

MASARYKOVA UNIVERZITA
FAKULTA INFORMATIKY



Analýza a úprava sítě pro střední školu

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Ondřej Vitvar

Brno, 2013

Prohlášení

Prohlašuji, že tato bakalářská práce je mým původním autorským dílem, které jsem vypracoval samostatně. Všechny zdroje, prameny a literaturu, které jsem při vypracování používal nebo z nich čerpal, v práci řádně cituji s uvedením úplného odkazu na příslušný zdroj.

Ondřej Vitvar

Vedoucí práce: doc. RNDr. Eva Hladká, Ph.D.

Poděkování

Moje poděkování patří především doc. RNDr. Evě Hladké, Ph.D., za její ochotu, odborné vedení a veškerý čas, který mi věnovala. Poděkovat bych chtěl také správcům ICT na obou školách, jmenovitě Lukáši Hardubejovi a Vladimíru Krupovi za poskytnutí potřebných informací a umožnění podílet se na celém projektu.

Shrnutí

Cílem práce je analýza sítě konkrétní střední školy v Hradci Králové. Škola vznikla sloučením dvou menších a proto je potřeba dvě oddělené budovy efektivním způsobem zasíťovat a vytvořit návrh počítačové sítě pro sjednocenou školu. V práci vytvářím návrh sítě, který by byl použitelný v daných podmínkách a pomohl by vytvořit jednotnou síť pro nově vzniklou školu. V rámci finančních možností školy realizuji navržené změny.

Klíčová slova

analýza, počítačová síť, návrh, Internet, bezdrátová síť, Wi-Fi, síťový hardware

Obsah

1	Úvod	3
2	Bezdrátové sítě	5
2.1	Dělení bezdrátových sítí	5
2.1.1	Rádiové vlny	5
2.1.2	Mikrovlny	6
2.1.3	Infračervené záření	6
2.1.4	Viditelné záření	6
2.2	Dělení bezdrátových sítí podle rozsahu	7
2.2.1	Bezdrátová osobní síť WPAN (Wireless Personal Area Network)	7
2.2.2	Bezdrátová lokální síť WLAN (Wireless Local Area Network)	7
2.2.3	Bezdrátová metropolitní síť WMAN (Wireless Metropolitan Area Network)	8
2.2.4	Rozsáhlá bezdrátová síť WWAN (Wireless Wide Area Network)	8
2.3	Bezdrátové optické sítě FSO (<i>Free-Space Optical communication</i>)	8
2.4	Základy přenosu dat v bezdrátových sítích	9
2.4.1	Baudová a bitová rychlost	9
2.4.2	Klíčování amplitudovým posuvem ASK (Amplitude Shift Keying)	10
2.4.3	Klíčování kmitočtovým zdvihem FSK (Frequency Shift Keying)	11
2.4.4	Klíčování fázovým posuvem PSK (Phase Shift Keying)	11
2.4.5	Kvadrurní amplitudová modulace QAM (Quadrature Amplitude Modulation)	11
2.4.6	Porovnání modulací	12
2.5	Volná a licencovaná pásma České republiky	13
2.5.1	Volná pásma	14
2.5.2	Licencovaná pásma	14
2.6	Antény pro bezdrátové přenosy	15
2.6.1	Všesměrové antény	15
2.6.2	Sektorové antény	16
2.6.3	Směrové antény	16
2.6.4	Zisk	16
2.6.5	Polarizace	17
2.6.6	Fresnelova zóna	17

2.6.7	Aktivní a pasivní retranslace	18
	Aktivní retranslační stanice	18
	Pasivní retranslační stanice	18
2.7	Zabezpečení bezdrátových sítí	18
2.7.1	Wired Equivalent Privacy (WEP)	19
2.7.2	Wi-Fi Protected Access (WPA/WPA2)	19
2.7.3	Prolomení zabezpečení	19
2.8	Eduroam	20
2.9	Komunitní síť HKfree.org	21
3	Analýza školy a sítě	24
3.1	Základní informace o škole	24
3.2	Velikost a rozsah počítačových sítí obou budov	24
3.3	Analýza počítačové sítě obou budov	25
3.3.1	Drátová síť	25
3.3.2	Bezdrátová síť	25
3.3.3	Servery	26
3.3.4	Připojení k Internetu	27
3.3.5	Shrnutí	27
4	Návrh počítačové sítě a kalkulace ceny	28
4.1	Změny v drátové síti	28
4.2	Návrh bezdrátové sítě	29
4.2.1	Budova Obchodní akademie	29
4.2.2	Budova Stěžery	32
4.3	Nové servery	33
4.4	Internet	35
4.5	Kalkulace ceny	36
4.5.1	První varianta	37
4.5.2	Druhá varianta	38
4.5.3	Třetí varianta	39
4.5.4	Slepý rozpočet	39
5	Průběh prací	40
6	Závěr	41
7	Seznam použitých zdrojů	42
8	Přílohy	44

1 Úvod

Počítače, mobilní telefony, tablety a podobná zařízení dnes používá většina z nás. Velká část aplikací a funkcí podobných zařízení využívá počítačové sítě nebo přístup do Internetu. „Bylo by těžké přehnat význam sítí pro moderní výpočetní techniku. V mnoha organizacích je přístup k webu a k elektronické poště hlavním způsobem využívání počítačů.“ [1]

Jak píše i známý publicista Jiří Peterka. „Ovládat práci s počítačem a umět používat Internet patří v dnešní době k základům gramotnosti (...)“ [2]. Bylo by nezodpovědné, aby naše školství nevedlo děti a mládež k využívání počítačů a Internetu. Proto má každá střední i základní škola předměty zaměřené na práci s počítači a nikdo z žáků se jim nevyhne.

Stále častěji se pak na středních školách setkáváme s trendem, že si žáci nosí vlastní počítače do výuky a vyžadují přístup k Internetu a elektronickým zdrojům školy. Na tento trend školy reagují postupným budováním vlastních počítačových sítí, multimediálních učeben a přístupových bodů k síti Internet.

Ve své práci se zabývám analýzou a úpravou sítě konkrétní střední školy a v rámci možností i realizací změn. Jedná se o školu, která vznikla sloučením dvou menších středních škol. Tím nastal poměrně zajímavý problém. Je potřeba propojit počítačovou síť obou škol, které jsou geograficky vzdálené více jak 5 kilometrů. Dále je třeba provázat a postupně sloučit všechny elektronické systémy.

Prvním krokem bylo zmapování současného stavu sítě a síťových prvků v obou budovách. S tím mi značně pomohli správci ICT obou škol. Po několika schůzkách jsme společně sestavili model aktuálního stavu sítě, jednotlivých serverů a všech služeb na nich běžících.

V druhé části jsem vypracoval návrh na změny jak v samotné síti tak i na serverovém vybavení. Samozřejmostí je i cenová kalkulace plánovaných změn. Vytvořil jsem plán rozdělení jednotlivých služeb na nové servery a našel nového poskytovatele připojení k Internetu. Pro tento účel se výborně hodí místní občanské sdružení HKfree.org. Jedná se o komunitní síť založenou na myšlence, přispěj a používej. Na oficiálních stránkách HKfree.org se píše: „Členové i z řad laické veřejnosti doplňovali naše sdružení a přizpůsobovali jej potřebám běžných lidí.“ [3] Jednou z těchto potřeb je i podpora vzdělávání. Právě proto vznikl projekt HKfree do škol (HKdos). V rámci tohoto projektu HKfree.org připojuje školská zařízení k síti Internet zdarma.

V třetí části se věnuji již proběhlým úpravám sítě a plánuji práce do budoucna. Cílem je získat gigabitovou síť v obou budovách a pokrytí důležitých prostor školy bezdrátovým signálem. Pro školu je velmi důležité, aby při

přestavbě sítě docházelo jen k minimálním výpadkům všech služeb, proto všechny práce na síti probíhají ve dnech volna.

Výsledkem mé práce a práce zaměstnanců školy je návrh plně gigabitové sítě v obou budovách školy. Propojení obou budov pomocí VPN a HKfree. Přístup do Internetu přes HKfree s tím, že každá budova má svou zálohu pro případ výpadku primární konektivity. Reorganizace serverů a služeb na nich běžících. V neposlední řadě možnost přístupu žáků k Internetu a elektronickým zdrojům školy přes veřejné bezdrátové sítě. Otázkou zůstává, zda škola bude schopná do budoucna udržet krok s rozvojem výpočetních technologií a modernizovat síť tak aby, studenti měli vždy přístup k nejnovějším technologiím.

2 Bezdrátové sítě

V práci se zabývám propojením dvou budov školy vzdálených cca 5 km. Spojení škol je realizováno za pomoci sítě občanského sdružení HKfree.org, která je z naprosté většiny bezdrátová. Dále se zabývám návrhem Wi-Fi sítě pro obě budovy školy. Proto jsem v teoretické části své práce rozpracoval téma bezdrátových sítí podrobněji.

Bezdrátové sítě jsou druhem počítačových sítí, kde je spojení mezi dvěma komunikujícími uzly realizováno bezdrátovým přenosem, za pomoci elektromagnetických vln. Přenosovým médiem při bezdrátové komunikaci není klasický vodič, ať už metalický nebo optické vlákno, ale médiem pro přenos bezdrátového signálu je éter tedy ve většině případů vzduch.

Bezdrátové sítě nacházejí své využití tam, kde tažení klasické drátové sítě není možné nebo je finančně nevýhodné. Dobrým příkladem využití bezdrátové počítačové sítě je připojení notebooků studentů při přednášce v posluchárně. Kdyby měl každý student mít svojí kabelovou přípojku, byla by taková síť v posluchárně pro 200 studentů dosti rozsáhlá a finančně nákladná. Za pomoci bezdrátové sítě jsme tento problém schopni řešit mnohem efektivněji a za zlomek ceny. Další výhodou bezdrátových sítí je jejich mobilita. Pokud firma opustí budovu, která je připojená do sítě optickým kabelem zakopaným v zemi, pak přišla nenávratně o peníze, které toto připojení stálo. Je-li však budova připojená bezdrátově, pak můžeme spoj ze střechy svésit a přesunout na nové působiště. To samé platí například při síťování dočasně využívaných prostor.

2.1 Dělení bezdrátových sítí

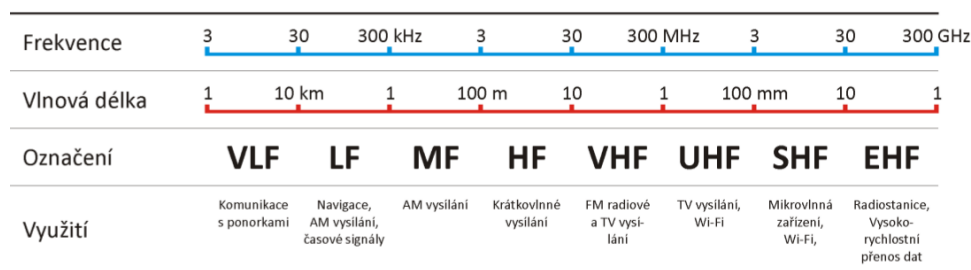
Existuje několik kritérií, podle kterých se dají bezdrátové sítě dělit do skupin. Prvním je rozdělení podle frekvence využívané pro přenos signálu. Elektromagnetické spektrum dělíme v zásadě na čtyři části využívané pro bezdrátovou komunikaci.

2.1.1 Rádiové vlny

Jako rádiové vlny označujeme elektromagnetické vlny o frekvenci od jednotek hertzů do přibližně 3GHz. Rádiové vlny se dále dělí na extrémně dlouhé, velmi dlouhé, dlouhé, střední, krátké, velmi krátké a ultra krátké vlny. Z pohledu bezdrátových počítačových sítí je zajímavá až poslední část a to ultra krátké vlny. Jako ultra krátké vlny označujeme kmitočtové pásmo od 300 MHz do 3 000 MHz, tedy vlny o délce 100-10 cm. V tomto kmitočtovém pásmu pracují

Obrázek 2.1: Rozdělení spektra

Zdroj: Alcoma s.r.o. [11]



například sítě mobilních operátorů, takzvaný Globální Systém pro Mobilní komunikaci (GSM). Do pásma ultra krátkých vln patří i Wi-Fi využívající bezlicenční pásmo 2,4 GHz nebo Bluetooth pracující na stejné frekvenci.

2.1.2 Mikrovlny

Označení mikrovlny se používá pro elektromagnetické vlny o vlnové délce od 1 mm do 1 m, tedy frekvenci od 300 MHz do 300 GHz. Jde o část spektra hojně využívanou pro bezdrátové počítačové sítě. Spadají sem všechna běžně využívaná volná i licenční pásma v České republice počínaje Wi-Fi na frekvenci 2,4 GHz a konče spoji v pásmu 70-80 GHz.

2.1.3 Infračervené záření

Jedná se o elektromagnetické záření o vlnové délce od 1 mm do 760 nm, což odpovídá frekvencím od 300 GHz do 400 THz. „Infračervené záření se používá pro přenos informací na krátkou vzdálenost, nejčastěji podle standardu IrDA. Příkladem mohou být mobilní telefony či dálkové ovladače.“ [4] Infračervené záření lze využít i pro přenos dat na větší vzdálenosti. Jde o tzv. Free-Space Optical communication (FSO). V dnešní době běžná FSO zařízení dosahují přenosových rychlostí přes 1Gb/s na vzdálenost přesahující 2000 metrů.

2.1.4 Viditelné záření

Okem viditelné záření se pohybuje mezi 400 THz a 800 THz. Viditelné záření se stejně jako infračervené záření používá pro FSO spoje ať už ve formě klasického světla nebo laseru.

2.2 Dělení bezdrátových sítí podle rozsahu

Dalším možným kritériem, podle kterého můžeme dělit bezdrátové sítě je jejich rozsah. Sítě podle rozsahu dělíme na:

- osobní
- lokální
- metropolitní
- rozsáhlé

2.2.1 Bezdrátová osobní síť WPAN (Wireless Personal Area Network)

Bezdrátová osobní síť má velmi malý dosah, řádově jednotky až desítky metrů. Umožňuje bezdrátové připojení k Internetu nebo připojení různých bezdrátových zařízení jako sluchátka, tiskárny nebo bezdrátový modul družicového navigačního systému GPS.

Síť může sloužit k propojování zařízení mezi sebou, například mobilního telefonu, notebooku nebo tabletu. Primárně jsou tato zařízení propojena v režimu ad-hoc. To znamená, že jednotlivé komunikující uzly jsou v tomto režimu rovnocenné. „V principu pak celá síť funguje tak, že první spuštěný klient tvoří jakýsi imaginární access point (přístupový bod), který pak řídí další komunikaci ostatních klientů. Ti však komunikují bez tohoto „hlavního“ počítače. Pokud hlavní klient vypadne, síť se na malý okamžik rozpadne, než se funkce access pointu ujme jiný klient (většinou zcela náhodně).“ [5]

Do této sítě řadíme především technologie Bluetooth, IrDA a vzácněji pak průmyslově využívané Zigbee či Ultra Wide Band, institucí IEEE normalizované ve skupině pod číslem 802.15. [6]

2.2.2 Bezdrátová lokální síť WLAN (Wireless Local Area Network)

Jedná se obvykle o malou síť tvořenou z pravidla jedním přístupovým bodem a na něj připojené klienty. Zástupcem WLAN sítě je například výše zmíněný model notebooků v posluchárně během přednášky. Ve WLAN sítích jsou nejčastěji využívány zařízení implementující standardy IEEE 802.11 zaváděné institutem IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers). Takové sítě označujeme jako Wi-Fi sítě.

2.2.3 Bezdrátová metropolitní síť WMAN (Wireless Metropolitan Area Network)

Tento typ sítě je nejčastěji spojován se skupinou bezdrátových širokopásmových standardů IEEE 802.16 komerčně označovaných jako WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access). WiMAX se v dnešní době jeví jako velmi zajímavá alternativa pro klasické Wi-Fi sítě a to hlavně díky možnosti přenosu dat bez přímé viditelnosti (tzv. NLOS – Non Line Of Sight). Přenos dat bez přímé viditelnosti je pro poskytovatele připojení k Internetu v městské zástavbě často klíčový.

2.2.4 Rozsáhlá bezdrátová síť WWAN (Wireless Wide Area Network)

Je charakteristická svou velkou rozlohou a maximální mobilitou jejích klientů. Příkladem rozsáhlé bezdrátové sítě jsou sítě mobilních operátorů, které pokrývají území celé České republiky. Technologie využívané v síti GSM v České republice jsou především General Packet Radio Service (GPRS) a Enhanced Data rates for GSM Evolution (EDGE). Obě technologie umožňují přenos dat a připojení k Internetu pro uživatele GSM sítě. V nedávné době začali čeští mobilní operátoři častěji nasazovat i Universal Mobile Telecommunication System (UMTS) s technologiemi HSDPA a HSUPA, které jsou dalším stupněm vývoje GSM sítí a umožňují mnohem vyšší datovou propustnost (až 14 Mb/s u HSDPA a až 84,4 Mb/s u HSDPA+).

Tabulka 8.1 v příloze uvádí přehled jmenovaných technologií a jejich základní parametry.

2.3 Bezdrátové optické sítě FSO (Free-Space Optical communication)

Bezdrátové optické sítě jsou zajímavou alternativou ke klasickým bezdrátovým sítím. Pro přenos dat se používá optický pulsně modulovaný signál.[8] Každá strana spoje má zvlášť oddělený vysílací a přijímací modul, takže spoj je plně duplexní. Vysílací moduly používají buď viditelné světlo o vlnové délce 600-650 nm (červené světlo) nebo se pohybují okolo 1550 nm (infračervené světlo). Vysílací modul obsahuje buď LASER, který má výhodu přesnějšího paprsku nebo klasickou diodu, jejíž světlo se usměrňuje čočkou.

Existuje mnoho společností zabývajících se bezdrátovými optickými spoji, z těch známějších, například MRV Communications. V České republice se výrobou zabývá například společnost Crusader. Za zmínku stojí i dnes již ukončený projekt RONJA (Reasonable Optical Near Joint Access), který

nabízela možnost postavit si optický bezdrátový spoj svépomocí doma s minimálními náklady.

Dnešní spoje dodávané například zmiňovanou firmou MRV jsou samozřejmě na mnohem vyšší úrovni než kdy byla RONJA. Spoje mohou být montovány na vzdálenosti přesahující 2 000 metrů při datové propustnosti přes 1Gb/s.

Hlavní výhodou optických bezdrátových spojů je nemožnost jakéhokoliv rušení spoje. Jde v podstatě o úzký paprsek světla, který se dá přerušit jen mechanickou překážkou. Takovou může být například letící pták, ale takto krátký výpadek nemůže nijak výrazně poznamenat stabilitu spoje, natož celé sítě. Z vlastních zkušeností, které mám z účasti na projektu RONJA vím, že jediným „zabijákem“ podobných zařízení je hustá mlha. Kupodivu, ani sněžení nebo déšť neměly výrazný vliv na kvalitu spoje.

Bezdrátové optické spoje jsou dobrou volbou pro krátké spoje například v městské zástavbě. Nejsou vhodné pro spoje na velkou vzdálenost do míst, kde jsou časté mlhy.

2.4 Základy přenosu dat v bezdrátových sítích

Éterem lze přenášet pouze analogový signál. Problémem přenosu dat v bezdrátových sítích je reprezentace digitálního signálu složeného z jedniček a nul analogovým signálem. Řešením je modulace nosného signálu signálem digitálním. Jde o tzv. digitální modulaci. Mezi základní metody digitální modulace patří:

- klíčování amplitudovým posuvem ASK (Amplitude Shift Keying)
- klíčování kmitočtovým zdvihem FSK (Frequency Shift Keying)
- klíčování fázovým posuvem PSK (Phase Shift Keying)
- kvadrurní amplitudová modulace QAM (Quadrature Amplitude Modulation)

2.4.1 Baudová a bitová rychlost

Baudová rychlost je počet přenesených signálových prvků za jednotku času. Bitová rychlost pak počet přenesených bitů za jednotku času. Kóduje-li jeden signálový prvek pětici bitů pak při baudové rychlosti 100 baud/s bitová rychlost bude rovna 500 bit/s. Za předpokladu, že jeden signálový prvek kóduje právě jeden bit pak bitová a baudová rychlost budou stejné.

Cílem je použít takovou modulaci, aby při co nejmenší baudové rychlosti byla bitová rychlost co nejvyšší. To zajistí vyšší propustnost spoje.

2.4.2 Klíčování amplitudovým posuvem ASK (Amplitude Shift Keying)

Někdy označovaná také jako ON/OFF keying (OOK), BASK (Binary ASK) nebo 2ASK. „Amplitudové klíčování přenáší binární informaci pomocí amplitudy modulovaného signálu. (...) Modulace vznikne ovlivňováním nosného signálu modulačním signálem a diskrétními stavy. Modulačním signálem je nejčastěji unipolární NRZ signál. Výsledný modulovaný signál vypadá následovně: po dobu trvání logické “1” je vysílán kmitočet nosné vlny a po dobu trvání logické “0” není vysílán žádný signál.“ [9]

„Základní ASK modulace je dvoustavová,“ [9] proto baudová a bitová rychlost budou stejné. „U vícecestavové modulace ASK bude modulovaný signál obsahovat více úrovní nosného signálu, kde každá z nich bude odpovídat skupině bitů.“ [9] Vícestupňová ASK se samostatně nepoužívá, uplatňuje se při modulaci QAM[10]. Frekvence nosného signálu může být zvolena z libovolného dostupného pásma. Každá modulace má různý počet bitů na přenesený signálový prvek. Přehled přenesených bitů na symbol je uveden v tabulce 2.1

Tabulka 2.1: Počet přenesených bitů na symbol pro zvolenou modulaci

Modulace	Bitů na přenesený symbol
BASK, BFSK, BPSK	1
QPSK	2
8QAM	3
16QAM	4
32QAM	5
64QAM	6
128QAM	7
256QAM	8
512QAM	9
1024QAM	10
2048QAM	11

2.4.3 Klíčování kmitočtovým zdvihem FSK (Frequency Shift Keying)

Těž označovaná jako BFSK (Binary FSK) nebo 2FSK. „Dvoustavové kmitočtové klíčování FSK představuje použití dvou kmitočtů, kde každý z nich reprezentuje jednu logickou úroveň. Po dobu trvání logické „1“ je vysílán kmitočet jedné nosné a po dobu trvání logické „0“ je vysílán kmitočet druhé nosné vlny.“ [9]

Vícestavová FSK je možná. Za použití 4, 8 nebo více nosných frekvencí lze přenášet dvojice, trojice nebo větší skupiny bitů. U vícestavové FSK však výrazně narůstá potřebná šířka pásma. Pro docílení dvojnásobné bitové rychlosti je zapotřebí čtyřnásobná šířka pásma.

2.4.4 Klíčování fázovým posuvem PSK (Phase Shift Keying)

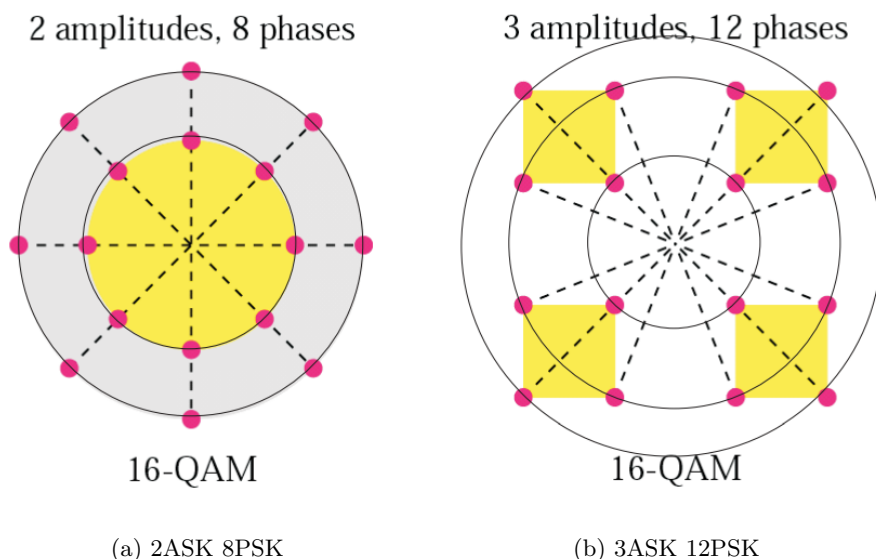
Dvoustavová PSK je označována též jako BPSK (Binary PSK) nebo 2PSK. PSK „přenáší binární informaci pomocí změny fáze v modulovaném signálu. (...) V případě BPSK je změna fáze 180° (π rad).“ [9] PSK je stejně jednoduchá jako ASK, požaduje stejnou šířku pásma a je méně citlivá na šum. [10]

Vícestavová PSK existuje jako QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) neboli kvadraturní PSK. QPSK „vychází ze součtu dvou vzájemně fázově posunutých nosných signálů BPSK.“ [9] QPSK v každém stavu kóduje dva přenášené bity. Jako základní modulační schéma u systémů digitální televize se pak používá 8-PSK, která používá 8 stavů, kde každý přenáší 3 bity.

2.4.5 Kvadraturní amplitudová modulace QAM (Quadrature Amplitude Modulation)

PSK špatně rozlišuje malé difference fáze a ASK špatně rozlišuje více než 2 hodnoty amplitudy. QAM je vylepšení PSK kombinací s ASK - mění se dvě charakteristiky signálu, fáze a amplituda současně. [10] Nejjednodušší způsob jak získat například 16QAM je kombinace 2ASK a 8PSK. (obrázek 2.2a). Pro lepší rozlišení všech 16 stavů je vhodnější použití kombinace 3ASK a 12PSK. Získáme tak 36 stavů, ze kterých se použije jen 16 nejlépe rozlišitelných. (obrázek 2.2b). Dnešní moderní spoje využívají běžně 256QAM nebo 512QAM. Na trhu se nově objevují spoje využívající 1024QAM, společnost DragonWave v září roku 2012 oznámila spoj využívající dokonce 2048QAM. Běžnou praxí pak je, že spoj si modulaci průběžně upravuje podle kvality přijímaného signálu. Pokud kvalitu signálu zhorší například povětrnostní podmínky pak spoj automaticky sníží modulaci v případě potřeby až na 16QAM nebo QPSK. Přenosová rychlost okamžitě klesne na zlomek původní, ale zachová se spojení

Obrázek 2.2: 16QAM
Zdroj: Jan Staudek, PV 169



a je tedy možné spoj nadále využívat byť s menší propustností.

2.4.6 Porovnání modulací

Propustnost spoje bez korekce chyb (hrubá propustnost) se vypočte takto:

$$Ch(M) = bps(M) * SymbolRate(BW) \quad (2.1)$$

M je zvolená modulace a BW je použitá šířka pásma. Například pro maximální šířku pásma použitelnou v České republice, podle všeobecného oprávnění č. VO-R/14/08.2005-26 k využívání radiových kmitočtů a k provozování zařízení v pásmu 10GHz, 28MHz bude výpočet následovný:

$$Ch(QPSK) = 2bps * 25Mbaud/s = 50Mb/s \quad (2.2)$$

$$Ch(16QAM) = 4bps * 25Mbaud/s = 100Mb/s \quad (2.3)$$

Změna modulace z QPSK na 16QAM tedy navýší přenosovou kapacitu na dvojnásobek.

$$(4bps/2bps - 1) * 100 = 100\% \quad (2.4)$$

Avšak přechod z 256QAM na 512QAM udělá již menší nárůst přenosové kapacity.

$$(9bps/8bps - 1) * 100 = 12,5\% \quad (2.5)$$

Což v absolutních číslech v případě 28MHz šířky pásma představuje nárůst hrubé přenosové rychlosti o 25 Mb/s. S přibývajícimi stupni QAM se získává stále menší přenosová kapacita, ale nároky na přenosový trakt vzrůstají lineárně. Každé navýšení stupně QAM vyžaduje o 3 dB větší nároky na šumovou bilanci spoje (data společnosti Alcoma s.r.o.). To v praxi znamená buď o 3 dB „kratší“ spoj a nebo o 3 dB kvalitnější aktivní polovodičové součástky.

V případě nekvalitního mikrovlnného traktu není vhodné zavádět vysoké stupně QAM, protože by vyžadovaly silnější protichybové zabezpečení (FEC - Forward Error Correction).

Příklad:

Běžné kódové poměry FEC se pohybují kolem 10% - 15%. Pokud bychom získali 12,5% hrubé přenosové kapacity zavedením 512QAM, a současně bychom museli 512QAM kompenzovat 20% FEC namísto běžných 10%, zhoršíme čistou přenosovou kapacitu. Čistá přenosová (uživatelská) kapacita je hrubá kapacita mínus FEC.

$$(9/8) * (8/10) = 9/10 \quad (2.6)$$

Výpočet pro 28MHz, 16QAM, FEC rate = 10%:

$$C_n = 100Mb/s * (100 - 10)/100 = 90Mb/s \quad (2.7)$$

Předpokladem zavedení vysokých stupňů QAM nejsou jen vyspělé mikrovlnné součástky. Nutnou podmínkou pro modulace 256QAM a vyšší je pokročilé signálové zpracování v modemu. To zahrnuje mimo jiné kompenzace nelinearity přenosového traktu (predistorze), precizní synchronizace nosné frekvence a modulačního taktu, a ekvalizaci přenosového traktu.

2.5 Volná a licencovaná pásma České republiky

Uspořádání mikrovlnných pásem je koordinováno v celosvětovém měřítku. Podle Rozhodnutí ITU-R (International Telecommunication Union – Radio communication Section). „Na frekvenční spektrum se pohlíží jako na přírodní bohatství, se kterým je třeba uvážlivě hospodařit. Koordináčním a regulačním orgánem v České republice je ČTÚ (Český telekomunikační úřad),

který rozdělení kmitočtového pásma přesně definuje a stanovuje podmínky provozu jednotlivých radiokomunikačních zařízení. V České republice jsou rozhodnutí ITU-R závazná.“ [11] Volba volného nebo licencovaného pásma je na provozovateli spoje. Volná pásma nejsou centrálně kontrolována ČTÚ, takže zde může docházet k vzájemnému rušení spojů. Na rozdíl od licencovaných pásem neplatí provozovatel pravidelný měsíční poplatek za využití pásma. Licencovaná pásma jsou sice zpoplatněna, ale ČTÚ ručí za to, že spoj nebude nikým rušen. V případě, že se tak stane, zasáhne a sjedná nápravu.

2.5.1 Volná pásma

Na internetových stránkách Českého telekomunikačního úřadu jsou dostupné dokumenty stanovující způsob využití jednotlivých kmitočtových pásem. Především Plán přidělení kmitočtových pásem nebo-li kmitočtová tabulka. Dále pak dokumenty jasně popisující podmínky používání jednotlivých pásem. Například způsob využití volného pásma 2,4 GHz popisuje všeobecné oprávnění č. VO-R/12/09.2010-12 k využívání rádiových kmitočtů a k provozování zařízení pro širokopásmový přenos dat v pásmech 2,4 GHz až 66 GHz. Tento dokument stanovuje jednotlivá volně využitelná kmitočtová pásma (2,4 GHz, 5 GHz, 17 GHz,...), maximální vyřazený výkon, maximální spektrální hustotu a případné další podmínky.

2.5.2 Licencovaná pásma

Využívání licencovaných pásem se řídí zákonem č. 127/2005 Sb., o elektronických komunikacích, plánem přidělení kmitočtových pásem, plánem využití rádiového spektra a nařízením vlády č. 154/2005 Sb., o stanovení výše a způsobu výpočtu poplatků za využívání rádiových kmitočtů a čísel. Je nutné brát ohled i na závazky vyplývající z členství České republiky v mezinárodních organizacích. Při kmitočtovém plánování jsou zohledňována rozhodnutí a doporučení CEPT/ECC (European Conference of Postal and Telecommunications Administrations / The Electronic Communications Committee), ETSI (The European Telecommunications Standards Institute) a podle výše zmiňované ITU-R. [12]

Postup žádosti o udělení individuálního oprávnění k využívání rádiových kmitočtů:

1. Žadatel vyplní formulář o plánovaném spoji bod-bod. Ten obsahuje základní informace jako adresu obou stanovišť spoje, jejich zeměpisné souřadnice, nadmořskou výšku a výšku nad terénem. Dále informace

- o použitých anténách, jejich průměr a zisk a informace o typu zařízení, výrobce, prahová úroveň přijímače, druh modulace a účel použití.
2. ČTÚ v závislosti na poskytnutých údajích o trase, na kterou má být spoj umístěn vypočítá potřebný výkon. V případě nutnosti, se upraví průměr parabol.
 3. Žadatel vyplní samotnou žádost o udělení individuálního oprávnění k využívání rádiových kmitočtů, kterou posoudí ČTÚ. Podle zákona č. 634/2004 Sb., o správních poplatcích, si účtuje za posouzení žádosti 5 000 Kč.
 4. ČTÚ zašle rozhodnutí. V případě, že je žádost zamítnuta, je ČTÚ povinen uvést důvod. Důvodem může být rušení části spektra nebo nedostatek volných kmitočtů. V tomto případě je možné využít jinou frekvenci, například 13 GHz nebo 24 GHz a poslat žádost znovu. V případě, že žádost schválena, žadatel zašle rozhodnutí výrobcí spoje a ten zařízení nastaví přesně podle pokynů ČTÚ.

Výpočet poplatku za využívání rádiových kmitočtů je popsán v nařízení vlády č. 154/2005 Sb. Cena je odvozena od zabrané šířky pásma, použitého kmitočtového pásma, výstupního výkonu, použití řízení výstupního výkonu a použití křížové polarizace. Například spoj v pásmu 11 GHz využívající 48 MHz pásma stojí na poplatcích přibližně 20 000 Kč ročně.

2.6 Antény pro bezdrátové přenosy

Anténa je zařízení k vysílání nebo přijímání rádiových signálů. V principu, každá anténa může současně přijímat i vysílat, ale ne vždy se obojího využívá. Kvalita celého spoje a výsledného přenosu z velké míry závisí právě na použitých anténách. Základními vlastnostmi všech antén je jejich zisk, polarizace a směrovost. Podle směrovosti dělíme antény na všesměrové, sektorové a směrové.

2.6.1 Všesměrové antény

„Všesměrové antény šíří signál do všech stran, tedy vykrývají úhel 360 stupňů. Používají se všude, kde se vyžaduje souvislé pokrytí.“ [13] Dobrým příkladem všesměrové antény je malá anténka u domácího Wi-Fi routeru, tzv. „pendrek“. Ale všesměrové antény se uplatní i při venkovním použití, například při budování hot-spotů ve městech. Méně často je poskytovatelé připojení

k Internetu používají pro připojování klientů. Obvykle tam, kde je klientů méně.

2.6.2 Sektorové antény

„Antény sektorové vyzařují do určitého úhlu, například vykrývají úhel 180 nebo třeba 60 stupňů. Používají se tam, kde je potřeba vykrýt specificky omezené oblasti a je třeba i vhodné zabránit pronikání signálu mimo tuto oblast.“ [13] Je také běžné nahrazovat jednu všesměrovou anténu více sektorovými. Pokud jednu všesměrovou anténu s dvaceti klienty nahradíme čtyřmi 90 stupňovými sektorovými anténami a klienty rozdělíme, bude na každém sektoru přibližně jen 5 klientů a ve špičkách tak dosáhneme až čtyřikrát větší datové propustnosti směrem ke klientům.

2.6.3 Směrové antény

„Směrové antény jsou vlastně zvláštní podkapitolou sektorových antén. (...) Tyto antény září pouze do jednoho bodu a jsou to nejčastěji používané antény na delší spoje, protože signál soustředí do jednoho bodu, a jsou tedy schopné „dozářit“ na největší vzdálenost.“ [13] Za směrovou anténu můžeme považovat anténu s vyzařovacími úhly menšími než 30 stupňů. Tyto větší vyzařovací úhly mají obvykle antény typu Yagi nebo panelové antény. Parabolické antény, ať už s plnou parabolou nebo tzv. síta mají obvykle vyzařovací úhly výrazně menší, pod 10 stupňů. Profesionální antény pro spoje na větší vzdálenosti a na vyšších frekvencích než 5 GHz pak běžně mají vyzařovací úhly i pod 1 stupeň.

2.6.4 Zisk

Zisk antény udává poměr mezi intenzitou vyzařování v daném směru k intenzitě vyzařování referenční antény. Jako referenční anténa se volí buď tzv. izotropní anténa nebo ideální půlvlnný dipól. „Dipól je anténa tvaru „T“ o velikosti zářiče právě poloviny vlnové délky pásma, na kterém dipól pracuje. Dipólem se v praxi nahrazuje teoreticky definovaná izotropní anténa, která vyzařuje do všech stran beze ztrát. Zisk antény se udává v dBi, tedy v decibelech na isotrop nebo méně často v dBd, tedy v decibelech na dipól, podle toho, k jakému typu antény je měření vztahováno.“ [13]
Platí, že $dBi = 2,16 + dBd$.

2.6.5 Polarizace

Při bezdrátovém přenosu informací se používají dva typy polarizace elektromagnetického vlnění: lineární a kruhová. „Lineární polarizace se v praxi používá dvojí – horizontální a vertikální. Kruhová polarizace může být pravotočivá nebo levotočivá. Rovina polarizace vyzářeného vlnění je dána výhradně konstrukčním uspořádáním antény.“ [13] Pokud použijeme na jednom spoji antény s rozdílnou polarizací, tak dojde k potlačení zisku antén. Při použití antény s kruhovou polarizací na jedné straně spoje a antény s lineární polarizací na straně druhé, budou antény vykazovat zisk o 3 dBi menší, než skutečně mají. Při použití antén s nesouhlasným směrem kruhové polarizace nebo při vzájemném otočení antén s lineární polarizací o 90 stupňů může dojít k potlačení zisku antén až o 24 dBi.

Naprostá většina dnes používaných antén má lineární polarizaci. Ta může být buď horizontální nebo vertikální. Polarizace antén se dá změnit buď otočením ozařovače antény nebo otočením celé antény o 90 stupňů. Je zvykem používat horizontální polarizaci u spojů bod-bod a vertikální polarizaci u spojů bod-multibod, protože všesměrové a sektorové antény zpravidla pracují s vertikální polarizací.

2.6.6 Fresnelova zóna

Mikrovlnné spoje se dají spolehlivě provozovat jen za předpokladu přímé viditelnosti z jednoho konce spoje na druhý. Signál jen velmi špatně prochází překážkami jako jsou budovy, stromy a podobné. Nicméně fakt, že máme volný prostor mezi oběma konci spoje ještě nezaručuje jeho spolehlivost a stabilitu. Je nutné zajistit volnou i tzv. Fresnelovu zónu, což je určitý prostor kolem spojnice obou konců spoje. Fresnelova zóna má tvar elipsoidu a proto je počáteční nárůst průměru poměrně strmý. Poloměr Fresnelovy zóny závisí na délce spoje a vlnové délce vysílaného signálu.

Výpočet poloměru Fresnelovy zóny prvního řádu:

$$b = \sqrt{\lambda \frac{d1 \cdot d2}{d1 + d2}} \quad (2.8)$$

λ je vlnová délka, $d1$ je vzdálenost od jedné antény a $d2$ je vzdálenost od druhé antény. Příkladem budiž spoj na frekvenci 2,4 GHz na vzdálenost 1km. První Fresnelova zóna takového spoje bude mít v nejširším místě, tedy uprostřed, poloměr přibližně 5,5 m. Přitom, ale ve vzdálenosti 100 m od antény bude poloměr stále velmi vysoký, 3,3 m. Je nutné každý spoj pečlivě plánovat. K tomu na Internetu existuje spousta kalkulátorů, které spočítají nejen Fresnelovu zónu, ale i úroveň signálů na obou stranách spoje, nutný

vyzářený výkon atd. To vše i za zhoršených podmínek jako je déšť nebo sněžení.

2.6.7 Aktivní a pasivní retranslace

S tématem Fresnelovy zóny úzce souvisí téma retranslace. Pokud nutně potřebujeme bezdrátovým spojem propojit dvě místa, které dělí nějaká překážka, je možné použít retranslační stanici. Ty dělíme na aktivní a pasivní.

Aktivní retranslační stanice

Aktivní retranslační stanice jsou v zásadě dvojího typu. Klasická aktivní retranslační stanice přijme signál, zesílí a pošle dál. Neprobíhá zde žádná obnova nebo regenerace signálu. Taktéž zde nedochází k demodulaci a zpětné modulaci signálu.

Druhým typem je tzv. aktivní retranslační regenerující stanice. Stejně jako klasická aktivní retranslační stanice přijímaný signál nedemoduluje. Stanice přijímaný signál plně obnoví, zesílí a v požadovaném směru přenesení dál.

Pasivní retranslační stanice

„Pasivní retranslační stanice pracuje jako odražeč mikrovlnného paprsku. To lze provést jednak pomocí odrazné desky, která nasměruje paprsek z jeho dráhy do žádaného směru, anebo pomocí dvou spojených parabolických antén, které jsou vzájemně propojeny pomocí ohebného vlnovodu.“ [11]

Za použití pasivní retranslace pochopitelně nedosáhneme přenosu na velké vzdálenosti, na to je zapotřebí retranslace aktivní. Jde však o způsob jak šířit mikrovlnný signál bez přímě viditelnosti mezi vysílačem a přijímačem na kratší vzdálenosti.

2.7 Zabezpečení bezdrátových sítí

Zabezpečení bezdrátových sítí by mělo zabránit neoprávněným uživatelům přistupovat do sítě. Tím zabránit k neoprávněnému využívání zdrojů dané sítě nebo útokům vedeným proti ostatním uživatelům.

Wi-Fi již ve svém standardu IEEE 802.11 z roku 1997 obsahovala možnost šifrovat provoz. Jednalo se o technologii Wired Equivalent Privacy (WEP). WEP je dnes již považován za nebezpečnou technologii a v praxi stačí i nezkušenému útočníkovi jen několik málo minut na jeho prolomení. V roce 2002 byl WEP nahrazen Wi-Fi Protected Access (WPA) později pak ve verzi WPA2.

2.7.1 Wired Equivalent Privacy (WEP)

„V bezdrátové počítačové síti pracuje WEP na linkové vrstvě, kde šifruje přenášené rámce pomocí proudové šifry RC4.“ [14] WEP existuje v několika variantách. Běžně se používá 64bitový a 128bitový. 64bitový WEP používá 40bitový klíč a 24bitový inicializační vektor, které dohromady tvoří 64bitový RC4 klíč. Obdobně tomu je u 128bitového WEP kde je klíč 104bitů a 24bitů inicializační vektor. „Pro ověření integrity dat používá WEP kontrolní součty CRC-32.“ [14]

Kvůli vadám v implementaci byl v roce 2001 WEP prolomen. Je tedy možné pouhým pasivním nasloucháním síťové komunikace zpětně vypočítat šifrovací klíč, proto je dnes WEP považován za nebezpečný.

2.7.2 Wi-Fi Protected Access (WPA/WPA2)

WPA bylo vydáno v roce 2002 jako náhrada za prolomený WEP. Bylo nutné, aby WPA fungovalo na stejných zařízeních jako WEP. Proto WPA používá stejnou proudovou šifru RC4 jako WEP jen byl doplněn o Temporal Key Integrity Protocol (TKIP). TKIP měl eliminovat slabá místa a odstranit problémy WEP. WPA používá 128bitový šifrovací klíč a 48bitový inicializační vektor. Místo CRC-32 používá WPA lepší Message Authentication Code (MAC).

Navzdory všem změnám je dnes snadné WPA prolomit, v kombinaci s TKIP je považováno za stejně nebezpečné jako WEP.

Náhradou za WPA je WPA2. WPA2 implementuje všechny povinné prvky IEEE 802.11i. K technologii TKIP a MAC přidává nový algoritmus: Counter Mode with Cipher Block Chaining Message Authentication Code Protocol (CCMP). Ten je založený na Advanced Encryption Standard (EAS). Tato kombinace je dnes považována za zcela bezpečnou.

WPA2 je často používáno s kombinací s Pre-shared key (PSK). PSK je navrženo pro menší sítě, které si nemohou dovolit náklady a složitost autentizačního serveru. Uživatel sítě je nucen při každém připojení zadat heslo, které se ověřuje přímo na přístupovém bodu. Operační systémy dnes umožňují uložení hesla i na klientské straně. Tím odpadá nutnost zadávat heslo při každém připojení k síti.

2.7.3 Prolomení zabezpečení

WEP a WPA dnes již nejsou považovány za bezpečné. Každý i poměrně nezkušený uživatel je schopen tato zabezpečení prolomit během několika málo minut například za pomoci programu AirCrack. WPA2 v kombinaci s PSK

je poměrně snadno prolomitelné klasickým slovníkovým útokem. Časová náročnost takového útoku je naprosto nepřiměřená. Dá se tedy považovat za bezpečné. Jediné zatím stoprocentně bezpečné zabezpečení je WPA2 v kombinaci s autentizačním serverem (např. RADIUS server).

Poměrně závažnou trhlinou v zabezpečení bezdrátových sítí je funkce Wi-Fi Protected Setup (WPS). Jedná se o funkci vyvinutou pro jednoduchou konfiguraci domácí Wi-Fi sítě. Na každém routeru podporujícím WPS najdeme osmimístný PIN. Pokud se chceme k síti připojit pomocí WPS stačí ho zadat a router vše nastaví za nás. To by nebylo špatné, kdyby PIN nebyl zvolen tak nešťastně. Osmimístné číslo se skládá ze tří částí. První čtyřmístná, druhá třímístná a poslední číslice je pouze kontrolní součet. Navíc router v odpovědi klientovi zasílá informaci o tom, jestli některá z částí PINu byla zadána správně. Při hádání PINu je třeba vyzkoušet jen $10^4 + 10^3$ kombinací. To je přesně 11 000. Podle výpočtů Stefana Viehböcka, který chybu v návrhu WPS popsal jako první, se to dá vyzkoušet za necelé 4 hodiny. [15]

Na Internetu můžeme nalézt programy, které na základě této chyby WPS zjistí heslo pro WPA nebo WPA2-PSK. Například: Program reaver-wps. <https://code.google.com/p/reaver-wps/>. Program reaver-wps jsem testoval a vše skutečně funguje přesně podle teorie. Je jen otázkou času, než uhodne PIN a zjistí heslo k WPA. Narazil jsem na jediný problém. Některé Wi-Fi routery levnějších značek nezvládnou sérii dotazů a zkolabují. Tento problém se dá obejít zvýšením časového intervalu mezi jednotlivými dotazy.

2.8 Eduroam

Ve své práci se zabývám připojením k Internetu přes bezdrátové sítě na půdě střední školy a proto bych rád zmínil projekt eduroam.cz. Myšlenka projektu eduroam je jednoduchá, umožnit jeho uživatelům transparentní používání sítí propojených v rámci projektu. Tím samozřejmě myslím především přístup k Internetu. Uživatel eduroamu je umožněno přistupovat k Internetu přes kteroukoliv síť zapojenou do projektu. Není samozřejmě nutné omezovat se jen na bezdrátové připojení, eduroam funguje stejně dobře i na kabelové síti na veřejných místech.

„Koordinaci eduroamu v rámci české sítě národního výzkumu (NREN - National Research and Education Network) zajišťuje společnost CESNET, která je současně provozovatelem této sítě. Pro označení roamingového systému se používá termín eduroam, kterým jsou označovány všechny spolupracující sítě.“ [16] Místa označená logem eduroamu dávají uživatelům vědět, že se zde můžou k síti připojit. Stejně tak je výraz eduroam součástí SSID (Service Set Identifier - identifikátor bezdrátové sítě) každé zapojené Wi-Fi sítě.

Autentizace uživatelů probíhá pomocí 802.1x a hierarchie RADIUS (Remote Authentication Dial In User Service) serverů. Klient se připojí k síti eduroam, kde je v tu chvíli povolen jen protokol EAP (Extensible Authentication Protocol), uživatel vyšle žádost o autentizaci a AP naváže spojení s RADIUS serverem, tím klientovi umožní autentizaci. „Pokud je uživatel lokální, proběhne ověření přímo na RADIUS serveru, se kterým komunikuje AP. Pokud jde o návštěvníka, bude autentizační požadavek transportován přes strukturu RADIUS serverů až na domácí síť uživatele.“ [16]

Každá organizace zapojená do eduroamu má vlastní RADIUS server, pro ověřování lokálních uživatelů. V každé zemi pak existuje tzv. národní RADIUS server, se kterým jsou propojeny všechny RADIUS servery jednotlivých organizací. Pokud jsem návštěvníkem v dané organizaci, tak se můj požadavek na autorizaci předá národnímu serveru, který je v hierarchii výš, a ten zajistí autorizaci u mého „domovského“ serveru. Hierarchie analogicky funguje i v celosvětovém měřítku. Nad národními servery je ještě další tzv. top-level RADIUS server.

Pokud jsem uživatelem eduroamu, pak se můžu připojit k Internetu přes kteroukoliv členskou síť po celém světě. Stačí mi k tomu jen přihlašovací jméno a heslo z mé domovské sítě.

2.9 Komunitní síť HKfree.org

Rád bych se v práci věnoval i myšlence komunitních sítí tzv. freenetů. Jde o fenomén jinde ve světě naprosto neznámý. V České republice cenová nedostupnost Internetu v době před zhruba deseti lety dala příležitost vzniknout sdružením, jakým je například Královéhradecké HKfree.org.

HKfree.org nebo přesněji Občanské sdružení HKfree oficiálně vzniklo 29. 3. 2004. Jde o datum dohledatelné v databázi občanských sdružení vedené Ministerstvem vnitra, skutečná historie HKfree se datuje již od roku 2002. Tehdy skupina nadšenců přichází s myšlenkou vzájemného propojení počítačovou sítí, za účelem úspory peněz za připojení k síti Internet. Vzniká tak Královéhradecká komunitní síť, která velmi rychle roste. „Připojují se další lidé často i z řad laické veřejnosti a přizpůsobují jej potřebám běžných lidí.“ [3] Dnes, v roce 2013 má HKfree podle interní databáze uživatelů, přes 4700 členů a nepokrývá jen samotný Hradec Králové a přilehlé oblasti, ale sahá desítky kilometrů za hranice města. Mezi pokryté oblasti patří například Chlumec nad Cidlinou nebo Nový Bydžov, přičemž obě města leží přes 25 kilometrů od Hradce Králové.

HKfree není ani největší, ani nejstarší freenetovou sítí v České republice. Podobných sítí jako je HKfree, u nás existuje více jak dvacet. Například

Klfree.net působící v Kladně a okolí nebo největší český freenet, Plzeňské PilsFree. Všechna tato sdružení mají jedno společné. Tím je myšlenka „přispěj a používej“. Každý nový člen si na svoje náklady zakoupí zařízení potřebné na připojení k síti, pak již, za pravidelný členský příspěvek, může využívat všechny služby sítě. HKfree podle současných stanov ze dne 23. 7. 2012 rozlišuje tři druhy členství: primární, řádné a čestné.

„Primární člen má právo do sítě HKfree připojit libovolné množství vlastních zařízení (...). Připojením do sítě má právo síť používat(...). Řádný člen má stejná práva a povinnosti jako člen primární, kromě toho ale získá navíc přístup na hlavní počítač v síti, který poskytuje další rozšířené služby.“ [17] Mezi služby hlavního počítače patří především přístup k Internetu. HKfree je natolik otevřené, že členský příspěvek primárního člena činí 0 Kč měsíčně. Každý se tedy může připojit do sítě a využívat všechny služby zdarma. Řádný člen za svůj příspěvek ve výši 290 Kč měsíčně, získá navíc přístup k Internetu. Čestný člen HKfree má stejné práva a povinnosti jako člen řádný, ale je oprostěn od placení členských příspěvků.

Sít HKfree se snaží být otevřená všem technologiím a službám. Členové mohou síť využívat k čemukoliv, pokud to není v rozporu s pravidly sítě. Mezi služby, které HKFree svým členům nabízí patří například: přístup k Internetu, e-mailová schránka, prostor pro vlastní web, veřejná adresa IPv4, plná podpora IPv6, IPTV, VoIP, news server, herní server, jabber, webkamery, meteostanice, vzdálený přístup pomocí VPN a spousta dalších.

Je jasné, že takto rozsáhlá síť by nebyla schopná existovat bez údržby. „O správu a údržbu se starají sami členové, vykonávají ji bez nároku na odměnu ať peněžní či jinou.“ [3] Tito takzvaní správci oblastí se o síť starají z čistého entuziasmu. Odměnou jim jsou drobné benefity plynoucí z této funkce, ale hlavně znalosti a zkušenosti z oboru informačních technologií a sítí.

HKfree si od začátku svého vzniku klade za cíl rozvoj a podporu informačních technologií a to jak v oblasti působení sítě, tak i na globální úrovni. V minulosti se HKfree podílelo například na projektu optického pojítka RONJA (Reasonable Optical Near Joint Acces), které ve své síti hojně využívalo. V dnešní době HKfree podporuje například Dům dětí a mládeže v Hradci Králové nebo zdarma připojuje k Internetu školy, školská zařízení, knihovny a kulturní organizace v rámci projektu „HKfree do škol“. V Hradci Králové a okolí provozuje HKfree veřejné hot-spoty a poskytuje Internet veřejnosti například v průběhu mezinárodního festivalu Divadlo Evropských regionů.

HKfree je i pořadatelem kulturních akcí. Jednou z akcí je každoroční HKfree Fest. Jedná se o letní zábavnou akci pro členy sdružení, plnou aktivit

a her pro rodiny s dětmi. V roce 2014 se mezi kulturní akce pořádané HKfree zařadí i reprezentační ples.

V roce 2006 se HKfree stalo jedním ze zakládajících členů Neutral czFree eXchange (NFX). „NFX je sdružení, jehož cílem je propojení členských sítí za účelem širokopásmové komunikace a vzájemných toků dat uživatelů těchto sítí. Dalšími cíli je připojení do peeringového centra NIX.cz, provoz propojovacího centra NFX pro vzájemnou komunikaci účastníků členských sítí, podpora využívání intranetu, Internetu, VoIP a dalších informačních technologií(...)“ [18] NFX má v současnosti 18 členských organizací, které dohromady čítají více jak 52 000 členů, z toho zhruba 20 000 z nich je připojeno do centra sítě rychlostí 100 Mb/s nebo vyšší. NFX je připojeno dvěma linkami o kapacitě 10 Gb/s do peeringového centra NIX.cz. Dále pak do dalších zahraničních peeringových center jako například německý DE-CIX, amsterdamský AMSIX nebo celosvětová síť Hurricane Electric. Za zmínku stojí i přímý peering se servery společnosti Google.

Dalo by se říct, že Občanské sdružení HKfree je špičková síť na profesionální úrovni, která v mnoha ohledech hravě předčí i síť komerčních poskytovatelů připojení k Internetu, přitom neztrácí nic ze svých komunitních myšlenek a ideálů.

3 Analýza školy a sítě

Základním předpokladem dobrého výsledku práce odvedené na počítačové síti školy je důkladné seznámení se s prostředím. Následná analýza stavu sítě, nalezení nedostatků a slabých míst sítě a realizace nápravy těchto nedostatků. Práci jsem proto rozdělil na tři části. V první části popíši, jak probíhala analýza počítačové sítě a jaký byl její zjištěný stav. Druhá část je plánem, jak by měla síť vypadat po dokončení všech prací a kalkulace ceny. V poslední části práce se budu věnovat pracím, které už na síti skutečně proběhly. Sumarizace toho, co se povedlo, co ne a plán prací do budoucna.

3.1 Základní informace o škole

Obchodní akademie, Střední odborná škola a Jazyková škola s právem státní jazykové zkoušky, Hradec Králové je školou vzniklou sloučením dvou menších středních škol. První školou byla Obchodní akademie a Jazyková škola s právem státní jazykové zkoušky, Hradec Králové a druhou Střední odborná škola veřejnosprávní a sociální, Stěžery. Sloučením obou škol do jednoho subjektu nastal z pohledu počítačové sítě zajímavý problém: Jak propojit obě oddělená pracoviště a provázat systémy obou sloučených škol? Obě budovy jsou vzdálené přibližně 5 km viz. 3.1. Jedna se nachází v centru Hradce Králové v historické budově na nábřeží řeky Labe (dále jen budova Obchodní akademie) a druhá ve vsi Stěžery, která je nedaleko Hradce Králové (dále jen Stěžerská budova).

3.2 Velikost a rozsah počítačových sítí obou budov

Pro vytvoření základní představy o počítačové síti školy bylo nutné zjistit její rozsah a počet připojených zařízení. Po konzultaci se správcem ICT Obchodní akademie a po osobní návštěvě školy vím, že ve škole se nachází přibližně 200 stolních počítačů, 25 notebooků, 20 síťových tiskáren, 20 dataprojektorů s možností připojení k počítačové síti a bezdrátová síť přístupná jak učitelům, tak i žákům. Stěžerská škola je zhruba o polovinu menší, a proto i její síť není tak rozsáhlá. Čítá zhruba 100 připojených stolních počítačů, 15 notebooků a 5 síťových tiskáren. Dataprojektory připojitelnými k počítačové síti škola nedisponuje.

Obrázek 3.1: Mapa umístění škol
Zdroj: www.mapy.cz



3.3 Analýza počítačové sítě obou budov

Jako první mě čekalo analyzovat sítě obou škol. Zkontrolovat jak drátové, tak bezdrátové sítě, všechny servery a připojení k Internetu.

3.3.1 Drátová síť

Mým úkolem bylo zkontrolovat počítačovou síť obou budov. Po domluvě s místními správci ICT jsme se shodli na názoru, že drátová síť funguje bez problému a není tedy nutné přesně mapovat zapojení všech aktivních síťových prvků. Vzhledem k rozsahu sítě a její složitosti by to byl úkol časově velmi náročný a jeho přínos pro mou práci by byl minimální. Přesto jsme při kontrole sítě narazili na aktivní prvky nepodporující gigabitový ethernet, které budou v návrhu nové sítě nahrazeny.

3.3.2 Bezdrátová síť

Běžným standardem jsou dnes bezdrátové sítě umožňující přístup k Internetu jak učitelskému sboru, tak i žákům. V budově Obchodní akademie je bezdrátovým signálem pokrytá část chodeb a studovna, kde se mohou žáci zdržovat během přestávek. Ve studovně je též možnost přístupu k Internetu ze školních počítačů. Bezdrátová síť je zabezpečena kombinací WPA-TKIP a filtrem MAC adres. Toto řešení považuji za nevyhovující. MAC filtr má zajistit jedinečnost v přístupu žáka k Internetu. Žák, který chce získat přístup

k Internetu přes bezdrátovou síť musí navštívit správce ICT a vyžádat si heslo k síti a sdělit mu MAC adresu svého zařízení, aby mu ji povolit ve filtru. Podle informací od správce ICT se zatím registrovalo zhruba 100 žáků. Věřím, že jednodušší způsob přístupu by přilákal více zájemců.

Wi-Fi síť je realizována čtyřmi zařízeními UniFi od společností Ubiquiti Networks. Každé zařízení vysílá dvě SSID. Jedna síť je rychlostně omezená a přístupná jen žákům. Druhá je pro učitelský sbor a rychlostní omezení pro ni neplatí.

Bezdrátové síť ve Stěžerské škole je o poznání horší. Tvoří ji jediný bezdrátový router umístěný v kabinetu správce ICT. Signálem pokrývá okolní třídy a část chodeb. Na rozdíl od Obchodní akademie, se zde šíří jen jedno SSID společné pro všechny a síť je zabezpečena pomocí WPA2.

3.3.3 Servery

Kontrola serverů a služeb, které na nich běží, se ukázala jako nejtěžší část. Vzhledem k faktu, že oba správci ICT na školách působí jen krátký čas a školní síť převzali jen s minimální dokumentací, šlo o skutečně náročný úkol.

V případě školy ve Stěžerách bylo práce méně. Škola disponuje jen jedním serverem HP ProLiant ML110 Gen6 v následující konfiguraci:

- Procesor: Intel Xeon X3430 (2,4GHz / 4 jádra)
- RAM: 4GB DDR3 (1333MHz)
- HDD: 3x320GB (Hot Plug SATA / RAID 5)

Na serveru běží všechny služby a systémy, které škola využívá.

Na Obchodní akademii je však různých strojů více. Celkem pět klasických stolních počítačů s různou hardwarovou konfigurací a softwarovým vybavením se stará o různé služby.

První PC s operačním systémem Debian funguje jako hlavní router. Běží zde překlad adres (NAT) a firewall.

Druhé PC s operačním systémem Fedora funguje jako datové úložiště (File server), poštovní server školy, běží zde software Moodle a z nějakého, zřejmě historického důvodu i dynamické přidělování adres (DHCP). „Moodle je softwarový balík, určený pro podporu prezenční i distanční výuky prostřednictvím online kurzů dostupných na WWW.“ [19] Dále na tomto stroji běží ještě webový server, konkrétně Apache.

Na třetím PC je nainstalován operační systém Windows Server 2003. Na serveru běží informační systém školy Bakaláři. „Bakaláři je software

pokrývající téměř všechny oblasti školní administrativy. Využívá se pro zpracování pedagogické agendy jako je evidence žáků, klasifikace, tisk vysvědčení, sestavení rozvrhů, suplování, plán akcí školy nebo pro školní knihovnu.“ [21]

Čtvrté PC, tentokrát s operačním systémem Windows XP, slouží pro evidenci docházky žáků. S tím je spojen databázový systém PostgreSQL, který běží také zde.

Poslední, páté PC s operačním systémem CentOS, slouží jako ústředna pro Voice over Internet Protocol (VoIP).

Je více než jasné, že tento stav působí velmi chaoticky, proto se dále v práci věnuji novým serverům a reorganizaci služeb poměrně podrobněji.

3.3.4 Připojení k Internetu

Každá škola nutně potřebuje přístup k síti Internet. Je důležité zajistit, aby připojení bylo stabilní a dalo se na něj spolehnout. V době, kdy jsem prováděl analýzu sítě, byly obě školy připojeny k Internetu společností ATC RESLER spol. s r. o. Tu k datu 1. února 2010 převzala společnost Telefónica O2 Czech Republic. Ani jedna ze škol nebyla spokojena s kvalitou připojení. Připojení bylo nestabilní, to v kombinaci s VoIP telefony působilo velké problémy. V případě, výpadků připojení nefungoval jak Internet tak ani telefony. Dalším důvodem pro změnu poskytovatele byla cena připojení, ta byla vzhledem ke kvalitě poskytovaných služeb neúměrně vysoká.

Rozhodli jsme tedy, že situaci budeme řešit změnou poskytovatele připojení a zřízením záložní linky od dalšího poskytovatele.

3.3.5 Shrnutí

Po provedení analýzy jsme stáli před sítí, která sice fungovala, ale nedalo se říct, že by byla stabilní a spolehlivá. Navíc, v případě závady, byla diagnostika velmi obtížná. Neexistovala žádná obsáhlejší dokumentace a nebyl nikdo, kdo by síť dobře znal.

4 Návrh počítačové sítě a kalkulace ceny

Po provedení analýzy sítě jsem v diskusi společně s správcem ICT a vedením školy navrhl několik změn. Šlo především o náhradu některých starších síťových prvků novými, nákup nových serverů, reorganizaci služeb a pokrytí obou budov Wi-Fi signálem. S tím souvisely některé další změny, o kterých se zmíním později.

4.1 Změny v drátové síti

Kompletní kontrola celé sítě by zabrala neúměrně mnoho času, proto jsem ji omezil jen na kontrolu aktivních prvků v síti. Ukázalo se, že tam, kde je to nejvíce potřeba, je síť vyhovující. Tím myslím, že všechny servery jsou k páteřní síti připojeny linkou o kapacitě 1 Gb/s, stejně tak počítače v kancelářích a jednotlivých třídách. Nepovažoval jsem v návrhu za problém, pokud například bezdrátové AP nebo tiskárna byly připojeny do portu switche podporující jen 100 Mb/s. Ani jedno ze jmenovaných zařízení totiž 1 Gb/s nepodporuje.

Z kontroly drátové sítě vyplynulo, že je třeba vyměnit dva starší 50 portové switche značky TP-Link, do kterých byly zapojeny počítače v počítačových učebnách. Jednalo se konkrétně o switche TP-Link TL-SL2452WEB. Tyto switche mají 48x100 Mb/s porty a 2x1 Gb/s porty. Trvám v návrhu na gigabitovém připojení PC v učebnách.

Požadavky na nové switche jsem stanovil následovně:

- gigabitový ethernet
- spolehlivost
- odolnost (extrémní teploty, elektromagnetické rušení, úder blesku v blízkosti budovy,...)
- cena (v rámci možností co nejnižší)
- alespoň minimální management (webové rozhraní)
- reference

Do užšího výběru se nakonec dostaly 3 srovnatelné switche. Cisco SG200-50P, HP ProCurve 2510G-48 a D-Link DGS-3100-48. V tabulce 4.1 uvádím základní charakteristiky, podle kterých jsem switche hodnotil a porovnával. Z tabulky je patrné, že všechny tři switche jsou srovnatelné. Na základě

Tabulka 4.1: Základní charakteristiky switchů

	Cisco SG200-50P	HP ProCurve 2510G-48	D-Link DGS-3100- 48
Počet Gbit portů	48	48	48
Počet SFP portů	2	4	4
Velikost tabulky adres	8000	8000	8000
Přepínací kapacita	100 Gbit/s	96 Gbit/s	116 Gbit/s
Paketový buffer	8 MB pro 2 porty	1,5 MB / port	1,5 MB / port
Spotřeba	78,3 W	92 W	102,6 W
Cena	21 150 Kč	23 500 Kč	22 200 Kč

zkušeností a referencí kolegů z HKfree jsem nakonec zvolil variantu od společnosti Cisco. Podle zkušeností je Cisco nejodolnější a nejspolehlivější z vybraných switchů. Navíc Cisco SG200-50P podporuje napájení zařízení po ethernetu, PoE (Power on Ethernet), na 24 portech až do 180 W. Tato vlastnost by se dala využít při napájení některých zařízení pro bezdrátovou síť.

S výměnou switchů souvisela ještě kontrola kabeláže. Navrhl jsem výměnu staré kabeláže tak, aby pokud možno, nikde nebylo UTP kategorie 5 a nižší. Všechny kabely by měly být UTP Cat5e.

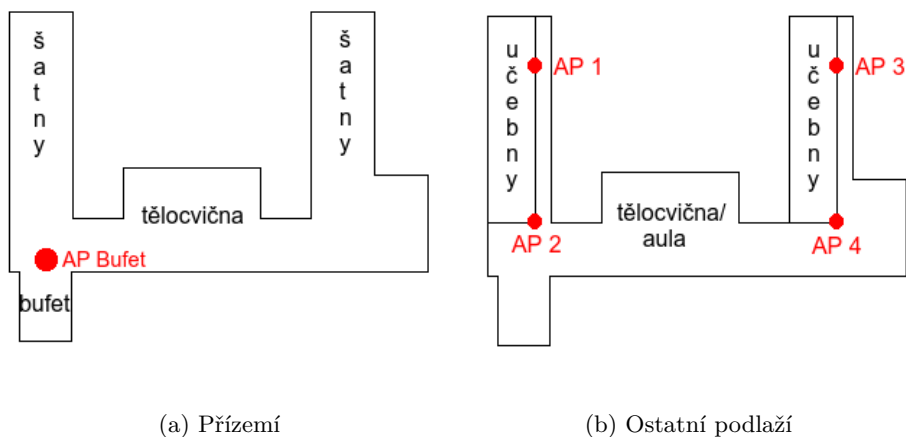
4.2 Návrh bezdrátové sítě

Návrh bezdrátové sítě jsem rozdělil na dvě části podle budov. Pro každou jsem nakreslil zjednodušený půdorys podlaží, kde jsem vyznačil místa, kde by měly být umístěny bezdrátová AP tak, aby pokrytí signálem bylo co možná nejlepší.

4.2.1 Budova Obchodní akademie

Budova Obchodní akademie, má 4 podlaží. V přízemí jsou v křídlech budovy jen šatny a mezi nimi tělocvična viz. obrázek 4.1a. Pokrytí Wi-Fi signálem je třeba pouze v části, kde je bufet. Zařízení by byla umístěna vždy na zdi, pokud možno u stropu mimo dosah kolemjdoucích. Tím se zabrání úmyslnému poškození i případné krádeži. Další tři podlaží budovy jsou v zásadě stavebně stejné. V křídlech budovy jsou učebny nebo, v případě prvního patra, kanceláře vedení školy. Mezi nimi v prvním patře tělocvična

Obrázek 4.1: Půdorys podlaží a umístění AP - Obchodní akademie



a ve vyšších podlažích aula zasahující do dvou pater. Je žádoucí pokrýt signálem vždy jen křídla budovy. V každém křídle by byla na chodbě umístěna dvě bezdrátová zařízení se všesměrovou anténou zhruba v místech, kde je garantované pokrytí co největší části prostor školy viz. obrázek 4.1b. Na pokrytí celé budovy je zapotřebí celkem 13 zařízení.

Vypracoval jsem dvě varianty bezdrátové sítě. Levnější a dražší variantu. Levnější varianta počítá jen se sítí v pásmu 2,4 GHz, zatím co dražší i se sítí v pásmu 5 GHz a případným dalším rozšířením.

Jako zařízení vhodné pro dražší variantu naší Wi-Fi sítě jsem zvolil RouterBOARD 433UAHL od společnosti MikroTik. Jedná se o levnější variantu RouterBOARDu 433AH, verze UAHL je osazena jen jedním USB konektorem, chybí rozhraní RS-232 a slot pro SD kartu. Výkon zařízení však zůstal zachovaný. V RouterBOARDu je předinstalován operační systém RouterOS s licencí úrovně 5. To je velice důležité, protože licence musí být minimálně úrovně 4, aby zařízení podporovalo mód AP. RouterBOARD 433 disponuje třemi miniPCI sloty pro bezdrátové karty.

Dražší varianta počítá s osazením dvou karet. Na základě zkušeností s připojováním klientů v HKfree jsem pro pásmo 2,4 GHz zvolil kartu CM9 s čipem Atheros AR5213. Karta umí pracovat jak v pásmu 2,4 GHz tak 5 GHz. V naší síti by však pracovala v pásmu 2,4 GHz podle normy 802.11b/g. Druhou kartou by byla MikroTik R52Hn. Karta by vysílala na frekvenci 5 GHz podle normy 802.11a/n. Bylo by tedy možné připojit se jak na frekvenci 2,4 GHz, tak na 5 GHz.

RouterOS v RouterBOARDu umožňuje vytvořit virtuální AP. Jde o funkci, kdy jedna miniPCI karta s jednou anténou vysílá dvě SSID a dvě oddělené sítě s rozdílným zabezpečením. Za využití této funkce by každé AP mohlo vysílat více sítí. Jednu pro přístup veřejnosti se zabezpečením WPA2 a druhou pro studenty využívající eduroam. Ověřování klientů proti RADIUS serveru se dá v RouterOS snadno nastavit.

Nastavení jsem testoval na RouterBOARD 600A s RouterOS L4. MiniPCI kartou CM9 a R52Hn. Vytvořil jsem dvě AP, jedno klasické se zabezpečením WPA2 a omezeným přístupem do interní sítě a druhé virtuální s ověřováním přes RADIUS server HKfree a neomezeným přístupem do vnitřní sítě HKfree.

Analogicky mému pokusu budou nastaveny i RouterBOARDy ve škole. První SSID bude např. „wifi.OAHK.cz“, kde bude jen zabezpečení WPA2-PSK. Druhé virtuální AP bude vysílat např. SSID „OAHK.eduroam.cz“ a ověřování bude probíhat přes strukturu RADIUS serverů eduroamu. Tato kombinace je v současnosti považována za velmi bezpečnou a pro naše použití bude vyhovující.

Záměrně jsem vynechal možnost připojit se na frekvenci 2,4 GHz s normou 802.11n. Při testování jsem narazil na problém MikroTiku, když karta vysílá v módu 802.11b/g/n. Při připojení více klientů, kdy jeden nepodporuje 802.11n, se síť stává výrazně pomalejší a nestabilní než v případě použití jen 802.11b/g. Dalším důvodem je, že AP přepíná komunikaci do modu 802.11n jen za předpokladu vynikajícího signálu. Toho se v budově dosáhne jen málo kdy.

Všech 13 AP v budově by pak bylo nastaveno totožně, klient by tak mohl vybírat automaticky mezi jednotlivými AP podle síly signálu. Při průchodu budovou by například mobilní telefon nemusel uživatel znovu připojovat na jiné AP v druhém křídle budovy, ale telefon by to dělal automaticky. V každém AP by zůstal ještě jeden nevyužitý miniPCI slot. Ten by se dal využít pro případný upgrade nebo vykrytí signálem nějakého specifického prostoru. Například sportovního hřiště v atriu školy, za pomocí jedné nebo více venkovních sektorových antén.

Ke každému AP by byly připojeny dvě všesměrové antény, jedna pro 2,4 GHz a druhá pro 5 GHz. Volba antén by závisela na testování. V cenovém návrhu počítám s 8dBi anténami pro obě pásma. Ale až test síly signálu v jednotlivých místech by ukázal, zda je někde třeba anténa s větším ziskem.

Pro levnější variantu jsem vybral také zařízení od společnosti MikroTik. RouterBOARD Groove A-2Hn. Jedná se o kompaktní RouterBOARD pro venkovní i vnitřní použití. Není k němu třeba žádné příslušenství a stačí tak jen připojit anténu. RouterBOARD Groove se prodává i s licencí úrovně 4 a tak může být použitý jako AP. Všechna nastavení jsou totožná jako

u dražší varianty sítě.

Na frekvenci 2,4 GHz se používá celkem 13 kanálů, takže by každé AP vysílalo na jiném. Na frekvenci 5 GHz je pro vnitřní použití vyhrazeno 8 kanálů. Je tedy vhodné ladit AP tak, aby vždy dvě nejvzdálenější měla shodnou frekvenci a docházelo tak jen k minimálnímu rušení. Druhou možností je využít i kanály určené pro venkovní použití, těch je dalších 11. Stejně tak AP na frekvenci 2,4 GHz je dobré ladit tak, aby AP vedle sebe neměla sousední kanály, protože kanály na 2,4 GHz se částečně překrývají a tedy i ruší. Rozdělení kanálů jednotlivých AP zobrazuje tabulka 4.2.

Tabulka 4.2: Rozdělení kanálů AP v budově Obchodní akademie

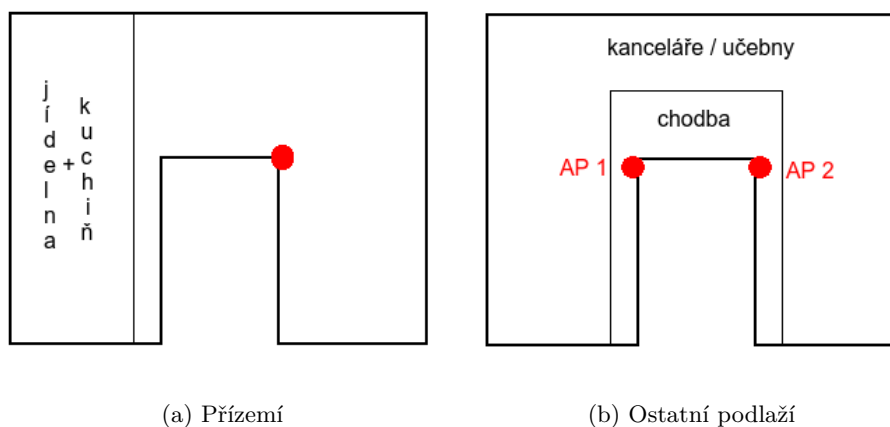
AP	5 GHz kanál	5 GHz frekvence	2,4 GHz kanál	2,4 GHz frekvence
Bufet	40	5200	4	2427
1.podlaží AP 1	36	5180	1	2412
1.podlaží AP 2	44	5220	5	2432
1.podlaží AP 3	40	5200	9	2452
1.podlaží AP 4	48	5240	13	2472
2.podlaží AP 1	52	5260	10	2457
2.podlaží AP 2	60	5300	12	2467
2.podlaží AP 3	56	5280	2	2417
2.podlaží AP 4	64	5320	6	2437
3.podlaží AP 1	48	5240	3	2422
3.podlaží AP 2	40	5200	7	2442
3.podlaží AP 3	44	5220	11	2452
3.podlaží AP 4	36	5180	8	2447

V závislosti na rušení z okolí budovy je samozřejmě možné tabulku upravit.

4.2.2 Budova Stěžery

Ve Stěžerské budově je situace značně podobná situaci na Obchodní akademii. Škola má podobný půdorys, jen je menší a má jen 3 podlaží. V prvním podlaží tvoří jedno křídlo kuchyň a jídelna, kde není Wi-Fi signál nutný, ve druhém křídle jsou učebny, zde už signál být musí (obrázek 4.2a). Další dvě patra jsou učebny a kanceláře vedení školy, které budou pokryty kompletně. Budova je ve srovnání s Obchodní akademií zhruba polovičních rozměrů, proto v návrhu počítám s využitím jen jednoho AP na každé křídlo, tedy 2 na podlaží a celkem 5 na celou budovu (obrázek 4.2b). Tabulka kanálů pro

Obrázek 4.2: Půdorys podlaží a umístění AP - Stěžery



budovu ve Stěžerách bude následující.

Tabulka 4.3 uvádí rozdělení kanálů. V závislosti na výstavbě Wi-Fi sítě

Tabulka 4.3: Rozdělení kanálů AP ve Stěžerské budově

AP	5 GHz kanál	5 GHz frekvence	2,4 GHz kanál	2,4 GHz frekvence
přízemí	64	5320	11	2462
1.podlaží AP 1	36	5180	1	2412
1.podlaží AP 2	44	5220	5	2432
2.podlaží AP 1	52	5260	9	2452
2.podlaží AP 2	60	5300	13	2472

v budově Obchodní akademie je možné využít čtyři vyřazená zařízení UniFi, jedno dokoupit a použít je pro stavbu Wi-Fi ve Stěžerách. Tak by škola ušetřila část nákladů na pokrytí bezdrátovým signálem. Budovu ve Stěžerách, ale nebude možné pokrýt sítí v pásmu 5 GHz. Se zařízením UniFi nemám zkušenosti a netroufám si tvrdit, že pokryje signálem stejnou oblast jako RouterBOARD s externí anténou. Je třeba pokrytí signálem ověřit na místě.

4.3 Nové servery

Server fungující ve Stěžerské části školy, je v současné době vyhovující a pokud nedojde k nějaké závadě na hardwaru, pak není důvod nahrazovat server novým. Je však nutné předcházet situacím, kdy by mohlo k poškození serveru

dojít. V první řadě je důležitý kvalitní záložní zdroj a přepětová ochrana. Server v současné době disponuje starším záložním zdrojem APC BACK-UPS CS 500EI. Stárí baterie v UPS se projevuje krátkou dobou běhu na baterii, UPS v současné době slouží v podstatě jen jako přepětová ochrana. K serveru je třeba dokoupit novou UPS, která vydrží déle a ještě před vybitím baterie management UPS server bezpečně vypne. Adekvátní bude APC Smart-UPS 1500VA. UPS by měla server udržet v chodu přes hodinu a čtvrt, pak pošle signál vypnutí. Po obnovení dodávek elektrického proudu server opět spustí. Zvolenou UPS jsem ověřil v jiných projektech a výše popsané vlastnosti splňuje.

Pro budovu Obchodní akademie je nutné zakoupit nový server. Vzhledem k počtu serverů a rozdělení služeb jsme společně s správcem ICT rozhodli, že využijeme virtualizace. Při výběru nového serveru byly poptány servery od dvou společností, Dell a Hewlett Packard. Vzhledem k téměř totožné konfiguraci rozhodovala hlavně cena. Nakonec jsme zvolili server HP ProLiant ML350 Gen8 v následující konfiguraci:

- Processor: Intel Xeon E5-2609 (2.4GHz / 4 jádra)
- RAM: 4x4GB DDR3 (1333MHz)
- HDD: 3x320GB (Hot Plug SATA / RAID 5)

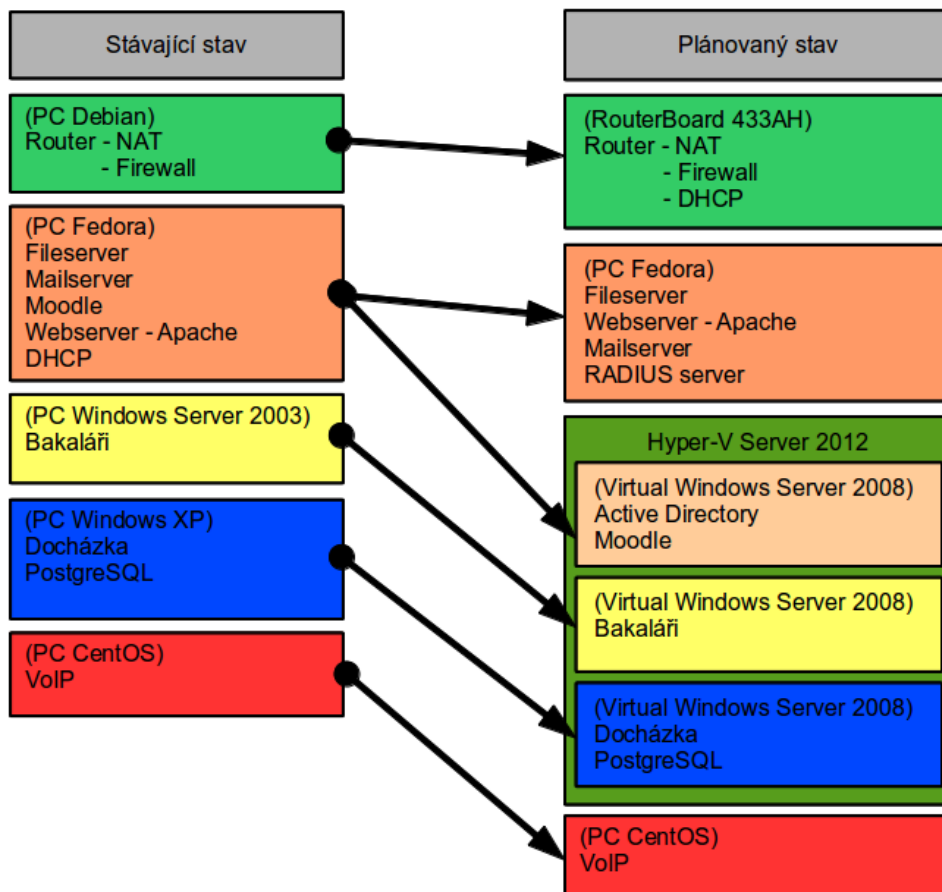
Jako podklad pro virtualizaci jsem po konzultaci s odborníkem zvolil Microsoft Hyper-V Server 2012. Oproti Hyper-V 2008 disponuje verze 2012 lepší správou hardwaru. Povolí přidělit jednomu virtuálnímu stroji více procesorových jader nebo více paměti RAM. V Hyper-V se vytvoří tři virtuální stroje s instalací Windows Server 2008 a na ně se přesunou jednotlivé služby podle návrhu viz obrázek 4.3.

V návrhu počítám se zrušením PC s Debianem, který sloužil jako router. Vše, co běželo na něm, se přesune na nový RouterBOARD 433AH. Tento RouterBOARD disponuje dostatečným výkonem, aby obsloužil připojení k Internetu i síť takového rozsahu.

PC s Fedorou bude zachováno pro některé služby a v případě zapojení do projektu eduroam by se na něm mohl spustit RADIUS server.

Stejně jako ve Stěžerách by servery byly doplněny záložními zdroji tak, aby se předešlo problémům s hardwarem a případné ztrátě některých dat. Jedna APC Smart-UPS 1500VA pro nový server a druhá pro PC s Fedorou, VoIP centrálu a RouterBOARD 433AH.

Obrázek 4.3: Reorganizace služeb



4.4 Internet

Při volbě nového poskytovatele připojení k Internetu jsem neváhal. Jako dlouholetý člen, správce oblasti a člen Komise pro Rozvoj občanského sdružení HKFree.org jsem věděl o projektu HKfree do škol (HKdoŠ). V rámci projektu HKdoŠ poskytuje HKfree připojení škol, školek, knihoven a kulturních organizací k Internetu zcela zdarma. Rozhodl jsem, připojit obě budovy do sítě HKfree. Tím by školy získaly zdarma připojení k Internetu rychlostí zhruba 30 Mb/s. Tato rychlost je limitována hardwarem použitým k připojení. V případě, že škola bude chtít své připojení zrychlit, je to po jednání s HKfree možné.

Připojením k HKfree by se obě školy začlenily do komunitní sítě. To by velmi usnadnilo propojení obou škol. Každá škola dostane IP adresu z rozsahu HKfree (10.107.0.0/16), za kterou pak poběží NAT. Tento NAT v obou budovách poběží na RouterBOARDu realizujícím připojení k HKfree. Oba RouterBOARDy pak stačí propojit L2TP/IPSec tunelem a získáme zabezpečenou VPN mezi školami. Nastavení L2TP (Layer 2 Tunneling Protocol) v RouterOS je možné a poměrně snadné.

Na základě plánu propojení obou škol jsme se správci ICT rozhodli změnit adresování zařízení v síti. Dříve každá škola využívala rozsah 255 IP adres. V novém návrhu počítám s využitím celého rozsahu 10.100.0.0/16. Ten se podle předem rozvrženého plánu rozdělí mezi obě budovy, dále podle jednotlivých učeben a pater tak, aby bylo už z IP adresy jasné, kde se daný stroj ve škole nachází.

Díky adresám ze stejného rozsahu a VPN mezi školami by se propojili lokální sítě obou škol. To umožní snadný přístup k dokumentům uloženým na serveru jedné budovy i z budovy druhé. Stejně tak správa některých síťových zařízení by se v případě potřeby dala provádět na dálku z druhé budovy.

Jako záložní připojení k Internetu jsem zvolil připojení od společnosti Telefonica O2. Důvodem byla již uzavřená smlouva. Připojení od O2 se přes RouterBOARD a protokol OSPF (Open Shortest Path First) nastaví tak, aby v případě výpadku připojení přes HKfree RouterBOARD automaticky přepnul na záložní konektivitu.

4.5 Kalkulace ceny

V tabulce 4.4 uvádím ceny použitého hardwaru. Všechny ceny, mimo nového serveru a switchů, jsou orientační a vznikly jako průměr cen zjištěných v nabídce tří velkých obchodů s elektronikou. Konečná cena switchů a serveru je známá, protože již byly zakoupeny. Cena za nový sever pro Obchodní akademii, potřebné záložní zdroje, nové switche a kabely je 124 529 Kč.

Náklady na pokrytí obou budov bezdrátovou sítí závisí na zvolené variantě. Pro všechny tři varianty jsem vytvořil tabulku potřebného hardwaru a vyčíslil celkovou finanční náročnost.

4. NÁVRH POČÍTAČOVÉ SÍTĚ A KALKULACE CENY

Tabulka 4.4: Ceny hardwarového vybavení

Druh Hardwaru	Orientační cena (Kč za kus)
Switch Cisco SG200-50P	21 149
Server HP ProLiant ML350 Gen8	39 530
APC Smart-UPS 1500VA LCD	13 500
UTP Cat5E 305m box + konektory RJ45	2 200
RouterBOARD 433UAHL	2 500
RouterBOARD Groove A-2Hn	1 560
Všesměrová anténa pro 2,4 GHz / 8 dBi	550
Všesměrová anténa pro 5 GHz / 8 dBi	640
miniPCI MC9	550
miniPCI R52Hn	940
pigtail MMCX to N-Male	110
pigtail U-FL to N-Male	80
Case pro RB433	200
Zdroj 18V 24W	165
Pasivní PoE	55
UBNT UniFi 2,4 Ghz	1 500

4.5.1 První varianta

Nejlevnější varianta počítá s využitím starších zařízení UniFi a se sítí jen v pásmu 2,4 GHz. Rozpočet v tabulce 4.5.

Celková cena nejlevnější varianty je 33 790 Kč.

4. NÁVRH POČÍTAČOVÉ SÍTĚ A KALKULACE CENY

Tabulka 4.5: Rozpočet pro první variantu

Druh Hardwaru	Počet kusů	Cena za kus (Kč)	Cena celkem (Kč)
RouterBOARD Groove A-2Hn	13	1 560	20 280
Všesměrová anténa pro 2,4 GHz / 8 dBi	13	550	7 150
Zdroj 18V 24W	13	165	2 145
Pasivní PoE	13	55	715
UBNT UniFi 2,4 Ghz	1	1 500	1 500
Spojovací materiál, lišty, příslušenství	1	2 000	2 000
Celkem			33 790

4.5.2 Druhá varianta

Druhá varianta počítá s nákupem RouterBOARDů pro obě budovy a se sítí jen v pásmu 2,4 GHz. Rozpočet v tabulce 4.6.

Tabulka 4.6: Rozpočet pro druhou variantu

Druh Hardwaru	Počet kusů	Cena za kus (Kč)	Cena celkem (Kč)
RouterBOARD Groove A-2Hn	18	1 560	28 080
Všesměrová anténa pro 2,4 GHz / 8 dBi	18	550	9 900
Zdroj 18V 24W	18	165	2 970
Pasivní PoE	18	55	990
Spojovací materiál, lišty, příslušenství	1	2 000	2 000
Celkem			43 940

Celkové náklady na výstavbu bezdrátové sítě v pásmu 2,4 GHz za použití výhradně zařízení MikroTik jsou 43 940 Kč.

4.5.3 Třetí varianta

Poslední, nejdražší varianta zahrnuje 2,4 GHz i 5GHz síť. Využívá RouterBOARDy vyšší řady a umožňuje případný další rozvoj sítě. Rozpočet v tabulce 4.7. Do ceny nejsou započteny náklady na připojení škol k síti HKfree. Tyto

Tabulka 4.7: Rozpočet pro třetí variantu

Druh Hardwaru	Počet kusů	Cena za kus (Kč)	Cena celkem (Kč)
RouterBOARD 433UAHL	18	2 500	45 000
Všesměrová anténa pro 2,4 GHz / 8 dBi	18	550	9 900
Všesměrová anténa pro 5 GHz / 8 dBi	18	640	11 520
miniPCI CM9	18	550	9 900
miniPCI R52Hn	18	940	16 920
pigtail MMCX to N-Male	18	110	1 980
pigtail U-FL to N-Male	18	80	1 440
Case pro RB 433	18	200	3 600
Zdroj 18V 24W	18	165	2 970
Pasivní PoE	18	55	990
Spojovací materiál, lišty, přís-lušenství	1	2 000	2 000
Celkem			106 220

náklady uhradí HKfree a školu tak připojí skutečně zcela zdarma.

Z těchto tří variant bych doporučil druhou variantu. Případně nějakým způsobem varianty zkombinovat. Například v místech, kde se dá očekávat největší využití Wi-Fi sítě nasadit i 5GHz technologii a zbytek pokrýt jen 2,4GHz sítí. Konečné rozhodnutí záleží především na finančních možnostech školy.

4.5.4 Slepý rozpočet

Škola chce část zařízení nakoupit z dotací Evropské unie. Všechny nákupy musí být realizovány standartním podlimitním výběrovým řízením malého rozsahu. Jako podklad pro výběrové řízení jsem vytvořil slepý rozpočet, který popisuje požadavky na zakoupená zařízení. Tabulka 8.2 se slepým rozpočtem je součástí příloh.

5 Průběh prací

Již začátkem roku 2012 proběhlo připojení budovy ve Stěžerách k síti HKfree. Budova Obchodní akademie následovala s připojením začátkem léta 2012. Obě školy tak již více než rok využívají konektivitu od HKfree.

Během letních prázdnin 2012, se podařilo na Obchodní akademii přestěhovat dvě počítačové učebny. V rámci této akce byla vytvořena kompletně nová kabeláž v učebnách a byly vyměněny switche za nově zakoupené switche Cisco.

Začátkem měsíce února roku 2013 škola zakoupila nový server. Server byl spuštěn správcem ICT a dne 26. 2. 2013 jsme společně nainstalovali Hyper-V a přesunuli dva servery do nových, virtuálních. Nyní na novém serveru pracuje systém Bakaláři a na druhém virtuálním serveru služba Active Directory a systém Moodle. Další virtuální server je v současnosti nainstalován a připraven na migraci dalších služeb.

Současně s instalací nových serverů jsme začali pracovat na přeadresování celé sítě. Nejprve od serverů s pevnými IP adresami. Dále se jednalo jen o nastavení DHCP, přidělení jiné masky sítě. Změna IP adres všech zařízení v síti postupně stále probíhá. Ostatní postup prací závisí na finančních možnostech školy. Prioritní by mělo být dokončení prací na serverech v budově Obchodní akademie. Následovat by měla realizace bezdrátové sítě.

Škola vytvořila několik projektů s cílem získat peníze z fondů Evropské unie. Tyto projekty byly zaměřeny přímo na nákup zařízení pro žáky a učitele, iPady od společnosti Apple a nové notebooky. Podařilo se získat zhruba milion korun z projektu „EU peníze středním školám“, za které budou nakoupeny nové počítače pro učitele a obnoveny některé počítačové učebny. Společnost přátel Obchodní akademie sponzorovala nákup nové síťové tiskárny a čtyř dataprojektorů.

V úvodu kapitoly jsem psal o sloučení informačních systémů obou škol. Tato myšlenka se v průběhu přestavby sítě ukázala jako zbytečná. Důvodem je plán Krajského úřadu obě školy přestěhovat do společné budovy v horizontu několika málo let. Nové servery a případný hardware nakoupený na vybudování bezdrátové sítě by se přestěhoval se školou a byl využit v jejím novém působišti. Až zde by pak proběhlo sloučení systémů obou škol.

6 Závěr

V práci jsem se zabýval analýzou a návrhem sítě pro konkrétní střední školu v Hradci Králové. Cílem mé práce bylo zmapovat síť, navrhnout a postavit novou, která by umožnila efektivní propojení obou částí škol.

V první části jsem provedl analýzu počítačové sítě, bezdrátové počítačové sítě, serverového vybavení školy a možností propojení obou budov školy. Analýzu jsem prováděl osobně v obou budovách školy za asistence správců ICT.

Na základě získaných dat jsem detekoval slabá místa a vytvořil návrh nové sítě. Jednalo se především o výběr nových aktivních prvků drátové sítě, výběr, poptání nového serveru pro budovu Obchodní akademie a návrh pokrytí obou budov bezdrátovou sítí.

Vytvořil jsem tři varianty bezdrátové sítě v závislosti na finančních možnostech školy a připravil podklady pro výběrové řízení na nákup potřebného hardwaru z peněz, které škola získala v projektu „Peníze EU středním školám“.

Dále jsem navrhl a realizoval propojení obou budov školy za pomoci sítě místního občanského sdružení HKfree.org a podílel jsem se na instalaci nového serveru a switchů v budově Obchodní akademie.

Vedení školy mé návrhy akceptovalo, vzhledem k nedostatečným finančním zdrojům však „přestavba“ ještě není zcela dokončená. Již nyní došlo k nasazení nového serveru, migraci služeb, propjení škol pomocí HKfree a výměně některých aktivních prvků sítě.

Se školou i nadále spolupracuji a věřím, že se mnou navržené změny podaří během dalšího školního roku dokončit. Škola se bude stěhovat do nových prostor, kde proběhne konečné sloučení všech informačních systémů. Správcům ICT i vedení školy jsem přislíbil spolupráci při budování sítě v novém sídle školy.

7 Seznam použitých zdrojů

- [1] Linux: kompletní příručka administrátora. 1.vyd. Brno: Computer Press, 2004, 828 s. ISBN 80-722-6919-4.
- [2] Jiří Peterka: Počítače do škol. *Http://www.earchiv.cz/* [online]. 2001 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: <http://www.earchiv.cz/b01/b0700001.php3>
- [3] Co je to HKfree? | Hkfree.org. *Www.hkfree.org* [online]. 2010 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: <http://www.hkfree.org/co-to-je-hkfree/>
- [4] Infračervené záření. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Infra%C4%8Derven%C3%A9_z%C3%A1%C5%99en%C3%AD
- [5] Ad hoc. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Ad_hoc
- [6] Bezdrátový internet a technologie Wi-Fi v České republice. In: KYSELA, Jiří. *Http://www.internetprovsechny.cz/* [online]. 2010 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: <http://www.internetprovsechny.cz/bezdratovy-internet-a-technologie-wi-fi-v-ceske-republice/>
- [7] IEEE 802.11. *LOCAL AND METROPOLITAN AREA NETWORK STANDARDS*. 3 Park Avenue, New York, NY 10016-5997, USA: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 2012.
- [8] KAFKA, Petr. *Bezdrátové optické sítě*. 2006. vyd. 2006. Dostupné z: http://radio.feld.cvut.cz/personal/mikulak/MK/MK06_semestralky/BezdratoveOptickeSite_KafkaP.pdf
- [9] BĚLOHLÁVEK, Jiří. *NÁVRH TYPU MODULACE PRO PROSTŘEDÍ S RUŠENÍM*. Brno, 2009. Dostupné z: http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=15667. Diplomová práce. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ.

- [10] STAUDEK, Jan. *Analogové vysílání*. 2012. Dostupné z: http://www.fi.muni.cz/usr/staudek/vyuka/commsys/04_analog_transm.pdf
- [11] ALCOMA S.R.O. *Principy digitální mikrovlnné komunikace*. 2010. Dostupné z: [http://www.alcoma.cz/upload/download/Manu%C3%A1l%20\(CZ\)%20Principy%20digit%C3%A1ln%C3%AD%20mikrovlnn%C3%A9%20komunikace%202.0.pdf](http://www.alcoma.cz/upload/download/Manu%C3%A1l%20(CZ)%20Principy%20digit%C3%A1ln%C3%AD%20mikrovlnn%C3%A9%20komunikace%202.0.pdf)
- [12] Podání žádosti o individuální oprávnění. *Www.ctu.cz* [online]. 2008 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: <http://www.ctu.cz/ctu-informuje/jak-postupovat/radiove-kmitocty/podani-zadosti-o-individualni-opravneni.html>
- [13] ZANDL, Patrick. *Bezdrátové sítě WiFi: praktický průvodce*. Vyd. 1. Brno: Computer Press, 2003, 190 s. ISBN 80-722-6632-2.
- [14] Wired Equivalent Privacy. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Wired_Equivalent_Privacy
- [15] VIEHBÖCK, Stefan. *Brute forcing Wi-Fi Protected Setup*. 2011. Dostupné z: http://sviehb.files.wordpress.com/2011/12/viehboeck_wps.pdf
- [16] Eduroam v rámci české NREN. *Http://www.eduroam.cz/* [online]. 2012 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: <http://www.eduroam.cz/cs/spravce/uvod>
- [17] Stanovy | Hkfree.org. *Www.hkfree.org* [online]. 2012 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: <http://www.hkfree.org/zakladni-dokumenty/stanovy/>
- [18] NFX - Neutral czFree eXchange. *Www.nfx.cz* [online]. 2012 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: <http://www.nfx.cz/>
- [19] MOODLE.CZ. *Http://moodle.cz/* [online]. 2012 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: <http://moodle.cz/>
- [20] Bakaláři. *Http://www.bakalari.cz/* [online]. 2011 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: <http://www.bakalari.cz/programy.aspx>

8 Přílohy

Tabulka 8.1: Přehled bezdrátových technologiíZdroj: www.internetprovsechny.cz [6], upraveno podle poslední verze IEEE 802.11[7].

Název technologie	Rok uvedení	Využívaná frekvence	Maximální teoretická přenosová rychlost	Maximální vzdálenost vysílače a přijmače
WPAN				
Bluetooth (IEEE 802.15.1)	2004	2,4 GHz	2,1 Mb/s	10 m
IrDA	1994	36 kHz	4 Mb/s	1 m
UWB (IEEE 802.15.3)	2007	4,8-10 GHz	480 Mb/s	10 m
Zigbee (IEEE 802.15.4)	2004	868 MHz, 2,4 GHz	250 Kb/s	10-100 m
WLAN				
Wi-Fi (IEEE 802.11b)	1999	2,4 GHz	11 Mb/s	100 m
Wi-Fi (IEEE 802.11a)	1999	5,8 GHz	54 Mb/s	120 m
Wi-Fi (IEEE 802.11g)	2003	2,4 GHz	54 Mb/s	140 m
Wi-Fi (IEEE 802.11n)	2009	2,4 GHz, 5,8 GHz	150 Mb/s	250 m
WMAN				
WiMAX (IEEE 802.16)	2001	10-66 GHz	134 Mb/s	5 km
WiMAX (IEEE 802.16d)	2004	2-11 GHz	75 Mb/s	8 km
WiMAX - mobilní (IEEE 802.16e)	2005	2-6 GHz	30 Mb/s	5 km
WWAN				
GPRS	1997	900/1800 MHz	80 Kb/s	35 km
EDGE	2004	900/1800 MHz	200/100 Kb/s	30 km
UMTS	2000	1885-2200 MHz	2048 Kb/s	2 km
HSDPA	2004	873/1900 MHz	14,4 Mb/s	6 km

Tabulka 8.2: Charakteristika jednotlivých zařízení pro slepý rozpočet

Druh Hardwaru	Charakteristika
RouterBOARD Groove A-2Hn	Bezdrátové zařízení podporující mód Access Point na frekvenci 2,4 GHz s výstupem na externí anténu s konektorem N-Female. Zařízení podporuje vysílání více SSID s různým nastavením zabezpečení, omezení rychlosti, služeb a portů. Zařízení je možné napájet přes ethernet. Zařízení disponuje dostatečným výkonem pro obsluhu připojených klientů.
RouterBOARD 433UAHL + CM9 + R52Hn	Bezdrátové zařízení podporující mód Access Point na frekvencích 2,4 GHz a 5 GHz současně, s výstupem na externí anténu s konektorem N-Female. Zařízení podporuje vysílání více SSID s různým nastavením zabezpečení, omezení rychlosti, služeb a portů. Zařízení je možné napájet přes ethernet. Zařízení disponuje dostatečným výkonem pro obsluhu připojených klientů a možností rozšíření o další bezdrátové rozhraní.
Všesměrová anténa 2,4 GHz / 8 dBi	Všesměrová externí anténa pro pásmo 2,4 GHz s konektorem N-Female. Zisk antény je minimálně 8 dBi.
Všesměrová anténa pro 5 GHz / 8 dBi	Všesměrová externí anténa pro pásmo 5 GHz s konektorem N-Female. Zisk antény je minimálně 8 dBi.
Zdroj 18V 24W	Spínaný zdroj pro 220V síť. Výstupní napětí 18V. Výstupní výkon nejméně 24W.
Pasivní PoE	Zařízení pro napájení po nevyužitých párech UTP kabelu.
APC Smart-UPS 1500VA LCD	Výkonný záložní zdroj pro servery s kapacitou nejméně 1500VA. Zdroj má rozhraní USB a dodává se se softwarem umožňující vypnout a zapnout server přes toto rozhraní. Zdroj má LCD displej umožňující nastavit všechny parametry bez nutnosti připojení k PC.