

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá problematikou bezdrátových sítí, jednotlivými druhy technologií a jejich aplikací do reálných síťových topologií.

Klíčová slova

Bezdrátová síť, wi-fi, pásmo, frekvence, spoj, přenos, propustnost.

Abstract

The thesis deals the wireless network problems, individual species of technology and their application to real network topology.

Keywords

Wireless network, wi-fi, band, frequency, link, transfer, bandwidth.

Bibliografická citace

ŠEBELA, J. *Problematika bezdrátových sítí*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta podnikatelská, 2013. 60 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Miloš Koch, CSc.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že předložená bakalářská práce je původní a zpracoval jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem ve své práci neporušil autorská práva (ve smyslu Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

V Brně dne 25. května 2013

.....
Josef Šebela

Poděkování

Děkuji panu doc. Ing. Miloši Kochovi, CSc. za pomoc a důležité informace, se kterými mě vedl během zpracování bakalářské práce.

Děkuji firmě XYZ, s.r.o. za poskytnutí informací, materiálů a praktických zkušeností, které mi byly velkým přínosem.

Moje poděkování patří také mým rodičům a manželce, že mi poskytli vhodné podmínky pro absolvování Vysoké školy.

Obsah

| | |
|---|----|
| 1. Teoretická část | 12 |
| 1.1 Přehled technologií, základní pojmy | 12 |
| 1.1.1 Optická zařízení | 12 |
| 1.1.1.1 Zařízení pro vnitřní použití | 12 |
| 1.1.1.2 Zařízení pro venkovní použití | 13 |
| 1.1.2 Mikrovlnná zařízení | 13 |
| 1.1.2.1 Jednotlivé složky antény | 15 |
| 1.1.2.2 Pásmo 2,4 GHz | 17 |
| 1.1.2.3 Pásmo 3,5 GHz | 21 |
| 1.1.2.4 Pásmo 5,6 GHz | 21 |
| 1.1.2.5 Pásmo 10,5 GHz | 24 |
| 1.1.2.6 Pásmo 11 GHz | 28 |
| 1.1.2.7 Pásmo 24 GHz | 29 |
| 1.1.2.8 Pásmo 80 GHz | 31 |
| 1.1.2.9 Další pásma | 32 |
| 2. Analýza | 34 |
| 2.1 Subjekt pro analýzu bezdrátových řešení | 34 |
| 2.1.1 Základní údaje o vybraném podniku | 34 |
| 2.1.2 Historie firmy | 34 |
| 2.1.3 Současnost firmy | 35 |
| 2.2 Bezdrátové trasy v síti | 36 |
| 2.2.1 Schéma páteřních spojů | 38 |
| 2.3 Současný stav sítě | 41 |
| 3. Návrhy | 43 |
| 3.1 Návrh technologií jednotlivých spojů | 43 |
| 3.2 Zhodnocení výstupů návrhu | 50 |
| 3.3 Shrnutí návrhu | 51 |
| 4. Ekonomické zhodnocení návrhu | 52 |
| 4.1 Náklady na užitou technologii | 52 |
| 4.1.2 Náklady na záložní technologii | 53 |
| 4.2 Přínosy pro firmu | 53 |

Úvod

Počítačové sítě jsou neodmyslitelnou součástí dnešního světa. Rozumíme jimi síť doma, která může sestávat třeba jen ze dvou zařízení, podnikové sítě, kde je velikost sítě často přímo úměrná velikosti firmy podle počtu zaměstnanců pracujících s počítačem, metropolitní sítě v rámci jednotlivých měst a nakonec i síť ze všech největší a nejrozsáhlejší – Internet.

Internet nám poskytuje obrovskou škálu služeb, přičemž řada z nich si již našla své pevné místo v našich profesních i soukromých životech. Jedná se zejména o elektronickou poštu, systémy umožňující přenos souborů, telefonní služby, sociální sítě a především systém pro zpracování webových stránek, na které přistupujeme pomocí prohlížečů.

V dnešní době už se nedá říct, že by ekonomicky činný člověk nepoužíval těchto nástrojů. Prakticky všechny firmy a instituce mají své webové stránky, přičemž jejich vzhled a zpracování už je dnes bez nadsázky jednou z nejdůležitějších forem prezentace a utváření dobrého jména. Totéž platí i o jednotlivcích, kdy zejména mezi mladšími lidmi je např. vlastnictví profilu na sociální síti téměř normou.

Z těchto poznatků vyplývá, že síť Internet se rozrostla velmi dynamicky a i dnes se neustále vyvíjí, modernizuje a přidává nové možnosti ve sdílení dat, komunikaci a dalších oblastech.

Je evidentní, že za vším stojí velmi rozsáhlé technické pozadí pro přenos dat, na které běžný uživatel nemá šanci dohlédnout, ale které tvoří podstatu celé funkčnosti systému, který je určen zejména pro přenášení dat z jednoho místa na druhé.

Lze říci, že přenos dat může být realizován dvěma způsoby – pomocí kabelů nejrůznějších typů nebo bezdrátovým spojením. Obecně je spojení kabelem spolehlivější, rychlejší, kvalitnější a často i levnější, ovšem nezdědka nastávají situace, kdy je nechceme anebo jednoduše nemůžeme použít.

Ačkoli oba systémy slouží primárně stejnému účelu, a to přenosu dat z jednoho místa na druhé, jejich technická specifikace je zcela rozdílná. Zatímco u kabelového spojení je většina jeho vlastností zřejmá, např. propustnost, stabilita přenosu a další, u bezdrátového spojení závisí na celé řadě proměnných, které se podílí na celkovém výsledku spoje.

A právě bezdrátovým spojením se bude zabývat tato práce, jejímž cílem je shrnutí teoretických poznatků o bezdrátových sítích, analýza současného trhu ohledně nabízených zařízení a také aplikace vědomostí získaných během tvorby této práce na existující síť s důrazem na zlepšení současného stavu.

1. Teoretická část

1.1 Přehled technologií, základní pojmy

„Síť je spojením určitého hardwaru, softwaru a kabelů (vodičů), které společně umožňují vzájemnou komunikaci různých počítačových zařízení.“¹

Ze všeho nejdříve je potřeba jmenovat technologie, pomocí kterých jsme schopni data bezdrátově transportovat, a to buď z bodu do bodu (point-to-point), nebo z jednoho bodu pro více účastníků (vztah AP – klient, jinak také point-to-multipoint). Děje se tak pomocí obrovské škály nejrůznějších zařízení, na krátké i velmi dlouhé vzdálenosti od pár metrů v případě Bluetooth až po desetitisíce kilometrů v případě satelitního vysílání. Pro potřeby základního členění rozdělíme zařízení na mikrovlnná a optická.

1.1.1 Optická zařízení

Tato skupina je poměrně úzká, avšak principiálně velmi odlišná od mikrovlnných zařízení, proto je také zmiňována samostatně. Protože z hlediska bezdrátových sítí není příliš významná, zmíníme ji jen okrajově. Jedná se o přenos většinou neviditelného světelného (optického) signálu ve volném prostoru, kdy jednotky na obou koncích jsou vybaveny vysílačem signálu a současně senzorem citlivým na světlo pro zachycení vysílání protistrany.

Principiálně je lze rozlišit na zařízení pro vnitřní a venkovní použití.

1.1.1.1 Zařízení pro vnitřní použití

Lze jmenovat infračervený port využívající standardu IrDA, kterým bývaly vybaveny mobilní telefony, PDA a další především v devadesátých letech minulého století. Systém byl jednoduchý, přenos byl realizován pomocí infračervených led diod pro vysílání signálu a fotodiod pro příjem, ale hlavními nevýhodami byly nižší propustnost dat, dosah cca do 1 metru a především potřeba přímé viditelnosti a dobrého nasměrování světla mezi oběma zařízeními. V současné době infračervený přenos prakticky vytlačila technologie Bluetooth, wi-fi a další.

¹ ODOM, Wendell. *Počítačové sítě*. 1. vydání. Brno: CP Books, 2005. 384 s. ISBN 80-251-0538-5.

1.1.1.2 Zařízení pro venkovní použití

Jedná se většinou o profesionální spoje stavěné pro přenos na vzdálenost maximálně do několika kilometrů, často s velmi slušnou propustností dat kolem 1 Gbps. Hodí se do lokalit se silným využitím rádiového spektra, protože svou podstatou jsou zcela imunní vůči běžnému rušení. Mezi hlavní nevýhody lze uvést závislost kapacity spoje na počasí (za mlhy se snižuje propustnost), nutnost odborného namíření spoje a především vysoké pořizovací náklady.



Obrázek 1: Laserové pojitko, výrobce MRV

1.1.2 Mikrovlnná zařízení

Tato kapitola je velmi obsáhlá a ve své podstatě tvoří naprostou většinu bezdrátových přenosů, které jsou prakticky využívány.

Mikrovlnné spoje jsou relativně levné řešení, které má však řadu nevýhod, a to například horší pronikání do vnitřních prostor a paprsky odchylující se od ideální dráhy. Používají se při komunikaci na naprosto rozličné vzdálenosti, vždy závisí na použité technologii, frekvenci vysílání atd. Výběr technologie je čistě v rukou uživatele, často je odvislý zejména od pořizovací ceny, avšak při výběru frekvencí je nutné číst Zákon o telekomunikačních službách a nařízení Českého telekomunikačního úřadu, který tyto kmitočty spravuje.

Ten stanovuje, že každý, kdo provozuje bezdrátovou síť, musí mít platnou licenci vydanou ČTÚ, která ho opravňuje k vysílání na určené frekvenci. Protože vysílacích frekvencí je konečné množství, tyto licence jsou zpoplatněné a často se jedná o nemalé částky (obvykle v řádech desetitisíců Kč), mj. z důvodu nemožnosti využití pásma dalším subjektem a tím pádem jejím zabráním.

„Kromě kmitočtového pásma, kde bude spoj provozován, je pro provozovatele velice důležitým parametrem tzv. šířka zabraného pásma, protože právě zabraná šířka pásma je regulačním orgánem zpoplatňována a poplatky jsou jí přímo úměrné.“²

Existuje však několik výjimek. ČTÚ stanovil několik frekvenčních rozsahů, označovaných jako bezlicenční pásmo, kde, jak už označení napovídá, není třeba žádné povolení vydané přímo ČTÚ, ani samotné vysílání není regulováno a tudíž je může libovolně užít každý, pokud nepřekročí povolený vysílací výkon.

„Rádiovým spektrem se rozumí elektromagnetické vlny o kmitočtu od 9 kHz do 3 000 GHz šířené prostorem bez zvláštního vedení.“

Rádiové spektrum je rozděleno na devět pásem označených vzestupnými celými čísly dle dále uvedené tabulky. Jednotkou kmitočtu je hertz (Hz) a kmitočty se vyjadřují:

- a) v kilohertzech (kHz) do 3000 kHz včetně,
- b) v megahertzech (MHz) od 3 MHz do 3000 MHz včetně,
- c) v gigahertzech (GHz) od 3 GHz do 3000 GHz včetně.“³

Mikrovlnné spoje je možné třídit podle mnoha různých kritérií, nejzákladnější rozdělení je na spoje analogové a digitální. Digitálně vysílá naprostá většina moderních telekomunikačních spojů, zatímco pod analogovým vysíláním si představíme zejména

² <http://www.bezdratove-telekomunikace.cz/katalog-pojitek/o-radiovych-spojich/3-provozni-kmitocty-rr-spoju/>

³ Zákon č. 127/2005 Sb., o elektronických komunikacích:

<http://portal.gov.cz/app/zakony/zakon.jsp?page=0&nr=127~2F2005&rpp=15#seznam>

rozhlasové a dříve i televizní vysílání. V této práci se však budu zabývat výhradně digitálními bezdrátovými spoji.

Podmínka nutná u mikrovlnných spojů je přímá optická viditelnost mezi anténami. Současně je třeba dbát na velmi přesné nasměrování obou antén. Z hlediska fyziky platí, že čím vyšší vysílací frekvence, tím užší paprsek a tedy větší nutnost přesného nasměrování antén. Bezdrátové spoje se často řetězí za sebe, ať už pro překonání větších vzdáleností, než umožňuje daný spoj, tak pro překonání terénních nerovností, kdy potřebujeme dostat signál z jednoho místa na druhé, ale k přenosu je potřeba více spojů právě z důvodu podmínky přímé viditelnosti.

1.1.2.1 Jednotlivé složky antény

Je důležité vyjasnit, z čeho sestává mikrovlnný (nebo též radioreléový) spoj. Pasivním prvkem spoje je anténa, která je buď panelové, nebo častěji parabolické konstrukce, která vysílá paprsek ke druhé straně spoje a současně přijímá a usměrňuje tok vysílání protistrany.

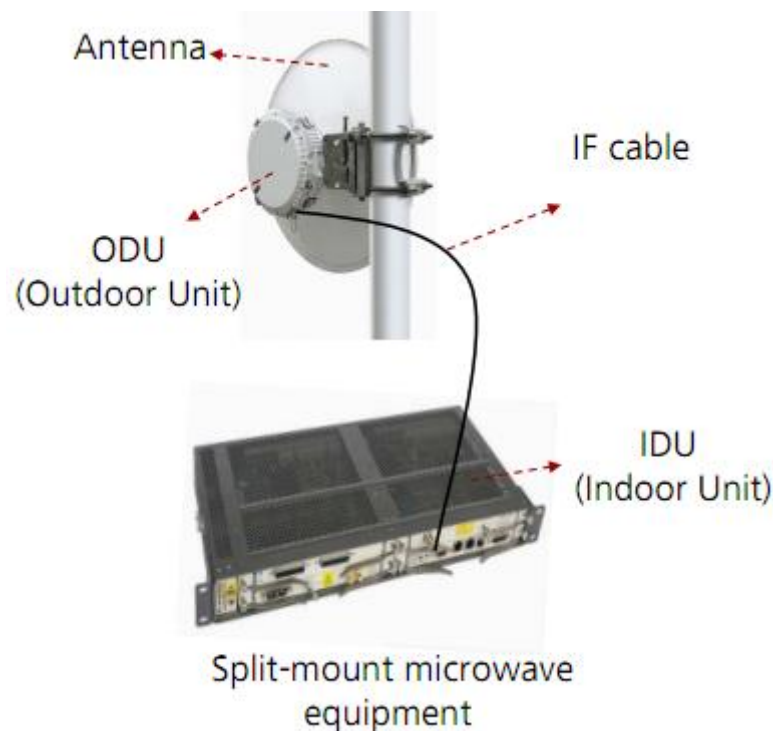
Používají se antény nejrůznějších velikostí, zhruba v rozmezí od 0,1 m do 2 m, výjimečně i větší. Určujícím faktorem pro použití konkrétní antény jsou především fyzikální vlastnosti, jako jsou vysílací výkon, decibellový zisk, modulační rychlost, kapacita spoje, vzdálenost, požadovaná kvalita přenosu a případně dalších faktorech.

Toto rozhodnutí činí často již samotný výrobce antény, který dodá spoj již kompletní a tedy bez možnosti výběru antén. Toto se týká zejména dražších a profesionálnějších spojů, u těch levnějších (zejména pásmo 2.4 GHz, 5 GHz apod.) je volba často na nás, existují sice hotová řešení, ale také je na trhu nepřeberná spousta nejrůznějších typů antén, z nichž každá může být nejlépe využitelná v jiných situacích, ať už z hlediska vyzařovacího, montážního, rozměrového atd.

Mezi aktivní prvky patří venkovní a vnitřní jednotky antény (typické označení ODU – outdoor unit a IDU – indoor unit). ODU je obvykle „mozkem“ celého zařízení, kromě vysílače a přijímače signálu často obsahují i jednoduché mini PC, na kterém běží

software pro management antény, který zde implementoval výrobce a bez kterého by sice spoj mohl fungovat, ale bez možnosti jakéhokoli vzdáleného nastavování či kontroly a dohledu. ODU jednotka je typicky připevněna zezadu antény jako tzv. „batoň“. Je obvykle připojena UTP/TFP kabelem (dříve také koaxiálním kabelem, dnes již zřídka), po kterém je současně vedeno napájení jednotky, nejčastěji v rozmezí 24-56 V DC.

V poslední době, zejména se zvyšujícími se přenášenými rychlostmi, se zmíněný kabel používá již jen k napájení, případně k připojení managementu, pro samotná přenášená data je ODU vybavena rozhraním pro připojení optického kabelu, jehož přenosové rychlosti jsou mnohonásobně vyšší. Vnitřní IDU jednotky slouží k připojení jednotlivých rozhraní do klasické datové sítě a také jako injektor napájení pro ODU.



Obrázek 2: Schéma zapojení ODU a IDU jednotek

Vzhledem k vývoji v tomto odvětví se lze čím dál častěji setkat s koncepcí takovou, kdy už nerozlišujeme venkovní a vnitřní jednotku, vše je spojeno v jedinou, která je integrována zezadu antény nebo v její blízkosti. Tímto odpadá vnitřní jednotka, namísto ní už je často jen zdroj napětí a současně rozbočení signálu z antény pro klienta, ten

bývá vybaven přepětovou ochranou na jednotlivých vodičích kabelu pro eliminaci škod způsobenou zejména úderem blesku.

Toto řešení se začíná prosazovat stále častěji, zejména kvůli své jednoduchosti a dobré použitelnosti, zejména u jednodušších spojů na kratší vzdálenosti, typicky v metropolitních sítích. Samozřejmě že dostupné technologie se liší i mezi jednotlivými frekvenčními pásmy, což je způsobeno jednak technickými možnostmi, ale také rukou trhu.

Mezi zařízeními jsou propastné rozdíly z hlediska jejich konstrukce, frekvence, přenosové kapacity, fyzikálních vlastností a přizpůsobení, provedení a ceny.

Nyní bych rád analyzoval situaci na trhu, ale protože nabídka je nepřehledná, seřadím technologie podle frekvenčních pásem, protože to je jedna z jejich nejzákladnějších vlastností.

Spolu s frekvenčním pásmem se mění jednotlivé vlastnosti antén a zjednodušeně se dá říci, že čím vyšší frekvence, tím kvalitnější, dražší a výkonnější spoj do ní spadá. Tento trend je patrný napříč všemi kmitočty a je dán kromě dalších také politikou Českého telekomunikačního úřadu ohledně přidělování kmitočtů k vysílání a také fyzikálními vlastnostmi jednotlivých frekvencí.

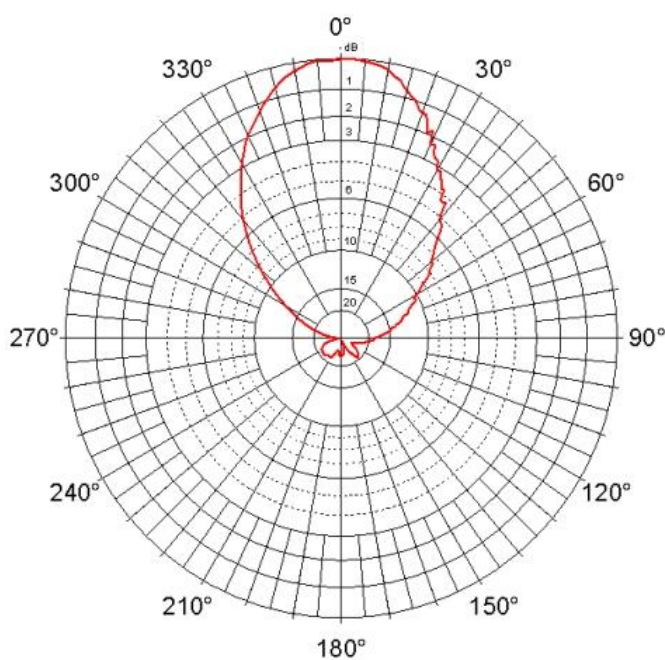
1.1.2.2 Pásmo 2,4 GHz

Jde o nejpopulárnější frekvenční pásmo pro koncové uživatele, často označované zkratkou wi-fi (často psáno s různými velkými a malými písmeny a někdy se vynechává pomlčka). Pro zajímavost lze uvést, že tato zkratka vlastně původně neznamovala nic, byla pouze hovorovým označením standardu IEEE 802.11, avšak postupně se díky inspiraci zkratkou Hi-Fi (High-fidelity – věrná reprodukce) vžilo lehce žertovné označení Wireless-fidelity – tedy věrně přenášená data.

„Aliance pro kompatibilitu bezdrátového ethernetu (WECA) přijala wi-fi jako snadno pochopitelnou značku pro všechny produkty splňující normu 802.11b.“⁴

Standard 802.11 byl zaveden v roce 1997 mezinárodním standardizačním institutem IEEE. Dále se pak rozšiřoval v roce 1999 specifikacemi 802.11a a 802.11b, další rozšíření přišlo v roce 2003, kdy byl zaveden dnes nejvíce využívaný standard 802.11g, který oproti původnímu s modulační rychlostí 11 Mbps zvýšil rychlost až na 54 Mbps.

V současné době zažívá rozvoj zatím poslední standard 802.11n zapsaný roku 2007, který přidává podporu MIMO technologie (Multiple Input, Multiple Output – mnohonásobný vstup, mnohonásobný výstup) a zejména díky této implementaci dosahuje modulační rychlosti až 600 Mbps.



Obrázek 3: Měřicí diagram antény 2,4 GHz

„Každý ze standardů 802.11x popisuje jiné modulační schéma a jinou šířku pásma, se kterou pracuje. Všechny standardy však sdílí koncept kanálu, který odděluje jednu sadu spojení (sít' nebo podsít') od ostatních.“⁵

⁴ BRISBIN, Shelly. *Wi-fi*. 1. vydání. Praha: Neocortex, 2003. 248 s. ISBN 80-86330-13-3.

Jedná se o bezlicenční pásmo, může v něm tedy vysílat každý bez ohledu na povolení a právě z tohoto důvodu je v současnosti velmi vytížené, na venkovní přenosy se dnes už prakticky nepoužívá. Naopak na přenosy uvnitř budov funguje stále často velmi dobře, zejména díky špatné propustnosti signálu skrze zástavbu, což uživateli dává jistou výhodu, že zdroje rušení zvenčí nemají zpravidla takovou intenzitu, aby naše vysílání mohly výrazněji omezit.

Z tohoto důvodu je využíváno pro levné, ale velmi efektivní řešení zejména domácích sítí, kdy při dosahování velmi slušných přenosových výkonů (někdy i pár desítek Mbps) často odstraňuje nutnost natahování kabelové sítě.



Obrázek 4: Logo wi-fi

Logo zaručující kompatibilitu vydává průmyslová nezisková organizace Wifi aliance.

Samostatnou kapitolou ohledně pásma je zabezpečení wi-fi sítě, protože ta se ze své podstaty nedá omezit na konkrétní prostor (byt, dům, přednášková místnost, hala, areál atd.) a pokud by byl útočník vybaven směrovou anténou s vysokým ziskem signálu, mohl by být od sítě vzdálený několikanásobně více, než je její obvyklý dosah. Z tohoto důvodu je potřeba síť řádně zabezpečit, šifrování sítě pomocí některé šifrovací metody je dnes zcela nejčastější, ale je vhodné je zkombinovat s dalšími metodami, které zabrání vniknutí útočníka do sítě.

⁵ SOSINSKY, Barrie. *Mistrovství počítačové sítě*. 1. vydání. Brno: Computer Press, 2010. 840 s. ISBN 978-80-251-3363-7.

Šifrování symetrickým klíčem WEP anebo novějším WPA je základ, i když ne vždy je využíváno a wi-fi síť je tak často zcela nechráněna. Děje se to proto, že výrobci velmi často z důvodu uživatelsky jednoduchého nastavení předkonfigurují wi-fi router do té fáze, že často jej stačí pouze připojit do lan sítě, připojit se bezdrátově a to je vše. Toto svede naprostá většina uživatelů a ta v okamžiku zjištění, že internetové připojení je funkční, často neřeší další konfigurace zabezpečení a kdokoli v dosahu se tedy může připojit.



Obrázek 5: Úloha wifi routeru v domácí síti

Je tedy velmi vhodné síť řádně zabezpečit, což lze udělat více způsoby, případně je zkombinovat. Prvním z nich je zmíněné šifrování spojení, nejlépe šifrovacím klíčem WPA2 (pokud ho všechna bezdrátová zařízení v dané síti podporují), protože na rozdíl od starších klíčů WPA2 dosud nebyl prolomen.

Další možnost je omezení přístupu, kdy ve vysílací jednotce (routeru) definujeme seznam MAC adres koncových klientů, kteří se mohou k síti připojit.

Metod je celá řada, z často využívaných lze ještě uvést snížení vysílacího výkonu (pokud to neomezí naši vlastní komunikaci v síti), skrytí názvu sítě SSID, použití více směrových antén atd.

1.1.2.3 Pásmo 3,5 GHz

Dnes již zřídka využívané frekvenční pásmo je provozovatelné pouze s licenci od ČTÚ, samozřejmě zpoplatněnou. To je činí méně dostupným a rozšířeným, ale jeho skutečné omezení je v malé šířce kanálů a tedy i propustnosti dat – koncoví klienti většinou nedosáhnou větší přenosové rychlosti než cca 2-3 Mbps, což před několika lety byla ještě postačující hodnota a v kombinaci s licencovaným, čili nikým nezarušitelným pásmem, z ní dělalo ideální volbu pro přípojky s profesionálními parametry. S pokrokem doby už se hodí pouze pro linky s deklarovanou malou rychlostí průtoku dat, zato s vynikající stabilitou.

Další aplikací může být připojení telefonních ústředěn využívajících VOIP, kde je možné ocenit i na dnešní poměry vynikající stabilitu (jitter), což je právě pro hlasové služby jeden z nejdůležitějších parametrů.

V praxi se lze využít úsporné řešení, kdy datová přípojka malé firmy je realizována pomocí klasických bezlicenčních technologií, avšak hlasové služby obstarává zvlášť právě pásmo 3,5 GHz, právě z výše uvedeného důvodu stability. Pokud už poskytovatel má zaplacenou licenci, může právě toto řešení pro něj být poměrně levná alternativa, jak zřídit stabilní profesionální přípojku s ohledem na cenu.

1.1.2.4 Pásmo 5,6 GHz

Jde o jedno z nejrozšířenějších pásem pro připojení k internetu, pokračovatele wi-fi technologie, často je s ním zaměňováno či občas nazýváno stejně. Přesné označení standardu je IEEE 802.11a a na rozdíl od 802.11b-g disponuje mnohem lepšími podmínkami pro přenos bezdrátového signálu, mezi které patří zejména šířka pásma a z toho vyplývající větší prostor pro jednotlivé kanály, jednak co se týče jejich počtu a také skutečnosti, že od sebe jsou více decibelově vzdáleny a zdaleka tolik se vzájemně neruší. Tyto skutečnosti dávají tušit větší potenciál normy 802.11a pro použití v praxi,

protože pokud je kanálů více a jsou lépe využitelné, je zde i daleko lepší možnost využití pro přenos větších rychlostí a zároveň větší možnosti „uhnutí“ před rušením na podobných kanálech. „Cizí signály namodulované při přenosu na přenášený signál způsobují zkreslení zprávy“⁶

Tyto vlastnosti jsou velmi důležité zejména z důvodu, že se jedná o volné bezlicenční pásmo, kde regulován je pouze vysílací výkon, nikoli frekvence.

V současné době jde nejvyužívanější typ technologie pro individuální připojení k internetu pro jednotlivce i malé firmy. Přenosová rychlost je silně závislá na mnoha okolnostech, které ale mají společný faktor, a to míru využití tohoto volného pásma – jednotlivě bychom mohli uvést míru využití radiového spektra ostatními access pointy (rušení), míru obsazení jednotlivých vysílačů, typ technologie a její vysílací parametry a mnohé další.

Zde je ale nutno uvést, že i když podmínky z hlediska těchto faktorů nejsou nijak příznivé, stále platí, že z hlediska fyzikálních charakteristik uvedených v minulém odstavci je možné i v zarušeném prostředí na této frekvenci s uspokojivým výsledkem poskytovat připojení k internetu, propojovat privátní sítě a celkově stavět spoje poskytující nevelkou, avšak rozumnou rychlost, která je často pro jednotlivce schopna překročit 10 Mbps, v případě point-to-point spoju i několikanásobně vyšší.

Jelikož nároky na stabilitu a zejména na přenosovou rychlost se neustále zvyšují, zažívá právě tato technologie největší evoluce a pokroky a je jasné, že ještě neřekla své poslední slovo a ještě má možnosti růst. Jde zejména o využití standardu 802.11n, který je na této frekvenci využitelný v případě, že standard je hardwarově podporován, dále se jedná o softwarové záležitosti typu nv2 od firmy Mikrotik, která zaručuje zejména vyšší odolnost vůči rušení a podobné systémy různých výrobců.

Nejdůležitějším do praxe uvedeným vylepšením původního systému je implementace MIMO technologie (Multiple input, multiple output = více vstupů, více výstupů), která

⁶ JANSEN, Horst - RÖTTER, Heinrich a kolektiv. *Informační a telekomunikační technika*. 1. vydání. Praha: Siemens, 2004. 399 s. ISBN 80-86706-08-7.

prakticky zdvojnásobí veškerou anténní technologii na obou koncích radiového spoje, čímž chápeme další vysílací modul (např. mini PCI kartu, která integruje oba moduly do jedné karty), koaxiálové vedení i často druhou anténu, případně alespoň další činnou plochu v deskovém typu antény či další zářič v parabolické anténě, kdy může být implementace na první pohled zcela nepostřehnutelná, ale fakticky se jeden kus antény využívá dvěma různými přijímači a vysílači a simuluje se tak přítomnost druhé antény.

Tato alternativa, kdy namísto dvou zařízení na stožáru stačí jedno, je často lepším řešením z mnoha důvodů, mezi které může patřit míření antén, platba za pronájem stožáru podle počtu kusů zařízení apod.

Hlavní výhodou je ale očekávaný výstup, čili přenosová rychlost, která při kvalitním, avšak ne nutně velmi drahém rádiovém spoji, může dosahovat rychlosti přesahující 100 Mbps, občas i více. Svoji nevelkou stabilitou a velkou náchylností k případnému rušení neohrozí dominantní postavení profesionálních mikrovlnných spojů s cenou v řádu desítek či stovek tisíc korun, avšak rozhodně dává tušit, že 5 GHz zařízení rozhodně nejsou na ústupu a při jejich současné rozšířenosti nemá smysl se od nich odvracet, protože dokážou stále nabídnout zajímavé technické možnosti, které ale přitom nejsou vykoupeny cenou, kterou by nebyl ochoten zaplatit koncový klient za připojení k internetu.



Obrázek 6: Radiová MIMO karta Mikrotik

Velcí hráči na trhu bezdrátových zařízení se jednoznačně orientují tímto směrem, což dává dobře tušit směr vývoje. Za největší výrobce můžeme označit společnosti Ubiquity

a Mikrotik, z nichž oba mají ve své modelové řadě zařízení podporující funkci MIMO, přičemž neustále dochází k technologickým vylepšením, kde prim hraje přenosová kapacita.



Obrázek 7: antény výrobce Ubiquity

1.1.2.5 Pásmo 10,5 GHz

„V první řadě je potřeba zmínit, že 10,5 GHz pásmo je těžce vybojované nelicencované pásmo, ve kterém lokální poskytovatelé internetu (samozřejmě nejen oni) provozují více než 10 tisíc vysokokapacitních spojů. Historie tohoto pásma sahá do začátku devadesátých let. Ve společnosti Tesla tehdy pracovali pánové Smítka, Vodička a Peterka. Byl to právě akademik Josef Smítka, který počátkem devadesátých let u předchůdce ČTÚ protlačil volné pásmo 10,5 GHz, které přesně definovala Generální licence (dnes Všeobecné oprávnění).“⁷

Tato technologie je první z těch, které můžeme nazvat jako páteřní. Obecně zařízení této frekvence a vyšší jsou páteřními spoji. Principiálně se odlišuje od předchozích, a to zejména architekturou připojení. Zatímco předešlé využívají fakticky architekturu klient-server, zde jsou si zařízení rovnocenná a tvoří každé pouze svoji půlku spoje,

⁷ <http://internetprovsechny.cz/soumrak-volneho-10-ghz-pasma-aneb-kdo-ma-zajem-na-jehozaruseni/>

tento typ spojení lze pro účely vyjasnění nazvat jako bridge, ačkoli implicitně tak označován nebývá.

V současné době se právě o tomto pásmu nejvíce diskutuje v souvislosti s jeho využitím. Nejprve je třeba uvést, proč je klíčové. Lze v něm totiž relativně levně a kvalitně přenášet velké objemy dat pomocí profesionální technologie, která zároveň dovoluje využít solidní přenosovou kapacitu tohoto pásma, která je dána i vlastnostmi signálu na této fyzikálně velmi vhodné frekvenci a hlavně díky principu FDD – frequency division duplex.

Tato funkce je v praxi velmi důležitá, protože je schopna koordinovat až desítky spojů umístěných na jedné lokalitě tak, aby se vzájemně nerušily, a to zejména díky základní vlastnosti těchto spojů – vysílání probíhá na jiné frekvenci, než příjem. Díky FDD je dosaženo toho, že nemusíme řešit odrazy signálu, nepřizpůsobení a další negativní jevy a jsme tedy schopni provozovat mnoho zařízení v jednom místě současně.

Mezi výrobce antén na tomto poli lze uvést zejména společnosti Summit, Alcoma, Miracle, Racom, CoProSys a v poslední době též společnost Ubiquity, jejíž vstup do tohoto odvětví trhu právě způsobil onu bouřlivou diskusi, která se nad tímto pásmem vede.

Celý problém má své složité technické, ale i právní pozadí, jehož základy se zde pokusím nastínit. Technické pozadí problému je zcela evidentní – výše jsem uvedl princip řízení spoje FDD, který je velmi užitečný, ba i nezbytný, pro provozování mikrovlnných spojů v tomto frekvenčním pásmu.

Společnosti Ubiquity se však vydala jinou cestou, když do svého produktu implementovala princip řízení TDD – time division duplex. Tento princip je velmi odlišný, zejména svou schopností přepínat vysílání a příjem podle aktuálního stavu prostředí nebo dle uživatelského nastavení. Navíc je nutné zmínit, že celý provoz pracuje v jediné frekvenci pro příjem i vysílání, což je na tomto poli novinka, ovšem nikoli vítaná, protože 10,5 GHz pásmo má kanálů jen několik (prakticky 4 spodní a 4

horní) a tato vlastnost je tedy velmi nesystémová a hodící se spíše na levnější technologie, které současně využívají širší frekvenční pásmo.

Z výše uvedeného je patrné několik problémů, které vznikají při nasazení zařízení Ubiquity Powerbridge M10. Jednak díky principu je téměř nereálné provozovat řádově více spojů a vzájemně je koordinovat, a už vůbec ne na jedné lokalitě, kde je logicky míra rušení z okolních antén nejsilnější.

Dalším a pro mnohé daleko palčivějším problémem je reálná možnost tímto spojem zaručit již existující a dosud bezproblémově vysílající spoje, které používají pro příjem a vysílání frekvence navzájem odlišné, což vzhledem k tomu, že se jedná často o páteřní technologii, může být pro malého lokálního poskytovatele internetových služeb i likvidační.

Celá problematika má ještě právní rozměr. Jelikož pásmo 10,5 GHz je nelicencováno, jedinou podmínkou fungování na tomto kmitočtu je splnění podmínky Všeobecného oprávnění VO-R/14/12.2006-38, které je bohužel ve své současné podobě velmi neaktuální a navíc v současnosti díky momentálnímu překlenovacímu období neexistuje norma ČSN, která by danou věc řešila. Situace se ještě komplikuje tím, že novou normou by měla být ETSI EN 302 217, která je ale v tomto dosti nejednoznačná a například principy vysílání FDD a TDD zde vůbec nejsou konkrétně zmíněny.

Normy pro telekomunikační odvětví vydává organizace CEPT (Evropská konference pro poštovní a telekomunikační organizaci), která v roce 1988 založila právě instituci ETSI (European telecommunication standard institute), která spravuje celý obor telekomunikační techniky jednak z hlediska využívání jednotlivých pásem (vydává i doporučení pro Český telekomunikační úřad, které pásmo by mělo být licencované a které volně využitelné), ale hlavně zajišťuje jistotu investic do telekomunikačních sítí a eliminuje možné komplikace při jejím využívání.

V tomto okamžiku se tedy nabízí otázka, jak je možné, že toto zařízení je možné v naší zemi vůbec prodávat či provozovat? Vydal někdo povolení? Existuje k němu certifikát

pro Evropskou unii, který vydal Michael Derby z Velké Británie jakožto Notifikační osoba, avšak i ten uvedl, že je nutné povolení provozu v konkrétní zemi, kde se má zařízení provozovat.

Toto posouzení zpravidla žádá výrobce, v tomto případě však byla změna a o posouzení požádala společnost i4wifi, a. s., která produkt distribuuje. Český telekomunikační úřad vyhověl na základě několika málo dokumentů této žádosti a legislativně tedy nic nebrání volnému použití. Celá situace okolo posouzení pro zmiňovanou firmu je velmi nejasná a netransparentní a dá se očekávat, že celé získání posudku ještě bude podléhat podrobnějšímu šetření.

V naší zemi existuje taktéž jako jinde tzv. Notifikovaná osoba, kterou je Ing. František Šebek, CSc. z Českého metrologického institutu. I proto je nesystémové a podivné, proč ze své pozice prozatím stále nebyl vyzván, aby se k celé věci vyjádřil, protože se od něj očekává zejména odborné posouzení situace a stanovisko. Tento stav si to žádá, protože podle renomovaných statistických odhadů je evidentní, že díky 10,5 GHz pásmu využívá v České republice internetové připojení až 0,5 milionu přípojek.

Celá situace je tedy znepokojivá a vedou se kolem ní obsáhlé spory, ale právě i z tohoto důvodu je nutné řešit přenos dat v páteřní podobě jiným způsobem, což je také tématem této diplomové práce.



Obrázek 8: Antény 10,5 GHz

1.1.2.6 Pásmo 11 GHz

Jde o velmi obdobné pásmo jako 10,5 GHz, a to z mnoha úhlů pohledu, jakou jsou zejména fyzikální vlastnosti antén, velikosti antén a často ty stejné výrobce jako ty zmiňované v předešlé kapitole. Důvod je nasnadě – technický rozdíl je minimální a proto není pro výrobce velkou překážkou produkovat antény pro obě tato frekvenční pásma.

Podstatný rozdíl je ten, že na rozdíl od minulé technologie je třeba mít licenci k provozu, jedná se tedy o licencované pásmo. Z toho důvodu zde nejsou aktuální problémy s případným zarušením pásma levným a nekvalitním spojem, jako v předešlém případě, vzhledem k nutnosti povolení spoje a současně k omezenému počtu povolení v jedné lokalitě zde tyto problémy ani nenastanou, což je jedna ze základních výhod.

Tato zákonná úprava pásma ale je současně i záporem tohoto pásma, zejména v menších městech je povolení vydáno jen několik a podstatně se tedy zmenšuje prostor k praktickému využití. Protože licenční poplatky nepříznivě ovlivňují výši nákladů spojenou s provozem tohoto pojítka, jde spíše o okrajovou možnost využití. Tyto spoje často nasazujeme tam, kde již máme instalován 10,5 GHz spoj s kompatibilními anténami (např. výrobce Summit) a jen pořídíme ODU jednotky s příslušnou frekvencí – v tomto případě existuje finanční úspora jednak za hardware (antény, napájecí zdroje) a také za práci techniků, kteří fakticky nestaví nový spoj, pouze na obou stranách vymění jednu z jeho komponent.



Obrázek 9: ODU jednotka 11 GHz

1.1.2.7 Pásmo 24 GHz

U tohoto volného pásma existuje zajímavé specifikum spočívající v šířce kanálu pro vysílání, která činí až 100 MHz a tudíž slibuje velmi slušnou propustnost, často až k 0,5 Gbps, což jsou solidní hodnoty podpořené rozumnou pořizovací cenou, řádově několik desítek tisíc Korun. Je zde ovšem problém ohledně vymezení šířky pásma – uvedený 100 MHz kanál je totiž jediný a není tedy možnost odladění v případě zvýšení míry rušení.

Z hlediska fyzikálních vlastností se s navyšujícími hodnotami kmitočtů dostáváme do odlišných technologií, než které jsme doposud řešili. Oproti vysílání v pásmu 10,5 GHz (které má vyzařovací úhel kolem 20°) se zde podstatně zmenšuje vyzařovací úhel (čili paprsek vysílaný anténou na dané frekvenci) a to s sebou nese výhody i nevýhody celého systému, které rozvedu dále.

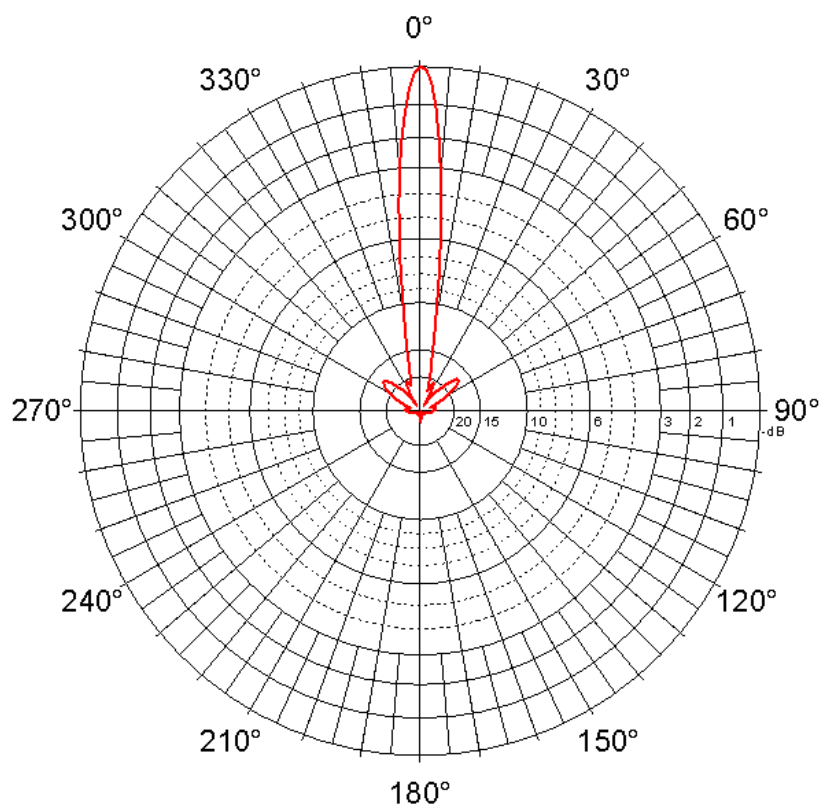
Faktem je, že paprsek této frekvence se již počítá pouze na jednotky stupňů a se zvyšující frekvencí se bude ještě dále zmenšovat. Další jev, se kterým je třeba počítat, je nižší průraznost paprsku na velkou vzdálenost a také se zhoršujícím se počasím (silný déšť, silné sněžení, hustá mlha s viditelností jen na pár metrů apod.), což se dá částečně ovlivnit kvalitním nasměrováním antén a také jejich velikostí čili současně decibelovým ziskem tak, aby měly dostatečnou signálovou rezervu.

Jelikož jsou tyto spoje určeny na kratší vzdálenosti, maximální reálný dosah je 2-3 km, je pravděpodobné, že vzhledem k místní znalosti jednotlivých provozovatelů se nebudou nasazovat spoje podobným směrem, protože je reálné riziko, že by se rušily navzájem a kolidoval by datový provoz. Tento negativní jev může trochu zmírnit fyzikální vlastnost mikrovlnného signálu, podle které se s narůstající frekvencí podstatně zužuje vyzařovací úhel – paprsek antény je stále užší.

V praxi to znamená, že dva nezávislé spoje by musely být instalovány velmi podobným směrem, při kterém se liší azimut osy spojů maximálně o jednotky stupňů. S tím souvisí i nutnost odbornější a časově náročnější instalace, kdy na rozdíl od nižších frekvencí již není možné namířit spoj s pomocí údajů z managementového softwaru antény o síle a kvalitě signálu, ale musí se buď použít odborný software s vykreslováním grafů nebo specializovaná metrologická či optická zařízení. I s tímto je nutno počítat v pořizovacích nákladech na nový spoj, kdy je při nové instalaci nutno uvažovat zvlášť časový prostor pro míření antény, a to minimálně pro dva techniky – na každou stranu spoje musí být minimálně jeden, častěji dva.

Z tohoto popisu pásma je patrné, že trpí technickými neduhy nejkvalitnějších spojů, ale jejich přenosových kapacit v reálném světě nedosahuje. I proto může být zajímavý zejména cenou, ale prakticky je potřeba počítat s tím, že se jedná o spoj na krátkou vzdálenost a pravděpodobně na dočasné užití, resp. překlenutí doby, kdy více kapacitní spoje budou lépe cenově dostupné.

Hlavními zařízení jsou zejména společnosti Summit, Ubiquity a dříve Alcoma.



Obrázek 10: Měřící diagram antény 24 GHz

1.1.2.8 Pásmo 80 GHz

Toto označení je poněkud nepřesné, protože pro obchodní účely se jím označuje volné nelicencované pásmo v rozsahu 71-76 GHz. V podstatě lze říci, že tento kmitočet je asi nejvhodnější pro opravdu profesionální spoje, které oplývají vysokou kapacitou přenosu (reálně až 1 Gbps, v poslední době i o trochu více) a vynikající stabilitou v přenosu na krátkou i středně dlouho vzdálenost. Na tom má svůj podíl i fyzika, protože při této frekvenci je šířka paprsku vysílaného anténou cca $0,5^\circ$.

Násobí se tedy všechny skutečnosti uvedené v minulém odstavci ohledně složitosti namíření, ale zejména fakt, že při tomto vysílacím úhlu už rušení téměř neřešíme, protože i v případě nasazení dvou (a případně i více) spojů na jeden stožár stačí, aby každá mířila alespoň o 1° azimutu jiným směrem a máme jistotu bezproblémového datového provozu. Navíc i zde je možné využít klasické nástroje k eliminování parazitního vyzařování jiných antén, jako je možnost odladění na jinou frekvenci

anebo otočení polarizace vln, které se dá mechanicky realizovat pouze otočením ODU jednotky o 90° na obou stranách spoje.

Z těchto informací je zřejmé, že skutečně páteřní spoje s velkou kapacitou anebo hlavní páteř do sítě poskytovatele internetových služeb od poskytovatele konektivity by se měly orientovat právě tímto směrem, protože momentálně jedinou nevýhodou těchto zařízení jsou jejich pořizovací náklady, které ale jsou ve výše uvedených případech často lépe ospravedlnitelné.

Pokud se podíváme na konkrétní produkty na trhu, z těch levnějších s cenovkou mezi 100 000 – 150 000 bez DPH je možno pořídit kompletní spoj značku Siklu EH-1200L, který je sice na vzdálenosti do cca 2 kilometrů, ale i přesto je možné jej využít na kratší trase, kde umožňuje přenosovou kapacitu od 700 Mbps do 1 Gbps half-duplex.

Druhou zajímavou možností je výrobce E-band, jehož spoj E-link Eagle deklaruje přenosovou rychlost 1 Gbps full-duplex a možnost přenosu i na delší vzdálenosti, na rozdíl od předešlého Siklu. Cena spoje je však téměř dvojnásobná.

Můžeme říct, že oba tyto spoje jsou již pomyslným technologickým vrcholem v páteřních spojích, a to z hlediska spolehlivosti spoje, kvality, kapacity přenosu a také ceny. Proto orientace na ně má smysl v případě kapacitně opravdu nutného spoje, anebo jako dobrá technologická investice do budoucna.

1.1.2.9 Další pásma

Tímto výčtem je téměř vyčerpán prostor pro bezdrátové přenášení dat, až na malé výjimky, které zde pro nyní uvedu pro úplnost výčtu jednotlivých frekvenčních pásem, na kterých je reálně přenášet vysokorychlostní data.

Existují licencovaná pásma, vyhrazená pro point-to-point spoje, která jsou obvykle využívána pro přenos na velké vzdálenosti. Dle politiky ČTÚ je možné i v těchto kmitočtech vysílat často za rozumné regulační poplatky, ale celkově jdou do útlumu a odpovídá tomu i nabídka trhu ohledně technologií. Jde o pásma 6 GHz, 7 GHz,

13 GHz, 15 GHz, 18 GHz, 23 GHz, 26 GHz a 38 GHz. V některých z nich už dnes nelze ani dostat licenci z důvodů vyklízení pásma např. pro vojenské účely, jiná jsou zase z velké části rozebrána velkými telekomunikačními poskytovateli s celorepublikovým záběrem.

Hlavním problémem je ale již zmíněná nedostatečná nabídka zařízení pro využití v těchto frekvenčních pásmech, což značí, že pro praktické využití a také pro účely této práce nejsou příliš využitelné a z toho důvodu se jimi v této práci nebudu hlouběji zabývat.

2. Analýza

2.1 Subjekt pro analýzu bezdrátových řešení

2.1.1 Základní údaje o vybraném podniku

Název společnosti:

XYZ, s. r. o.

Společnost představuje telekomunikační firmu poskytující zejména připojení k internetu, stavbu telekomunikačních sítí kabelových i bezdrátových, dodávky hardwaru a další činnosti v oblasti IT.

2.1.2 Historie firmy

Společnost XYZ byla založena společenskou smlouvou a vznikla zápisem do obchodního rejstříku v roce 2000. Společnost se nejprve zabývala prodejem a servisem výpočetní techniky a spotřební elektroniky. Později služby rozšířila o poskytování internetového připojení, a to jak kabelovými přípojkami, tak bezdrátovou datovou sítí. Od té doby počet připojených klientů a počítačů exponenciálně rostl, zejména díky nízké rychlosti konkurenčního připojení přes ADSL. Kvalita připojení se neustále zvyšovala, a to hlavně rychlost připojení, doba odezvy a spolehlivost.

Přibližně od roku 2005 se XYZ začal zaměřovat také na firemní zákazníky a jejich potřeby. Poskytuje pro firmy kromě připojení k internetu také hlasové služby, telefonní ústředny, faxy a servisní služby.

Za dalším rozvojem společnosti stojí technická implementace a následná nabídka doplňujících produktů, jako jsou VOIP (Voice Over Internet Protocol) telefonie a v poslední době zejména IPTV (Internet Protocol Television), čili digitální přenos televizních programů pomocí datových rozvodů.

Tyto technologie kladou větší důraz na vynikající technické zázemí, protože jsou velmi náročné na stabilitu tras, zejména těch bezdrátových a v případě digitální televize navíc i na velkou kapacitu přenosu jednotlivých spojů, na kterých má tato služba běžet.

2.1.3 Současnost firmy

V současné době má společnost téměř 2 500 aktivních soukromých a firemních zákazníků. Hlavní pracovní náplň zaměstnanců se přenesla z poskytování nových přípojek a neustálé expanze spíše do průběžných investic do zařízení za účelem upgradu technologií a na servis těch stávajících.

Protože společnost působí na trhu nepříliš dlouhou dobu, nemá ještě zcela vybudovanou klasickou optickou kabelovou infrastrukturu po městě, zejména z důvodu složitosti těchto jednání s danými subjekty a obstarávání četných povolení od nejrůznějších subjektů, ať už státních, městských nebo soukromých.

Zejména z těchto příčin je velká část páteřní konektivity k jednotlivým zákazníkům dodávána pomocí bezdrátových technologií. Bezdrátově se data přenáší na všech stupních přenosů od páteřních spojů přenášejících od poskytovatelů konektivity velké datové objemy přes menší páteřní spoje o kapacitě v řádech desítek Mbps, které typicky míří na koncovou lokalitu, odkud jsou pak dalších zákazníci připojeni pomocí individuálních bezdrátových pojití nebo prostřednictvím místních datových rozvodů.

Důležité je zmínit, že prakticky všechny datové sítě, které jsou využívány, patří přímo poskytovateli a nevznikají tedy naprosto žádné náklady za pronájem datových tras třetímu subjektu.

Tento zvolený obchodní model je výhodný z hlediska operativních technologických změn na datové síti, ušetřených nákladů za pronájem datových tras i jistější pozice poskytovatele na lokálním telekomunikačním trhu.

Jiná situace nastává v případě, kdy firma XYZ nakupuje konektivitu od velkých telekomunikačních poskytovatelů, protože zde se již jedná o vedení zcela mimo město a také mimo dosah firmy. V několika případech jde o přímou optickou trasu k serverům umístěným v Praze, např. kvůli připojení pro již zmiňovanou technologii IPTV. Například u té by bylo technicky nevyhovující řešit její připojení jinak, např. přes

předávací bod jiného poskytovatele, protože nemáme jistotu ohledně předešlé trasy a není tedy možno ručit za kvalitu.

Z výše uvedeného je patrné, že je rozumné mít více na sobě nezávislých poskytovatelů internetové konektivity, a to kromě případů zálohování datových tras při výpadku jednoho z poskytovatelů také z důvodu posouzení jednotlivých přípojek a následně jejich optimálnímu využití v datové síti.

O distribuci dat konkrétními směry, jejich nastavením, směrováním a zabezpečením by bylo možné pojednávat dlouhou dobu, ale prioritou této práce je zejména analýza bezdrátových tras. U těch je třeba rozhodnout, zda stávající spoj vyhovuje současným reálným potřebám a jaký má potenciál do budoucna. „Obdobně jako u většiny projektů souvisejících s technologiemi, i bezdrátová síť je předmětem předčasného zastarávání.“⁸

Pokud nevyhovuje nebo je zřejmé, že v budoucnu bude nahrazen, je také díky analýze trhu v teoretické části této práce rozhodnuto, kterým systémem by měl být nahrazen, a to s ohledem na technickou, ale i finanční stránku věci tak, abychom získali nejlepší výsledek v poměru cena/výkon.

2.2 Bezdrátové trasy v síti

V síti se jako výchozí bod berou přípojky dodavatelů konektivity, jejichž počet a také objem jimi dodávaných dat se může měnit dle jednotlivých uzavřených smluv, jejich podmínek a platností a dalšího. Kvůli neustále probíhajícím jednáním s dalšími možnými partnery se může stát, že se situace změní velmi rychle.

Je to zapříčiněno tím, že dodávky konektivity jsou velmi profesionální službou, která musí fungovat technicky bezchybně, ale i přesto odčerpává značnou část financí právě do těchto investic. Proto je důležité neustále zjišťovat možnosti na trhu a nabídky jednotlivých providerů.

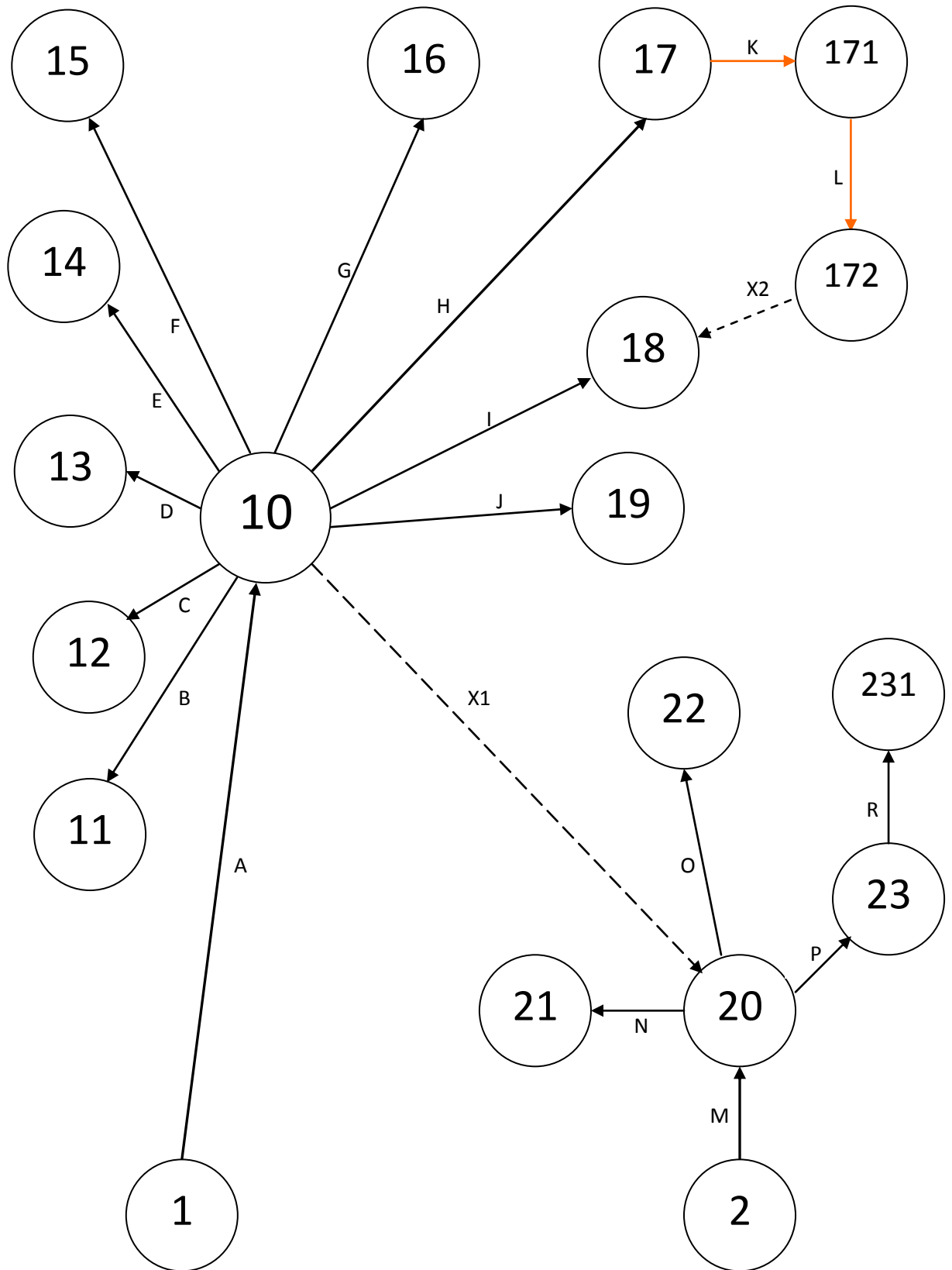
⁸ BRISBIN, Shelly. *Wi-fi*. 1. vydání. Praha: Neocortex, 2003. 248 s. ISBN 80-86330-13-3.

Jelikož část z nich má v tomto případě předávací bod v tom samém místě, není toto pro další analýzu podstatné, avšak lze si snadno představit situaci, kdy by změna lokality předávacího bodu znamenala úplnou změnu ve struktuře sítě a jejím zapojení.

Komplikujících jevů by mohlo být v tomto případě ještě mnohem více, jako např. terénní nerovnosti a tedy potřeba více spojů nebo jejich kombinace.

Na tuto síť jsou v současné době připojení dva hlavní dodavatelé internetové konektivity. Na plánu sítě nyní načrtnu páteřní spoje pro představu o zapojení a analýzu, kde by síť mohla doznat změn zařízení, které jsou nutné z hlediska zavádění nových technologií (IPTV) i z důvodu plánovaného navyšování rychlosti připojení koncovým klientům.

2.2.1 Schéma páteřních spojů



Obrázek 11: Schéma páteřních spojů bezdrátové sítě

Toto schéma představuje základní páteřní prvky bezdrátové sítě, které se dají nazvat páteřními buď z hlediska velkého objemu přenášených dat nebo z důvodu překonání velké vzdálenosti, nebo kombinací obojího. Propojují vždy dva uzly, které jsou pro lepší orientaci očíslovány.

V této práci se budu zabývat výhradně možností upgradu spojů již existujících, nebudu provádět změny ohledně směrování spojů ani jejich přidávání. Je totiž nutné brát v úvahu takové aspekty, jako jsou terénní překážky, maximální počet antén na příslušných lokalitách, zaručenost jednotlivých pásem v daných lokalitách a mnohé další.

Je důležité zmínit, že mimo těchto bezdrátových spojů samozřejmě existuje v této síti i řada dalších. Pokud zcela odhlédneme od bezdrátových řešení u jednotlivých koncových klientů připojených bezdrátově, jsou zde ještě bezdrátová řešení pro připojení koncové lokality (typicky vesnice), odkud již není signál kromě koncových uživatelů transportován dále a současně se počet uživatelů na lokalitě pohybuje v řádu několika desítek. V těchto případech je možné konektivitu na místo přenášet pomocí levných řešení v pásmu 5 GHz, kdy se pořizovací cena spoje pohybuje pouze v řádech jednotek tisíců Kč a je tedy pro potřeby celkové analýzy páteřních spojů sítě zanedbatelná.

Je pochopitelné, že technicky ideální stav by byl v propojení všech naznačených lokalit optickým kabelem, ale na mnoha místech je to kvůli dlouhé trase v městské zástavbě zcela nereálné, jinde by naopak tato možnost připadala v úvahu, ale nerealizuje se kvůli vysokým nákladům na položení kabelu oproti nákladům na vystavění bezdrátového spoje, zejména v případě spojů na delší vzdálenosti, čímž rozumíme v metropolitní síti spoje s délkou nad 3 kilometry.

Za číslováním uzlů se samozřejmě skrývají konkrétní lokality, jejichž názvy nejsou pro toto schéma podstatné, proto je výhodnější právě číslování i z toho důvodu, že podle důležitosti uzlu je možné mu přiřadit typ čísla – jednocifernými čísly jsou určeny dva výchozí body sítě, představující dva poskytovatele internetové konektivity, dvouciferná

čísla jsou pro většinu hlavních bodů v síti a nakonec trojcifernými jsou označeny koncové body, které jsou ale i tak připojeny páteřními spoji.

Dále je důležité objasnit spojnice mezi uzly – jsou to jednotlivá bezdrátová pojitka označená písmeny abecedy čistě pro orientaci. Pokud je spojnice vyznačena plnou čarou, jde o hlavní spoj, pokud je zakreslena přerušovaná čára, jde o spoj, který má čistě záložní charakter pro případ výpadku hlavního spoje. Proto je označen písmenem X, protože za normálních okolností vůbec nepřenáší provoz, pouze je spuštěn a v případě rozpojení hlavního spoje jej elektronické řízení do pár vteřin uvedou v činnost nasměrování provozu právě jeho směrem. Pro tuto analýzu je podstatné, že jde o bezdrátové spoje.

Mimo ně existují jinde v síti i propoje optickým kabelem (vyznačeny oranžově), ale kromě dvou případů není nutné je zmiňovat, protože jsou zavedeny z některého uzlu (lokality) rovnou ke koncovým zákazníkům (firmy, bytové domy apod.) a nepodléhají tedy analýze bezdrátových spojů.

Specifickým případem jsou zmíněné dvě optické trasy, které jsou ve schématu zakresleny, protože konektivita k nim se dostává výhradně bezdrátově a vzhledem k jejich okruhování se z nich bezdrátově i vrací. V tomto případě by samozřejmě bylo možné ve schématu příslušné uzly propojené optickým kabelem zcela vynechat a propojit přímo uzly 17 a 18, ale pro zachování reálnosti návrhu je tato verze obsahově správnější.

Nyní shrnu jednotlivé spoje do tabulky, která osvětlí jednotlivá technická řešení a spolu s dalšími údaji bude sloužit jako podklad pro návrh nového řešení, při kterém bude bráno na zřetel jednak neustálé navyšování rychlosti připojení pro koncové zákazníky a tedy nutnost mít na spojích často až 50% rezervu v přenosové kapacitě a také fakt, že do budoucna se uvažuje do některých lokalit o zavedení služby IPTV, která sama o sobě vyžaduje velké datové toky a je tedy náročná na přenosovou kapacitu jednotlivých spojů.

2.3 Současný stav sítě

Tabulka znázorňuje konkrétní informace týkající se jednotlivých spojů, jejich frekvenčních pásem a osazené technologie. V posledním sloupci tabulky je rozhodnuto, zda se bude zařízení, ze kterého je sestaveno bezdrátové pojitko, měnit za jiné.

Rozhodnutí vychází z četných grafů přenosů pro jednotlivé spoje, potenciál růstu lokalit, potenciál zavedení nových služeb, sociologický průzkum lokality a mnohé další faktory.

| Spoj | Uzel | | Pásmo (GHz) | Výrobce | Produkt | Přenosová kapacita (Mbps) | Potřeba výměny zařízení |
|------|------|-------|-------------|----------|--------------|---------------------------|-------------------------|
| | poč. | konc. | | | | | |
| A | 1 | 10 | 80 | E-band | E-Link Eagle | 1000 | ne |
| B | 10 | 11 | 10 | Alcoma | 30 | 30 | ano |
| C | 10 | 12 | 5 | Ubiquity | Rocket M5 | cca 70 | ano |
| D | 10 | 13 | 10 | Alcoma | 30 | 30 | ne |
| E | 10 | 14 | 10 | Summit | SDV | 180 | ano |
| F | 10 | 15 | 10 | Summit | SDV | 180 | ne |
| G | 10 | 16 | 10 | Summit | UNI | 40 | ano |
| H | 10 | 17 | 80 | Siklu | EH-1200L | 400 | ne |
| I | 10 | 18 | 10 | Summit | QAM | 100 | ne |
| J | 10 | 19 | 10 | Summit | QAM | 100 | ano |
| K | 17 | 171 | kabel | N/A | N/A | N/A | N/A |
| L | 171 | 172 | kabel | N/A | N/A | N/A | N/A |
| M | 2 | 20 | 10 | Summit | SDV | 180 | ano |
| N | 20 | 21 | 10 | Summit | QAM | 100 | ano |
| O | 20 | 22 | 10 | Summit | QAM | 100 | ano |
| P | 20 | 23 | 10 | Summit | QAM | 100 | ano |
| R | 23 | 231 | 10 | Summit | UNI | 40 | ano |
| X1 | 10 | 20 | 10 | Summit | SDV | 180 | ano |
| X2 | 172 | 18 | 10 | Summit | QAM | 100 | ne |

Tabulka 1: Současný stav technologie

Jak je patrné z grafu a tabulky, v datové síti jsou dvě předávací rozhraní (poskytovatelé datové konektivity), od kterých je potřeba řešit bezdrátové datové spojení na příslušné lokality, odkud se signál distribuuje dále, jedná se tedy za normálních okolností o dvě nejvíce vytížené trasy.

V této fázi víme, jaká je topologie sítě, užití technologie i přenosové kapacity. V další kapitole se zaměřím na návrh obměny technologie, který technicky celou síť posune k lepší funkčnosti, ale také k možnosti spuštění nových služeb, které by původní technologie nepodporovala.

3. Návrhy

3.1 Návrh technologií jednotlivých spojů

Nyní rozeberu jednotlivá pojitka v síti a rozeberu, zda jsou nutné měnit. Pokud tato potřeba vznikne, uvedu důvody pro toho rozhodnutí a návrh nového zařízení.

Spoj A: 80 GHz

Z hlediska kapacity a stability už je tento spoj vyřešen dobře, přenosová kapacita 1 Gbps je reálně využívána, do budoucna se uvažuje o posílení pomocí stejné technologie mířící stejným směrem, a to pro navýšení kapacity a také jako nouzová záloha, kdy v případě výpadku jednoho spoje druhý zajistí alespoň část provozu, i když ne v plné výši. Jisté je, že v současné době je toto řešení vyhovující.

Spoj M: 10,5 GHz

Na této lokalitě byl již nasazen 1 Gbps spoj americké provenience GigaBeam, avšak neosvědčil se, zejména svou nízkou stabilitou za zhoršeného počasí co se týče výhledových podmínek, ale také mrazů, kdy pod cca -10 °C docházelo k výpadkům paketů a ochromení nebo úplnému odstavení spoje.

V současné době je velmi potřebný upgrade, protože dočasně nasazený Summit SDV v pásmu 10,5 GHz nestačí s přenosovou kapacitou, která činí 180 Mbps full duplex. Právě spoj M jede na krátkou vzdálenost, takže vzhledem k poměru cena/výkon se zde jako ideální jeví spoj Siklu EH-1200 1 Gbps half duplex, který současně vyřeší nutnost přenosu IPTV do této lokality a také vyřeší potřebnou rezervu spoje. Siklu už v síti figuruje, nejedná se tedy o první nasazení tohoto zařízení.

Spoj B: Alcoma 10,5 GHz

Vede do uzlu 11, jedná se o lokalitu, kde jsou připojeni klienti bezdrátově v pásmu 5 GHz a také v rámci jednoho bytového domu pomocí datových rozvodů. Současná spojka postavená na produktech značky Alcoma se sice osvědčila svou stabilitou a vysokou spolehlivostí, ale jejich 30 Mbps kapacitně již nedostačuje a není možný upgrade, pouze výměna celého zařízení. V této lokalitě jde jen o posílení objemu dat

za větší a dalo by se použít jiné zařízení v pásmu 10,5 GHz, které ušetříme z jiné lokality, např. Summit 10,5 GHz QAM s přenosovou kapacitou 100 Mbps.

Spoj C: Ubiquity 5GHz

Lokalitu obsluhuje spoj v pásmu 5 GHz, s pomocí využití technologie MIMO a tedy dosahuje zajímavých přenosových kapacit kolem 50 Mbps i v zarušeném městském prostředí, ale postupem času se začíná projevovat rušení způsobené přemírou vysílání v tomto pásmu. Jelikož se jedná o směr, kde ani tento poskytovatel, ani konkurence nemají nasazena žádná bezdrátová pojiťka, je možné použít spoj 10,5 GHz Summit SDV, který byl předtím nasazen na spoji M. Hlavní devizou tohoto řešení je cca trojnásobné navýšení kapacity a zejména získaná stabilita přenosu.

Spoj D: Alcoma 10,5 GHz

Lokalita je specifická tím, že jde do místa na kraji města, kde není skoro žádný další potenciál v růstu nových připojení, jsou zde momentálně zapojeni 2 firemní zákazníci a cca 5 soukromých subjektů. Na tuto aplikaci bude použité zařízení nadále postačovat, navíc lze kalkulovat s faktem, že firemní zákazníci budou generovat přenos dat zejména v běžné pracovní době ve všední dny, soukromí klienti naopak zejména ve všední dny večer a o víkendech. Z tohoto důvodu je upgrade zatím zbytečný, spoj přenáší běžně max. na 70 % své kapacity, a to pouze ve špičce.

Spoj E: Summit 10,5 GHz SDV

V tomto případě nebude stačit klasická analýza, která zhodnotí lokalitu dle připojených zákazníků a jejich tarifů, protože v tomto případě je třeba zvolit i sociální kritéria zákazníků.

Lokalita 14 připojená spojem E totiž sestává s celkem 3 bytových domů s počtem připojených klientů okolo 150, ale je nutné dodat, že se jedná o novou zástavbu vzniknuvší před pár lety a je zde tedy vysoký výskyt lidí mladší generace, s využitím statistických údajů vychází najevo, že 75 % zákazníků je v rozmezí 20-35 let. Tomuto faktu odpovídá vysoký provoz dat na lokalitě, neboť je evidentní, že mladší generace je mnohem více zvyklá využívat internetové připojení, a to i na přenosově složitější

aplikace, jako je stahování ze vzdálených úložišť, přenášení videí, stahování a sdílení souborů a další aplikace.

Z toho důvodu je třeba to vzít v potaz a nasadit místo současného zařízení jiné s vyšší kapacitou, které současně bude mít možnost upgradu na stejné platformě, ideálně tak, aby v případě nutnosti upgradu z hlediska rychlosti nebylo nutné stavět od začátku nový spoj, ale jen se vyměnily ODU jednotky za jiné s vyšší přenosovou kapacitou.

Ve světle těchto okolností se jeví jako ideální spoj Siklu EH-1200L s propustností 700 Mbps half-duplex (reálně přenese cca 400 Mbps full-duplex), který lze snadno nahradit bez nutnosti nového míření antén a případné výměny kabeláže za 1 Gbps spoj. Současně tímto krokem získáme dvojnásobné navýšení této linky, což je plně dostačující vzhledem k plánovanému nabízení služby IPTV v této lokalitě.

Spoj F: Summit 10,5 GHz SDV

Tento spoj dle grafů přenosu pro lokalitu 15 je zcela dostačující, hlavním důvodem je jeho nedávné nasazení, jede zde cca 6 měsíců a je předpoklad, že minimálně 2 roky ještě bude kapacitně dostačovat.

Spoj G: Summit 10,5 GHz UNI

Na lokalitě 16 začíná být urgentně potřeba vyměnit technologie za lepší, protože podle grafů vyčítajících provoz na zařízení jde přes spoj G provoz často až na 90 % kapacity spoje, což je pochopitelné vzhledem k tomu, že je zde nasazen jeden z prvních spojů značky Summit, konkrétně model UNI s přenosovou kapacitou 40 Mbps.

Protože se jedná o lokalitu, kde je plánováno spuštění IPTV, výměnou za 100 Mbps pojítka, která se nabízí, by se problém pouze oddálil a je dost pravděpodobné, že s přibývajícím zákazníky s internetovou televizí by cca do půl roku znovu nedostačoval. Proto jako řešení je nejvhodnější použití ODU jednotek Summit SDV s přenosovou kapacitou 180 Mbps, které jsme schopni stáhnout z lokality 14, kde budou nahrazeny. Toto pojítka bude skýtat dostatečnou sílu linky pro vysoký datový provoz.

Spoj H: Siklu 80 GHz

Tato bezdrátová spojka je už od začátku koncipována na vyšší přenosové rychlosti, protože svou kapacitou zásobuje celkem 12 bytových domů, propojených optickým kabelem ze 3 hlavních lokalit. Momentálně je zde nasazen spoj Siklu s přenosovou rychlostí 400 Mbps, který zatím postačuje a měl by postačovat i v případě spuštění přenosu televize, protože zatím má dostatečné rezervy v přenosové kapacitě.

Spoj I, X2: Summit 10,5 GHz QAM

Nyní rozeberu dva spoje současně, protože jsou oba zapojeny na lokalitu 18 a oba jsou případně brány jako možnost okruhování dat z důvodu možného výpadku spoje H anebo v případě méně pravděpodobném, leč ne nereálném, a to přerušení optického kabelu nataženému mezi bytovými domy například při provádění zemních prací apod. Právě proto, že předchozí spoj H obsluhuje několik stovek zákazníkům je tato potřeba aktuální.

Lokalita 18 je prozatím v pořádku v souvislosti s datovým provozem a současnou kapacitou obou těchto spojů (spoje I a X2 jsou osazeny shodným zařízením), která u Summit QAM dosahuje 100 Mbps. Druhým aspektem ale je právě zmíněné zaokruhování lokalit, protože v případě výpadku spoje H je směr řízení provozu na lokalitě 10 automaticky přesměrován právě přes spoje I a X2, což sice z důvodu snížení rychlosti znamená omezení služeb pro koncové zákazníky, ale jako nouzový režim do doby odstranění poruchy jde o uspokojivé řešení. Složitější situace nastane v případě, kdy přes spoj H poběží služba IPTV, protože ta by se s rychlostním omezením stala nefunkční.

Tento problém má i svůj psychologický dopad na zákazníky, protože v dnešní době je stále většina uživatelů spíše ochotna tolerovat krátký výpadek internetového připojení oproti výpadku televizního příjmu, protože v případě sledování např. sportovních přenosů není z logických důvodů uspokojivým řešením ani funkce „návrat v čase“, kdy si lze pomocí služby IPTV spustit pořad až několik dní poté, co proběhl ve standardní vysílací době.

Protože ale pořizovat dva další bezdrátové spoje schopné přenést velký datový objem by znamenalo vysoké náklady na zařízení, které navíc bude instalováno jako záložní a po drtivou většinu doby se nebude využívat.

Situace by však mohla mít i jiné řešení – pokud se uspokojivě vyřeší prioritizace provozu IPTV před klasickým přenosem dat pro internetové připojení, mělo by minimálně v první vlně zájmu zákazníků o internetovou televizi dostačovat i toto stávající bezdrátové řešení.

Je samozřejmé, že v případě více instalovaných přípojek televize by už byla nutnost upgradu zařízení nevyhnutelná, ale v praxi tato situace vůbec nemusí nastat. Vše bude záležet na poptávce zákazníků a běžné četnosti využívání služeb.

Spoj J: Summit 10,5 GHz QAM

Lokalita 19 je jednou z těch významnějších, protože právě na ni je zapojena velká část firemních zákazníků, a to připojených rozmanitou škálou technologií provozovaných ve frekvenčních pásmech 3,5, 5 a 10,5 GHz. Právě osazení bodu technologií pásma 3,5 GHz je velmi důležité, protože jak jsem již uvedl v teoretické části této práce, vysílání v něm je podmíněno zpoplatněnou licencí od ČTÚ a tyto platby ve výsledku platí jednotliví zákazníci jako poplatek za využití vyhrazeného pásma.

Je tudíž nemyslitelný výpadek v dodávkách služeb a proto kromě nového spoje na přívod konektivity, kterému je nutné podstatně zvýšit kapacitu, je velmi vhodné vyřešit současně i záložní spoj, který by byl schopen pokračovat v dodávce dat i po výpadku hlavního spoje.

Hlavním důvodem jsou často garantované přípojky u jednotlivých firemních zákazníků, ale hlavně také využívání hlasových služeb (VOIP telefonie), u kterého by se nestabilita linky projevila zdaleka nejdříve a také dost zřetelně, protože telefonní hovor se v takovém případě buď úplně rozpojí, nebo dochází k výpadekům jednotlivých slov ve větě, což ve výsledku působí velmi rušivě a nepříjemně.

Jelikož jako hlavní spoj je v tomto případě Summit QAM 100 Mbps, jako výhodné řešení pro záložní spoj se nabízí osadit od stejného výrobce typově stejné ODU jednotky SDV, protože nárůst kapacity spoje by byl 85 %, což v případě záložního spoje je dostatečná rezerva.

Vzhledem k ne zcela běžnému směru vysílání mikrovlnného signálu v rámci města a současně vysíláním na krátkou vzdálenost (cca 2 km) se jako vhodné řešení jeví spoj od výrobce Ubiquity ve frekvenčním pásmu 24 GHz. Poměrně úzký paprsek vyzařování a také netradiční frekvence jsou zárukou kvalitně fungujícího datového přenosu, a to současně za dobrých pořizovacích nákladů vzhledem k náročnosti 24 GHz pásma.

Jelikož spoj opravdu v rámci konkurence patří spíše k levnějším, je jeho zmíněná záloha v podobě Summitu SDV velmi žádoucí právě vzhledem k důležitosti celé lokality. Toto řešení má navíc tu výhodu, že odtud deinstalovaný spoj Summit QAM se dá využít pro vybudování spoje B na lokalitu 11, kde přesně tento typ technologie je ideální umístit.

Spoj N: Summit 10,5 GHz QAM

Lokalita 21 připojená spojem N sestává ze 3 bytových domů propojených navzájem optickým kabelem, proto je důležité nabídnout odpovídající konektivitu pro připojení k internetu i pro televizi. Jelikož současný spoj s přenosovou kapacitou se začíná dostávat na své přenosové maximum, avšak se zavedením IPTV do této lokality není očekáván žádný zásadní nárůst, optimálním řešením bude neměnit technologii, ale pouze ODU jednotky za Summit SDV se skoro dvojnásobnou přenosovou kapacitou.

Spoj O: Summit 10,5 GHz QAM

Tato lokalita je velmi podobný případ jako ta předešlá, kdy je i připojena stejnou technologií, jen reálná potřeba konektivity je zde cca o 20% vyšší. Protože i v přípojkách nově zavedené IPTV zde ze sociologických důvodů lze očekávat větší nárůst způsobený celkově mladšími obyvateli sídliště, i mikrovlnný spoj by měl mít větší kapacitu než v předešlém případě. Je totiž pravděpodobné, že upgrade dle vzoru

z předchozí lokality by neměl dlouhého trvání a po poměrně krátké době v řádu měsíců by opět vyžadoval navýšení. Z tohoto důvodu se jeví jako ideální varianta pro tuto aplikaci spoj Siklu EH-1200L s propustností 700 Mbps half-duplex, s reálnou přenosovou kapacitou kolem 400 Mbps full-duplex.

Spoj P: Summit 10,5 GHz QAM

I v tomto případě se bude jednat o výměně jednotky QAM za jiný spoj, protože tato lokalita je z těch větších a navíc kromě asi dvou stovek připojených koncových klientů na lokalitě 23 odtud pokračuje páteřní spoj R na další lokalitu. Výčtem grafů je zřejmé, že stejně jako v předešlém případě by se zde uplatnil spoj Siklu EH-1200L.

Spoj R: Summit 10,5 GHz UNI

V okamžiku, kdy je nasazen tento spoj je zcela evidentní, že při přenosové rychlosti 40 Mbps bude třeba jeho výměna za více kapacitní. Je důležité upřesnit, že nároky na konektivitu nejsou v lokalitě 231 nijak zásadní, jedná se o venkovskou lokalitu s připojením mnoha klientů, avšak výhradně pomocí dalších bezdrátových technologií v pásmu 5 GHz.

Proto je výhodné použít některé z ODU jednotek spoje Summit 10,5 GHz QAM, které jsou nyní navíc po jiných spojích a není tedy nutné pořizovat nový spoj. Navíc navýšení páteřního spoje do lokality na více než dvojnásobek původního je plně dostačující včetně solidní rezervy.

Spoj X1: Summit 10,5 GHz SDV

Jedná se o čistě záložní spoj, které přenáší provoz pouze v případě výpadku spoje A nebo M. Momentálně je stavěn na 10,5 GHz, ale jak z hlediska možné zaručitelnosti takto klíčového spoje, tak i z hlediska jeho nízké kapacity je nutné ho vyměnit za zařízení fungující ve vyšším frekvenčním pásmu.

Protože oba spoje, které by případně nahrazoval, mají kapacitu přenosu 1 Gbps, není jiná rozumná možnost, než zvolit pojítko o alespoň přibližné kapacitě, aby jím vytvořená záloha měla potřebnou funkčnost. Z tohoto důvodu volba padne

na technologii Siklu EH-1200 s propustností 1 000 Mbps half duplex, které je schopno oba dva hlavní páteřní spoje při výpadku jednoho z nich (anebo při výpadku na straně dodavatele konektivity) zastoupit.

V tomto okamžiku jsou tedy uspokojivě vyřešeny všechny spoje, ale tím nutnost pořizování nekončí, protože ke každému užitému druhu antény je velmi rozumné držet záložní spoj pro případ poruchy. V celkovém výčtu je tedy zahrnu do nákladů na celou akci.

3.2 Zhodnocení výstupů návrhu

Takto fungující síť by tedy měla být připravena na nástup provozování digitální televize, současně s tím je nutné mít na daných bezdrátových spojích potřebnou rezervu v kapacitě přenosu.

Nemělo by se v žádném případě stát, že by kterékoli bezdrátové pojitko nestíhalo přenášet data z důvodu kapacitního omezení spoje, protože kromě nepříjemného zpomalování připojení k internetu pro uživatele je zejména ohrožen přenos obrazu v případě IPTV a také hlasové služby. Právě u těchto dvou služeb, na rozdíl od běžného prohlížení www stránek, se jedná již o omezení podstatně rozsáhlejší a pro uživatele nepříjemnější a zásadním úkolem poskytovatele je těmito situacím zcela zamezit.

Zejména tímto úkolem jsem se zabýval v této práci. Jelikož obecně na datové trasy přenášející vysokorychlostní data jsou kladeny stále vyšší nároky na kapacitu, je jisté, že do budoucna se v závislosti na konkrétním případě dříve nebo později nevyhneme dalším obměnám technologie za zařízení s větší kapacitou přenosu, ale v současné době lze trasy pokládat za dobře dimenzované a tudíž dostačující jak nyní, tak i v blízké budoucnosti.

3.3 Shrnutí návrhu

Jednotlivá rozhodnutí z analýzy jednotlivých spojů uvedené výše nyní shrnu v aktualizované tabulce užití technologie. Vychází z Tabulky 1, avšak u 11 spojů, u kterých se měnilo zařízení, je záznam aktualizován.

| Spoj | Uzel | | Pásmo (GHz) | Výrobce | Produkt | Přenosová kapacita (Mbps) |
|------|------|-------|-------------|----------|--------------|---------------------------|
| | poč. | konc. | | | | |
| A | 1 | 10 | 80 | E-band | E-Link Eagle | 1000 |
| B | 10 | 11 | 10 | Summit | QAM | 100 |
| C | 10 | 12 | 10 | Summit | SDV | 180 |
| D | 10 | 13 | 10 | Alcoma | 30 | 30 |
| E | 10 | 14 | 80 | Siklu | EH-1200L | 400 |
| F | 10 | 15 | 10 | Summit | SDV | 180 |
| G | 10 | 16 | 10 | Summit | SDV | 180 |
| H | 10 | 17 | 80 | Siklu | EH-1200L | 400 |
| I | 10 | 18 | 10 | Summit | QAM | 100 |
| J | 10 | 19 | 24 | Ubiquity | AirFiber | cca 200 |
| K | 17 | 171 | kabel | N/A | N/A | N/A |
| L | 171 | 172 | kabel | N/A | N/A | N/A |
| M | 2 | 20 | 80 | Siklu | EH-1200 | 700 |
| N | 20 | 21 | 10 | Summit | SDV | 180 |
| O | 20 | 22 | 80 | Siklu | EH-1200L | 400 |
| P | 20 | 23 | 80 | Siklu | EH-1200L | 400 |
| R | 23 | 231 | 10 | Summit | QAM | 100 |
| X1 | 10 | 20 | 10 | Siklu | EH-1200 | 700 |
| X2 | 172 | 18 | 10 | Summit | QAM | 100 |

Tabulka 2: Návrh obměny technologie

Protože po technické stránce je situace vyřešena a výsledky shrnuty v Tabulce 2, rozeberu nyní ekonomickou náročnost akce s ohledem na celkové náklady na pořízení zařízení, které jsem navrhnul k nasazení do sítě.

4. Ekonomické zhodnocení návrhu

4.1 Náklady na užitou technologii

Při návrhu výměny technologií nastala samozřejmě potřeba zakoupit nové technologie, i když ne v každém případě. V některých situacích, které jsou popsány výše v rozborech jednotlivých tras, jsme mohli s výhodou použít zařízení stažená z příslušných lokalit na lokalitách jiných, kde naopak budou vzhledem ke konkrétním přenosovým požadavkům zcela dostačovat.

Jsou i situace, kdy pro stažené zařízení není v danou chvíli konkrétní využití. V tomto případě jsem neuvažoval o jeho bazarovém prodeji (ačkoli i to je řešení), ale dle mého názoru je rozumné si ho alespoň nějaký čas ponechat i přes absenci záměru k aplikaci v síti, protože při provozování velké sítě je pravděpodobné, že se zanedlouho možnost uplatnění najde či naskytne. S případnými zisky z prodeje stažených kusů jsem tedy nepočítal, pokud by k prodeji nakonec přeci jen po čase došlo, jde o nevelký, avšak příjemný bonus v podobě zmírnění výše nákladů na tuto akci.

| Spoj | Uzel | | Pásmo (GHz) | Výrobce | Produkt | Pořízení v Kč bez DPH |
|------|------|-------|-------------|----------|----------|-----------------------|
| | poč. | konc. | | | | |
| B | 10 | 11 | 10 | Summit | QAM | použito z J |
| C | 10 | 12 | 10 | Summit | SDV | použito z M |
| E | 10 | 14 | 80 | Siklu | EH-1200L | 95 000,- |
| G | 10 | 16 | 10 | Summit | SDV | použito z E |
| J | 10 | 19 | 24 | Ubiquity | AirFiber | 69 500,- |
| M | 2 | 20 | 80 | Siklu | EH-1200 | 157 000,- |
| N | 20 | 21 | 10 | Summit | SDV | 116 000,- |
| O | 20 | 22 | 80 | Siklu | EH-1200L | 95 000,- |
| P | 20 | 23 | 80 | Siklu | EH-1200L | 95 000,- |
| R | 23 | 231 | 10 | Summit | QAM | použito z N |
| X1 | 10 | 20 | 10 | Siklu | EH-1200 | 157 000,- |
| | | | | | | 784 500,- |

Tabulka 3: Náklady na technologii

4.1.2 Náklady na záložní technologii

Jak jsem již uvedl výše, je nutné držet na skladě i záložní spoje pro případ poruchy a nutnosti řešit situaci výměnou jednotek. Z pohledu na graf a následně na Tabulku 2 lze snadno zjistit, o která zařízení se jedná.

Protože spoj výrobce E-band je sice užít, ale současně je zálohován jiným pojítkem, není primárně nutné držet druhý servisní kus na skladě, zejména to není vhodné kvůli vysokým pořizovacím nákladům. Stejná situace je i u Ubiquity AirFiber 24 GHz, kde je také funkční záložní trasa.

Jedná se tedy vždy o konkrétní druh technologie, pakliže je v síti použito více druhů a kapacit, stačí mít k dispozici jeden pár jednotek, avšak vždy ten s nejvyšší kapacitou přenosu – typickým příkladem je výrobce Summit, jehož ODU jednotky jsou libovolně zaměnitelné mezi jednotlivými anténami téhož výrobce a stačí tedy mít pouze jednotky SDV, které se dají nasadit na jakýkoli spoj s technologií Summit.

Z podrobnější prohlídky Tabulky 2 je evidentní, že se vyplatila koncepčnost návrhu, kdy jsem se snažil nevyužívat rozličných spojů a výrobců, což je velmi výhodné z důvodu menší potřeby držet více softwarů, metrických zařízení, technických informací a znalostí a dalšího. Jako záložní spoje tedy postačí pořídit jeden Summit SDV, Siklu EH-1200L a Siklu EH-1200.

Celkové náklady na technologii se tedy navyšují o 368 000,- Kč na celkovou sumu 1 152 500,- Kč bez DPH. Pro lepší představu uvádím informaci, že tato částka odpovídá cca 10 % loňského obrátu firmy.

4.2 Přínosy pro firmu

Tato akce ohledně analýzy bezdrátových technologií a návrhu nového technického řešení byla řešena čistě pro páteřní technologii, po které se data distribuují dále k zákazníkům přes nejrůznější uzly a datové rozvody, kterými jsem se v této práci nezabýval, protože nesouvisí s problematikou bezdrátových sítí.

Z tohoto důvodu není ale dost dobře možné vyčíslit výši přínosů této investice pro firmu, protože tohle vše slouží jako základ, na který se teprve přidávají koncové body. Protože teprve z koncových bodů se realizují jednotlivé přípojky, lze např. investici do jejich upgradu zhodnotit o něco lépe, i když ani v tomto případě nelze částku přesně stanovit, protože technologie se nemění jen v případech, kdy je to technicky nutné, ale často pro získání lepších technických parametrů připojení, lepší stability a vyšší kvality.

Nemusí se tedy nutně jednat z hlediska investičního o nutnou investici, která by mohla odvrátit odliv zákazníků, spíše se často jedná o investici do jejich spokojenosti a loajality, která je z dlouhodobého hlediska (podobně jako např. reklama) nepříliš dobře měřitelná.

Jsou zde však přínosy, které nejsou primárně ekonomicky měřitelné, avšak celkově se podílí na dobrém jméne firmy a jejím podílu na telekomunikačním trhu. Kromě již zmíněné kvality připojení jde zejména o poskytování doplňkových služeb, které mohou být doplňkové ke službě hlavní, kterou je připojení k internetu, ale zrovna tak mohou být i tím hlavním důvodem, díky kterému se zákazník rozhodne.

Těmito službami jsou myšleny zejména VOIP telefonie a zejména IPTV, které jsou náročné na stabilitu a v případě druhé jmenované služby především na vysokou přenosovou kapacitu sítě, proto jsem se snažil návrh sítě koncipovat tak, aby ve výsledky byly obě tyto možnosti dostupné široké škále zákazníků.

Jelikož konkurenční boj je stále ostřejší, je stále více nutné kromě standardního připojení k síti internet nabízet další možnosti, často ve formě obchodních balíčků pro využívání internetu, hlasu a obrazu. Od tohoto kroku se očekává kromě udržení stávajících zákazníků, kteří by se mohli nechat zlákat právě nabídkou balíčků od konkurence, také oslovení těch nových, kteří naopak mohou najít výhodu ve sloučení služeb do jedné a často i tu, že cenová relace balíčku může být přijatelnější, než v případě obstarávání si těchto služeb samostatně.

Protože se jedná o nové technologie s momentálním velmi nízkým podílem na trhu (u internetové televize průzkumy hovoří o 1 % ze všech televizních přípojek), je nesnadné předem určit zájem lidí poptávajících služby, ale podle odhadů by firma mohla získat 10-15 % nových zákazníků. V řeči čísel by to znamenalo postupný nárůst až o 350 zákazníků a navýšení obrátu firmy až o 2 mil. Kč ročně.

Závěr

Cílem této bakalářské práce byla široká analýza trhu s bezdrátovými technologiemi, zjištění jejich specifikací, technických podmínek a omezení, výhod a záporů a zejména praktických zkušeností poskytovatelů internetových služeb, kteří již ve své síti dané technologie využívají. Protože investice je pro firmu XYZ, s.r.o. klíčová z důvodu zajištění kvalitního technického zázemí pro poskytování spolehlivých služeb, je na místě zhodnocení právě nejen podle údajů výrobců, ale neméně důležité jsou i právě reference uživatelů.

Díky všem těmto získaným informacím bylo možné sestavit optimální návrh řešení obměny jednotlivých zařízení instalovaných na existující telekomunikační síti s ohledem na spolehlivost, jednoduchost a současně na solidní technickou úroveň. Jelikož tato datová síť zajišťuje přívod datové konektivity pro připojení k internetu pro téměř 3 000 klientů a jejich většina je připojena pomocí minimálně jedné bezdrátové trasy, je právě požadovaná kvalita připojení hlavním aspektem, na který je kladen důraz.

V opačném případě firma riskuje možné reklamace služeb ze strany zákazníků, nutnost jejich okamžitého řešení a potažmo i ztrátu dobrého jména a spolu s tím i pozice na trhu. Protože pod většinou přípojek zřízených firmou se skrývají domácnosti, jsou mezi množstvím zákazníků kladné reference na poskytovatele jedním ze zásadních pilířů, kterými firma utváří dobré jméno a současně i dobrou reklamu svým službám.

Z toho důvodu jsou v síti řešeny spoje profesionální technologií a často jsou zálohovány spojením jiným, aby nedocházelo k výpadkům v dodávkách služeb a tím zhoršené image firmy, protože spokojenost zákazníka je velice citlivá a je potřeba ji dlouhodobě pěstovat.

Seznam použitých zdrojů

[1] Zákon č. 127/2005 Sb., o elektronických komunikacích:

<http://portal.gov.cz/app/zakony/zakon.jsp?page=0&nr=127~2F2005&rpp=15#seznam>

[2] BRISBIN, Shelly. *Wi-fi*. 1. vydání. Praha: Neocortex, 2003. 248 s. ISBN 80-86330-13-3.

[3] SOSINSKY, Barrie. *Mistrovství počítačové sítě*. 1. vydání. Brno: Computer Press, 2010. 840 s. ISBN 978-80-251-3363-7.

[4] JANSEN, Horst - RÖTTER, Heinrich a kolektiv. *Informační a telekomunikační technika*. 1. vydání. Praha: Siemens, 2004. 399 s. ISBN 80-86706-08-7.

[5] ODOM, Wendell. *Počítačové sítě*. 1. vydání. Brno: CP Books, 2005. 384 s. ISBN 80-251-0538-5.

[6] <http://www.bezdratove-telekomunikace.cz/katalog-pojitek/laser-terescope-700-18140093>

[7] <http://www.daenotes.com/images/split-mount-microwave-equipment.PNG>

[8] <http://cz.jirous.com/img/obrazky/5831e2120eaf2e7215be997bf31fe0c1.jpg>

[9] http://zive.v.mfstatic.cz/Files/Obrazky/2006/07cervenec/sitovani02/net_wifi_router.jpg

[10] http://www.mikrotik.cz/out/pictures/z1/r52hn_z1.jpg

[11] http://www.ubnt.com/img/products_nano.png

[12] http://www.luxus.cz/obchod_pic/jrc-24-diagram-e.gif

[13] <http://www.alcoma.cz/upload/catalogue/image/small/ODU-REMEC-1.jpg>

Seznam obrázků

| | |
|---|----|
| Obrázek 1: Laserové pojítka, výrobce MRV | 13 |
| Obrázek 2: Schéma zapojení ODU a IDU jednotek | 16 |
| Obrázek 3: Měřicí diagram antény 2,4 GHz | 18 |
| Obrázek 4: Logo wi-fi..... | 19 |
| Obrázek 5: Úloha wifi routeru v domácí síti | 20 |
| Obrázek 6: Radiová MIMO karta Mikrotik | 23 |
| Obrázek 7: antény výrobce Ubiquity | 24 |
| Obrázek 8: Antény 10,5 GHz | 28 |
| Obrázek 9: ODU jednotka 11 GHz..... | 29 |
| Obrázek 10: Měřicí diagram antény 24 GHz..... | 31 |

Seznam tabulek

| | |
|---|----|
| Tabulka 1: Současný stav technologie..... | 41 |
| Tabulka 2: Návrh obměny technologie..... | 51 |
| Tabulka 3: Náklady na technologii..... | 52 |

Seznam použitých zkratk a symbolů

| | |
|------|------------------------------------|
| ADSL | Asymmetric Digital Subscriber Line |
| AP | Access Point |
| ČTÚ | Český telekomunikační úřad |
| GHz | Gigahertz |
| IDU | Indoor Unit |
| IPTV | Internet Protocol television |
| KHz | Kilohertz |
| LAN | Local area network |
| Mac | Media Access Control |
| MHz | MegaHertz |
| MIMO | multiple-input and multiple-output |
| ODU | Outdoor Unit |
| PCI | Peripheral Component Interconnect |
| WEP | Wired Equivalent Privacy |
| VoIP | Voice over Internet Protocol |
| WPA | Wi-Fi Protected Access |