

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Provozně ekonomická fakulta

Katedra informačních technologií



Diplomová práce

## **Bezdrátové připojení k Internetu**

VEDOUcí DIPLOMOVÉ PRÁCE:  
Ing. Pavel Šimek

AUTOR:  
Tomáš Vlasák

© 2009 Tomáš Vlasák

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že svou diplomovou práci Bezdrátové připojení k Internetu jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

Ve Zbuzanech dne 7. dubna 2009

.....

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval panu ing. Pavlu Šimkovi za pomoc při vypracování mé diplomové práce a také za jeho rady a věcné připomínky.

Dále bych chtěl poděkovat rodině a všem ostatním, kteří mne podporovali a pomáhali mi.

## **BEZDRÁTOVÉ PŘIPOJENÍ K INTERNETU**

*Wireless Internet Access*

## Souhrn

Diplomová práce se zabývá bezdrátovým připojením k Internetu pomocí technologie Wi-Fi. V teoretické části je popsána základní topologie celé sítě, především princip technologie, rádiové frekvence, standardy a architektura sítě. Následuje souhrn nejběžněji používaného hardwaru a softwaru v dané problematice. Teoretická část je zakončena, v dnešní době stále častokrát opomíjenou, bezpečností. Je zde uveden výčet bezpečnostních protokolů a způsobů zabezpečení, včetně možných útoků a průniků do sítě. Praktická část je postavena na realizaci venkovní bezdrátové sítě ve Středočeské obci Zbuzany, konkrétně na výstavbě bezdrátového přístupového bodu a jednoho klienta. Realizace je podložena výpočty, měřeními a porovnáním nejrůznějších parametrů a technologií. Na závěr jsou uvedeny hodnoty skutečných přenosových rychlostí a ekonomické zhodnocení celého projektu.

### **Klíčová slova:**

Bezdrátová síť, bezdrátový klient, bezdrátový přístupový bod, bezpečnost, standard IEEE 802.11, Internet, rádiové frekvence, technologie Wi-Fi

## Summary

The diploma thesis describes the technology of wireless internet access by Wi-Fi. In the theoretical part it is described the basic topology of the network, particularly the technology principle, radio frequencies, standards and network architecture. Hardware and software issues are presented in second part. Last theoretic part which is also the third part of the thesis is focused on the often neglected network safety. Lists of security protocols, methods of security including possible attacks and network infiltration are mentioned here. Fourth part shows the realization of external wireless network in the village of Zbuzany, in the region of the Central Bohemia. Mainly there is a construction of an access point and a client's connection. Calculations, measurements of different parameters and their comparison are the basis of the right network realization. Finally there are values of real transmission speeds and economical evaluation of the whole project.

### **Key words:**

Wireless net, wireless client, wireless access point, safety, standard IEEE 802.11, Internet, radio frequencies, technology Wi-Fi

# Obsah

|                                                                |           |
|----------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>OBSAH.....</b>                                              | <b>7</b>  |
| <b>1. ÚVOD .....</b>                                           | <b>9</b>  |
| <b>2. CÍL PRÁCE A METODIKA .....</b>                           | <b>11</b> |
| <b>3. TOPOLOGIE SÍTĚ .....</b>                                 | <b>13</b> |
| 3.1 PRINCIP TECHNOLOGIE .....                                  | 13        |
| 3.1.1 Přeskok frekvencí (FHSS) .....                           | 13        |
| 3.1.2 Přímá sekvence (DSSS).....                               | 14        |
| 3.1.3 Ortogonální multiplex s kmitočtovým dělením (OFDM) ..... | 14        |
| 3.1.5 MAC vrstva .....                                         | 14        |
| 3.2 RÁDIOVÉ FREKVENCE.....                                     | 15        |
| 3.2.1 Frekvence 2,4GHz.....                                    | 15        |
| 3.2.2 Frekvence 5GHz.....                                      | 16        |
| 3.3 STANDARDY IEEE .....                                       | 17        |
| 3.3.1 802.11.....                                              | 17        |
| 3.3.2 802.11a.....                                             | 17        |
| 3.3.3 802.11b.....                                             | 18        |
| 3.3.4 802.11g.....                                             | 18        |
| 3.4 ARCHITEKTURA SÍTĚ .....                                    | 18        |
| 3.4.1 Ad-hoc .....                                             | 18        |
| 3.4.2 Infrastrukturní.....                                     | 19        |
| <b>4. HARDWARE A SOFTWARE BEZDRÁTOVÉ SÍTĚ.....</b>             | <b>20</b> |
| 4.1 AKTIVNÍ PRVKY SÍTĚ .....                                   | 20        |
| 4.1.1 Bezdrátový klient.....                                   | 21        |
| 4.1.2 Bezdrátový přístupový bod.....                           | 24        |
| 4.2 PASIVNÍ PRVKY SÍTĚ .....                                   | 26        |
| 4.2.1 Antény.....                                              | 26        |
| 4.2.2 Kabely .....                                             | 30        |
| 4.2.3 Konektory .....                                          | 31        |
| 4.2.4 Bleskojistky a spojky .....                              | 32        |
| <b>5. BEZPEČNOST BEZDRÁTOVÉ SÍTĚ.....</b>                      | <b>33</b> |
| 5.1 WEP .....                                                  | 34        |
| 5.2 802.1X.....                                                | 35        |
| 5.3 WPA.....                                                   | 35        |
| 5.4 WPA2.....                                                  | 35        |
| 5.5 SSID .....                                                 | 36        |
| 5.6 FILTROVÁNÍ MAC ADRES .....                                 | 36        |
| 5.7 VIRTUÁLNÍ SOUKROMÁ SÍŤ.....                                | 37        |
| 5.8 ÚTOKY A PRŮNIKY DO SÍTĚ .....                              | 37        |
| 5.8.1 Prolomení klíče WEP .....                                | 37        |
| 5.8.2 Podvržení MAC adresy .....                               | 38        |
| 5.8.3 Podvržení přístupového bodu.....                         | 38        |

|                                                             |           |
|-------------------------------------------------------------|-----------|
| 5.8.4 Útok DoS .....                                        | 38        |
| 5.8.5 Session Hijacking .....                               | 39        |
| 5.8.6 Slovníkový útok .....                                 | 39        |
| 5.8.7 Fyzický útok .....                                    | 39        |
| 5.9 SHRNUTÍ .....                                           | 39        |
| <b>6. REALIZACE BEZDRÁTOVÉ SÍTĚ .....</b>                   | <b>41</b> |
| 6.1 POROVNÁNÍ A VÝBĚR TECHNOLOGIE .....                     | 42        |
| 6.2 SDRUŽENÍ .....                                          | 43        |
| 6.3 UMÍSTĚNÍ PŘÍSTUPOVÉHO BODU .....                        | 44        |
| 6.4 TEORETICKÝ VÝPOČET PŘENOSOVÝCH TRAS .....               | 45        |
| 6.4.1 Fresnelova zóna .....                                 | 45        |
| 6.4.2 Ztráty ve volném prostoru .....                       | 46        |
| 6.4.3 Vyzařovací výkon vysílače a citlivost přijímače ..... | 47        |
| 6.5 MĚŘENÍ SIGNÁLU .....                                    | 51        |
| 6.5.1 Výsledky měření .....                                 | 54        |
| 6.5 BEZDRÁTOVÝ PŘÍSTUPOVÝ BOD .....                         | 55        |
| 6.5.1 Hardware .....                                        | 55        |
| 6.5.2 Nastavení antén .....                                 | 57        |
| 6.5.3 Konfigurace .....                                     | 58        |
| 6.5.4 Zaručení oblasti .....                                | 61        |
| 6.5.5 Frekvence .....                                       | 62        |
| 6.6 BEZDRÁTOVÝ KLIENT .....                                 | 62        |
| 6.6.1 Hardware .....                                        | 62        |
| 6.6.2 Připojení klientů .....                               | 63        |
| 6.6.3 Konfigurace .....                                     | 63        |
| 6.7 PŘENOSOVÉ RYCHLOSTI .....                               | 68        |
| 6.8 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ .....                             | 69        |
| <b>7. ZÁVĚR .....</b>                                       | <b>71</b> |
| <b>8. SEZNAM LITERATURY .....</b>                           | <b>73</b> |
| <b>9. PŘÍLOHY .....</b>                                     | <b>75</b> |
| 9.1 ZKRATKY .....                                           | 75        |
| 9.2 JEDNOTKY .....                                          | 77        |
| 9.3 SEZNAM OBRÁZKŮ .....                                    | 78        |
| 9.4 SEZNAM TABULEK .....                                    | 80        |

## 1. Úvod

Alfou a omegou dnešní doby je Internet. O Internetu se hovoří téměř všude. Je to silný nástroj pro získávání a prezentování informací, řada lidí si dnes život bez Internetu nedokáže absolutně představit. Samotný Internet a hlavně připojení k Internetu prošlo během svého vývoje řadou změn od pár desítek připojených vědců až po masový rozmach a připojení miliardy běžných uživatelů, od pomalého vytáčeného připojení až po vysokorychlostní optické sítě.

Ruku v ruce s Internetem jde mobilita. Každý člověk chce být svobodný a tato výsada se promítá i do světa informačních a komunikačních technologií. Tento trend v moderní době nastartovaly mobilní telefony. Člověk není „svázaný“ kabely, může se pohybovat (téměř) všude a je pořád v dosahu signálu. Tato mobilní síť má jednu nespornou výhodu a to, že není nikým a ničím rušena. Funguje na frekvencích, které jsou licenčně garantovány (a drazé placeny). Pro běžného člověka jsou tyto licencované frekvence nedosažitelné. Je to z důvodu, že těchto frekvencí není nekonečno a musí pro ně platit jasně daná pravidla. Proto bylo telekomunikačními regulátory určeno pásmo, které slouží pro průmyslové, vědecké a lékařské potřeby. Pásmo ISM (Industrial, Scientific and Medical) je na frekvenci 2,4GHz, může v něm vysílat kdokoli a bez licence. Vymezení ISM pásma nastartovalo rozmach v bezdrátové komunikaci výpočetních zařízení. Na trhu existovala celá řada různých výrobků a výrobců, ale až mezinárodní standardizační organizace IEEE (Institute for Electrical and Electronics Engineers) vytvořila pravidla pro fungování v tomto pásmu a to standardem 802.11 v roce 1997. Od té doby prošel standard řadou revizí, především z pohledu navýšení rychlosti a zvýšení zabezpečení. Později bylo pásmo ISM rozšířeno o frekvenci 5GHz. Hlavním účelem bezdrátových sítí bylo rozšířit připojení zařízení v místech, kde to dříve nebylo možné (např. historické budovy). V dnešní době se jedná zejména o pokrytí restaurací, hotelů, benzínových pump, ale i škol a veřejných institucí. Některé přístupové body jsou veřejné a bezplatné.

Česká republika je v počtu bezdrátových sítí (přesněji bezdrátových přístupových bodů) na světové špičce. Je to zapříčiněno několika důvody. Jedná se především o cenovou politiku, různá omezení stahování dat a rychlostí ze strany

poskytovatelů „klasických“ kabelových připojení. Tento fakt byl živnou půdou pro vznik řady komunit, které se zabývají budováním bezdrátových sítí a poskytováním (zprostředkováním) připojení k Internetu. Mezi nejznámější komunitu u nás patří CZFree.net.

Důležitým aspektem je vymezení pojmu „bezdrátové připojení“. Pod tímto pojmem je v celé diplomové práci myšleno rádiové připojení, lépe řečeno přenos dat volným prostorem pomocí elektromagnetických vln o frekvenci 2,4GHz a 5GHz.

## 2. Cíl práce a metodika

Cílem diplomové práce byla realizace bezdrátové sítě v malé obci u Prahy. Přínos měl spočívat zejména v ověření funkčnosti a správnosti teorií a výpočtů v praxi.

Zdrojem informací byla odborná literatura, tematicky zaměřené internetové stránky a osobní rozhovory s členy občanského sdružení o.s.jinonice.cz a členy komunitní sítě CZFree.net. Cílem těchto rozhovorů bylo upřesnění některých poznatků a teorií, získaných z odborné literatury a internetových stránek, dále snaha o získání praktických rad a zkušeností, které byly potřebné při realizaci bezdrátové sítě. Při získávání informací bylo využito uspořádaného přístupu, který byl rozvržen do tří fází: příprava, získávání informací a vyhodnocení. V případě nedostatků a rozporů mezi informacemi bylo provedeno bližší zkoumání, které mělo za následek opakování celého procesu. Po dokončení sběru dat a informací byla struktura diplomové práce postavena podle logické návaznosti kapitol. Vzhledem k částečné duplicitě některých údajů a prolínání problematiky byla teoretická část rozdělena do tří hlavních kapitol.

První část diplomové práce měla za úkol představit popisovanou problematiku z čistě teoretického hlediska a uvést čtenáře do problematiky bezdrátových sítí. Kapitola je rozdělena do čtyř podkapitol: princip technologie, rádiové frekvence, standardy IEEE a architektury sítě. Princip technologie se zaměřuje na dvě nejnižší vrstvy modelu OSI. Fyzická vrstva pojednává o třech metodách komunikace a to metodě přeskočků frekvencí, metodě přímé sekvence a metodě ortogonálního multiplexu s kmitočtovým dělením, spojová vrstva o MAC vrstvě, která řídí přístup k lince. Rádiové frekvence vycházejí z platných norem o bezlicenčním pásmu a jsou zaměřeny na přenos signálu o frekvenci 2,4GHz a 5GHz. Standardy IEEE navazují na předchozí kapitolu o rádiových frekvencích a jsou zde uvedeny nejdůležitější standardy bezdrátových sítí, které vydává organizace IEEE. Architektura sítě je postavena na dvou základních topologiích a komunikací mezi bezdrátovými klienty.

Součástí kapitoly hardware a software jsou hmatatelné prvky bezdrátové sítě, neboli hardware a jeho vybavení, neboli software. Pro lepší nastínění a pochopení problematiky, jsou zde uvedeny již konkrétní příklady jednotlivého hardwaru. Kapitola je členěna na aktivní a pasivní prvky. Názvy jsou odvozeny od přístupu hardwaru

k přenášení signálu. Aktivní prvky bezdrátové sítě jsou opakovače, rozbočovače, přepínače, směrovače, mosty a především bezdrátoví klienti a bezdrátové přístupové body. Pasivní prvky sítě jsou antény, kabely, konektory a je možno sem zahrnout i různé spojky a bleskojistky.

V úvodu kapitoly o bezpečnosti se pojednává o rozšířenosti zabezpečení bezdrátových sítí v České republice. Dále následuje popis nejrozšířenějších a nejpoužívanějších zabezpečení v oboru. Zahrnuje původní bezpečnostní protokol WEP, novější 802.1X, WPA a WPA2, dvě technologie zamezující přístup k síti pomocí SSID a filtrování MAC adres a způsob zabezpečení pomocí virtuální soukromé sítě. Na konci kapitoly jsou uvedeny nejčastější způsoby útoků a průniků do bezdrátových sítí a je zde shrnutí celé problematiky, včetně doporučení, která by měla být dodržována.

Stěžejní kapitola celé diplomové práce je nazvána realizace bezdrátové sítě. Jsou zde uvedeny důvody, proč byla vybrána technologie Wi-Fi a připojení k občanskému sdružení o.s.jinonice.cz. Dále navazuje výběr místa pro přístupový bod, teoretické výpočty přenosových tras, které jsou častokrát v praxi neprávem opomíjeny a praktické měření síly signálu v různých částech obce. Na základě výpočtů a provedeného měření je sestaven bezdrátový přístupový bod a jeden bezdrátový klient. Dále je popsáno jejich základní nastavení. Kapitola je zakončena dlouhodobým testem rychlostí a ekonomickým zhodnocením celého projektu.

Diplomová práce je doplněna o obrázky, tabulky a vzorce, které slouží pro lepší orientaci a pochopení daného problému a situace.

### 3. Topologie sítě

Hlavní rozdíl mezi bezdrátovou sítí a Ethernetem je, že přenos dat je zajištěn pomocí bezdrátového média [7]. Bezdrátovým médiem jsou podle standardu IEEE<sup>1</sup> 802.11 myšleny rádiové frekvence, nikoliv však vzduch (bezdrátová technologie funguje i ve vzduchoprázdnu).

#### 3.1 Princip technologie

Technologie bezdrátových sítí, jak již bylo uvedeno, pracuje na základě přenosu elektromagnetických (rádiových) vln. Standard IEEE 802.11 (více viz kapitola 3.3) je protokolem dvou nejnižších vrstev sedmivrstvého modelu OSI<sup>2</sup> a to fyzické a spojové vrstvy.

Fyzická vrstva podporuje fyzickou komunikaci mezi prvky sítě. V původním standardu IEEE 802.11 z roku 1997 byly definovány tři typy fyzické vrstvy. Prvním z nich je komunikace pomocí infračerveného světla (IR), který nebude dále popisován. Z pohledu bezdrátových sítí jsou mnohem zajímavější další dvě metody komunikace, které pro přenos používají rádiového signálu v rozprostřeném spektru a to metoda přeskočků frekvencí (FHSS, Frequency Hopping Spread Spectrum), metoda přímé sekvence (DSSS, Direct Sequence Spread Spectrum) a později byla přidána metoda ortogonálního multiplexu s kmitočtovým dělením (OFDM, Orthogonal Frequency-Division Multiplexing). Rozprostřené spektrum je technologie, ve které vysílač „vměstná“ co největší počet signálů do relativně úzkého pásma, při přenosu naopak pomocí matematických funkcí rozptýlí sílu signálu do širokého frekvenčního bloku. Příjímač opačnou operací převede zpět do úzkopásmového signálu. Tato operace se provádí z důvodu eliminací rušení a znesnadnění odposlechu signálu.

##### 3.1.1 Přeskok frekvencí (FHSS)

V této technologii je nosný signál vysílán po krátkou dobu (maximálně po dobu 400 milisekund), poté přeskočí a pokračuje na jiné frekvenci. Tato operace se neustále

---

<sup>1</sup> Institute for Electrical and Electronics Engineers (Institut pro elektrotechnické a elektronické inženýry).

<sup>2</sup> Open Systems Interconnection Basic Reference Model. Jedná se o abstraktní popis síťové komunikace a protokolů použitých pro komunikaci mezi počítači [7].

opakuje. Posloupnost přeskoků je dána pseudonáhodným generátorem čísel. Dostupná frekvenční šířka je 83,5MHz a je rozdělena do 79 pásem s šířkou 1MHz. Teoreticky může v systému paralelně pracovat až 26 přístupových bodů (prakticky pouze na cca 15) [7]. Vysoká odolnost proti rušení, ale naopak malá přenosová rychlost (maximálně 2Mbit/s). Použito u původního standardu IEEE 802.11.

### 3.1.2 Přímá sekvence (DSSS)

Všechna data jsou rozprostřena v jednom 22MHz širokém frekvenčním pásmu a jsou vysílána za použití speciálního matematického kódu (modulace DPSK<sup>3</sup>). Celkem jsou k dispozici tři takové pásma bez vzájemného rušení. Rozestupy jsou 5MHz. U původního standardu IEEE 802.11 je přenosová rychlost 2Mbit/s, u novějšího standardu IEEE 802.11b se jedná o přímou sekvenci, při které je přenosová rychlost až 11Mbit/s.

### 3.1.3 Ortogonální multiplex s kmitočtovým dělením (OFDM)

Přenosové pásmo se rozdělí na velké množství úzkých kanálů a v těchto kanálech se data přenášejí relativně pomalu a signál je tak robustnější. Nosné frekvence jednotlivých kanálů jsou voleny tak, aby modulované datové proudy byly vzájemně kolmé (eliminuje rušení sousedících kanálů). Maximální přenosová rychlost, která je daná součtem všech kanálů, je až 54Mbit/s. Používá se u standardů IEEE 802.11a a IEEE 802.11g. Výhody této technologie jsou, že využívá efektivněji kmitočtové pásmo, zabraňuje rušení a zkreslení signálu a především nám umožnila zvýšení přenosové rychlosti (pouze na kratší vzdálenosti). U velkých vzdáleností dochází k interferencím mezi frekvencemi.

### 3.1.5 MAC vrstva

MAC vrstva řídí přístup k lince na úrovni spojové vrstvy. Standard bezdrátových sítí definuje dvě základní přístupové metody: funkce distribuované koordinace (DCF, Distributed Coordination Function) a funkce koordinace jedním bodem (PCF, Point

---

<sup>3</sup> Differential Phase Shift Keying. Se změnou dat z 1 na 0 nebo naopak se změní fáze signálu o 180° oproti minulé hodnotě fáze signálu.

Coordination Function). Funkce PCF slouží pro přenos aplikací z hlediska času (například hlasu). Funkce DFC je základem standardního přístupového mechanismu (CSMA/CA, Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance).

Mechanismus CSMA se používá i u Ethernetu. První dvě písmena (CS) tohoto mechanismu říkají, že stanice naslouchá, zda je volno na médiu. Pokud ano, začne vysílat. Druhé dvě (MA) znamenají, že více stanic může přistupovat současně k médiu. V Ethernetu je použit mechanismus detekce kolizí (CD), což u bezdrátové technologie není možné, protože by stanice musely být schopny současně vysílat a přijímat signál<sup>4</sup>. Z tohoto důvodu se používá mechanismus předcházení kolizí (CA).

Předcházení kolizím funguje následovně: stanice naslouchá, a když je médium volné, tak začne vysílat. Přijímací stanice zkontroluje přijatý paket (RTS, Request to Send) a odešle potvrzení (CTS, Clear to Send). Pro odesílací stanici přijetí potvrzujícího paketu znamená, že nedošlo ke kolizi. Pokud ho nedostane, tak opakuje vysílání. Tato procedura je nutná z důvodu, že vysílací stanice detekuje volné médium ve svém okolí, ale nemusí detekovat vysílání jiné stanice, například na druhé straně od přijímače (v tomto smyslu je myšlen bezdrátový přístupový bod).

## 3.2 Rádiové frekvence

Bezdrátová síť používá tzv. bezlicenčního pásma o frekvencích 2,4GHz a 5GHz. V pravém slova smyslu se jedná o licenci. Tato licence je nazývána Generální licenci, která se uděluje na rádiová zařízení, jež si mohou instalovat a používat běžní lidé (nemusí se žádat Český telekomunikační úřad o licenci). Toto pásmo je ve větších městech hodně využíváno, takže často dochází ke kolizím nebo k vzájemnému rušení a to především u frekvencí 2,4GHz.

### 3.2.1 Frekvence 2,4GHz

Nejpoužívanější současná frekvence u bezdrátových sítí (především u spojů přístupový bod – klient). Umožňuje provoz zařízení v kmitočtovém pásmu 2400 – 2483,5MHz (tabulka 1).

---

<sup>4</sup> Bylo by to možné, ale za předpokladu vysokých nákladů na pořízení.

Maximální výkon je 100mW. U zařízení, které používá přímé sekvence nebo modulace, se nesmí překročit hodnota 20dBW/1MHz a zařízení, která používají přeskok kmitočtu, se nesmí překročit hodnota – 10dBW/100kHz. V pásmu 2,4GHz funguje například i bluetooth nebo mikrovlnná trouba.

| Kanál | Spodní frekvence (MHz) | Střední frekvence (MHz) | Horní frekvence (MHz) |
|-------|------------------------|-------------------------|-----------------------|
| 1     | 2401                   | 2412                    | 2423                  |
| 2     | 2406                   | 2417                    | 2428                  |
| 3     | 2411                   | 2422                    | 2433                  |
| 4     | 2416                   | 2427                    | 2438                  |
| 5     | 2421                   | 2432                    | 2443                  |
| 6     | 2426                   | 2437                    | 2448                  |
| 7     | 2431                   | 2442                    | 2453                  |
| 8     | 2436                   | 2447                    | 2458                  |
| 9     | 2441                   | 2452                    | 2463                  |
| 10    | 2446                   | 2457                    | 2468                  |
| 11    | 2451                   | 2462                    | 2473                  |
| 12    | 2456                   | 2467                    | 2478                  |
| 13    | 2461                   | 2472                    | 2483                  |

Tabulka 1 - Rozsah frekvence 2,4GHz pro Evropu

### 3.2.2 Frekvence 5GHz

V bezdrátových sítích se frekvence 5GHz používá především ve spojích na dlouhou vzdálenost, v dnešní době už také tato technologie proniká do koncových spojů (přístupový bod – klient). Frekvence nabízí 12 kanálů, základní střední šířka kanálu je 20MHz a oproti frekvenci 2,4GHz se kanály nepřekrývají.

V pásmu 5150 - 5250MHz je maximální vyzařovaný výkon 200mW EIRP<sup>5</sup> v libovolné kombinaci výstupního výkonu vysílače a použité antény. Střední spektrální hustota je omezena na 0,25mW/25kHz v libovolném 25kHz úseku. Pouze pro použití uvnitř budov [9].

V pásmu 5250 – 5350MHz je maximální vyzařovaný výkon 200mW EIRP v libovolné kombinaci výstupního výkonu vysílače a použité antény. Střední spektrální hustota je omezena na 10mW/1MHz v libovolném 1MHz úseku. Vysílací stanice musí být vybavena automatickou regulací výkonu a technologií potlačení rušení. Pouze pro použití uvnitř budov [9].

<sup>5</sup> Ekvivalentní izotropický vyzářený výkon (Effective Isotropic Radiated Power).

V pásmu 5470 – 5725MHz je maximální vyzařovaný výkon 1W EIRP v libovolné kombinaci výstupního výkonu vysílače a použité antény. Střední spektrální hustota je omezena na 50mW/1MHz v libovolném 1MHz úseku. Vysílací stanice musí být vybavena automatickou regulací výkonu a technologií potlačení rušení. Použití uvnitř i vně budov [9].

Automatická regulace výkonu znamená schopnost snížení výkonu vysílacího zařízení na polovinu (snížení o 3dB). Pokud vysílací stanice nemá automatickou regulaci výkonu, potom musí být její výkon poloviční. Technologie potlačení rušení znamená, že vysílací zařízení se musí umět automaticky naladit na frekvenci, kde není v provozu zařízení fungující na stejné frekvenci.

### 3.3 Standardy IEEE

Standardy pro bezdrátové sítě jsou vydávány pod hlavičkou organizace IEEE. Tato nezisková organizace, se sídlem ve Spojených státech amerických, pod sebou zaštiťuje více než 375 000 odborníků z více jak 160 zemí celého světa. Zabývá se především vzděláváním a rozvojem v oblasti moderních technologií [14].

#### 3.3.1 802.11

V roce 1997 byla vydaná první verze standardu IEEE 802.11<sup>6</sup>. Tento standard byl specifikován pro použití v bezlicenčním pásmu pro rádiové vlny v pásmu 2 400 – 2 483,5MHz a pro přenos infračerveným zářením. Umožňoval přenosovou rychlost až 2Mbit/s.

#### 3.3.2 802.11a

Vysílací frekvence jsou 5150 – 5250MHz, 5250 – 5350MHz a 5470 – 5725MHz. Modulace je pomocí rozprostřeného spektra pomocí ortogonálního multiplexu s kmitočtovým dělením (OFDM). Přenosová rychlost je až 54Mbit/s.

---

<sup>6</sup> IEEE 802.11 Wireless Local Area Networks.

### 3.3.3 802.11b

Kmitočtové pásmu u tohoto standardu je 2 400 – 2 483,5MHz, použitá modulace je přímá sekvence o vysoké rychlosti (HR/DSSS). Dosahovaná přenosová rychlost může být 1, 2, 5,5 nebo 11Mbit/s (ovlivněno podmínkami). Efektivní rychlost je přibližně o 40% nižší. Vysílací výkon je stanoven na 100mW. V příhodných podmínkách může mít spoj dosah několika kilometrů.

### 3.3.4 802.11g

Kmitočtové pásmo je 2 400 – 2 483,5MHz, modulace je ortogonální multiplex s kmitočtovým dělením (OFDM). Přenosová rychlosti je jeden až 54Mbit/s. Vysílací výkon je stejný jako u standardu IEEE 802.11b a to 100mW. Je zpětně kompatibilní se standardem IEEE 802.11b.

| Standard | Datum vydání | Datum schválení | Frekvenční pásmo | Teoretická přenosová rychlost | Reálná přenosová rychlost | Modulace   |
|----------|--------------|-----------------|------------------|-------------------------------|---------------------------|------------|
| 802.11   | 1997         | 2005            | 2,4 GHz          | 2 Mbit/s                      | 0,9 Mbit/s                | DSSS, FHSS |
| 802.11a  | 1999         | 2000            | 5 GHz            | 54 Mbit/s                     | 23 Mbit/s                 | OFDM       |
| 802.11b  | 1999         | 2000            | 2,4 GHz          | 11 Mbit/s                     | 4,3 Mbit/s                | DSSS       |
| 802.11g  | 2003         | 2003            | 2,4 GHz          | 54 Mbit/s                     | 19 Mbit/s                 | OFDM       |

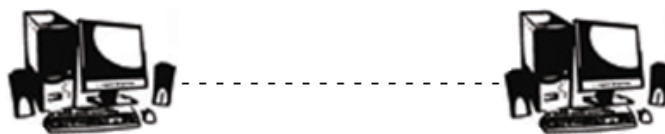
Tabulka 2 - Srovnání standardů [21]

## 3.4 Architektura sítě

V bezdrátových sítích se komunikace mezi klienty označuje jako Basic Service Set (BSS) a má dva základní typy rozdělení: ad-hoc a infrastrukturní síť.

### 3.4.1 Ad-hoc

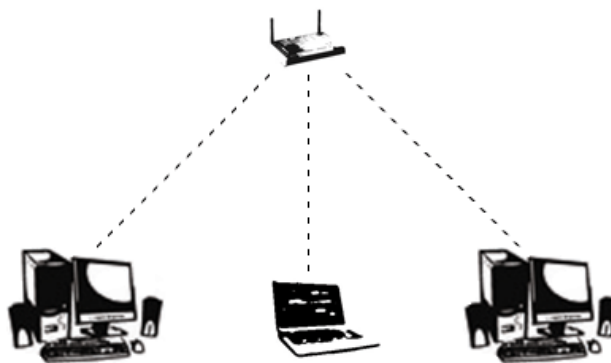
V režimu sítě ad-hoc probíhá komunikace mezi klienty přímo (obrázek 1), to znamená bez použití prostředníka (přístupového bodu). Klienti si jsou rovni (každý klient je ve své podstatě přístupovým bodem) a musí být ve vzájemném dosahu vysílaného signálu. Tímto způsobem lze propojit například několik počítačů, většinou na omezený čas (stahování dat, hraní her atd.). Hlavní výhodou tohoto typu sítě je rychlost zprovoznění a téměř nulové náklady (většina dnešních notebooků obsahuje již integrované bezdrátové karty). Velkou nevýhodou je malý dosah sítě, který závisí na síle signálu jednotlivých bezdrátových zařízení [3].



Obrázek 1 - Sít' ad-hoc

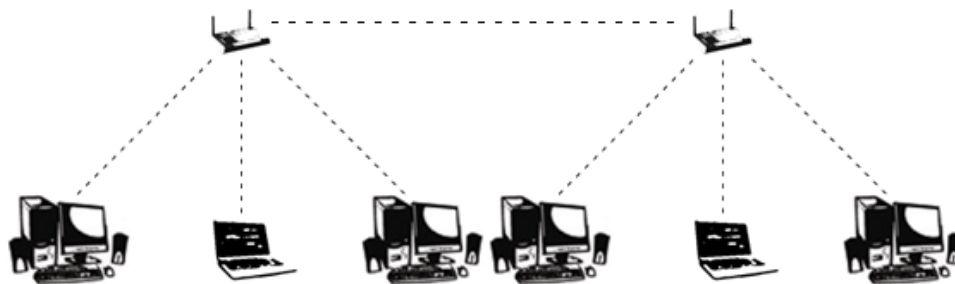
### 3.4.2 Infrastrukturní

V infrastrukturní síti probíhá komunikace mezi klienty přes zprostředkovatele neboli přístupový bod (obrázek 2). Přístupový bod dokáže komunikovat s více klienty (teoreticky až cca. 250 klientů), kteří jsou v dosahu signálu [7].



Obrázek 2 - Infrastrukturní síť

Pokud je potřeba pokrytí větší oblasti, propojí se více BSS do jedné Extended Service Set (ESS). Všechny přístupové body v ESS (obrázek 3) se chovají jako jeden, tzn. při přechodu z jedné BSS na druhou klient nemusí nic přenastavovat a nepocítí změnu připojení na jiný přístupový bod (z hlediska konfigurace). Všechny přístupové body v ESS vysílají stejný SSID (v tomto případě přesněji řečeno ESSID [2]) a komunikují mezi sebou pomocí distribučního systému na úrovni spojové vrstvy. Distribuční systém může být řešen bezdrátově nebo pomocí např. Ethernetu.



Obrázek 3 - ESS síť

## 4. Hardware a software bezdrátové sítě

Dodržování standardů IEEE vždy nezaručovalo, že jednotlivé bezdrátové komponenty budou spolu bezproblémově komunikovat. To mělo za následek vznik společnosti WECA (Wireless Ethernet Compatibility Alliance), která byla založena v roce 1999 firmami podnikajícími v tomto oboru (3Com, Aironet, Harris Semiconductor, Lucent Technologies, Nokia a Symbol Technologies). Produkty, které prošly testy kompatibility, shody se standardy a vzájemné interoperability<sup>7</sup>, byly označeny Wi-Fi certifikací. Společnost WECA se v roce 2002 přejmenována na Wi-Fi alianci (Wi-Fi Alliance). V dnešní době má více jak 250 členů [25].



Obrázek 4 - Logo Wi-Fi alianci [25]

### 4.1 Aktivní prvky sítě

Všechna síťová zařízení, která se aktivně podílejí na přenášení signálu, jsou nazývány aktivními prvky sítě. Patří mezi ně opakovač, rozbočovač, prepínač, směrovač a především bezdrátový klient a bezdrátový přístupový bod. Tyto zařízení signál opravují, zesilují, upravují, replikují nebo přeposílají dále.

Opakovač (Repeater) je prakticky zesilovač signálu. Přijímá poškozený signál, který opraví, zesílí a následně odešle dál. Používá se ke zvýšení dosahu sítě (z hlediska kvality signálu).

Rozbočovač (Hub) je síťové zařízení, které slouží pro propojení dvou a více počítačů (síťových zařízení). Funguje na principu kopírování příchozího signálu (paketů) a následného odeslání všem připojeným zařízením bez ohledu na to, komu je signál určen. To má za následek zbytečné zatěžování síťových zařízení. Nástupcem rozbočovačů jsou prepínače.

---

<sup>7</sup> Schopnost systémů vzájemně si poskytovat služby a efektivně spolupracovat.

Přepínač (Switch) podobně jako rozbočovač slouží k propojení dvou a více počítačů (síťových zařízení). Zásadní rozdíl je, že neodesílají signál na všechna připojená zařízení, ale pouze správnému adresátovi. Adresy odesílatelů si přepínač ukládá a na jejich základě identifikuje zařízení v síti a rozesílá mu správný signál.

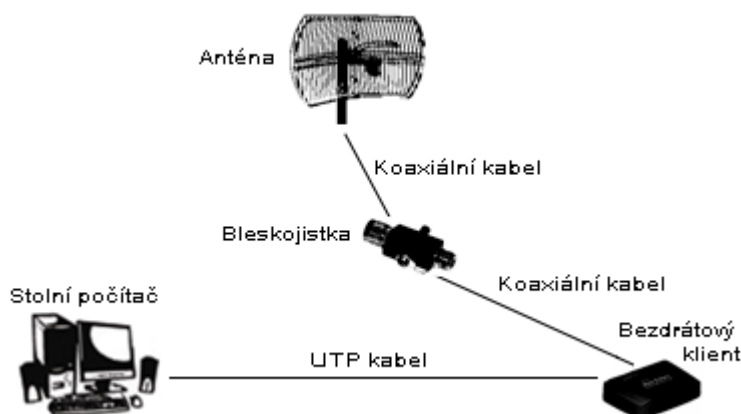
Směrovač (Router) přeposílá pakety směrem k cílovému zařízení. Tento proces se nazývá směrování (routování) a zjednodušeně řečeno směrovač spojuje dvě rozdílné sítě (přepínač spojuje síťová zařízení pouze v místní síti). Směrovač využívá směrovací tabulku, ve které jsou uloženy informace o cílové adrese a nejvhodnější trase spojení. Pomocí vhodného softwaru lze i ze stolního počítače vytvořit směrovač [4].

Most (bridge) slouží pro propojení dvou sítí na linkové vrstvě, přenos probíhá bez směrování (routování).

#### 4.1.1 Bezdrátový klient

Bezdrátoví klienti jsou rozdělováni do dvou základních skupin: interní a externí. Mezi interní patří PCI karty, PCMCIA a SDIO karty a adaptéry USB. Externí je bezdrátový přístupový bod v režimu klient.

Všechna tato zařízení se připojují ke stolnímu počítači nebo notebooku. Dále nesmí být opomenuto, že v dnešní době je toto zařízení již nedílnou součástí drtivé většiny notebooků.



Obrázek 5 - Jedno z možných řešení bezdrátového klienta

#### 4.1.1.1 PCI karty

PCI karty (obrázek 6) se připojují do PCI sběrnice, verze PCI 2.1, 2.2 nebo vyšší, stolního počítače a podporují standardy IEEE 802.11a nebo IEEE 802.11g se zpětnou kompatibilitou IEEE 802.11b. Součástí bývá vlastní antén se ziskem do 2dBi, která je odpojitelná. Pomocí koaxiálního kabelu lze připojit externí anténu (SMA konektor). Výstupní výkon bývá až 18dBi.

Součástí PCI karet jsou i miniPCI karty (obrázek 7), které jsou pro notebooky (a směrovače) a umožňují připojení externí antény (konektor MMCX female).



Obrázek 6 - PCI karta OvisLink WT-2000PCI [11]



Obrázek 7 - mini PCI karta Wistron NeWeb Wireless Atheros AR5213, CM9 [11]

Instalace je velmi jednoduchá, stačí kartu připojit do volné sběrnice PCI a nainstalovat pomocí Průvodce aktualizací hardwaru. Dále následuje jednoduchá konfigurace, při které se nastaví zabezpečení, protokol sítě (konfigurace adresy IP, masky a výchozí brány), firewall atd.

#### 4.1.1.2 PCMCIA a SDIO karty

Karty PCMCIA (obrázek 8) jsou určeny pro notebooky. Mají podobné vlastnosti a parametry jako PCI karty a pouze některé mají SMA konektor na připojení externí antény. Výstupní výkon se pohybuje okolo 17dBi podle typu a výrobce karty.

SDIO karty (obrázek 9) se připojují na sběrnici pro paměťové karty Secure Digital (SD) a našly využití především u kapesních počítačů (netbooků). S instalací je to stejné jako u PCI karet.



Obrázek 8 - PCMCIA karta OvisLink  
WMM-3000PCM [11]



Obrázek 9 - SDIO karta i-Tec SD Wireless  
[11]

#### 4.1.1.3 USB adaptéry

Adaptéry USB našli použití jak u stolních počítačů, tak i u notebooků. Vysvětlení je jednoduché – používají univerzální USB port. Vyrábějí se s interní anténou (obrázek 10), interní anténou s možností připojení externí antény nebo přímo s externí anténou (obrázek 11). Výstupní výkon se pochybuje okolo 17dBi podle typu a výrobce adaptéru.



Obrázek 10 - USB adaptér OvisLink WN-  
5000USB [11]



Obrázek 11 - USB adaptér OvisLink WL-  
5480USB-80 8dBi panel anténa [11]

#### 4.1.1.4 Přístupový bod v režimu klient

Dalším řešením připojení klienta k bezdrátové síti je pomocí bezdrátového přístupového bodu v módu klient (dále jen „bezdrátový klient“). Bezdrátový klient má vlastní anténu a možnost připojení externí antény na konektor SMA (koaxiální kabel). K počítači je připojen pomocí kroucené dvoulinky (konektor RJ-45). Hlavní využití nachází bezdrátový klient v případech, kdy je potřeba připojit externí anténu. Vzdálenost mezi anténou a bezdrátovým klientem by neměla překročit 20 metrů z důvodu vysokého útlumu kabelu (více v kapitole 4.2.2). Nejvýhodnější je umístit

adaptér co nejbližší k anténě a poté rozvést kabel k počítači (kroucenou dvoulinku můžeme vést až do vzdálenosti 100 metrů s minimálním útlumem [7]). Podle výrobce a typu obsahují bezdrátoví klienti dva a více RJ-45 konektorů pro připojení do Ethernetu.



Obrázek 12 - Wi-Fi AP OvisLink WL-5470AP [11]

#### 4.1.2 Bezdrátový přístupový bod

Bezdrátové přístupové body operují v několika pracovních režimech. Jeden z nich je klient (Client), o kterém je víc v předchozí kapitole. Další režimy (módy) jsou přístupový bod (Access Point), most (Bridge), vícebodový most (Multipoint Bridge), opakovací (Repeater) a WDS (Wireless Distribution System).

Počet připojených klientů závisí na možnostech a vybavení přístupového bodu (např. málo výkonný procesor), ve většině případů souvisí cena s kvalitou. Nejlevnější zařízení umožňují, aby bylo připojeno do 30 klientů, výkonnější do 100 a nejvýkonnější do 254 [5]. Pro připojení více klientů je potřeba více přístupových bodů. Všichni připojení klienti se dělí (sdílejí) o rychlostní pásmo, např. u standardu IEEE 802.11b to je až 11Mbit/s.

Standardem přístupových bodů jsou následující funkce a technické parametry (více viz kapitola 6. Realizace bezdrátové sítě):

- Podpora až 54Mbit/s (IEEE 802.11b/g a/nebo IEEE 802.11a).
- Možnost připojení externí antény (většinou SMA konektor).
- Dva a více Ethernetových portů (konektor RJ-45).
- Zabezpečení WEP, 802.1X, WPA, WPA2, filtrování MAC adres.
- Regulace výstupního výkonu.
- Watchdog (hlídá propustnost linky).
- Nastavení SSID (identifikátor sítě).

- Flash paměť.
- Aktualizace firmwarů (aktualizace softwaru zařízení).
- Nastavení firewallů (stupně zabezpečení).
- Nastavení pomocí Web Managementu (webový prohlížeč).
- Nastavení IP adres a DHCP serveru.

Pokud je v bezdrátové síti připojeno více zařízení, které pracují s rozdílnými standardy (IEEE 802.11b a IEEE 802.11g), rychlost pro celou síť je přizpůsobena tomu nejpomalejšímu (standard IEEE 802.11g je zpětně kompatibilní s IEEE 802.11b).

V dnešní době jsou už i v těch nejlevnějších přístupových bodech implementovány směrovače (Routery) a přepínače (Switche).

Pokud je uživatel trochu technicky znalý v oboru, dokáže vytvořit pomocí stolního počítače, vhodného softwaru, miniPCI karty a antény plnohodnotný bezdrátový přístupový bod.

Hlavní režim bezdrátového přístupového bodu je přístupový bod (Access Point), na který se připojují klienti pomocí přístupového bodu v režimu klient nebo pomocí bezdrátových karet a adaptérů. V prostředí Ethernetové sítě se dá přístupový bod přirovnat k přepínači.

Režim most (Bridge) neboli bezdrátové přemostění slouží k propojení dvou bezdrátových počítačových sítí a je specifikováno standardem IEEE 802.11c. Při nastavování spoje se do přístupového bodu zadá MAC adresa protějšního zařízení. Z tohoto důvodu nelze připojit jiné zařízení, a proto je tento spoj odolný vůči útokům. Přístupové body se chovají jakoby Ethernetové přepínače, mezi kterými vede klasická kroucená dvoulinka.

Vícebodový most slouží pro propojení více přístupových bodů. Všechny musí být nakonfigurovány stejně, vzájemně na sebe vidět (podobně jako v síti ad-hoc) a poté jsou mezi sebou propojeny.

Režim opakováče (Repeater) slouží pro prodloužení spojení mezi dvěma přístupovými body a WDS (Wireless Distribution System) je bezdrátové propojení

přístupových bodů, které umožňuje i připojení klientů. Zařízení funguje jako most a přístupový bod zároveň.

## 4.2 Pasivní prvky sítě

Pasivní prvky sítě jsou součástí sítě, které se nijak aktivně nepodílejí na přenášení signálu, slouží pouze k jeho přenesení. Ale i tak jsou důležitou součástí bezdrátového spojení. Každý správce sítě (i klient) by si měl uvědomit, že v bezdrátové technologii nejsou klienti pouze pasivními příjemci. Sami signál též vysílají. Na to by se mělo myslet při výběru vhodných součástí sítě. Pečlivě rozmyslet, na co je bude potřebovat a v jakém prostředí je bude používat. Pasivní prvky sítě jsou antény, kabely, konektory a můžeme sem zahrnout i různé spojky a bleskojistky.

### 4.2.1 Antény

Antény jsou zařízení, které vyzařují vysokofrekvenční vlny do svého okolí (vytváří vysokofrekvenční elektromagnetické pole) a dokážou tyto vlny i přijímat.

U antén pro bezdrátové připojení jsou důležité především následující parametry:

- směrové vlastnosti,
- zisk,
- polarizace,
- vyzařovací úhel.

#### 4.2.1.1 Směrové vlastnosti

Všesměrové antény (obrázek 13) pokrývají signálem úhel  $360^\circ$  (horizontální úhel). Použití těchto antén je především u vysílačů, kde je potřeba pokrýt co největší plochu. V dnešní době se tyto antény, v hustě obydlených oblastech, moc nedoporučuje používat. Důvod je prostý: nejenže vysílají do všech stran, ale i přijímají ze všech stran, a proto jsou častokrát rušeny jinými vysílači nebo samy zbytečně zarušují oblast.



**Obrázek 13 - Všesměrová anténa WaveRF, 15dBi [15]**

Sektorové antény, (obrázek 14) na rozdíl od všesměrových, pokrývají signálem pouze omezený sektor. Zpravidla to bývá přibližně od 60° do 180° (horizontálně). Jejich uplatnění je v nahrazování všesměrových antén v hustě obydlených oblastech, nebo pokud je potřeba pokrýt jen část území.



**Obrázek 14 - Sektorová anténa Sector Flat 18, 18dBi, 60° [15]**

Směrové antény pokrývají signálem velmi malý horizontální úhel, cca do 25° (v podstatě se dá říct, že vyřazují do jednoho bodu). Z tohoto důvodu spadají pod sektorové antény. Využití směrových antén je především ve spojích na velké vzdálenosti (mezi přístupovými body) nebo při spojení klient – přístupový bod. Jsou ze všech antén nejméně rušeny, nejméně „zatěžují“ okolí a mají největší zisk.

Rozlišujeme dva základní typy antén: yagi a parabolické reflektory. Anténa typu yagi (též yaggi) jsou dlouhé tyče s mnoha sfázovanými půlvlnnými dipóly, které navzájem rezonují a zesilují přijímaný či vysílaný signál [12]. Výhodou yagi antén (obrázek 15) je cena a menší rozměr. Nevýhodou je, že přijímají i signál ze stran a zezadu. V hustě zastavěných oblastech jsou proto rušeny a z tohoto důvodu jsou nevhodné.



Obrázek 15 - Yagi anténa J250-915/10, 13dBi [15]

Parabolické reflektory jsou tvořeny zářičem (dipólem) a parabolickým reflektorem (síto - obrázek 17 nebo plná parabola – obrázek 18). Zářič ozařuje parabolickou plochu, která vlnění soustředí do úzkého paprsku [12]. Tyto typy antén můžou mít zisk až 30dBi a vyzářovací úhel menší než  $12^\circ$ . Hlavní výhodou je, že přijímají signál pouze zepředu a proto jsou méně rušeny. Nevýhodou je, oproti yagi anténám, větší váha a cena.



Obrázek 16 – Směrová anténa WaveRF: 24 dBi parabolická anténa – síto [15]



Obrázek 17 - Směrová anténa MaxLink 22 dBi – plná parabola [15]

#### 4.2.1.2 Zisk

Zisk antény je poměr vyzářeného výkonu antény a vyzářeného výkonu referenční antény při stejném výkonu vysílače. Jako referenční anténu lze použít dipól nebo izotropní zářič [12]. Pokud je referenční anténou dipól, udává se pro přehlednost zisk v jednotce dBd, pokud je referenční anténou izotropní zářič, udává se zisk v dBi ( $\text{dBi} = 2,15 + \text{dBd}$ ). Neboli čím větší má anténa zisk, tím větší signál může anténa zachytit a může být použita na větší vzdálenost. Uživatel nemůže zisk nijak ovlivnit, protože je dán konstrukcí antény.

V praxi je doporučováno, aby každý klient, který se připojuje na bezdrátový bod, měl stejný (nebo alespoň přibližně stejný) signál. Což znamená, že čím je klient dál, tím potřebuje anténu s větším ziskem.

#### 4.2.1.3 Polarizace

Polarizace prakticky znamená, jak je signál pootočen při šíření. U bezdrátového spojení se používají dva typy: lineární a kruhová polarizace elektromagnetického vlnění.

Kruhová polarizace je buď levotočivá, nebo pravotočivá. Tento druh polarizace se ovšem téměř nepoužívá. Elektromagnetické vlnění má v průřezu tvar elipsy a záleží, jak je tato elipsa natočena. Pokud je vodorovně, tak mluvíme o horizontální lineární polarizaci. V případě svislého natočení mluvíme o vertikální lineární polarizaci.

V bezdrátovém připojení je dosahováno neoptimálnějšího spojení dvou bodů v případě, když má přijímač i vysílač stejnou polarizaci antén. V případě rozdílných polarizací dochází ke značným ztrátám při přenosu (může dojít i k úplnému přerušení spojení). Změny polarizace antén se používá v případech, že je například v horizontálním nastavení antén velké rušení. Změní se nastavení na vertikální. Zde může být rušení menší nebo žádné. Změna polarizace antény se provádí jejím otočením o  $90^\circ$  v ose antény u směrových antén. U všesměrových a sektorových antén to nelze, proto se antény musí vyměnit.

V praxi se pro spojení dvou bezdrátových bodů používá horizontální polarizace a pro spojení bezdrátový přístupový bod – bezdrátový klient vertikální. Je to z toho důvodu, že převážná část všesměrových a sektorových antén pracuje s vertikální polarizací.

#### 4.2.1.4 Vyzařovací úhel

Vyzařovací úhel antény určuje, do jakého směru a pod jakým úhlem anténa vyzařuje. Jsou rozlišovány dva vyzařovací uhly: vertikální a horizontální. Vertikální úhel vymezuje kužel signálu, který je šířen do okolí ve svislé podobě. U horizontálního úhlu je to stejné, ale ve vodorovné poloze a tento úhel udává směrovost antény.

| Anténa     | Směrové vlastnosti<br>(horizontální úhel) | Vyzařovací úhel<br>(vertikální úhel) | Zisk     |
|------------|-------------------------------------------|--------------------------------------|----------|
| Všesměrová | 360°                                      | do 40°                               | do 15dBi |
| Sektorová  | 30° - 180°                                | do 65°                               | do 20dBi |
| Směrová    | do 25°                                    | do 30°                               | do 30dBi |

Tabulka 3 - Porovnání vlastností antén

#### 4.2.2 Kabely

Dalším neméně podstatným pasivním prvkem sítě je kabel. Pro spojení antény a aktivního prvku sítě se používá koaxiální kabel (obrázek 18). Koaxiální kabel se skládá z vnitřního a vnějšího vodiče. Vnitřní vodič (prut) přenáší signál, vnější (opletení) slouží jako odstínění. Vyrábí se z různých materiálů a v různých průměrech (od 5 do 10,8 milimetrů).



Obrázek 18 - Koaxiální kabel [15]

Nejdůležitějším parametrem je útlum na metr, neboli jaká je ztráta signálu na jeden metr kabelu. Uvádí se v decibelech na metr (dB/m). Obecně platí, že čím větší hodnota útlumu a menší průměr, tím je to horší. Dále se doporučuje používat kabel pro vysoké frekvence a délka kabelu by měla být co nejmenší (5 mm do 10 metrů, u 10,8 mm do 30). Je to z důvodu, že při šíření signálu dochází ke ztrátám.

| Název   | Průměr   | Útlum 2,4 GHz | Útlum 5 GHz  | Cena    |
|---------|----------|---------------|--------------|---------|
| RF400   | 10,16 mm | 24,1 dB/100m  | 39,3 dB/100m | 51 Kč/m |
| LMR-400 | 10,3 mm  | 22,2 dB/100m  | 35,5 dB/100m | 33 Kč/m |
| RF240   | 6,1 mm   | 40,6 dB/100m  | 65,2 dB/100m | 25 Kč/m |

Tabulka 4 - Porovnání koaxiálních kabelů

Pro spojení aktivních prvku sítě mezi sebou nebo s počítačem se používá klasický TP kabel (kroucená dvoulinka – obrázek 19) a to především kategorie 5 (pro síť s přenosovou rychlostí 100Mbit/s, resp. 1Gbit/s v případě využití všech 8 vláken), který se dělí do dvou základních kategorií: stíněný STP (méně náchylný na rušení) nebo nestíněný UTP. Kroucená dvoulinka se skládá ze čtyř párů vodičů, které jsou do sebe zamotány. Při propojování například dvou počítačů byla potřeba na jedné straně kabelu zapojit konektor normálně a na druhé se přehodily datové páry podle určitého systému (překřížení kabelu). V dnešní době jsou ale všechny síťové prvky na takové úrovni, že se překřížení kabelu téměř neprovádí.



Obrázek 19 - UTP kabel [15]

Jak již bylo napsáno, je nejlepší umístit aktivní prvek sítě co nejblíže k anténě, aby byl co nejkratší koaxiální kabel a dále rozvést síť pomocí kroucené dvoulinky. Budou mít menší ztráty a cena za metr je nesrovnatelná (kroucená dvoulinka stojí cca. 7 Kč/m, koaxiální kabel až 51 Kč/m).

#### 4.2.3 Konektory

V bezdrátovém připojení se používají u koaxiálních kabelů především dva typy konektorů: N (obrázek 20 a 21) a SMA (obrázek 22). Každý z těchto konektorů má dvě verze. Vstupní kolík je označován male a konektor s otvorem jako female. Konektor typu N se používá hlavně u venkovních spojení (spojení kabelu a antény), pár těchto konektorů má útlum přibližně 1dB a můžou být použity na všechny typy koaxiálních kabelů (5 – 10,8mm).



Obrázek 20 - Typ N-female [15]



Obrázek 21 - Typ N-male [15]

Typ SMA našel použití u spojení kabelu a aktivního prvku, pár konektorů má útlum přibližně do 0,5dB. Pro průměr 10,8 mm se nevyrábí, proto se musí použít redukce, tzv. pigtail (na jednom konci například N male a na druhém SMA male). Dále se používá řada různých konektorů především u bezdrátových miniPCI karet, které se zapojují přes redukci do směrovače. Např.: MMCX, U-FL.



Obrázek 22 - Typ SMA-male a SMA-female [15]

U kroucené dvoulinky se v dnešní době používá téměř výhradně konektor typu RJ-45 (obrázek 23). Tento typ konektoru mám pouze verzi male (female je v hardwaru).



Obrázek 23 - Konektor RJ-45 [15]

#### 4.2.4 Bleskojistky a spojky

Bleskojistky (obrázek 24) plní funkci ochrany proti přepětí ve vedení, neboli chrání aktivní prvky sítě a počítače před vysokým napětím způsobeným úderem blesku do antény. Umisťují se mezi anténu a bezdrátového klienta nebo kartu. Útlum mají okolo 0,8dB. Spojky (obrázek 25) slouží pro spojování koaxiálních kabelů a musíme s nimi, v případě použití, počítat z důvodu útlumu signálu (do 0,5dB podle druhu a výrobce).



Obrázek 24 - Bleskojistka 2,4GHz, Nmale na Nfemale, OEM [15]



Obrázek 25 - Oboustranná spojka N female [15]

## 5. Bezpečnost bezdrátové sítě

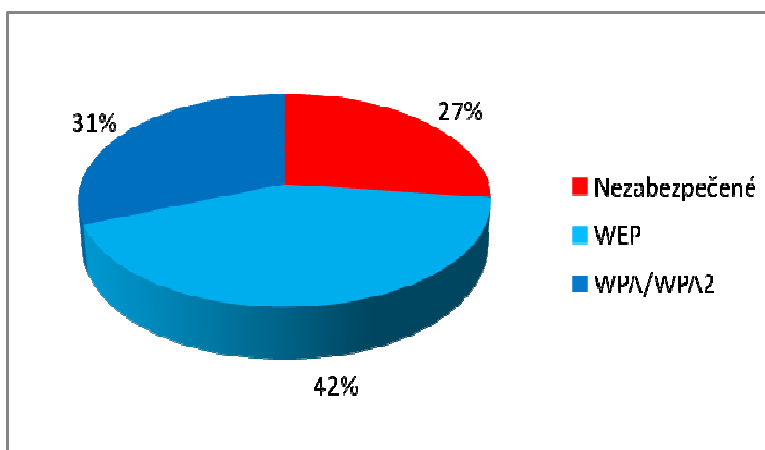
Bezpečnost je v dnešní době stále ve velkém měřítku opomíjená součást bezdrátových sítí. Bezdrátová síť se dá, na rozdíl od klasického Ethernetu, lehce odposlouchávat. V řadě případů je možnost, bez všimnutí správce sítě, se nepozorovaně připojit. Z těchto důvodů je zabezpečení důležité a předchází se tím řadě problémů, v horších případech i trestním oznámením.

Česká republika je z hlediska zabezpečení bezdrátových přístupových bodů, v porovnání s vyspělým světem, stále podprůměrná. Ve velkém množství existuje neustále řada nezabezpečených přístupových bodů, ale tento trend se postupně mění k lepšímu (tabulka 5).

|                      | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 |
|----------------------|------|------|------|------|------|
| <b>Zabezpečené</b>   | 33%  | 44%  | 52%  | 64%  | 73%  |
| <b>Nezabezpečené</b> | 67%  | 56%  | 48%  | 36%  | 27%  |

Tabulka 5 - Vývoj v oblasti bezpečnosti [16]

Z celkového počtu zabezpečených přístupových bodů je stále nejrozšířenější zabezpečení na dnešní dobu již překonaným protokolem WEP s 57%, zabezpečení protokoly WPA nebo WPA2 používá 43% správců a majitelů bezdrátových sítí [16]. Na obrázku 26 je podíl nezabezpečených přístupových bodů, zabezpečených s WEP a zabezpečených s WPA/WPA2 (obrázek 26).



Obrázek 26 – Situace s bezpečností přístupových bodů v ČR

## 5.1 WEP

Protokol Wired Equivalent Privacy (WEP) zajišťuje základní zabezpečení bezdrátové sítě. WEP je součástí standardu IEEE 802.11 a jeho hlavní funkce je, že zajišťuje bezpečnou komunikaci mezi bezdrátovými zařízeními (např. přístupový bod – klient). Při navrhování protokolu WEP se nepočítalo s masivním rozšířením bezdrátových sítí, proto je tento protokol v dnešní době již minimum, které se používá v zabezpečení bezdrátových sítí.

WEP šifruje data, která jsou přenášena po síti, symetrickým principem (pro šifrování a dešifrování používá stejný statický klíč i algoritmus<sup>8</sup>). Klíč je sdílený mezi klientem a přístupovým bodem a používá se k šifrování paketů. Šifrovací klíče jsou buď 40 anebo 104 bitové (někdy i 232 bitů), zbylých 24 bitů představuje inicializační vektor, který se mění s každým paketem. Tyto klíče jsou nazývány 64 (128 nebo 256) bitové RC4 klíče. Autentizace klienta probíhá pouze jednostranně, neboli autentizaci provádí pouze přístupový bod, nikoliv však klient (klient neví, zda komunikuje se správným bezdrátovým přístupovým bodem). Autentizace je prováděna způsobem, že přístupový bod odešle dotaz a klient odpoví zašifrovaným dotazem podle šifrovacího klíče. Dotaz je následně dešifrován, a pokud se shoduje s odeslaným, tak je povolen přístup. Pro všechny klienty sítě je používán jeden totožný klíč [1].

Při šifrování se generuje stále stejná zpráva, což je zásadní nevýhoda. Z tohoto důvodu byl připojen inicializační vektor, který se, jak již bylo zmíněno, neustále mění. Bohužel ani to nepřispělo k zásadní bezpečnosti, protože unikátní inicializační vektory se po určité době opakují.

Prolomení ochrany bezdrátových sítí se zabezpečením WEP je v dnešní době velmi snadné. Stačí mít počítač s Wi-Fi zařízením a volně šiřitelný softwarem na prolomení šifrovacích klíčů protokolu WEP. Jeden ze způsobů, jak přispět k větší bezpečnosti, je pravidelná změna statického (šifrovacího) klíče a použití co nejdelšího (128 nebo 256 bitové).

---

<sup>8</sup> Algoritmus RC4.

## 5.2 802.1X

U protokolu WEP je jedna z největších slabin autentizace pomocí sdíleného klíče. To bylo důsledkem vzniku nového standardu IEEE 802.1X, který definoval nové řízení přístupu k síti (vylepšení přihlašování klientů). Samotná autentizace probíhá tak, že klient je po připojení označen jako neautorizovaný a pomocí protokolu EAP je mu blokován přístup k síti. Poté probíhá ověření přístupu a správnosti údajů, které provádí autorizační server (přístupový bod nebo server Radius). Server identifikuje uživatele podle uloženého seznamu a na jeho základě mu povolí/nepovolí přístup k síti.

Hlavní výhodou je dynamické šifrování klíčů TKIP. TKIP má nový šifrovací algoritmus (oproti protokolu WEP), ale k šifrování používá výpočetní možnosti stávajícího hardwaru. Po úspěšném ověření změnil protokol TKIP 40 bitový statický klíč protokolu WEP na více dynamických 128 bitových zabezpečovacích klíčů. Protokol TKIP v podstatě nahrazuje klíč WEP přibližně 500 biliony jiných možných klíčů. Ověřování v síti 802.1X je součástí standardu bezdrátových sítí IEEE 802.11g.

## 5.3 WPA

Protokol Wi-Fi Protected Access (WPA) byl vytvořen, aby odstranil největší bezpečnostní nedostatky v protokolu WEP. Pracuje na fyzické a spojové vrstvě (jako protokol WEP), funguje na základě šifrování dat pomocí šifry RC4 a 128 bitového klíče TKIP. Je odvozen ze standardu IEEE 802.11i (v té době nebyl ještě schválen) a využívá ověřování v síti 802.1X nebo lze použít režim s přednastaveným heslem PSK (Pre-Shared Key). U WPA-PSK používají všichni klienti stejné heslo.

K vytvoření párových klíčů pro relaci klienta spuštěnou v podnikovém režimu, v domácí relaci uživatel pouze zadá hlavní klíč na každém přístupovém bodu a počítači v bezdrátové síti. Párový klíč je pak předán klientovi a přístupovému bodu.

## 5.4 WPA2

Protokol WPA2 (Wi-Fi Protected Access 2) je založen na standardu IEEE 802.11i, který byl schválen v červnu 2004 a je následovníkem WPA. Poskytuje způsob

blokového šifrování dat podle standardu AES-CCMP<sup>9</sup> (standardy WEP a WPA používají proudovou šifru RC4), což splňuje úroveň ochrany dat vyžadované finančními a vládními institucemi. WPA2 pracuje ve dvou režimech: podnikový a osobní režim. Podnikový režim WPA2 zahrnuje všechny požadavky na WPA2 a podporu ověřování podle standardu 802.1X/EAP, zatímco osobní režim WPA2 je určen v první řadě pro menší firmy a domácnosti, ve kterých stačí jednodušší systém správy. WPA2/802.11i je plně zpětně kompatibilní s přístupem WPA a mimo jiné podporuje například bezdrátový přenos hlasu (zabraňuje zpoždění signálu a vypadávání hlasu).

| Protokol | Autentizace | Šifrování | Použitelnost | Hodnocení <sup>10</sup> |
|----------|-------------|-----------|--------------|-------------------------|
| WEP      | -           | WEP       | Malé sítě    | 3                       |
| WPA      | PSK         | TKIP      | Malé sítě    | 1                       |
|          | 802.1X      | TKIP      | Velké sítě   | 2                       |
| WPA2     | PSK         | AES-CCMP  | Malé sítě    | 1                       |
|          | 802.1X      | AES-CCMP  | Velké sítě   | 1                       |

Tabulka 6 - Přehled bezpečnostních standardů [12]

## 5.5 SSID

Název bezdrátové sítě je označován pomocí SSID (Service Set ID), které vysílá přístupový bod pravidelně každých 100 ms. SSID je vysíláno nešifrované a slouží k identifikaci bezdrátové sítě. Každý klient v dosahu signálu jej uvidí (bude znát). Vysílání SSID je možné vypnout. Tím se omezí přístup nežádoucích útočníků, protože každý uživatel, který se chce připojit do sítě, potřebuje znát SSID.

Tento způsob zabezpečení je spíše na obtíž, protože způsobuje méně zdatným klientům nesnáze (musí ručně vyplnit SSID). A co je podstatné, SSID lze získat (i v „neviditelném“ režimu) pasivním odposlechem.

## 5.6 Filtrování MAC adres

MAC (Medium Access Control) adresa je unikátní hardwarová adresa každého síťového prvku. Filtrování MAC adres je jednoduchá metoda autentizace přístupu

<sup>9</sup> Advanced Encryption Standard – Counter Mode with Cipher Block Chaining Message Authentication Code Protocol

<sup>10</sup> 1 – nejlepší, 4 - nejhorší

klienta do sítě. Ověření funguje způsobem, že přístupový bod obsahuje databázi povolených (nebo zakázaných) MAC adres. Přístup do sítě mají pouze zařízení, které mají ověřenou MAC adresu (nebo naopak nejsou v seznamu zakázaných). Tento způsob zabezpečení je opět lehce prolomitelný.

## 5.7 Virtuální soukromá síť

Dalším způsobem, kterým se zvýší zabezpečení bezdrátové sítě je vybudování virtuální privátní sítě (VPN, Virtual Private Network). VPN je mezi klienty a VPN bránou, která je umístěna na přístupovém bodu. Komunikace probíhá v rámci uzavřené sítě a je šifrována (protokol IPSec). Ověření probíhá na obou stranách spojení pomocí digitálních certifikátů. Tento typ zabezpečení je nezávislý na ostatních způsobech zabezpečení a slouží k jejich doplnění [23].

## 5.8 Útoky a průniky do sítě

Největším problémem bezdrátových sítí je pokrytí nežádoucích oblastí. Je to převážně z důvodu použití nesprávných typů antén a chybného nastavení výkonu přístupových bodů. Tato oblast je živnou půdou pro útočníky, kteří se připojí bez vědomí správce sítě a užívají (v horším případě zneužívají) síť zdarma. Útočníkům stačí základní vybavení pro připojení k bezdrátové síti a vhodný software.

### 5.8.1 Prolomení klíče WEP

První úspěšné rozluštění klíče protokolu WEP proběhlo v roce 2001. K rozluštění je potřeba pasivně odposlechnout mezi 5 až 10 miliony paketů mezi přístupovým bodem a klientem [7]. Během odposlechu nesmí být ale WEP klíč změněn. Odposlech komunikace probíhá pomocí volně šiřitelných programů (např. AirSnort, AirCrack nebo WEPLab). Po zjištění klíče (a jeho nastavení v počítači) je možné se bez problému k dané síti připojit.

### 5.8.2 Podvržení MAC adresy

Zjišťování MAC adresy probíhá stejně jako u prolomení klíče WEP. S použitím vhodného programu (např. Ethereal) je provedeno odchycení paketů v řádech tisíců, pomocí kterých jsou zjištěny rozsahy IP adres sítě a MAC adresy klienta (klientů). Dále je nastavena odposlechnutá MAC adresa síťové kartě, vybrána a nastavena jedna z volných IP adres sítě, protože přístupový bod nedokáže rozlišit mezi klientem s jedinečnou MAC a IP adresou a klientem s okopírovanými adresami. Následuje připojení a využívání všech služeb sítě zdarma. Pokud je používáno šifrování protokolem WEP, je nejdříve provedeno prolomení klíče WEP.

### 5.8.3 Podvržení přístupového bodu

U útoku typu podvržení přístupového bodu (MiM, Man-in-the-Middle) útočník pronikne mezi přístupový bod a klienta. Odposlechně všechny důležité údaje (SSID, IP adresy, atd.) a vytvoří fiktivní přístupový bod. Za použití antény s vysokým ziskem (klientovi musí být „posílán“ silnější signál než od pravého přístupového bodu) a vysílání stejného SSID útočník docílí, že se klient připojí na tento přístupový bod. Přijatá data jsou ukládána a dále posílána na pravý přístupový bod. Tímto způsobem útočník zjistí všechna důležitá data a informace, které může po zakázání potřebných portů, které jsou používány k zabezpečenému přístupu na webové stránky, ještě mnohonásobně zvýraznit.

Dalším způsobem útoku MiM může být podvržení přístupového bodu (jako v předchozím případě) a okopírování vzhledu a formy stránek. Klient se při autentizaci připojí na tento přístupový bod, zadá přihlašovací údaje a heslo. Vše je následně uloženo a útočník se může připojit jako klient.

### 5.8.4 Útok DoS

Pomocí útoku DoS (Denial of Service) útočník zahltní bezdrátovou síť a částečně nebo úplně znemožní ostatním klientům komunikovat s přístupovým bodem. Útok je proveden způsobem, kdy útočník zasílá obsáhlá a nesmyslná data ve velkém množství. Přístupový bod se snaží tato data vyhodnotit a dojde k jeho zahlcení nebo zahlcení přenosového pásma [7]. Další možností je posílání RTS paketů, na základě kterých

bude přístupový bod neustále přidělovat právo k vysílání (CTS pakety) a ostatní klienti budou muset čekat. V dnešní době je tento způsob útoků v řadě přístupových bodů softwarově ošetřen, takže k němu nedochází.

### 5.8.5 Session Hijacking

Při útoku typu Session Hijacking útočník opět odposlouchává data, dále ale i vkládá do stávajícího datového toku vlastní informace. Tyto informace jsou odesílány a klient nebo přístupový bod nic nepozná. Tímto způsobem může útočník přesměrovat provoz na svůj počítač.

### 5.8.6 Slovníkový útok

Útočník odposlechne výzvu a odpověď zašifrovaného protokolu, který se používá k navázání spojení. Zašifrovaný protokol porovná s databází často používaných hesel, nejběžnějších slov a přihlašovacích jmen. Po odhalení správné kombinace přihlašovacích údajů a hesla, získá přístup do bezdrátové sítě.

### 5.8.7 Fyzický útok

Nesmí být opomenuto, že kromě softwarových útoků a průniků do bezdrátové sítě stále existují i fyzické útoky na tyto sítě. Jedná se především o krádeže a znehodnocování, v některých případech velmi drahého zařízení. Zcizený hardware může být použit k připojení a následnému využití nebo i zneužití sítě.

## 5.9 Shrnutí

Obecně lze shrnout, že v dnešní době je nejlepší zabezpečení pro menší síť WPA2-PSK. U sítí, kde je použito starší zařízení (podpora pouze protokolu WEP), je to více problematické. Použití nejdelšího klíče a jeho častá změna nezabrání případným útokům. V tomto případě je nejlepším řešením provést výměnu bezdrátových karet/adaptérů za nové. V tabulce 7 jsou uvedena další možná opatření [7].

| Průnik / útok               | Opatření (novější zařízení)                              | Opatření (starší zařízení)         |
|-----------------------------|----------------------------------------------------------|------------------------------------|
| Prolomení klíče WEP         | 802.1X a VPN                                             | Největší délka klíče a častá změna |
| Podvržení MAC adresy        | 802.1X a VPN                                             | WEP                                |
| Podvržení přístupového bodu | 802.1X a VPN                                             | WEP a filtrování MAC adres         |
| Útok DoS                    | Filtrování MAC adres a software                          | WEP a filtrování MAC adres         |
| Session Hijacking           | 802.1X a VPN                                             | WEP                                |
| Slovníkový útok             | Volba vhodně dlouhého hesla s kombinací písmen a čísel   |                                    |
| Fyzický útok                | Odpovídající technické zabezpečení (zámky, kamery, atd.) |                                    |

Tabulka 7 - Opatření proti průnikům a útokům

Na závěr této kapitoly je uvedeno shrnutí možností a zásad, které vedou k co nejlepšímu zabezpečení bezdrátové sítě a předcházení případným útokům [6]:

- vybrat co nejlepší hardware z pohledu bezpečnosti (podle manuálů),
- zbytečně nepokrývat území, kde se nebude předpokládat umístění klienta (použití sektorové antény),
- změnit heslo a přihlašovací jméno od výrobce,
- aktivovat co nejlepší šifrování dat (např. WPA2-PSK),
- využívat virtuální soukromou síť,
- filtrovat uživatele dle MAC adres,
- pokud možno vypnout vysílání SSID (nebo alespoň změnit tovární nastavení),
- vypnout DHCP server a přidělovat IP adresy ručně,
- aktualizovat firmwary všech bezdrátových zařízení,
- používat firewall k oddělení vnitřní sítě a Internetu,
- doporučit všem klientům používání firewallů a antivirových programů.

## 6. Realizace bezdrátové sítě

V dnešní době je Internet každodenní součástí lidského života. Na trhu existuje řada poskytovatelů a technologií, pomocí kterých je možné realizovat připojení. Proto vznikla myšlenka na porovnání jednotlivých technologií a vybrání té nejoptimálnější pro běžného uživatele z pohledu cena/rychlost. Oblastí pro zkoumání a případnou realizaci byla zvolena Středočeská obec Zbuzany, která se nachází v těsném sousedství jihozápadního okraje hlavního města Prahy (obrázek 27). Počet obyvatel k prvnímu září 2008 bylo 731, čísel popisných 293 a katastrální výměra je 4,91km<sup>2</sup>.



Obrázek 27 - Poloha obce Zbuzany [17]

Hlavní kritéria pro srovnání jednotlivých technologií byla dostupnost technologie, rychlost (minimálně 1Mbit/s) a cenová dostupnost (cena za pořízení do 5.000,- Kč a měsíční poplatky do 1.000,- Kč). Vybíráno bylo z následujících možností:

- Připojení pomocí telefonní linky. Jedná se o vytáčené připojení Dial-up, digitální technologie ISDN (Integrated Services Digital Network) a ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line).
- Bezdrátové připojení pomocí technologie Wi-Fi, WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) a FWA (Fixed Wireless Access).
- Bezdrátové připojení pomocí mobilních operátorů - CDMA (Code Division Multiple Access), GPRS (General Packet Radio Service), EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution) a UMTS (Universal Mobile Telecommunications System).
- Rozvod kabelové televize CATV (Cable television), satelitní připojení a pevný okruh (např. optický kabel).

Z důvodu nedostupnosti služby byly vyřazeny technologie WiMAX a CATV. Dial-up, ISDN, CDMA, GPRS, EDGE a UMTS byly vyřazeny z důvodu malé přenosové rychlosti a technologie FWA, satelitní připojení a pevný okruh z důvodů vysoké ceny. Pro podrobnější srovnání byly z předchozího seznamu vybrány technologie ADSL a Wi-Fi.

## 6.1 Porovnání a výběr technologie

ADSL se vyznačuje vysokou spolehlivostí a rychlostí připojení k Internetu (hovoří se o vysokorychlostním Internetu). Jedná se o asymetrické připojení (rozdílná rychlost stahování a odesílání dat), které využívá technologii DSL (Digital Subscriber Line). ADSL využívá pro přenos dat telefonní linku. Limitem je vzdálenost uživatele od telefonní ústředny (tento limit je cca 3 kilometry). Nabízená rychlost je v dnešní době až 16Mbit/s.

Technologie Wi-Fi je ovlivněna řadou faktorů a činitelů, které mohou kvalitu signálu ovlivnit. Především se jedná o klimatické jevy, rušení a kolize signálu, výstavbu objektů a nárůst zeleně (doporučuje se přímý výhled na přístupový bod). K většímu rušení dochází u frekvence 2,4GHz, kde by měl být rozestup čtyř kanálů mezi vysílanými kanály (pouze tři kanály se nepřekrývají). Teoretická rychlost může být až 32Mbit/s.

V obci Zbuzany je dostupný pouze jeden poskytovatel technologie ADSL - Telefónica O2 Czech Republic, a. s. (dosahovaná rychlost je maximálně 8192/512kbit/s) a dva komerční poskytovatelé bezdrátového připojení pomocí technologie Wi-Fi - Družstvo Eurosignal a Connect plus s. r. o. Dále je zde možnost připojení k nedalekému občanskému sdružení o.s.jinonice.cz (dále jen „Sdružení“), které působí v Praze 13 a zprostředkovává připojení k Internetu.

Pro porovnání nabízených služeb jednotlivých poskytovatelů byly vybrány srovnávací parametry: rychlost, poplatek za zřízení služby, minimální délka smlouvy, měsíční poplatek a poplatek za instalaci a komponenty (u ADSL to byla cena za modem, u bezdrátové sítě cena za anténu, koaxiální kabel a bezdrátového klienta – tabulka 8).

| Název                             | Rychlost (kbit/s) <sup>11</sup> | Zřízení služby (Kč) | Délka smlouvy (měsíce) | Měsíční poplatek (Kč) | Komponenty a instalaci (Kč) |
|-----------------------------------|---------------------------------|---------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------------|
| O2 Internet ADSL 8M <sup>12</sup> | 8192/512                        | 1,-                 | 12                     | 475,-                 | 1,-                         |
| Eurosignal W-Mini                 | 1024/256                        | 890,-               | -                      | 713,-                 | cca 2000,-                  |
| Connect plus                      | 1024/384                        | -                   | 6                      | 464,-                 | cca 2000,-                  |
| Sdružení <sup>13</sup>            | 1024/1024                       | -                   | -                      | 300,-                 | cca 2000,-                  |

Tabulka 8 - Porovnání poskytovatelů Internetu [8], [10], [13] a [20]<sup>14</sup>

Z nabídek bezdrátových poskytovatelů bylo vybráno připojení prostřednictvím Sdružení. Nabízí nejlepší poměr mezi cenou a rychlostí (především u nahrávání dat na Internet, tzv. upload). Při porovnávání mezi technologiemi ADSL a Wi-Fi, se přihlíželo především k měsíčnímu poplatku před rychlostí. Pro běžného uživatele je v dnešní době rychlost 1024kbit/s dostačující. Při nahrávání dat na Internet nabízí bezdrátový poskytovatel rychlost dokonce dvakrát vyšší oproti ADSL. Roční připojení včetně ceny za komponenty, instalaci a zřízení služby vyjde u ADSL na 5701,- Kč a u Wi-Fi na cca 5600,- Kč. Na základě všech argumentů bylo vybráno Sdružení.

## 6.2 Sdružení

Sdružení působí na území nedaleké Prahy 13, kde buduje a udržuje neveřejnou bezdrátovou síť. Členové Sdružení mohou neomezeně využívat síť pro přenos dat a využívat společného připojení k Internetu. Hlavním cílem je sdružovat zájemce o výzkum, vývoj a testování produktů a jejich aplikací v oblasti informačních a komunikačních technologií s důrazem na možnost jejich praktického využití, k šíření vzdělanosti, kultury a k odstraňování informačních bariér [20]. Sdružení sídlí v ulici Pod Vidoulí 22, Praha 5 – Jinonice, je registrováno u Ministerstva vnitra České republiky a každý člen se může podílet na vedení a fungování sítě. Členský poplatek je

<sup>11</sup> Stahování dat / nahrávání dat na Internet (download / upload).

<sup>12</sup> Bezpodmínečnou nutností je zavedení telefonní linky. Dále je potřeba přičíst cenu za pronájem telefonního přístroje a linky.

<sup>13</sup> Občanské sdružení o.s.jinonice.cz neposkytuje Internet, pouze ho zprostředkovává.

<sup>14</sup> Vychází z aktuálních ceníků platných k 8. srpnu 2008.

stanoven na 300,- Kč za měsíc. Podmínkou při vstupu je zaplacení poplatků na tři měsíce dopředu.

Sdružení funguje na principech CZFree.net a je do této sítě připojeno. CZFree.net je neveřejná amatérská počítačová síť na území České republiky. Síť se řídí sadou technických pravidel, která určují, jak spolu jednotlivé počítače a podsítě komunikují. Kdokoliv se může na své náklady připojit, sám poskytnout určité služby a podílet se tak na rozšiřování sítě. Sdílí se tak filozofie spřátelených sítí vznikajících po celém světě [12].

Sdružení si stanovilo dvě podmínky pro připojení. První podmínka byla, aby byl vybudován bezdrátový přístupový bod na náklady zřizovatele. Druhou podmínkou bylo připojení minimálně pěti klientů, kteří po převzetí přístupového bodu pod správu Sdružení, vstoupí do této organizace. Po splnění podmínek Sdružení převezme všechny náklady spojené s realizací přístupového bodu. Tyto podmínky byly akceptovány na základě provedeného průzkumu v obci. Předběžný zájem vyslovilo 10 klientů, z toho dva byly v době průzkumu klienty komerčního provozovatele bezdrátového připojení (družstvo Eurosignal).

## **6.3 Umístění přístupového bodu**

Výběr vhodného umístění bezdrátového přístupového bodu je významné pro realizaci bezdrátové sítě a případný další budoucí rozvoj. Podmínky pro výběr vhodného umístění byly z technického hlediska následující: přímý výhled na přístupový bod Sdružení (AP Gbella), možnost pokrytí rozsáhlého obydleného území, co největší absence překážek v okolí, snadný přístup na střechu a do půdního prostoru objektu, možnost vybudovat nosný stožár pro antény a bezproblémové připojení do sítě elektrické energie. Z provozního hlediska byly pouze dvě podmínky: zájem o připojení minimálně pěti klientů a vyjednání podmínek umístění budoucího přístupového bodu s majitelem (majiteli) objektu.

Po přezkoumání všech podmínek byl pro umístění přístupového bodu vybrán objekt v horní (jižní) části obce. V nejbližším okolí objektu se nenacházejí žádné

významné překážky. Z důvodu polohy obce (nachází se na severním svahu) a členitosti terénu je předpokládáné pokrytí signálem do cca. 500m.

## 6.4 Teoretický výpočet přenosových tras

Důležitou úlohou při plánování výstavby venkovního bezdrátového spojení je teoretický výpočet přenosových tras budoucího spojení, a to především u větších vzdáleností mezi vysílačem a přijímačem<sup>15</sup>. Hlavními prvky výpočtu jsou ziskovost (kladné hodnoty) a ztrátovost (záporné hodnoty) komponentů bezdrátové sítě a zahrnují ztráty při přenosu (jedná se o Fresnelovu zónu a především o ztráty ve volném prostoru), efektivní vysílací výkon vysílače a efektivní citlivost přijímače.

### 6.4.1 Fresnelova zóna

Fresnelova zóna je zóna okolo spojnice mezi vysílací a přijímací anténou. Tento prostor má tvar rotačního elipsoidu a neměla by se v něm vyskytovat žádná překážka (ani do něj zasahovat). Případné překážky mají za následek snížení kvality přenosu signálu. Je vhodné, aby bylo volných (bez překážek) minimálně 60% Fresnelovy zóny [7]. Pro výpočet Fresnelovy zóny existuje jednoduchý vzorec [7]:

$$d = \sqrt{\lambda \frac{l_1 \cdot l_2}{l_1 + l_2}} \quad [m, m, m, m] \quad (1)$$

Nejdůležitější parametr je průměr  $d$ , podle kterého může být určen průměr zóny v libovolné vzdálenosti od antén. Parametry  $l_1$  a  $l_2$  určují vzdálenost překážky od obou antén,  $\lambda$  značí vlnovou délku. Vlnová délka se vypočítá pomocí následujícího vzorce, kde  $\lambda$  je vlnová délka, 300Mm/s (=300 000 000m/s) je rychlost světla,  $f$  je frekvence [7]:

$$\lambda = \frac{300}{f} \quad [m, Mm / s, MHz] \quad (2)$$

Po dosazení do vzorce (2) u frekvence 2,4GHz (předpokládaná vysílací frekvence bude 2412MHz, což je první kanál<sup>16</sup>) vyjde, že vlnová délka je 0,1244 metrů

<sup>15</sup> Označení „vysílač“ a „přijímač“ je uvedeno z důvodu lepší orientace a rozlišení, protože v bezdrátové síti jsou všechna zařízení vysílači a přijímači.

<sup>16</sup> Rozdíly mezi jednotlivými kanály (frekvencemi) jsou ve výsledku zanedbatelné.

a u frekvence 5GHz (5520MHz<sup>17</sup>) 0,0543m. Po dosazení do vzorce (1) a za předpokladu, že výpočet platí pro střední hodnotu spojnice mezi vysílací a přijímací anténou ( $l_1 = l_2$ ), vyjdou výsledky pro maximální průměr Fresnelovy zóny (tabulka 9). Ze vzorců (1) a (2) plyne, že čím je vyšší frekvence, tím kratší je vlnová délka a menší průměr Fresnelovy zóny. Dále se nesmí při umístování antén opomenout, že Fresnelova zóna je tvořena elipsoidem. Z toho plyne, že například u frekvence 2412MHz je po 10m, u vzdálenosti 1000 m mezi anténami, průměr  $d$  již 1,11 m.

| Vzdálenost (m) | Průměr $d$ (m)    |                   |
|----------------|-------------------|-------------------|
|                | Frekvence 2412MHz | Frekvence 5520MHz |
| 100            | 1,76              | 1,17              |
| 200            | 2,49              | 1,65              |
| 300            | 3,05              | 2,02              |
| 400            | 3,52              | 2,33              |
| 500            | 3,94              | 2,61              |
| 1000           | 5,58              | 3,68              |
| 2000           | 7,89              | 5,21              |
| 3500           | 10,43             | 6,89              |

Tabulka 9 - Výpočet Fresnelovy zóny

### 6.4.2 Ztráty ve volném prostoru

Ztráty vznikají i při průchodu volným prostorem, kde nejsou žádné překážky. Tyto ztráty nelze nijak ovlivnit a musí se s nimi vždy počítat při plánování bezdrátových spojů. Ztráty ve volném prostoru  $L_0$  se vypočítají následovně [7]:

$$L_0 = 20 \log \frac{4\pi d}{\lambda} \quad [dB, m, m] \quad (3)$$

Do vzorce (3) je dosazena za  $d$  vzdálenost mezi vysílačem a přijímačem a za  $\lambda$  vlnovou délku vysílané frekvence. Výsledné hodnoty jsou záporná čísla a uvádějí, k jakým ztrátám dochází v závislosti s narůstající vzdáleností (tabulka 10).

| Vzdálenost (m) | Útlum $L_0$ (dB)  |                   |
|----------------|-------------------|-------------------|
|                | Frekvence 2412MHz | Frekvence 5520MHz |
| 100            | -80,09            | -87,29            |
| 200            | -86,11            | -93,31            |
| 300            | -89,63            | -96,83            |
| 400            | -92,13            | -99,33            |
| 500            | -94,07            | -101,27           |
| 1000           | -100,09           | -107,29           |
| 2000           | -106,11           | -113,31           |
| 3500           | -110,97           | -118,17           |

Tabulka 10 - Ztráty ve volném prostoru

<sup>17</sup> Na této frekvenci se bude vysílat na základě doporučení Sdružení.

### 6.4.3 Vyzařovací výkon vysílače a citlivost přijímače

Podle Generální licence ČTÚ 12/R/2000 (a změn 1 a 2 platných od 1. března 2003), je maximální ekvivalentní izotropický vyzařovací výkon EIRP u frekvence 2412MHz 100mW, což odpovídá 20dBm a u frekvence 5520MHz 1W, což odpovídá 30dBm. Vzorec pro EIRP je následující [7].

$$EIRP = Pt + Gt - Lt \quad [dBm; dBm, dBi, dB] \quad (4)$$

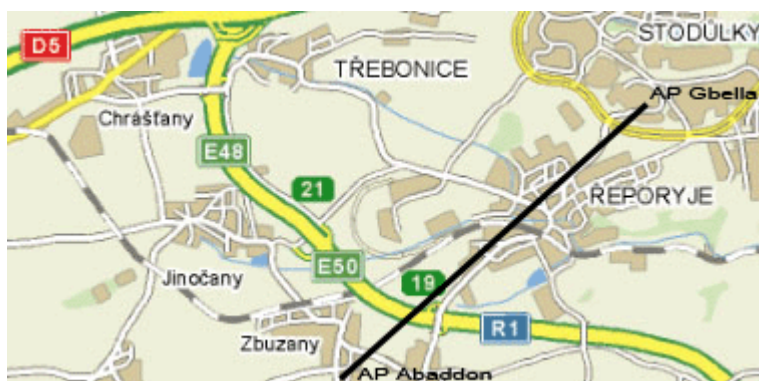
$Pt$  je výstupní výkon bezdrátové karty,  $Gt$  značí zisk vysílací antény a  $Lt$  jsou ztráty na kabelu, konektorech a bleskojistce na vysílací straně.

Výpočet citlivosti přijímače je založen na rovnici výkonové bilance radiokomunikačního řetězce, kde  $Pr$  je vstupní citlivost,  $Gr$  značí zisk přijímací antény,  $Lo$  jsou ztráty vlivem šíření volným prostorem (tabulka 10) a  $Lr$  jsou ztráty na kabelu, konektorech a bleskojistce na přijímací straně.  $Pt$ ,  $Gt$  a  $Lt$  jsou totožné s rovnicí vyzařovacího výkonu [7].

$$Pr = Pt + Gt + Gr - Lo - Lt - Lr \quad [dBm; dBm, dBi, dBi, dB, dB, dB] \quad (5)$$

#### 6.4.3.1 Spoj v pásmu 5GHz

Spoj v pásmu 5GHz bude tvořit páteřní linku, pomocí které bude realizováno připojení ke Sdružení. Vzdálenost mezi přístupovými body bude 3500 metrů (obrázek 28). Fresnelova zóna bude mít maximální průměr 6,89 metrů (tabulka 9) a žádná překážka do ní nezasahuje. Spoj bude realizován na rádiové frekvenci 5520MHz.



Obrázek 28 - Poloha bezdrátových přístupových bodů [17]

Na obou stranách spojení je počítáno s použitím totožného zařízení. Při výpočtu vyzařovacího výkonu vysílače a citlivosti přijímače byly využity parametry následujících komponentů [15]:

- Bezdrátová karta CM9 miniPCI AR5213 Atheros 5004X,
  - o vysílací výkon: až 18dBm u 6Mbit/s a 12dBm u 54Mbit/s,
  - o citlivost: až -87dBm u 6Mbit/s a -67dBm u 54Mbit/s.
- Parabolická anténa Waveant WA22-5xP,
  - o zisk antény: 22dBi.
- Bleskojistka BrOK (typ PKOpt - N-lambda - 5,4/5,8G - BCD/F-M),
  - o útlum: 1dB.
- Kabel LMR-400,
  - o útlum: 0,355dB/m.
- Konektor typu N,
  - o útlum: 0,5dB.
- Pigtail R-SMA na N,
  - o útlum: 1,8dB.

Prvním výpočtem jsou spočítány ztráty na kabelu, konektorech a bleskojistce na vysílací a přijímací straně. Předpokládaná délka kabelu je 6 metrů a bude obsahovat redukci (pigtail R-SMA na N), dva konektory typu N a bleskojistku.

$$L_t, L_r = 6 \cdot 0,355 + 2 \cdot 0,5 + 1 + 1,8 \cong 6dB$$

Při výpočtu maximálního ekvivalentního izotropického vyzařovacího výkonu EIRP bylo zvoleno jako výstupní výkon bezdrátové karty 12dBm a po dosazení ostatních hodnot do vzorce (4) vyšel tento výsledek:

$$EIRP = P_t + G_t - L_t = 12 + 22 - 6 = 28dBm$$

Pro frekvenci 5520MHz je maximální povolená hodnota EIRP 1W, což odpovídá 30dBm. Za těchto podmínek spoj vyhovuje Generální licenci ČTÚ a může být pokračováno ve výpočtu citlivosti přijímače za pomoci vzorce (5):

$$P_r = P_t + G_t + G_r - L_o - L_t - L_r = 12 + 22 + 22 - 118,17 - 6 - 6 = -74,17dBm$$

Jelikož výsledná vypočtená hodnota citlivosti je -74,17dBm a minimální citlivost bezdrátové karty je -87dBm, spoj je realizovatelný.

Za předpokladu použití zvolených komponent je možné navýšit výstupní výkon bezdrátové karty až na +14dBm. Za těchto podmínek bude spoj i nadále vyhovovat Generální licenci. Citlivost přijímače se z tohoto důvodu zvedne o 2dBm na -72,17dBm. Výpočet pro opačný směr není nutný, protože jak bylo uvedeno výše, předpokládá se použití stejného zařízení na obou stranách spoje.

#### 6.4.3.1 Spoj v pásmu 2,4GHz

Spoj v pásmu 2,4GHz bude sloužit k propojení přístupového bodu s klienty. Výpočet spojení bude uveden pro klienta ve vzdálenosti 500 metrů od přístupového bodu (obrázek 29). Tato vzdálenost je brána jako hraniční, především z důvodu členitosti terénu a polohy překážek. Reálně se počítá s pokrytím cca 1/4 území obce. Nosná frekvence bude vysílána podle staršího standardu IEEE 802.11b, protože se počítá s připojením klientů, kteří budou mít starší bezdrátové adaptéry (nepodporující novější standard IEEE 802.11g).

Na rozdíl od spoje 5GHz, bude zde jiné hardwarové vybavení na každé straně spojení (přístupovém bodu a klientovi). V případě přístupového bodu se počítá s následujícím vybavením [15]:

- CM9 miniPCI AR5213 Atheros 5004X,
  - o vysílací výkon: až 19dBm u 11Mbit/s,
  - o citlivost: až -94dBm u 1Mbit/s a -87dBm u 11Mbit/s.
- Všesměrová anténa,
  - o zisk antény: 10dBi.
- Bleskojistka BrOK (typ PKO pt-N - lambda - 2,4G-BCD/ F-M),
  - o útlum: 1dB.
- Kabel LMR-400,
  - o útlum: 0,222dB/m.
- Konektor typu N,
  - o útlum: 0,5dB.
- Pigtail R-SMA na N,
  - o útlum: 1,8dB.



Obrázek 29 - Předpokládané pokrytí obce [17]

Hardwarové vybavení jednotlivých klientů se bude lišit podle specifických podmínek, které určují především poloha a výhled k přístupovému bodu. Předpokládané vybavení klienta [15] a [19]:

- OvisLink WL-5460AP\_v2,
  - o vysílací výkon: až 18dBm u 11Mbit/s,
  - o citlivost: až -92dBm u 1Mbit/s a -83dBm u 11Mbit/s.
- Sektorová anténa,
  - o zisk antény: 14dBi.
- Bleskojistka BrOK (typ PKO pt-N - lambda - 2,4G-BCD/ F-M),
  - o útlum: 1dB.
- Kabel LMR-400,
  - o útlum: 0,222dB/m.
- Konektor typu N,
  - o útlum: 0,5dB.
- Pigtail R-SMA na N,
  - o útlum: 1,8dB.

V první fázi výpočtů jsou spočítány ztráty na kabelu, konektorech a bleskojistce na vysílací ( $L_t$ ) a přijímací straně ( $L_r$ ). Předpokládaná délka kabelů je 8 metrů u přístupového bodu a 10 metrů u klienta. Součástí obou zařízení bude i redukce (pigtail R-SMA na N), dva konektory typu N a bleskojistka.

$$L_t = 8 \cdot 0,222 + 2 \cdot 0,5 + 1 + 1,8 \cong 5,5 \text{ dB}$$

$$L_r = 10 \cdot 0,222 + 2 \cdot 0,5 + 1 + 1,8 \cong 6dB$$

Při výpočtu maximálního ekvivalentního izotropického vyzařovacího výkonu  $EIRP_v$  u přístupového bodu byl zvolen, s ohledem na parametry antény (10dBi), výstupní výkon bezdrátové karty 14dBm. Na straně klienta ( $EIRP_p$ ) byl výkon bezdrátového adaptéru nastaven na 13dBm. Anténa byla vybrána se ziskem 12dBi. Po dosazení do vzorce (4) jsou výsledky následující:

$$EIRP_v = P_t + G_t - L_t = 14 + 10 - 5,5 = 18,5dBm$$

$$EIRP_p = P_t + G_t - L_t = 13 + 12 - 6 = 19dBm$$

Maximální povolená hodnota EIRP u frekvence 2412MHz je 100mW (20dBm). Spoj vyhovuje jak na vysílací, tak na přijímací straně Generální licenci ČTÚ. Následuje výpočet citlivosti přijímače pomocí vzorce (5):

$$Pr_v = P_t + G_t + G_r - L_o - L_t - L_r = 14 + 10 + 12 - 94,07 - 5,5 - 6 = -69,57dBm$$

$$Pr_p = P_t + G_t + G_r - L_o - L_t - L_r = 13 + 12 + 10 - 94,07 - 6 - 5,5 = -70,57dBm$$

Výsledná vypočtená hodnota citlivosti je u přístupového bodu -69,57dBm a citlivost bezdrátové karty udávaná výrobcem je -87dBm, spoj je realizovatelný a přenos by měl dosahovat maximálních rychlostí. Na straně klienta je situace podobná. Vypočtená hodnota citlivosti je -70,57dBm a hodnota udávaná výrobcem je -83dBm. Spoj je realizovatelný i ze strany klienta.

## 6.5 Měření signálu

Cílem měření bylo ověřit vypočtené hodnoty z předchozí kapitoly v reálném prostředí. Měření proběhlo na základě provizorní bezdrátové sítě a mělo vyřešit následující body:

- správnost výpočtů,
- přesné pokrytí oblasti,
- správnost vybraného hardwaru,
- dodržování Generální licence ČTÚ.

Na místě předpokládaného umístění budoucího bezdrátového přístupového bodu byl postaven provizorní vysílač za použití následujícího zařízení:

- OvisLink WL-5460AP\_v2 o výkonu 13dBm,
- všesměrová anténa se ziskem 10dBi,
- bleskojistka BrOK,
- koaxiální kabel LMR-400 o délce 8 metrů (včetně konektorů),
- pigtail SMA na N o délce 0,5 metrů.

Anténa byla umístěna na stožáru ve výšce 9 metrů nad okolním terénem. Celkový vysílaný výkon byl o 1dBm menší než u předpokládaného přístupového bodu (OvisLink nelze regulovat po 1dBm).

U přijímače byl použit přenosný počítač z důvodu lepší manipulace a mobility. Celá sada se dále skládala z:

- směrové antény se ziskem 12dBi,
- PCMCIA karta D-link DWL-660 o výkonu 13dBm,
- pigtail SMA na N o délce 5 metrů.

Celkový vysílací výkon byl nastaven na 19dBm, aby odpovídal hodnotě použité při výpočtu. V notebooku byl nainstalován program Vistumbler 8.0 [24], pomocí kterého proběhlo měření (obrázek 30).

| # | SSID               | Signál | Kanál | Ověřování | Šifrování | Typ sítě       | Typ Zařízení |
|---|--------------------|--------|-------|-----------|-----------|----------------|--------------|
| 1 | abaddon.czfree.net | 74%    | 1     | Otevřen,  | WEP,      | Infrastruktura | 802.11b      |

**Obrázek 30 - Výsledky měření u prvního stanoviště pomocí programu Vistumbler**

Měření bylo provedeno na 10 různých místech na území obce. Pět měření bylo uskutečněno u předběžných zájemců o připojení. Zbýlých pět na náhodně vybraných místech a objektech, aby se měřením pokrylo pokud možno celé území obce. Anténa byla umístěna na střeších nebo v oknech objektů (v jednom případě na střeše autobusové zastávky) ve směru vysílače.



Obrázek 31 - Mapa měřících stanovišť [17]

Všechna umístění směrové antény byla v souladu s podmínkami dodržení Fresnelovy zóny (u přímého výhledu). Vybraná místa měření jsou zobrazena na mapě (obrázek 31). Umístění vysílače je označeno jako AP. Stanoviště označené číslicemi 1, 2, 3, 4 a 5 jsou předběžní zájemci o připojení. Ostatní stanoviště měření jsou označena číslicemi 6, 7, 8, 9 a 10. Popis umístění a vzdálenost od vysílače:

- Stanoviště číslo 1 se nachází v ulici V Zahradě, vzdálenost od AP je 273 metrů.
- Stanoviště 2, ulice Chotečská, 140 metrů.
- Stanoviště 3, ulice Do Vršku, 205 metrů.
- Stanoviště 4, ulice Do Vršku, 106 metrů.
- Stanoviště 5, ulice Uhelná, 98 metrů.
- Stanoviště 6, ulice Ořešská, 288 metrů.
- Stanoviště 7, ulice U Menhiru II, 463 metrů.
- Stanoviště 8, ulice U Menhiru V, 573 metrů.
- Stanoviště 9, ulice Na Dražkách, 831 metrů.
- Stanoviště 10, ulice Příčná, 760 metrů.

### 6.5.1 Výsledky měření

Programu Vistumbler slouží pro zjišťování dostupných bezdrátových sítí a pro měření bezdrátového spojení. Každé měření bylo provedeno dvakrát v rozestupu jednoho dne. Výsledné hodnoty se lišily maximálně o 2% a jsou zprůměrnovány (tabulka 11).

| Stanoviště | Vzdálenost od AP (m) | Přímý výhled na AP | Síla signálu (%) |
|------------|----------------------|--------------------|------------------|
| 1          | 273                  | Ano                | 74               |
| 2          | 140                  | Ano                | 92               |
| 3          | 205                  | Ano                | 82               |
| 4          | 106                  | Ano                | 98               |
| 5          | 98                   | Ano                | 97               |
| 6          | 288                  | Ano                | 69               |
| 7          | 463                  | Ne                 | 0                |
| 8          | 573                  | Ano                | 32               |
| 9          | 831                  | Ne                 | 0                |
| 10         | 760                  | Ne                 | 0                |

**Tabulka 11 - Výsledky měření pomocí programu Vistumbler**

Pro vytvoření kvalitního spoje jsou nezbytné hodnoty síly signálu minimálně nad 50% a přímý výhled na přístupový bod. Na základě provedených měření byla vytvořena orientační mapa pokrytí obce Zbuzany (červená značí pokrytí - obrázek 32).



**Obrázek 32 - Orientační mapa pokrytí obce Zbuzany**

## 6.5 Bezdrátový přístupový bod

Z výsledků teoretického výpočtu přenosových tras vyplynulo, že přístupový bod je realizovatelný. Nyní následuje samotná realizaci výstavby, ve které bude čerpáno z poznatků a výpočtů předchozí kapitoly.

Přístupový bod byl nazván AP Abaddon (AP = Access Point = přístupový bod; Abaddon = démon války – pojaté jako boj proti komerčním poskytovatelům připojení) a byl umístěn v horní (jižní) části obce, konkrétně v ulici Chotečská. Připojení do Sdružení je uskutečněno přes AP Gbella, který se nachází v ulici Bellušova, Praha 13.

### 6.5.1 Hardware

Přístupový bod se skládá ze směrovače (router), antén, kabelů, spojek a bleskojistek. Směrovač byl vytvořen klasickým stolním počítačem o parametrech procesoru 400MHz Intel Pentium, paměti 128MB RAM, 128MB CF. Na tomto směrovači je nainstalován operační systém MikroTik RouterOS verze 2.9.27.

Do směrovače jsou přes redukce zapojeny dvě karty CM9 miniPCI AR5213 Atheros 5004X (obrázek 33), první bude sloužit pro přenosovou frekvenci 5GHz a druhá pro frekvenci 2,4GHz. Tato karta je velmi univerzální a je možné ji používat na základě všech standardů IEEE (802.11a/b/g). Výkon karty je možné regulovat pomocí OS MikroTik RouterOS. Technické parametry jsou následující [15]:

- chipset: Atheros AR5213
  - modulace: DSSS, OFDM,
  - výstup na anténu: 2x U-FL male,
  - operační mód: AP, Client, Ad-Hoc.
  - zabezpečení: WEP 64, WEP 128, WPA, 802.1X,
  - maximální citlivost: a: -88dBm, b: - 95dBm, c: -90dBm,
- podporované OS: MikroTik RouterOS, Windows, Linux.



Obrázek 33 - CM9 miniPCI AR5213 Atheros 5004X [15]

Dále je směrovač propojen pomocí kabelu UTP s prepínačem (switchem), který dál šíří signál pro potřeby majitele objektu. Směrovač se nachází v půdním prostoru objektu, kde je připojeny do elektrické sítě.

#### 6.5.1.1 5GHz

Pro realizaci páteřního spojení byla vybrána parabolická směrová anténa Waveant WA22-5xP (obrázek 34) o následujících parametrech [11]:

- zisk: 22dBi,
- frekvence: 5470 - 5850MHz,
- hmotnost: 1,2kg,
- délka zářiče: 17,5cm,
- průměr paraboly: 300mm,
- polarizace: vertikální/horizontální.



Obrázek 34 - WAVEANT WA22-5xP [11]

Anténa byla připevněna ke stožáru na střeše vybraného objektu ve výšce 7 metrů nad okolním terénem. Tato výška byla určena v souladu s dodržáním Fresnelovy zóny a žádná překážka do této zóny nezasahuje. Polarizace byla nastavena na vertikální. Vzdálenost mezi anténou a směrovačem je 5,5 metru. Je zde použit koaxiální kabel LMR-400 o délce 6 metrů (rezerva 0,5 metru z důvodu případné manipulace se směrovačem), který je osazen konektory typu N. Mezi koaxiální kabel a pigtail (konektory R-SMA – N) byla z důvodu ochrany před případným přepětím v síti vložena bleskojistka BrOK (typ PKOpt - N-lambda - 5,4/5,8G - BCD/F-M) [15].



Obrázek 35 - Výhled směr Praha



Obrázek 36 - Výhled směr Zbuzany

Na straně Sdružení je anténa umístěna na stožáru na střeše panelového domu. Na obou přístupových bodech jsou totožné komponenty a shodou okolností i totožné délky koaxiálních kabelů. Samotný směrovač je umístěn v objektu strojovny výtahů.

#### 6.5.1.1 2,4GHz

Pro pokrytí obce signálem byla vybrána všesměrová anténa WH10OMNI 10dBi (obrázek 37) o následujících parametrech [15]:

- zisk: 10dBi,
- frekvence: 2350 - 2500MHz,
- hmotnost: 0,4kg,
- maximální výkon: 30W,
- polarizace: vertikální,
- úhel pokrytí vertikální: 10°,
- úhel pokrytí horizontální: 360°.



Obrázek 37 - WH10OMNI 10dBi [15]

Anténa byla umístěna na vrchol stožáru, kde je již anténa pro frekvenci 5GHz, ve výšce 9 metrů nad okolním terénem. Polarizace je od výrobce nastavena na vertikální. Vzdálenost mezi anténou a směrovačem je 7,5 metru. Je zde opět použit koaxiální kabel LMR-400 o délce 8 metrů (rezerva 0,5 metru z důvodu případné manipulace se směrovačem), který je osazen konektory typu N. Mezi koaxiální kabel a pigtail (konektory R-SMA – N) byla z důvodu ochrany před případným přepětím v síti vložena bleskojistka BrOK (typ PKO pt-N - lambda - 2,4G-BCD/ F-M) [15].

#### 6.5.2 Nastavení antén

Jednou z nejdůležitějších vlastností pro kvalitní přenos signálu je správné nastavení antén. Především antény směřující do Sdružení (páteří spoj). Nastavení probíhá jednoduše a to tak, že se antény nasměrují proti sobě. První anténa vysílá a druhá se nastaví (nasměruje) na co nejsilnější signál. Poté se postup provede v opačném pořadí. Tím je docíleno nejvyššího signálu.

### 6.5.3 Konfigurace

Konfigurace operačního systému MikroTik RouterOS verze 2.9.27 se provádí pomocí jiného počítače, který se k směrovači připojí kroucenou dvoulinkou. Softwarový nástroj, který je použit při nastavování, je program WinBox Loader v2.2.14 (obrázek 38).



Obrázek 38 - WinBox Loader v2.2.14 - přihlášení

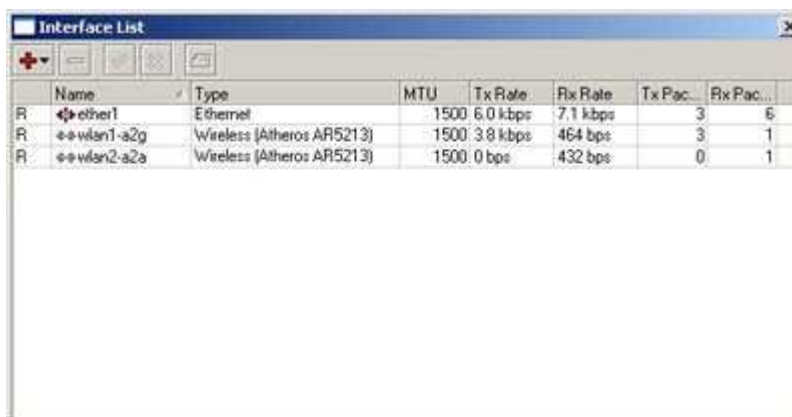
Po vyplnění Connect To (pomocí tlačítka se třemi tečkami se vybere MAC adresu zvoleného přepínače), Login (jméno) a Password (heslo) se WinBox připojí k operačnímu systému MikroTik RouterOS a zobrazí se základní menu. Defaultně je Login nastaven jako „admin“ a Password zůstane nevyplněné.



Obrázek 39 - MikroTik RouterOS verze 2.9.27 - základní menu

V záložce Interface (obrázek 40) je seznam všech správně připojených miniPCI karet. V tomto případě to jsou dvě karty CM9 miniPCI AR5213 Atheros 5004X. Dále je

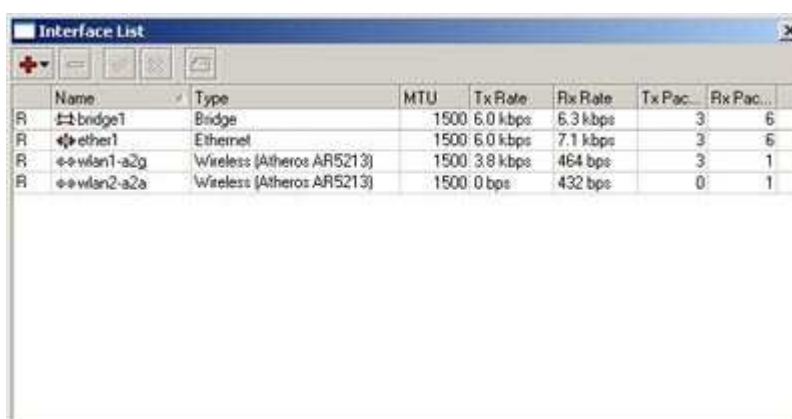
zde jedno připojení do Ethernetu. Pro jednodušší administraci mohou být jednotlivá rozhraní pojmenována v záložce General (dvakrát se klikne na zvolený řádek).



| Name        | Type                      | MTU  | Tx Rate  | Rx Rate  | Tx Pac... | Rx Pac... |
|-------------|---------------------------|------|----------|----------|-----------|-----------|
| R ether1    | Ethernet                  | 1500 | 6.0 kbps | 7.1 kbps | 3         | 6         |
| R wlan1-a2g | Wireless (Atheros AR5213) | 1500 | 3.8 kbps | 464 bps  | 3         | 1         |
| R wlan2-a2a | Wireless (Atheros AR5213) | 1500 | 0 bps    | 432 bps  | 0         | 1         |

Obrázek 40 - MikroTik RouterOS verze 2.9.27 - záložka Interface

Dalším krokem v nastavování je rozdělení rozhraní na dvě základní části. Klientská část bude zahrnovat jednu miniPCI kartu, která bude nastavena v režimu stanice a bude přijímat signál (z AP Gbella). Druhá část, neboli Bridge (most), zahrne všechno ostatní (zbylou miniPCI kartu, která budou v režimu Access Point a Ethernet) a bude „přeposílat“ signál dál. Bridge je přidán v záložce Bridge v hlavním menu, kde se klikne na ADD (přidat). V okně New Interface může být Bridge pojmenován. V záložce Ports se přidá tlačítkem ADD postupně miniPCI karta a Ethernetový port. Správně přidáný Bridge se zobrazí v hlavním menu v záložce Interface (obrázek 41).

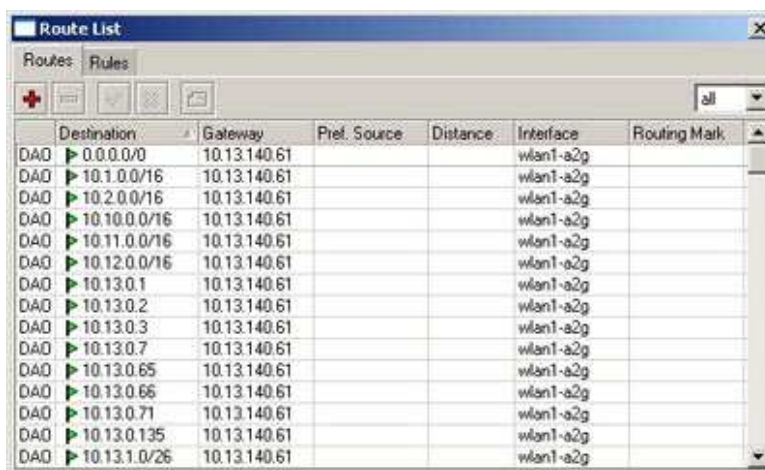


| Name        | Type                      | MTU  | Tx Rate  | Rx Rate  | Tx Pac... | Rx Pac... |
|-------------|---------------------------|------|----------|----------|-----------|-----------|
| R bridge1   | Bridge                    | 1500 | 6.0 kbps | 6.3 kbps | 3         | 6         |
| R ether1    | Ethernet                  | 1500 | 6.0 kbps | 7.1 kbps | 3         | 6         |
| R wlan1-a2g | Wireless (Atheros AR5213) | 1500 | 3.8 kbps | 464 bps  | 3         | 1         |
| R wlan2-a2a | Wireless (Atheros AR5213) | 1500 | 0 bps    | 432 bps  | 0         | 1         |

Obrázek 41 - MikroTik RouterOS verze 2.9.27 - záložka Interface s Bridge

Následuje přiřazení IP adres. V záložce IP se vybere Address a pomocí tlačítka ADD se přidá IP adresa Bridge, v tomto případě to bude 10.13.46.1, a bezdrátové karty (10.13.46.2). IP adresa Bridge je IP adresa celého směrovače.

Jelikož se jedná o směrovač, tak se musí nastavit směrovací tabulka. Směrovací tabulka musí obsahovat všechny směrovače v síti a bezdrátové karty, které jsou potřeba, aby byl paket doručen na správnou IP adresu v síti (obrázek 42).

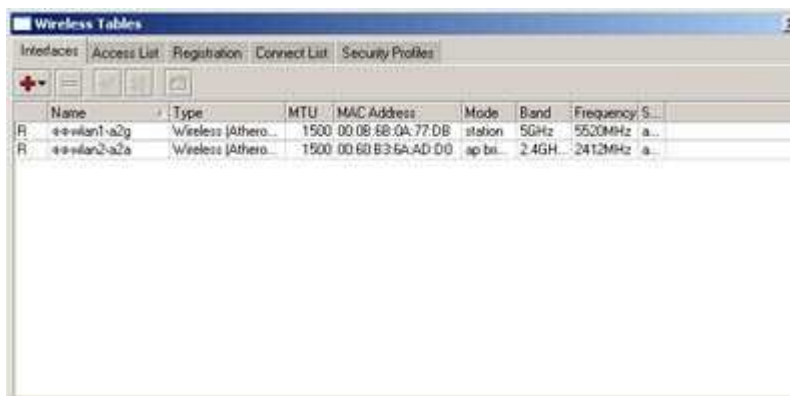


|     | Destination  | Gateway      | Pref. | Source | Distance | Interface | Routing Mark |
|-----|--------------|--------------|-------|--------|----------|-----------|--------------|
| DAO | 0.0.0.0/0    | 10.13.140.61 |       |        |          | wlan1-a2g |              |
| DAO | 10.1.0.0/16  | 10.13.140.61 |       |        |          | wlan1-a2g |              |
| DAO | 10.2.0.0/16  | 10.13.140.61 |       |        |          | wlan1-a2g |              |
| DAO | 10.10.0.0/16 | 10.13.140.61 |       |        |          | wlan1-a2g |              |
| DAO | 10.11.0.0/16 | 10.13.140.61 |       |        |          | wlan1-a2g |              |
| DAO | 10.12.0.0/16 | 10.13.140.61 |       |        |          | wlan1-a2g |              |
| DAO | 10.13.0.1    | 10.13.140.61 |       |        |          | wlan1-a2g |              |
| DAO | 10.13.0.2    | 10.13.140.61 |       |        |          | wlan1-a2g |              |
| DAO | 10.13.0.3    | 10.13.140.61 |       |        |          | wlan1-a2g |              |
| DAO | 10.13.0.7    | 10.13.140.61 |       |        |          | wlan1-a2g |              |
| DAO | 10.13.0.65   | 10.13.140.61 |       |        |          | wlan1-a2g |              |
| DAO | 10.13.0.66   | 10.13.140.61 |       |        |          | wlan1-a2g |              |
| DAO | 10.13.0.71   | 10.13.140.61 |       |        |          | wlan1-a2g |              |
| DAO | 10.13.0.135  | 10.13.140.61 |       |        |          | wlan1-a2g |              |
| DAO | 10.13.1.0/26 | 10.13.140.61 |       |        |          | wlan1-a2g |              |

Obrázek 42 - MikroTik RouterOS verze 2.9.27 - směrovací tabulka

Nastavení samotné miniPCI karty v režimu Access Point je provedeno v hlavním menu v záložce Wireless, kde se vybere karta CM9 miniPCI AR5213 Atheros 5004X. V okně karty se přejde na Wireless a zde se nastaví SSID (abaddon.czfree.net), Band (pásmo 2,4GHz), Frequency (2412MHz) a Mode (AP Bridge) .

V záložce Security Profiles může být nastaveno zabezpečení (obrázek 43). Dále může být nastaveno automatické přidělování IP adres (v záložce IP, kde vybereme DHCP server), DNS server (záložka IP, podzáložka DNS) a firewall (záložka IP, podzáložka Firewall) .



|   | Name      | Type                | MTU  | MAC Address       | Mode      | Band     | Frequency | S... |
|---|-----------|---------------------|------|-------------------|-----------|----------|-----------|------|
| R | wlan1-a2g | Wireless (Athero... | 1500 | 00:08:6B:0A:77:DB | station   | 5GHz     | 5520MHz   | a... |
| R | wlan2-a2a | Wireless (Athero... | 1500 | 00:60:B3:6A:AD:D0 | ap bri... | 2.4GH... | 2412MHz   | a... |

Obrázek 43 - MikroTik RouterOS verze 2.9.27 - záložka Wireless

Záložka Queues ošetřuje následující možnosti: omezení rychlostí jednotlivých IP adres, omezení rychlostí jednotlivých protokolů, portů a na nich běžících služeb, vytváření sdílených linek a řízení provozu. Podzáložka Simple Queues je pro základní řízení provozu a slouží pro omezení rychlostí jednotlivých IP adres, popřípadě jejich rozsahů. Queues Tree (obrázek 44) slouží pro sofistikované řízení toků, pokud bude potřeba vytvářet například sdílené linky, nebo upřednostňování jednotlivých portů. Nastavení v Simple Queue a Queue Tree se může kombinovat.

| Name                | Parent              | Packet Mark | Limit At | Max Limit | Rate      | Queued Bytes | Bytes        | Packets |
|---------------------|---------------------|-------------|----------|-----------|-----------|--------------|--------------|---------|
| download_ethernet1  | global-in           |             | 6144k    | 6144k     | 15.0 kbps | 0 B          | 239551.4 MiB | 287.7   |
| other_3_down        | download_ethernet1  | other_3_in  | 0        | 0         | 0 bps     | 0 B          | 196.9 KiB    | 4.974   |
| p2p_3_down          | download_ethernet1  | p2p_3_in    | 0        | 0         | 0 bps     | 76.4 KiB     | 162488.9 MiB | 157.7   |
| pop3_3_down         | download_ethernet1  | pop3_3_in   | 0        | 0         | 80 bps    | 0 B          | 16.0 MiB     | 397.3   |
| smtp_3_down         | download_ethernet1  | smtp_3_in   | 0        | 0         | 0 bps     | 0 B          | 549.9 MiB    | 397.3   |
| ssl_3_down          | download_ethernet1  | ssl_3_in    | 0        | 0         | 0 bps     | 0 B          | 287.9 MiB    | 709.8   |
| tcp_3_down          | download_ethernet1  | tcp_3_in    | 0        | 0         | 4.2 kbps  | 1716 B       | 71921.4 MiB  | 100.7   |
| udp_3_down          | download_ethernet1  | udp_3_in    | 0        | 0         | 200 bps   | 0 B          | 2572.1 MiB   | 10.4    |
| www_3_down          | download_ethernet1  | www_3_in    | 0        | 0         | 9.7 kbps  | 0 B          | 1817.0 MiB   | 16.6    |
| download_wlan1-ap5g | global-in           |             | 8192k    | 8192k     | 96 bps    | 0 B          | 19027.2 MiB  | 20.8    |
| other_1_down        | download_wlan1-ap5g | other_1_in  | 0        | 0         | 0 bps     | 0 B          | 35.4 KiB     | 900     |
| p2p_1_down          | download_wlan1-ap5g | p2p_1_in    | 0        | 0         | 0 bps     | 0 B          | 16754.7 MiB  | 11.1    |
| pop3_1_down         | download_wlan1-ap5g | pop3_1_in   | 0        | 0         | 0 bps     | 0 B          | 0 B          | 0       |
| smtp_1_down         | download_wlan1-ap5g | smtp_1_in   | 0        | 0         | 0 bps     | 0 B          | 0 B          | 0       |
| ssl_1_down          | download_wlan1-ap5g | ssl_1_in    | 0        | 0         | 0 bps     | 0 B          | 12.9 MiB     | 40.1    |
| tcp_1_down          | download_wlan1-ap5g | tcp_1_in    | 0        | 0         | 88 bps    | 0 B          | 2023.9 MiB   | 6.6     |
| udp_1_down          | download_wlan1-ap5g | udp_1_in    | 0        | 0         | 8 bps     | 0 B          | 13.0 MiB     | 104.2   |
| www_1_down          | download_wlan1-ap5g | www_1_in    | 0        | 0         | 0 bps     | 0 B          | 222.5 MiB    | 2.2     |

Obrázek 44 - MikroTik RouterOS verze 2.9.27 - záložka Queues

V poslední řadě nesmí být opomenut Bandwidth Test (záložka Tools), který slouží pro měření propustnosti linky k jinému operačnímu systému (MikroTik RouterOS, Windows, Linux atd.) a Watchdog (záložka System), který hlídá propustnost linky (linek).

Program MikroTik RouterOS nabízí mnohem více možných nastavení, zde uvedené je pouze základní, slouží k prvotnímu seznámení s daným problémem a jako startovní čára pro začínající uživatele.

## 6.5.4 Zarušení oblasti

Zarušení oblasti je poměrně silné, protože se obec nachází v blízkosti Prahy. Jedná se především o frekvenci 2,4GHz. Při skenování okolí bezdrátového přístupového bodu vysílá pět komerčních (dva poskytovatele), dva soukromé a dva těžko identifikované (z pohledu vlastnictví) přístupové body<sup>18</sup>. Většina bezdrátových

<sup>18</sup> Stav k 1. září 2008

přístupových bodů (komerčních i soukromých) vysílá na odlišných kanálech, pouze dva na stejném (kanál 13).

### 6.5.5 Frekvence

V pásmu 2,4GHz byly volné pouze 4 kanály - kanál 1, kanál 2, kanál 5 a kanál 9. Z tohoto důvodu byl vybrán kanál 1 (což odpovídá frekvenci 2412MHz), protože z neobsazených kanálů bude nejméně rušen. Přenosová frekvence byla stanovena u pásma 5GHz na 5520MHz.

## 6.6 Bezdrátový klient

Klientům bylo doporučeno, aby si pořídili bezdrátového klienta značky OvisLink WL-5460AP\_v2. Jednak z důvodu lepší správy (oproti bezdrátovým kartám), možnosti připojení dvou i více počítačů (při zapojení přepínače), ale hlavně s dobrými zkušenostmi se zařízením značky OvisLink.

### 6.6.1 Hardware

OvisLink WL-5460AP\_v2 je o nástupcem OvisLink WL-1120AP, který byl velmi oblíbený a rozšířený mezi CZFree.net komunitou. Prvek má výstup na anténu (SMA konektor) a dva výstupy na Ethernet (RJ-45). Je vybaven 2MB flash pamětí a 16MB pamětí typu SDRAM. Pracuje v režimech Access Point (bezdrátový přístupový bod), Client (klient), Repeater (opakovač), Bridge (most) a WISP (vylepšení technologie WDS společností OvisLink). Maximální výkon je 18dBm a je možné ho regulovat na čtyři hodnoty (3, 8, 13 nebo 18dBm). Další technické parametry jsou [19]:

- chipset: Realtek 8186,
- modulace: DSSS, OFDM,
- anténa: 2dBi (odpojitelná)
- konektor: 1x R-SMA, 2x RJ-45,
- podpora standardů IEEE:  
802.11b a 802.11g,
- frekvenční rozsah: 13 kanálů (2412 – 2472MHz),
- zabezpečení: WEP 64, WEP 128, WPA, WPA2, 802.1X.



Obrázek 45 - OvisLink WL-5460AP\_v2 [19]

### 6.6.2 Připojení klientů

Kompletní výčet prvků, které musí klient vlastnit, aby se mohl připojit, je anténa (typ a vlastnosti záleží na vzdálenosti a výhledu klienta), konzole pro uchycení antény nebo stožár (případně jiné zařízení k uchycení antény) koaxiální kabel a pigtail, bleskojistka (není bezprostředně nutná, ale je doporučována), bezdrátový klient (doporučuje se WL-5460A\_v2) a UTP nebo STP kabel s konektory. Délka koaxiálního kabelu by neměla z důvodu útlumu přesáhnout 10 metrů a je vhodné umístit bezdrátového klienta do půdního prostoru nebo do vnitřního prostoru objektu (z důvodu optimální provozní teploty a vlhkosti).

Vzorový klient je vybavený bezdrátovým klientem OvisLink WL-5460AP\_v2, koaxiálním kabelem LMR-400 o délce 10 metrů, bleskojistkou BrOK (typ PKO pt-N - lambda - 2,4G-BCD/ F-M, pigtailem a sektorovou (panelovou) anténou WaveRF PAN-12-K o následujících parametrech [15]:

- zisk: 12dBi,
- frekvence: 2400 - 2500MHz,
- hmotnost: 0,3kg,
- rozměr: 115 x 115 x 85mm,
- polarizace: vertikální,
- úhel pokrytí vertikální: 51°,
- úhel pokrytí horizontální: 55°,
- Maximální výkon 10W.



Obrázek 46 - WaveRF PAN-12-K [15]

### 6.6.3 Konfigurace

Po spojení bezdrátového klienta s počítačem pomocí kroucené dvoulinky a po připojení do elektrické sítě, se nastaví v síťovém nastavení počítače (protokol sítě Internet) IP adresa v rozsahu 192.168.100.1 až 192.168.100.254, vyjma IP adresy 192.168.100.252, kterou má defaultně nastavenou bezdrátový klient. Masku podsítě je 255.255.255.0.

Do Internetového prohlížeče se napíše defaultní adresa bezdrátového klienta (192.168.100.252) a proběhne připojení do základního okna nastavení.

Nastavení bezdrátového klienta začíná v záložce TCP/IP (obrázek 47), kde se přenastaví IP adresa (IP Address), maska podsítě (Subnet Mask) a brána (Default Gateway) na přidělené hodnoty. IP adresa je identifikační adresa bezdrátového klienta, pod kterou bude v síti vystupovat a je 10.13.46.3 (stolní počítač bude mít adresu 10.13.46.4). Maska podsítě určuje velikost podsítě (255.255.255.0). Brána je zařízení, se kterým bezdrátový klient bude komunikovat (10.13.46.1). V tomto případě to je AP Abaddon. Dále je zde nastavení DHCP. Tato funkce slouží pro automatické přidělení IP adresy v rozsahu, který je nastaven (DHCP Client Range). V tomto případě se IP adresa nastavuje pouze jednou, takže funkce DHCP není potřeba. Ostatní funkce v této záložce zůstanou bez změny.

**WLAN Access Point**

Status | Wireless | **TCP/IP** | Other

**LAN Interface Setup**

This page is used to configure the parameters for local area network which connects to t

IP Address: 10.13.46.3

Subnet Mask: 255.255.255.248

Default Gateway: 10.13.46.1

DHCP: Disabled

DHCP Client Range: 192.168.100.100 - 192.168.100.200 Show Client

DNS Server:

802.1d Spanning Tree: Disabled

Clone MAC Address: 000000000000

Apply Changes Reset

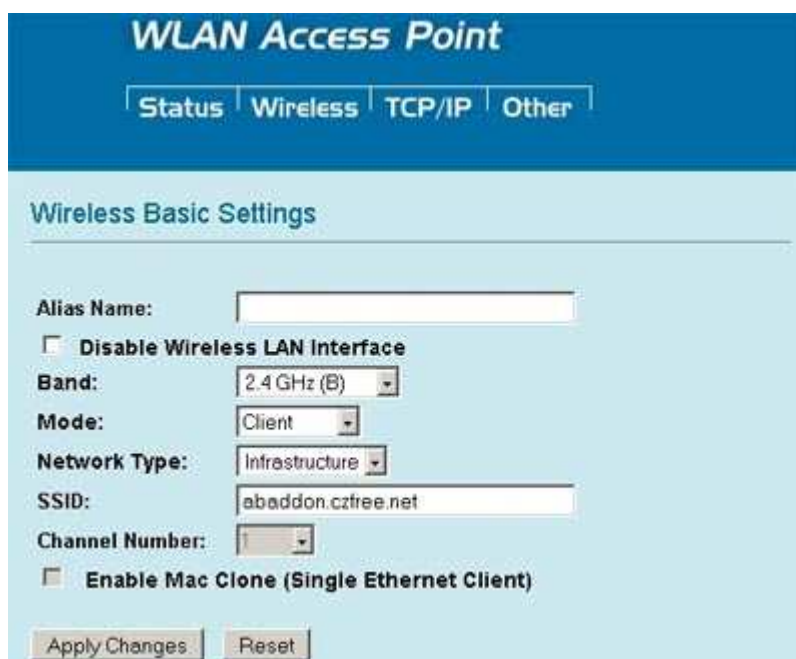
Obrázek 47 - OvisLink WL-5460AP\_v2 - síťové nastavení

Po uložení a restartování se zadá nová IP adresa 10.13.46.3 a maska podsítě 255.255.255.0 v počítači v nastavení Protokol sítě Internet (obrázek 48). Dále se vyplní IP adresa přístupového bodu v kolonce Výchozí brána a Upřednostňovaný DNS server.



Obrázek 48 - Protokol sítě Internet

Po nastavení nové IP adresy v počítači (na 10.13.46.4), se zadá do Internetového prohlížeče 10.13.46.3 (IP adresa bezdrátového klienta) a pokračuje se v konfiguraci. V hlavním menu se vybere záložka Wireless, dále Basic Settings (obrázek 49). V políčku alternativní jméno (Alias Name) se může vyplnit jméno, pod kterým bude bezdrátový klient vystupovat v síti. Není to však podstatné a nutné. Po zaškrtnutí položky Disable Wireless LAN Interface, se vypne vysílání z antény, proto políčko zůstane nezaškrtnuté.



Obrázek 49 - OvisLink WL-5460AP\_v2 - základní nastavení režimu klient

U položky Band je na výběr ze tří možností: 2,4GHz (B), 2,4GHz (G) a 2,4GHz (B/G). Nastaví se možnost 2,4GHz (B), protože bezdrátový přístupový bod vysílá podle standardu IEEE 802.11b. Mód je vybrán klient (Client), typ sítě infrastrukturní (Infrastructure). V políčku SSID se napíše jméno bezdrátového přístupového bodu, na který se bude připojovat (v tomto případě to je abaddon.czfree.net).

**WLAN Access Point**

Status | **Wireless** | TCP/IP | Other

**Wireless Advanced Settings**

**Authentication Type:** ☐ Open System ☐ Shared Key ☒ Auto

**Fragment Threshold:** 2346 (256-2346)

**RTS Threshold:** 2347 (0-2347)

**Beacon Interval:** 100 (20-1024 ms)

**Inactivity Time:** 50000 (100-60480000 ms)

**Data Rate:** 11M

**Preamble Type:** ☒ Long Preamble ☐ Short Preamble

**Broadcast SSID:** ☒ Enabled ☐ Disabled

**IAPP:** ☒ Enabled ☐ Disabled

**802.11g Protection:** ☒ Enabled ☐ Disabled

**Tx Power Level:** Highest (~16dBm)

☐ **Enable WatchDog**

**Watch Interval:** 1 (1-60 minutes)

**Watch Host:** 0.0.0.0

Apply Changes Reset

Obrázek 50 - OvisLink WL-5460AP\_v2 - pokročilé nastavení režimu klient

V konfiguraci se pokračuje v záložce Wireless, Advance Settings (obrázek 50). Zde se ponechají všechny položky tak, jak jsou od výrobce přednastaveny. Zajímavé položky jsou Data Rate, Tx Power Level a WatchDog. Data Rate znamená, jakou rychlostí bude bezdrátový klient vysílat. Doporučuje se nastavit totožnou rychlost jako je na bezdrátovém přístupovém bodu, ke kterému se bude připojovat. Jelikož se v Basic Settings nastavila možnost 2,4GHz (B), tedy standard IEEE 802.11b, je maximální přenosová rychlost 11Mbit/s. Pokud si uživatel není jist, může nastavit „Auto“. Nejvhodnější je tuto rychlost zjistit a manuálně nastavit.

V položce Tx Power Level se nastaví síla vysílaného signálu v rozmezí od 3dBm do 18dBm. Při nastavování síly signálu se musí brát na zřetel zisk antény, útlum na koaxiálním kabelu (včetně konektorů), bleskojistce a případných spojkách. Výsledná síla signálu nesmí přesáhnout normu ČTÚ (v tomto případě se nastaví hodnota 13dBm). Funkce WatchDog (hlídací pes) hlídá propustnost linky k bezdrátovému přístupovému bodu. V kolonce Watch Interval se nastaví časový úsek, ve kterém bude vysílán požadavek na odezvu na zvolenou IP adresu (Watch Host). V případě, že bezdrátový klient nedostane na požadavek odezvu, tak se automaticky restartuje. Tato funkce je zde z důvodu občasného „zamrznutí“ zařízení.

**WLAN Access Point**

Status | **Wireless** | TCP/IP | Other

**Wireless Security Setup**

Encryption:

☐ Use 802.1x Authentication

WPA Authentication Mode: ☐ Enterprise (RADIUS) ☒ Personal (Pre-Shared Key)

WPA Cipher Suite: ☒ TKIP ☐ AES

Pre-Shared Key Format:

Pre-Shared Key:

Group Key Life Time:  sec

☐ Enable Pre-Authentication

Authentication RADIUS Server: Port  IP address  Password

☐ Enable Accounting

Accounting RADIUS Server: Port  IP address  Password

*Note: When encryption WEP is selected, you must set WEP key value.*

Obrázek 51 - OvisLink WL-5460AP\_v2 - nastavení zabezpečení

Další možnost konfigurace v záložce Wireless je Security (obrázek 51). Je zde na výběr z několika možností – WEP 64bit, WEP 128bit, WPA-PSK (TKIP), WPA-PSK(AES), WPA2-PSK(AES), WPA2-PSK Mixed a 802.1X/Radius. Například u zabezpečení WEP se nastaví v položce Encryption zabezpečení WEP a následně se vyplní heslo.

## 6.7 Přenosové rychlosti

Po dokončení výstavby přístupového bodu a jednoho klienta, bylo zahájeno testování přenosových rychlostí vnitřní sítě a Internetu. Přístupový bod vysílá na základě standardu 802.11b, tím pádem by teoretická rychlost měla dosahovat až 11Mbit/s. U Internetu je Sdružením garantována rychlost 1Mbit/s oběma směry (download a upload). Mezi přístupovým bodem a klientem je vzrostlá vegetace, která zasahuje přibližně 35% do Fresnelovy zóny. Vzdálenost je 273 metrů. Měření probíhalo v náhodných intervalech, dnech a hodinách od září do prosince roku 2008 (tabulka 12).

| Měření        | Vnitřní síť       |                 | Internet          |                 | Ping (s)     |
|---------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|--------------|
|               | Download (kbit/s) | Upload (kbit/s) | Download (kbit/s) | Upload (kbit/s) |              |
| 1             | 4422              | 4339            | 2696              | 2304            | 5,974        |
| 2             | 4752              | 4261            | 2080              | 2204            | 6,379        |
| 3             | 4879              | 3834            | 2184              | 2568            | 5,825        |
| 4             | 4692              | 3897            | 2120              | 2156            | 6,044        |
| 5             | 3431              | 3133            | 2224              | 2208            | 5,938        |
| 6             | 4735              | 3951            | 3578              | 3489            | 5,875        |
| 7             | 4076              | 4201            | 2978              | 3124            | 6,157        |
| 8             | 4256              | 4278            | 3895              | 3957            | 5,752        |
| 9             | 4012              | 3895            | 3247              | 3189            | 6,005        |
| 10            | 3578              | 3478            | 2978              | 2758            | 5,987        |
| 11            | 3982              | 4027            | 3354              | 3389            | 5,634        |
| 12            | 4527              | 4498            | 2598              | 2478            | 5,478        |
| 13            | 4875              | 4879            | 2941              | 3056            | 5,896        |
| 14            | 4236              | 4356            | 3285              | 3267            | 6,789        |
| 15            | 3497              | 3407            | 3759              | 3926            | 5,782        |
| 16            | 4012              | 3898            | 3489              | 3321            | 6,324        |
| 17            | 3989              | 3859            | 3002              | 2869            | 6,082        |
| 18            | 4578              | 4501            | 2587              | 2614            | 5,878        |
| 19            | 4325              | 4259            | 3492              | 3562            | 5,896        |
| 20            | 4157              | 4156            | 3471              | 3392            | 5,378        |
| <b>Průměr</b> | <b>4251</b>       | <b>4055</b>     | <b>2998</b>       | <b>2992</b>     | <b>5,954</b> |

Tabulka 12 - Naměřené rychlosti vnitřní sítě a Internetu

Rychlost vnitřní sítě je velmi dobrá v rámci stávajícího omezení (překážka ve Fresnelově zóně) a průměrně dosahuje 4251kbit/s (4,15Mbit/s) download a 4055kbit/s (3,96Mbit/s) upload. Testování bylo provedeno pomocí programu Speedtest [22]. U Internetového připojení rychlost dosahovala průměrně 2998kbit/s download (2,92Mbit/s) a 2992kbit/s upload (2,92Mbit/s). Garantována je rychlost 1Mbit/s a naměřené hodnoty ji překračují skoro o 200%. Ping (Packet InterNet Groper) slouží k zjištění odezvy a jeho hodnota dosahovala průměrně necelých 6 sekund. K testování byl použit test rychlosti na stránkách serveru ADSL [8]. Dosahované rychlosti (vnitřní sítě i Internetu) byly vyhodnoceny jako výborné.

Dále byla sledována dostupnost vnitřní sítě (přístupového bodu) pomocí serveru Monitoring serverů [18]. Dostupnost z Internetu na přístupový bod dosáhla 97,512% za sledované období (září – prosinec 2008), což je velmi dobré.

## 6.8 Ekonomické zhodnocení

V tabulce 13 jsou uvedeny všechny položky, které byly použity při výstavbě přístupového bodu. Dále je sem započteno i zařízení na straně Sdružení (anténa, koaxiální kabel, pigtail, bleskojistka a miniPCI karta), které bylo připojeno ke stávajícímu směrovači. Ceny kabelů jsou včetně koncovek.

| Položka                          | Množství | Cena za jednotku (Kč) | Celkem (Kč)     |
|----------------------------------|----------|-----------------------|-----------------|
| Přepínač (Router)                | 1ks      | 0,-                   | 0,-             |
| CM9 miniPCI AR5213 Atheros 5004X | 3ks      | 665,-                 | 1.995,-         |
| Anténa Waveant WA22-5xP          | 2ks      | 1.213,-               | 2.426,-         |
| Anténa WH10OMNI 10dBi            | 1ks      | 1.178,-               | 1.178,-         |
| Koaxiální kabel LMR-400          | 20m      | 33,-                  | 660,-           |
| Pigtail                          | 1,5m     | 134,-                 | 201,-           |
| Bleskojistka BrOK pro 2,4GHz     | 1ks      | 805,-                 | 805,-           |
| Bleskojistka BrOK pro 5GHz       | 2ks      | 1.024,-               | 2.048,-         |
| Kabel UTP                        | 20m      | 10,25,-               | 205,-           |
| Stožár na antény                 | 1ks      | 500,-                 | 500,-           |
| OS MikroTik RouterOS             | 1ks      | 1.620,-               | 1.620,-         |
| <b>Celkem</b>                    |          |                       | <b>11.638,-</b> |

Tabulka 13 - Celkové náklady projektu

Pronájem prostor a spotřeba elektrické energie je zdarma a hradí ji vlastník objektu. Na oplátku mu je poskytnut Internet a členství ve Sdružení zdarma.

Celkem je k AP Abaddon připojeno 12 klientů. Měsíční poplatek za členství ve Sdružení činí 300,- Kč za měsíc. Celkem se vybere na příspěvcích 3300,- Kč za měsíc (jeden klient neplatí). Jelikož je přístupový bod součástí Sdružení, tak nelze finanční návratnost přesně spočítat. Pro výpočet byl použit odhad nákladů na připojení k Internetu pro AP Abaddon a podle vyjádření Sdružení je 75% z vybraných financí použito na uhrazení tohoto připojení. Jednoduchým výpočtem se dospělo k tomu, že „zisk“ činí 825,- Kč za měsíc, to odpovídá 9900,- za rok. Návratnost celého projektu, za předpokladu stávajících podmínek, nulových investic a nákladů, je necelých 15 měsíců.

Cena zařízení u klientů se pohybuje v rozmezí cca od 1500,- Kč do 2622,- Kč u námi zvoleného vzorového klienta:

| <b>Položka</b>               | <b>Množství</b> | <b>Cena za jednotku (Kč)</b> | <b>Celkem (Kč)</b> |
|------------------------------|-----------------|------------------------------|--------------------|
| OvisLink WL-5460AP_v2        | 1ks             | 966,-                        | 966,-              |
| Anténa WaveRF PAN-12-K       | 1ks             | 351,-                        | 2.426,-            |
| Koaxiální kabel LMR-400      | 10m             | 33,-                         | 330,-              |
| Pigtail                      | 0,5m            | 134,-                        | 67,-               |
| Bleskojistka BrOK pro 2,4GHz | 1ks             | 805,-                        | 805,-              |
| Kabel UTP                    | 10m             | 10,25,-                      | 103,-              |
| <b>Celkem</b>                |                 |                              | <b>2.622,-</b>     |

**Tabulka 14 - Celkové náklady vzorového klienta**

Koncová cena u klienta je ovlivněná mnoha faktory, především délkou kabelů, typem použité antény, použitím (nebo naopak nepoužitím) bleskojistky, a proto je v konkrétních případech různá a zde uváděná cena je pouze orientační.

## 7. Závěr

Diplomová práce bezdrátového připojení k Internetu byla postavena na realizaci bezdrátového přístupového bodu a jednoho klienta v obci Zbuzany. Na základě stanoveného cíle lze z celé diplomové práce vyvodit následující závěry.

Porovnání technologií používaných k připojení k celosvětové síti Internet bylo provedeno podle kritérií: dostupnost technologie, rychlost a cenová dostupnost. Stanovená kritéria splňovaly technologie ADSL a Wi-Fi, u kterých se dále porovnávala rychlost, poplatek za zřízení služby, minimální délka smlouvy, měsíční poplatek a poplatek za instalaci a komponenty u jednotlivých poskytovatelů. Jako nejlepší byla vyhodnocena technologie Wi-Fi a jako poskytovatel občanské sdružení o.s.jinonice.cz, z důvodu garantované rychlosti 1Mbit/s (download i upload) a výše měsíčního poplatku, který je stanoven na 300,- Kč.

Na základě výpočtu vyzařovacího výkonu vysílačů u obou frekvencí bylo zjištěno, že spoje dodržují Generální licenci Českého telekomunikačního úřadu, která je stanovena na 20dBm u frekvence 2,4GHz a na 30dBm u frekvence 5GHz. Výpočtem citlivosti přijímačů, na základě dodržování Fresnelovy zóny a za předpokladů použití hardwaru využitého při výpočtu, bude u páteřního spoje i připojených klientů možno dosahovat maximálních rychlostí. Měřením v terénu bylo prokázáno pokrytí signálem přibližně jedné třetiny území obce, což je zhruba 250 obyvatel. Výpočty a měření ukázaly, že projekt bezdrátového přístupového bodu je realizovatelný.

Při výstavbě bezdrátového přístupového bodu a vzorového klienta byl použit hardware, na základě kterého byly provedeny teoretické výpočty. Bezdrátový přístupový bod byl umístěn v jižní části obce. Přenosová frekvence směrem ke Sdružení (páteřní spoj) byla nastavena na 5520MHz, použita byla směrová parabolická anténa se ziskem 22dBi. Frekvence pro klienty (všesměrová anténa, zisk 10dBi) byla nastavena na 2412MHz, vysílání probíhá na základě staršího protokolu 802.11b, což umožňuje maximální přenosovou rychlost 11Mbit/s. Na směrovači je nainstalován operační systém MikroTik RouterOS, antény jsou připojeny pomocí dvou miniPCI karet. Klientům byl doporučen bezdrátový adaptér OvisLink WL-5460AP\_v2. Po dokončení všech potřebných nastavení byla síť zprovozněna (konec srpna 2008) a proběhl

dlouhodobý test rychlostí (od září do prosince 2008) mezi přístupovým bodem a vzorovým klientem. Vnitřní síť dosahovala průměrných rychlostí okolo 4Mbit/s (download a upload), připojení k Internetu dosahovalo průměrně téměř 3Mbit/s (download a upload). Odezva (ping) byla necelých 6 milisekund. Dosahované rychlosti byly vyhodnoceny jako výborné, protože vysílání probíhá na starším standardu 802.11b, který umožňuje maximální teoretickou přenosovou rychlost 11Mbit/s a je veřejně známo, že tato rychlost v praxi nepřekročí 5 až 6Mbit/s. V tomto případě je rychlost omezena z důvodu zásahu překážky od Fresnelovy zóny (cca 35%). U připojení k Internetu je garantována rychlost 1Mbit/s, což je podle výsledků měření překročeno o téměř 200%.

Náklady na výstavbu přístupového bodu dosáhly téměř 12 tisíc Kč. Celková návratnost je necelých 15 měsíců. Náklady na vybudování jednoho klienta se pohybují v rozmezí od 1500,- Kč do necelých 2700,- Kč. Návratnost u klienta je v porovnání s technologií ADSL jeden rok. Celý projekt byl vyhodnocen z ekonomického i technického hlediska jako úspěšný.

Budoucnost celého projektu, z hlediska konkurenčních technologií, bude záviset na snižování cen, zvyšování rychlostí (především upload) a rozšiřování kvalitního připojení pomocí technologie ADSL. Dalším rizikem pro celou síť je rozšíření připojení pomocí kabelové televize. Z pohledu komerčních poskytovatelů bezdrátového připojení je síť v blízké budoucnosti bezkonkurenční, protože je připojena k občanskému sdružení, což tlačí měsíční poplatky dolů (sdružení nefunguje za účelem zisku). V létě 2009 se počítá s rozšířením sítě a pokrytím celé obce Zbuzany, což si vyžádá výstavbu dvou až tří přístupových bodů. Důležitým faktorem dalšího rozvoje sítě je budoucí výstavba na území obce. Počítá se s výstavbou minimálně 100 nových bytů, rodinných a řadových domů do roku 2013. Nespornou konkurenční výhodou Sdružení, oproti ostatním subjektům na trhu, je osobní přístup ke klientům. Proto bude záležet pouze na Sdružení, zda se udrží ve vysoce konkurenčním prostředí a bude se nadále rozvíjet.

## 8. Seznam literatury

- [1] BARKEN, Lee. *Jak zabezpečit bezdrátovou síť Wi-Fi*. 1. vyd. Brno: Computer Press, 2004. 176 s. ISBN: 80-251-0346-3.
- [2] BRISBIN, Shelly. *Wi-Fi : postavte si svou vlastní wi-fi síť*. Přeložil Petr Zavadil. 1. vyd. Praha: Neocortex, 2003. 248 s. ISBN 80-86330-13-3.
- [3] DAVIS, Harold. *Průvodce úplného začátečníka pro Wi-Fi bezdrátové sítě*. Přeložil Karel Voráček. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, 2006. 334 s. ISBN 80-247-1421-3.
- [4] HORSKÝ, Radek. *Bezdrátové sítě Wi-Fi*. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, 2006. 84 s. ISBN 80-247-1790-5.
- [5] KÖHRE, Thomas. *Stavíme si bezdrátovou síť Wi-fi*. Přeložil Marek Šiller. 1. vyd. Brno: Computer Press, 2004. 295 s. ISBN 80-251-0391-9.
- [6] PUŽMANOVÁ, Rita. *Bezpečnost bezdrátové komunikace: Jak zabezpečit Wi-Fi, Bluetooth, GPRS či 3G*. 1. vyd. Brno: Computer Press, 2005. 184 s. ISBN: 80-251-0791-4.
- [7] ZANDL, Patrik. *Bezdrátové sítě WiFi: Praktický průvodce*. 1. vyd. Praha: Computer Press, 2003. 204 s. ISBN: 80-722-6632.

### Internetové stránky a programy:

- [8] *ADSL – Specialista na internetové připojení* [online]. Dostupné z:  
<http://www.adsl.cz> [cit. 2008-08-10]
- [9] *Český telekomunikační úřad* [online]. Dostupné z:  
<http://www.ctu.cz> [cit. 2008-10-02]
- [10] *Connect plus s.r.o.* [online]. Dostupné z:  
<http://www.234.cz> [cit. 2008-08-10]
- [11] *Czech Computers* [online]. Dostupné z:  
<http://www.czc.cz> [cit. 2008-11-12]
- [12] *CZFree.net – Wireless Broadband Community* [online]. Dostupné z:  
<http://czfree.net> [cit. 2008-06-10]

- [13] *Družstvo Eurosignal* [online]. Dostupné z:  
<http://www.eurosignal.cz> [cit. 2008-08-10]
- [14] *IEEE – the world’s leading profess association for the advancement of tech.*  
[online]. Dostupné z: <http://www.ieee.org> [cit. 2008-08-10]
- [15] *i4wifi – vidíme svět bez drátů* [online]. Dostupné z:  
<http://www.i4wifi.cz> [cit. 2008-11-02]
- [16] DOČEKAL, Daniel. Bezpečnost WiFi stále (mírně) pokulhává za evropským  
průměrem. *Lupa* [online]. 2008. [cit. 2008-10-10] Dostupné z:  
<http://www.lupa.cz/clanky/bezpecnost-wifi-siti-stale-pokulhava>
- [17] *Mapy* [online]. Dostupné z:  
<http://www.mapy.cz> [cit. 2008-12-19]
- [18] *Monitoring serverů* [počítačový program]. Ver. 1.0. Moonlake, 2008. Dostupné z:  
<http://www.monitoring-serveru.cz> [cit. 2008-10-10]
- [19] *OvisLink* [online]. Dostupné z:  
<http://www.ovislink.com> [cit. 2008-10-21]
- [20] *o.s.jinonice.cz* [online]. Dostupné z:  
<http://www.jinonice.cz> [cit. 2008-09-17]
- [21] KUCHAR, Martin. Bezdrátová technologie Wi-Fi zbavená roušky tajemství.  
*PCTuning* [online]. 2005. [cit. 2008-08-10] Dostupné z:  
[http://pctuning.tyden.cz/index.php?option=com\\_content&task=view&id=4444&Itemid=48](http://pctuning.tyden.cz/index.php?option=com_content&task=view&id=4444&Itemid=48)
- [22] *Speedtest* [počítačový program]. Ver. 2.0.1. Ookla. 2008. Dostupné z:  
<http://speedtest.net> [cit. 2008-09-01]
- [23] *USRobotics* [online]. Dostupné z:  
<http://www.usr.com> [cit. 2008-07-25]
- [24] *Vistumbler* [počítačový program]. Ver. 8.0. 2008. Dostupné z:  
<http://vistumbler.sourceforge.net> [cit. 2008-08-30]
- [25] *Wi-Fi Alliance* [online]. Dostupné z:  
<http://wi-fi.org> [cit. 2008-09-25]

## 9. Přílohy

### 9.1 Zkratky

|                 |                                                                                                                     |
|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                 | Advance Encryption Standard - Counter Mode with Cipher Block                                                        |
| <b>AES-CCMP</b> | Chaining Message Authentication Code Protocol, standard pro blokové šifrování dat                                   |
| <b>ADSL</b>     | Asymmetric Digital Subscriber Line, asymetrická digitální účastnická linka                                          |
| <b>AP</b>       | Access Point, bezdrátový přístupový bod                                                                             |
| <b>BSS</b>      | Basic Service Set, základní sada služeb                                                                             |
| <b>CSMA/CA</b>  | Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance, protokol pracující s pravděpodobností a předcházením kolizí |
| <b>CTS</b>      | Clear To Send, rámec pro potvrzení k vysílání                                                                       |
| <b>ČTU</b>      | The Czech Telecommunication Office, Český telekomunikační úřad                                                      |
| <b>DCF</b>      | Distributed Coordination Function, funkce distribuované koordinace                                                  |
| <b>DoS</b>      | Denial of Service, technika útoku – zahlcení přístupového bodu                                                      |
| <b>DHCP</b>     | Dynamic Host Configuration Protocol, funkce rozložené koordinace                                                    |
| <b>DPSK</b>     | Differential Phase Shift Keying, metoda klíčování diferenciálním posuvem fáze                                       |
| <b>DQPSK</b>    | Differential Quadrature Phase-Shift Keying, diferenciální kvadrurní klíčování fázovým posuvem                       |
| <b>DSSS</b>     | Direct Sequence Spread Spectrum, technika přímého rozprostřeného spektra                                            |
| <b>EAP</b>      | Extensible Authentication Protocol, protokol pro autentifikace                                                      |
| <b>ESS</b>      | Extended Service Set, rozšířená sada služeb                                                                         |
| <b>ESSID</b>    | Extended Service Set Identifier, rozšířená identifikace sady služeb                                                 |
| <b>FHSS</b>     | Frequency Hopping Spread Spectrum, metoda přeskoků frekvencí                                                        |
| <b>HR</b>       | High Rate, vysoká frekvence                                                                                         |
| <b>IEEE</b>     | Institute For Electrical And Electronics Engineers, Institut pro elektrotechnické a elektronické inženýry           |
| <b>IP</b>       | Internet Protocol, Internetový protokol                                                                             |

|                |                                                                                                                                        |
|----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>IR</b>      | Infrared, infračervené záření                                                                                                          |
| <b>LAN</b>     | Local Area Network, lokální počítačová síť                                                                                             |
| <b>MAC</b>     | Medium Access Control, řízení přístupu k médiu                                                                                         |
| <b>MiM</b>     | Man In The Middle, technika útoku – podvržení přístupového bodu                                                                        |
| <b>OFDM</b>    | Orthogonal Frequency Division Multiplex, ortogonálního multiplexu s kmitočtovým dělením                                                |
| <b>OSI</b>     | Open Systems Interconnection, propojení otevřených systémů                                                                             |
| <b>STP</b>     | Shielded Twisted Pair, stíněná kroucená dvoulinka                                                                                      |
| <b>PCF</b>     | Point Coordination Function, funkce koordinace jedním bodem                                                                            |
| <b>PCI</b>     | Peripheral Component Interconnect, rozhraní pro připojení externích zařízení                                                           |
| <b>PCMCIA</b>  | Personal Computer Memory Card International Association, rozhraní a specifikace pro připojení externích zařízení k přenosnému počítači |
| <b>RAM</b>     | Random Access Memory, paměť s náhodným přístupem                                                                                       |
| <b>RTS</b>     | Request To Send, rámec s žádostí o vysílání                                                                                            |
| <b>SD</b>      | Secure Digital, typ paměťové karty                                                                                                     |
| <b>SDIO</b>    | Secure Digital Input Output, typ paměťové karty                                                                                        |
| <b>SDRAM</b>   | Synchronous Dynamic RAM, synchronní dynamická RAM                                                                                      |
| <b>SMA</b>     | Sub-Miniature A Connector, Typ konektoru                                                                                               |
| <b>SSID</b>    | Service Set Identifier, identifikace sady služeb                                                                                       |
| <b>TCP/IP</b>  | Transmission Control Protocol / IP, protokol řízení vysílání / IP                                                                      |
| <b>TKIP</b>    | Temporary Key Integrity Protocol, dynamické šifrování klíčů                                                                            |
| <b>USB</b>     | Universal Serial Bus, univerzální sériová sběrnice                                                                                     |
| <b>UTP</b>     | Unshielded Twisted Pair, nestíněná kroucená dvoulinka                                                                                  |
| <b>VPN</b>     | Virtual Private Network, virtuální privátní síť                                                                                        |
| <b>WEP</b>     | Wired Equivalent Privacy, protokol bezdrátové sítě                                                                                     |
| <b>WDS</b>     | Wireless Distribution System, bezdrátové propojení přístupových bodů                                                                   |
| <b>Wi-Fi</b>   | Ochranná známka Wi-Fi aliance                                                                                                          |
| <b>WLAN</b>    | Wireless LAN, lokální bezdrátová síť                                                                                                   |
| <b>WPA</b>     | Wi-Fi Protected Access, protokol bezdrátové sítě                                                                                       |
| <b>WPA-PSK</b> | WPA - Pre-Shared Key                                                                                                                   |

## 9.2 Jednotky

|                       |                     |
|-----------------------|---------------------|
| <b>Hz</b>             | Hertz               |
| <b>B</b>              | Byte                |
| <b>cm</b>             | Centimetr           |
| <b>dB</b>             | Decibel             |
| <b>dBd</b>            | Decibel dipólu      |
| <b>dB<sub>i</sub></b> | Decibel izotropický |
| <b>dBm</b>            | Decibelmiliwatt     |
| <b>dBW</b>            | Decibelwatt         |
| <b>GHz</b>            | Gigahertz           |
| <b>Kč</b>             | Koruna česká        |
| <b>kg</b>             | Kilogram            |
| <b>m</b>              | Metr                |
| <b>MB</b>             | Megabyte            |
| <b>Mbit/s</b>         | Megabit za sekundu  |
| <b>MHz</b>            | Megahertz           |
| <b>mm</b>             | Milimetr            |
| <b>Mm/s</b>           | Megametr za sekundu |
| <b>mW</b>             | Miliwatt            |
| <b>W</b>              | Watt                |

## 9.3 Seznam obrázků

|                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| Obrázek 1 - Síť ad-hoc .....                                                     | 19 |
| Obrázek 2 - Infrastrukturní síť .....                                            | 19 |
| Obrázek 3 - ESS síť .....                                                        | 19 |
| Obrázek 4 - Logo Wi-Fi aliance [25] .....                                        | 20 |
| Obrázek 5 - Jedno z možných řešení bezdrátového klienta .....                    | 21 |
| Obrázek 6 - PCI karta OvisLink WT-2000PCI [11] .....                             | 22 |
| Obrázek 7 - mini PCI karta Wistron NeWeb Wireless Atheros AR5213, CM9 [11] ..... | 22 |
| Obrázek 8 - PCMCIA karta OvisLink WMM-3000PCM [11] .....                         | 23 |
| Obrázek 9 - SDIO karta i-Tec SD Wireless [11] .....                              | 23 |
| Obrázek 10 - USB adaptér OvisLink WN-5000USB [11] .....                          | 23 |
| Obrázek 11 - USB adaptér OvisLink WL-5480USB-80 8dBi panel anténa [11] .....     | 23 |
| Obrázek 12 - Wi-Fi AP OvisLink WL-5470AP [11] .....                              | 24 |
| Obrázek 13 - Všesměrová anténa WaveRF, 15dBi [15] .....                          | 27 |
| Obrázek 14 - Sektorová anténa Sector Flat 18, 18dBi, 60° [15] .....              | 27 |
| Obrázek 15 - Yagi anténa J250-915/10, 13dBi [15] .....                           | 28 |
| Obrázek 16 – Směrová anténa WaveRF: 24 dBi parabolická anténa – síto [15] .....  | 28 |
| Obrázek 17 - Směrová anténa MaxLink 22 dBi – plná parabola [15] .....            | 28 |
| Obrázek 18 - Koaxiální kabel [15] .....                                          | 30 |
| Obrázek 19 - UTP kabel [15] .....                                                | 31 |
| Obrázek 20 - Typ N-female [15] .....                                             | 31 |
| Obrázek 21 - Typ N-male [15] .....                                               | 31 |
| Obrázek 22 - Typ SMA-male a SMA-female [15] .....                                | 32 |
| Obrázek 23 - Konektor RJ-45 [15] .....                                           | 32 |
| Obrázek 24 - Bleskojistka 2,4GHz, Nmale na Nfemale, OEM [15] .....               | 32 |
| Obrázek 25 - Oboustranná spojka N female [15] .....                              | 32 |
| Obrázek 26 – Situace s bezpečností přístupových bodů v ČR .....                  | 33 |
| Obrázek 27 - Poloha obce Zbuzany [17] .....                                      | 41 |
| Obrázek 28 - Poloha bezdrátových přístupových bodů [17] .....                    | 47 |
| Obrázek 29 - Předpokládané pokrytí obce [17] .....                               | 50 |

|                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Obrázek 30 - Výsledky měření u prvního stanoviště pomocí programu Vistumbler ..... | 52 |
| Obrázek 31 - Mapa měřících stanovišť [17] .....                                    | 53 |
| Obrázek 32 - Orientační mapa pokrytí obce Zbuzany .....                            | 54 |
| Obrázek 33 - CM9 miniPCI AR5213 Atheros 5004X [15] .....                           | 55 |
| Obrázek 34 - WAVEANT WA22-5xP [11] .....                                           | 56 |
| Obrázek 35 - Výhled směr Praha .....                                               | 56 |
| Obrázek 36 - Výhled směr Zbuzany .....                                             | 56 |
| Obrázek 37 - WH10OMNI 10dBi [15] .....                                             | 57 |
| Obrázek 38 - WinBox Loader v2.2.14 - přihlášení .....                              | 58 |
| Obrázek 39 - MikroTik RouterOS verze 2.9.27 - základní menu .....                  | 58 |
| Obrázek 40 - MikroTik RouterOS verze 2.9.27 - záložka Interface .....              | 59 |
| Obrázek 41 - MikroTik RouterOS verze 2.9.27 - záložka Interface s Bridge .....     | 59 |
| Obrázek 42 - MikroTik RouterOS verze 2.9.27 - směrovací tabulka .....              | 60 |
| Obrázek 43 - MikroTik RouterOS verze 2.9.27 - záložka Wireless .....               | 60 |
| Obrázek 44 - MikroTik RouterOS verze 2.9.27 - záložka Queues .....                 | 61 |
| Obrázek 45 - OvisLink WL-5460AP_v2 [19] .....                                      | 62 |
| Obrázek 46 - WaveRF PAN-12-K [15] .....                                            | 63 |
| Obrázek 47 - OvisLink WL-5460AP_v2 - síťové nastavení .....                        | 64 |
| Obrázek 48 - Protokol sítě Internet .....                                          | 65 |
| Obrázek 49 - OvisLink WL-5460AP_v2 - základní nastavení režimu klient .....        | 65 |
| Obrázek 50 - OvisLink WL-5460AP_v2 - pokročilé nastavení režimu klient .....       | 66 |
| Obrázek 51 - OvisLink WL-5460AP_v2 - nastavení zabezpečení .....                   | 67 |

## 9.4 Seznam tabulek

|                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabulka 1 - Rozsah frekvence 2,4GHz pro Evropu .....                      | 16 |
| Tabulka 2 - Srovnání standardů [21].....                                  | 18 |
| Tabulka 3 - Porovnání vlastností antén.....                               | 30 |
| Tabulka 4 - Porovnání koaxiálních kabelů.....                             | 30 |
| Tabulka 5 - Vývoj v oblasti bezpečnosti [16] .....                        | 33 |
| Tabulka 6 - Přehled bezpečnostních standardů [12] .....                   | 36 |
| Tabulka 7 - Opatření proti průnikům a útokům .....                        | 40 |
| Tabulka 8 - Porovnání poskytovatelů Internetu [8], [10], [13] a [20]..... | 43 |
| Tabulka 9 - Výpočet Fresnelovy zóny .....                                 | 46 |
| Tabulka 10 - Ztráty ve volném prostoru .....                              | 46 |
| Tabulka 11 - Výsledky měření pomocí programu Vistumbler .....             | 54 |
| Tabulka 12 - Naměřené rychlosti vnitřní sítě a Internetu .....            | 68 |
| Tabulka 13 - Celkové náklady projektu .....                               | 69 |
| Tabulka 14 - Celkové náklady vzorového klienta.....                       | 70 |