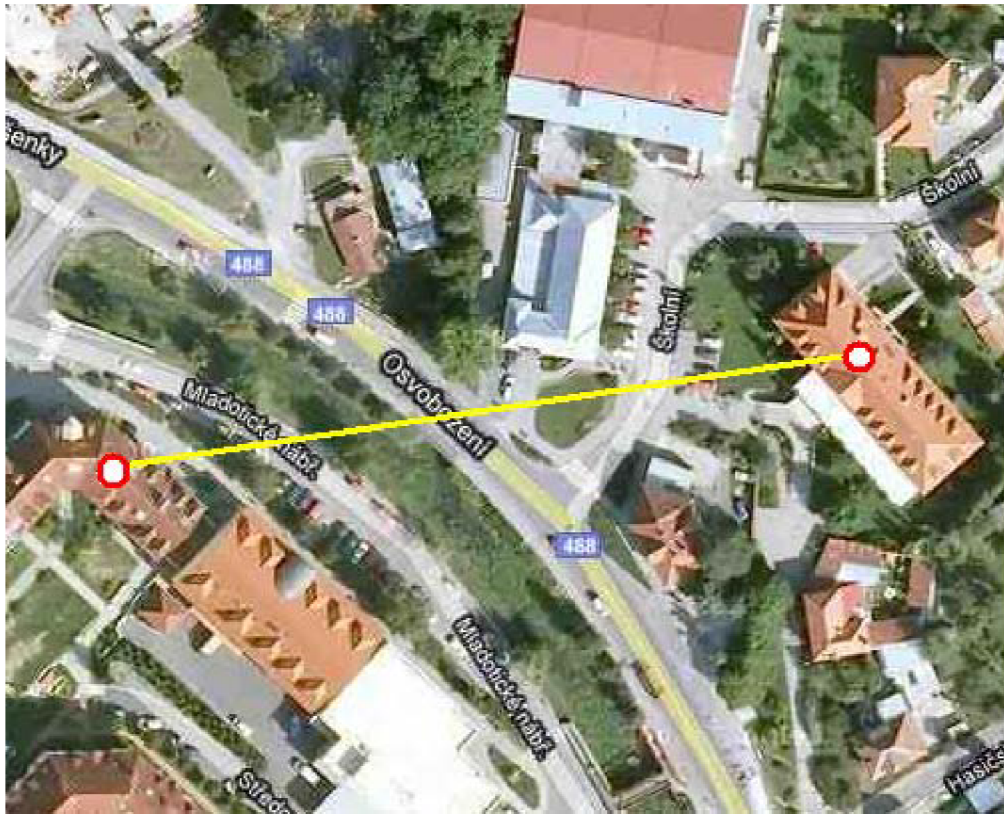
*pro velikost vyrovnávací paměti 0,01 Mbytu

9 Návrh OBS

Při návrhu spoje v místě bydliště bylo vycházeno z kapitoly 8, kde jsou porovnány alternativní spoje spolu s OBS. Jako nejlepší řešení z hlediska vlastností se jeví optické vlákno, ale ve zvoleném případě není vhodné jej použít. Spoj bude navrhován ve městě Slavičín, kde bude propojovat integrované domy s místním městským úřadem (Obr. 9.1). Jako hlavní kritérium je brána vysoká přenosová rychlost a samozřejmě finanční stránka věci.

Realizace pomocí wi-fi technologie nepřipadá v úvahu kvůli své nízké přenosové rychlosti a zarušenému prostředí. Jako nejlepší řešení se jeví optické vlákno, bohužel v tomto případě není vhodné a to z důvodu složitých stavebních prací. Z Obr. 9.1 je zřejmé, že by bylo nutné provést „výkop“ přes dvě silnice a místní říčku, což by bylo velmi náročné na realizaci, jak z hlediska finanční stránky tak i časové. Realizace pomocí protlaku, který by prošel pod oběma vozovkami i říčkou není možná. Pod místní říčkou vede rozvod vysokého napětí 22 kV a není známo přesně v jaké hloubce se nachází.

Při požadavku vysoké přenosové rychlosti, tedy při absenci optického vlákna připadá v úvahu OBS. Ale i ten má své nevýhody, a tou hlavní je závislost na stavu atmosféry (viz Kapitola 2). Slavičín leží v nadmořské výšce 350 metrů, na jaře a na podzim zde dochází poměrně často v ranních hodinách k výskytu mlh, což je největší „nepřítel“ OBS. V tomto případě by však mlha neměla být až tak velký problém. Obě budovy na nichž budou jednotlivé hlavice umístěny jsou od sebe vzdáleny 200 metrů a nemělo by tedy docházet k velkému útlumu vlivem mlh. Záleží však na volbě vhodného typu OBS.



Obr. 9.1: Umístění OBS

Pro návrh byl zvolen OBS typu TereScope 700/G (Obr.9.2) a to z důvodu přijatelné ceny a schopnosti zvládat vysoké přenosové rychlosti.



Obr. 9.2: TereScope 700/G [35]

Parametry Tere Scope 700/G: [36]

Tab. 9.1: Parametry TereScope 700/G [36]

Datové protokoly		Gigabit-Ethernet, Fibre Channel	
Utlum	3 dB/km	Dosah	1100 m
	5 dB/km		950 m
	10 dB/km		730 m
	17 dB/km		570 m
	30dB/km		425 m
Min. vzdálenost hlavíc		10 m	
Vlnová délka		830-860 nm	

OBS budou napojeny optickým vláknem Samsung Drop singlemode 9/125 G.657.A (Tab. 9.2) na optické duplexní media konvertory Fiber Arsenal 1000NSC25S (Tab. 9.3). Z media konvertorů bude kroucenou dvoulinkou 5e provedeno spojení do přepínače (switch) D-Link DGS-1024D (Tab. 9.4) a odtud kroucenou dvoulinkou k jednotlivým uživatelům 5e. [38, 39]

Vše bude umístěno ve vnitřním rozvaděči Moeller 19“.

Tab. 9.2: Základní parametry optického vlákna [37]

Počet vláken	4
Typ vlákna	Single mode 9/125 mikronů, G.657A
Útlum:	< 0,4 dB/km
Vlnová délka	≤ 1260

Tab. 9.3 : Technické parametry media konvertorů [38]

Rychlost portů	1000 Mbps
Typ optického vlákna	jednořadové
Max. délka spoje	25 km
Vlnová délka	RX/TX
Typ optického konektoru	SC
Porty	1x RJ45, 1x FX SC

Tab. 9.4 : Základní parametry přepínače D-Link DGS-1024D [39]

Konektor 24 x RJ45	10BASE-T, 100BASE-TX, 1000BASE-T
Kapacita spojovací sběrnice	48 Gbps
Typ přepínání	Store-and-Forward
Standardy a protokoly	802.3 Ethernet, 802.3u Fast Ethernet, 802.3x Flow Kontrol, 802.3ab Gigabit Ethernet, 802.1p Priority Queuing

Finanční náklady návrhu:

Tab. 9.5 : Tabulka s návrhem rozpočtu

	Název	Kusů	Cena za kus	Celkem
Materiál	Pojítka TereScope 700/G	1	298 000 Kč	298 000 Kč
	Media konvertor Fiber Arsenal 1000NSC25S	2	2400 Kč	4800 Kč
	D-Link DGS-1024D	2	4780 Kč	9560 Kč
	Optické vlákno Samsung Drop	26	16 Kč	416 Kč
	Kroucená dvoulinka Cat 5e	10	5 Kč	50 Kč
	Rozvaděč Moeller 19“	2	2801 Kč	5602 Kč
	Práce	Cena za instalaci	2	360 Kč
Cena celkem				332 828Kč

Ceny materiálů jsou brány i s DPH a jsou uváděny k datu 21. 5. 2010. Ceny jsou čerpány z internetového obchodu wifi.shop.cz. Cena za instalaci OBS byla stanovena na 360 Kč za hodinu a měla by trvat dvěma technikům cca 20 hodin.

Celková cena návrhu se pohybuje na úrovni cca 333 tisíc Kč.

Závěr

Cílem diplomová práce bylo seznámit se současnými možnostmi bezdrátových optických spojů (OBS). Blíže prostudovat omezení nasazení spoje v praxi s ohledem na dostupnost a spolehlivost. Dále provést měření na optickém bezdrátovém spoji a zjištěné výsledky porovnat s měřeními na alternativních spojích. Za alternativní spoje byly považovány radioreléové spoje, metalické spoje a optické vlákno.

V první až čtvrté kapitole jsme se blíže seznámili se základními vlastnostmi OBS, rozebrali vysílací a přijímací systém hlavic a popsali na jakém principu pracují. Dále popsali jaké jsou využívané vlnové délky laseru a atmosférické přenosové prostředí spolu s jevy, které se v něm můžou vyskytovat a tím, jaký vliv mohou mít na vysílaný optický paprsek. Je zde popsána dostupnost a spolehlivost OBS, výpočet úniku a z něho pak vycházející celková spolehlivost spoje. Teoreticky jsou rozebrány alternativní spoje, jakožto radioreléové, metalické spoje a optické vlákno. Jsou popsány jejich parametry, výhody a nevýhody, princip fungování a přenosové rychlosti.

Kapitola pět je zaměřena na praktický výpočet dostupnosti OBS z naměřených hodnot. OBS spoj byl monitorován přibližně 100 dnů a každých pět minut bylo provedeno měření. Z těchto hodnot byl následně vynesena graf. Měřený spoj byl považován ze nedostupný, když intenzita signálu klesla pod -30 dBm. Byl vypočten únik a z něj pak celková dostupnost spoje, která dosáhla pro měřený OBS hodnoty 98,106 %. V ideálním případě by dostupnost měla dosahovat hodnot aspoň 99,99 %. Nižší dostupnost měřeného spoje mohla být způsobena nepříznivými atmosférickými podmínkami (mlha) nebo přerušením světelného svazku např. letícím ptákem. K dosažení vyšší dostupnosti je možno spoj zálohovat některou alternativní technologií. V kapitole je uveden i příklad ideálního OBS z dostupností 99,99 % a vyšší.

V šesté kapitole jsou uvedeny výsledky z měření na alternativních spojích. Jako první bylo provedeno měření na radioreléových spojích. Z této skupiny byla měřena technologie wi-fi a její standardy. Byla provedena měření na zjištění přenosové rychlosti, kolísání zpoždění a ztrátovosti datagramu pomocí programu jperf-2.0.0.

U standardu 802.11g bylo dosaženo průměrné přenosové rychlosti 17,650 Mbit/s, průměrné hodnoty kolísání zpoždění 1,075 ms a ztrátovosti datagramů 53,9 %. Měření byla prováděna na aplikační vrstvě. Maximální přenosová rychlost podle norem je udávána

22Mbit/s na fyzické vrstvě. Při měření se tedy podařilo vytižit standard 802.11g prakticky na maximum. Důvod velké ztrátovosti datagramů může být volba malé vyrovnávací paměti (8 Kbytu) a také vzdálenost, na kterou bylo prováděno měření.

Standard 802.11n má udávanou maximální teoretickou přenosovou rychlost 600 Mbit/s, reálně se ale jeho rychlost pohybuje přes 100 Mbit/. Při měření se podařilo dosáhnout průměrné přenosové rychlosti 77,705 Mbit/s, průměrné hodnoty kolísání zpoždění 0,164 ms a ztrátovosti datagramů 3,2 %.

Z metalických spojů bylo provedeno měření na kroucené dvouvláknové kategorii 5e, kde je udávána max. přenosová rychlost na fyzické vrstvě až 1 Gbit/s na 100 metrů. Měřen byl kabel o délce cca 40 metrů a byly změřeny následující průměrné hodnoty pro přenosovou rychlost 126,830 Mbit/s, kolísání zpoždění 0,142 ms a ztrátovost datagramů 3,5 %.

Pro optické vlákno byla průměrná hodnota přenosové rychlosti 84,819 Mbit/s, průměrná hodnota kolísání zpoždění 0,81707 ms a ztrátovost datagramů 0,77 % pro velikost vyrovnávací paměti 0,01 Mbytu. Je nutné zdůraznit, že měření byla prováděna mezi dvěma media konvertory, které byly schopny pracovat s přenosovou rychlostí 100 Mbit/s na fyzické vrstvě. Optické vlákno dokáže pracovat až s přenosovou rychlostí 40 Gbit/s pokud je použit vhodný standard.

V kapitole sedm jsou uvedeny výsledky měření na OBS typu TereScope 700/G. Z důvodu nemožnosti vytižit spoj na maximum nebyl použit pro měření program jper, ale měřicí přístroj EXFO AXS-200, kterým bylo provedeno měření na linkové vrstvě. Jako příklad maximálně vytíženého OBS stejného typu byly uvedeny výsledky měření společnosti CESNET. Podařilo se jím dosáhnout průměrné hodnoty přenosové rychlosti 956,991Mbit/sec, kolísání zpoždění 0.016 ms a ztrátovosti 0.003 %.

V kapitole osm jsou porovnány výsledky měření OBS a alternativních technologií. Nejlépe vychází měření na OBS, který dosáhl nejvyšší přenosové rychlosti, nízké hodnoty kolísání zpoždění i nízké ztrátovosti. Je ale nutné si uvědomit, že nebyly k dispozici vhodné media konvertory pro měření optického vlákna. Jinak by nejlépe vycházelo právě optické vlákno.

Kapitola devět je zaměřena na návrh OBS v místě bydliště. Jsou zde zohledněny i možnosti použití alternativních technologií, které ale nesplnily požadavky návrhu (přenosové rychlosti), je vytvořen i rozpočet pro návrh OBS.

Literatura

- [1] *FSO - optika bez kabelů* [online]. 2006 [cit. 2009-10-12]. Dostupný z WWW: <http://www.uniscomp.cz/fso/page.php?def=hi_technology&idmenu=63&idtext=46>
- [2] *Stručná teorie laserových spojů* [online]. 2007 [cit. 2009-10-14]. Dostupný z WWW: <<http://www.bezdratove-telekomunikace.cz/katalog-pojitek/o-laserovych-spojich/>>
- [3] WILFERT, Otakar. *Fotonika a optické komunikace*. Brno : MJ servis spol. s. r. o, 2007. 128 s. ISBN 978-80-214-3537-7.
- [4] WILFERT, Otakar. *Optoelektronika : Přednášky*. Brno : MJ servis spol. s. r. o, 2002. 121 s. ISBN 80-219-2264-5.
- [5] *Introduction To Fso Technology* [online]. 2007 [cit. 2009-12-08]. Dostupný z WWW: <<http://www.slideshare.net/acajahuaranga/introduction-to-fso-technology>>.
- [6] *Elektromagnetické spektrum* [online]. 2007 [cit. 2009-11-09]. Dostupný z WWW: <http://www.labo.cz/mft/rad_pasma.htm>
- [7] WILFERT, Otakar. *Atmosferické optické spoje* [online]. 2007 [cit. 2009-10-20]. Dostupný z WWW: <http://www.urel.feec.vutbr.cz/web_documents/studium/doc/dre2/optika.pdf>.
- [8] WILFERT, Otakar, KOLKA, Zdeněk. *OPTICKÉ (LASEROVÉ) BEZDRÁTOVÉ SPOJE* [online]. 2008 [cit. 2009-10-21]. Dostupný z WWW: <http://www.urel.feec.vutbr.cz/web_pages/projekty/clanky/Wilfert_Kolka_opticke_spoje.pdf>
- [9] *What is Free Space Optics (FSO)?* [online]. 2005 [cit. 2009-10-18]. Dostupný z WWW: <<http://www.freespaceoptics.org/freespaceoptics/default.cfm>>
- [10] WILLEBRAND, Heinz, GHUMAN S. , Baksheesh . *Free space optics: enabling optical connectivity in today's networks*. [s.l.] : [s.n.], 2001. 241 s. Dostupný z WWW: <http://books.google.cz/books?id=iSk7r67xyboC&pg=PA50&lpg=PA50&dq=free+space+optics+Scattering&source=bl&ots=oueC69G8Zk&sig=vTGPl1BN_DwmIjKb17VW51PKXns&hl=cs&ei=gWcBS7GGYOYOfsAbYpsiYDA&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=5&ved=0CCIQ6AEwBA#v=onepage&q=free%20space%20optics%20Scattering&f=false>
- [11] *Rayleighův rozptyl* [online]. 2007 [cit. 2009-11-08]. Dostupný z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Rayleigh%C5%AFv_rozptyl>.
- [12] *Rozptyl světla v atmosféře a barva oblohy* [online]. 1999 [cit. 2009-11-10]. Dostupný z WWW: <<http://www.kof.zcu.cz/st/dp/hosnedl/html/rozptyl.html>>.
- [13] ZHU, Xiaoming, KAHN M., Joseph. *Free-Space Optical Communication Through Atmospheric Turbulence Channels* [online]. 2002 [cit. 2009-11-12]. Dostupný z WWW: <<http://www-ee.stanford.edu/~jmk/pubs/trans.com.ml.det.turb.pdf>>.
- [14] TRNČÁK, Patrik. *Parhelium 3/2007* [online]. 2007 [cit. 2009-11-13]. Dostupný z

- WWW: <<http://ukazy.astro.cz/gal/Parhelium200703.pdf>>.
- [15] PUŽMANOVÁ, Rita. *Bezdrátové optické sítě* [online]. 2003 [cit. 2009-11-20]. Dostupný z WWW: <<http://www.lupa.cz/clanky/bezdratove-opticke-site/>>.
- [16] PUŽMANOVÁ, Rita. *802.11g: rychlejší WiFi?* [online]. 2004 [cit. 2009-12-01]. Dostupný z WWW: <<http://www.lupa.cz/clanky/802-11g-rychlejsi-wifi/>>.
- [17] *Wi-Fi* [online]. 2009 [cit. 2009-12-01]. Dostupný z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi>>.
- [18] *Slovník pojmů* [online]. 2009 [cit. 2009-12-01]. Dostupný z WWW: <http://h41320.www4.hp.com/cda/hpsmb_common/display/main/hpcpf_content.jsp?zn=hpsmb&cp=6989-8536^118711_4129_23__>.
- [19] *Slovníček pojmů* [online]. 2008 [cit. 2009-12-02]. Dostupný z WWW: <<http://802.11b.cz/pojmy.asp>>.
- [20] PROCHÁZKA, Juraj. *Wi-Fi: Největší technologický skok posíva hranice* [online]. 2009 [cit. 2009-12-02]. Dostupný z WWW: <<http://www.zive.sk/spravy/wi-fi-najvacsi-technologicky-skok-posuva-hranice/sc-30-a-284450/default.aspx>>.
- [21] ODVÁRKA, Petr. *Principy komunikace, média, rozsah* [online]. 2000 [cit. 2009-12-02]. Dostupný z WWW: <<http://www.svetsiti.cz/view.asp?rubrika=Tutorialy&clanekID=20>>.
- [2] ONDERKA, Roaman K.. *Bezdrátové komunikace* [online]. 2008 [cit. 2009-12-01]. Dostupný z WWW: <http://www.proficomms.cz/my_files/download/FSO%20plus%20MRV%20overview%202008_01.pdf>.
- [23] *Přenosové cesty* [online]. 2007 [cit. 2007-12-01]. Dostupný z WWW: <www.comtel.cz/files/download.php?id=4302>.
- [24] PETERKA, Jiří. *Mikrovlonné a družicové spoje* [online]. 1999 [cit. 2009-12-02]. Dostupný z WWW: <<http://www.earchiv.cz/a92/a206c110.php3>>.
- [25] *Mikrovlonné propojování sítí/objektů* [online]. 2008 [cit. 2009-12-02]. Dostupný z WWW: <<http://www.itprofik.cz/produkty-a-sluzby/mikrovlonne-spoje/>>.
- [26] *Volné pásmo* [online]. 2007 [cit. 2009-12-02]. Dostupný z WWW: <<http://www.inethome.cz/index.php?goto=text&sekce=&tid=MX7D5V13&lng=cz>>.
- [27] MALLAT, Jaroslav. *Družicové systémy* [online]. 2003 [cit. 2009-12-02]. Dostupný z WWW: <<http://hps.mallat.cz/view.php?cislocclanku=2003090202>>.
- [28] ŠPORIK, Jan. THE INCREASE OF AVAILABILITY OF FSO DATA LINKS BY REDUCING THE DISTANCE OF FSO'S HEADS. [online]. 2010, 1, [cit. 2010-05-22]. Dostupný z WWW: <http://www.feec.vutbr.cz/EEICT/2010/sbornik/03-Doktorske_projekty/01-Elektronika_a_komunikace/08-jansporik.pdf>.

- [29] KLFREE NET [online]. [cit. 2010.05.20]. Dostupný z WWW:
<<http://www.klfree.net/>>.
- [30] Iperf In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 19.12.2007, 5.5.2010 [cit. 2010-05-14]. Dostupné z WWW:
<<http://en.wikipedia.org/wiki/Iperf>>.
- [31] *C-110 Media Converters* [online]. 2010 [cit. 2010-05-11]. Dostupný z WWW:
<http://www.optokon.cz/datasheets/C-Active_devices_for_optical_network/C1-Media_converters/C11-Stand_alone/ACT_07-02_EN-CS110.pdf>.
- [32] SC Patchcord [online]. 2010 [cit. 2010-05-11]. Dostupný z WWW:
<http://www.optokon.cz/datasheets/A-Passive_fiber_optic_components/A2-Patchcords,Pigtails/A21-Standard_patchcords/EN/CON_06-01_EN-SC_Patchcord.pdf>.
- [33] AXS-200/850 [online]. [cit. 2010-05-12]. Dostupný z WWW:
<<http://www.profiber.cz/eshop/files/AXS-200-850-ang.pdf>>.
- [34] WIMMER, Miloš . Laserový spoj MRV TereScope 700/G. *Technická zpráva CESNETu* [online]. 13.9.2007, 6/2007, [cit. 2010-05-20]. Dostupný z WWW:
<<http://www.cesnet.cz/doc/techzpravy/2007/mrv-terescope-700/mrv-terescope-cz.html#tab5>>.
- [35] TereScope 700-up to GE [online]. 2009 [cit. 2010-05-13]. Dostupný z WWW:
<<http://www.mrv.com/product/MRV-TS-700B>>.
- [36] TereScope series [online]. [cit. 2010-05-13]. Dostupný z WWW:
<<http://www.mrv.com/library/docs/PDF300/MRV-PRODOVW-TereScope.pdf>>.
- [37] TECHNICAL DATASHEET FOR FTTx Optical Fiber Cable [online]. [cit. 2010-05-20]. Dostupný z WWW:< <http://www.wifi-shop.cz/soubory/158009> >.
- [38] Fiber Arsenal optický 1000M duplexní konvertor [online]. 2010 [cit. 2010-05-14]. Dostupný z WWW:< <http://fiber-arsenal.cz/produkty/aktivni-prvky/konvertory/fiber-arsenal-opticky-1000m-duplexni-konvertor-1000nsc25s-sm-sc-sm-25-km/>>.
- [39] D-LinkDGS-1024D [online]. 2010 [cit. 2010-05-13]. Dostupný z WWW:
<<http://www.dlink.com/products/?pid=338>>.

Seznam zkratek a veličin:

Zkratky:

APP	Atmosférické přenosové prostředí
ATM	Asynchronous Transfer Mode - Asynchronní přenosový mód
BPSK	Binary-Phase Shift Keying-digitalní modulaci založenou na posunutí fáze harmonické nosné
CATV	CabelTV - Kabelová TV
E3	Termín užívaný pro digitální zařízení používané pro přenos dat přes telefonní síť
DSSS	Direkt Sequence Spread Spektrum – Technika přímého rozprostření spektra
HFC	Hybrid fibre-coaxial – širokopásmové sítě, která spojuje optické a koaxiální kabely
MAC	Medium Access Kontrol Layer – Kontrolní vrstva přístupu k médiu
MIMO	Multiple In Multiple Out – mnohonásobný výstup mnohonásobný vstup
OBS	Optický bezdrátový spoj
OC3	Optical Carrier – rychlosti přenosu které mohou být na optickém vlákně, optické síti
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing – Ortogonální multiplex s kmitočtovým dělením
PC	personal computer – osobní počítač
PoE	Power over Ethernet –systém napájení a přenosu dat po Ethernet kabeláži
QAM	Quadrature Amplitude Modulation – Kvadrurní amplitudová modulace
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying-Kvadrurní fázová modulace
RSSI	Received Signal Strength Indication - jednotku určující kvalitu signálu pro bezdrátová zařízení
SDM	Security Device Manager – bezpečností manažer zařízení
STM1	Synchronous Transport Module level-1 – přenosové standardy optických sítí
T3	Stanard;telefonní spojení podporující rychlost přenosu dat 43 Mbps
TDMA	Time Division Multiple Access - Mnohonásobný přístup pomocí časového dělení dělení
UDP	User Datagram Protocol-jeden ze sady protokolů
WEP	Wired Equivalent Privacy - soukromí ekvivalentní drátovým sítím
WiFi	Organizace WLAN

Veličiny:

$\alpha_{l,APP}$	Koeficient útlumu v APP	dB
α_e	Koeficient extinkce	km^{-1}
A	absorpce	dB/m
C_n^2	Strukturní parametr indexu lomu	-
F	Frekvence	Hz
I_Θ	Rayleighův rozptyl	-
l	Vzdálenost	m
λ	Vlnová délka	nm
n	Index lomu prostředí	-
T	Propustnost	%
t	Čas	s
v	Rychlost šíření světelného paprsku	ms^{-1}