

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Přírodovědecká fakulta



Přenosové charakteristiky bezdrátových sítí a jejich negativní ovlivnění přírodními jevy

Bakalářská práce

David Kymł

Vedoucí práce: Ing. Rudolf Vohnout

České Budějovice 2015

Bibliografické Údaje

Kyml D., 2015: Přenosové charakteristiky bezdrátových sítí a jejich negativní ovlivnění přírodními jevy. [Transmission characteristics of wireless networks and their negative influence by natural phenomena. Bc. Thesis, in Czech.] 42 p., Faculty of Science, The University of South Bohemia, České Budějovice, Czech Republic.

Anotace

Cílem této bakalářské práce je zjistit, který ze zkoumaných přírodních vlivů má na přenosové charakteristiky bezdrátových Point-to-Point spojů nejvýznamnější vliv na základě experimentálního ověření. Na zařízeních pracujících především v pásmu 5GHz bude probíhat monitoring síly signálu v různých abnormálních přírodních vlivech, jako je například počasí a následně budou tyto naměřené hodnoty porovnány s teoretickými hodnotami. Na základě naměřených hodnot potom určíme, který z přírodních vlivů má na předem stanovenou přenosovou charakteristiku spoje největší vliv.

Anotation

The aim of this bachelor thesis is to determine which of the studied natural influences have on the transmission characteristics of wireless Point-to-Point links the most significant effect on the basis of experimental verification. On devices working primarily in the 5GHz band will be monitoring the signal strength in various abnormal natural effects such as the weather and then these measured values are compared with the theoretical values. Based on the measured values then determine which natural influences has predetermined transmission characteristics of links greatest effect.

Klíčová slova

Point-to-point, Bezdrátové sítě, Přenosové charakteristiky

Keywords

Point-to-point, Wireless network, Transmission characteristics

Prohlašuji, že jsem svoji bakalářskou práci vypracoval samostatně a výhradně s použitím citovaných pramenů a literatury uvedených v seznamu použité literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby stejnou elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V dne Podpis autora

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Rudolfu Vohnoutovi za odborné rady a čas, který mi věnoval při řešení dané problematiky. Také bych rád poděkoval nejmenovanému internetovému poskytovateli za umožnění použití jejich sítě a za potřebné informace, které mi poskytl.

Obsah

1	Úvod	3
2	Metodika	4
3	Bezdrátová komunikace	5
3.1	Technologie Point-to-Point	5
3.2	Point to multipoint	6
3.3	Access point	6
4	Antény	6
4.1	Dělení antén	7
4.1.1	Dělení antén podle zisku	7
4.1.2	Dělení antén podle směrovosti	7
4.2	Vlastnosti antén	8
4.2.1	Zisk	8
4.2.2	Potřebný zisk antény	8
4.2.3	Polarizace	9
4.2.4	Vyzařovací diagram antény	10
4.2.5	Předožadní poměr	11
5	Šíření elektromagnetického signálu	11
5.1	Fresnelova zóna	12
5.2	Retranslace	14
5.3	Vlivy rušení	15
5.4	Vlivy počasí	16
5.4.1	Vlivy deště	16
5.4.2	Vlivy mlhy	17
5.5	Atmosférická absorpce	17
5.6	Ztráta volným prostorem	18
5.6.1	Pravidlo 6dB	19
5.7	BER	20
5.8	Poměr Signál/Šum	20
6	Pásma	21
6.1	Přehled používaných pásem	21
6.2	Licencovaná a nelicencovaná pásma	23

6.3	EIRP	23
7	Charakteristiky spojů v praxi	24
7.1	Poznatky z praxe	28
7.1.1	Vysrážení vody v anténě	28
7.1.2	Spoj postavený na frekvenci 2,4GHz přes les na vzdálenost 4km.....	28
7.2	Rozpočet.....	29
8	Závěr.....	31
9	Seznam použité literatury	32
10	Seznam tabulek	34
11	Seznam obrázků	34
12	Seznam použitých zkratk.....	35
13	Přílohy	36
13.1	Zkoumané spoje.....	36
13.1.1	5GHz - MIKROTIK QRT-5 23dBi MIMO 2x2.....	36
13.1.2	10GHz - UBIQUITI PowerBridge M10	36
13.1.3	10GHz - ORCAVE 1S10.....	36
13.1.4	17GHz - Alcoma AL17F MP600.....	36
13.1.5	24GHz - UBIQUITI AirFiber AF-24	37
13.2	Zařízení Mikrotik	37
13.2.1	Přístup k zařízením Mikrotik	38

1 Úvod

V současné době je v mnohých případech téměř nemožné realizovat komunikaci pomocí fyzického spojení. A právě tady přichází na řadu bezdrátová komunikace. Bezdrátové spoje nám usnadňují komunikaci v každodenním životě. Tyto bezdrátové spoje jsou však ovlivňovány vnějšími, nejen meteorologickými jevy, které mají na charakteristiky těchto spojů negativní vliv. Některé jevy mají téměř neregistrovatelný vliv na daný spoj, jiné zase mohou mít za následek i úplné zhroucení spoje. O tom, který z těchto jevů má na charakteristiky bezdrátových spojů typů Point-to-Point největší vliv, pojednává tato Bakalářská práce.

Výzkum bude probíhat v pásmech 5, 10, 17 a 24GHz, přičemž bude pozorována kvalita signálu jednotlivých spojů za určitých, nejen meteorologických jevů, které mají na kvalitu signálu nežádoucí vliv. V první části bude tato práce pojednávat o základních pojmech, které je nutné vědět z praktického hlediska. Ve druhé části pak bude práce rozebírat konkrétní naměřené hodnoty v každém z těchto pásem, které budou následně porovnány s jednotlivými charakteristikami daných spojů. Výsledkem této praktické části bude zhotovení grafů a tabulek, ze kterých bude určen jev, který má na charakteristiku spojů nejvýraznější vliv.

2 Metodika

V této práci je použita vědecká metoda typu experiment.

Nejprve je třeba analyzovat veškeré páteční spoje typu point-to-point v síti internetového poskytovatele. Dále je nutné vybrat spoje, které se nacházejí v oblasti, kde jsou důvěryhodná meteorologická data. Po této analýze je nutné spoje fyzicky zkontrolovat, zda nejsou mechanicky poškozené a plní veškeré předpoklady, které budou v práci rozebrány. Také je nutné na všech zařízeních, na kterých bude probíhat měření, povolit vzdálený přístup. Pomocí vzdáleného přístupu k jednotlivým zařízením bude možné získávat naměřené údaje kdykoliv a odkudkoliv. Hodnoty budou získávány vícekrát během jednotlivých jevů, aby se dosáhlo co nejpřesnějších výsledků.

Měření bude probíhat na zařízeních pracujících v pásmech 5, 10, 17 a 24GHz, přičemž spojů v pásmech 5 a 10GHz bude možnost srovnávat více spojů. Bude taky pro experimentální účel vybrán spoj, který nebude splňovat některé předpoklady, jenž budou v této práci dále rozebrány.

Budou zkoumány především tyto jevy:

- Teplota
- Sněžení
- Déšť
- Mlha
- Vítr
- Krupobití
- Bouřky
- Smog (kouř z komínů)

Z naměřených hodnot budou vytvořeny tabulky a grafy, ze kterých bude následně možnost vyvodit, který ze zkoumaných jevů má na charakteristiky spojů největší dopad. Dále bude popsán každý jev jednotlivě.

3 Bezdrátová komunikace

Bezdrátová komunikace je takový způsob komunikace, který není realizován mechanicky. V této komunikaci se využívá rádiového spojení na základě elektromagnetické vlny v různých frekvenčních pásmech. Přenos informací tedy probíhá vzduchem bez pomoci drátů, kabelů nebo jakékoliv jiné formy elektrických vodičů. Bezdrátová komunikace umožňuje dalekonosné spoje, které nejsou příliš praktické nebo dokonce nemožné s použitím fyzického spojení. Tento dalekonosný spoj je realizován pomocí technologie Point-to-Point (Bod-Bod), koncový klienti se pak připojují až na Access Point (Přístupový bod). Bezdrátové spojení však přináší také nevýhody. Mezi ty hlavní můžeme zařadit rušení signálu. Ať už meteorologickými jevy nebo jiným zařízením, které pracuje ve stejném frekvenčním pásmu. V dnešní době se pro bezdrátovou komunikaci používají bezlicencovaná frekvenční pásma 5, 10, 17 a 24GHz. To má za následek velké obsazení rádiových frekvencí v těchto pásmech, které vede k rušení signálu. Licencovaná pásma 11 a 13GHz jsou pak použity hlavně tam, kde provozovatel od spoje vyžaduje spolehlivost a jistotu, že mu spoj nenaruší už nikdo jiný.

3.1 Technologie Point-to-Point

Point-to-point (bod- bod) slouží jako skoky pro spojení dvou míst, bez toho aniž by se k některé jednotce připojovali uživatelé – klienti. Pro tyto spoje se používají pásma vyšších frekvencí než 2,4GHz, neboť toto pásmo je již značně narušené. Komunikuje se především v bezlicencovaných pásmech 5, 10, 17 a 24GHz a licencovaných pásmech 11 a 13GHz. Zařízení pracující ve vyšších pásmech, než je 5GHz jsou však výrazně dražší. Výhodou těchto spojů je však minimální riziko rušení, jelikož vyzařovací úhel je velmi úzký a zejména vyšší pásma nejsou dnes ještě tolik využívána. V technologii point-to-point si musíme uvědomit, že nelze koncového klienta připojit ani k jednomu z těchto bodů.

3.2 Point to multipoint

Tuto technologii využijeme v případě, že potřebujeme k jednomu bodu (k jedné LAN síti) připojit více dalších bodů (LAN sítí). Jedná se tedy o rozšířenou obdobu technologie Point-to-Point. I u této technologie platí, že slouží k propojení dvou sítí a nikoliv k připojení koncových klientů.

3.3 Access point

Access point (AP- přístupový bod) je zařízení, ke kterému se připojují koncoví klienti. Klienti připojení ke stejnému AP spolu nekomunikují přímo, ale právě prostřednictvím přístupového bodu. V domácnosti si pod pojmem AP můžeme představit WiFi-Router. V praktickém využití dnes poskytovatelé používají AP v pásmu 5GHz pro vnější šíření signálu o frekvencích od 5470 do 5850MHz při maximálním vyzářeném výkonu 1W (30dBi). V případě, že není zařízení vybaveno automatickou regulací výkonu, která může snížit výstupní výkon zařízení až o polovinu, pak musí být maximální vyzářený výkon zařízení 0,5W (27dBi).

4 Antény

Žádná bezdrátová Wifi síť se neobejde bez kvalitních antén, alespoň u technologie Point-to-Point. Samozřejmě antény dodávané se zařízeními pro používání uvnitř budov nehrají v tomto případě takovou roli, jako antény pro vnější použití na propojení vzdálenějších bodů ve vzdálenosti několika kilometrů. U této technologie je jednoduše anténa klíčovým prvkem. Anténa je zařízení sloužící k vysílání nebo naopak k příjmu radiových signálů. Přenáší energii z vodiče, kde se energie přenáší jako proud do nevodivého prostředí, kde se energie přenáší elektromagnetickou vlnou. Každá anténa je konstruována pro použití jen v daném pásmu. Antény můžeme rozdělit na přijímací a vysílací, kde přijímací slouží k přeměně elektromagnetické vlny na energii elektrickou a vysílací naopak k přeměně elektrické energie na elektromagnetické vlnění, nicméně každá anténa může vysílat i přijímat.

4.1 Dělení antén

4.1.1 Dělení antén podle zisku

- Malý zisk - $G < 8\text{dBi}$
- Střední zisk - $G = 8$ až 18dBi
- Vysoce ziskové - $G > 20\text{dBi}$

4.1.2 Dělení antén podle směrovosti

Po anténě vždy chceme, aby kvalitně přijímala a vysílala signál, proto je rozdělujeme podle toho, kam chceme signál šířit.

- Všesměrové
- Sektorové
- Směrové
- Úzcesměrové

Všesměrové antény slouží k tomu, aby šířili signál do všech stran, musí tedy vykryt úhel 360 stupňů. Tyto antény jsou běžně používány uvnitř budov právě dodávané k jednotlivým zařízením přímo výrobcem. Ve vnějším použití už tak běžné nejsou. V technologii Point-to-point jsou tyto antény nevhodné a používají se v praxi spíše jako AP k připojení koncových klientů, a to spíše za předpokladu nečlenitého terénu.

Sektorové antény vykrývají úhel šíření signálu 30 až 180 stupňů. Používají se tedy především tam, kde potřebujeme vykryt určitý úhel. Ani tento druh antén není pro technologii point-to-Point příliš vhodný a v praxi se opět více užívá jako AP pro připojení koncových klientů.

Směrové antény jsou v technologii Point-to-Point nejrozšířenější. Vykřívají totiž úhel 10 až 30 stupňů a jejich přednost je právě v tom, že umějí soustředit záření signálu do jednoho bodu. Proto se tyto typy antén používají na delší vzdálenosti.

Úzcesměrové antény jsou používány na páteřní spoje. Vykřívají totiž vyzařovací úhel menší, než 5 stupňů a proto jsou schopné „dozářit“ na největší vzdálenost. Jejich instalace je však složitější. Tyto spoje jsou realizovány na velkou vzdálenost, například i

přes deset kilometrů, proto je nutné na sebe směřovat obě antény (oba konce tohoto spoje), aby se dosáhlo co nejlepšího výsledku.

4.2 Vlastnosti antén

4.2.1 Zisk

Zisk je jeden z hlavních parametrů antény. Jednoduše lze říct, že čím větší zisk anténa má, tím vzdálenější signál je anténa schopná zachytit. Zisk je vyjádření poměru mezi intenzitou vyzařování signálu v daném směru k intenzitě vyzařování „izotropní antény“. Izotropní anténa je taková anténa, která vyzařuje signál všemi směry bez jakýchkoliv ztrát. Chová se tedy jako ideální všesměrová anténa. Takovou anténu můžeme nazývat také anténou dipólovou. Dipól je symetrická anténa, jejíž vlastnosti závisejí na poměru délky dipólu a vlnové délky. V praxi se nejčastěji používá takzvaný půlvlnný dipól. Půlvlnný dipól právě proto, že délka takového půlvlnného dipólu je polovina vlnové délky vyzařovaného elektromagnetického vlnění.

Ke spočítání vlnové délky elektromagnetického signálu se používá vzorec $I = c/f$, kde I vyjadřuje vlnovou délku v metrech, c je rychlost světla vyjádřena v metrech za sekundu a f je frekvence vlnění udávaná v hertzech.

Zisk antény lze vyjádřit v decibelech. V případě izotropní antény se zisk udává v dBi, decibelech na isotrop v případě antény dipólové se udává d dBd, decibelech na dipól, přičemž platí vztah $0 \text{ dBd} = 2,15 \text{ dBi}$. Většina výrobců však udává zisk antény v dBi.

4.2.2 Potřebný zisk antény

Potřebný zisk antény na určitou vzdálenost vypočítáme dle následujícího vztahu.

$$Pr = Pt + Gt + Gr - Lo - Lt - Lr - Rez$$

Pt – výstupní výkon karty [dBm]

Pr – přijímaný výkon [dBm]

Lo – ztráty vlivem šíření volným prostorem [dB]

Lt – ztráty na vysílané straně mezi kartou a anténou (kabely, konektory) [dB]

Lr – ztráty na přijímací straně mezi kartou a anténou (kabely, konektory) [dB]

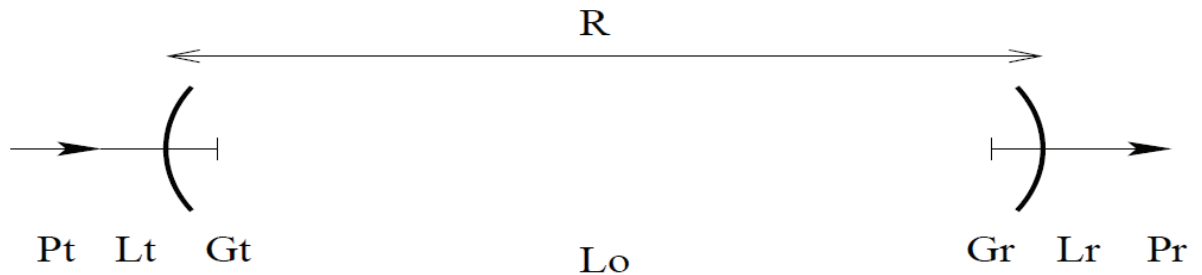
Gt – zisk vysílací antény [dBi]

Gr – zisk přijímací antény [dBi]

Rez – rezerva [dB]

R – vzdálenost antén [m]

λ – vlnová délka [m]



Obrázek 1: vzorec pro výpočet přijímaného výkonu

$R = 1000\text{m}$, $\lambda = 0,06\text{m}$ (pásmo 5GHz má délku vlny přibližně 6cm)

$P_t = 15\text{dBm}$

$P_r = -85\text{dBm}$ (v nezarušeném prostředí) / -75dBm (v zarušeném prostředí)

$G_t = 8\text{dBi}$

$L_t = L_r = \text{Rez} = 3\text{dB}$

Pro výpočet útlumu prostředím je vzorec:

$$L_o = 10 \log \left(\frac{4 \times \pi \times r}{\lambda} \right)^2$$

$G_r = P_r - P_t - G_t + L_o + L_r + L_t + \text{Rez} = -85 - 15 - 8 + 106,4 + 3 + 3 + 3 = 7,4\text{dB} / 17,4\text{dB}$

4.2.3 Polarizace

Pojem polarizace nám popisuje vlastnost vlnění. Bezdrátové spoje využívají dva druhy polarizace elektromagnetického vlnění.

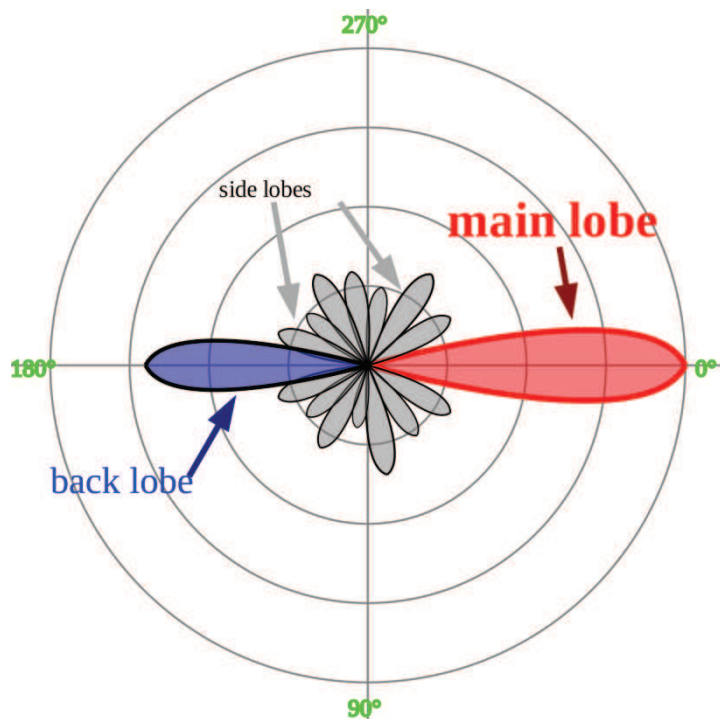
- 1) Lineární polarizace
- 2) Kruhová polarizace

Lineární polarizace se vztahuje k rovině, ve které se šíří elektrická složka elektromagnetické vlny. Ta se může šířit v rovině horizontální nebo vertikální, toto závisí pouze na konstrukci antény. Pro optimální spoj potřebujeme na každém konci zařízení se stejným druhem polarizace, není však nemožné vytvořit spoj s odlišnou polarizací. Poté musíme ale počítat se ztrátovostí takového spoje a také zcela jistě nedosáhneme takové vzdálenosti, jako u spoje se stejnou polarizací.

Kruhová polarizace vznikne šířením signálu v horizontální a vertikální rovině zároveň a může být rovněž dvojího typu, a to typu pravotočivé kruhové polarizace nebo levotočivé kruhové polarizace. Opět platí, pokud chceme dosáhnout kvalitního spoje, použijeme na obou koncích stejný typ polarizace. Pokud například proti sobě spojíme antény, u nichž nebude souhlasit směr kruhové polarizace nebo dojde-li k zaměnění horizontální a vertikální roviny, tedy k otočení roviny polarizace o devadesát stupňů, povedou tyto následky ke značnému zhoršení kvality tohoto spoje díky potlačení zisku antén a může dojít k úplnému znemožnění přenosu dat na takovém spoji. U většiny antén lze polarizaci otočit pootočením zářiče o devadesát stupňů, musíme ale zohlednit přizpůsobivost takové antény, některé antény můžeme přeskládat, některé však rozebrat nemůžeme a pootočení takové antény by mohlo mít za následek její pozdější poškození vnějšími vlivy. Do antény by se při špatném počasí mohla dostat například voda, čímž by mohla být ovlivněna charakteristika antény.

4.2.4 Vyzařovací diagram antény

U každé antény je vyzařovací diagram jedním z nejdůležitějších prvků. Tento diagram nám graficky znázorňuje intenzity vyzařování v různých úhlech, udává jí směrové vlastnosti antény. Ke každé anténě se většinou zpracovává diagram jak pro horizontální, tak i vertikální polarizaci. Ke každé anténě je specifický vyzařovací diagram. Kromě hlavního laloku popisuje i postraní laloky, které téměř každá anténa obsahuje. Díky tomu se tedy každá anténa, ať směrová nebo sektorová chová na krátkou vzdálenost jako všesměrová.



Obrázek 2: Vyzařovací diagram antény

4.2.5 Předozadní poměr

Předozadní poměr, neboli „Front to Back Ratio“ je u antén poměr, kolikrát je maximální intenzita ve směru záření vyšší, než je maximální intenzita záření ve směru opačném. Tento poměr v praxi využijeme hlavně tehdy, když umístíme více antén na jeden stožár. Předozadní poměr se vyjadřuje v dB stejně jako zisk.

5 Šíření elektromagnetického signálu

V reálném prostředí obecně platí pravidlo, které říká, že mezi anténami by měla být přímá viditelnost. To znamená, že musíme druhou anténu vidět pouhým okem, na delší vzdálenost pak pomocí dalekohledu. V praxi není až tak jednoduché takové pravidlo použít, nicméně vlivem překážek dochází k znehodnocení signálu. Může docházet k pohlcení signálu, odrazu, rozptylu nebo i k ohybu. Ovšem i při dodržení tohoto pravi-

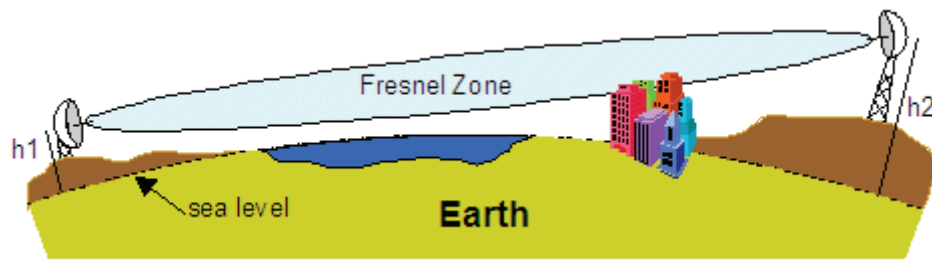
dla se signál musí vyrovnat s dalšími potížemi, které mohou nastat. Negativní vliv na šíření signálu mohou mít různé jevy počasí a stejně tak může tento signál rušit jiný spoj realizovaný ve stejném frekvenčním pásmu.

5.1 Fresnelova zóna

Fresnelova zóna je pojmenována po fyzikovi Augustinu-Jeanovi Fresnelovi. Definiuje šíření signálu mezi dvěma body tj. od vysílače (TX) k přijímači (RX). Jednou z nutných podmínek pro kvalitní šíření signálu je přímá viditelnost mezi vysílací a přijímací anténou. Ne vždy však toto pravidlo postačuje. Ideální jsou rádiové vlny, které cestují v přímém směru od vysílače k přijímači, existují však i jiné vlny uvnitř šíření signálu "elipsoidy". Fresnelova zóna definuje určitý prostor elipsovitého tvaru kolem spojnice těchto dvou bodů. Vlny, které necestují v přímém směru, mohou narazit na různé překážky, jako jsou například vysoké budovy, stromy nebo jakékoliv jiné abnormality v terénu, které zasahují třeba i jen částečně do prostoru Fresnelovy zóny. Tato narušená Fresnelova zóna nemá většinou za následek příliš velké snížení úrovně signálu, ale spíše se snižuje kvalita přenášeného datového toku, protože se vzájemně ruší jednotlivé odrazy. To má za následek znatelnou ztrátovost paketů a také se jistě nepřiblížíme rychlosti, které se jinak dosáhne při ideálních podmínkách. Při nedodržení Fresnelovy zóny může dojít k poklesu kvality signálu nebo dokonce k jeho ztrátě. Při výpočtu vycházíme ze vzorce:

$$r = \sqrt{\lambda \frac{l_1 \cdot l_2}{d}}$$

kde r značí poloměr Fresnelovy zóny v daném bodě, l_1 a l_2 nám udávají vzdálenost od překážky (v tomto případě panelové domy), d udává celkovou vzdálenost spoje a λ je označení pro vlnovou délku. Všechny tyto veličiny jsou udávány v metrech.

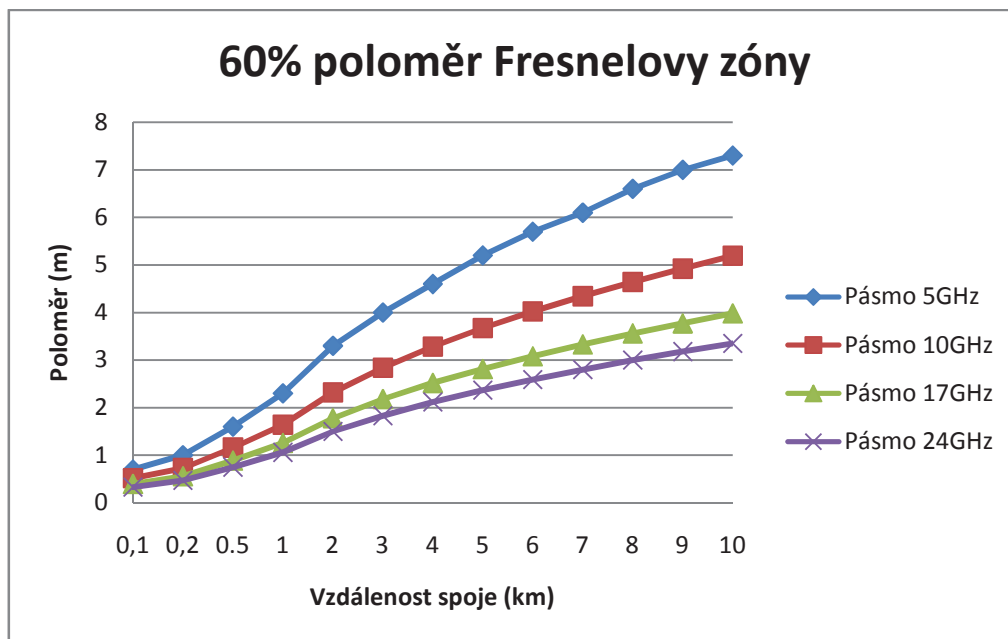


Obrázek 3: Fresnelova zóna

Pro dostatečně kvalitní signál nám tedy nemusí stačit přímý výhled na druhou stranu spoje. Spoj by měl být realizován tak, aby byla zóna alespoň z 60% volná, v té se totiž přenáší 90% energie. Důležité je také zvolit správnou polarizaci. Při realizaci spoje, který vede například mezi budovami nebo jinými objekty, volíme polarizaci vertikální, naopak u spoje, který je realizován nad výběžky terénu nebo objekty, volíme polarizaci horizontální. Níže uvedená tabulka nám ukazuje 60% poloměr FZ, který je dostačující pro kvalitní přenos dat.

Délka spoje km	60% poloměr Fresnelovy zóny (m)			
	Pásmo 5GHz	Pásmo 10GHz	Pásmo 17GHz	Pásmo 24GHz
0,1	0,7	0,52	0,4	0,33
0,2	1	0,73	0,56	0,47
0,5	1,6	1,16	0,89	0,75
1	2,3	1,64	1,26	1,06
2	3,3	2,32	1,78	1,5
3	4	2,84	2,18	1,83
4	4,6	3,28	2,52	2,12
5	5,2	3,67	2,81	2,37
6	5,7	4,02	3,08	2,59
7	6,1	4,34	3,33	2,8
8	6,6	4,64	3,56	3
9	7	4,92	3,77	3,18
10	7,3	5,19	3,98	3,35

Tabulka 1: 60% rozsah Fresnelovy zóny potřebný pro kvalitní spoj



Obrázek 4: Poloměr Fresnelovy zóny

Z výše uvedené tabulky a grafu lze vyvodit důsledek, že se zvyšující se frekvencí klesá poloměr Fresnelovy zóny.

5.2 Retranslace

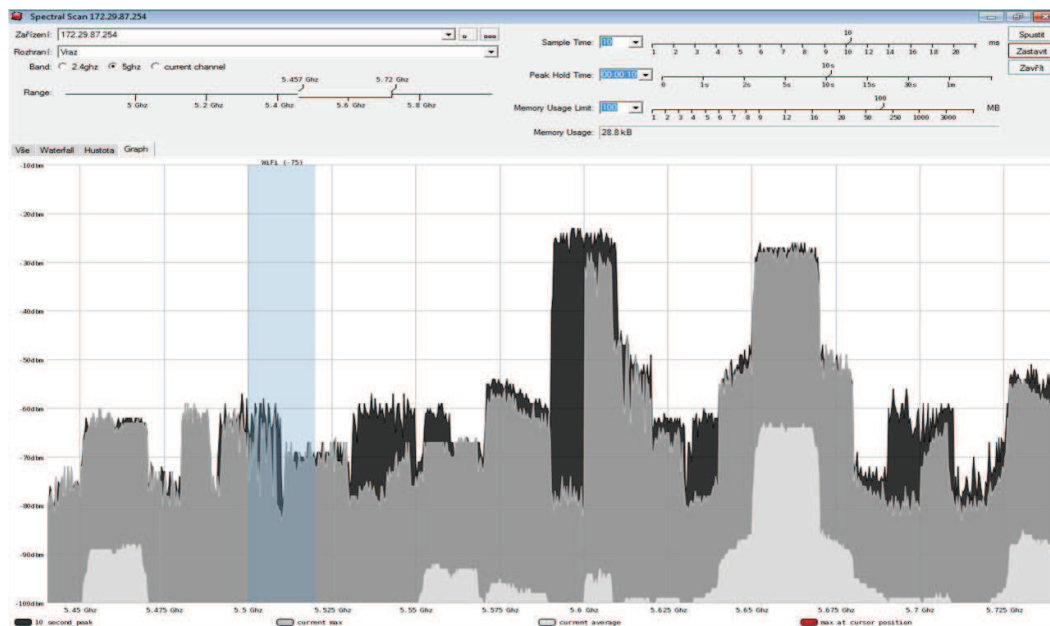
Pasivní retranslace je speciální typ spoje, který je realizován dvojicí propojených antén. Používá se v případech, kdy není možné realizovat spoj na přímou viditelnost. Hlavní výhoda tohoto řešení spočívá v tom, že na místě společné viditelnosti nepotřebujeme žádný aktivní prvek, tím i napájení. Stačí dvojici antén propojit vlnovodem. Spoj poté funguje tak, že jedna anténa zachytí signál do vysílače jedné koncové stanice, která následně signál předá druhé anténě pomocí vlnovodu a ta jej předá přijímači druhé koncové stanice. Při této realizaci je nutné volit antény s velkým ziskem, neboť dochází k velkým výkonovým ztrátám. V mnoha případech nám však nezbývá nic jiného, než použít právě tuto pasovní retranslaci.



Obrázek 5: Retranslace

5.3 Vlivy rušení

Každá přenosová cesta přenáší signály, některá lépe, jiná hůře. Záleží především na frekvenci pásma, ve kterém je signál přenášen a na povaze jeho změn. Některé signály jsou už tak pokaženy, že nemá smysl je danou přenosovou cestou přenášet. S rušením signálu se setkáváme převážně v nelicencovaných pásmech. Dnes máme celou řadu internetových poskytovatelů, kteří vysílají na stejné frekvenci. Například v nelicencovaném pásmu 5GHz je pro venkovní užití určeno 11 kanálů v šířce 20MHz a vysílací výkon je omezen na 1W. Tyto zařízení sice musí být vybavena dynamickým výběrem frekvencí a regulací výstupního výkonu tak, aby se zabránilo rušení ostatních zařízení pracujících ve stejném pásmu, nicméně se můžeme setkat s takovými případy, ve kterých máme i 20 zařízení pracujících ve stejném pásmu v minimálních rozestupech. V takovém případě může být řešením i změna polarizace. Pokud se přesto vyskytne vzájemné rušení dvou provozovatelů, kteří se vzájemně nedohodnou, kroky vedoucí k odstranění rušení je povinen učinit ten provozovatel, který zahájil provoz svého zařízení jako poslední. Toto může být kontrolováno ČTU. V těchto případech je také dobré použít spektrální analyzátor, který nám ukáže vše, co vysílá na frekvencích ze zkoumaného rozsahu. V současné době nemusíme používat nějaký drahý přístroj, neboť některá chytrější zařízení, jako je MikroTik, umějí vykreslit spektrum sami.



Obrázek 6: Spektrální analýza na zařízení MikroTik

5.4 Vlivy počasí

Při dodržování základních pravidel při realizaci bezdrátového spoje se vlivů počasí příliš bát nemusíme. Pokud dodržíme Fresnelovu zónu a řádně upevníme anténu tak, aby se při silném větru nepootočila, neměl by nastat nějaký větší problém. Může se ale například stát, že do dříve realizovaného spoje, který vede nad korunami stromů nebo dokonce mezi stromy, začnou zasahovat části tohoto stromu a negativně ovlivňovat charakteristiky spoje. Takový spoj pak může ještě podstatně ovlivnit počasí. Voda samotná na charakteristiku spoje nemá až takový vliv, při silném dešti sice úroveň signálu poklesne, ale mokré stromy v cestě takového spoje představují nepřekonatelnou překážku. Mokrá strom vytvoří jakousi „vodní stěnu“, přes kterou signál neprojde. Vlivy počasí mohou mít ale negativní účinky na anténu samotnou. Problémem je pak konstrukčně špatná anténa, ve které může docházet ke kondenzaci. Tu mohou vyvolat prudké změny v počasí.

5.4.1 Vlivy deště

Dešť je další nežádoucí útlum signálu a má závažnější dopad na charakteristiky spojů, které pracují na frekvencích 10GHz a více. V pásmu 5GHz se výraznější útlum neza-

znamenal. K útlumu dochází až při srážkách nad 10mm/h. Rozmezí srážek je většinou 10 až 100mm/h v závislosti na ročním období, v letních tropických počasích pak můžeme ojediněle pozorovat i špičkové hodnoty, které dosahují až 150mm/h. Dešťové kapky absorbují a rozptylují elektromagnetické vlny a mohou dokonce způsobit i změnu polarizace. Déšť také můžeme rozdělit na 2 druhy, na stratiformní a konvektivní. Oba mají na přenášený signál různé účinky.

Deště konvektivní sice postihují malou část území, ale za to jsou velmi intenzivní. Tyto deště mohou způsobit i výpadek spojení. Většinou jsou také doprovázeny silným větrem, proto kapky deště nepadají kolmo k zemi, ale pod určitým úhlem. Pokud kapky deště padají rovnoběžně se směrem šíření signálu, nastává největší útlum.

Deště stratiformní naopak postihují větší část území, ale nejsou tak intenzivní. Protože ale déšť padá rovnoměrně na větší plochu, dochází ke konstantnímu útlumu po celé cestě spoje.

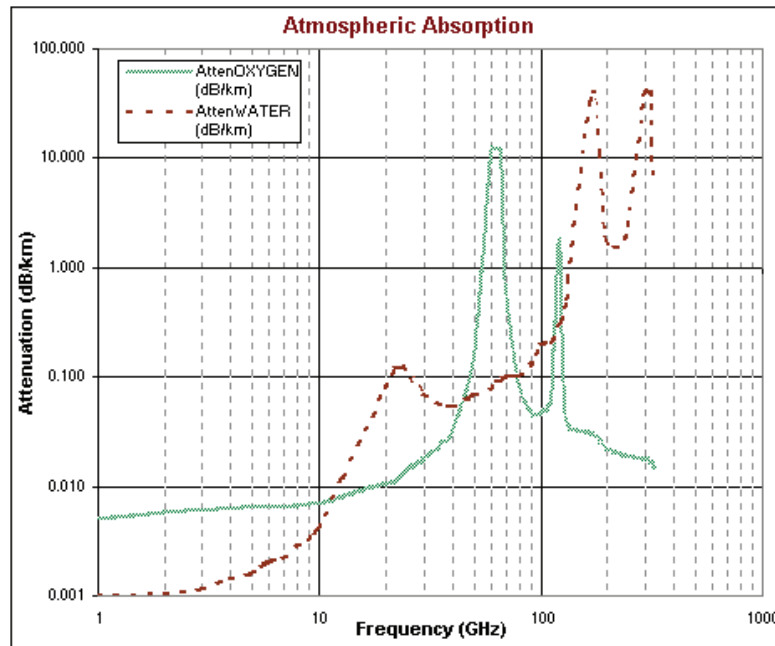
5.4.2 Vlivy mlhy

Tyto vlivy už nemají na přenosové charakteristiky spojů tak významný vliv, jako déšť, nicméně jsou i případy, kdy dochází k útlumu. Opět to ovšem platí u spojů s frekvencí nad 10GHz. Mlhu si můžeme představit jako oblak, který se skládá z miniaturních kapiček. Můžeme říct, že čím větší hustota mlhy bude, tím více vodních kapiček bude obsahovat a tím větší bude i útlum. Nebyl ovšem zaznamenán spoj, kde by mlha nějak zásadně ovlivňovala charakteristiku spoje. Hodnota útlumu nepřesáhla 1dB.

5.5 Atmosférická absorpce

Atmosférická absorpce je další komplikací pro šíření elektromagnetických vln. Největší hrozbu představují vodní páry nebo větší obsah kyslíku, neboť tyto hrozby způsobují pohlcování elektromagnetických vln. I za slunečného počasí byl zpozorován podstatný pokles síly signálu i na vzdálenost 8 km. Může také dojít k odrazu signálu od kapek deště, který je složený z velkého množství odrazů. Takovýto odraz je závislý především na šíři paprsku a kmitočtu. Déšť je hlavní příčinou atmosférického útlumu. Jevy, jakými jsou krupobití, sněžení a mlha mají velmi malý vliv na útlum kvůli nízkému obsahu vody. Elektromagnetické vlny jsou absorbovány v atmosféře podle vlnové délky. Za

většinu absorpce signálu jsou zodpovědné sloučeniny kyslíku (O₂) a vody (H₂O). První vrchol nastává při frekvenci 22,3GHz v důsledku rezonanční absorpce vodní páry a druhý vrchol nastává při frekvenci 63GHz vlivem rezonanční absorpce kyslíku. Skutečné množství vodní páry a kyslíku v atmosféře obvykle klesá s nárůstem nadmořské výšky kvůli poklesu tlaku. Tento graf by tedy měl platit přibližně do jednoho kilometru nadmořské výšky.



Obrázek 7: Atmosférická absorpce

5.6 Ztráta volným prostorem

Dalším problémem v bezdrátové komunikaci je odhad ztrát mezi vysílače a přijímačem. Při vytváření návrhu venkovního bezdrátového spoje musíme počítat s útlumem, který nastává při přenosu signálu volným prostorem. Ztráta ve volném prostoru je definována jako ztráta signálu v důsledku sférického rozptýlení rádiových vln v atmosféře. Pro výpočet ztráty prostorem můžeme použít vzorec:

$$L_o = 32,4 + 20 \times \log F + 20 \times \log D$$

Kde F je frekvence pásma v MHz a D je vzdálenost spoje, přičemž se předpokládá:

- Mezi vysílačem a přijímačem není žádná překážka
- Vlnění, které je odražené, se nedostane k přijímači
- Není narušena první Fresnelova zóna

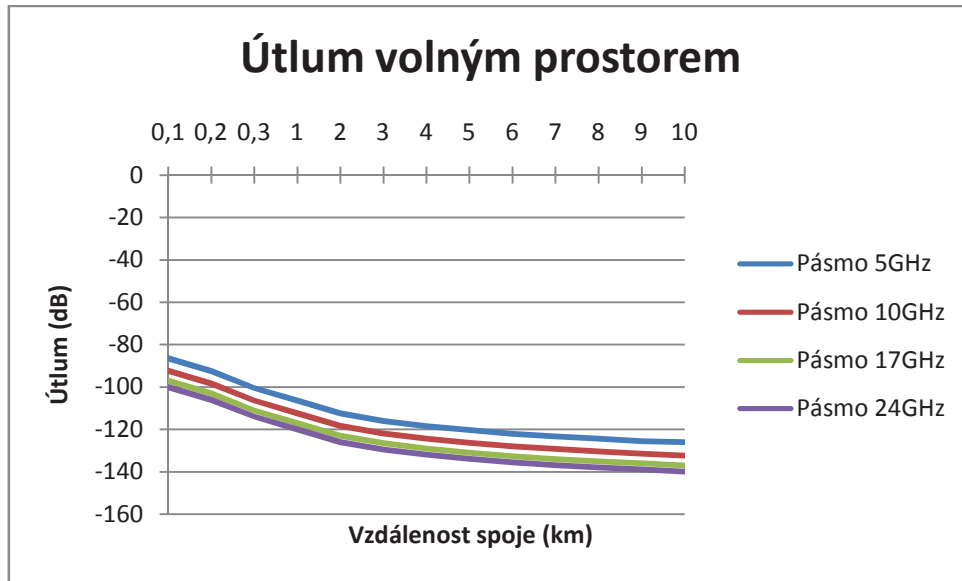
5.6.1 Pravidlo 6dB

Pravidlo 6dB říká, že při dvojnásobné vzdálenosti dochází ke zvýšení ztrát o 6dB a naopak při snížení vzdálenosti na poloviční dojde ke snížení ztrát signálu o 6dB. Stačí si zapamatovat, že například v pásmu 5GHz u spoje dlouhého 1km je ztráta 106,4dB. Spoj o délce 0,5km tedy bude mít ztrátu 100,4dB a naopak spoj o délce 2km bude mít ztrátu 112,4dB.

Níže uvedená tabulka je vypočítána dle výše uvedeného vzorce, můžeme v ní však vidět i výše uvedené pravidlo 6dB. Z vypočtených hodnot lze vyvodit, že se zvyšující se frekvencí spoje roste i jeho útlum.

Délka spoje km	Útlum volným prostorem (dB)			
	Pásmo 5GHz	Pásmo 10GHz	Pásmo 17GHz	Pásmo 24GHz
0,1	- 86,4	- 92,4	- 97	- 100
0,2	- 92,4	- 98,4	- 103	- 106
0,3	- 100,4	- 106,4	- 111	- 114
1	-106,4	- 112,4	- 117	- 120
2	- 112,4	- 118,4	- 123	- 126
3	- 116	- 122	- 126,5	- 129,5
4	- 118,4	- 124,4	- 129	- 132
5	- 120,3	- 126,4	- 131	- 134
6	- 122	- 128	- 132,6	- 135,6
7	- 123,3	- 129,3	- 134	- 137
8	- 124,4	- 130,5	- 135	- 138
9	- 125,5	- 131,5	- 136	- 139
10	- 126	- 132,4	- 137	- 140

Tabulka 2: Útlum signálu při šíření volným prostorem



Obrázek 8: Útlum signálu při šíření volným prostorem

5.7 BER

„Bit Error Ratio“, neboli bitová chybovost je dána poměrem chybně přenesených bitů k celkovému počtu přenesených bitů během časového intervalu označována zkratkou BER. Lze ji vyjádřit pomocí vztahu:

$$BER = \frac{m_e}{v_t \cdot t_m} \quad [-; \text{bit}; \text{b/s}; \text{s}]$$

kde m_e nám udává počet chybně přijatých bitů, v_t udává přenosovou rychlost a t_m je doba, po kterou měříme. Ideální spoj by měl mít hodnotu BER rovnou 0. Z praxe je však potřebná chybovost alespoň na hodnotě 10^{-6} , která se na kvalitě přenesených dat prakticky neprojeví. Vyšší hodnota už potom znamená problém. Na vznik chyb působí nej-různější faktory, například nedodržení Fresnelovy zóny, šum, rušení signálu a dalších faktorů, které zjistíme vyhodnocováním po dobu i několika dnů.

5.8 Poměr Signál/Šum

Šumy jsou dalšími nežádoucími signály, jejichž zesílení může mít za následek výrazné zhoršení kvality spoje nebo dokonce i jeho zhroutil. Jde o poměr mezi úrovní stan-

dardního signálu a úrovní zbytkového šumu antény. Hodnota tohoto poměru by měla být co nejvyšší. Problémem je, že tvůrce sítě nemá na úroveň šumu žádný vliv, proto i zdánlivě dobrý spoj může být narušován vysokou úrovní šumů. Řešením takového problému je otestování spoje v jiném kanálu nebo výběr vhodnější antény.

6 Pásmo

6.1 Přehled používaných pásem

2,4GHz – toto pásmo je určeno pro datové spoje využívané jak v sítích typu point-to-point, tak i v sítích point-to-multipoint. Vzhledem k tomu, že je toto pásmo již značně narušeno, používá se tato technologie mimo větší města, spíše jen v menších městech a na vesnicích. Toto pásmo je „volné“ a maximální vyzářený výkon nesmí překročit 100mW.

3,5GHz – toto pásmo je určeno pro datové a telekomunikační spoje. Opět se dá použít typ point-to-point i point-to-multipoint. Toto pásmo je však primárně určeno pro poskytování telekomunikačních služeb s garantovanými parametry. Jedná se o pásmo „regulované“.

5GHz – toto pásmo je určeno pro datové spoje typu point-to-point a typu point-to-multipoint. V současné době jde o jedno z nejpoužívanějších pásem internetových poskytovatelů a situace začíná být podobná pásmu 2,4GHz. Jedná se o „volné“ pásmo, maximální vyzářený výkon nesmí překročit 1W (předpokládá se vnější užití).

6GHz – toto pásmo je určeno pro radioreléové spoje typu point-to-point. Toto pásmo je „regulované“.

7GHz – toto pásmo je určeno pro radioreléové spoje typu point-to-point stejně jako pásmo 6GHz. Toto pásmo je „regulované“.

10GHz – toto pásmo je určeno pro radioreléové spoje typu point-to-point. Pásmo je používáno především na spoje delších vzdáleností a na spoje ve větších městech. Jedná se o pásmo „volné“ a maximální hodnota vyzářeného výkonu nesmí překročit 2mW.

V tomto pásmu platí ještě jedno omezení, a to šířka kanálu. Ta nesmí být větší než 28MHz.

11GHz – toto pásmo je určeno pro radioreléové spoje typu point-to-point především na větší vzdálenosti. Toto pásmo je „regulované“.

13GHz – toto pásmo je určeno pro radioreléové spoje typu point-to-point. Jedná se o pásmo „regulované“.

17GHz - toto pásmo je určeno pro radioreléové spoje typu point-to-point. Point-to-point krátké vzdálenosti. Toto pásmo je „volné“.

18GHz – toto pásmo je určeno pro radioreléové spoje typu point-to-point. Jedná se o pásmo „regulované“.

23GHz - toto pásmo je určeno pro radioreléové spoje typu point-to-point. Jedná se o pásmo „regulované“.

24GHz – toto pásmo je určeno pro aplikace na monitorování, dálkového ovládnutí apod. Toto pásmo lze však využít i pro datové spoje typu point-to-point krátké vzdálenosti. Toto pásmo je „volné“.

26GHz - toto pásmo je určeno pro datové a telekomunikační spoje typu point-to-point a point-to-multipoint. Podobně jako pásmo 3,5GHz je toto pásmo primárně určeno pro poskytování telekomunikačních služeb s garantovanými parametry. Malá část tohoto pásma je ovšem k dispozici i pro radioreléové spoje krátké vzdálenosti. Toto pásmo je „regulované“.

38GHz - toto pásmo je určeno pro radioreléové spoje typu point-to-point. Jedná se o pásmo „regulované“.

40GHz - toto pásmo je určeno pro datové a telekomunikační spoje typu point-to-multipoint. Toto pásmo je „regulované“.

80GHz - toto pásmo je určeno pro radioreléové spoje typu point-to-point do vzdálenosti 2km. Jedná se o pásmo „volné“ a maximální hodnota vyzářeného výkonu je 45dBW.

Pro provozovatele je důležitým parametrem šířka zabraného pásma, neboť právě zabraná šířka pásma je zpoplatňována regulačním orgánem. Není tedy zpoplatňována šířka zabraného pásma, ale počet zabraných nebo částečně zabraných standardních kanálů.

6.2 Licencovaná a nelicencovaná pásma

Licencovaná a nelicencovaná pásma stanovuje Český telekomunikační úřad. Protože na bezlicencovaných pásmech může bez jakéhokoliv oprávnění vysílat kdokoliv a kdekoliv, dochází k zarušení těchto pásem. Není tak zajištěna ochrana proti rušení od jiných spojů. Licencovaná pásma jsou řešením pro kvalitní páteřové spoje, protože vyžadují licence, které spravuje ČTU a garantuje tím omezené využití spektra pouze jediným provozovatelem. Díky tomu na spojích v licenčních pásmech nedochází k žádnému rušení, což je pro poskytovatele klíčové. Licencované pásmo je možné pořídit za poplatek 5000,-Kč a náklady na roční provoz činí okolo 11000,-Kč. Oprávnění trvá po dobu 5 let, poté je třeba znovu podat žádost o prodloužení.

6.3 EIRP

Jedná se o celkový vysílací výkon, který může zařízení vyzařovat. Hodnota je udávána ve wattech. Limity v jednotlivých pásmech najdeme na stránkách ČTÚ, například pro pásmo 5470 – 5725 pro použití vně budov je EIRP roven 1W (30dBm). Hodnotu můžeme spočítat následujícím způsobem: $EIRP [dB] = \text{výkon na výstupu karty} [dBm] + \text{zisk antény} [dBi] - \text{ztráty (kabel, konektory)} [dB]$.

Příklad výpočtu hodnoty EIRP: Máme nastavený výkon karty na 15dBm, anténu se ziskem 20dBi a celkovou ztrátou na kabelu se dvěma konektory 4dB.

$$EIRP = 15 + 20 - 4 = 31 \text{ dB (přibližně 1,26W)}$$

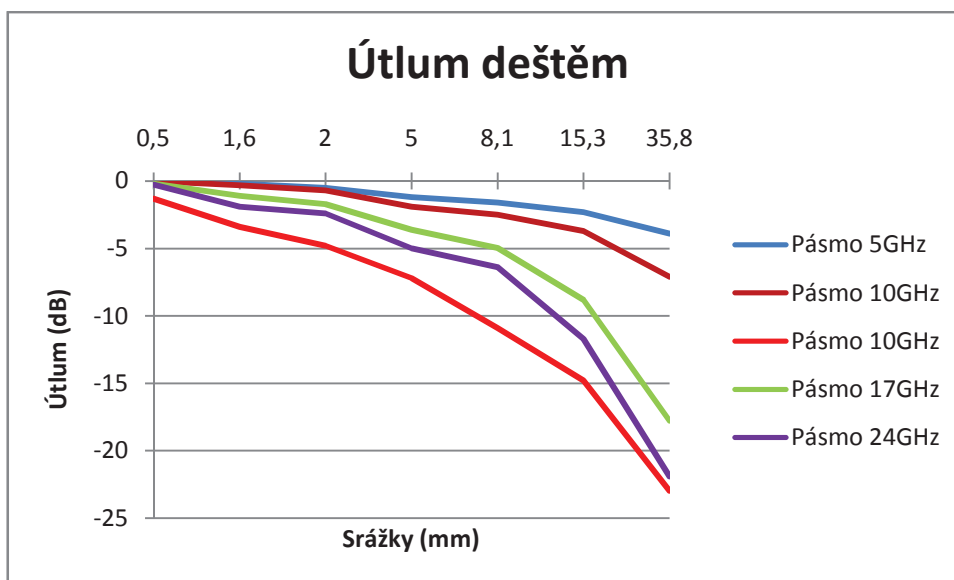
7 Charakteristiky spojů v praxi

Teplota - neměla výraznější vliv na charakteristiku spojů, pouze na jednom spoji byla pozorována větší odchylka při nižších teplotách, útlum až o 12dB, zařízení se však po čase ukázalo jako vadné a bylo vyměněno.

Děšť - jak se předpokládalo, dešť měl na charakteristiky spojů nejvýznamnější vliv ze všech zkoumaných jevů. Znatelný pokles nastával nad 5mm srážek při silnějším dešti v závislosti na frekvenci zařízení. Čím vyšší frekvence zařízení, tím větší útlum.

Srážky (mm)	Pásmo 5GHz	Pásmo 10GHz	Pásmo 10GHz	Pásmo 17GHz	Pásmo 24GHz
0,5	-0	-0	-1,3	-0,19	-0,27
1,6	-0,2	-0,3	-3,4	-1,1	-1,9
2	-0,5	-0,7	-4,8	-1,7	-2,4
5,1	-1,2	-1,9	-7,2	-3,6	-5
8,1	-1,6	-2,5	-10,9	-4,97	-6,39
15,3	-2,3	-3,7	-14,8	-8,8	-11,71
35,8	-3,9	-7,1	-29	-17,78	-21,93

Tabulka 3: Vliv deště na sílu signálu (0,5mm - dešť slabý; 1,6 a 2mm - dešť mírný; 5,1 a 8,1mm - dešť silný; 15,3mm - dešť velmi silný; 35,8 - dešť přivalový)



Obrázek 9: Útlum signálu při dešti

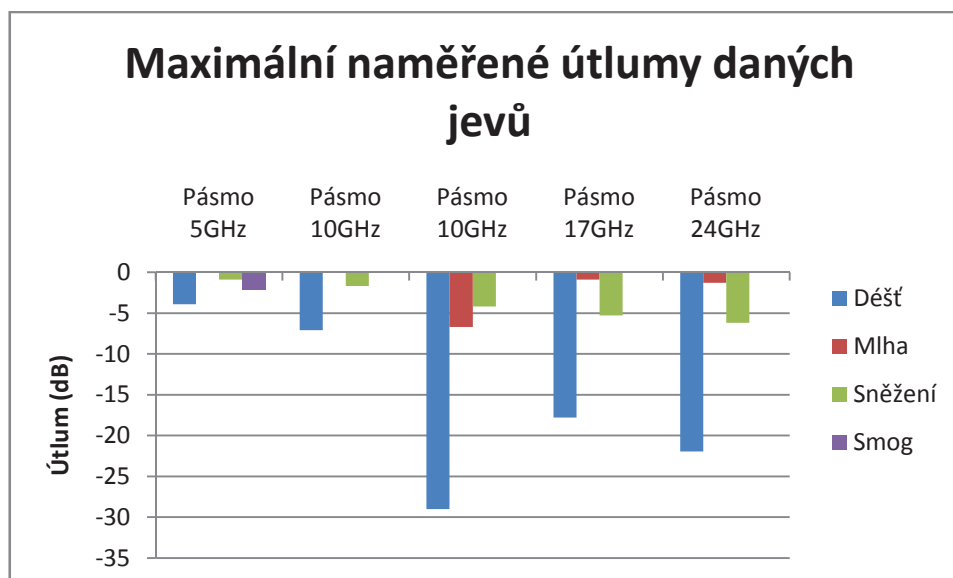
Z výše uvedeného grafu je vidět vliv deště na sílu signálu. Nejsilnější dešť, který jsem naměřil, ukazoval aktuální hodnotu 35,8mm srážek za hodinu. U frekvencí 17 a 24GHz,

kteře jsou na vzdálenost 1,6 a 1,4km se předpokládá síla srážek v celé délce spoje. U frekvencí 5 a 10GHz, kde je vzdálenost 8,2 a 10,7km byla naměřena taková hodnota pouze na jedné straně spoje, na druhé straně spoje se hodnoty srážek lišily. Pásmo 10GHz, které je červeně zvýrazněno **nedodrhuje Fresnelovu zónu!** Tento spoj byl vybrán úmyslně pro zjištění dopadů nedodrhuení tohoto pravidla a jeho vzdálenost je 2,7km. Z grafu můžeme jasně vidět, že v největší síle deště poklesl signál až o 23dB. Cesta spoje vede přes husté stromořadí, které je tvořeno z větší části listnatými stromy a druhá strana spoje není vůbec vidět. Asi půl hodiny po skončení deště tento spoj poklesl až o 29,7dB a dokonce i na několik desítek minut spadl úplně. Tím můžeme říci, že při doporučené rezervě, alespoň 20dB, není dešť až takový problém jako stromy v cestě spoje. Jakmile se totiž listy stromů nasáknou vodou, vytvoří ze sebe jakousi vodní stěnu, která začne pohlcovat signál.

Následující tabulka ukazuje, který ze zkoumaných vlivů má na charakteristiku spoje nevýznamnější vliv.

Jev	Pásmo 5GHz	Pásmo 10GHz	Pásmo 10GHz	Pásmo 17GHz	Pásmo 24GHz
Děšť	-3,9	-7,1	-29	-17,78	-21,93
MLha	-0	-0	-6,7	-0,9	-1,3
Sněžení	-0,9	-1,7	-4,2	-5,3	-6,2
Smog	-2,1	-	-	-	-

Tabulka 4: Nejvyšší naměřený útlum signálu při jednotlivých vlivech



Obrázek 10: Graf útlumu jednotlivých vlivů

Sněžení - z naměřených hodnot vyplynulo, že sníh má na charakteristiku spojů významnější vliv až při vyšších frekvencích. Nemluvíme zde však o slabém sněžení, útlum nastával pouze krátkodobě, a to při silném sněžení, které trvalo řádově desítky minut. Na kvalitu spoje to však nemělo výraznější vliv, neboť se pořád dosahovalo dostačující kapacity spoje. Problém nastal až při špatném konstrukčním řešení, kdy se na zařízení utvořila sněhová clona, v jednom případě to znamenalo i pád spoje.

Mlha - u mlhy jsem se domníval, že budou pozorovány nějaké menší odchylky, nebyly však zaznamenány žádné větší odchylky od optimálních hodnot.

Krupobití - tento jev jsem bohužel neměl příležitost zkoumat. Domnívám se však, že tento jev bude mít významnější vliv na kvalitu spoje. Ať už by šlo o útlum signálu způsobený kroupami, tak i konstrukčním řešením antény.

Silnější vítr - pokud je zařízení kvalitně instalováno, nebyly naměřené větší odchylky. Problém nastal při vychýlení konstrukce, ke které bylo zařízení instalováno a při instalaci zařízení na anténní tyč, která se při silnějších nárazech větru vychylovala ze své osy. Zkoumání proběhlo i na silnější konstrukci. Z pohledu pouhým okem se zdálo, že se konstrukce nijak nevychyluje ze své osy, nicméně byla na konstrukci instalována kamera, která jasně ukázala, že se konstrukce při silnějším větru chvěje.



Obrázek 11: Anténní konstrukce

Bouřka - v posledních měsících se tento jev téměř nevyskytoval. Při bouřce se charakteristika spoje mění téměř stejně, jako při silném dešti. Zpravidla docházelo ke krátkodobému útlumu v délce trvání bouřky, která nikdy neměla v této oblasti delšího trvání. Rozdílem mezi bouřkou a deštěm je však ten, že při bouřce je riziko zničení zařízení. Při úderu blesku v bližším okolí dochází k elektrickému přepětí, které trvá velmi krátkou dobu (v řádech milisekund) a má schopnost zničit všechna zařízení, která jsou připojena v síti. Používání bleskojistek, přepět'ových ochran se považuje jako samozřejmost, nikdy nám ale nedávají 100% jistotu. Nejlepší ochranou při tomto jevu je odpojení zařízení ze sítě, což je však nereálné.

Kouř z komínů (smog) - z dostupných zdrojů jsem vyčetl tezi, že kouř z komínů může ovlivnit kvalitu signálu spoje. Většinou však zařízení na spoje typu point-to-point nejsou umístěny v dosahu kouře. Udělal jsem zde proto malý pokus a měřil hodnoty ze svého zařízení na trase k AP. Zařízení bylo demontováno a probíhalo měření skrze kouř, který z komína vycházel při topení dřevem a uhlím. Žádný útlum signálu však nenastal. Někdy se ale může stát, že když se na zařízení bude kouřit delší dobu, mohou se na takovém zařízení uchytit spaliny, které z komína vychází a následně by mohly mít za následek útlum signálu. Pokusil jsem se tuto vizi demonstrovat tím, že jsem seškrabal spaliny z horní části komína a poté je nanesl na zařízení. Hodnoty tohoto pokusu ukázaly útlum až o 2dB. Tento pokus však nelze brát jako směrodatný, neboť jsem přesvědčen o tom, že se takové množství spalin na zařízení nikdy nepřichytí a pokud by se tak mělo stát, tak si myslím, že se zařízení v dnešní době vymění za novější dřívě, než by takový problém nastal.

Jezera - jedná se o nádrže, které jsou tvořeny povrchovou, dešťovou a podzemní vodou. Jde pouze o domněnku, která se nepodařila vyvrátit. V podzimním období v měsících září a říjen byl pozorován útlum až o 4dB. Tento útlum byl dlouhodobý a trval i celý týden a byl pozorován na spoji, který je realizován právě nad jezernatou oblastí. Není jasné, zda se nad jezerem tvořila nějaká vodní pára, či šlo jen o odrazy signálu od vodní hladiny. Tento jev se vyskytl pouze v těchto dvou měsících a byl pozorován i předešlé roky. Je v plánu osadit obě strany spoje meteorologickou stanicí, popřípadě se v tomto období vydat po trase spoje a dopodrobna zkoumat, co přesně tento jev způsobuje.

Rušení - nejpodstatnější vliv na charakteristiku spoje, který není způsoben meteorologickými jevy nebo jinými přírodními vlivy představuje rušení. Stačí se rozhlédnout kolem sebe na vyšší budovy a bude nám hned jasné, proč tomu tak je. Realizaci nových spojů typu point-to-point se snažíme instalovat tam, kde ještě není žádné zařízení, pokud to lze. I za cenu dražšího únosného pronájmu, protože do budoucna víme, že si tím ušetříme spoustu starostí. V případě instalace spoje na místo, kde je již více zařízení se snažíme oddělit jednotlivé antény pomocí plechu. Alespoň částečně tím od sebe odstíjíme jednotlivá zařízení, což se v praxi ukázalo jako dobré řešení.

7.1 Poznatky z praxe

7.1.1 Vysrážení vody v anténě

Jedním z méně častých problémů je špatné konstrukční řešení antény. I taková situace však bohužel může nastat. Monitorovací systém sítě začal ukazovat problémy na jednom 5GHz spoji. Při vzdáleném připojení na konkrétní zařízení vypadalo vše v naprostém pořádku až na sílu signálu, přitom bylo jasné počasí. Po příjezdu na místo byly zkontrolovány veškeré izolace, kabeláž, a zda se anténa nijak nepootočila a nebyla mechanicky poškozena. Šlo o typ plastové antény, která byla dodána vcelku, bez možnosti jakékoliv možnosti rozebrání. Po demontování antény se zjistilo, že se v ní přelévá voda ze strany na stranu. Pravděpodobně k tomu došlo vysrážením vody v anténě, jež bylo způsobeno vlivem počasí. Krátkodobým řešením bylo do antény navrtat díru, kterou vyteklo malé množství vody, a poté se díra opět pečlivě zaizolovala. Anténa poté ještě 14 dní plnila svoji funkci bez menších potíží, přesto byla vyměněna za novější.

7.1.2 Spoj postavený na frekvenci 2,4GHz přes les na vzdálenost 4km

Tento spoj vyvrací jakékoliv hypotézy, které jsou v této bakalářské práci zmíněné. Jde o spojení jedné menší vsi, ve které využívají služby ISP tři uživatelé. Je třeba zmínit, že tento spoj je realizován řadu let bez menších potíží. Není zde dodržena Fresnelova zóna a úroveň hodnoty signálu je dostačující i za silnějšího deště, což vyvrací tvrzení o strorech nasátých vodou. Po předělání spoje do novější technologie pracující na frekvenci 5GHz byl signál při nedodržení Fresnelovy zóny téměř k nepoužití a už při slabším deš-

ti spoj vypadával. Následně došlo k předělání spoje zpět na starší technologii pracující na frekvenci 2,4GHz, jelikož není tento spoj pro ISP lukrativní. Pro tři uživatele je tento spoj však dostačující a funguje stále bez sebemenších problémů.

7.2 Rozpočet

Při navrhování sítě musíme mimo ceny zařízení počítat také s cenou nájemného. Ta se může různě lišit danou lokalitou, či typem objektu, na kterém je anténa umístěna. Antény jsou umísťovány na různé objekty, vždy ale poskytovatel kouká především na výšku daného objektu, a zda nebude v okolí objektu nic zaclánět ve výhledu. Ve městech se setkáme s páteřními spoji především na vysokých panelových domech, vysokých komínech nebo na vodojemu. Na vesnici potom můžeme vidět antény na vyšších bytových domech nebo na obecních úřadech, které zpravidla bývají nejvyšším objektem ve vsi. Cena pronájmu je tedy různá i v závislosti na typu objektu, kde je anténa umístěna. V praxi můžeme sledovat nárůst ceny kvůli konkurenčním ISP. Jako příklad mohu uvést bytovou jednotku, kde bylo jako nájemné poskytování internetových služeb pro 4 z 8 bytů zdarma včetně toho, že ISP hradil náklady na elektrickou energii. Při příchodu jiného ISP se však začalo platit nájemné ve výši 1 500Kč měsíčně včetně spotřeby elektrického proudu, spotřebitelé internetových služeb však začali platit poloviční paušál. Podmínky konkurence neznám, v bytové jednotce ale poskytuje služby dvěma bytům. Také se můžeme setkat s tím, že po vypršení smlouvy mezi ISP a majitelem objektu majitel neúnosně změní platební podmínky. V tom případě nezbyvá nic jiného, než se poohlédnout po jiném objektu, kde by bylo možné realizovat druhou stranu spoje nebo přistoupit na nové podmínky.

Cena umístění antény na vodojemu

Orientační cena nájemného na vodojemu je 6 500Kč ročně + náklady na energii. Tato cena se však zvedla po příchodu jiného ISP před dvěma roky, do té doby bylo nájemné 4 500Kč + náklady na elektrický proud. Na vodojemu je instalováno 8 zařízení. Celková částka je tedy i včetně ceny elektrické energie zhruba 20 000Kč. Jen pro zajímavost cena nejmenovaného poskytovatele telekomunikačních služeb je desetinásobná.

Cena umístění antény na komíně

Zde se cena výrazně mění v závislosti na lokalitě, a zda je podnik nepřetržitě v provozu. O to mají poskytovatelé největší zájem z toho důvodu, že v případě poruchy mohou většinou vykonávat servisní práce takřka ihned. Tyto objekty jsou v síti ISP dva, a protože zde poskytuje internetové služby a servisní práce v oboru IT, platí se jen spotřebovaná energie. Výhodou také je, že na komíně není žádný jiný ISP ani zařízení, které by způsobovalo rušení. Cena nájemného však může sahat až k hranici 30 000Kč ročně (2500Kč měsíčně).

Cena umístění antény na panelovém domě

U tohoto typu objektu je cena opět variabilní. Při příchodu prvního ISP, který začne poskytovat danému panelovému domu své služby je příkladná cena 12 000Kč ročně. Problém nastává při příchodu dalších ISP nebo dokonce při příchodu poskytovatele telekomunikačních služeb. Cena poté může vzrůst až o několik %. Pro zajímavost cena nejmenovaného poskytovatele telekomunikačních služeb je opět téměř desetinásobná.

Cena umístění antény na obecním úřadu

Ve většině případů je umístění antény na těchto objektech zcela zdarma. Je to z toho důvodu, že internet do obce téměř vždy zřizuje starosta dané obce. Poté celý úřad využívá služby od ISP zcela zdarma. Protože bývá obecní úřad nejvyšším objektem v obci, jsou odtud spojeni i koncoví uživatelé internetových služeb. Pokud tomu tak není, neplatí se na žádném z těchto objektů víc, jak 5 000Kč ročně + náklady za spotřebovanou energii.

Cena umístění antény na bytové jednotce

V tomto případě se většinou platí pouze spotřebovaná energie, jsou ale i takové případy, kdy se neplatí nic. ISP totiž téměř vždy poskytuje své služby bytové jednotce zcela zdarma. Můžeme ale najít i takové jednotky, které o poskytování služeb od ISP zájem nemají. V takových případech se cena nájemného pohybuje okolo 2 000Kč ročně + náklady na pokrytí elektrické energie.

8 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo zjistit, jaké nežádoucí přírodní abnormality mají vliv na charakteristiky spojů point-to-point a který z těchto jevů má největší následky. Pro splnění cíle bylo nutné vybrat optimální spoje v oblasti, kde jsou dostupná meteorologická data. Pomocí vzdáleného přístupu k těmto zařízením se následně získávaly potřebné údaje. Každý, až na jeden spoj splňuje všechny náležitosti, které by měl spoj point-to-point bezpodmínečně splňovat. Tím se myslí dodržení čistého výhledu na druhý konec spoje, dodržení Fresnelovy zóny, důkladná izolace zařízení, upevnění zařízení tak, aby odolala silnému větru a jiným takovým jevům a dalším podmínkám, které byly v této práci popsány.

Následně probíhalo shromažďování naměřených hodnot, ze kterých pak byly zjištěny jevy, které mají na charakteristiky spojů největší dopad. Protože signál na zařízeních kolísá, byly brány v úvahu jevy, které překročili odchylku od optimálního signálu alespoň o 0,5dB. Hodnoty byly získávány na každém ze zkoumaných přírodních jevů několikrát, tyto hodnoty se však vždy lišily pouze minimálně.

Z pozorovaných výsledků lze vyvodit poznatek, že čím vyšší je frekvence zařízení, tím je samotné zařízení náchylnější na vlivy počasí. Na zařízení o frekvenci 24GHz byl při silném dešti pozorován pokles až o 30dB, zatímco na zařízení o frekvenci 5GHz maximálně o 4 až 5dB. Také při silném sněžení došlo na krátkou dobu k utlumení signálu na frekvencích 17 a 24GHz, na nižších frekvencích 5 a 10GHz nebyl pozorován výraznější útlum.

9 Seznam použité literatury

i4wifi. (nedatováno). *Jak na instalaci WLAN*. Získáno 19. 2 2015, z http://files.i4wifi.cz/inc/_doc/Pdf/wlan-info-01-cz.pdf

i4wifi. (nedatováno). *Měření závislosti přenosové rychlosti na vloženém útlumu*. Získáno 20. 2 2015, z http://files.i4wifi.cz/inc/_doc/Pdf/mereniCM9XR5.pdf

Kaiser Data. (nedatováno). *Provozní kmitočty RR spojů*. Získáno 20. 2 2015, z <http://www.bezdratove-telekomunikace.cz/katalog-pojitek/o-radiovych-spojich/3-provozni-kmitocty-rr-spoju/>

Kapler, T. (15. 8 2005). *Pásmo 5 GHz schváleno, začne nová kapitola broadbandu v ČR?* Získáno 25. 2 2015, z <http://www.internetprovsechny.cz/pasmo-5-ghz-schvaleno-zacne-nova-kapitola-broadbandu-v-cr/>

Kuchař, M. (24. 3 2005). *Bezdrátová technologie Wi-Fi zbavená roušky tajemství*. Získáno 19. 2 2015, z <http://pctuning.tyden.cz/component/content/4444?task=view>

Novotný, J. (18. 9 2005). *Průvodce výběrem správné antény na Wi-Fi připojení*. Získáno 22. 2 2015, z <http://www.zive.cz/clanky/pruvodce-vyberem-spravne-anteny-na-wi-fi-pripojeni/sc-3-a-126652/>

Pavel, S. (1. 6 2008). *Antény a magie kolem nich*. Získáno 20. 2 2015, z <http://www.aeroweb.cz/clanek.asp?ID=1231&kategorie=7>

Petr, L. (15. 10 2001). *Ztráty na trase a antény bezdrátových sítí*. Získáno 2. 20 2015, z <http://www.svetsiti.cz/clanek.asp?cid=Ztraty-na-trase-a-anteny-bezdratovych-siti-15102001>

Plexo. (27. 6 2008). *Wi-Fi síť - vše co jste kdy chtěli vědět 1/2*. Získáno 20. 2 2015, z http://pctuning.tyden.cz/hardware/site-a-internet/11138-wi-fi_site-vse_co_jste_kdy_chteli_vedet_12?start=3

Poole, I. (nedatováno). *Radio Signal Path Loss*. Získáno 19. 2 2015, z <http://www.radio-electronics.com/info/propagation/path-loss/rf-signal-loss-tutorial.php>

Racom. (nedatováno). *Implementační poznámky*. Získáno 20. 2 2015, z <http://www.racom.eu/cz/products/m/ray/calcul.html>

Radioklub, Č. (2006). *Šíření rádiových signálů*. Získáno 20. 2 2015, z <http://www.crk.cz/SIRENIC>

RF Cafe. (nedatováno). *Atmospheric Absorption*. Získáno 19. 2 2015, z <http://www.rfcafe.com/references/electrical/atm-absorption.htm>

úřad, Č. t. (nedatováno). *Využívání vymezených rádiových kmitočtů*. Získáno 20. 2 2015, z <https://www.ctu.cz/ctu-informuje/jak-postupovat/radiove-kmitocty/vyuzivani-vymezenych-radiovych-kmitoctu.html>

WifiMorava.com. (28. 9 2005). *Proč někdy nestačí pouze vidět na přípojný bod*. Získáno 22. 2 2015, z <http://internet.vprdeli.com/view.php?cisloclanku=2005092801>

Wikipedia. (nedatováno). *Electromagnetic absorption by water*. Získáno 19. 2 2015, z http://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic_absorption_by_water

Wikipedia. (nedatováno). *Polarizace (elektrodynamika)*. Získáno 19. 1 2015, z http://cs.wikipedia.org/wiki/Polarizace_%28elektrodynamika%29

Zandl, P. (2003). *Bezdrátové sítě WiFi: praktický průvodce*. Brno: Computer Press, 190 s. ISBN 80-722-6632-2.

10 Seznam tabulek

Tabulka 1: 60% rozsah Fresnelovy zóny potřebný pro kvalitní spoj	13
Tabulka 2: Útlum signálu při šíření volným prostorem.....	19
Tabulka 3: Vliv deště na sílu signálu.....	24
Tabulka 4: Nejvyšší naměřený útlum signálu při jednotlivých vlivech	25

11 Seznam obrázků

Obrázek 1: vzorec pro výpočet přijímaného výkonu.....	9
Obrázek 2: Vyzařovací diagram antény.....	11
Obrázek 3: Fresnelova zóna.....	13
Obrázek 4: Poloměr Fresnelovy zóny.....	14
Obrázek 5: Retranslace	15
Obrázek 6: Spektrální analýza na zařízení MikroTik.....	16
Obrázek 7: Atmosférická absorpce.....	18
Obrázek 8: Útlum signálu při šíření volným prostorem	20
Obrázek 9: Útlum signálu při dešti	24
Obrázek 10: Graf útlumu jednotlivých vlivů	25
Obrázek 11: Anténní konstrukce	26
Obrázek 12: Prostředí Winbox	39
Obrázek 13: Prostředí Dude.....	39
Obrázek 14: Připojení přes sériovou konzoli.....	40

12 Seznam použitých zkratek

ČTU – Český telekomunikační úřad

LAN – Local Area Network

AP – Access Point

TX – Transmit

RX – Receive

FZ – Fresnel Zone

BER – Bit Error Ratio

EIRP – Equivalent isotropically radiated power

ISP – Internet service provider

GUI – Graphical User Interface

MAC – Media Access Control

13 Přílohy

13.1 Zkoumané spoje

13.1.1 5GHz - MIKROTIK QRT-5 23dBi MIMO 2x2

- anténa se ziskem 2x23dB
- dosažitelná přenosová rychlost až 300Mbps
- polarizace horizontální a vertikální

Délka spoje je 8,2km

Cena: 4 260Kč (1 zařízení)

13.1.2 10GHz - UBIQUITI PowerBridge M10

- anténa se ziskem 2x34dB
- dosažitelná přenosová rychlost až 150Mbps
- polarizace horizontální a vertikální

Délka spoje je 10,7km

Cena: 29 774Kč (1 zařízení)

13.1.3 10GHz - ORCAVE 1S10

- anténa se ziskem 28,5dB
- dosažitelná přenosová rychlost až 200Mbps
- polarizace horizontální a vertikální

Délka spoje je 2,7km

Cena: 145 942 Kč

13.1.4 17GHz - Alcoma AL17F MP600

- anténa se ziskem 33dB
- dosažitelná přenosová rychlost až 660Mbps
- polarizace horizontální a vertikální

Délka spoje je 1,6km

Cena: 66 491Kč 1,6km

13.1.524GHz - UBIQUITI AirFiber AF-24

- anténa se ziskem 33dB
- dosažitelná přenosová rychlost až 1400Mbps
- polarizace horizontální a vertikální

Délka spoje je 1,4km

Cena: 72 216Kč (2 zařízení)

13.2 Zařízení Mikrotik

Zařízení Mikrotik jsou založeny na vlastním operačním systému pod názvem RouterOS. Tento operační systém je založen na Linuxu. Mikrotik RouterOS se začal vyvíjet v roce 1995, kdy se společnost Mikrotik začala zabývat vývojem a prodejem bezdrátových systémů zejména pro ISP (Poskytovatele internetu). Zpočátku byl tento operační systém vyvíjen v Lotyšsku pro dřívější Sovětský svaz. Po následných zkušenostech s osobními počítači přistoupili vývojáři k vytvoření routovacího softwaru MikroTik v2, který přinesl výraznou stabilitu, ovladatelnost a flexibilitu pro všechny typy zařízení a kompatibilitu routovacích systémů založených na standardu osobního počítače. Na stránkách výrobce můžeme najít velmi podrobnou a rozsáhlou dokumentaci o jednotlivých funkcích tohoto systému.

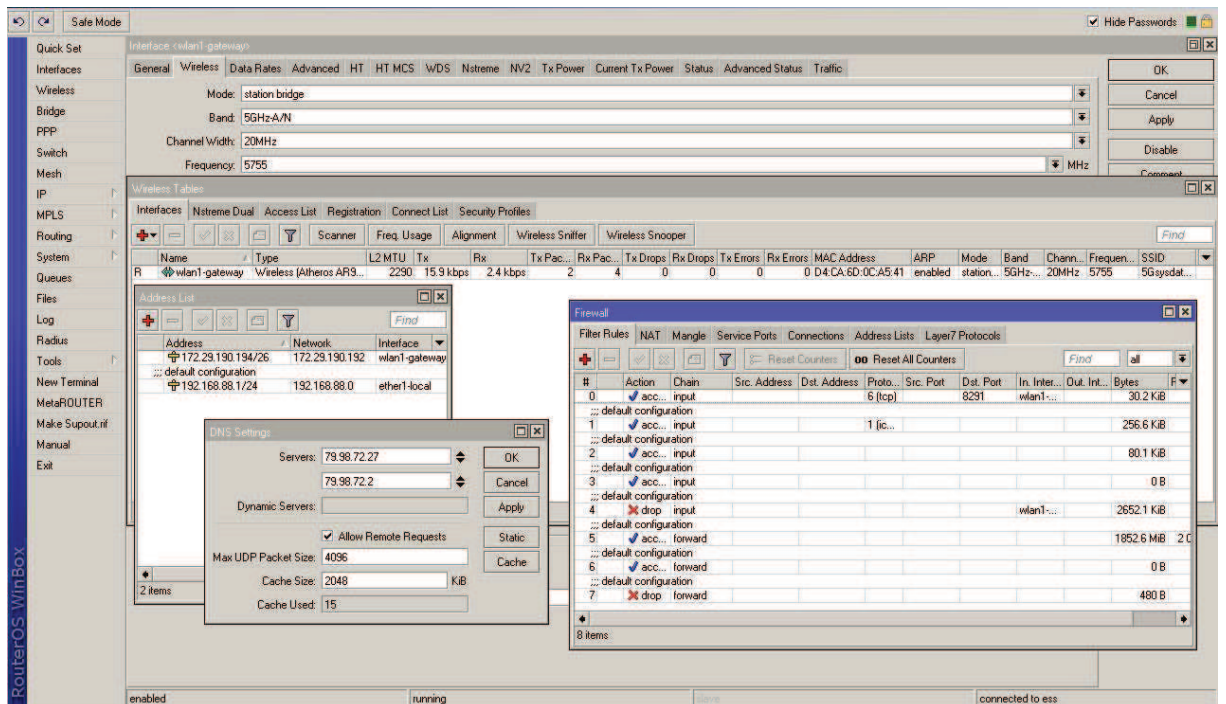
13.2.1 Přístup k zařízením Mikrotik

K přístupu k zařízením mikrotik můžeme používat několik metod. Zde jsem vybral hlavní čtyři způsoby, které nejčastěji používám. Existují však i jiné metody přístupu, jako je například Telnet, MAC-Telnet nebo SSH.

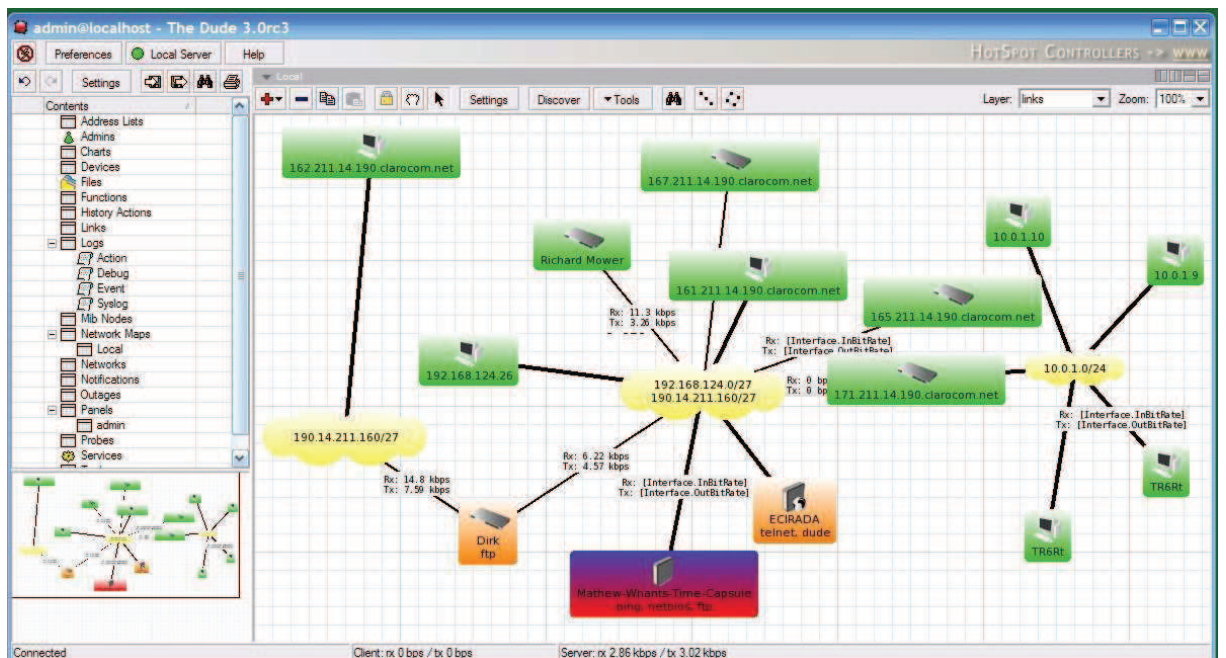
- 1) Winbox
- 2) The Dude
- 3) Webové rozhraní
- 4) Připojení přes sériovou konzoli

Softwarová utilita winbox je velmi rozšířená. Je to hlavně z toho důvodu, že jí lze používat na více operačních systémech. Můžeme ji používat v systému Windows, Linux, Android a dokonce i na platformě Windows mobile. Jedná se o kvalitně propracované GUI (Grafické uživatelské rozhraní). Přes toto rozhraní jsme schopni zcela spravovat systém MikroTik RouterOS. Výhodou je také připojení přes L2 síť, to znamená, že zařízení MikroTik ani počítač nemusejí mít IP adresu. Stačí se připojit na základě MAC-adresy zařízení. Stačí v utilitě winbox naskenovat „sousedy“ a po zobrazení dostupných RouterOS zařízení se k němu připojit.

The Dude je nástroj pro monitorování sítě převážně pro poskytovatele internetového připojení od společnosti MikroTik. Především proto, že dokáže správcům sítě významně ulehčit práci díky spoustě nástrojům tohoto softwaru. Tento software můžeme používat jak na platformě Linux, tak i na Windows. V tomto programu si můžeme evidovat jakkoliv rozsáhlou síť a na jednotlivé prvky sítě nastavit, co chceme monitorovat. Například můžeme monitorovat ping na všechny zařízení v síti v určitém intervalu, díky kterému pak snadno odhalíme jakýkoliv výpadek v síti. Snadno lze také monitorovat zátěž na jednotlivých zařízeních, jako je využití procesoru, operační paměti, či objemu přenesených dat. Na základě těchto údajů je poté snazší optimalizovat síť. Zajímavá je také možnost upgrade námi vybrané RouterOS skupiny zařízení.



Obrázek 12: Prostředí Winbox



Obrázek 13: Prostředí Dude

Také webové rozhraní přináší příjemné prostředí, které umožňuje celou řadu základních i pokročilých nastavení. Stačí zadat do libovolného webového prohlížeče IP adresu zařízení, ke kterému se chceme připojit.

Nakonec bych chtěl zmínit připojení pomocí sériové konzole. Toto připojení je spíše pro pokročilejší uživatele, kteří znají alespoň základní příkazy pro nastavení RouterOS a poradí si s rozsáhlou dokumentací, která bohužel není dostupná v českém jazyce.

```
MMM      MMM      KKK      TTTTTTTTTT      KKK
MMMM     MMMM     KKK      TTTTTTTTTT      KKK
MMM MMMM MMM III KKK KKK RRRRRR 000000 TTT III KKK KKK
MMM MM  MMM III KKKKK RRR RRR 000 000 TTT III KKKKK
MMM      MMM III KKK KKK RRRRRR 000 000 TTT III KKK KKK
MMM      MMM III KKK KKK RRR RRR 000000 TTT III KKK KKK

MikroTik RouterOS 3.10 (c) 1999-2008      http://www.mikrotik.com/

[admin@Petr] > user edit admin password
[admin@Petr] > ip address
[admin@Petr] /ip address> /
[admin@Petr] > ip address
[admin@Petr] /ip address> add
broadcast comment copy-from disabled netmask network address interface
[admin@Petr] /ip address> add address=10.0.0.1/24 interface=ether
ether2 ether3 ether1
[admin@Petr] /ip address> / ip address add address=10.0.0.1/24 interface=ether1
```

Obrázek 14: Připojení přes sériovou konzoli