

Univerzita Pardubice
Fakulta ekonomicko-správní

Sítě WiMAX
Tomáš Příborský

Bakalářská práce
2008

Univerzita Pardubice
Fakulta ekonomicko-správní
Ústav systémového inženýrství a informatiky
Akademický rok: 2007/2008

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Tomáš PŘÍBORSKÝ**
Studijní program: **B6209 Systémové inženýrství a informatika**
Studijní obor: **Regionální a informační management**

Název tématu: **Sítě WIMAX**

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

- popis technologie
- srovnání WIMAX s ostatními technologiemi
- uplatnění v praxi, konkurence
- certifikované WIMAX produkty

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

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


Seznam odborné literatury:

Nuaymi L., WIMAX: Technology for Broadband Wireless Access, John Wiley & Sons, 2007, ISBN 978-0-470-02808-7

Ahanson Syed, Ilyas Mohhamad, WIMAX Technologies, Performance Analysis, and QoS, CRC Press, 2007, ISBN 1-4200-4525-3

Ahanson Syed, Ilyas Mohhamad, WIMAX Applications, CRC Press, 2007, ISBN 1-4200-4547-4

Vedoucí bakalářské práce:


Ing. Oldřich Horák

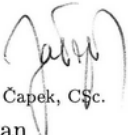
Ústav systémového inženýrství a informatiky

Datum zadání bakalářské práce:

25. října 2007

Termín odevzdání bakalářské práce:

19. května 2008


prof. Ing. Jan Čapek, CSc.

děkan

L.S.

doc. Ing. Pavel Petr, Ph.D.

vedoucí ústavu

V Pardubicích dne 25. října 2007



SOUHRN

Bakalářská práce je věnována technologii pro bezdrátové sítě WiMAX. V první části práce je pozornost věnována teoretickému popisu, včetně srovnání s podobnými bezdrátovými technologiemi. Druhá část obsahuje návrh stavby sítě WiMAX pro středočeskou vesnici Mochov. Součástí návrhu je provedena kalkulace stavby, s konkrétním výběrem a popisem certifikovaných produktů WiMAX.

KLÍČOVÁ SLOVA

WiMAX, bezdrátová síť, VoIP, kamerový systém, Internet

TITLE

WiMAX Networks

ABSTRACT

This Bachelor's Degree Project deals with the wireless network WiMAX technology. In the first part, main attention is given to the theoretical description including comparison with similar wireless networks. The second part of the project contains a design of WiMax network installation in a Central Bohemian village of Mochov. A calculation of the installation with a detailed list of chosen units including the description of certified WiMax products is also a part of the project.

KEYWORDS

WiMAX, Wireless Network, VoIP, Camera System, Internet

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval Ing. Oldřichu Horákovi za cenné připomínky a odborné rady, kterými přispěl k vypracování této bakalářské práce. Dále děkuji Obecnímu úřadu Mochov za poskytnutí podkladů k vypracování praktické části práce.

OBSAH

1	ÚVOD	7
2	POPIS TECHNOLOGIE	8
2.1	IEEE.....	9
2.2	IEEE 802.16	10
2.2.1	<i>Typy síťové topologie</i>	11
2.2.2	<i>Fyzická vrstva</i>	11
2.2.3	<i>Vrstva MAC</i>	14
2.2.4	<i>Bezpečnost ve IEEE 802.16</i>	15
2.3	IEEE 802.16E – MOBILNÍ WIMAX	19
3	OSTATNÍ TECHNOLOGIE	22
3.1	WiFi	22
3.2	HSDPA	23
3.3	POROVNÁNÍ S WIMAX.....	24
4	SÍŤ WIMAX V OBCI MOCHOV	25
4.1	INFORMATIZACE OBCE	25
4.2	STAVBA SÍŤE.....	25
4.2.1	<i>Základnová stanice</i>	26
4.2.2	<i>Klientská stanice</i>	27
4.2.3	<i>Kalkulace nákladů na stavbu základové stanice</i>	28
4.2.4	<i>Žádost o přidělení licence v pásmu 3,5 GHz</i>	29
4.3	PRAKTICKÉ VYUŽITÍ WIMAX SÍŤE	32
4.3.1	<i>VoIP</i>	32
4.3.2	<i>Kamerový systém</i>	36
4.3.3	<i>Internet</i>	39
5	ZÁVĚR	43
	POUŽITÁ LITERATURA	44
	SEZNAM ZKRATEK	46
	SEZNAM OBRÁZKŮ	48
	SEZNAM TABULEK	49

1 ÚVOD

Požadavky na širokopásmové služby v dnešní době zažívají exponenciální růst. Tradiční řešení, která poskytují vysokorychlostní širokopásmový přístup, využívají „drátovou“ technologii, jako jsou například klasické kabely, ethernet a optická vlákna. Vybudování a udržování těchto sítí je však velice obtížné, obzvláště pak ve venkovských a těžce přístupných oblastech. Telekomunikační firmy pak často nejsou příliš ochotny do těchto oblastí instalovat nezbytné vybavení, a to zejména kvůli nízkému potenciálu a malému zisku.

Právě díky potřebě efektivnější komunikace, a to především bez jakýchkoliv fyzických omezení, byl telekomunikační svět začátkem nového tisíciletí svědkem obrovského rozmachu bezdrátové širokopásmové technologie. Díky bezdrátové komunikaci dnes lidé mohou být ve spojení se svými blízkými, přáteli a spolupracovníky. Mohou komunikovat, pracovat, ale i hrát si a připojovat se prakticky odkudkoliv a kdykoli chtějí.

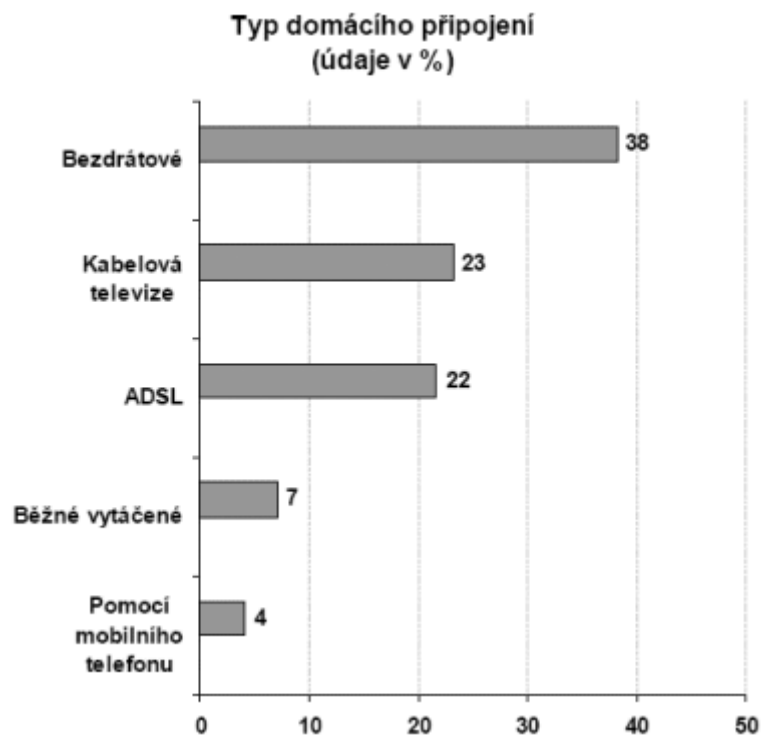
O lidské společnosti lze v dnešní době mluvit jako o společnosti informační. Informace lze vedle materiálových, energetických a finančních zdrojů, řadit k hlavním faktorům, které ovlivňují pokrok ve všech oborech lidské činnosti. Efektivní způsoby nakládání s informacemi jsou nezbytné pro řídicí a rozhodovací procesy. Zpracování informací je čím dál tím více automatizováno, k čemuž přispívá neustálý vývoj výpočetní techniky, a to jak hmotné tak nehmotné.

Vzhledem ke skutečnosti, že jsem autorem oficiálních stránek středočeské obce Mochov, se kterou dlouhodobě spolupracuji, rozhodl jsem se vypracovat tuto práci jako studii na zlepšení informatizace právě této obce. Cílem bylo přivést do obce kvalitní internetový signál za přijatelnou cenu, pro relativně jednoduchou možnost připojení občanů. Instalací sítě WiMAX by se zlepšila komunikativnost v rámci obce a bylo by možno zprovoznit i dobrý kamerový systém, který by odradil zvyšující se počet vandalů před jejich činy, jejichž odstraňování přijde obec na nemalé finanční prostředky.

Rozhodl jsem se tedy navrhnout pro tuto obec řešení, včetně propočtu finančních nákladů.

2 POPIS TECHNOLOGIE

Do roku 2000 se většina uživatelů připojovala k internetu prostřednictvím kabelové infrastruktury. Nicméně v současné době již technologie pokročila do takové úrovně, že velká část uživatelů připojených k internetu, využívá bezdrátové technologie (viz obrázek 1).



Obrázek 1 – Způsob připojení domácností k internetu v ČR v roce 2007, zdroj: [10]

Rozšíření bezdrátové technologie šlo ruku v ruce s nárůstem využití přenosných počítačů a malých mobilních zařízení, jakými jsou například mobilní telefony.

Důsledkem celosvětově vzrůstající možnosti připojení bylo vytvoření informační společnosti, jenž se každý den na síťové služby spoléhá. Růst bezdrátového připojení k internetu kladl a stále klade, vyšší a vyšší nároky na rychlost, stejně jako tomu bylo v předchozích letech u kabelových spojů. Začaly vznikat různé standardy, umožňující bezdrátový přístup do sítě. Tato kapitola se pokusí popsat některé z nejznámějších technologií, které vznikly, popřípadě které budou k dispozici v nejbližších letech a mohou se stát konkurencí pro WiMAX technologii.

2.1 IEEE

IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) je mezinárodně uznaná organizace sdružující elektroinženýry (v současnosti je jich kolem čtvrt milionu ze 150 zemí světa). Členství v IEEE je individuální, otevřené všem dobrovolníkům. Kromě vzdělávací a publikační činnosti vytváří IEEE důležité technické normy (*IEEE Standards Association, IEEE-SA*). Ve svém portfoliu má téměř 900 schválených standardů a přes 400 ve vývoji. [13]

IEEE je leaderem ve vývoji průmyslových standardů v rozsáhlé řadě disciplín, zahrnující elektrickou energii, lékařské technologie, zdravotní péči, informační technologie, telekomunikace, spotřebitelskou elektroniku, dopravu, letectví a nanotechnologie. IEEE vyvinul a podílel se na vzdělávacích aktivitách jako třeba schválení elektrotechnických programů v institutech vyššího vzdělávání.

Pravděpodobně nejznámější obor IEEE, se týká oblasti komunikačních sítí. Skupina IEEE 802 normalizovala prakticky všechny lokální a metropolitní sítě. V následující tabulce 1, je uvedený souhrn všech norem standardu IEEE 802, o jejíž vývoj se starají pracovníci technicko poradních skupin institutu IEEE.

Uvedené standardy IEEE pokrývají fyzickou vrstvu (specifikace HW) a linkovou vrstvu (rozdělenou na dvě samostatné podvrstvy) referenčního modelu OSI. V normě 802 je linková vrstva rozdělena na podvrstvy LLC a MAC. Zjednodušeně řečeno je rozhraní LLC-MAC rozhraním mezi SW a HW stanic počítačové sítě.

Po nedávném úspěchu a velkém rozšíření IEEE 802.11 WLAN technologie IEEE vyvinula řadu dalších norem, k vytvoření budoucí bezdrátové internetové architektury. Jednou z těchto norem je i **IEEE 802.16 – 2004** alias „Fixed Wimax“ popřípadě **IEEE 802.16e** alias „Mobile Wimax“. Podrobnější popis těchto standardů bude úkolem následujících kapitol.

Tabulka 1 – IEEE 802

IEEE	Popis
802.1	Higher Layer LAN Protocols
802.2	Logical Link Control (<i>pozastaveno</i>)
802.3	Ethernet
802.4	Token Bus (<i>neaktivní</i>)
802.5	Token Ring (<i>pozastaveno</i>)
802.6	Metropolitan Area Network (<i>neaktivní</i>)
802.7	Broadband TAG (<i>neaktivní</i>)
802.8	Fiber Optic TAG (<i>neaktivní</i>)
802.9	Integrated Services LAN (<i>neaktivní</i>)
802.10	Security (<i>neaktivní</i>)
802.11	Wireless LAN
802.12	Demand Priority (<i>neaktivní</i>)
802.14	Cable Modem (<i>neaktivní</i>)
802.15	Wireless Personal Area Network
802.16	Broadband Wireless Access
802.17	Resilient Packet Ring
802.18	Radio Regulatory TAG
802.19	Coexistence TAG
802.20	Mobile Broadband Wireless Access
802.21	Media Independent Handoff
802.22	Wireless Regional Area Networks

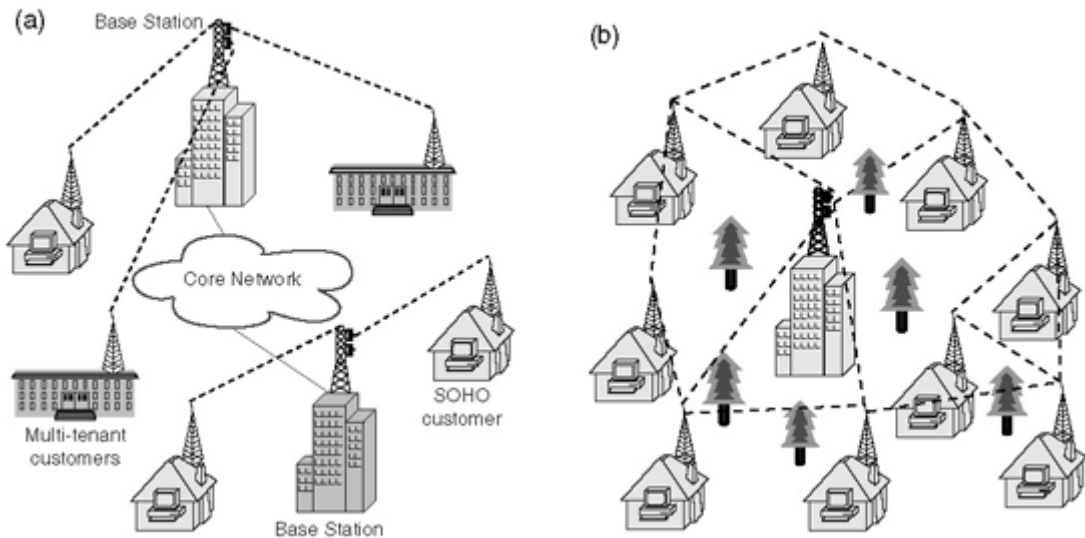
Zdroj: Autor – uvedeno na základě [6]

2.2 IEEE 802.16

Standard **IEEE 802.16** lze zařadit do skupiny metropolitních sítí MAN (*Metropolitan Area Network*) umožňující přenosy dat vysokými rychlostmi na relativně velké vzdálenosti. Dále definuje několik fyzických rozhraní pro podporu jak vysokorychlostních přenosů při přímé viditelnosti LOS (*Line of Sight*), tak i rozhraní pro komunikaci bez přímé viditelnosti NLOS (*None Line of Sight*). Jedná se o technologii určenou pro poskytovatele, a proto klade větší důraz na podporu kvality služeb QoS (*Quality of Service*) a možnost řízení a správy sítě.

2.2.1 Typy síťové topologie

Podle standardu **IEEE 802.16-2004** nebo **IEEE 802.16e** lze definovat dvě možné síťové topologie: bod-mnoho bodů (PMP, *Point to Multipoint*) a *mesh* topologii. Topologie PMP musí být povinně implementována, zatímco implementace *mesh* topologie je volitelná. Základní princip je ukázán na obrázku 2.



Obrázek 2 – Podporované síťové architektury: (a) point-to-multipoint; (b) mesh, zdroj: [20]

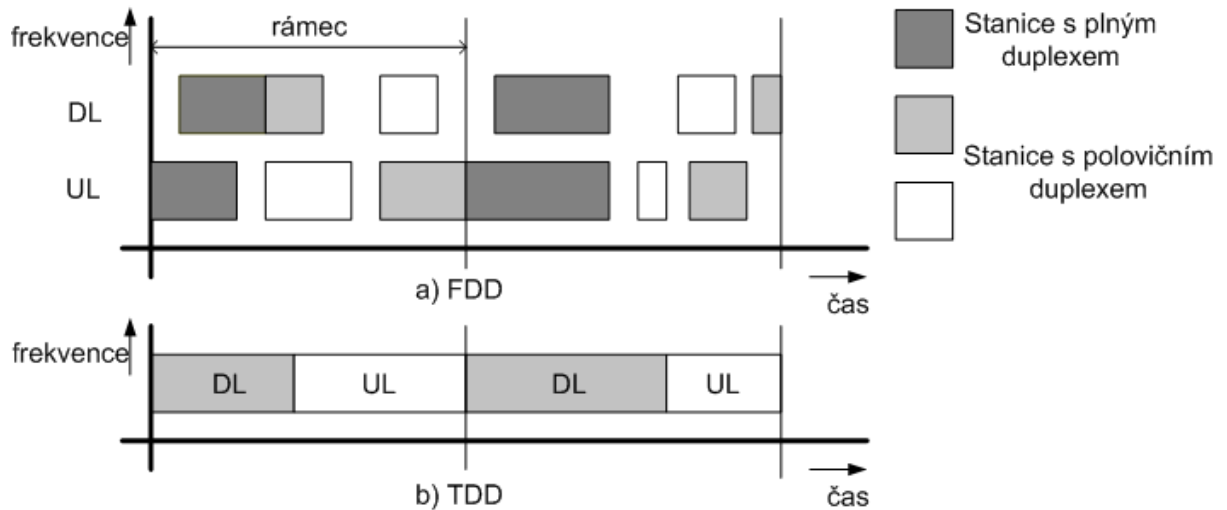
PMP architektura je založena na klasické buňkové struktuře sítě, kdy se jednotlivé uživatelské stanice připojují přímo ke stanici základnové. U *mesh* topologie v porovnání s PMP je umožněna i přímá komunikace mezi stanicemi. [2]

Kromě toho norma nabízí využití technologie moderních antén (např. antény s formováním paprsku, beam-forming) pro využití v BWA pro zvýšení pokrytí. Tyto moderní techniky umožňují zvýšit kapacitu, opětovné využívání spektra a průměrnou i vrcholnou propustnost na rádiový kanál.

2.2.2 Fyzická vrstva

Norma nabízí tři řešení fyzické vrstvy (včetně OFDM), časový duplex TDD (Time-Division Duplexing) a kmitočtový duplex FDD (Frequency-Division Duplex). Na obrázku 3 je zobrazený rozdíl mezi TDD a FDD technikami. Fyzická vrstva byla navržena tak, aby byly zaručeny pokud možno optimální podmínky pro velkou množinu požadavků (cena, kapacita, rozmístění základních stanic atd.). Rádiové kanály mají šířku pásma

od 1,5 do 20 MHz. Použité kmitočty ve srovnání s vyššími umožňují levnější pokrytí pro více uživatelů s přenosovými rychlostmi až 63 Mbit/s, ale tuto kapacitu sdílejí všichni uživatelé připojení k téže základnové stanici. 802.16a používá pevnou venkovní základnovou stanici, která komunikuje s transceivery až na vzdálenost 20 kilometrů.



Obrázek 3 - Porovnání TDD a FDD technik, zdroj: [2]

Pokud je použito FDD techniky, je sestupný směr (přenos dat od základnové stanice k uživatelům označovaný jako DL) a vzestupný směr (přenos dat od uživatelů k základnové stanici označovaný jako UL) oddělen ve frekvenční oblasti. To znamená, že základnová stanice vysílá na odlišné frekvenci než uživatelské stanice. Na druhou stranu, TDD mód dovoluje využití stejné frekvence pro oba směry přenosu, kdy nejdříve vysílá základnová stanice a potom následuje vysílání jednotlivých klientských stanic.

Modulace OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) se u bezdrátových přenosů používá už poměrně dlouho. Nabízí totiž možnost dosáhnout vysokých rychlostí přenosu dat ve ztížených podmínkách na vysílání či příjem signálu. OFDM rozděluje širokopásmový signál do 256 úzkopásmových kanálů, přičemž každý z nich přenáší až 50 kb/s. Kanály jsou ve frekvenčním pásmu poměrně blízko, k překrytí však nedochází, a tak nehrozí jejich vzájemné rušení. Při přenosu pomocí OFDM je také možné zanedbat možnost vzniku rušení způsobené různými trasami šíření signálu či útlumu signálu ve vnějším prostředí.

Nejvyšší přenosová rychlost standardu WiMAX při frekvenci 3,5GHz je **12,699 MB/s**, přičemž je toto pásmo vyhrazené pro jeden sektor (část území pokrytého signálem). Jedna základnová stanice může pokrývat maximálně šest sektorů, což znamená, že maximální

přenosová rychlost základové stanice se pohybuje na úrovni **76,194 Mb/s**. Pásmo může být rozdělené různými způsoby. V závislosti na šířce kanálu může být k jedné stanice připojeno až 750 uživatelů, přičemž každý z nich bude mít přidělené pásmo o šířce 0,5Mb/s. Provider se však může rozhodnout šířku kanálu zvýšit, ale pak může nabídnout 375 ti účastníkům rychlost 1Mb/s. V extrémních situacích se pak může rozhodnout celé pásmo rozdělit jen několika firmám, které se pak podělí o rychlost 75Mb/s.

Režie přenosu na fyzické vrstvě

Faktory ovlivňující režii přenosu na fyzické vrstvě jsou následující:

- Šířka kanálu – WiMAX podporuje šířku kanálu v rozmezí od 1,25 do 20 MHz. Přenosová rychlost je přímo úměrná šířce kanálu.
- Parametry OFDM modulace – Existuje několik parametrů přímo ovlivňující velikost režie přenosu:
 - o Počet nosných použitých pro přenos dat – OFDM modulace použitá ve WiMAXu je tvořena 256 nosnými, z toho je ale pouze 192 použito pro data. Každá nosná může přenést 1 až 6 bitů v závislosti na modulaci (1 bit/BPSK, 6 bitů/64QAM).
 - o CP (*cyklická předpona*) – délka CP se pohybuje v rozmezí od 1/4 až 1/32 celkové délky OFDM symbolu v závislosti na kvalitě kanálu.
 - o Stupeň kódování – slouží k zabezpečení dat proti chybám a pohybuje se v rozmezí 1/2 až 3/4.

V následující tabulce 2 je uvedena velikost režie na fyzické vrstvě pro šířku kanálu 3,5 a 20 MHz a stupeň kódování 1/2 a 3/4. Je zřejmé, že ve většině případů se režie pohybuje nad hodnotou 50 %. Je to především z důvodu nutnosti robustního zabezpečení přenosu dat proti chybám a kvůli rychle se měnícím přenosovým vlastnostem rádiového kanálu. [2]

Tabulka 2 – Režie přenosu na fyzické vrstvě

Parametr	Hodnota			
Šířka kanálu (MHz)	3,5		20	
Délka trvání CP (μ s)	4		2,91	
Délka trvání OFDM symbolu (μ s)	68		14,55	
Celkový počet nosných	256			
Celkový počet datových nosných	192			
Stupeň kódování	1/2	3/4	1/2	3/4
Režie na fyzické vrstvě	64,84	47,27	71,88	57,81

Zdroj: [2]

2.2.3 Vrstva MAC

Vrstva MAC je umístěna na druhém místě, tedy nad vrstvou fyzickou. Určení protokolu MAC asi nejlépe vystihuje volný překlad slov, ze kterých je odvozený jeho název – řízení přístupu k médiu (*Media Access Control*). Při komunikaci ve směru od uživatele se používá protokol **TDMA** (*Time-Division Multiple Access*). V opačném směru je využit protokol **TDM** (*Time-Division Multiplex*) s centralizovaným řídicím prvkem, jehož úlohou je efektivní a přednostní přidělení šířky pásma, což je vhodné pro přenos hlasu či videa v reálném čase. Norma 802.16 podporuje čtyři úrovně přidělování priority pomocí QoS. V první úrovni se nachází hlasové přenosy (*VoIP*). Nižší prioritu má přenos v reálném čase na základě výzvy (typicky je to video MPEG). Na třetí úrovni přiřazování priorit se nachází přenosy na základě výzvy, které však není třeba realizovat okamžitě (*FTP*). Nejnižší prioritu mají přiřazenou služby, které jsou nejméně náročné na kolísání latence a šířky pásma. [1]

Na rozdíl od technik náhodného přístupu s možnými kolizemi, CSMA/CA, používaných v jiných bezdrátových sítích (802.11), zajišťuje 802.16 MAC přístup k rádiovému kanálu bez jakýchkoli potenciálních kolizí a navíc garantuje určité maximální zpoždění. TDM/TDMA také zajišťuje jednodušší podporu pro skupinové vysílání. MAC také podporuje mechanismy pro úsporné napájení pro přenosné terminály.

802.16 podporuje pružné přidělování šířky pásma rádiových kanálů a opětovné využívání kanálů (spektrum reuse) pro zvýšení kapacity buňky při růstu sítě. Specifikuje také řízení vysílacího výkonu (*TPC, Transmit Power Control*) a měření kvality kanálu, jako doplňkové prostředky pro plánování buněk a efektivního využívání spektra.

Dynamický výběr kmitočtu (*DFS, Dynamic Frequency Selection*) je povinný pro práci v bezlicenčních pásmech. Provozovatelé mohou spektrum efektivně realokovat prostřednictvím dělení buněk do sektorů podle rostoucího počtu uživatelů.

Metropolitní síť 802.16 se musí, podobně jako všechny rádiové sítě, vyrovnávat s měnícími se podmínkami prostředí, protože zejména déšť může mít negativní vliv na kvalitu příjmu signálu. Specifikace proto zahrnuje řízení rádiového spoje (*RLC, Radio Link Control*) pro nastavení počátečních parametrů rádiového spojení a pro jejich změnu při změně podmínek. Zařízení podle 802.16 monitoruje kvalitu spoje pro jeho inicializaci a příslušně přizpůsobuje přenosové parametry.

Režie přenosu na MAC vrstvě

Při zjišťování režie přenosu vzniklé na MAC vrstvě je důležitým parametrem délka trvání rámce. Podle standardu 802.16-2004 je podporovaná délka rámce mezi 2,5 ms až 20 ms. Každý rámec na MAC vrstvě je složen z určitého počtu OFDM symbolů. Počet symbolů je závislý na délce rámce a délce vlastních symbolů. Ne všechny symboly nutně přenáší uživatelská data a slouží pro řízení přenosu (redundantní část přenosu).

Jedná se o [2]:

- Preamble (preamble) – je vysílána na:
 - o začátku každého rámce a obsazuje 2 OFDM symboly
 - o na začátku každého datového bloku a obsazuje 1 OFDM symbol (ve směru DL je volitelná)
 - o volitelně uprostřed datových bloků v UL a obsazuje 1 OFDM symbol.
- FCH pole – obsazuje vždy 1 OFDM symbol.
- UL/DL MAP a UCD/DCD zprávy – obsazují několik OFDM symbolů v závislosti na velikosti jednotlivých zpráv. Velikost zpráv se odvíjí od počtu uživatelů, kteří v daném rámci přijímají/vysílají data.
- Kolizní interval (Contention slot) – obsazuje zpravidla několik OFDM symbolů.
- TTG a RTG intervaly – většinou vyhrazen 1 až 2 OFDM symboly.

2.2.4 Bezpečnost ve IEEE 802.16

IEEE 802.16 jako novější bezdrátová technologie kladla značný důraz na vysokou úroveň zabezpečení sítě i uživatelů. V tom má zřejmý náskok před WLAN podle 802.11a/b/g,

kde zabudovaný bezpečnostní protokol WEP (*Wired Equivalent Privacy*) se ukázal jako zcela nedostačující (nedostatečná autentizace a slabý sdílený statický klíč) již v okamžiku nástupu WiFi na trh před pěti lety. Proto bylo pro bezdrátové lokální sítě třeba vytvořit plnohodnotný zabezpečovací doplněk v podobě 802.11i (zahrnující ochranu přístupu k síti v podobě 802.1x a šifrování podle AES, *Advanced Encryption Standard*), který byl schválen teprve v roce 2004.

Zabezpečení WiMAX protokolem PKM

Zabezpečení se v 802.16 provádí prostřednictvím podvrstvy privacy. Základnové stanice se chrání před neautorizovaným přístupem k přenosovým službám prostřednictvím šifrování toků v síti. Používá se protokol pro management klíčů mezi autentizovaným klientem a serverem, v rámci něhož základnová stanice, server, řídí distribuci klíčů mezi autentizovaným klientem a serverem, v rámci něhož základnová stanice, server, řídí distribuci klíčů klientským stanicím. Základní bezpečnostní mechanismy zesiluje použití autentizace klienta na základě digitálních certifikátů.

Bezpečnost 802.16 je založena na protokolu pro šifrování dat přes pevnou bezdrátovou přístupovou síť, který definuje soubor podporovaných souvisejících algoritmů autentizace a šifrování dat, a na protokolu **PKM** (*Privacy Key Management*), který zajišťuje bezpečnou distribuci klíčů základnovou stanicí klientům.

Prostřednictvím protokolu PKM si základnová stanice a klientské stanice synchronizují klíče. Klienti používají PKM pro získání autorizace a také na podporu periodické reautorizace a obnovy klíčů. Protokol PKM verze 1 (specifikovaný pro pevný WiMAX) pro management klíčů používá digitální certifikáty podle X.509, algoritmus veřejného klíče RSA (*Rivest, Shamir and Adleman*) a silné symetrické šifrovací algoritmy pro výměnu klíčů mezi základnovou a klientskou stanicí. PKM používá model klient/server, který zajišťuje, aby na základě požadavku klienta základnová stanice (server) poslala pouze šifrovací materiál, pro který je klient autorizován. PKMv2 (specifikovaný v doplňku 802.16e) již nabízí rozšířené prvky jako novou hierarchii klíčů, AES-CMAC (*Cipher block chaining Message Authentication Code*) a MBS (*Multicast / Broadcast Service*).

Šifrování

Šifrování veřejným klíčem se používá pro nastavení sdíleného autorizačního klíče (*AK, Authorization Key*) mezi základnovou a klientem, který PKM pak používá pro zabezpečení

výměny klíčů pro šifrování provozu (*TEK, Traffic Encryption Key*) v délce 64 nebo 128 bitů. Tento dvouúrovňový mechanismus distribuce klíčů umožňuje obnovit klíče pro šifrování dat bez zatížení síťových prostředků na procesně náročné operace veřejných klíčů.

Vzhledem k tomu, že WiMAX slouží pro přístup k veřejné síti, prakticky veškerý provoz je povinně šifrován pomocí 168bitového 3DES (*Triple Digital Encryption Standard*), stejného šifrování jako u VPN (*Virtual Private Network*). Volitelně lze také využít AES, podobně jako u 802.11i.

Nicméně šifrují se pouze uživatelské datové rámce, nikoli rámce určené pro management (podobná situace je v 802.11, kde se pracuje na řešení této situace prostřednictvím doplňku 802.11w *Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications: Protected Management Frames*). Rámce pro management neochráněné šifrováním totiž dovolují útočnickům získat např. informace o uživatelích dané sítě a další charakteristiky sítě. Navíc mohou útočníci zneužít rámce managementu pro odpojení oprávněně připojených stanic v síti (obdobu záplavových útoků na síť 802.11 prostřednictvím rámců *deauthenticate*). [12]

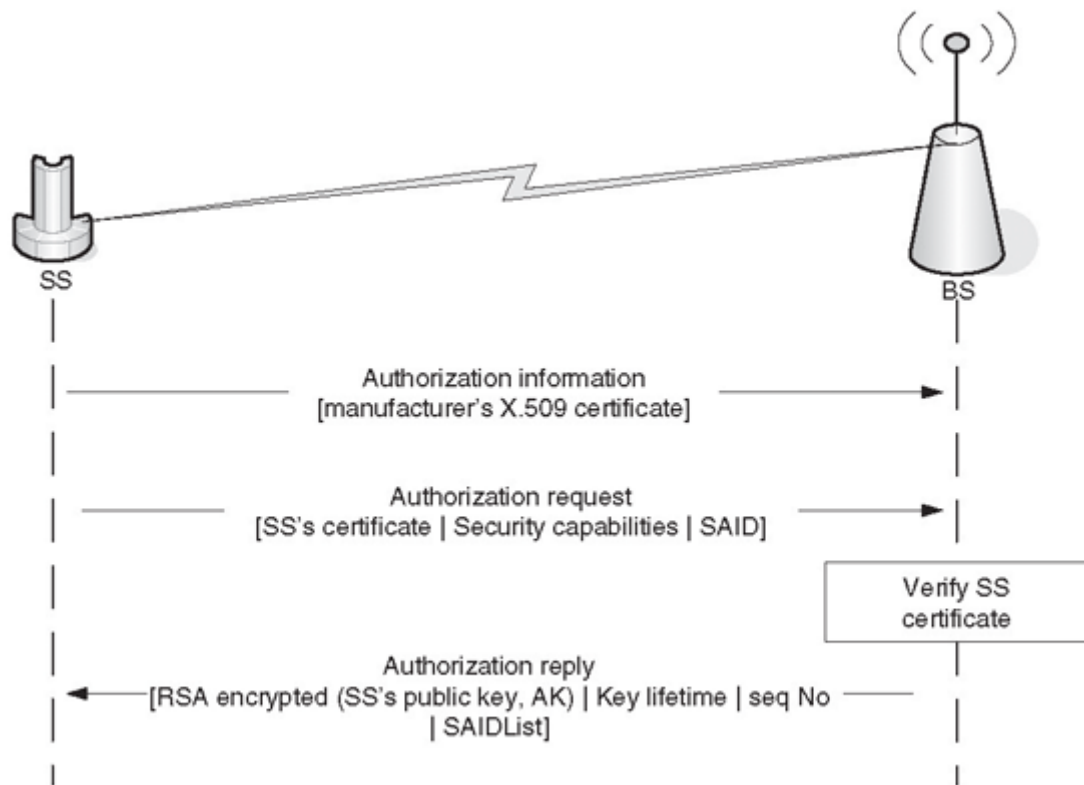
Autentizace a autorizace

Základnová stanice autentizuje klienta na základě digitálního **certifikátu X.509**, který klientská stanice obdrží od výrobce. Certifikát obsahuje veřejný klíč a MAC adresu. Stanice musí certifikát předložit pro ověření základovou stanicí a po úspěšné autorizaci dostane autorizační klíč zašifrovaný ověřeným veřejným klíčem.

Po počáteční autorizaci se musí zákaznická stanice pravidelně, opětovně autorizovat. Na základě opětovné autorizace je možné obnovit stárnoucí šifrovací klíče TEK. Prvotní autorizaci zahajuje stanice vysláním zprávy authentication information základnové stanicí. Obsahem zprávy je certifikát vydaný výrobcem nebo důvěryhodnou třetí stranou.

V případě opětovného autorizování pošle zákaznická stanice žádost authorization request, v níž žádá o autorizační klíč AK a také o identifikátor bezpečnostní asociace SAID (*Security association Identifier*). Žádost obsahuje digitální certifikát stanice a informaci o šifrovacích algoritmech, které jsou stanicí podporovány a také identifikátor CID (*Connection Identifier*), který byl přidělen stanicí základnou v rámci počátečního přidružení. Na základě této žádosti základnová stanice ověří identitu stanice, určí šifrovací algoritmus a protokol, zašifruje AK veřejným klíčem a pošle zpět v odpovědi authorization reply. V ní ještě specifikuje životnost klíče a 4bitové pořadové číslo klíče, kterým se rozlišuje

mezi generacemi autorizačních klíčů. Po sobě jdoucí generace autorizačních klíčů, mají takovou životnost, že se její platnost překrývá. Tento krok byl navržen tak, aby nemohlo dojít k přerušení služby během autorizace. Proces autorizace je přehledně zobrazen na obrázku 4.



Obrázek 4 – Proces autorizace, zdroj: [3]

Zásadním problémem ve WiMAX je pouze **jednostranná autentizace**: vedle autentizace klientské stanice chybí autentizace základnové stanice (tj. poskytovatele služby), což může snadno vést k mnoha bezpečnostním problémům. WiMAX sítě jsou proto náchylné k útokům typu *man-in-the-middle* realizovaných prostřednictvím neautorizované (falešné) základnové stanice, které mohou vystavit uživatele nepřijemným útokům.

Vzhledem k tomu, že WiMAX slouží pro přístup k veřejné síti, prakticky veškerý provoz je povinně šifrován pomocí 168bitového 3DES (*3 stages of Data Encryption Standard*), stejného šifrování jako u VPN (*Virtual Private Network*), volitelně lze také využít AES (*Advanced Encryption Standard*), podobně jako jej využívá 802.11i. [11]

Odolnost proti rušení

WiMAX používající licenční spektrum bude v principu lépe chráněnou bezdrátovou sítí vůči potenciálnímu rušení, které může představovat útok (*jamming*). Zarušení signálu totiž znemožní přístup uživatelů daného kmitočtu ke službám. Tento útok typu DoS (*Denial of Service*) na fyzické vrstvě je poměrně běžný u WLAN, kde se používají bezlicenční kmitočtová pásma.

Bezpečnostní hrozby pro WiMAX

Jakkoli je zabezpečení 802.16 na slušné úrovni, některým potenciálním hrozbám přesto síť bez dalších obranných prvků nemusí odolat. Mezi nebezpečí hrozící WiMAX patří následující [12]:

- falešné základnové stanice
- útoky typu DoS
- útoky typu *Man-in-the-Middle*

2.3 IEEE 802.16e – mobilní WiMAX

Zatímco pevný WiMAX si principiálně nevyžadoval nutnost komplexního řešení vzájemného propojení buněk a sítí různých provozovatelů, s nástupem mobilního WiMAX je všechno jinak. Mobilita předpokládá jednoduchý přechod uživatele mezi základovými stanicemi, což ovšem vyžaduje řešení vzájemného propojení mezi různými sítěmi a s tím související řešení zabezpečení přístupu a autorizace uživatelů a průřechování jimi využitých služeb.

Mobilní WiMAX byl navržen již pro plnohodnotnou podporu mobilních uživatelů, se zajištěním jejich volnosti a pohodlí při využívání širokopásmových komunikačních služeb prostřednictvím této moderní technologie. Při pohybu uživatele se mění jeho umístění, a tedy i vazba k buňce a jí příslušné základové stanici. Koncové zařízení vybavené podporou pro 802.16e musí zůstat připojené k síti i v průběhu předávání uživatele mezi základovými stanicemi (*handoff*), případně mezi různými poskytovateli (*roaming*).

Z tohoto důvodu je při plánování nasazení mobilního WiMAX nutné pečlivě zvážit celou související problematiku managementu zákazníků. Poskytovatelé služeb musí nasadit

takové systémy, které dokáží sledovat momentální místo výskytu uživatele, způsob využívání mobilního zařízení v síti a spojit tyto informace se záznamy pro účtování. [14]

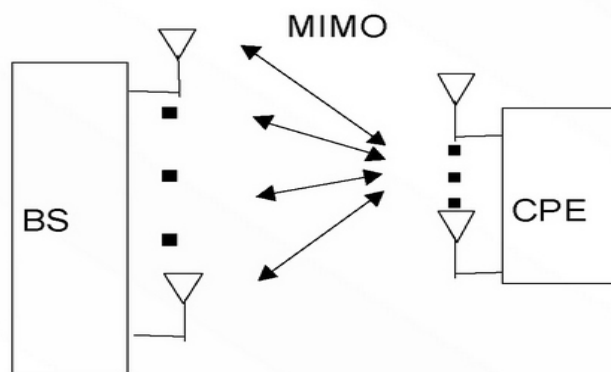
Technologie mobilního WiMAX

Specifikace vychází z technických principů 802.16, ale zahrnuje podporu pro **předávání stanice mezi buňkami** (na základě síly signálu základové stanice, kterou mobilní stanice zjišťuje na základě pravidelných zpráv od základových stanic) a roaming. 802.16e podporuje mobilitu do rychlosti **120 km/h** v lokálním až regionálním dosahu, přičemž k postupnému snižování kapacity dochází od rychlostí nad 60 km/h kvůli předávání uživatelů mezi základovými stanicemi.

Zásadním doplňkem 802.16e je funkce předávání uživatelů mezi základovými stanicemi a technologie S-OFDMA (*Scalable Orthogonal Frequency Division Multiple Access*). OFDMA vylepšuje výkonnost v prostředích bez přímé viditelnosti (NLOS), protože umožňuje rozdělit signál do více pomalejších podkanálů, což zvyšuje odolnost mobilního WiMAX vůči rušení a zkreslení signálu putujícího více cestami.

Vlastnost koncentrace výkonu může docílit výrazného zisku v pokrytí buňky zejména pro důležitější směr od uživatele k síti (*uplink*) ve srovnání se systémy OFDM nebo SC. S-OFDMA podporuje šířku pásma kanálu od 1,25 do 20 MHz. Vyšší šířka pásma na kanál znamená vyšší propustnost sektoru.

Ortogonalita podkanálů OFDMA přitom vylučuje rušení uvnitř buňky. Dochází k využití jednoho časového úseku TDD ve zpětném směru pro více uživatelů prostřednictvím FDD. Dostupnost kanálů je tedy u OFDMA lepší než u OFDM a dovoluje využívat levnější a jednodušší zesilovače.



Obrázek 5 – MIMO, zdroj: [5]

Mobilní WiMAX využívá **moderní technologii antén** a techniky dopředné opravy chyb (FEC). Moderní antény využívají technologie formování paprsků (*beamforming*), prostorově-časové kódování (*STC, Space-Time Coding*), MIMO pro vyšší propustnost systému (viz obrázek 5) a AAS (*Adaptive Antenna System*) pro lepší směrové vlastnosti antén. **MIMO** se v 802.16e používá v tzv. uzavřené smyčce oproti možnosti využívat MIMO v 802.16 v otevřené smyčce, což opět přispívá k vylepšení výkonnosti mobilního WiMAX.

802.16e dovoluje také efektivně využívat kmitočty: např. 3 kmitočty ve třech sektorech, kdy přilehlé sektory používají samostatný kmitočet, a neexistuje rušení. V případě jednoho kmitočtu ve všech sektorech buněk se dosáhne maximální spektrální efektivity, ale uživatelé na okrajích sektorů či buněk mohou být vystaveni zhoršené kvalitě komunikace kvůli rušení. [15]

3 OSTATNÍ TECHNOLOGIE

3.1 WiFi

WiFi (*Wireless Fidelity*) je bezdrátová, síť určená primárně k náhradě kabelového ethernetu v bezlicenčním pásmu, které je dostupné prakticky v celém civilizovaném světě. Samotný název WiFi vytvořilo WECA – (*Wireless Ethernet Compatibility Alliance*) a v principu jde o bezdrátovou technologii v bezlicenčním nekoordinovaném pásmu **2,4 GHz** (ISM - *Industry, Science, Medical*), založenou na protokolu 802.11b. WiFi je pouze komerční název, který je fakticky pouze podmnožinou 802.11b.

Hlavní výhodou této technologie je její **nízká cena**, způsobená mimo jiné tím, že certifikovaná zařízení jsou k dispozici ve velkých sériích. Protože požadavky na certifikaci zařízení jsou běžně dostupné a norma 802.11b dokonce volně k dispozici na webu, existují řádově desítky (možná již stovky) různých výrobců, počínaje neznačkovými produkty a konče velkými korporacemi typu CISCO Systems, 3Com nebo Microsoft. Cena a možnosti jednotlivých produktů na trhu se přirozeně velmi liší, nicméně jejich interoperabilita je zabezpečena právě logem WiFi.

Většina sítí založených na WiFi funguje na buňkovém principu, kdy centrální přístupový bod zprostředkovává připojení všem stanicím v dosahu a body dohromady tvoří jakousi plástev - analogicky s GSM sítí. Propojení těchto přístupových bodů je řešeno různě - nejlevněji vychází spojit je stejnou technologií (po lokální kabelové ethernet síti, nebo dokonce přenášet i sdílená data vzduchem), druhý extrém představuje vyhrazené optické vlákno.

Nekritičtí obhájcí dokonce považují WiFi za funkční mobilní síť čtvrté generace, které poskytují služby dříve než síť generace třetí (založené například na UMTS). Pravdou je, že WiFi síť sice disponují kapacitou, které budou síť 3G jen obtížně dosahovat (11 Mb/s na médiu), nicméně UMTS síť jsou budovány na výrazně robustnějších základech. Hlavním argumentem je to, že WLAN v žádném případě **není mobilní síť**, mobilitu poskytuje technologie jen v dosahu jedné sítě - samozřejmě je možné a pracuje se na tom, aby mezi hot-spoty existovala možnost plynulého přechodu, ale to zase ve většině případů vyžaduje, aby veřejné WLAN byly nějak propojeny (typicky GSM/GPRS nebo UMTS).

WiFi samozřejmě není vrcholem dokonalosti a hlavní výhrady směřují k zabezpečení proti zneužití. Přestože nová zařízení disponují podporou 128 bitového šifrování protokolem WEP (*Wireless Encryption Protocol*), obecné principy zabezpečení WiFi nejsou dostatečné pro všechny aplikace. Další a možná největší výhrada je směřována k faktu, že pásmo

2,4 GHz je na exponovaných místech (například okolí prakticky veškerých výškových budov v centru Prahy) vyčerpáno a rušení je natolik silné, že je možné budovat pouze vnitřní pokrytí. Zarušení pásma je přitom dynamické a závisí na chování všech subjektů, které ho využívají. [16]

3.2 HSDPA

HSDPA (*High-Speed Downlink Packet Access*) je technologie v sítích třetí generace, která **zrychluje tok dat směrem k uživateli** (až 14,4 Mbit/s) a zkracuje reakce. První generace této služby spouštěná též v ČR nabízí download až 1,8 Mbit/s. HSDPA je protokol mobilní telefonie označovaný také jako technologie 3,5G – třípůltá generace. Objevil se v pátém vydání standardu UMTS. HSDPA je dostupné jak pro UMTS FDD tak pro UMTS TDD. HSDPA zvyšuje podstatně přenosovou rychlost pro downlink. Rychlost UMTS Release 99 (Release 3) je pouze 384 kbit/s.

HSDPA je založeno na několika inovacích architektury sítě, díky nimž se dosahuje nižšího zpoždění, rychlejších reakcí na změnu kvality kanálu a zpracování H-ARQ, tedy Hybrid automatic repeat request, hybridního automatického požadavku na opakování přenosu.

Další změny jsou provedeny přímo na radiové části sítě, tedy na RNC (*Radio Network Controller*) a Node B (základnová stanice). Hlavní změnou, která přispívá ke zrychlení toku dat a odstranění zpoždění a rozptylu, je přesunutí některých úkolů ze samotného RNC na Node B. Základnové stanice se nyní namísto RNC starají o plánování a řízení přímo na Vrstvě 1, většina funkcí MAC důležitých právě pro zpoždění a rozptyl dat je z RNC v pátém vydání přesunuta na Node B. Díky tomu data urazí kratší trasu před tím, než se dekodují a třeba se zjistí, že něco není s nimi v pořádku a že je potřeba poslat je znovu. Snižují se tím nároky na dobu jejich přenosu, ale i na RNC, naopak je potřeba výkonnější hardware Node B. MAC sev Release 5 nově nazývá MAC-HS, čímž dává tato funkce najevo, že je dislokována na Node B.

Oproti Release 99 zavádí HSDPA nová schémata pro přenos paketových dat. Namísto rychlého řízení vysílacího výkonu a proměnného faktoru rozprostření se používá dynamická adaptivní modulace a kódování, vícekódové operace, rychlé plánování a opakované odesílání na fyzické vrstvě.[8]

3.3 Porovnání s WiMAX

V následující tabulce 3, jsou uvedeny základní parametry vybraných moderních bezdrátových technologií. Ačkoliv se jedná o technologie podobné, dalo by se říci, že je každá zaměřena na jiný segment trhu. V určitých případech se tedy jeví jako konkurence, jindy se vzájemně doplňují.

Tabulka 3 – Porovnání WiMAX s ostatními bezdrátovými technologiemi

	HSDPA	802.16-2004	802.16a-2005	WiFi
Šířka pásma (MHz)	5	<20	<20	20
Maximální rychlost (Mbit)	14,4	75	75	11 / 54
bit/Hz	2,9	3,75	3,75	2,7
Přístup	TDMA,CDMA	OFDMA	(S)OFDMA	CSMA / CA
Duplexing	FDD	TDD/FDD/HD-FDD		TDD
Dosah	Velký	Velký	Střední	Malý

Zdroj: Autor – uvedeno na základě [15]

Technologie WiMAX bývá často mylně označována jako nástupce WiFi. Toto tvrzení však není pravdivé, jelikož každá z těchto technologií je určena pro něco jiného.

WiFi:

- vznikla jako technologie pro koncové zákazníky
- pro nasazení v rámci posledního metru
- indoor, uvnitř budov
- v rámci bezdrátových lokálních sítí (sítí WLAN)
- pro použití v bezlicenčním pásmu

WiMAX:

- vznikla jako technologie pro providery
- pro nasazení v rámci poslední míle
- outdoor, vně budov
- v rámci bezdrátových metropolitních sítí (sítí WMAN)
- pro použití spíše v licenčním pásmu

WiMAX s WiFi často spolupracuje velice úzce, například jako páteří propojení veřejných přístupových míst.

4 SÍŤ WIMAX V OBCI MOCHOV

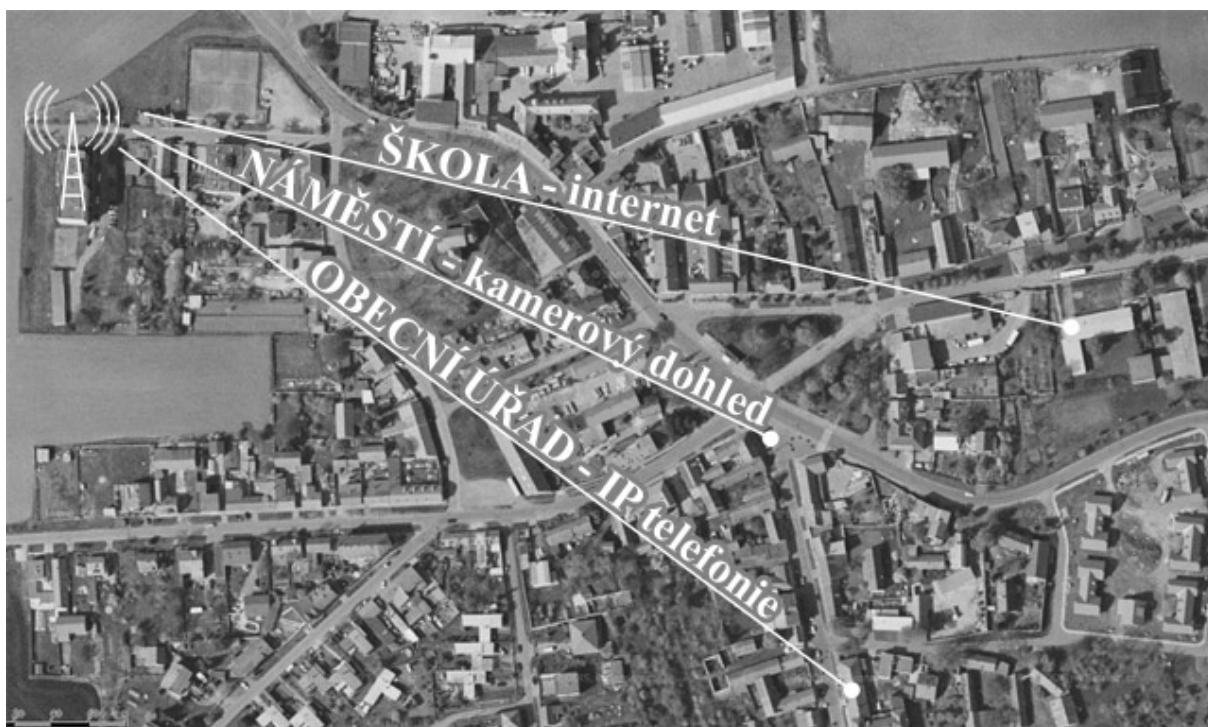
4.1 Informatizace obce

Zatímco ještě do nedávné doby byly za nejdůležitější faktory společenského a ekonomického růstu považovány surovinové a ekonomické zdroje, dnes je toto místo přisuzováno informacím. Technický pokrok současnosti dosáhl takové úrovně, že umožňuje zpracovávat, uchovávat a přenášet informace v jakékoliv podobě (písemné, zvukové, vizuální) a to bez omezení časem, objemem či vzdáleností. Základními prvky tohoto pokroku jsou komunikační systémy spolu s vyspělými informačními technologiemi. Překážky dané časem byly odstraněny sítěmi (telefonní, satelitní, kabelové apod.), základními službami (elektronická pošta, videokonference, diskusní skupiny na internetu) i aplikacemi (dálkové studium, práce doma). Stále častěji se hovoří o **informatizaci společnosti**. Informatizace bývá často označována jako proces, který je v současnosti na stejné významové úrovni, jako byla v minulosti industrializace. Jestliže industrializace podstatně rozšířila fyzické možnosti a sílu člověka, znásobuje informatizace jeho schopnosti duševní. Proniká dnes stále více do fungování nadnárodních útvarů, státní správy a samosprávy, do politiky, vzdělání, do obchodování a reklamy, do hromadných sdělovacích prostředků, zábavy apod., tedy do oborů, které se týkají komunikace a mezilidských vztahů a mají sociální povahu.

V současné době je informatizace obce Mochov, tak jako v mnoha malých obcích České Republiky, na velice nízké úrovni. Vybudování sítě WiMAX by mohlo výrazně přispět k přístupu obyvatelstva k moderním technologiím.

4.2 Stavba sítě

Následující text obsahuje konkrétní výběr a popis **certifikovaných WiMAX produktů**, které jsou pro stavbu sítě nezbytně nutné. Pro **umístění základové stanice** je nejvíce vhodným místem střecha jediného panelového domu v obci. Všechny potřebné komponenty se mohou umístit do půdního prostoru a všesměrovou anténu připevnit na venkovní stěnu. Na obrázku 6, je názorně zobrazeno umístění základové stanice.



Obrázek 6 – Umístění základové stanice, zdroj: [9], zpracování vlastní

4.2.1 Základnová stanice

Na **vnitřní část** základové stanice použijeme osvědčený produkt izraelské firmy Alvarion řady BreezeMax, konkrétně se jedná o produkt BMAX-MBST-IDU- 2CH-AC. Základnová stanice má 2 výstupy k venkovním rádiovým částem a poskytuje přenosovou kapacitu až 16Mbps. V základní verzi firmware 2.5 je možné připojit maximálně 20 klientských stanic. Proto je důležité, v případě většího zájmu o připojení k internetu, kalkulovat s dodatečnými náklady na upgrade licence. Konkrétně se jedná o částku 35 000,- Kč bez DPH. Tento upgrade rozšíří maximální možný počet klientských stanic připojených na základovou stanici ze 20 na 50. Pokud by ani tento počet nebyl dostatečný, je možné zakoupit softwarový klíč pro upgrade z počtu 50 na 150 klientských stanic. V tomto případě se jedná opět o částku 35 000,- Kč. Dohromady je tedy možné k této základové stanici připojit až 150 stanic klientských, nicméně se nám částka, na počáteční investici, zvýší o 70 000,- Kč.

Základnová stanice využívá normu **802.16d**, mód Full-Duplex FDD což nám zaručuje možnost v jeden okamžik přijímat od klienta a zároveň vysílat jinému. U tohoto produktu je možnost managementu třemi způsoby. Asi nejlépe použitelným je protokol SNMP, jenž je internetovými providery využíván nejčastěji. Dále je možné využít protokol telnet, popřípadě vše nastavovat pomocí rozhraní RS-232. Možnosti použité modulace jsou popsány v tabulce 4.

Tabulka 4 – Přenosová rychlost, citlivost základové stanice

Modulace	Net bit rate	Citlivost
BPSK1/2	1,41 Mbps	100 dBm
BPSK3/4	2,12 Mbps	98 dBm
QPSK1/2	2,82 Mbps	97 dBm
QPSK3/4	4,23 Mbps	94 dBm
QAM16 1/2	5,64 Mbps	91 dBm
QAM16 3/4	8,47 Mbps	88 dBm
QAM64 2/3	11,29 Mbps	83 dBm
QAM64 3/4	12,71 Mbps	82 dBm

Zdroj: Autor – uvedeno na základě [7]

Využitelná přenosová rychlost je cca 70% uváděných hodnot, tedy cca 9 Mbps při nejefektivnější modulaci QAM 64 3/4.

Na **venkovní rádiovou část** základové stanice použijeme jednotku OMNI-3,5-10 Všesměrová anténa 3,5 GHz, 10 dBi, V8°, N female. Jednotka je určena k venkovní montáži na stožár, k připojení externí antény slouží konektor N Female. Rádiová jednotka pracuje se šířkou kanálu 14MHz (čili je schopna podporovat až 4 3,5 MHz kanály). Všechny parametry jednotky se nastavují prostřednictvím vnitřní části základové stanice. K propojení rádiové jednotky slouží koaxiální kabel, přenášející data (na nízkém frekvenčním kmitočtu) a napájení. Může mít délku až 200 metrů v závislosti na typu kabelu. V našem konkrétním případě počítáme s délkou koaxiálního kabelu **20 metrů**.

Jak již bylo řečeno, venkovní rádiová část je určena k montáži na stožár. V našem případě je tedy montáž velice jednoduchá, jelikož k tomuto účelu můžeme využít venkovní stěny strojovny výtahu panelového domu. K tomuto účelu použijeme 2 kusy držáku anténního stožáru, které připevníme ke stěně strojovny, dále vlastní stožár a posledním dílem je držák samotné antény. Na trhu existuje velké množství nám potřebných, a v neposlední řadě i cenově dostupných produktů.

4.2.2 Klientská stanice

Pro **externí řešení** můžeme využít klientskou jednotku WiMAX opět z produktové řady BreezeMAX 3500. Konkrétně se jedná o produkt BMAX-CPE-ODU-PRO-DM-SA-3.5 BreezeMAX DM Klient Outdoor radio (ODU). Tato klientská jednotka je ve venkovním

provedení s integrovanou anténou se ziskem 17 dBi. Obsahuje chipset R2 a je tedy kompatibilní s WiMAX normou 802.16d i 802.16e - pouze změnou firmwaru. Umožňuje připojit tzv. SAU LED indikátor pro zobrazení intenzity přijímaného signálu.

Vzhledem k tomu, že venkovní klientská jednotka neobsahuje vlastní **napájecí zdroj** je potřeba pořídit samostatnou napájecí část. Pro náš případ použijeme jednotku BMAX-CPE-PRO-SA/SE. Jedná se o indoor jednotku (je tedy potřeba zajistit kryté místo), obsahující napájecí zdroj, ethernetový port pro připojení klientské jednotky k LAN síti uživatele, port pro napájení a přenos dat k venkovní části jednotky. K propojení s venkovní částí jednotky se používá STP kabel Cat5e maximální délky 90 m (je tedy důležité při plánování umístění s touto délkou počítat).

V obci Mochov se síť WiMAX bude využívat především pro šíření internetu. Vzhledem k rozloze Mochova se předpokládá využití jedné z hlavních předností technologie WiMAX - spojů bez přímé viditelnosti (NLOS). Díky této vlastnosti je instalace klientských stanic velice jednoduchá a prakticky bezúdržbová. Odpadá tedy činnost známá především u technologie WiFi, což je hledání místa s přímou viditelností, spojená s instalací směrových antén.

Právě pro tyto potřeby existuje v nabídce firmy Alvarion vynikající produkt BMAX-CPE-DMe-Si-E- 3.5 BreezeMAX klientská jednotka indoor, Dme. Jedná se tedy o **interní řešení**. BMAX-CPE-DMe-Si-E- 3.5 nepotřebuje externí napájecí jednotku, má interní anténu a možnost připojit anténu externí. Opět je osazen chipsetem R2, který, jak již bylo řečeno, umožňuje změnu normy z 802.16d na 802.16e pouze jednoduchou změnou firmwaru. Pro jeho vynikající vlastnosti získalo toto zařízení ocenění IT produkt roku 2007 a pro náš účel je naprosto vyhovující.

4.2.3 Kalkulace nákladů na stavbu základové stanice

V následující tabulce 5, je uvedena kalkulační finanční nákladů na stavbu a konfiguraci základové stanice. Předpokládaná doba HW prací i s rezervou je 16 pracovních hodin, vlastní konfigurace by SW pracovníkovi neměla zabrat více než 8 hodin.

Tabulka 5 – Náklady na vybudování základové stanice

Název	Počet	Cena za jednotku	Celková cena
BMAX-MBST-IDU- 2CH-AC	1 ks	122 500,- Kč	122 500,- Kč
BMAX-BST-AU-ODU- 3.5a1 - anténa	1 ks	52 500,- Kč	52 500,- Kč
Digitus SoHoline 12U 19" nástěnná rack skříň	1 ks	3 361,- Kč	3 361,- Kč
Držák anténního stožáru na stěnu	2 ks	718,- Kč	1 436,- Kč
Anténní stožár jednodílný délky 2 m	1 ks	390,- Kč	390,- Kč
Držák na stožár 50 cm, průměr 4,2 cm	1 ks	230,- Kč	230,- Kč
Koaxiální kabel RF240	20 metrů	20,- Kč	400,- Kč
Konektor R-TNC female	2 ks	99,- Kč	198,- Kč
HW práce	16 hodin	400,- Kč	6 400,- Kč
SW práce	8 hodin	800,- Kč	6 400,- Kč
Celkem bez DPH			193 815,- Kč
DPH 19%			36 824,90 Kč
Celkem			230 639,90 Kč

Zdroj: vlastní – uvedeno na základě [7]

4.2.4 Žádost o přidělení licence v pásmu 3,5 GHz

Na provoz technologie WiMAX je v České republice určeno pásmo 3,5 GHz. Jedná se o variantu využívání kmitočtového pásma formou **individuálního oprávnění** (licencované pásmo). Pokud tedy chceme provozovat zařízení v tomto pásmu, musíme si podat žádost na Český telekomunikační úřad. Poplatky za využívání se pohybují okolo 30 000,- Kč za rok pro jednu licenci.

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

V první řadě je důležité zjistit **dostupnost volných kanálů** v dané lokalitě předpokládaného provozu WiMAX zařízení. Na webových stránkách Českého telekomunikačního úřadu je možnost zadat GPS souřadnice předpokládaného umístění základové stanice a zjistit zda jsou v dané lokalitě ještě volné kanály. V okolí Mochova je možné předpokládat velmi vysokou pravděpodobnost, že volné kanály dostupné budou. Nicméně elegantnější řešení je kontaktovat přímo Český telekomunikační úřad, s žádostí o zjištění volného kanálu v naší lokalitě.

Dalším krokem je nutnost zajištění mapy předpokládaného území signálem základové stanice. Tzv. **mapa pokrytí** je nutnou přílohou k žádosti o přidělení individuálního oprávnění. Mapa pokrytí může být formou zakreslení kružnice/kruhové výseče do běžné turistické mapy (viz obrázek 7), o poloměru do 15 až 20 kilometrů. 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.



Obrázek 7 – Mapa pokrytí, zdroj: [9], zpracování vlastní

Druhou variantou je nechat si vytvořit profesionální mapu pokrytí v návrhovém softwaru, který využívá i Český telekomunikační úřad – **Radiolab**. Cena takto vytvořené mapy se pohybuje okolo 5 400,- Kč. Pro vytvoření mapy jsou potřeba tyto údaje [17]:

- GPS souřadnice umístění základnové stanice - BST (WSG 84 nebo jiný souřadnicový systém)
- Typ a počet antén na BST (většinou doporučujeme 2x120° antény pro celoplošné pokrytí)
- Výšku antén BST nad terénem (alespoň předpokládanou)
- Předpokládanou výšku antén klientských jednotek nad zemí
- Charakteristiku antén na BST - zisk, vyzařovací diagram
- 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 bývá i mapa viditelnosti. Jsou mnohem více odpovídající a žádosti s těmito mapami bývají i velmi úspěšné na ČTU. Díky těmto mapám je možné získat nejen reálný odhad pokrytí, ale i doporučené elevace antén, jejich nejhodnější azimut a samozřejmě i vysílací výkon na vysílači.

V následujícím odstavci jsou shrnuty základní body, které **žádost na Český telekomunikační úřad** musí obsahovat [17]:

- informace o přístupovém bodu
- vymezení provozní oblasti – přiložit rastrovou mapu:
 - o je nutno použít mapu s definovaným měřítkem - ideální je 1:50 000
 - o do mapy je nutné vyznačit oblast, ve které budou rozmístněny klientské stanice
 - o do mapy se zakresluje plocha jako mnohoúhelník nebo jako kruhová výseč
 - o dnes jsou Českým telekomunikačním úřadem většinou vyžadovány profesionální mapy pokrytí, viz výše
 - o u sektorové antény je nutno uvést: 1) osu hlavního laloku; 2) elevaci antény
 - o u všesměrové antény uvést dosah
- označení antény dle katalogového listu výrobce, útlum vlnovodu (vf kabelu), polarizace
 - o jako přílohu žádosti je dobré přiložit datasheet antény
 - o uvádět typ antény co je uveden v datasheetu
- v případě požadavku na určitý konkrétní kmitočet je nutné jej uvést
- vysílaný výkon: 28 dBm (na konektoru jednotky) - to je maximum technologie; žádosti jsou většinou udělovány do 20 dBm na výstupu ze zařízení
- šířku zabraného pásma – 3,5 Mhz, popřípadě 1,75 MHz
- druh vysílání
- účel použití

Z předchozího textu je tedy vidět, že získání licence pro vysílání v pásmu 3,5GHz může být poměrně pracnou záležitostí. Nicméně výhody plynoucí z vlastního pásma nám mohou v budoucnu ušetřit mnoho problému, což za počáteční námahu a investice určitě stojí.

4.3 Praktické využití WiMAX sítě

4.3.1 VoIP

Technologie WiMAX je díky protokolu QoS (jsou podporovány čtyři úrovně kvality) velice vhodná pro provoz citlivý na zpoždění, jako je hlas nebo video v reálném čase. Při přenosu obrazu či zvuku je nutné, aby jednotlivé části dat (reprezentující například jednotlivé snímky či útržky hovoru) byly doručovány velmi pravidelně, s minimálním rozptylem. Jinak bude jejich přehrávání trhané, a tudíž nekvalitní. Pokud by šlo jen o jednosměrné šíření, pak celkové zpoždění není až tak kritické (ale musí být rovnoměrné). V případě interaktivního přenosu (například pro potřeby telefonování či videokonference) je ale nutné i to, aby přenosové zpoždění bylo nejen rovnoměrné, ale také velmi malé.

Pro VoIP je vyhrazena služba **UGS** (*Unsolicited Grant Service*). V tomto režimu je pro každý jednotlivý přenos dopředu vyhrazen a následně garantován určitý objem prostředků (přenosové kapacity). Příslušná stanice se pak pravidelně "dostává ke slovu", aniž by o to musela základnovou stanicí znovu žádat. Hodí se například pro přenos nekomprimovaného obrazu a zvuku, kde zdroj dat generuje vždy stejný a dopředu odhadnutelný objem dat. U jiných technologií je tento režim označován jako CBR, alias Constant Bit Rate (konstantní bitová rychlost). V případě WiMAXu je označován jako UGC nejspíše proto, že stanice nemusí explicitně žádat o jednotlivé dílčí části přenosu, a proto že požadované zdroje jsou garantovány (Grant Service).

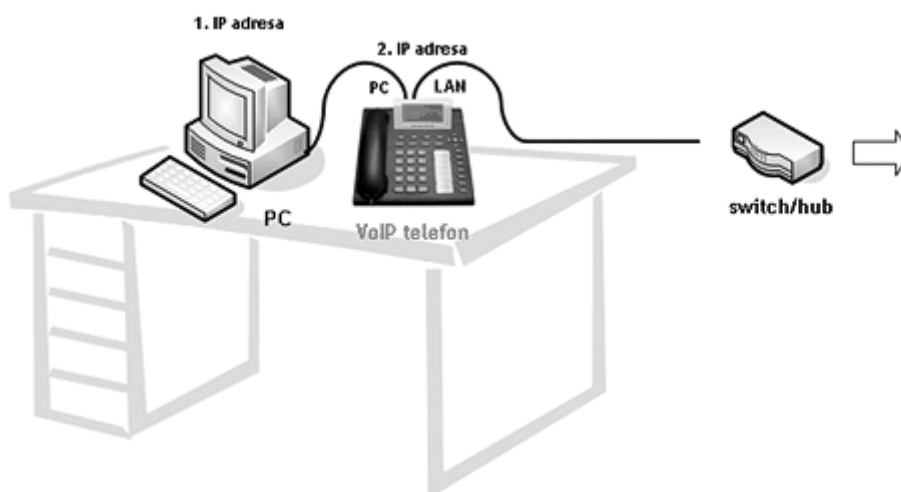
VoIPEX

Aby bylo možné využívat technologii VoIP jako plnohodnotnou náhradu pevné telefonní linky je důležité zvolit vhodného VoIP **operátora**. VoIP operátor je označení pro poskytovatele telefonních služeb VoIP, který na základě licence zajišťuje telefonní služby pro uživatele připojené datovým rozhraním a komunikující protokolem IP. Telefonní služby operátorů většinou zahrnují možnost vyzkoušet si bezplatné testovací volání v síti operátora, dále přidělení veřejného telefonního čísla pro příchozí i odchozí hovory, někdy i více telefonních čísel k jednomu účtu, nebo také možnost převedení původního čísla do sítě

operátora. Toho převedení je však ve většině případů placené. Cena se pohybuje kolem několika tisíc korun.

Jako náhradu pevného telefonního připojení na Obecním úřadě Mochov jsem na základě doporučení vybral službu **VoIPEX**. VoIPEX je telefonní služba od společnosti IPEX a.s., odborníků na připojení k internetu pro domácnosti i firmy a na internetové aplikace. Název VoIPEX je tedy anglickou zkratkou pro "Voice over IPEX". Následující odstavce obsahují porovnání nákladů na telefonování přes klasickou telefonní linku oproti volání přes službu VoIP.

Instalace VoIP telefonu do stávající LAN sítě je velice jednoduchá. Všechny telefony, které VoIPEX nabízí, mají vždy dva porty - tedy zásuvky a v balení obsahují ethernetový kabel. Stačí tedy vytáhnout kabel z počítače, připojit jej do telefonu a pak propojit telefon s počítačem (viz obrázek 8). Pokud je vše nastaveno správně, není poznat rozdíl ani v práci s internetem při telefonování.



Obrázek 8 – Připojení VoIP telefonu, zdroj: [18]

Náklady na stávající telefonní připojení obce Mochov

V současné době využívá Obecní úřad Mochov telefonní linku společnosti Telefónica O2 Czech Republic, a.s. Zároveň si od společnosti pronajímá dva standardní telefonní přístroje, za které platí pravidelné měsíční poplatky. Jako příklad jsem si zvolil vyúčtování za služby, za období od 1.6.2008 do 30.6.2008. Ceny za používání pevné linky jsou:

Popis	Cena bez DPH
Pevná linka – používání	495,00 Kč
Standardní telefonní přístroj – nájem	5,98 Kč
Standardní telefonní přístroj – nájem	5,98 Kč
Celkem stále platby	506,96 Kč
Cena celkem bez DPH	506,96 Kč
DPH (Kč) 19%	96,40 Kč
Cena celkem včetně DPH	603,40 Kč

Ačkoliv má obecní úřad telefonní linku od společnosti Telefónica O2 Czech Republic, uskutečňování telefonních hovorů provádí přes operátora Euphony Czech Republic, a.s. Cyklus vyúčtování probíhá opět v měsíčních intervalech a opět jsem si pro příklad zvolil období od 1.6.2008 do 30.6.2008. Dle informací od obecního úřadu se náklady na hovorné každý měsíc téměř nemění a vyúčtované částky jsou si velmi podobné.

	Počet hovorů	Délka hovorů (min)	Cena bez DPH
Místní	58 / 2	135 / 4	23,56 Kč / 4,28 Kč
Dálkové	18 / 0	47 / 0	141,75 Kč / 2,36 Kč
Mezinárodní	0 / 0	0 / 0	0,00 Kč / 0,00 Kč
Mobilní síť	51 / 0	123 / 0	490,77 Kč / 0,00 Kč
Celkem bez DPH			712,16 Kč
DPH 19%			135,32 Kč
Celkem			847,50 Kč

Z předchozích údajů je tedy patrné, že se náklady na telefonní služby Obecního úřadu Mochov pohybují měsíčně okolo 1 500,- Kč.

Pořízení VoIPEX

U firmy VoIPEX je možné vybrat tarif pro telefonování přesně dle nároků na poskytované služby. Vzhledem k tomu, že jsou na obecním úřadě náklady na telefonování poměrně nízké, byla vybrána služba základní, s telefonní sadou **BudgeTone 200**.

Telefon Grandstream BudgeTone 200 podporuje následující funkce [19]:

- podpora telefonování přes NAT
- patentovaná kontrola přenosu dat
- identifikace volajícího
- podržení hovoru
- přesměrování hovoru
- tónová signalizaci (DTMF)
- hands-free
- přehled volání
- 2x RJ 10/100Mbps porty

Díky tzv. "**přenositelnosti čísla**" je možné přenést naše stávající číslo (čísla) k VoIPEXu a pokračovat v jejich používání. Náklady s tím spojené stanovil Český telekomunikační úřad. Jedná se o paušální poplatek 4 165 Kč za převod jednoho čísla.

Celkové **náklady na pořízení** tedy jsou:

Voipex_sada/BT200_500	1 479,00 Kč
Převod stávajícího telefonního čísla	4 165,00 Kč
UTP kabel rovný 2m	19,00 Kč
Celkem bez DPH	5 663,00 Kč
DPH (Kč) 19%	1 076,00 Kč
Cena celkem včetně DPH	6 739,00 Kč

Jak je vidět, v nákladech na pořízení se nejvíce projevuje cena na zachování stávajícího telefonního čísla. Pokud převod stávajícího telefonního čísla nepožadujeme (například v případě pořízení VoIP domů), jsou náklady na přechod k IP telefonii velice nízké.

V následující tabulce 6 je provedeno porovnání nákladů stávajícího telefonního připojení oproti kalkulaci nákladů přes systém VoIP. Jako vstupy jsou použity reálné údaje Obecního úřadu Mochov za období od 1.6.2008 do 30.6.2008.

Tabulka 6 – Porovnání nákladů na telefonní hovory

	Počet hovorů	Délka hovorů (min)	Cena Euphony	Cena VoIPEX
Místní	50 / 2	135 / 4	23,56 Kč / 4,28 Kč	114,75 Kč / 2,00 Kč
Dálkové	18 / 0	47 / 0	141,75 Kč / 2,36 Kč	39,95 Kč / 0,00 Kč
Mezinárodní	0 / 0	0 / 0	0,00 Kč / 0,00 Kč	0,00 Kč / 0,00 Kč
Mobilní síť	51 / 0	123 / 0	490,77 Kč / 0,00 Kč	473,55 Kč / 0,00 Kč
Celkem bez DPH				
			712,16 Kč	630,25 Kč
Paušál				
			495,00 Kč	0,00 Kč
DPH 19%				
			229,36 Kč	119,75 Kč
Celkem				
			1 436,52 Kč	750,00 Kč

Zdroj: vlastní

Z provedené kalkulace je patrné, že při přechodu na technologii VoIP, se náklady spojené s telefonními hovory sníží zhruba o polovinu. Největší finanční rozdíl je v měsíčním paušálu za používání pevné linky, který je v případě VoIPEXu zcela zdarma. V celkových nákladech není zahrnuta částka více než 11 000,- Kč za pořízení klientské stanice, jelikož se předpokládá, že síť WiMAX je použita primárně jako prostředek na šíření internetu a před zavedením technologie VoIP je klientská stanice již pořízena.

4.3.2 Kamerový systém

V posledních letech obec Mochov zaznamenala zvyšující se počet případů vandalství a kriminálních činů. Proto zastupitelstvo obce začalo uvažovat o vybudování kamerového systému, jako jedno z možných řešení, jak těmto případům zabránit. Bezpečnostní kamery by na vybraných místech obce nepřetržitě monitorovali situaci, což by pak mohlo následně pomoci policii s vyšetřováním. Jako nejvhodnější místa pro umístění kamer bylo vybráno náměstí, prostor před školou, a prostranství okolo obecního úřadu a pošty (viz obrázek 9). Díky technologii WiMAX se náročnost instalace kamerového systému rapidně snížila stejně jako samotné náklady.



Obrázek 9 – Umístění bezpečnostních kamer, zdroj: [9], zpracování vlastní

Jako velmi vhodným hardwarovým řešením se jeví **IP kamera ACTi ACM-1231**. Jedná se o kameru do venkovního prostředí, jejichž provedení nevyžaduje umístění do krytů a vzhledem k zabudovanému infračervenému přísvitu je kamera schopna pracovat i při nulovém osvětlení. Použitím komprese MPEG-4 je dosaženo kvalitního obrazu při nízkém datovém toku, díky čemuž nám 24 hodinový provoz nebude zatěžovat přenosové pásmo. Kamera je schopna dodávat video v rozlišení až 1280 x 1024 při frekvenci 8 snímků za sekundu.

Obecné vlastnosti [7]:

- citlivost 0 lux při IR přísvitu
- varifokální objektiv f3.3~12mm/F1.4 Mega Pixel
- vestavěný IR přísvit - 15 ks IR led (850nm), automaticky zapnutý při slabém osvětlení (pod 4 luxy)
- automatické přepínání ČB / barevný mód podle intenzity osvětlení
- dosah IR přísvitu 20 - 30m
- integrovaná detekce pohybu až ve 3 na sobě nezávislých oknech
- napájení po ethernetu
- přístup pomocí internetového prohlížeče Microsoft Internet Explorer

Abychom nemuseli ke kameře přivádět samostatně napájení, využijeme produkt Planet PoE-151S pro využití technologie Power over Ethernet (PoE). **Power over Ethernet** je napájení po datovém síťovém kabelu, bez nutnosti přivést napájecí napětí k přístroji dalším samostatným kabelem.

Ještě důležitější než výběr kamery, je návrh řešení jakým způsobem bude snímáný obraz zpracován. Dříve bylo pro záznam videa z IP kamery nutné použití počítače. Ten bylo nutné nechat zapnutý neustále a často instalovat několik různých softwarů, které dodávali výrobci spolu s jednotlivými kamerami. Pokud nebyl k dispozici výkonný počítač, bylo donedávna nutné jej zakoupit, často i s licencovaným kamerovým softwarem, což výrazně zvyšovalo cenu celého kamerového systému. Naštěstí však v dnešní době můžeme pro toto řešení zakoupit **IPCorder**. IPCorder je zcela nové, unikátní zařízení, umožňující vytvořit jednoduše a efektivně kamerový systém a využít mnoha dalších možností ethernetové sítě. Vytvoření kamerového systému obnáší prakticky pouze propojení kabelů počítačové sítě a krátké nastavení parametrů zařízení. K IPCorderu lze přes počítačovou síť připojit celou řadu dalších zařízení, mezi které mohou patřit různá čidla (teploměry, vlhkoměry, snímače pohybu, váhy, atd.), digitální vstupy a výstupy, různá zabezpečovací zařízení a mnoho dalších. Integrovaný skriptovací jazyk umožňuje v návaznosti na tato zařízení prakticky každému uživateli rychle a jednoduše nastavit reakce systému na události přesně dle svých potřeb. Lze tak vytvářet velmi variabilní systémy s širokou škálou použití.

Náklady na vybudování kamerového systému v obci Mochov

V obci jsou naplánovány tři místa pro umístění kamer. Pro každé místo je potřeba jednoho kusu IP kamery ACTi ACM-1231 v ceně 12 390,- Kč s PoE splitterem Planet PoE-151S (1 390,-), dále jeden kus klientské outdoor rádiové jednotky BMAX-CPE-ODU-PRO- DMe-SA-3.5 BreezeMAX za 11 638,- Kč včetně napájení BMAX-CPE-IDU-1D BreezeMAX – 1 050,- Kč. Na propojení je dále potřeba 10 metrů koaxiálního kabelu RF240 (200,- Kč) a 10 metrů venkovního ethernet kabelu (100,- Kč). Vlastní instalace bude ve všech případech prováděna na budovy, které jsou majetkem obce, čímž se nám snižují náklady na případné poplatky za pronájem místa. Díky bezdrátové technologii budeme kalkulovat s časovou náročností instalace na čtyři hodiny pro každou kameru i s velkou rezervou. Cena práce instalací se pohybuje v rozmezí 350,- Kč až 450,- Kč za hodinu práce, v našem případě budeme počítat s průměrnou částkou 400,- Kč za hodinu. Na vlastní instalaci IPCorderu počítáme časovou náročnost osm hodin se sazbou 800,- Kč za hodinu. Viz tabulka 7.

Tabulka 7 – Náklady na vybudování kamerového systému

Název	Počet	Cena za jednotku	Celková cena
Kamera ACTI ACM-1231	3 ks	12 390,- Kč	37 170,- Kč
Planet PoE-151S	3 ks	1 390,- Kč	4 170,- Kč
BMAX-CPE-ODU-PRO- DMe-SA-3.5	3 ks	11 638,- Kč	34 914,- Kč
BMAX-CPE-IDU-1D	3 ks	1 050,- Kč	3 150,- Kč
Koaxiální kabel RF240	30 metrů	20,- Kč	600,- Kč
Venkovní ethernet kabel	30 metrů	10,- Kč	300,- Kč
Ethernet koncovky	6 ks	2,50 Kč	15,- Kč
HW práce	12 hodin	400,- Kč	4 800,- Kč
SW práce	8 hodin	800,- Kč	6 400,- Kč
Celkem bez DPH			92 149,- Kč
DPH 19%			17 508,40 Kč
Celkem			109 657,40 Kč

Zdroj: vlastní - zpracováno na základě [7]

4.3.3 Internet

V současné době neexistuje mnoho možností, jakým způsobem se obyvatelé obce Mochov mohou připojit k internetu. Zde jsou uvedeny hlavní možnosti připojení.

ADSL – jediným současným poskytovatelem je společnost Telefónica O2

Výhody:

- nabízí nejvyšší komfort (nízká latence, vysoká rychlost, přiměřený uplink, komfortní možnost provozovat VoIP)
- jednoduchá instalace
- nízké počáteční náklady
- geografická dostupnost (není potřeba přímá viditelnost)
- veřejná IP adresa
- snadné sdílení internetu více počítači

Nevýhody:

- dle uživatelů má ADSL příležitostné výpadky
- nutnost platit kromě internetového připojení i pevnou linku

CDMA – mobilní datová služba, kterou poskytuje společnost Telefónica O2, technologie CDMA poskytuje teoretickou rychlost downloadu 1024 kb/s (prakticky cca 400 kb/s download a cca 100 kb/s upload)

Výhody:

- 100% pokrytí
- mobilní přístup k internetu
- minimální nároky na instalaci
- rychlá realizace

Nevýhody:

- vyšší měsíční provozní poplatky
- problematické sdílení internetu
- FUP (*Fair Use Policy*)
- neveřejné IP adresy
- problematický NAT

GPRS/EDGE – mobilní služba přístupu k internetu poskytující rychlost od 85,6 kb/s (GPRS) do 236,8 kb/s (EDGE). Připojení je vhodné pro příležitostnou nenáročnou práci nebo jako nouzové řešení, kde není jiná možnost připojení. Poskytovatelé – Vodafone, O2, T-Mobile.

Výhody:

- pro majitele GSM telefonu nulové zřizovací poplatky
- 100% pokrytí

Nevýhody:

- velmi pomalá rychlost
- FUP (*Fair Use Policy*)
- negarantovaná služba
- problematický NAT
- nemožnost provozovat IP telefonii
- problematické sdílení internetu
- neveřejná IP adresa

WiFi Czela.net – metropolitní amatérská počítačová síť, která je připojena k celosvětové síti internet. Czela.net o.s. není poskytovatel internetového připojení a nedává žádné záruky.

Výhody:

- nízká cena
- produkty na připojení běžně dostupné

Nevýhody:

- negarantovaná technologie
- pomalý upload
- absence QoS
- nemožnost využívat VoIP
- nutnost zkoušení dostupnosti
- nepatrně vyšší zřizovací náklady
- absence technické podpory
- časté výpadky
- vysoké rušení v pásmu 2,4GHz

Výchozí pozice pro WiMAX

Dle předchozího výčtu možností připojení k internetu je patrné, že jedinou kvalitní službou je technologie ADSL. Zde je však nutnost placení telefonní linky a s tím spojené vyšší náklady. To nám poskytuje velkou příležitost k využití technologie WiMAX jako prostředku pro šíření internetu. Obrovskou výhodou této technologie je prakticky bezproblémový a s tím spojený bezúdržbový provoz a jednoduchá instalace. Dále také díky velkému dosahu signálu máme možnost šíření internetu do širokého okolí, což nám zvyšuje pravděpodobnost velkého počtu případných zájemců.

Výhody:

- nízká latence
- QoS (*Quality of Service*)
- odolnost proti rušení
- placené pásmo 3,5GHz
- vysoké přenosové rychlosti
- NLOS (*Non Line of Sight*)
- velký dosah (teoreticky až 50 km)
- vhodné pro VoIP
- jednoduchá instalace klientské stanice

Nevýhody:

- vysoká pořizovací cena

Kalkulace nákladů na zřízení klientské stanice

Tabulka 8 – Náklady na zřízení klientské stanice

Název	Počet	Cena za jednotku	Celková cena
BMAX-CPE-DMe-Si-E- 3.5	1 ks	9 625,- Kč	9 625,- Kč
Ethernet kabel 10m	1 ks	126,- Kč	126,- Kč
SW práce	0,5 hodiny	800,- Kč	400,- Kč
Celkem bez DPH			10 151,- Kč
DPH 19%			1 928,70 Kč
Celkem			12 079,70 Kč

Zdroj: vlastní – zpracováno na základě [7]

Vedle ADSL přípojek a nespolehlivého WiFi připojení, okolí obce Mochov postrádá alternativu garantovaného a rychlého internetu. Díky WiMAXu by byla tato konektivita nyní dostupná v okruhu 30ti kilometrů, a díky OFDM technologii i v místech, kde není přímá viditelnost na vysílač (všesměrovou anténu).

5 ZÁVĚR

Cílem první části práce bylo popsat princip technologie WiMAX, včetně srovnání s ostatními technologiemi. Bylo poukázáno na skutečnost, že ačkoliv se může technologie WiFi, jež je WiMAXu neblíží, jevit jako hlavní konkurent, jedná se spíše o technologii, která WiMAX doplňuje.

Hlavní náplní druhé části byl návrh stavby sítě WiMAX ve středočeské vesnici Mochov. Jako první z řady úkolů bylo nalezení vhodného geografického umístění pro základnovou stanici. Dále následoval výběr certifikovaných WiMAX produktů pro samotnou stavbu stanice, včetně kalkulace nákladů na pořízení a instalaci.

Velice důležitou částí práce je popis, jak postupovat při žádosti o přidělení licence na vysílání v pásmu 3,5GHz, u Českého telekomunikačního úřadu. Jedná se o náročnou, administrativní část stavby sítě WiMAX.

Následující kapitoly obsahují popis praktického využití sítě WiMAX na službu VoIP, kamerový systém a šíření internetu. Kapitola popisující službu VoIP obsahuje porovnání nákladů na telefonní služby přes klasickou telefonní linku oproti VoIP. Jako podklad pro porovnání byl použit telefonní účet Obecního úřadu Mochov za období od 1.6.2008 do 30.6. 2008. Dle následné kalkulace bylo zjištěno, že při využití VoIP by byly náklady na telefonní služby obecního úřadu téměř poloviční.

Kapitola, zabývající se kamerovým systémem, obsahuje návrh umístění a výběr vhodných IP kamer, jejichž instalace přispěje ke zvýšení bezpečnosti v obci. Součástí je opět kompletní kalkulace nákladů na instalaci.

Poslední kapitola obsahuje výčet možností připojení občanů obce k internetu. U každé technologie je stručný výčet výhod a nevýhod připojení. Kapitola jednoznačně poukazuje na skutečnost, že využití sítě WiMAX, jako prostředku pro šíření internetu, je velice vhodné a konkurenceschopné řešení. Vyšší počáteční investice je jednoznačně vyvážena kvalitou a bezúdržbovým provozem.

Pro Obecní úřad obce Mochov bylo velice důležité zjištění, že tato, na první pohled drahá technologie, může být z dlouhodobého hlediska velice zajímavým a ekonomicky přijatelným řešením. Starosta obce Mochov se zajímá o výsledky mé práce.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] ABC WIFI: WiMax – minulost', současnost' i budoucnost'. [on-line]. 2006. Dostupný na WWW: <http://www.abcwifi.sk/buxus/generate_page.php?page_id=584> [cit. 29. června 2008].
- [2] Access Server: Přenosy dat ve standardu IEEE 802.16 (WiMAX). [on-line]. 2008. Dostupný na WWW: <<http://access.feld.cvut.cz/view.php?navezclanku=prenosy-dat-ve-standardu-ieee-802-16-wimax&cisloclanku=2008050005>> [cit. 23. června 2008]. ISSN 1214-9675.
- [3] Ahnson, S., Ilyas, *WiMAX: Standarts and Security*. CRC Press, 2007. 237s. ISBN 1-4200-4523-7.
- [4] Baláč, V. Co je to VoIP? [on-line]. [cit. 4. srpna 2008]. Dostupný na WWW: <<http://balac.unet.cz/faq.php#20>>.
- [5] Eurescom: WiMAP WiMAX for Mobile APplications [on-line]. 2006. Dostupný na WWW: <<http://www.eurescom.de/~pub-deliverables/P1500-series/P1554/D3/D3.pdf>>
- [6] IEEE 802 Working Group. [on-line]. 2008. Dostupný na WWW: <<http://grouper.ieee.org/groups/802/dots.html>>
- [7] *IPsecure.cz* [on-line]. [cit. 14. srpna 2008]. Dostupný na WWW: <<http://www.ipsecure.cz>>.
- [8] Jáchym, J. Co je to HSPDA. *Katalogmobilu.cz* [on-line]. 2007. [cit. 21. srpna 2008]. Dostupný na WWW: <<http://clanky.katalogmobilu.cz/slovník-pojmu-mobilni-telefony/1329-co-je-to-hsdpa/>>
- [9] *Mapy.cz* [on-line]. 2008. Dostupný na WWW: <<http://www.mapy.cz/>>.
- [10] Peterka, J. Jak jsou připojeny české domácnosti. *DSL.cz* [on-line]. 2007. Dostupný na WWW: <<http://www.dsl.cz/clanky-dsl/clanek-796/Jak-jsou-pripojeny-ceske-domacnosti%3F>>.
- [11] Pužmanová, R. *Bezpečnost bezdrátové komunikace*, Computer Press, 2005, kapitola 6. ISBN 80-251-0791-4
- [12] Pužmanová, R. Bezpečnost ve WiMAX. *WiMAX.cz* [on-line]. 2007. [cit. 29. června 2008]. Dostupný na WWW: <http://www.wimax.cz/index.php?option=com_content&task=view&id=172&Itemid=33>.
- [13] Pužmanová, R. IEEE má mnoho tváří. *Lupa.cz* [on-line]. 2002. [cit. 25. června 2008]. Dostupný na WWW: <<http://www.lupa.cz/clanky/ieee-ma-mnoho-tvari/>>. ISSN 1213-0702.

- [14] Pužmanová, R. Mobilní WiMAX: management a politika bezpečnosti. *WiMAX.cz* [on-line]. 2006. [cit. 1. července 2008]. Dostupný na WWW:
<http://www.wimax.cz/index.php?option=com_content&task=view&id=171&Itemid=33>.
- [15] Pužmanová, R. Technologie mobilního WiMAX. *WiMAX.cz* [on-line]. 2006. [cit. 10. července 2008]. Dostupný na WWW:
<http://www.wimax.cz/index.php?option=com_content&task=view&id=122&Itemid=33>.
- [16] Řehák, J. Co je to WiFi – úvod do technologie. *HW Server* [on-line]. 2003. [cit. 15. června 2008]. Dostupný na WWW:
<http://hw.cz/ethernet/wifi/wifi_co_to_je.html>.
- [17] Vaculín, J. Jak žádat o WiMAX licenci v pásmu 3,5GHz. *Intelek.cz* [on-line]. 2008. [cit. 2. srpna 2008]. Dostupný na WWW:
<http://www.intelek.cz/art_doc-29B0470BE0F689D6C125740C002F6883.html>.
- [18] *VoIPEX.cz* [on-line]. [cit. 10. srpna 2008]. Dostupný na WWW:
<<http://byznys.voipex.cz/dotazy.php#f13>>.
- [19] *VoIPEX.cz* [on-line]. [cit. 10. srpna 2008]. Dostupný na WWW:
<<http://www.voipex.eu/pdf/zarizeni/bt200.pdf>>.
- [20] Xyao, Y. *WiMAX/MobileFi: Advanced Research and Technology*. CRC Press, 2008. 219s. ISBN 1-4200-4351-X.

Seznam zkratek

3DES	Triple Digital Encryption Standard
ADSL	Asimetric Digital Subscriber Line
AES	Advanced Encryption Standard
AK	Authorization Key
BPSK	Binary Phase Shift Keying
BWA	Broadband Wireless Access
CID	Connection Identifier
CMAC	Cipher Block Chaining Message Authentication Code
CP	Cyklická Předpona
CSMA	Carrier Sense Multiple Access
DCD	Downlink Channel Descriptor
DFS	Dynamic Frequency Selection
DoS	Denial of Service
DSL	Digital Subscriber Line
EDGE	Enhanced Data for GPRS Evolution
FDD	Frequency Division Duplex
FTP	File Transfer Protocol
FUP	Fair Use Policy
GPRS	General Packet Radio Services
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile Communication
H-ARQ	Hybrid Automatic Repeat Request
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IEEE-SA	IEEE Standards Association
ISM	Industry, Science, Medical
LAN	Local Area Network
LLC	Logical <i>Link Control</i>
LoS	Line of Sight
MAC	Media Access Control
MAN	Metropolitan Area Network
MBS	Multicast / Broadcast Service
MIMO	Multiple Input and Multiple Output
MPEG	Motion Picture Editors Guild
NAT	Network Address Translation
NLOS	Non Line Of Sight

OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OSI	Open Systems Interconnection
PHY	Physical Layer – Fyzická vrstva
PKM	Privacy Key Management
PMP	Point to Multipoint
PoE	Power over Ethernet
PtMP	Point-to-Multi-Point
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QoS	Quality of Service
RLC	Radio Link Control
RNC	Radio Network Controller
RSA	Rivest, Shamir and Adleman
SAID	Security association Identifier
SNMP	Simple Network Management Protocol
S-OFDMA	Scalable Orthogonal Frequency Division Multiple Access
STC	Space Time Coding
STP	Spanning Tree Protocol
TAG	Technical Advisory Group
TDD	Time Division Duplexing
TDM	Time Division Multiplex
TDMA	Time Division Multiple Access
TEK	Traffic Encryption Key
TPC	Transmit Power Control
UCD	Uplink Channel Descriptor
UGS	Unsolicited Grant Service
UL	Přenos dat od uživatelů k základové stanici
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
VoIP	Voice over Internet Protocol
VoIPEX	Voice over IPEX
VPN	Virtual Private Network
WECA	Wireless Ethernet Compatibility Alliance
WEP	Wired Equivalent Privacy
WiFi	Wireless Fidelity
WiMAX	Worldwide Interoperability of Microwave Access
WLAN	Wireless Local Area Network

Seznam obrázků

<i>Obrázek 1 – Způsob připojení domácností k internetu v ČR v roce 2007</i>	<i>8</i>
<i>Obrázek 2 – Podporované síťové architektury: (a) point-to-multipoint; (b) mesh</i>	<i>11</i>
<i>Obrázek 3 - Porovnání TDD a FDD technik.....</i>	<i>12</i>
<i>Obrázek 4 – Proces autorizace.....</i>	<i>18</i>
<i>Obrázek 5 – MIMO,.....</i>	<i>20</i>
<i>Obrázek 6 – Umístění základové stanice</i>	<i>26</i>
<i>Obrázek 7 – Mapa pokrytí</i>	<i>30</i>
<i>Obrázek 8 – Připojení VoIP telefonu.....</i>	<i>33</i>
<i>Obrázek 9 – Umístění bezpečnostních kamer</i>	<i>37</i>

Seznam tabulek

<i>Tabulka 1 – IEEE 802.....</i>	<i>10</i>
<i>Tabulka 2 – Režie přenosu na fyzické vrstvě</i>	<i>14</i>
<i>Tabulka 3 – Porovnání WiMAX s ostatními bezdrátovými technologiemi</i>	<i>24</i>
<i>Tabulka 4 – Přenosová rychlost, citlivost základové stanice</i>	<i>27</i>
<i>Tabulka 5 – Náklady na vybudování základové stanice</i>	<i>29</i>
<i>Tabulka 6 – Porovnání nákladů na telefonní hovory</i>	<i>36</i>
<i>Tabulka 7 – Náklady na vybudování kamerového systému</i>	<i>39</i>
<i>Tabulka 8 – Náklady na zřízení klientské stanice</i>	<i>42</i>