

Univerzita Pardubice
Fakulta ekonomicko-správní

Bezdrátový přenos dat

Aleš Klimpl

Bakalářská práce

2009

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Aleš KLIMPL**

Studijní program: **B6209 Systémové inženýrství a informatika**

Studijní obor: **Informatika ve veřejné správě**

Název tématu: **Bezdrátový přenos dat**

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

Přehled aktuálních bezdrátových technologií využitelných při tvorbě počítačových sítí

Vzájemné porovnání těchto technologií

Vypracování návrhů konkrétního řešení provedení jedné sítě několika typy bezdrátových technologií

Vyhodnocení technických a ekonomických aspektů vypracovaných návrhů a porovnání alternativ

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:


PC WORD. Není WiMax jako Wi-Fi, [online]. Praha:2007. Dostupné z WWW: <<http://www.earchiv.cz/b07/b1100001.php3>>.

PETERKA, J. Lekce 11: bezdrátový broadband, [online]. Praha:2007. Dostupné z WWW: <<http://www.earchiv.cz/b07/b1100001.php3>>.

PETERKA, J. Počítačové sítě, verze 3.3, [online]. Praha:2007. Dostupné z WWW: <<http://www.earchiv.cz/l218/index.php3> >.

BRISBIN, S. Postavte si vlastní wi-fi síť. 1.vydání. Neocortex. 239 s. ISBN : 80-86330-13-3

TEARE, D. Návrh a realizace sítí Cisco. 1.vydání. COMPUTER PRESS. 746 s. ISBN : 80-251-0022-7



Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Oldřich Horák

Ústav systémového inženýrství a informatiky

Datum zadání bakalářské práce: **6. října 2008**

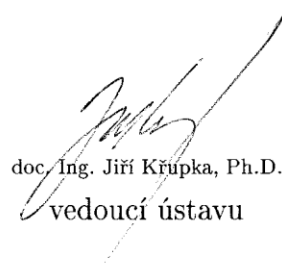
Termín odevzdání bakalářské práce: **1. května 2009**



doc. Ing. Renáta Myšková, Ph.D.

děkanka

L.S.



doc. Ing. Jiří Krůpka, Ph.D.

vedoucí ústavu

V Pardubicích dne 6. října 2008

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 26. 4. 2009

Aleš Klimpl

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval Ing. Oldřichu Horákovi za cenné připomínky a odborné rady, kterými přispěl k vypracování této bakalářské práce.

SOUHRN

Bakalářská práce je věnována tématu, zabývajícím se bezdrátovým přenosem dat, který je alternativou běžného fixního přenosu. V první polovině této práce je uveden výčet nejběžnějších bezdrátových technologií, jejich stručné charakterizování a následné porovnání. V druhé části je uveden konkrétní návrh metropolitní bezdrátové sítě, která je realizována pomocí několika technologií, jež jsou popsány v první části, určených pro bezdrátový přenos. Na základě konečného zhodnocení návrhů dané sítě je vybrána taková realizace, která má nejvýhodnější ekonomické a funkční parametry pro dané určení sítě.

KLÍČOVÁ SLOVA

WiFi, WiMAX, Bluetooth, ZigBee, UWB, HiperLAN

TITLE

Wireless data transmission

ABSTRACT

The content of the bachelor dissertation is dedicated to the wireless data transmission that is an alternative to a common fix-line / wire-bound connection. The very first section of this dissertation pays attention to most ordinary wireless technologies currently and widely used, their characteristics and including their comparison afterwards. The second part focuses on the specific wireless network project, which is being the combination of various technological units, designed for wireless transmissions in and/or within LAN networks. These components are described in the prior part of this works. Based on most efficient and effective economic & functional parameters, suitable for given network purposes, is the final project assessment made and the choice of the right one for the implementation as such placed.

KEYWORDS

WiFi, WiMAX, Bluetooth, ZigBee, UWB, HiperLAN

Obsah

1. ÚVOD.....	9
1.1 PŘEDMLUVA.....	9
1.2 CÍL PRÁCE	9
2. SOUČASNÝ STAV BEZDRÁTOVÉHO PŘIPOJENÍ V ČR.....	10
2.1 STRUKTURA PŘIPOJENÍ	10
3. BEZDRÁTOVÝ PŘENOS DAT	11
3.1 KLASIFIKACE BEZDRÁTOVÝCH TECHNOLOGIÍ	11
3.2 DĚLENÍ DLE REPREZENTACE SIGNÁLU	12
3.2.1 OPTICKÉ BEZDRÁTOVÉ SÍŤE	12
3.2.2 RADIOVÉ SÍŤE.....	12
3.2.3 INFRAČERVENÉ SÍŤE	13
3.2.4 MAGNETICKÉ SÍŤE	14
3.3 DĚLENÍ DLE POUŽITÉHO PÁSMO	14
3.4 DĚLENÍ DLE HOSPODAŘENÍ S KMITOČTY	15
3.4.1 BUŇKOVÉ SÍŤE.....	15
3.4.2 TRUNKOVÉ SÍŤE	15
3.5 DĚLENÍ DLE ROZSÁHLOSTI.....	16
3.5.1 WPAN (WIRELESS PERSONAL AREA NETWORK)	16
3.5.2 BEZDRÁTOVÉ MÍSTNÍ SÍŤE (WLAN).....	20
3.5.3 BEZDRÁTOVÉ METROPOLITNÍ SÍŤE (WMAN)	24
3.5.4 BEZDRÁTOVÉ ROZSÁHLÉ SÍŤE (WWAN).....	26
4. PRAKTICKÉ ŘEŠENÍ BEZDRÁTOVÉHO SPOJENÍ.	27
4.1 LOKALITA.....	27
4.2 REALIZACE POMOCÍ SYSTÉMŮ WIMAX	28
4.2.1 ZÍSKÁNÍ LICENCE ČTU	28
4.2.2 KOMPONENTY.....	31
4.2.3 CENA PROVEDENÍ	34
4.2.4 VYHODNOCENÍ REALIZACE POMOCÍ WIMAX.....	35

4.3	REALIZACE POMOCÍ WiFi5	36
4.3.1	VŠEOBECNÉ OPRÁVNĚNÍ.....	36
4.3.2	KOMPONENTY.....	37
4.3.3	CENA PROVEDENÍ	41
4.3.4	VYHODNOCENÍ REALIZACE POMOCÍ WiFi5.....	42
4.4	REALIZACE POMOCÍ BEZDRÁTOVÝCH OPTICKÝCH SYSTÉMŮ.....	42
4.4.1	KOMPONENTY.....	42
4.4.2	CENA PROVEDENÍ	45
4.4.3	VYHODNOCENÍ REALIZACE POMOCÍ FSO	45
4.5	VYHODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH ŘEŠENÍ	46
5.	ZÁVĚR.....	48
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	49

1. Úvod

1.1 Předmluva

Asi nejvýznamnější nevýhodou všech drátových přenosových cest je jejich stacionární povaha a nemožnost uspokojit požadavky uživatele, který se potřebuje se svým počítačem pohybovat v rámci jedné místnosti, jedné budovy, jednoho města, jedné země či celé planety. Tato skutečnost se stala hlavním podmětem pro vznik bezdrátových technologií. Tyto technologie ovšem nacházejí své využití i tam, kde nedochází k žádnému pohybu uživatele, a to proto, že díky své „bez-drátovosti“ není nutné pokládat žádné vedení.

Bezdrátové sítě pro běžný trh existují v podstatě od května '93', kdy firma NCR (tehdejší součást gigantu AT&T) uvedla na trh svou WaveLAN (I) technologii. Od té doby zaznamenaly wireless technologie velký rozvoj, který šel ruku v ruce s poklesem cen v oblasti bezdrátového přenosu. Významný pokles cen spolu se zdokonalením těchto technologií zapříčinil masivní rozšíření do většiny oblastí lidského života. Zavádění těchto technologií umožňuje efektivně využívat informace ve všech oborech lidské činnosti a je tak základním předpokladem pro růst kvality lidského kapitálu, jakožto celé řady dalších procesů. Počítačové sítě jako takové jsou fenoménem, o jehož významu pro "informační společnost" 21. století dnes již není pochyb. Potřeba rychlé a spolehlivé komunikace je snad jednou z nejdůležitějších potřeb moderní společnosti.

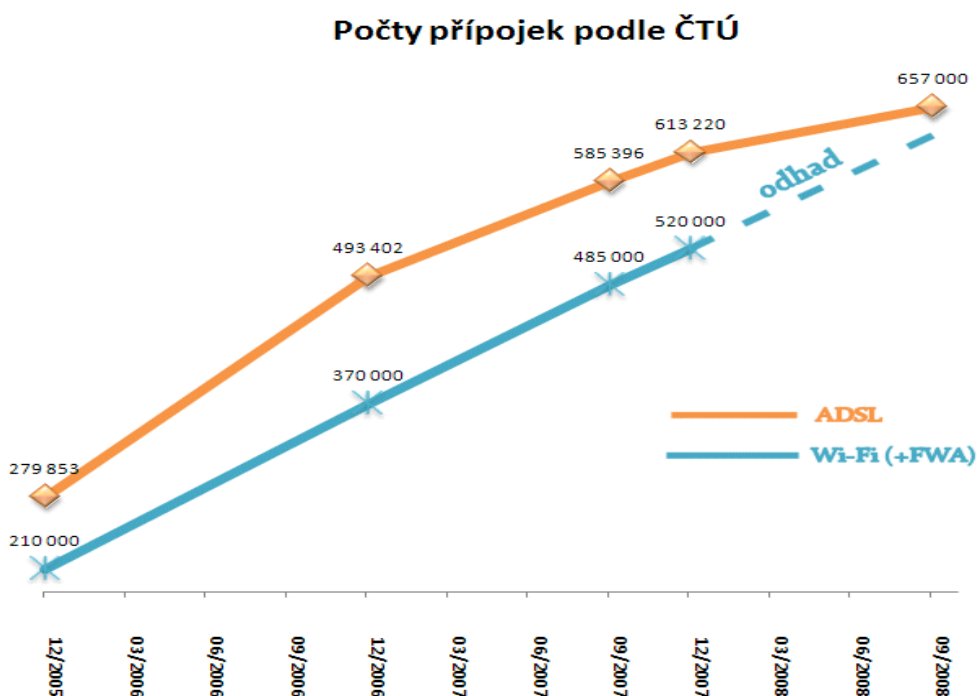
1.2 Cíl práce

Cílem této práce je seznámení s nejpoužívanějšími technologiemi bezdrátového přenosu v různých segmentech trhu a vzájemné porovnání těchto technologií. Dále pak navrhnout a realizovat metropolitní síť pomocí několika technologií, které připadají v úvahu pro daný typ sítě, jednotlivé návrhy posoudit dle jejich výhodnosti z hlediska ekonomické dostupnosti a dle technických parametrů. Podle hodnocení bude vybrán nejvhodnější způsob realizace pro daný typ sítě.

2. Současný stav bezdrátového připojení v ČR

2.1 Struktura připojení

Struktura připojení k internetu prošla za několik posledních let mnoha změnami. Doba připojení k internetu prostřednictvím vytáčeného spojení již dávno minula. Bezdrátové připojení se stalo zcela neodmyslitelnou variantou při pořizování nových přípojek i při změně stávajícího připojení. Rozvoj bezdrátového přenosu je velmi dobře patrný na obrázku 1. Následující statistiky ukazují počty ADSL a WiFi přípojek. Tempo růstu ADSL i WiFi přípojek je téměř vyrovnané. Dokonce to na první pohled vypadá, že Wi-Fi roste pravidelně a stabilně (křivka jeho růstu je lineární), zatímco tempo růstu ADSL se různě mění (a příslušná křivka se zakřivuje) [1].



Obrázek 1-Počty přípojek ADSL a Wi-Fi (+FWA), zdroj: [1]

Specifikum České republiky je v počtu bezdrátových přípojek. V ostatních zemích EU převládá DSL připojení k internetu. Tento fakt je způsoben poměrně pozdním nástupem ADSL v ČR (2002/03), který zapříčinil masivnější rozšíření technologií na bázi Wi-Fi a jiných bezdrátových připojení [2].

3. Bezdrátový přenos dat

Od doby, kdy byla na trh uvedena první bezdrátová technologie, uplynula relativně krátká doba, za kterou vznikla celá řada dalších technologií pro bezdrátový přenos. Každá technologie má své konkrétní užití, pro který byla navržena, a proto žádnou nelze využít ve všech případech, kdy jsme se rozhodli uplatnit výhody bezdrátového přenosu. Tyto systémy se klasifikují do mnoha skupin podle velkého množství aspektů.

3.1 Klasifikace bezdrátových technologií

Bezdrátové technologie lze klasifikovat zcela stejně jako počítačové sítě. Kritérií, podle kterých je možné klasifikovat počítačové sítě, existuje celá řada. Jedno z nejznámějších kritérií je rozsáhlost dané sítě, kde se sítě rozdělují na sítě lokální (LAN, Local Area Network), na sítě rozlehlé (WAN, Wide Area Network), na sítě metropolitní (MAN, Metropolitan Area Network), či na sítě osobní (PAN, Personal Area Network). Podle dalšího kritéria, zohledňujícího samotný provoz sítě, rozlišujeme sítě na intranet (sítě sloužící pouze k interním účelům) a extranet (sítě sloužící k externím účelům - otevřené směrem ven). Žádné dělení sítí podle jednotlivých kritérií nemá exaktní charakter. Vymezit přesnou hranici sítí (např. u sítí členěných podle dosahu) je prakticky nemožné [3].

V této práci byly bezdrátové technologie rozděleny podle [4]:

- a) reprezentace signálu
- b) frekvenčního pásma
- c) hospodaření s kmitočty
- d) rozsáhlosti

3.2 Dělení dle reprezentace signálu

Jednotlivé typy sítí, využívající bezdrátový přenos, lze rozdělit na [5]:

- a) optické bezdrátové sítě
- b) radiové sítě
- c) infračervené sítě
- d) magnetické sítě

3.2.1 Optické bezdrátové sítě

Optika bez kabelů (*FSO, free-space optics*) nabízí řešení, díky kterému lze na velmi krátkých segmentech dosáhnout velmi vysokých přenosových rychlostí s nízkými náklady. Tato technologie vznikla v 60. letech minulého století, avšak její širší využití přichází ke slovu až dnes, kdy je potřeba stále větší přenosová kapacita pro připojení uživatelů k rychlým páteřním optickým sítím. Tato technologie v sobě skrývá přenosovou kapacitu optických sítí i jednoduchost a rychlost instalace bezdrátových sítí. Přenosové rychlosti, které dnešní produkty FSO podporují, nabízejí 100 Mbit/s, 155 Mbit/s (OC-3), 622 Mbit/s (OC-12) až po řádově gigabity za sekundu (momentálně do 2,7 Gbit/s). Nevýhodou optických bezdrátových sítí je přímá viditelnost. Atmosférické vlivy (mlha...) jsou pro přenos dat v těchto typech sítí mnohdy nepřekonatelnou překážkou, která výrazně zkrátí přenosové vzdálenosti nebo úplně zamezí přenosu [6].

3.2.2 Radiové sítě

K realizaci radiového přenosu slouží radiové vlny takových kmitočtů, které se efektivně šíří volným prostorem. Tento typ sítí je v praxi nejčastější a to proto, že tento typ sítí se dá použít jak v osobních sítích (*PAN*), místních sítích (*LAN*), metropolitních sítích (*MAN*), tak i v rozlehlých sítích (*WAN*). Šíření tohoto signálu je všesměrové a může procházet překážkami. Vlastnosti rádiových vln se mění v závislosti na použité frekvenci - při nižších frekvencích tyto vlny sice mohou "obcházet" všelijaké terénní překážky, ale jejich "síla" rychle klesá se vzdáleností od vysílajícího zdroje. Vlny vyšších frekvencí zase mají tendenci

šířit se více přímočaře, a lze je tudíž mnohem lépe směřovat, resp. přesněji zacílit na určitý konkrétní cíl. Na druhou stranu s rostoucí frekvencí jsou rádiové přenosy citlivější na atmosférické podmínky, například na déšť či mlhu, smog a podobně. Využíváme-li frekvence nad 100 MHz, mluvíme o tzv. mikrovlňném přenosu. V pásmu nad 100 MHz se elektromagnetické vlny mohou šířit již velmi přímočaře, a tak je již možné soustředit veškerou jejich energii do poměrně úzce směřovaného paprsku.

Vzhledem k relativně velkému dosahu rádiových vln je velmi důležitá koordinace konkrétních frekvencí a dílčích frekvenčních pásem, tak aby nedocházelo k nežádoucímu vzájemnému ovlivňování či „prolínání“ jednotlivých přenosů. Proto také musí být v oblasti rádiových vln relativně nejsilnější a nejpřísnější centrální „dohled“ nad přidělováním jednotlivých frekvencí a jejich využitím. Pro potřeby datových přenosů jsou rádiové vlny poněkud handicapovány svou nepříliš velkou šířkou přenosového pásma [7].

3.2.3 Infračervené sítě

Přenosy v infračervené části spektra jsou s oblibou používány na velmi krátké vzdálenosti - kdo by například neznal běžná dálková ovládání televizních přijímačů a podobná zařízení. Také u počítačů se tento způsob komunikace na krátkou dobu prosadil například pro komunikaci mezi přenosnými počítači a periferiemi. Výhodou je totiž relativní nenáročnost implementace a tudíž i nízká cena. Vzhledem k velmi omezenému dosahu také není zapotřebí žádná licence či povolení od spojů. Velkou nevýhodou je naopak skutečnost, že vlny v infračerveném pásmu neprostupují překážkami (ale mohou se odrazet, například od stropu, čehož se v některých systémech záměrně využívá). Další nevýhodou je nemožnost používat tento způsob komunikace mimo budovy, na denním světle - naše sluníčko totiž samo dosti silně září i v infračervené části spektra. Existují dvě možnosti využití infračerveného záření: přímo, koncentrované paprsky jsou namířeny směrem k příjemci, nebo rozptýleně (*DFIR, Diffused Infrared*), kdy se paprsky vyšlou různými směry a odrazem od stěn se dostanou k cíli. Druhou variantu ve svých počátcích nabízela také prapůvodní WLAN 802.11 jako alternativu k rádiovým fyzickým vrstvám na bázi rozprostřeného spektra. Navazující 802.11a/b/g ji již nenabízejí [7].

3.2.4 Magnetické sítě

Magnetická indukce může sloužit pro dvoubodovou i vícebodovou komunikaci mezi zařízeními na velmi krátkou vzdálenost (2 - 3 m). Samotný přenos je realizován po elektromagnetických vlnách pole vytvořeného magnetickou indukcí. Elektrický proud procházející magneticko-indukčním systémem vytváří magnetické pole a ASIC (Application Specific Integrated Circuit) pak moduluje signál tak, aby v sobě zakódoval přenášená data. Jedničky a nuly binárních dat reprezentují 90stupňové posuny fáze signálu v jednom ze dvou směrů. Anténa pak zesiluje a vysílá signál. Velkou výhodou těchto sítí je, že pracují v pásmu 13,5 MHz určeném pro účely ISM (Industrial, Scientific and Medical), které je jen velmi málo využíváno [8].

3.3 Dělení dle použitého pásma

Český telekomunikační úřad (ČTÚ) v plánu přidělení kmitočtových pásem v souladu se závazky vyplývajícími z mezinárodní smlouvy anebo z členství České republiky v mezinárodních organizacích stanovil kmitočtová pásma pro jednotlivé radiokomunikační služby a rádiová zařízení a obecné podmínky pro přidělení kmitočtů. Podle těchto smluv lze kmitočtové spektrum rozdělit na licenční a bezlicenční.

Bezlicenčním, čili volné pásmo, jsou vhodné pro malé sítě, kde je rozhodující ekonomické hledisko. Pro samotné použití frekvencí zařazených do tzv. bezlicenčního pásma není nutná licence ČTÚ, je však nutné dodržovat podmínky stanovené generální licencí. Nevýhodou nelicencovaného pásma je velký počet sítí, které v těchto pásmech pracují (2,4 GHz). Tento fakt má za následek vzájemné rušení a přetížení jednotlivých sítí. Výhodou licencovaných frekvenčních pásem je fakt, že v nich nemůže dojít k přetížení či rušení, protože každý operátor vlastní licenci má stabilně vyhrazenou určitou část pásma v obou směrech a s tou nakládá dle potřeby. U nelicencovaných pásem, kde může při splnění podmínek stanovených příslušnou generální licencí ČTÚ poskytovat služby prakticky kdokoli, neexistuje žádná garance, že spoj nebude rušen jiným operátorem. V těchto pásmech je sice definován maximální vysílací výkon (např. u spojů ve frekvenci 2,4 GHz je maximum 1 mW), tyto hodnoty jsou však často překračovány na principu "kdo vysílá silněji, přehluší ostatní" [9],[10].

3.4 Dělení dle hospodaření s kmitočty

Do celkové koncepce bezdrátových sítí je zahrnut i způsob hospodaření s přidělenými kmitočty. Zde jsou rozlišovány především buňkové a trunkové systémy. Samostatnou kapitolou jsou satelitní bezdrátové sítě (LEO, GEO a další).

3.4.1 Buňkové sítě

Jak již bylo uvedeno v předešlé kapitole, počet dostupných kmitočtových pásem je velmi omezený. Mobilní operátoři by s přidělenými frekvencemi zdaleka nevystačili, a proto fungují jejich sítě na tzv. buňkovém principu, kdy lze využít jedno frekvenční pásmo několikrát. Buňkové sítě jsou založeny na rozdělení daného geografického území, na kterém poskytuje operátor své služby, na několik částí-buněk (nejčastější tvar buňky je šestiúhelník), kde vzájemně sousedící buňky mají vždy odlišnou frekvenci, čímž je zabráněno vzájemnému ovlivňování buněk. V centru každé buňky se nachází základnová stanice (base station), která obsluhuje jednotlivé klienty vyskytující se v dané buňce. Pokud se příslušné koncové zařízení pohybuje a přemístí se z jedné buňky do druhé, základnové stanice to poznají a komunikaci se zařízením si mezi sebou předají - dojde k předání (tzv. handoveru), které by uživatel mobilního telefonu neměl vůbec zaznamenat [10],[11].

3.4.2 Trunkové sítě

Trunková rádiová síť je technicky vyspělý, počítačem řízený typ sítě, která nabízí svým uživatelům celou řadu možností a v mnohém předčí stávající konvenční rádiové sítě, ve kterých všichni účastníci používají k hlasové komunikaci jednokanálovou retranslační nebo základnovou stanici. Trunkové sítě využívají vícekanálové retranslační stanice řízené centrálním počítačem, který dynamicky přiděluje rádiové kanály jednotlivým účastníkům sítě. Komunikace účastníků v trunkové síti je velmi jednoduchá. Účastník, který chce hovořit s jiným účastníkem v síti, pouze stiskne klíčovací tlačítko na radiostanici nebo mikrofonu a centrální počítač mu automaticky přidělí volný komunikační kanál. Po skončení hovoru, je kanál uvolněn a je k dispozici pro jiné účastníky [12].

3.5 Dělení dle rozsáhlosti

Každá technologie je omezena rozsahem své možné působnosti, a proto se každá hodí pro budování různě rozsáhlých sítí. Dle rozsáhlosti rozlišujeme 4 základní typy bezdrátových sítí pro bezdrátový přenos dat:

- a) WPAN (wireless personal area network)
- b) WLAN (wireless local area network)
- c) WMAN (wireless metropolitan area network)
- d) WWAN (wireless wide area network)

3.5.1 WPAN (wireless personal area network)

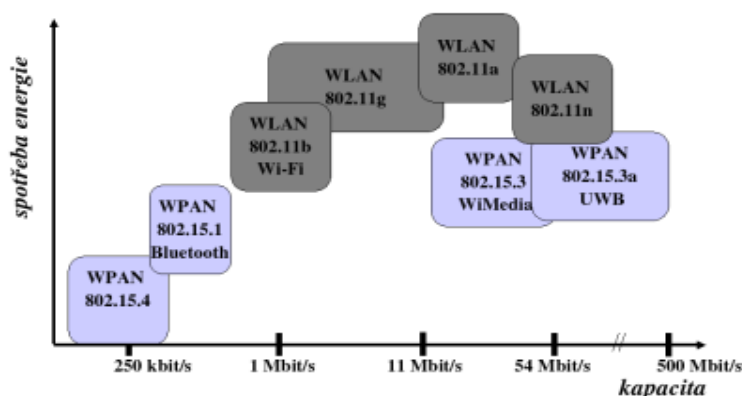
Jedná se o malé osobní sítě, které se utvářejí mezi přenosnými mobilními zařízeními (například zařízení PDA, mobilní telefony nebo přenosné počítače), která se používají v rámci osobního pracovního prostředí (POS, Personal Operating Space). Osobní pracovní prostředí je prostor, který příslušnou osobu obklopuje do vzdálenosti 10 metrů. Těmito standardy se zabývá především normalizační skupina IEEE 802.15. Nejpoužívanějšími systémy na bázi standardů 802.15 v oblasti sítí WPAN jsou Bluetooth, UWB a ZigBee.

IEEE 802.15.1 (Bluetooth)

První bezdrátovou osobní sítí se stal rádiový systém Bluetooth. Vývojem Bluetooth se zabývá od roku 1998 Bluetooth SIG (Special Industry Group) založenou firmami Ericsson, IBM, Intel, Nokia a Toshiba. Mezi nejvýznamnější prosazovatele Bluetooth, coby levné bezdrátové technologie s krátkým dosahem, dnes patří vedle zakladatelů SIG společnosti 3Com, Agere, Microsoft a Motorola.

Bluetooth se vyznačují malou spotřebou energie a poměrně nízkou přenosovou rychlostí. Vztah mezi přenosovou rychlostí a spotřebou energie je patrný z obrázku 2. Rychlost na fyzické vrstvě dosahuje u prvního standardu 802.15.1 (1999) 1 Mbit/s přičemž skutečná propustnost dat se pohybuje maximálně kolem 720 kbit/s. Dosah přenosu u prvního standardu je kolem 10 metrů. Verze 1.2 rozšiřuje dosah až na 100 m. V současné době je nejpoužívanějším standardem Bluetooth 2.0 EDR, který zavádí novou modulační techniku $\pi/4$ -DQPSK a zvyšuje tak datovou propustnost na 2,1 Mbit/s.

Rychlost versus spotřeba energie



Obrázek 2-Rychlost versus spotřeba energie, zdroj: lupa.cz

U jednotlivých standardů je definováno několik výkonových úrovní (2,5 mW, 10 mW, 100 mW). Výkonová úroveň přímo ovlivňuje možnou komunikační vzdálenost (cca 10 – 100 m). Tyto hodnoty platí pouze za situace, kdy přenos probíhá ve volném prostoru. Vyskytují-li se mezi komunikujícími zařízeními překážky (např. zdi), dosah rychle klesá. Při komunikaci nedochází ke ztrátě spojení, dochází ovšem k chybě paketů. Komunikační spoj může být symetrický, případně asymetrický, kdy přenosová rychlost při příjmu (downlink) je vyšší než při odesílání (uplink). Bluetooth pracuje podobně jako WLAN 802.11b v bezlicenčním pásmu 2,4 GHz. Na rozdíl od 802.11b ale Bluetooth využívá metody rozprostřeného spektra s přeskokováním kmitočtů (Frequency Hopping Spread Spectrum, FHSS), kdy rádiový signál velmi rychle (1600krát za sekundu) náhodně přeskakuje mezi 79 jedno-MHz kanály.

Samotná komunikace je řízena hlavní stanicí (master) prostřednictvím protokolu výzvy: podřízená stanice (slave) může komunikovat s ostatními výhradně prostřednictvím hlavní stanice. Jednotlivá zařízení jsou identifikována pomocí své adresy BT_ADDR (BlueTooth Device Address), podobné jako je MAC adresa u Ethernetu. Bluetooth podporuje jak dvoubodovou, tak mnohabodovou komunikaci.

Specifikace Bluetooth umožňuje různorodé služby prostřednictvím zabudované podpory kvality služeb (Quality of Service, QoS) a volitelně nabízí až tři hlasové kanály o 64 kbit/s (tento volitelný typ spojení je synchronní se spojením, synchronous connection-oriented).

Bluetooth pro zabezpečení používá stejný protokol jako WLAN, protokol WEP (Wired Equivalent Privacy), ale s 128bitovým klíčem. Malý dosah sítě řádově do deseti metrů je s ohledem na bezpečnost velkou výhodou ve srovnání se sítěmi 802.11, kde se lze do sítě nabourat až stovky metrů daleko. [13],[14]

Použití: spojení mobilních počítačů, mobilních telefonů, PDA, tiskáren

IEEE 802.15.4 (ZigBee)

Tento standard byl přijat v roce 2003. Vznikl především pro účely průmyslové komunikace. Standard byl vyvinut institucí IEEE a o jeho další rozvoj se stará ZigBee aliance, sdružující přední světové výrobce v oboru automatizace. Pro tuto technologii je zcela typická spolehlivost, jednoduchá a nenáročná implementace, velmi nízká spotřeba energie a v neposlední řadě též příznivá cena.

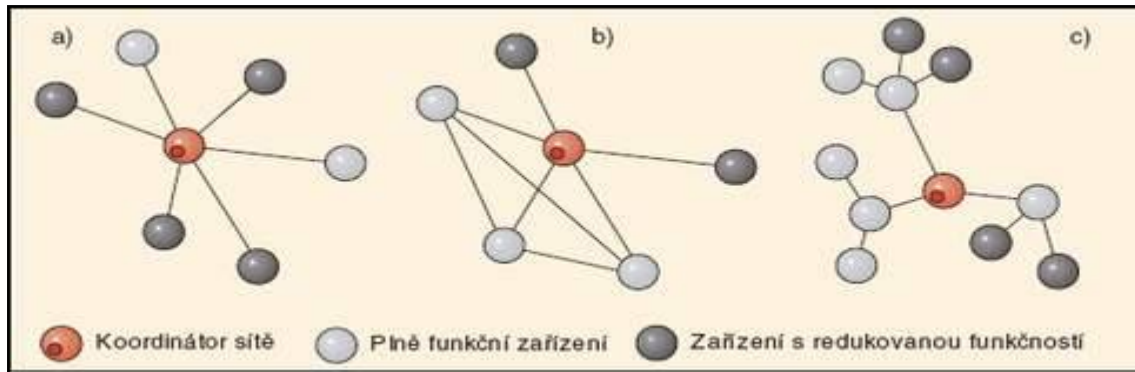
Stejně jako všechny ostatní standardy, lze ZigBee popsat klasickým referenčním model OSI. Spojová vrstva, která je rozdělena na dvě podvrstvy MAC (Medium Access Control) a LLC (Logical Link Control). MAC vrstva slouží k přístupu k mediu a oddělení fyzické vrstvy od podvrstvy LLC. Podvrstva LLC obhospodařuje řízení logického okruhu a díky podvrstvě MAC je nezávislá na použitém přenosovém prostředku. Standard ZigBee používá metodu přístupu CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance), tedy mnohonásobný přístup s nasloucháním nosné a s vyloučením kolizí. Fyzická vrstva určuje způsob konkrétní fyzické bezdrátové komunikace realizované transceiverem, jíž bylo přiděleno několik radiových pásem:

- a) pásmo ISM 2.4 GHz, 16 kanálů, přenosová rychlost 250kb/s, (celosvětově)
- b) pásmo 915 MHz, 10 kanálů, přenosová rychlost 40kb/s, (americký kontinent)
- c) pásmo 868 MHz, 1 kanál, přenosová rychlost 20kb/s, (Evropa)

Dosah vysílače pracujícího podle standardu IEEE 802.15.4 je stanoven až na 75 metrů. S tímto dosahem se dá úspěšně konkurovat technologii Bluetooth.

Podle standardu IEEE 802.15.4 rozlišujeme zařízení se všemi funkcemi FFD (Full-Functional Device) a zařízení s redukovanými funkcemi RFD (Reduced-Functionality Device). Každá síť pracující se standardem ZigBee musí obsahovat minimálně jedno zařízení RFD nebo FFD a

řídící jednotku. Řídící jednotka řídí a koordinuje celou nebo určitou část sítě. Tyto funkce může plnit jen zařízení třídy FFD. V síti může být zapojeno najednou až 254 zařízení k jedné řídící jednotce. U technologie Bluetooth může v síti pracovat najednou pouze osm zařízení. Obrázek 3 podává přehled o topologiích, které jsou implementovány v sítích využívajících technologii Zigbee - hvězda (a), mesh (b), strom (c). [15],[16],[17]



Obrázek 3-Přehled topologií, zdroj: [17].

Použití: bezdrátový přenos dat - náhrada kabelů, bezdrátová síťová komunikace, vzdálené řízení, sběr dat ze senzorů, pohyblivé senzory a zařízení, zabezpečovací zařízení, bezdrátové HMI rozhraní (displeje, klávesnice, joysticky, myši apod.), automatizace domů a bytů (HVAC) - ovládání a řízení klimatizace, topení, osvětlení, zdravotnictví - bezdrátový monitoring životních funkcí, sportovní pomůcky - měřiče tlaku, tepu apod. během pohybu a jiné

IEEE 802.15.3a (UWB)

UWB (UltraWideBand) je systémem, který je založen na standardu 802.15.3a, pro komunikaci na velmi krátké vzdálenosti (do 10m) nabízející velmi rychlou přenosovou rychlost, která dosahuje 480 Mbit/s do vzdálenosti 1 metru a 110 Mbit/s do vzdálenosti 10 metrů. Další výhodou UWB je dobrá snášenlivost s jinými rádiovými technologiemi a skutečnost, že tento systém není náchylný na rušení a je velice bezpečný vůči odposlechu.

Základním principem všech zařízení pracujících se standardem 802.15.3a je skutečnost, že informace je zakódována přímo v signálu základního pásma a modulace není potřeba. Problém nedostačeného spektra frekvencí je odstraněn efektivním sdílením již

obsazeného kmitočtového spektra, a to prostřednictvím překryvného modelu. Technologie využívá pásmo 3,1 GHz – 10,6 GHz. Díky metodě rozprostření spektra tak, aby jednotlivé výkony daných kanálů byly pod úrovní rušení ostatních systémů, nedochází k narušení přenosů technologií, které běžně využívají tuto šířku spektra.

Použití: rychlé domácí přenosové sítě (např. pro video přenosy), širokopásmové (multimediální) bezdrátové přenosy (streaming) na krátkou vzdálenost, pro digitální camcordery, digitální pevné kamery, tiskárny s vysokým rozlišením, scannery, DVD A/V přehrávače, TV s vysokým rozlišením (HDTV) a další špičková koncová digitální zařízení. [18],[19]

Celkové srovnání technologií pro WPAN

V této podkapitole je uveden základní porovnání charakteristik vybraných pan technologií.

Tabulka 1-Porovnání technologií WPAN, zdroj: vlastní.

Název	IEEE	Frekvence	Dosah	Přenosová rychlost
Bluetooth	802.15.1	2,4 GHz	10 - 100 m	2,1 Mbit/s
ZigBee	802.15.4	3,1 - 10.6 GHz	75 m	20/40/250 Kbit/s
UWB	802.15.3a	2,4 GHz 868/915 MHz	10 m	480 Mbit/s

3.5.2 Bezdrátové místní sítě (WLAN)

Technologie WLAN uživatelům umožňují vytvářet lokální bezdrátová propojení (zpravidla v rámci jedné budovy). Oblíbenost WLAN sítí vychází z jednoduchosti zavedení příslušných komponent pro bezdrátový přenos a v případě potřeby jejich snadné demontáže. Nejrozšířenější typem sítí WLAN, jsou sítě na bázi WiFi (Wireless Fidelity), což je obchodní značka zařízení aplikujících standardy rodiny IEEE 802.11. Méně známou technologií, rozvíjenou evropským institutem ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*), je HiperLAN. V této kapitole bude věnována zvláštní pozornost především standardům IEEE 802.11 vzhledem k tomu, že v praktické části budou tyto standarty využity při sestavování lokální sítě.

HiperLAN

HiperLAN je bezdrátový standart z dílny evropské ETSI. Tato technologie je evropskou alternativou k americké IEEE 802.11. Vývoj HiperLAN byl započat roku 1990. Za nejvýznamnější specifikace v oblasti WLAN od evropského standardizačního institutu jsou označovány HiperLAN/1 a HiperLAN/2.

Specifikace **HIPERLAN/1** (ETS 300 652) byla schválena už v roce 1996. HIPERLAN/1 může pracovat v Evropě v pásmu 5,15-5,30. Přenosová rychlost je u asynchronních služeb 20 Mbit/s pro vzdálenost 50 metrů, při vzdálenosti 800 metrů je použita rychlost 1 Mbit/s. U synchronních služeb se pohybuje v rozmezí 64 kbit/s a dalších násobků až do 2.048 kbit/s (poskytování těchto služeb je volitelné). Minimální vzdálenost mezi dvěma uzly v síti je 50 cm. HIPERLAN/1 používá modulaci GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying). Tato modulace je často používána i u sítí GSM nebo CDPD (Cellular Digital Packet Data). Tato specifikace využívá plně distribuovaný mechanismus označovaný jako CAC (Channel Access Control), který řídí přístup stanice ke sdílenému kanálu. HiperLAN využívá přístupovou metodu NPMA (Non-preemptive Priority Multiple Access), která je podstatně lepší než přístupová metoda využívaná u IEEE 802.11.

HIPERLAN/2 je nástupnickou specifikací pro bezdrátové lokální sítě od ETSI, která je odpovědí na vzrůstající nároky kladené na komunikace. HIPERLAN/2 díky ekonomickému využití spektra 5 GHz nabízí vysokou přenosovou rychlost a zároveň i možnost připojení velkého počtu uživatelů. Tato specifikace dále nabízí bezpečnost, podporu QoS (Quality of Service), efektivní správu spotřeby energie bezdrátových zařízení a možnost autokonfigurace. [20],[21]

IEEE 802.11

Nejrozšířenější technologií využívanou v lokálních sítích je bezesporu technologie označovaná jako WiFi. Tento název bývá mnohdy chybně zaměňován s celou rodinou standardů IEEE 802.11, avšak WiFi je pouze označení a logo udělované výrobkům pracujícím podle standardu 802.11b.

V roce 1990 byla založena pracovní skupina 802.11 (celým názvem Wireless Local Area Networks Standards Working Group in 1990), která dostala za úkol vypracovat standard

bezdrátového řešení, které by bylo bezdrátovou alternativou "drátového" Ethernetu a pracovalo v bezlicenčním pásmu 2,4 GHz. Při vývoji prvních standardů se počítalo pouze s užitím v lokálních sítích, avšak možný dosah WiFi systémů se především za pomoci směrových ziskových antén rozšířil z několika desítek metrů na kilometry.

Pro WLAN sítě založené na těchto standardech rodiny 802.11 jsou typické topologie ad-hoc (peer to peer) nebo infrastrukturní. U ad-hoc sítí spolu komunikují stanice přímo a proto musí být stanice, které spolu komunikují, v radiovém dosahu. V infrastrukturních sítích se jednotlivé stanice připojují k AP (Access Point).

První standard **IEEE 802.11** vznikl v roce 1997. Tento standard pracuje s pásmem 2,4 GHz. Sítě založené na tomto standartu přenášely data rychlostí pouze 1 Mbit/s nebo 2 Mbit/s, což ve srovnání s klasickým Ethernetem, který začínal na 10 Mbit/s, bylo velmi málo. Standard IEEE 802.11 nabízel nejširší možnost výběru fyzické přenosové technologie (na fyzické vrstvě). Dovoľoval použít:

- a) techniku přímo rozprostřeného spektra DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum), kdy je každý "užitečný" bit nahrazen celou bitovou sekvencí a teprve ta je pak skutečně vysílána. Standard IEEE 802.11 u této techniky předpokládá použití přenosového pásma od 2,4 do 2,4835 GHz, které rozděluje na 14 kanálů po 22 MHz (tyto se částečně překrývají (pouze tři z nich se nepřekrývají vůbec). Dosahované rychlosti jsou 1 nebo 2 Mbit/s (obě povinně, nižší rychlost je jako záloha pro případy s rušeným prostředím).
- b) techniku rozprostřeného spektra s přeskokováním kmitočtů FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum). U této techniky je přenosové pásmo 2,4 až 2,4835 GHz rozděleno do 75 podkanálů, každý o šířce 1 MHz. K přeskokování pak dochází mezi těmito podkanály, podle různých klíčů (sekvencí) pro jednotlivé přenosy, aby se tak minimalizovalo nebezpečí "střetu" na stejném podkanále. Povinná rychlost je 1 Mbit/s, volitelně 2 Mbit/s.
- c) přenos infračerveným zářením DFIR (Diffused Infrared), v pásmu 300 - 428,000 GHz, povinně rychlostí 1 Mbit/s, volitelně 2 Mbit/s. Tato varianta se pro praktická řešení používá velmi zřídka.

Standard 802.11 na podvrstvě MAC definoval přístup ke sdílenému přenosovému médiu. U toho standardu je na rozdíl od klasického ethernetu použita přístupové metody CSMA/CA (Carrier Sense, Multiple Access with Collision Avoidance), která kolizím zcela předchází a vůbec nepřipouští jejich výskyt. Tato metoda funguje tak, že uzel, který chce odeslat nějaká data, nejprve vyšle krátký paket RTS (Request to Send), s údajem o velikosti hlavního datového paketu. Pokud příjemce žádost RTS zaslechne, odpoví paketem CTS (Clear to Send). Poté žadatel o vysílání skutečně odešle svá hlavní data, načež si počká na potvrzení příjemce (ACK, Acknowledge). Zajištění kontroly správnosti přijatých dat je realizováno pomocí kontrolního součtu CRC (Cyclic redundancy Chec).

Standard **IEEE 802.11b** byl přijat v roce 1999. Tento standart byl odpovědí na neustále se zvyšující požadavky kladené na rychlost přenosu. Stejně jako předchozí IEEE 802.11 pracuje v pásmu 2,4 GHz. Nejpodstatnější změnou v tomto standardu je nárůst přenosové rychlosti z 2 Mbit/s na 11 Mbit/s. Oproti svému předchůdci je zde využita modulace CCK (Complementary Code Keying). Touto změnou je bylo dosaženo již zmiňovaného nárůstu přenosové rychlosti. Na úrovni fyzické vrstvy je pro přenos využita pouze varianta s přímo rozprostřeným spektrem (DSSS). Mezi standardy IEEE 802.11 a IEEE 802.11b je zajištěna zpětná kompatibilita.

V témže roce byl uveden i standard **IEEE 802.11a**. Tento standard je již definován pro pásmo označované jako 5 GHz, které bylo 1. 9. 2005 určeno jako bezlicenční. Toto pásmo je podstatně větší než pásmo 2,4 GHz, avšak dosud nedošlo ke shodě mezi americkým a evropským regulačním orgánem na postupné uvolňování tohoto pásma. Země EU v současné době využívají pásmo 5,47 GHz až 5.725 GHz. Použití tohoto pásma umožňuje dosahovat vyšších přenosových rychlostí, a to až 54 Mbps. Na fyzické vrstvě je nově definovaný tzv. ortogonální multiplex OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing). Tento standard není zpětně kompatibilní. [22],[23]

Standart **IEEE 802.11g** (2003) pracuje bezlicenčním pásmu 2,4 GHz. Maximální přenosová rychlost dosahuje 54 Mbit/s. 802.11g je zpětně kompatibilní s 802.11b, takže v jedné síti mohou pracovat klienti obou typů sítí. Tyto specifikace se ovšem liší řešením fyzické vrstvy, kde WiFi používá DSSS a 802.11g OFDM a pro spolupráci s 802.11b také DSSS. Zpětná kompatibilita si vybírá svoji daň v případě, že v jedné síti komunikují klienti s odlišnými specifikacemi (802.11b a 802.11g), kdy dochází ke zvýšené režii přenosu a tím

ke snížení propustnosti kanálu. Celkové porovnání výše uvedených standardů je uvedeno v tabulce 2 [24].

Tabulka 2-Porovnání standardů, zdroj: vlastní.

Typ	Kmitočet	Přenosová rychlost na PHY	Reálná uživatelská rychlost	Mechanismus přenosu
IEEE 802.11a	5,1-5,3 GHz a 5,725-5,825 GHz	54 Mbit/s	25 Mbit/s	OFDM
IEEE 802.11b	2,4-2,485 GHz	11 Mbit/s	6 Mbit/s	DSSS
IEEE 802.11g	2,4-2,485 GHz	54 Mbit/s	22 Mbit/s	DSSS/OFDM

Použití: domácí i firemní bezdrátové sítě, metropolitní sítě, bezdrátové připojení na veřejných místech a jiné

3.5.3 Bezdrátové metropolitní síť (WMAN)

Bezdrátové metropolitní síť WMAN umožňují uživatelům komunikaci mezi více místy v určité metropolitní oblasti (například v areálu univerzity). WMAN jsou tedy sítě, které řeší otázku poslední míle. Bezdrátové řešení komunikace mezi vzdálenými oblastmi přináší úsporu financí a je časově méně nákladné než pokládka fixních spojů.

Vývojem standardů pro metropolitní síť se zabývá pracovní skupina IEEE 802.16, která tak přispívá ke standardizaci vyvíjených technologií. Nejpoužívanějšími zařízeními pro bezdrátový přenos v rámci metropole jsou zařízení WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access), založená na standardech skupiny IEEE 802.16. Evropskou alternativou vyvíjenou ETSI je standard HiperMAN. Korejskou alternativou k WiMAX je systém WiBro, který je ve skutečnosti dnes již velice blízký 802.16e, tedy globální normě [25],[26].

IEEE 802.16 (WiMAX)

WiMAX slouží pro rychlou komunikaci na velké vzdálenosti (až desítky kilometrů), a to dokonce bez požadavku na přímou viditelnost. WiMAX je označení pro techniku splňující standard IEEE 802.16. O rozvoj této technologie se stará WiMAX forum, které sdružuje přední výrobce radiotechniky. Tato technologie není na rozdíl od WiFi určena pro běžné uživatele, ale pro poskytovatele, a tudíž s vyššími nároky na podporu kvality služeb, i na možnost svého řízení a správy. Všechny standardy skupiny 802.16 mají propracovaný systém podpory služeb QoS.

WiMAX může propojit nejen Wi-Fi hotspot, nacházející se v určité lokalitě, se sítí internetového providera, ale WiMAX slouží i k zajištění propojení mezi sítí providera a jediným koncovým uzlem, a nikoli celou sítí. Sítě s WiMAX používají topologii bod-mnoho bodů (PMP, Point to multi point) a mesh. U topologie mesh mohou jednotlivé stanice vzájemně komunikovat bez použití základnové stanice. Topologie PMP (Point to Multipoint) je založena na již vysvětleném buňkovém přístupu.

První standard **IEEE 802.16** byl schválen v roce 2002. Tento standard předpokládal využití frekvencí v rozmezí od 10 až do 66 GHz, kde se vyskytují převážně jen tzv. licenční pásma. Pro vlastní komunikaci vyžadoval frekvenční kanály o šířce 20, 25 nebo 28 MHz, a dosahoval přenosové rychlosti od 32 do 134 Mbit/s. I zde ovšem platilo, že reálné dosahované rychlosti záleželi na daných podmínkách, zejména geografických a atmosférických. V tomto prvním standardu byla nutná přímá viditelnost, toto omezení odpadlo až s pozdějšími standardy. Maximální přenosová vzdálenost byla asi 5 km.

Dalším standardem této řady je **IEEE 802.16 – 2004**. Oproti předchozímu standardu dochází ke změně frekvenčního pásma, ve kterém lze systémy založené na tomto standardu použít. Tento rozsah se změnil na 2 – 11 GHz. Toto pásmo je méně háklivé na atmosférické vlivy a poskytuje dostatek volných i licencovaných frekvencí. Zásadní změnou je práce v režimu NLOS (Non-Line of Sight), který nevyžaduje přímou viditelnost. Maximální možná přenosová vzdálenost je ovlivněna viditelností. Standard využívá modulaci OFDM. Maximální dosah je až 48km. Maximální propustnost se snížila na 75 Mbit/s. [27]

Oba výše uvedené standardy nepodporují mobilitu (tj. vyžadují, aby koncové stanice byly stacionární). Standard **IEEE 802.16e** přináší podporu mobility. Dokonce takové mobility, která by umožňovala pohyb stanice až do rychlosti 150 km/h. pracovní frekvence je v pásmu 2 – 6GHz. Mobilní WiMAX je založen na technologii S-OFDMA (Scalable Orthogonal Frequency Division Multiple Access), která má lepší přenosové vlastnosti, subnosné frekvence volí podle svého okolí a funguje tak velmi dobře i při nepřímé viditelnosti [28].

Dalšími standardy jsou 802.16 c/d (2003) se zaměřuje na interoperabilitu tím, že zavádí systémové profily zařízení, v nichž jsou specifikovány funkce a vlastnosti pro základní testy interoperability.

Použití: metropolitní sítě, distribuční systémy

3.5.4 Bezdrátové rozsáhlé sítě (WWAN)

Technologie WWAN umožňují uživatelům vytvářet bezdrátové připojení se vzdálenými veřejnými nebo soukromými sítěmi. Tato připojení lze udržovat v rozsáhlých geografických oblastech, například ve městech nebo v zemích, za použití sítě anténních nebo satelitních systémů udržovaných poskytovateli bezdrátových služeb. Současné technologie WWAN jsou známy jako systémy druhé generace (2G) a třetí generace (3G). Nejznámějšími technologiemi jsou asi UMTS, GPRS, CDMA2000, GSM, CDPD, Mobitex, HSDPA. Sítě na bázi těchto technologií jsou určeny výhradně do rukou celostátních providerů. Tyto technologie bývají označovány nikoliv jako bezdrátové, ale jako mobilní a v této práci nejsou blíže rozebírány.

4.2 Realizace pomocí systémů WiMAX

Výhody WiMAX byly již popsány v předešlé části. Daná síť bude provozována v licenčním pásmu 3,5 GHz, tedy v licencovaném pásmu, pro které je nutno získat licenci od regulátora. Zásadní výhodou této realizace je fakt, že WiMAX nevyžaduje přímou viditelnost komunikujících stran a to až na vzdálenost 7 km. Vzhledem k tomu, že Jaroměř má poměrně hustou panelákovou zástavbu, je tato skutečnost zcela zásadní. Základnová stanice pokrývá nejen obec Jaroměř, ale je možno připojit i případné klienty v okolních obcích. Systém WiMAX umožňuje provozovateli poskytovat hlasové služby ve vybrané lokalitě. Klientům bude možno nabídnout komplexní hlasové služby na bázi IP telefonie.

4.2.1 Získání licence ČTU

Pásmo 3,5 GHz je rozděleno na 20 kanálů s frekvenčním duplexem (FDD) a šířkou kanálu 3,5 MHz. Toto pásmo je určeno pro PMP (Point to Multipoint) technologie.

Kanály jsou rozděleny podle dostupnosti:

- pro lokální operátory - zde si může libovolný provozovatel zažádat (kanály 1 až 14)
- pro celoplošné operátory - již zabrány (kanály 15 až 20)

Žádost se vždy podává na jednu základnovou stanici a danou lokalitu umístění/provozování základnové stanice - BST. Počet klientských stanic je libovolný a není součástí žádosti o udělení oprávnění k využívání rádiového kmitočtu.

Jakmile se dojde k rozhodnutí k nasazení WiMAX technologii v navrhované síti, je nutné provést následující kroky:

Krok první - zjištění dostupnosti volných kanálů v lokalitě předpokládaného provozu WiMAX zařízení

Dostupnost volných kanálů lze zjistit na stránkách ČTU. Na této stránce lze zadat GPS souřadnice předpokládaného umístění základnové stanice a zjistit již využívané kanály v dané lokalitě.

Krok druhý - příprava podkladů pro žádost na ČTU

Před vlastním vyplněním formulářů k žádosti je nutné zajistit mapu předpokládaného pokrytí území signálem ze základnové stanice. Tzv. mapa pokrytí je nutnou přílohou k žádosti o přidělení individuálního oprávnění. Zároveň může sloužit jako dobrý podklad pro plánování sítě.

Mapa pokrytí může být formou zakreslení kružnice/kruhové výseče do běžné turistické mapy, o poloměru do 15 až 20km. Tato varianta je rychlá a levná, ale není nijak podložena skutečnými výpočty a skutečnými parametry nastavení sítě (jako jsou vyzařovací úhly antén, elevace antén a vysílací výkon zařízení). Tyto mapy jsou opravdu jen odhadem, bez reálných podkladů. To často vede k zamítnutí žádosti nebo jejímu vrácení k přepracování a pro provozovatele nemá velkou vypovídající hodnotu o skutečném pokrytí území signálem.

Druhá varianta je vytvoření profesionální mapy pokrytí v návrhovém softwaru, který využívá i ČTU - Radiolab. Při tomto způsobu vytvoření mapy pokrytí stačí uvést základní informace o lokalitě umístění základnové stanice a požadované oblasti pokrytí:

- a) GPS souřadnice umístění základnové stanice - BST (WGS 84 nebo jiný souřadnicový systém)
- b) Typ a počet antén na BST (většinou doporučujeme 2x120° antény pro celoplošné pokrytí)
- c) Výšku antén BST nad terénem (alespoň předpokládanou)
- d) Předpokládanou výšku antén klientských jednotek nad zemí
- e) Charakteristiku antén na BST - zisk, vyzařovací diagram
- f) Pokud možno přesné specifikování zájmové oblasti pokrytí (kde budou situováni klienti vůči BST, kterým směrem budou směřovány antény, ...)

Tyto mapy pokrytí mají vysokou vypovídající hodnotu - součástí je i mapa viditelnosti. Jsou mnohem více odpovídající a bývají i velmi úspěšné na ČTU. Díky těmto mapám se získá nejen reálný odhad pokrytí, ale i doporučené elevace antén, jejich nejvhodnější azimut a samozřejmě i vysílací výkon na vysílači. To vše slouží jako údaje do žádosti na ČTU.

Krok třetí - podání žádosti na ČTU

Samotná žádost se skládá z několika následujících bodů:

- a) Informace o přístupovém bodu
- b) Vymezení provozní oblasti - přiložit rastrovou mapu:
 - je nutno použít mapu s definovaným měřítkem - ideální je 1:50 000
 - do mapy je nutné vyznačit oblast, ve které budou rozmístěny klientské stanice
 - do mapy se zakresluje plocha jako mnohoúhelník nebo jako kruhová výseč
 - dnes jsou ČTU většinou vyžadovány profesionální mapy pokrytí viz výše - krok druhý
 - u sektorové antény potřebují vědět: 1). osu hlavního laloku; 2.) elevaci antény
 - u všesměrové antény ČTU potřebuje znát dosah
- c) Označení antény dle katalogového listu výrobce, útlum vlnovodu, polarizace
 - jako přílohu žádosti je doporučováno přiložit datasheet antény
 - musí být uváděn typ antény, který je uveden na datasheetu
- d) Pokud je žádán konkrétní kmitočet – je třeba ho uvést
- e) Vysílaný výkon: 28 dBm (na konektoru jednotky) - to je maximum technologie
 - žádosti jsou většinou udělovány do 20 dBm na výstupu ze zařízení
- f) Typ radioreléové zařízení
 - typ vysílacího rádiového zařízení - FB
 - značka shody: 1.) CTU: 769 (2495 pro 4CH IDU); 2.) CE: 0682
- g) Šířka zabraného pásma: 7MHz/3,5MHz/1,75MHz (dle požadované šířky kanálu)
- h) Druh vysílání: 7M0D1W/3M50D1W/1M75D1W (dle požadované šířky kanálu)
- i) Účel použití

Krok čtvrtý - vyplněné formuláře A, E, O s dalšími zákonnými podklady podat na podatelnu ČTU

Profesionální vymezení lokality v programu Radiolab stojí kolem 5 400 CZK, samotná licence vyjde zhruba na 30 000 CZK za rok. [29]

4.2.2 Komponenty

Pro pokrytí dané lokality je nejprve nutné vybudovat **základnovou stanici**, ke které se následně jednotlivé klientské stanice připojí. Tato základnová stanice se skládá z indoorové a outdoorové části. Na základě několika případových studií byly vybrány prvky BreezeMax izraelské firmy Alvarion. Asi nejoblíbenějšími indoorovými zařízeními řady BreezeMax jsou BMAX-MBST-IDU-2CH-AC BreezeMAX Micro BST a BMAX-MBST-IDU- 2CH-AC BreezeMAX Micro BST. Pro tuto realizaci byla zvolena druhá varianta. Tento model je nejpoužívanější variantou při budování WiMAX systémů. Jako venkovní část byla zvolena BMAX-BST-AU-ODU- 3.5a1 BreezeMAX Base Station.

BMAX-MBST-IDU-2CH-AC je vnitřní část základnové stanice s napájecím zdrojem 220 VAC. Tato jednotka má 2 výstupy k venkovním radiovým částem základnové stanice, poskytuje přenosovou kapacitu až 16 Mbit/s. MBST umožňuje připojit 20 klientských stanic (ve verzi firmware 2.5), na větší počet je nutno provést upgrade. MBST zajišťuje kompletní management všech klientských stanic připojených k MBST.

Základní parametry:

- a) spoje na přímou viditelnost a nepřímou viditelnost (NLOS)
- b) dosah až 25 km v závislosti na regulačních a příjmových podmínkách a použité anténě
- c) norma 802.16d
- d) modulace OFDM
- e) operační mód AP
- f) podpora QoS
- g) centrální management: SNMP, Telnet, RS-232
- h) napájení 230 VAC



Obrázek 5-Indoorová část základnové stanice, zdroj: [29].

Pracovní kmitočty, pásmo:

- 3.399,5 - 3.500 MHz Uplink, 3.499,5 - 3.600 MHz Downlink
- Nastavení středového kmitočtu kanálu s krokem 125 kHz.
- Šířka kanálu 3,5 MHz nebo 1,75 MHz je volitelná softwarově, Duplexní odstup 100 MHz.

- WiMAX 802.16d, Full-Duplex FDD (v jeden okamžik je MBST schopná přijímat od 1 klienta a vysílat k jinému)

Přenosová rychlost, kapacita:

Tabulka 3-Přenosová rychlost a citlivost, zdroj: vlastní.

Modulace	Přenosová rychlost	Citlivost
BPSK1/2	1,41 Mbit/s	100 dBm
BPSK3/4	2,12 Mbit/s	98 dBm
QPSK1/2	2,82 Mbit/s	97 dBm
QPSK3/4	4,23 Mbit/s	94 dBm
QAM16 1/2	5,64 Mbit/s	91 dBm
QAM16 3/4	8,47 Mbit/s	91 dBm
QAM64 2/3	11,29 Mbit/s	83 dBm
QAM 64 3/4	12,71 Mbit/s	83 dBm

Platí pro šířku kanálu 3,5 MHz, pro kanál 1,75 MHz jsou dosažené hodnoty 50%. Využitelná přenosová rychlost je cca 70% uváděných hodnot, tedy cca 9 Mbit/s při nejefektivnější modulaci QAM 64 3/4.

Vysílací výkon:

+13 dBm až +28 dBm (konektor jednotky) regulovaný s krokem 0,1 dB

Jako venkovní část základnové stanice byla zvolena jednotka **BMAX-BST-AU-ODU- 3.5a1 BreezeMAX Base Station**. Jedná se o outdoorovou rádiovou jednotku WiMAX základnové stanice, která je vhodná pro pásmo 3,5GHz. Tato jednotka je určena do spodního subpásma - kanál 1 až 12. Rádiová jednotka pracuje se šířkou kanálu 14 MHz. Veškeré potřebné nastavení se provádí prostřednictvím indoorové části. Jednotka je uzpůsobena pro montáž na stožár a pro propojení s externí anténou (neobsahuje integrovanou anténu). Tato jednotka je propojena s MBST tzv. IOC kabelem (Indoor Outdoor Cable), který přenáší signál i napájení. K tomuto propojení má TNC-female konektor, který je ve spodní části jednotky.

Základní parametry:

- a) norma 802.16d
- b) kmitočet 3.5 GHz
- c) modulace OFDM
- d) přenosová rychlost 16 Mbit/s
- e) výstupní výkon 28 dBm
- f) citlivost -103 dBm
- g) šířka kanálu 3.5 MHz, 1.75 MHz
- h) operační mód AP
- i) centrální management: Telnet, SNMP, RS-232
- j) konektor pro externí anténu - typ: N-female



Obrázek 6-Outdoorová část základnové stanice, zdroj: [29].

K outdoorové části je připojena všesměrová anténa **OMNI-3,5-10**.

Základní parametry:

- a) všesměrová anténa
- b) N-female konektor
- c) kmitočet 3.5 GHz
- d) zisk 10 dBm
- e) horizontální nebo vertikální polarizace
- f) vyzařovací úhel - vertikální: 8°
- g) vyzařovací úhel - horizontální: 360°
- h) způsob upevnění: stožár



Obrázek 7-Externí anténa, zdroj: [29].

Anténa i outdoorová stanice se propojují pomocí koaxiálního RF kabelu a jsou připevněny na stožáru, který je nutno zvlášť dokoupit. Veškeré podrobnosti ohledně instalace systému jsou uvedeny v manuálech dodávaných s přístroji.

Každý klient, který se bude chtít připojit do sítě, musí mít vlastní klientskou stanici. Klientské stanice mají indoorové nebo outdoorové provedení. Klient si může vybrat řešení, které je pro něj nejvýhodnější. Pro klienty, kteří bydlí v panelákové zástavbě a nemají přímé spojení s přístupovým bodem, je vhodná indoorová varianta **BMAX-CPE-DMe-Si-E- 3.5 BreezeMAX**. Systém WiMAX je schopen připojit klientskou stanici za podmínek nepřímé viditelnosti až na vzdálenost 7 km. Naopak pro klienty, kteří splňují

požadavek přímé viditelnosti a chtějí maximálně využít přenosový potenciál, nebo se nachází velmi daleko od základnové stanice, je výhodné použít outdoorovou jednotku **BMAX-CPE-ODU-PRO- DMe-SA-3.5 BreezeMAX**. Tento typ ovšem nemá vlastní napájení a je nutné dokoupit externí zdroj (např. BMAX-CPE-IDU-1D). [29]

Základní vlastnosti klientských zařízení:

- a) norma 802.16d, 802.16e
- b) kmitočet 3.5 GHz
- c) modulace OFDM
- d) přenosová rychlost 16 Mbit/s
- e) výstupní výkon 22 dBm (ODU-PRO 20 dBm)
- f) citlivost -103 dBm
- g) šířka kanálu 3.5 MHz, 1.75 MHz
- h) operační mód: Klient
- i) centrální management: SNMP, Telnet, HTTP, TFTP

4.2.3 Cena provedení

Cena základnové stanice:

Tabulka 4-Cenová kalkulace základnové stanice, zdroj [29].

Název	Cena bez DPH	Cena s DPH
BMAX-MBST-IDU- 2CH-AC BreezeMAX BST	154 000,00 CZK	183 260,02 CZK
BMAX-BST-AU-ODU- 3.5a1 BreezeMAX BST	66 000,00 CZK	78 540,00 CZK
OMNI-3,5-10 - externí anténa	15 840,00 CZK	18 849,60 CZK
IOC kabel (20 m)	1 056,00 CZK	1 256,64 CZK
koaxiální kabel RF (4 m)	52,00 CZK	62,00 CZK
TNC-female konektor (2 kusy)	48,00 CZK	58,00 CZK
přepěťová ochrana F/F bezúdržbová (1 kus)	754,00 CZK	897,26 CZK
N female konektor RG58 (2 kusy)	84,00 CZK	100,00 CZK
držák anténního stožáru	319,30 CZK	380,00 CZK
anténní stožár	277,30 CZK	330,00 CZK
Celková cena	238 430,60 CZK	283 732,00 CZK

V této cenové kalkulaci není započítána případná licence na rozšíření počtu připojitelných stanic. V základní verzi lze připojit k základnové stanici až 20 stanic. Upgrade, který rozšíří

počet připojitelných stanic z 20 na 50, zvýší náklady o 52 000 CZK s DPH. Případné rozšíření o další stanice (z 50 na 150) zvýší celkové náklady o dalších 52 000 CZK. Při celkové cenové kalkulaci je třeba přičíst již zmiňovanou částku 30 000 CZK za přidělené licenční pásmo.

Cena klientské stanice:

Tabulka 5-Cenová kalkulace klientské stanice, zdroj: [29].

Název	Cena s bez DPH	Cena s DPH
BMAX-CPE-DMe-Si-E- 3.5 BreezeMAX	12 100,00 CZK	14 399,00 CZK
UTP 5e (12 m)	182,00 CZK	216,00 CZK
Celková cena	12 282,00 CZK	14 615,00 CZK
nebo		
BMAX-CPE-ODU-PRO- DMe-SA-3.5 BreezeMAX	14 630,00 CZK	17 409,70 CZK
BMAX-CPE-IDU-1D napájecí jednotka	1 320,00 CZK	1 570,80 CZK
přepěťová ochrana F/F bezúdržbová (1 kus)	754,00 CZK	897,26 CZK
STP kabel cat.5e (20 m)	256,00 CZK	301,00 CZK
UTP 5e (12 m)	182,00 CZK	216,00 CZK
Celková cena	17 142,00 CZK	20 395,50 CZK

4.2.4 Vyhodnocení realizace pomocí WiMAX

Wimaxová instalace je cenově poměrně náročná, avšak lze ji financovat přes leasingovou společnost. Díky hlasovým službám se návratnost investice pohybuje v rozmezí osmi až deseti měsíců. Návratnost by byla při poskytování pouze internetové konektivity téměř dvojnásobná. Klienty wimaxových sítí jsou především firmy, které nejen kvůli náročným aplikacím (video, VPN atd.), ale také kvůli zaručení volného pásma 2,4 GHz i 5 GHz využívají služeb, které jsou výrazně kvalitnější a nabízejí jak běžnou internetovou konektivitu, tak i hlasové služby. Masivnějšímu rozšíření do domácností brání poměrně vysoká cena klientské stanice, která je výrazně vyšší než stanice WiFi sítě.

4.3 Realizace pomocí WiFi5

Klasická WiFi je v Jaroměři již velmi rozšířena a velmi často dochází k rušení jednotlivých přenosů. Tento fakt je způsoben přeplněním pásma 2,4 GHz, které je využíváno několika providery. Nejlepší variantou, postavenou na bázi standardů rodiny 802.11, je tzv. WiFi5 (802.11a/h), využívající pásmo 5 GHz. Pásmo 5 GHz je stejně jako pásmo 2,4 GHz bezlicenční, avšak i v tomto pásmu je nutné dodržovat některé podmínky, které jsou uvedeny v tzv. všeobecném oprávnění (dříve generální licence). Využití tohoto pásma přináší nejen kvalitnější přenos, ale i rozsáhlejší oblast pokrytí prostřednictvím jedné základnové stanice. Základnová stanice umožňuje komunikovat s klientem na vzdálenost maximálně několika kilometrů (v praxi asi 2,5 km), což je oproti WiMAX téměř dvacetkrát méně, avšak více než klasická WiFi. Dalším rozdílem oproti předchozí realizaci je požadavek přímé viditelnosti, který zde musí být bezpodmínečně dodržen.

4.3.1 Všeobecné oprávnění

Pro využití frekvencí bezlicenčního pásma není nutné žádné individuální oprávnění (dříve: individuální licence). Místo toho stačí, když správce kmitočtového spektra (ČTU) vydá jedno „společné“ rozhodnutí, u nás ve formě tzv. všeobecného oprávnění (dříve: generální licence), a v něm stanoví podmínky, za kterých může kdokoli předmětné frekvence využít. Rozhodně to tedy neznamená, že by si na frekvencích, určených pro bezlicenční využití, mohl uživatel příslušných kmitočtů dělat naprosto vše.

Pásmo 5GHz je rozděleno na 3 části. Pro jednotlivá pásma platí odlišná pravidla, která jsou blíže specifikována ve všeobecném oprávnění. Ve stručnosti platí:

- pásmo 5,150 až 5,250 GHz: možnost využití pouze uvnitř budov, max. 200 mW EIRP (Effective Isotropic Radiated Power, alias „efektivní izotropický vyzářený výkon“).
- pásmo 5,250 – 5,350 GHz: možnost využití pouze uvnitř budov, max. 200 mW EIRP s regulací výkonu, jinak o 3 dBm méně
- pásmo 5,47 až 5,725 GHz: možnost využití i vně budov, max. 1 W EIRP s regulací výkonu a výběrem frekvencí (DFS a TPC), jinak o 3 dBm méně

4.3.2 Komponenty

Postup výstavby sítě pomocí WiFi5 je analogický s předchozím postupem při budování WiMAX sítě. Vzhledem ke skutečnosti, že WiFi5 vyžaduje přímou viditelnost, má daleko menší dosah komunikace a lze připojit méně klientů než u WiMAX přístupových bodů, je nutné vybudovat více AP. Oproti předchozímu řešení byl přidán jeden AP, který byl umístěn na střeše panelového domu ležícím na protějším konci města (viz spodní bod na obrázku).



Obrázek 8-Rozmístění AP, zdroj: [33].

Na trhu je nabízena celá řada produktů na bázi 802.11a/h, které připadají v potaz při budování metropolitní sítě 5 GHz. Lze si vybrat mezi outdoorovým a indoor řešením. V tomto případě je nejvhodnější outdoorové řešení **WHA-5500CPE-NT**, které je určeno pro práci jak v 2.4 GHz pásmu, tak i v 5 GHz. To znamená, že lze rychle vytvořit Point-to-Point spojení mezi budovami nebo bezdrátovými klienty. S výkonným Atheros 11a/b/g rádiem lze komunikovat i na vzdálenosti větší než 5 kilometrů. Integrovaný 802.3af PoE

(Power over Ethernet) umožňuje napájení pomocí ethernet kabelu na vzdálenost až 100 metrů. To dělá fyzickou instalaci zařízení daleko jednodušší.

Základní parametry:

Standardy:

- Podpora 802.11a/11b/11g/Super A/Super G mode (Atheros Proprietary)
- IEEE 802.3af (PoE) až 100 metrů CAT 5 kabelu
- 802.11h vyhovující

Anténí konektor:

N-Type Female konektor

Frequency Band:

- ETSI: 802.11a: 5.470 to 5.725 GHz
- USA: 802.11a: 5.725 to 5.825 GHz
- ETSI: 802.11b/g: 2.412 to 2.472 GHz
- USA: 802.11b/g: 2.412 to 2.462 GHz



Obrázek 9-AP, zdroj: [31].

Zdroj:

- External Power Adapter: input 100~240Vac/50~60Hz , output 5.5 V/2.5 A
- Power over Ethernet (802.3af), do 100 m CAT 5

Přenosové rychlosti:

- IEEE802.11a: 6/9/12/18/24/36/48/54 Mbit/s
- IEEE802.11g: 6/9/12/18/24/36/48/54 Mbit/s
- IEEE802.11b: 1/2/5.5/11 Mbit/s

Modulace:

- 802.11a Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)
- 802.11g Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)
- 802.11b Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)

Výkon:

802.11a

- 54 Mbps @ 17dBm
- 48 Mbps @ 18dBm
- 36 Mbps @ 19 dBm
- 6, 9, 12, 18, 24 Mbps @ 20 dBm

802.11g

- 54 Mbps @ 17 dBm
- 48 Mbps @ 18 dBm
- 36 Mbps @ 20 dBm
- 6, 9, 12, 18, 24 Mbps @ 20 dBm

802.11b

- 1, 2, 5.5, 11 Mbit/s @ 20 dBm

WHA-5500CPE-NT je vybaven více pracovními bezdrátovými módy. V tomto případě jsou nejdůležitější funkce bridge, umožňující propojit 2 vzdálené body a AP mód, který je určen pro hotspot.

K tomuto zařízení je pomocí koaxiálního kabelu připojena všesměrová anténa **WAE-509GP**, která je umístěna na stožár.

Základní parametry:

- a) všesměrová anténa
- b) pásmo 5250 - 5900 MHz
- c) N-female konektor
- d) zisk 9 dBm
- e) horizontální nebo vertikální polarizace
- f) vyzařovací úhel - vertikální: 15°
- g) vyzařovací úhel - horizontální: 360°
- h) způsob upevnění: stožár



Obrázek 10-Všesměrová anténa, zdroj: [31].

Na straně klienta lze použít sadu **OvisLink WLA-5000AP v.3 + Interline 19dBi 5GHz**, která obsahuje klientské zařízení i panelovou anténu. Sada neobsahuje propojovací kabel, který je nutno dokoupit a napájecí zdroj pro klientské zařízení (např. OvisLink POE-105 Power).

Základní vlastnosti:

- a) norma 802.11a, 802.11b, 802.11g
- b) kmitočty 2.412 - 2.472 GHz, 5.15 - 5.35 GHz, 5.47 - 5.725 GHz
- c) modulace OFDM
- d) přenosové rychlosti: 54, 48, 36, 24, 18, 12, 9, 6 Mbit/s
- e) výstupní výkon max. 17 dBm
- f) šířka kanálu 40 MHz, 20 MHz
- g) operační mód: AP, Klient
- h) centrální management: SNMP, http
- i) konektor ext. antény RSMA female



Obrázek 11-Klientské zařízení, zdroj: [30].

K tomuto zařízení je pomocí propojovacího kabelu připojena Anténa **Interline 19dBi 5GHz**.

Základní vlastnosti:

- a) panelová anténa
- b) pásmo 5250 - 5900 MHz
- c) N-female konektor
- d) zisk 19 dBm
- e) horizontální nebo vertikální polarizace
- f) vyzařovací úhel - vertikální: 16°
- g) vyzařovací úhel - horizontální: 16°
- h) způsob upevnění: stožár



Obrázek 12-Panelová anténa, zdroj: [30].

4.3.3 Cena provedení

Cena základnové stanice:

Tabulka 6-Kalkulace nákladů AP, zdroj: [30],[31].

Název	Cena s bez DPH	Cena s DPH
WHA-5500CPE-NT	2 948,00 CZK	3 509,00 CZK
WAE-509GP	1 428,00 CZK	1 700,33 CZK
OvisLink POE-105 Power Over Ethernet 5V	899,00 CZK	1 069,81 CZK
IOC kabel (20 m)	1 056,00 CZK	1 256,64 CZK
koaxiální kabel RF (4 m)	52,00 CZK	62,00 CZK
přepěťová ochrana	810,00 CZK	963,90 CZK
N female konektor RG58 (2 kusy)	84,00 CZK	100,00 CZK
držák anténního stožáru	319,30 CZK	380,00 CZK
anténní stožár	277,30 CZK	330,00 CZK
Celková cena	7 873,30 CZK	9 370,00 CZK

Tato cena zahrnuje náklady na jeden přístupový bod, a proto skutečná cena bude dvojnásobná (cca 19 700 CZK). V případě, že by některé lokality byly nedostatečně pokryty, bylo by nutné zvýšit počet přístupových bodů tak, aby všechny městské části byly pokryty signálem. Současné metropolitní sítě v Jaroměři pracují se dvěma přístupovými body, a proto v této realizaci byly shodně zvoleny také dva AP.

Cena klientské stanice:

Tabulka 7-Kalkulace nákladů klientské stanice, zdroj: [30].

Název	Cena s bez DPH	Cena s DPH
Sada: OvisLink WLA-5000AP v.3 + Interline 19dBi 5GHz	2 563,87 CZK	3 051,00 CZK
500 cm propojovací kabel	268,00 CZK	319,00 CZK
OvisLink POE-105 Power Over Ethernet 5V	899,00 CZK	1 069,81 CZK
přepěťová ochrana	810,00 CZK	963,90 CZK
UTP 5 (0,5 m)	13,60 CZK	16,00 CZK
Celková cena	4 643,00 CZK	5 525,00 CZK

4.3.4 Vyhodnocení realizace pomocí WiFi5

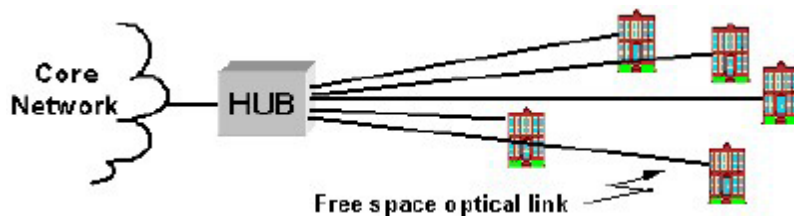
Cenová náročnost takto řešené sítě je velmi malá a není nutné ji financovat pomocí leasingu, jako u předešlé realizace. Klienty těchto sítí jsou především domácnosti a malé firmy, které nevyžadují dostupnost nad 99,9 % (tj. výpadek maximálně 9 hodin za rok). Cena měsíčních poplatků je velmi příznivá a stále se snižuje.

4.4 Realizace pomocí bezdrátových optických systémů

Bezdrátové optické sítě jsou záležitostí výhradně firemní a pro poskytování běžného připojení pro domácnosti a malé firmy se absolutně nehodí. Tyto sítě jsou alternativou fixních optických sítí. Bezdrátová optická zařízení mohou komunikovat na vzdálenost až několika kilometrů (za dobrého počasí až 5 km), avšak s požadavkem na přímou viditelnost. Sítě realizované pomocí FSO (Free Space Optics) nabízejí vysokou přenosovou rychlost (10 Mbit/s - 2,5+ Gbit/s), vzájemně se neruší, nevyžadují kmitočtových licencí, nevyžadují povolení ke kopání ulic, nabízejí velmi jednoduchou instalaci, přenositelnost a flexibilitu řešení (interní i externí umístění zařízení). Dále se tyto sítě vyznačují malou spotřebou energie, odolností vůči změnám teplot i počasí (vyjma mlhy), bezpečností provozu i přenosu. Oproti fixním optickým sítím jsou tyto bezdrátové řešení nákladově výhodnější avšak cenově stále málo dostupné.

4.4.1 Komponenty

V předchozích realizacích mohl jeden přístupový bod obsloužit velké množství klientů, avšak v tomto řešení je vždy jedné optické stanici přidělen jeden klient, z čehož vyplývá finanční nákladnost takto řešených sítí. Pro potřeby metropolitní sítě je třeba vybudovat mnohabodový spoj (obrázek 13) - obsahuje stanice, rozbočovač a zařízení u zákazníka. Rozbočovač je umístěn na vysoké budově a stanice jsou umístěny v okolí. Laserové paprsky se vysílají hvězdicovitě k zákazníkům do okolních budov.



Obrázek 13-Topologie optické sítě, zdroj: lupa.cz.

Jak již bylo uvedeno, základnová stanice musí být vybavena takovým počtem optických zařízení, aby bylo možno uspokojit všechny klienty. V této realizaci je počítáno s 10 klienty. A proto je nutné pořídit 10 laserových produktů, které jsou připojeny do rozbočovače. Neznámějším dodavatelem laserových produktů je firma LaserBit, která nabízí celou řadu výrobků. Pro účely této realizace jsou použity zařízení typu **LaserBit LINK Modular Series (1500 m)**, která umožňují komunikovat na vzdálenost až 1,5 km a pokryjí tak celé město s výjimkou několika odlehlých částí města, pro které by bylo nutno vybudovat další základnový bod např. jako v realizaci WiFi5. Zařízení (na každé straně) se skládá z vlastní laserové hlavy umístěné do robustní ocelové schránky a menší propojovací jednotky. Obě komponenty jsou spojeny kabelem. Do propojovací jednotky se přivádí napájecí napětí 220V a je zde UTP konektor pro připojení kabelu počítačové sítě. Zařízení samo o sobě neumožňuje vzdáleně monitorovat jeho stav (např. sílu signálu, stav vysílačů apod.) po počítačové síti. Výrobce nabízí externí jednotku managementu, která tyto údaje zpřístupňuje přes standardní protokol SNMP a HTTP a také přes rozhraní proprietárního klienta. Laserová hlava a propojovací jednotka jsou umístěny venku, volitelně připojitelná jednotka managementu se umísťuje do vnitřních prostor a s laserovou hlavou je propojena kabelem RS-485.

Základní vlastnosti:

- a) přenosová rychlost 100 Mbit/s
- b) dosah až 1500 m
- c) full duplex
- d) velký výběr průmyslu Standardní rozhraní
- e) výkon 70 mW
- f) vlnová délka 785 nm



Obrázek 14-LaserBit LINK Modular Series (1500 m), zdroj: [32].

Prodejci (v ČR i v zahraničí) uvádějí na internetových stránkách velmi málo informací o tomto produktu a většina z nich uvádí naprosto totožné informace pouze přeložené do příslušného jazyka.

Celé zařízení musí být velmi dobře upevněno (nejlépe do pláště budov), aby nedocházelo ke zhoršení přenosových parametrů.

K propojení jednotlivých laseru slouží switch D-Link DGS-1016D 16-Port 10/100/1000Mb/s GigabitEthernet Switch.

- a) Základní parametry:
- b) Počet portů 1000BaseT (RJ45) 16 ks
- c) Podporované protokoly a standardy • Auto MDI/MDI-X
 - IEEE 802.3x - Flow Control
 - IEEE 802.3 - 10BaseT
 - IEEE 802.3u - 100BaseTX
 - IEEE 802.3ab - 1000BaseT
- d) half/full duplex
- e) velikost adresní tabulky MAC 8000
- f) přepínací algoritmus store-and-forward
- g) rychlost sběrnice 32 GB/s
- h) paměťový buffer 512 kB
- i) vrstva (Layer) přepínání 2
- j) možnost stohování Ne
- k) typ počítačové skříně DESKTOP
- l) maximální spotřeba energie 28 Watt



Obrázek 15-Switch D-Link DGS-1016D, zdroj: [30].



Obrázek 16-Upevnění stanice, zdroj: [32].

Na straně klienta je umístěna stejné optické zařízení jako na základnové stanici (LaserBit LINK Modular Series 1500 m). Klientské i základnové zařízení musí být vzájemně zaměřeno, aby nedocházelo k výpadkům komunikace. Příklad upevnění laseru do pláště budovy je na obrázku 16. [31],[32]

4.4.2 Cena provedení

Cena základnové stanice:

Tabulka 8-Náklady základnové stanice, zdroj:[30].

Název	Cena s bez DPH	Cena s DPH
LaserBit LINK Modular Series 1500 m (10)	2 542 831,90 CZK	3 025 970,00 CZK
D-Link DGS-1016D	3 933,11 CZK	4 680,00 CZK
úchyt k plášti budovy (10 kusů)	9 200,00 CZK	10 948,00 CZK
UTP 5e (305 m)	1 770,00 CZK	2 106,00 CZK
konektor RJ 45 (20 kusů)	100,00 CZK	120,00 CZK
full krytka konektoru RJ45 (20 kusů)	66,00 CZK	80,00 CZK
Celková cena	2 557 801,01 CZK	3 043 904,00 CZK

Cena klientské stanice:

Tabulka 9-Náklady klientského zařízení, zdroj: [30].

Název	Cena s bez DPH	Cena s DPH
LaserBit LINK Modular Series 1500 m	254 283,19 CZK	302 597,00 CZK
UTP 5e (12 m)	182,00 CZK	216,00 CZK
úchyt k plášti budovy	920,00 CZK	1 094,80 CZK
Celková cena	255 385,19 CZK	303 907,80 CZK

4.4.3 Vyhodnocení realizace pomocí FSO

Z výše uvedených tabulek je patrné, že takto realizovaná síť je velmi nákladná a je určena opravdu pouze pro movitější klientelu. Při výstavbě této sítě mohly být použity i levnější alternativy laseru, avšak bylo zvoleno takové zařízení, které zvládne pokrýt i vzdálené budovy. Alternativní možnosti laseru jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka 10-Některé typy laserů, zdroj: [30].

LaserBitLINK ModularSeries(1500 m)	302 597,00 CZK
LaserBitPRONTO Series(1000 m)	241 397,00 CZK
LaserBitPINTO Series(500 m)	130 965,00 CZK
LaserBytePICO-X-P (200 m)	79 450,00 CZK

4.5 Vyhodnocení jednotlivých řešení

Všechna uvedená řešení mají své přednosti a své nevýhody. Pro běžného uživatele je nejlepší volbou připojení pomocí sítě na bázi WiFi5, které nabízí kvalitní připojení za velmi příznivou cenu. Měsíční poplatky u takovýchto sítí jsou pro klienta v řádu stokorun. Síť s WiFi5 pracují v bezlicenčním pásmu a pro providery odpadá nutnost žádat o vlastní licenci, což vede k nízkým nákladům na provoz. Největší nevýhodou takto řešených sítí je nestabilita komunikace, která je zapříčiněna přehlcením bezlicenčních pásem.

Pro klienty, kteří požadují kvalitnější služby, než poskytují klasické sítě na bázi WiFi, je vhodné připojení pomocí WiMAX, které na rozdíl od WiFi nevyžaduje přímou viditelnost, nabízí vyšší přenosovou rychlost, a v neposlední řadě podporu kvality QoS. Pořizovací cena clientského zařízení je téměř desetkrát vyšší než je tomu u WiFi5. Rovněž náklady na vybudování základnové stanice jsou řádově vyšší. Pro internetové providery je WiMAX lukrativní také proto, že mohou nabízet hlasové služby (VOIP).

Laserové řešení není zdaleka tak rozšířené jako předešlé dvě alternativy, avšak i tato varianta nabízí své uplatnění a to zejména v propojení fyzicky oddělených částí podniku či poboček. Bezdrátová optika nabízí výhodné propojení podnikových lokálních sítí v různých budovách. V rámci omezeného dosahu FSO umožňuje obejít nutnost fyzické kabeláže mezi budovami, která může vyžadovat složitá schvalování (nebo dokonce zákaz) s ohledem na místní pozemní komunikace nebo památkovou péči. Tato varianta nabízí rychlý i bezpečný přenos na vzdálenosti stovky metrů. Nevýhodou tohoto řešení je velká finanční nákladnost.

Z výše uvedených skutečností vyplývá, že každá varianta je vhodná pro odlišné případy řešení a nejde proto jednoznačně říci, která alternativa je nejlepší.

Přehled jednotlivých nákladů na pořízení základnové stanice uvádí následující tabulka.

Tabulka 11-Přehled nákladnosti jednotlivých základnových stanic, zdroj: sumarizace tabulek 5, 7, 9.

Název	Cena s bez DPH	Cena s DPH
WiMAX základnová stanice	238 430,60 CZK	283 732,00 CZK
WiFi5 základnová stanice	7 873,30 CZK	9 370,00 CZK
Laserová základnová stanice (pro 10 klientů)	2 557 801,01 CZK	3 043 904,00 CZK

Ceny klientských stanic uvádí tabulka 12.

Tabulka 12-Přehled nákladnosti jednotlivých základnových stanic, zdroj: sumarizace tabulek 6, 8, 10.

Název	Cena s bez DPH	Cena s DPH
WiMAX klientská stanice	12 282,00 CZK	14 615,00 CZK
WiFi5 klientská stanice	4 643,00 CZK	5 525,00 CZK
Laserová klientská stanice	255 385,19 CZK	303 907,80 CZK

5. Závěr

V úvodu této práce byl uveden stručný výčet nejznámějších bezdrátových technologií. Tato část má za úkol seznámit s jejich základními vlastnostmi a tyto poznatky následně využít v praktickém návrhu bezdrátové sítě v Jaroměři.

Prvním úkolem v praktickém řešení bylo stanovit oblast pokrytí, najít co nejlepší umístění pro základnovou stanici a následně určit ty technologie, které jsou schopny tuto oblast pokrýt a zároveň budou nabízet dostatečně kvalitní služby. Tyto požadavky splňovaly technologie WiMAX, WiFi5 a optické systémy.

U řešení sítě pomocí WiMAX byl uveden stručný návod, jak požádat o licenci ČTU, která je pro pásmo 3,5 GHz nezbytná. Následně bylo nutné vybrat patřičné komponenty pro vybudování základnové a klientské stanice. Celý projekt byl následně finančně vykalkulován a vyhodnocen.

Při řešení pomocí WiFi5 bylo nutné vyřešit umístění dalšího přístupového bodu. Poté byly uvedeny podmínky, za kterých lze pásmo 5 GHz využívat. V této podkapitole byla opět navržena klientská a základnová stanice s následným finančním vykalkulováním a vyhodnocením.

Nakonec byla síť realizována pomocí laserových optických systémů. Byly uvedeny přístroje, které lze použít při stavbě této sítě. Cenově je vybudování této sítě nákladné, a proto byly uvedeny některé dostupnější alternativy laseru. Následně bylo celé provedení cenově vyčísleno a posouzeno.

Na závěr celé práce je uvedeno porovnání všech vybudovaných základnových a klientských stanic.

Přínosem celé práce je získání základního přehledu o jednotlivých technologiích, jejich poznání a získání poznatků o finanční nákladnosti jednotlivých projektů, které využívají právě tyto technologie. Dále tato práce přináší základní poznatky o podmínkách získání licence pro pásmo 3,5 GHz a základní informace, které je nutné znát pro provoz bezdrátových systémů v bezlicenčním pásmu.

Seznam použitých zdrojů

- [1] PETERKA, Jiří. Připojení v Česku: jaká je realita? [online]. 2008 [cit. 2009-02-04]. Dostupný z WWW: <<http://www.earchiv.cz/b08/b1204001.php3>>.
- [2] CZSO: Internetová infrastruktúra [online]. 2008 [cit. 2009-02-04]. Dostupný z WWW: <http://www.czso.cz/csu/redakce.nsf/i/internetova_infrastruktura_2007_12>.
- [3] PETERKA, Jiří. Báječný svět počítačových sítí, část II. - Taxonomie, aneb: škatulkování [online]. 2005 [cit. 2009-02-04]. Dostupný z WWW: <<http://www.earchiv.cz/b05/b0300100.php3>>.
- [4] PETERKA, Jiří. Taxonomie počítačových sítí [online]. 2007 [cit. 2009-02-05]. Dostupný z WWW: <<http://www.earchiv.cz/l218/nahled.php3?l=2&me=1>>.
- [5] PETERKA, Jiří. Bezdrátové přenosové cesty [online]. 1998 [cit. 2009-02-06]. Dostupný z WWW: <<http://www.earchiv.cz/a98/a842k180.php3>>.
- [6] PUŽMANOVÁ, Rita. Bezdrátové optické sítě [online]. 2003 [cit. 2009-02-06]. Dostupný z WWW: <<http://www.lupa.cz/clanky/bezdratove-opticke-site/>>.
- [7] PETERKA, Jiří. Bezdrátové přenosy [online]. 1996 [cit. 2009-02-15]. Dostupný z WWW: <<http://www.earchiv.cz/a96/a647k150.php3>>.
- [8] PUŽMANOVÁ, Rita. Co takhle magnetické bezdrátové sítě? [online]. 2004 [cit. 2009-02-15]. Dostupný z WWW: <<http://www.lupa.cz/clanky/co-takhle-magneticke-bezdratove-site/>>.
- [9] RAAB, Stefan. Cisco: Mobilní IP technologie a aplikace. Praha: Grada, 2007. ISBN 978-80-247-1611-4. kapitola 1, s. 23-33.

- [10] PETERKA, Jiří. Druhy bezdrátových sítí [online]. 2001 [cit. 2009-02-20]. Dostupný z WWW: <<http://www.earchiv.cz/b01/b1100012.php3>>.
- [11] PETERKA, Jiří. Celulární (buňkový) princip [online]. 2000 [cit. 2009-02-25]. Dostupný z WWW: <<http://www.earchiv.cz/a008s200/a008s201.php3>>.
- [12] Centernet: Charakteristika trunkové sítě a hlasové služby [online]. 2006 [cit. 2009-02-26]. Dostupný z WWW: <<http://www.centernet.cz/1255/radiova-sit/>>.
- [13] PUŽMANOVÁ, Rita. Osobní sítě -- Bluetooth a IEEE 802.15 [online]. 2002 [cit. 2009-03-02]. Dostupný z WWW: <<http://www.lupa.cz/clanky/osobni-site-bluetooth-a-ieee-802-15/>>.
- [14] Xperia: Mobilní technologie [on-line]. 2009. Dostupný na WWW: <<http://www.xperia-x1.cz/mobilni-technologie.html>>
- [15] PUŽMANOVÁ, Rita. ZigBee [online]. 2003 [cit. 2009-03-08]. Dostupný z WWW: <<http://www.lupa.cz/clanky/zigbee/>>.
- [16] VOJÁČEK, Antonín. Bezdrátová komunikace ZigBee a obvody Freescale [online]. 2007 [cit. 2009-03-09]. Dostupný z WWW: <<http://hw.cz/novinky/freescale/art1997-bezdratova-komunikace-zigbee-obvody-freescale.html>>.
- [17] BRADÁČ, Zdeněk. Bezdrátový komunikační standard ZigBee [online]. 2005 [cit. 2009-03-11]. Dostupný z WWW: <<http://www.automatizace.cz/article.php?a=638>>.
- [18] PUŽMANOVÁ, Rita. UltraWideBand [online]. 2004 [cit. 2009-03-11]. Dostupný z WWW: <<http://www.lupa.cz/clanky/ultrawideband/>>.
- [19] Pužmanová, R. Širokopásmový internet: Přístupové a domácí sítě. Computer Press. Brno. 2004. ISBN: 80-251-0139-8.

- [20] KASÍK, Martin. Taxonomie počítačových sítí [online]. 2006 [cit. 2009-03-15]. Dostupný z WWW: <http://radio.feld.cvut.cz/personal/mikulak/MK/MK06_semestralky/HIPERLAN_KasikM.pdf>.
- [21] PUŽMANOVÁ, Rita. Alternativní bezdrátové lokální sítě - HIPERLAN [online]. 2002 [cit. 2009-03-15]. Dostupný z WWW: <<http://www.lupa.cz/clanky/alternativni-bezdratove-lokalni-site-hiperlan/>>.
- [22] PETERKA, Jiří. Vyznáte se ve standardech? [online]. 2002 [cit. 2009-03-17]. Dostupný z WWW: <<http://www.earchiv.cz/b02/b0900014.php3>>.
- [23] Zandl, P. WiFi: Praktický průvodce. Computer Press. Brno, 2006. 204 s. ISBN 80-7226-632-2.
- [24] PUŽMANOVÁ, Rita. 802.11g: rychlejší WiFi? [online]. 2004 [cit. 2009-03-20]. Dostupný z WWW: <<http://www.lupa.cz/clanky/802-11g-rychlejsi-wifi/>>.
- [25] Extranet: Bezdrátové připojení k síti [online]. 2004 [cit. 2009-03-21]. Dostupný z WWW: <<http://www.extranet.cz/bezdratove-pripojeni-k-siti.html>>.
- [26] PETERKA, Jiří. WiMAX, aneb bezdrátový broadband pro masy [online]. 2005 [cit. 2009-03-23]. Dostupný z WWW: <<http://www.earchiv.cz/b05/b0500302.php3>>.
- [27] PETERKA, Jiří. Standardizace WiMAX-u, aneb: není WiMAX jako WiMAX [online]. 2005 [cit. 2009-03-23]. Dostupný z WWW: <<http://www.earchiv.cz/b05/b0500303.php3>>.
- [28] PUŽMANOVÁ, Rita. Wimax pro pevný i mobilní přístup [online]. 2006 [cit. 2009-03-23]. Dostupný z WWW: <<http://www.lupa.cz/clanky/wimax-kompletni-pro-pevny-i-mobilni-pristup/>>.
- [29] Intelek [on-line]. 2009. Dostupný na WWW: <<http://www.intelek.cz/>>.

- [30] WiFi.ASPA.cz [on-line]. 2009. Dostupný na WWW: <<http://www.wifi.aspa.cz/>>.
- [31] Air Live [on-line]. 2009. Dostupný na WWW:
<http://cz.airlive.com/product/product_2.jsp?pcid=PC1217313596115#PC1217383356032>.
- [32] WIMMER, Miloslav, ČÍŽEK, Jaroslav. Laserový spoj [online]. 2004 [cit. 2009-03-28]. Dostupný z WWW:
<<http://www.cesnet.cz/doc/techzpravy/2004/laserbit/>>.
- [33] Mapy.cz [on-line]. 2009. Dostupný na WWW: <<http://www.mapy.cz/>>.

SEZNAM OBRÁZKŮ

OBRÁZEK 1-POČTY PŘÍPOJEK ADSL A WI-FI (+FWA), ZDROJ: [1]	10
OBRÁZEK 2-RYCHLOST VERSUS SPOTŘEBA ENERGIE, ZDROJ: LUPA.CZ	17
OBRÁZEK 3-PŘEHLED TOPOLOGIÍ, ZDROJ: [18].	19
OBRÁZEK 4-LOKALITA JAROMĚŘ, VODÁRENSKÁ VĚŽ, ZDROJ: [34].....	27
OBRÁZEK 5-INDOOROVÁ ČÁST ZÁKLADNOVÉ STANICE, ZDROJ: [30].....	31
OBRÁZEK 6-OUTDOOROVÁ ČÁST ZÁKLADNOVÉ STANICE, ZDROJ: [30].	33
OBRÁZEK 7-EXTERNÍ ANTÉNA, ZDROJ: [30].....	33
OBRÁZEK 8-ROZMÍSTĚNÍ AP, ZDROJ: [34].....	37
OBRÁZEK 9-AP, ZDROJ: [32].....	38
OBRÁZEK 10-VŠESMĚROVÁ ANTÉNA, ZDROJ: [31].....	39
OBRÁZEK 11-KLIENSKÉ ZAŘÍZENÍ, ZDROJ: [31].	40
OBRÁZEK 12-PANELOVÁ ANTÉNA, ZDROJ: [31].	40
OBRÁZEK 13-TOPOLOGIE OPTICKÉ SÍŤE, ZDROJ: LUPA.CZ.	43
OBRÁZEK 14-LASERBIT LINK MODULAR SERIES (1500 M), ZDROJ: [33].....	43
OBRÁZEK 15-SWITCH D-LINK DGS-1016D, ZDROJ: [31].....	44
OBRÁZEK 16-UPEVNĚNÍ STANICE, ZDROJ: [33].	44

SEZNAM TABULEK

TABULKA 1-POROVNÁNÍ TECHNOLOGIÍ WPAN, ZDROJ: VLASTNÍ.....	20
TABULKA 2-POROVNÁNÍ STANDARDŮ, ZDROJ: VLASTNÍ.	24
TABULKA 3-PŘENOSOVÁ RYCHLOST A CITLIVOST, ZDROJ: VLASTNÍ.	32
TABULKA 4-CENOVÁ KALKULACE ZÁKLADNOVÉ STANICE, ZDROJ [30].....	34
TABULKA 5-CENOVÁ KALKULACE KLIENTSKÉ STANICE, ZDROJ: [30].....	35
TABULKA 6-KALKULACE NÁKLADŮ AP, ZDROJ: [31].	41
TABULKA 7-KALKULACE NÁKLADŮ KLIENTSKÉ STANICE, ZDROJ: [31].	41
TABULKA 8-NÁKLADY ZÁKLADNOVÉ STANICE, ZDROJ:[31].	45
TABULKA 9-NÁKLADY KLIENTSKÉHO ZAŘÍZENÍ, ZDROJ: [31].....	45
TABULKA 10-NĚKTERÉ TYPY LASERŮ, ZDROJ: [31].	45
TABULKA 11-PŘEHLED NÁKLADNOSTI JEDNOTLIVÝCH ZÁKLADNOVÝCH STANIC, ZDROJ: SUMARIZACE TABULEK 5, 7, 9.....	46
TABULKA 12-PŘEHLED NÁKLADNOSTI JEDNOTLIVÝCH ZÁKLADNOVÝCH STANIC, ZDROJ: SUMARIZACE TABULEK 6, 8, 10.....	47