

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Provozně ekonomická fakulta



Technologie WiFi

Bakalářská práce

Katedra informačních technologií

Autor práce:

Aleš Příhoda

Vedoucí práce:

Ing. Čandík Marek Ph.D.

Praha, © 2008

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Technologie WiFi vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které uvádím v přiloženém seznamu zdrojů

Podpis autora:

Poděkování

Rád bych na tomto místě poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Markovi Čandíkovi, Ph.D. za podnětné připomínky a čas, který věnoval mé práci.

Souhrn

Název práce:	Technologie WiFi
Autor práce:	Aleš Příhoda
Vedoucí práce:	Ing. Čandík Marek, Ph.D.
Počet stran:	49

Klíčová slova

Wifi, 802.11, šíření vln, router, anténa, přístupový bod, bezpečnost, konfigurace, centrální správa

Tato bakalářská práce na téma Technologie WiFi je rozdělena do dvou hlavních částí.

První, teoretická část, se zabývá obecným osvětlením nejdůležitějších pojmů a principů bezdrátových sítí. V sedmi kapitolách je zde věnována pozornost hardwarovým prvkům jako jsou wifi routery a antény, okrajově je probírán i software používaný při stavbě a provozování bezdrátových sítí. Na závěr věnuji pozornost nejdůležitějším normám a problematice bezpečnosti přenosu dat.

Praktická část práce se věnuje reálnému postupu použití bezdrátové technologie v jedné menší wifi síti v Praze. Samotnému nasazení technologie předchází jeho plánování a výběr vhodného zařízení. Opominuto nebylo také korektní nastavení všech částí sítě pro bezproblémový chod, a to převážně za účelem stability, ve druhé řadě pak propustnosti. Práci jsem uzavřel sedmou kapitolou řešící nejčastější problémy, které mohou při stavbě a provozu bezdrátové sítě nastat.

Summary

Name of thesis:	WiFi technology
Author of thesis:	Aleš Příhoda
Head of thesis:	Ing. Čandík Marek, Ph.D.
Number of pages:	49

Key words

Wifi, 802.11, wave propagation, router, antenna, access point, security, configuration, central management

This bachelor thesis on the topic of the WiFi technology consists of 2 main parts.

The first one is the theoretic part which deals with the general explanation of the most important terms and the wireless networks principles. 7 chapters focus on hardware components such as wifi routers and antennas whereas software used for setting up and operating wireless networks is also marginally mentioned. At the conclusion I pay attention to the most important directives and the issue of data transmission security.

The practical part of the thesis deals with the real utilization procedure of the wireless technology in one smaller wifi network in Prague. The technology setting itself is preceded by the planning and the selection of a suitable equipment. The correct adjustment of all the network components in order to ensure a trouble-free operation and stability as well as throughput has also been taken into consideration. The eighth and last chapter deals with the most common problems that can occur while setting up and operating the wireless network.

Obsah

1	Úvod.....	10
2	Cíle práce a její metodika.....	11
3	Bezdrátové sítě.....	13
3.1	Šíření vln.....	13
3.1.1	Rušení.....	13
3.1.2	Vliv počasí.....	15
3.2	Fresnelova zóna.....	16
3.3	Standard 802.11.....	18
3.4	Typy sítí.....	19
3.4.1	Ad-hoc typ sítí.....	19
3.4.2	Infrastrukturní typ sítí.....	20
3.5	Prvky bezdrátové sítě.....	20
3.5.1	Wifi router.....	21
3.5.2	Anténní systém.....	26
3.5.2.1	Anténa a směrovost.....	27
3.5.2.2	Kabely.....	28
3.5.2.3	Polarizace.....	28
3.5.2.4	Zisk.....	29
3.5.2.5	Signál a poměr stojatých vln.....	30
3.5.2.6	Ochrana před přepětím.....	31
3.6	Bezpečnost sítí.....	32
4	Metodika návrhu bezdrátové sítě.....	34
4.1	Rozpočet.....	34
4.2	Plánování.....	35

4.3	Výběr vhodného zařízení.....	36
4.4	Výběr vhodných antén.....	37
4.5	Konfigurace zařízení.....	38
4.6	Centrální systém.....	38
4.7	Řešení problémů.....	39
4.8	Výsledek práce.....	41
5	<i>Přínosy bakalářské práce.....</i>	<i>43</i>
6	<i>Závěr.....</i>	<i>44</i>
7	<i>Seznam zdrojů.....</i>	<i>45</i>
8	<i>Seznam obrázků.....</i>	<i>48</i>
9	<i>Seznam tabulek.....</i>	<i>49</i>

1 Úvod

S rozvojem moderních technologií v posledních desetiletích neustále stoupá význam počítačové techniky. Počítače ovládly nejen špičková vědecká pracoviště, ale jsou nepostradatelnou součástí každodenní práce téměř každého z nás, nemluvě o mnoha způsobech zábavy, které nám pro volný čas nabízejí.

Počet počítačů v naší populaci roste stejně strmě jako počet mobilních telefonů, které byly ještě před docela nedávnou dobou uctívány předmětem pro elitu, zatímco dnes je podle posledních statistik v naší republice více mobilů než obyvatel a jen málokterý školák prvního stupně mobilní telefon nevlastní. Stolním počítačům navíc začínají úspěšně konkurovat přenosné a praktické notebooky.

S přibývajícím počtem počítačů roste i potřeba jejich vzájemného propojení do sítí a připojení k internetu, který se stává pro nezanedbatelnou část populace nepostradatelnou součástí života. Vytváření sítí klasickým způsobem připojení ale nestačí rychle se vyvíjejícím potřebám. Počítače se šíří rychleji, než jsou technici schopni pokládat kabely. Klasické připojení je navíc mnohdy neúnosně drahé a technicky náročné. A k tomu se dramaticky zvyšuje počet lidí, kteří rozhodně nehodlají být odkázáni na jediný pracovní stůl - jejich pracovním stolem je celý dům, celá čtvrť, celé město. Chtějí se k síti připojit všude, kde právě jsou.

Řešení je jediné: bezdrátová síť, která podobně jako síť mobilních operátorů spojení zajišťuje volně vzduchem pomocí elektromagnetických vln. Jen k takové síti se uživatel může připojit kdykoliv a kdekoliv. Práce i zábava přestává být omezována prostorem.

2 Cíle práce a její metodika

Cílem této práce je zpracovat informace o bezdrátových sítích jako celku, o technologiích využívaných v budování bezdrátových sítí wifi, o šíření elektromagnetických vln na frekvencích používaných technologiemi wifi a o standardech, které se vyplatí při praktické realizaci dodržovat. Všechny tyto informace jsou důležité pro pochopení a orientování se v druhé části tohoto textu.

V teoretické části práce, jak již bylo řečeno, budou rozebírány nejzákladnější pojmy bezdrátových sítí, bude zde věnována pozornost všem nejdůležitějším hardwarovým prvkům, pozornosti neujde samozřejmě ani softwarová stránka bezdrátových sítí. Rád bych také věnoval místo různým normám a doporučením.

Praktická část práce se bude zabývat reálným postupem nasazení wifi bezdrátové technologie v jedné menší bezdrátové síti v Praze. Ačkoliv je wifi původně konstruována na vnitřní použití, velké obliby dosáhly i sítě venkovní. Jedná se tedy o venkovní síť. Síť je spravována občanským sdružením, kterému jsem předsedou, hlásí se k ideji celorepublikového projektu CZFree.Net. Důraz bude kladen na veškeré myšlenkové pochody a plánování předcházející výběr vhodné technologie, postup při plánování, správném nasazení hardwaru v praxi. Opominuto nebude také korektní nastavení všech částí topologie pro bezproblémový chod sítě převážně za účelem stability, ve druhé řadě pak propustnosti.

Při literární rešerši této práce jsem vycházel z několika tištěných zdrojů, studoval jsem také aktuální informace na internetových stránkách. Při práci bylo zapotřebí nahlédnout i do několika norem definujících bezdrátovou wifi síť. Všechny tyto informace jsem se snažil zobecnit do uceleného bloku rad

a praktických doporučení, které se při dodržení vyplatí a subjektu realizujícímu bezdrátovou síť přinesou ekonomické výhody.

3 Bezdrátové sítě

Přestože jsou bezdrátové sítě velmi podobné klasickým ethernet sítím, je zde možno nalézt několik odlišností. Bezdrátové sítě se musí potýkat s mnoha problémy navíc. Jde především o rušení a nestabilitu spojení specifickou pro radiové prostředí. Konfigurace bezdrátové sítě se tak rozšiřuje o řadu funkcí a nastavení typických pouze pro wifi.

3.1 Šíření vln

Lidé zabývající se bezdrátovými sítěmi mohou potvrdit, že šíření elektromagnetických vln ve frekvencích nad 2GHz je tak trochu černá magie, u které nejsou předem jisty žádné výsledky. V praxi se tak běžně stává, že je problém propojit dva počítačové prvky na pár set metrů, o kousek dál ale najdeme spoj na 8 km, se kterým nikdy nebyl žádný problém.

Radiové vlny se při šíření prostorem musí vypořádat především s [24]

- rušením na stejné frekvenci
- nutností přímé optické viditelnosti
- vlivem počasí
- odrazem signálu od překážek

3.1.1 Rušení

Největší vliv na nekvalitu bezdrátového spoje má především rušení. Například v pásmu 2,4 GHz je v Evropě povoleno celkem 13

kanálů (frekvence 2412 MHz až 2472 MHz). Díky šířce kanálu celých 22 MHz tak pásmo 2,4 GHz nabízí pouze 3 oddělené, vzájemně se nepřekrývající kanály. Pokud tedy vedlejší vysílač vysílá na překrývající se frekvenci nebo dokonce na frekvenci stejné, je doporučeno přeladit na jiný kanál a možnost rušení tak eliminovat. Problém mohou dělat například zařízení používající modulaci FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum – starší a už takřka nepoužívaná technologie, dřívější postrach „wifistů“, Breeze Net), která v periodických intervalech vysílají na všech dostupných kanálech. V případech hledání volného kanálu je dobré se pokusit o navázání kontaktu se správcí sousedních vysílačů a domluvit se na společných, vzájemně se nerušících kanálech.



Obrázek 1 – BreezNet SA-10D PRO.11

Pokud se sousední sítě nedohodnou na využití kanálů, má podle nařízení Českého telekomunikačního úřadu (ČTU) přednost ta síť, která začala vysílat dříve.

Vysílače by měly dodržovat i vyzářené výkony dané generální licencí. Maximální výkon je stanoven na 100 mW EIRP (ekvivalentní izotropicky vyzářený výkon). V praxi ale ČTU nemá prostředky na kontrolu všech sítí, a tak bývá rušení ve větších městech na kritické úrovni.

Rušení může nastat také při používání technologie Bluetooth vyskytující se převážně v mobilních telefonech na frekvenci 2,4 GHz. Díky minimálnímu použití a dosahu této technologie se ale není čeho bát.

Poslední dobou se hodně mluví o nové radarové základně v Brdech. Odpůrci radaru tvrdí, že v okolí několika desítek kilometrů od radaru nebude možné využívat žádných bezdrátových wifi technologií.

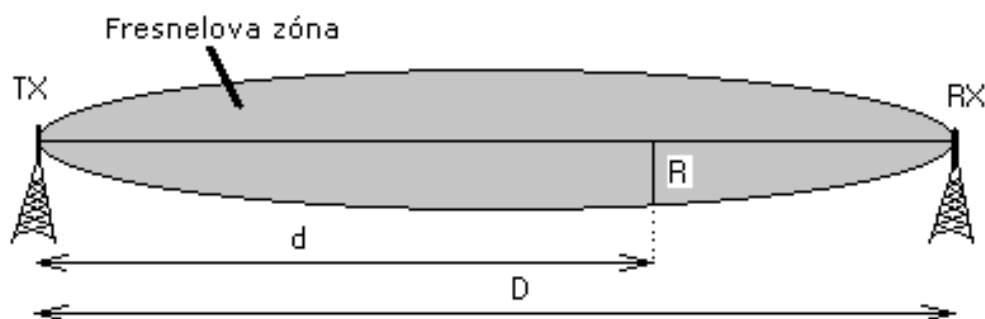
3.1.2 Vliv počasí

Mohlo by se zdát, že 2,4 GHz frekvence (používaná v mikrovlnných troubách pro ohřev potravin složených z vody) může mít na kvalitu spoje katastrofální účinky. Počasí má ale na rozdíl od rušení vliv minimální. Opravdu prudký déšť (nad 100 mm³/hod) dokáže snížit signál až o 0,05 dB/km. V pásmu 5 GHz je situace o něco horší, prudký déšť zhorší příjem cca 0,5 dB/km, hustá mlha pak o 0,07 dB/km. Tyto hodnoty je nutné tedy brát na zřetel pouze při plánování extrémně dlouhých 5 GHz spojů, kde by na 16 km za nejhorších podmínek mohlo dojít ke ztrátě až 8 dB [1].

I když déšť samotný není tak velkým problémem, nasáknuté listy stromů mohou vytvářet neproniknutelnou překážku. Pokles signálu či kvalita spoje pak záleží na hustotě stromu, velikosti listů nebo třeba i druhu stromu.

3.2 Fresnelova zóna

Při plánování spoje je důležité brát v potaz přímou optickou viditelnost mezi vysílací a přijímací anténou. Pro opravdu kvalitní spoj je ale důležité obstarat bez překážek alespoň 60 % tzv. Fresnelovy zóny, nebo ještě lépe celou. Je to prostor doutníkovitého tvaru (elipsoid) kruhového průřezu kolem přímky spojující obě antény, ve kterém se šíří signál.



Obrázek 2 - Fresnelova zóna [2]

Ve Fresnelově zóně by se neměla nacházet žádná překážka. Za překážku lze považovat střechu domu, kopec, ale třeba i vršek nebo větev stromu. Při narušení Fresnelovy zóny většinou nedochází ke snížení úrovně signálu, ale díky nežádoucím odrazům a degradacím nosné vlny se snižuje kvalita přenosu dat.

Průměr Fresnelovy zóny lze jednoduše vypočítat pro jakoukoliv vzdálenost od vysílače nebo přijímače:

$$r = \sqrt{\frac{\lambda d_1 d_2}{D}}$$

Rovnice 1 - Fresnelova zóna

kde:

r je poloměr výsledné Fresnelovy zóny

λ je vlnová délka (pro 2,4 GHz je 12,5cm)

d1 a d2 jsou požadované vzdálenosti od vysílače a přijímače

D je celková vzdálenost mezi vysílačem a přijímačem

Maximální průměry první Fresnelovy zóny podle vzdálenosti a frekvence [2]:

Vzdálenost	Pásmo 2,4GHz	Pásmo 5GHz
100m	1,37m	1,22m
200m	1,93m	1.73m
300m	2,37m	2,12m
400m	2,73m	2,44m
500m	3,06m	2,73m
700m	3,62m	3,23m
1000m	4.32m	3.87m
1200m	4.73m	4.23m
1500m	5.29m	4.73m
2000m	6.11m	5.47m
2500m	6.83m	6.11m
3000m	7.48m	6.69m
4000m	8.64m	7.73m

Tabulka 1 - Maximální průměry první Fresnelovy zóny

3.3 Standard 802.11

Bezdrátová technologie wifi vznikla v roce 1997, kdy byla organizací IEEE publikována a schválena specifikace 802.11. Jednalo se zatím o technologii s maximální teoretickou rychlostí 2 Mbit/s.

Za 2 roky byla tato specifikace rozšířena o 2 normy, a to 802.11b, pracující na frekvenci 2.4GHz s maximální teoretickou propustností 11 Mbitů/s, a 802.11a už na frekvenci 5 GHz a s maximální teoretickou propustností 54 Mbitů/s.

Poslední důležitá revize přišla v roce 2003, kdy byla 802.11b rozšířena na 54 Mbitů/s a označena jako 802.11g.

Přestože šlo o standard, každý výrobce produkoval rozdílná zařízení. Vznikla proto organizace WECA (po roce 2003 přejmenována na Wifi Alianci) rozdávající podle testů certifikáty interoperability a propůjčující zařízením a výrobcům logo wifi:



Obrázek 3 - Logo Wifi [4]

Poslední ze standardů 802.11 je dosud neschválená norma 802.11n, která si klade za cíl úpravou MAC vrstvy pokořit 100Mbitovou hranici. Teoreticky tak lze přenášet až 540 Mbitů/s, a to díky použití MIMO (Multiple Input Multiple Output) technologie, při které se používá několik vysílacích

i přijímacích antén. Reálný přenos zatím nepřesáhl 75 Mbitů, ale do konce roku 2008, kdy má být oficiálně norma schválena, se rychlosti kolem 100 Mbit pravděpodobně dosáhnout podaří. [24]

Očekává se též schválení normy 802.11y vysílající na frekvenci volně dostupné jen v USA (3.65–3.70 GHz).

Další 802.11 standardy se týkají především různých lokalizací stávajících standardů pro různé části světa a softwarové vybavy, jako je například zabezpečení WPA2 (802.11i) nebo rozšíření QoS (802.11e).

3.4 Typy sítí

V každé 802.11 wifi síti nalezneme několik spolu vzájemně komunikujících prvků. Podle způsobu, s jakým mezi sebou tyto části sítě komunikují, je lze rozdělit na 2 hlavní typy:

3.4.1 Ad-hoc typ sítí

Sítě Ad-hoc (z latiny „jen pro tento případ“) jsou sítě bez centrálního prvku. Každá stanice v této síti komunikuje přímo s ostatními prvky sítě. Všichni účastníci Ad-hoc propojení musí být ve vzájemném dosahu.

Ad-hoc sítě jsou v praxi využívány při jednorázových potřebách, jako jsou různé meetingy nebo herní setkání. Běžně se používají právě díky dosahovému omezení velmi zřídka.

3.4.2 Infrastrukturní typ sítí

Na rozdíl od Ad-hoc se v infrastrukturním typu využívá centrálního prvku, přístupového bodu (Access Pointu - AP). To má na jednu stranu výhodu v možnosti připojení do zbytku sítě pouze přes jeden přístupový bod, na druhou stranu je ale v případě stanic od sebe vzdálených jen několik metrů nutné přenášet data přes prostředníka třeba i několik kilometrů vzdáleného. [27]

Infrastrukturní síť lze snadno rozšiřovat zapojením dalších AP. Každý vysílač musí být v dosahu alespoň jednoho dalšího vysílače.

Díky jednoduchosti konfigurace z centrálního místa a jednoduchosti instalace u koncového bodu se infrastrukturní typ sítí rozšířil i mezi běžné uživatele bez znalostí správy sítí.



Obrázek 4 - Běžný amatérský přístupový bod [5]

3.5 Prvky bezdrátové sítě

Aby bezdrátová síť fungovala, musí se skládat z několika důležitých částí a vybavení.

3.5.1 Wifi router

Vžijeme-li se do role koncového uživatele, potřebujeme zařízení, které dokáže signál přijímat a převádět ho nejlépe na klasický síťový provoz. Na trhu je nepřeberné množství různých wifi routerů, které tuto (a leckdy nejen tuto) funkci zvládnou za pár stokorun.

Většina dnešních wifi routerů obsahuje pod jedním krytem wifi rozhraní, malý switch a jednoduchý router. Zařízení pak funguje většinou na bázi tzv. NATu, v linuxu známém pod pojmem „maškaráda“. NAT je síťový překlad adres. Za jednu veřejnou IP adresu se dokáže schovat celá lokální síť s neomezeným počtem počítačů. Ve výsledku je tedy NAT hodně podobný proxy serveru, uživatelé však nejsou omezeni jakýmkoliv nastavováním a omezením proxy serverů. [26]

Nejznámějším výrobcem produkujícím levné wifi routery je firma Ovislink v současnosti s „vlajkovou lodí“ Ovislink AirLive WL-5460AP:



Obrázek 5 - Ovislink WL-5460AP [6]

Zařízení dokáže fungovat jak ve vysílacím módu (AP), tak v klientském režimu, při kterém se externí anténou připojuje na vzdálený vysílač. Dnešní zařízení využívají reverzního konektoru SMA a není tak problém kombinovat různá zařízení s různými anténami. Podporuje funkci NAT (pod zkratkou WISP - Wireless Internet Service Provider) a WDS (Wireless Distribution Service) umožňující redistribuci signálu pouze s jednou anténou.

Zatímco běžný uživatel si vystačí se zařízením do pár stokorun, poloprofesionální a profesionální řešení leckdy vyjdou na desetitisíce až miliony korun. K dispozici jsou speciální switche, routery a wifi zařízení vysoké kvality a výkonu.

Profesionální specializované spoje většinou nejsou vytvářeny na veřejných frekvencích a používají licencovaná pásma. Spoje na frekvenci blízké 10 GHz dokáží zaručit přenos i 80 Mbitů/s, a to na vzdálenosti přes 15 km. Vzduchem lze na kratší dálku a na frekvencích kolem 80 GHz dosáhnout i propustnosti v řádu gigabitů [7]. Mobilní operátoři například využívají bezdrátová pojítka na frekvencích kolem 23-38 GHz s propustností 155 Mbitů/s [8].



Obrázek 6 - Pojítka Ericsson Mini-Link E [9]

Kvalitní pokrytí oblasti lze v řádech desetitisíců zabezpečit pomocí zařízení od firmy Motorola. Jednotky Canopy lze spojit do cluster zapojení, pokrýt tak 360° kolem vysílače a připojit podle výrobce až 1200 koncových zařízení.



Obrázek 7 - Motorola Cluster Canopy 5.4GHz [10]

Pro poloprofesionální řešení lze využít mnohem levnějších a méně výkonných zařízení. Klasičtí poskytovatelé internetu a větší nadšenci mohou využít běžné desktopové počítače, PCI wifi karty a Linux nebo Windows jako operační systém. Mohou ale využít i řadu specializovaných „router desek“. Mezi nejznámější patří především platformy Wrap od firmy PC Engines, na kterých lze s pomocí osvědčených Compact Flash pamětí spustit jakoukoliv distribuci Linuxu či BSD, nebo platforma Routerboard od litevského výrobce Mikrotik s vlastním operačním systémem RouterOS ušitým na míru poskytování datových služeb.



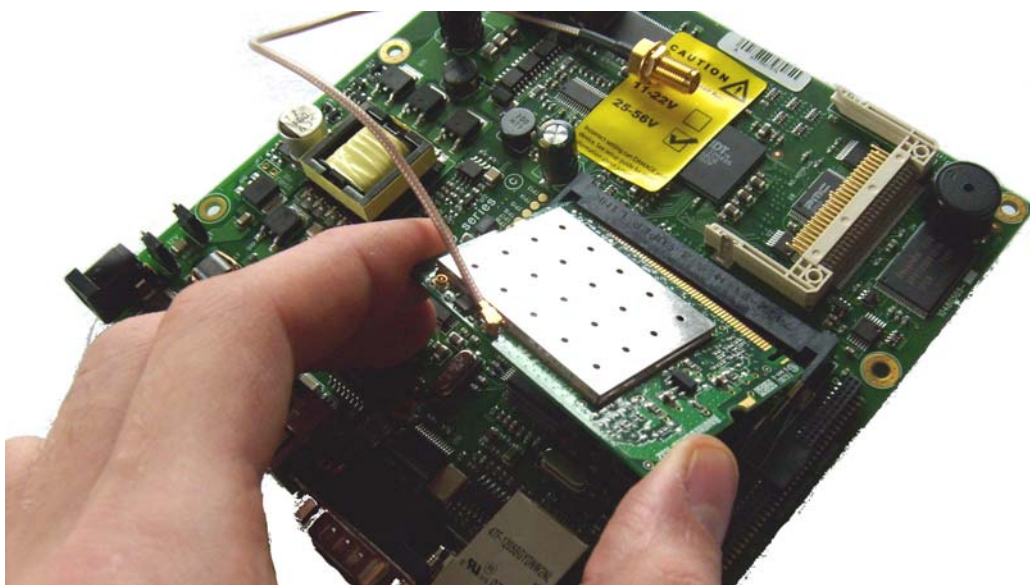
Obrázek 8 - Routerboard RB532A [11]

Všechna podobná řešení většinou zvládají provoz v extrémních outdoorových podmínkách a podporují standard PoE (Power Over Ethernet - 802.3af), který přivádí elektřinu klasickým ethernetovým kabelem do míst bez dostupnosti elektrického proudu (například na střechách domů).



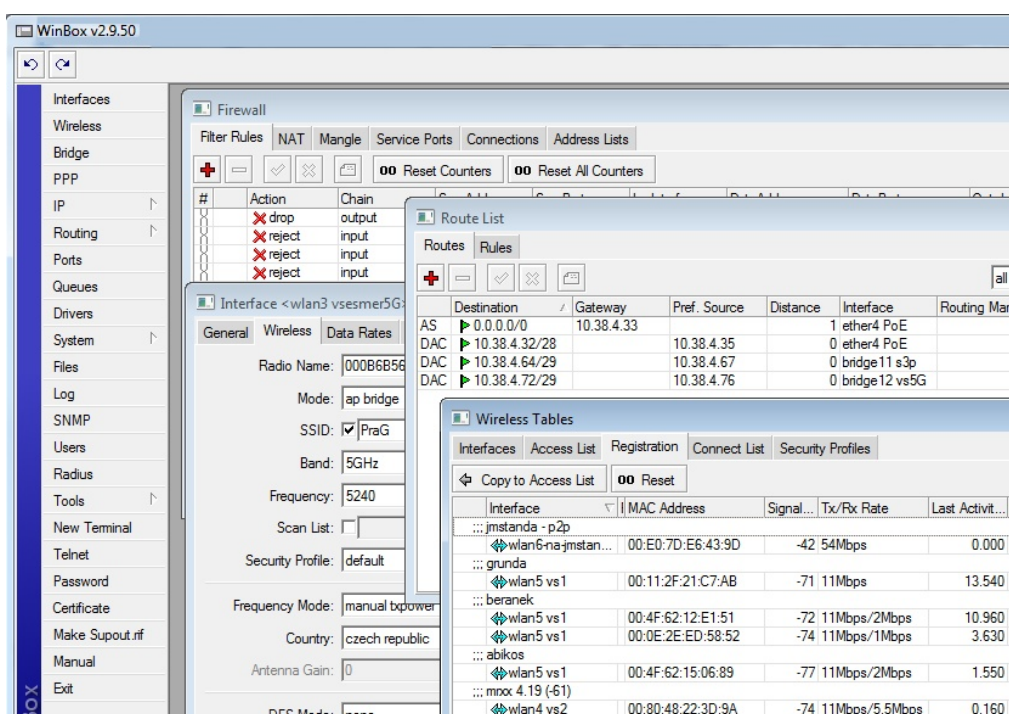
Obrázek 9 - POE injektor se zdrojem [12]

Do Alixů i Routerboardů lze zapojit přes miniPCI sloty wifi karty různých výrobců. Při problémech s wifi částí lze tak jednoduše a modulárně vyměnit jen problémovou část.



Obrázek 10 - Zasouvání miniPCI do slotu

RouterOS, ač je založený na linuxovém jádru, nabízí kompletní grafické konfigurační rozhraní přes externí utilitu Winbox. Je možno nastavovat prakticky vše, od sestavení vlastního stavového firewallu, přes konfiguraci jednotlivých wifi karet, dynamického routování, DHCP či NATu, až po vytváření grafů přenosů dat a spuštění proxy serveru.



Obrázek 11 – Konfigurační utilita Winbox

Díky své jednoduchosti a přehlednosti jsou Routerboardy využívány i laiky a jsou za to profesionály patřičně zavrhovány.

3.5.2 Anténní systém

Samotné zařízení je ale pro budování kvalitních bezdrátových sítí nedostatečné. Bez kvalitního anténního systému je síť v exteriérech nepoužitelná a nestabilní. Antény se standardizovaným konektorem (reverzní SMA a N) lze jednoduše měnit mezi sebou.

Použitím kvalitního anténního systému bylo experimentálně dosaženo vzdálenosti dvou stanic cca 300 km [13].

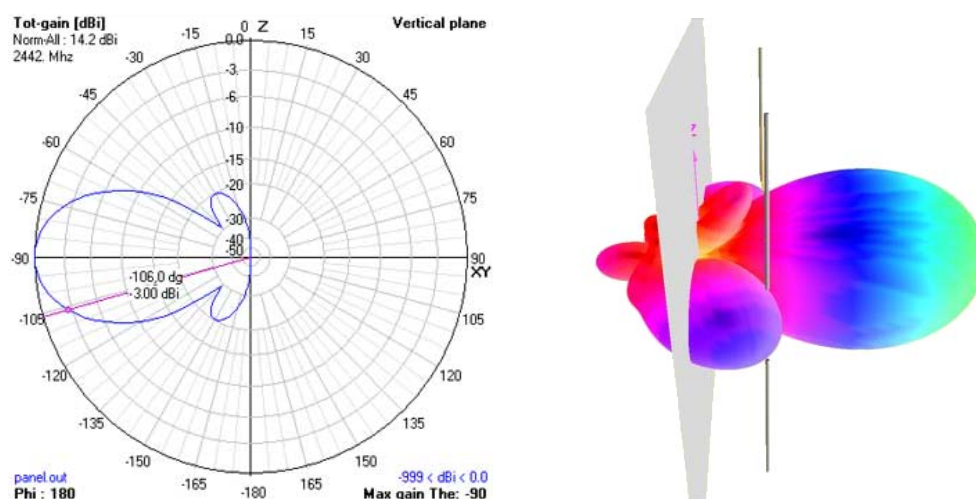
3.5.2.1 Anténa a směrovost

Anténa je zařízení k příjmu nebo k vysílání rádiových signálů, je to část vysokofrekvenčního vedení upravená tak, aby účinně vyzařovala energii do prostoru [14]. Wifi antény můžeme rozdělit například podle směrovosti na směrové, sektorové a všesměrové. Směrové antény se využívají především na spoje dvou bodů (tzv. peer to peer spojení) a v drtivě většině využívají parabolického tvaru odrážejícího signál do ohniska. Velkou oblibu si získaly i antény typu „yagi“. Všesměrové antény jsou pak většinou použity na vysílačích pro připojení většího množství klientských zařízení (mají tvar válce) a sektorové antény se pak dají využít na silnější a směrovější vykrytí oblasti nebo pro připojení klientské stanice.



Obrázek 12 - Směrová síťová, yagi a všesměrová horizontální anténa [15] [16] [17]

Směrovost antény každý výrobce zanáší do vyzařovacího diagramu, a to jak v horizontální, tak vertikální úrovni.



Obrázek 13 - Vertikální vyzařovací diagram a 3D zobrazení

[18]

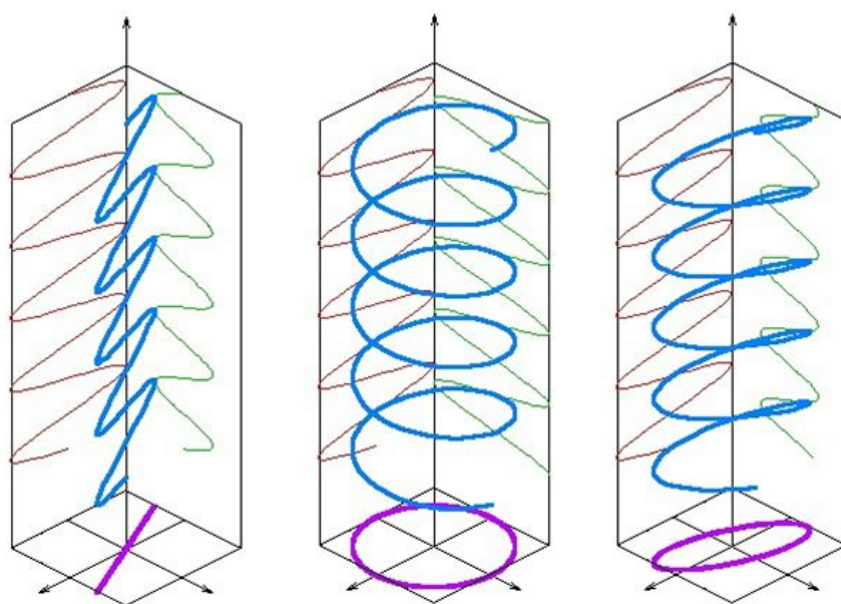
3.5.2.2 Kabely

K přenosu vysokofrekvenčního signálu se používají koaxiální kabely. Na rozdíl od TV signálu ale musí mít tyto kabely mnohem lepší vlastnosti. Hojně používaný kabel Belden H1000 s vnějším průměrem 11 mm dosahuje při frekvenci 2,4 GHz ztráty signálu pouze 0,22 dB na jeden metr. Kabely s menším průměrem (například kabel RG58) dosahují útlumu i 0,5 dB na metr. Kvůli průměru 5 mm a mnohem lepší ohebnosti se v dnešní době ale používají častěji.

3.5.2.3 Polarizace

Důležitou vlastností každé antény je její polarizace, určující rovinu v prostoru, po které se přenáší signál. Polarizace zvyšuje využitelnost prostoru pro šíření elektromagnetického vlnění. Většina směrových antén vysílá v lineární polarizaci (tedy buď v horizontální nebo vertikální),

natočením o 90° lze vysílací polarizaci jednoduše měnit. Antény na obou koncích musí být ve stejné polarizaci. Všesměrové antény natáčením polarizovat nelze, vyrábějí se buď ve vertikální, nebo méně časté horizontální polarizaci. Horizontální všesměrové antény jsou složeny z několika sektorových antén. Antény s kruhovou nebo eliptickou polarizací (pravotočivou nebo levotočivou) se již užívají minimálně.



Obrázek 14 - Lineární, kruhová a eliptická polarizace [20]

3.5.2.4 Zisk

Další důležitou vlastností antény je bezpochyby její ziskovost v jednotkách dB. Jedná se o poměrovou veličinu zachycující, o kolik je určitý směr vyzařování (směrovost) antény zvýhodněn oproti hypotetickému stavu, kdyby anténa vysílala do všech směrů při stejném výkonu zařízení stejně (vyzařovací diagram by byl dokonalá koule). Antény s vysokou směrovostí tak mají většinou větší zisk. [24]

Přestože by se mohlo zdát, že všesměrové antény tedy nemají žádný zisk, opak je pravdou. Tyto antény vysílají sice do 360° kolem sebe, ale pouze v jedné rovině, v té druhé má vyzařovací diagram plochý tvar. Anténa tedy nevysílá nad sebe ani pod sebe, kde většinou signál stejně nikdo nepotřebuje.

3.5.2.5 Signál a poměr stojatých vln

Snad ještě důležitější než zisk antény je ale tzv. PSV, tedy poměr stojatých vln. PSV zajímá jak anténa, tak kabely a konektory. Popisuje účinnost celého anténního systému. Všechny části musí být spolu impedančně přizpůsobeny (v takovém případě je PSV rovno jedné). Pokud třeba kabel 25 ohmů připojíme na anténu s impedancí 50 ohmů, odrazí se nám část signálu v tomto spoji zpět do vysílače. Ten je pak nenadálým a chaotickým signálem zmaten, v některých krajních případech (extrémně vysoké PSV zaviněné vůbec nepřizpůsobenou anténou nebo dokonce žádnou anténou) může dojít až k poškození zařízení. Při PSV větším jedné dochází také k útlumu síly signálu:

PSV	Vyzářený výkon v %	Vyzářený výkon ve Wattech
1,0	100	4
1,2	99	3,96
1,5	95	3,80
2	89	3,56
3	75	3,00
5	55	2,20
10	34	1,36
20	18	0,72

Tabulka 2 - Vliv PSV na výkon vysílače [21]

3.5.2.6 Ochrana před přepětím

Největším nepřítelem provozovatelů wifi sítí je blesk. Ten dokáže ničit zařízení i bez přímého zásahu, a to i na kilometry daleko. Proti přepětí vzniklém naindukováním výboje na anténách se lze chránit přepětovou ochranou, někdy nazývanou bleskojistka.

Základním předpokladem při použití bleskojistik je správně uzemněný stožár na bleskosvod. Instalaci a zasahování do současného bleskosvodu je doporučeno svěřit odborníkovi, který vystaví na změnu revizní potvrzení.

Nejvíce používanými jsou přepětové ochrany na bázi laděného čtvrtvlnného zkratu. Ten stejnosměrné napětí spolehlivě zkratuje do bleskosvodu, na který se připojuje.

Plynové přepětové ochrany obsahují patronu na jedno použití, ta při zahřátí spálí propoj a nepustí tak vysoké napětí po svodu k zařízení. Její funkce je však omezena delší dobou k ohřátí plynu a je tak vhodná jen proti větším výbojům, a to pouze jako doplněk k jinému druhu ochrany.



Obrázek 15 - Zkratová „bleskojistka“ [23]

3.6 Bezpečnost sítí

Zabezpečení bezdrátové sítě je natolik široký pojem, že by mohl být probírán v samostatné práci.

Dnešní uživatelé příliš nekladou důraz na zabezpečení svých sítí. Není tak problém se s notebookem připojit na lavičce sídliště. Uživatel svůj router leckdy jen vybalí z krabice, nezmění ani vysílané jméno vysílače (ESSID), nezašifruje ani tou nejjednodušší WEP ochrannou.

Nejzákladnější obranou proti nežádoucímu připojení cizího zařízení je tzv. „mac filtering“. Uživatel vlastníčí přístupový bod vytvoří seznam MAC adres počítačů, které mají do jeho sítě přístup. A protože MAC adresy jsou celosvětově jedinečné, není ostatním umožněno se na vysílač připojit. MAC adresy se dají ale spolu s pakety přenášenými vzduchem lehce zachytit. Tuto ochranu lze tedy jednoduše obejít změnou MAC adresy zařízení, kterou dnes umožňuje většina levných přístupových bodů přímo z webového rozhraní.

O něco lepším řešením se zdá být šifrování. Tzv. WEP (Wired Equivalent Privacy) používá 256kbit proudovou šifru. Díky několika chybám je ale tato stará šifra velice snadno prolomitelná i v domácím prostředí. Nástupce WEP šifrování s názvem WEP2 pouze rozšířil velikost klíčů. Chyby zůstaly, útočníkovi ale trvá prolomení o něco déle. [25]

WPA (Wi-Fi Protected Access) měl za úkol dočasně nahradit zastaralý WEP. Již při nástupu této technologie se očekávalo zavedení WPA2 (standardizován jako 802.11i). Obě technologie jsou postaveny na tzv. TKIP (Temporal Key Integrity Protocol) měnící dynamicky klíče během přenosu dat. Nové WPA2 zabezpečení přidává k TKIP silnou šifru AES, kterou se v současné době ještě nepodařilo prolomit. [25]

Poslední z využívaných metod zabezpečení je ověřování uživatele pomocí Radius serveru. Výhoda této metody je především v centrální databázi uživatelů, na kterou se mohou s dotazy o ověření jména a hesla dotazovat stovky vysílačů. [25]

4 Metodika návrhu bezdrátové sítě

Cílem této praktické části je ukázat správný postup při návrhu a následném nasazení wifi bezdrátové technologie v terénu. Návrh bude prakticky demonstrován na budování centrálního přístupového bodu již fungující metropolitní wifi sítě o cca 40 přístupových bodech spravované občanským sdružením. Postup při implementaci na profesionální firemní úrovni by se ale nelišil.

V bezdrátových sítích je obecně problém garantovat kvalitu služeb. Pásmo 2.4, 5.8 a v poslední době i 10 GHz jsou nelicencované frekvence a každým dnem narůstá počet jejich uživatelů. Sítě se proto neustále potýkají s okolním rušením. Kvalita služeb nikdy nemůže dosáhnout stability kabelových typů přípojek. Při návrhu bezdrátové sítě je proto pro případ výpadku potřeba brát v úvahu nutnost určité redundance v topologii. Na druhou stranu může wifi technologie, díky nízkým pořizovacím a provozním nákladům, poskytnout daleko nižší ceny.

4.1 Rozpočet

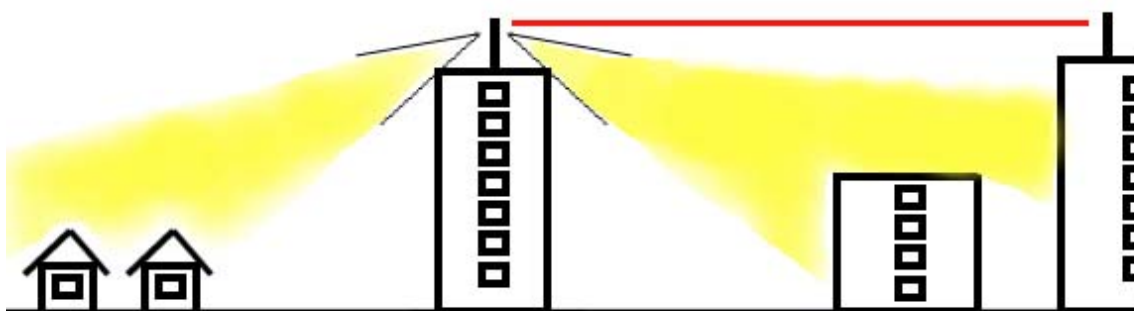
Abychom se nedostali během stavby sítě do finančních problémů, je dobré se předem zamyslet nad rozpočtem. Chceme-li budovat outdoorové řešení, musíme počítat s větší investicí do anténního systému. Kvůli venkovnímu pokrytí je nutno počítat i s desítkami připojených koncových stanic a tomuto počtu odpovídajícím zařízením.

Z vlastní zkušenosti vyplývá, že je lepší investovat do lepších materiálů. O kvalitní zařízení jako jsou Wrapy a Roterboardy se v drtivé většině nikdo nemusel starat a klesly

tak náklady na servis. Modulárnost těchto zařízení navíc radikálně zkrátí rozšiřování sítě.

4.2 Plánování

Vytvoření nového přístupového bodu by mělo přinést co možná největší dostupnost sítě. Nový vysílač proto umístíme na pozici s dobrým výhledem po okolní krajině. V případě hustě zastavěného sídliště je dobré volit vyšší panelový dům. Při použití vhodných antén s větším horizontálním vyzařovacím úhlem je tak možno pokrýt velkou oblast již relativně blízko samotného vysílače, zároveň není problém zajistit peer to peer propojení nového bodu do zbytku sítě přes střechy nižších domů.



Obrázek 16 - Schematické pokrytí s p2p spojem

Na obrázku je zachycena konkrétní situace. Udávané pokrytí podle výrobcem dodávaného vyzařovacího diagramu (vertikální vyzařovací úhel 32°) bude stačit i na pokrytí blízké zástavby. Antény ale nevysílají jen v těchto úhlech. Se slabším signálem a na vzdálenosti maximálně několika desítek až stovek metrů se lze samozřejmě kvalitně připojit i mimo tento úhel.

Na velkých sídlištích je třeba počítat s nutností pronájmu místa na stožáru. Jako občanské sdružení jsme poprosili jednoho ze svých stávajících členů, aby u družstva nebo sdružení nájemníků zařídil umístění antén na střeše domu a případný přístup ke stožáru v případě problémů. Při použití PoE není třeba pořizovat elektroměr a platit správě domu za spotřebovaný proud. Na nízkoproudé vodiče se také nevztahuje předpis o pevném uchycení, je tedy možné protahovat kabeláž husími krky a vzduchem. V případě oficiální žádosti požadují družstva většinou tučné pronájmy, na které jsou zvyklé od mobilních operátorů.

Při plánování rozsáhlejších sítí se vyplácí počítat s možností, že některý spoj z důvodu zarušení přestane být použitelný. V tu chvíli se hodí mít záložní spoj do jiné části sítě. Pomocí OSPF (Open Shortest Path First) protokolu a tzv. dynamického routování upraví vysílač během pár vteřin trasu a použije náhradní spoj.

4.3 Výběr vhodného zařízení

Pro obsloužení několika desítek lidí je nutné zvolit správný druh zařízení. Jednoduché access pointy k sehnání v obchodech s počítačovými komponenty nebyly dostatečně výkonné a nenabízely komplexní konfiguraci. Je nutno vybírat ze specializovaných zařízení.

Od routerů vyžadujeme širší možnosti konfigurace. Nutně musí zvládat nastavit maximální povolený vyzářený výkon na wifi kartách, abychom nepřekračovali normy dané Generální licencí Českého telekomunikačního úřadu 12/R/2000. Potřeba bude i již zmíněná přítomnost OSPF dynamického routování a pokročilá správa DHCP serveru.

Jako velmi dobré řešení v poměru cena/výkon se jeví platforma Routerboard od firmy Mikrotik. Za pár tisícikorun je možné využívat vysoce stabilní zařízení s možností jednoduchého rozšíření. Routerboardy R532A jsou schopné v průměru zpracovat data kolem rychlosti 65 Mbitů/s, je na ně možné připojit až 6 bezdrátových karet. Novější Routerboardy RB600 jsou jen o pár stokorun dražší a nabízejí propustnost dokonce až 700 Mbitů/s s rozšiřitelností na 8 bezdrátových karet. Oba typy jsou tedy vhodné k obslužení většího počtu lidí a spojů. Zařízení Mikrotik navíc poskytuje bezproblémový chod za extrémních podmínek s minimální obsluhou.

Zařízení po špatných zkušenostech s dlouhými kabely a krádežemi umístíme přímo na stožár. Minimalizuje se tak ztráta na kabelech a díky uzavřenému přístupu na střechy domů se snižuje i možnost krádeže.

4.4 Výběr vhodných antén

V silně zarušeném prostředí je nutné počítat s kvalitními anténami jak pro obslužení koncových zařízení, tak pro propojení do zbytku sítě. PSV antén se musí blížit co nejvíce hodnotě 1, směrovější antény budou přijímat méně ruchů z okolních sítí.

Při nasazení nové antény je nutné brát na zřetel použité frekvence v okolí. Vysílače ve 2.4 GHz pásmu by od sebe měly být vzdálené alespoň 4 kanály, u 5 GHz technologie stačí zajistit alespoň vedlejší kanál.

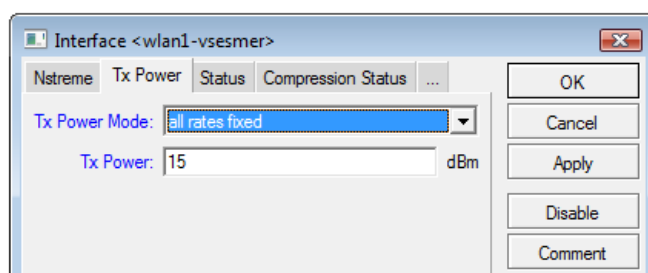
V praxi je řešení rušivých frekvencí nejčastější servisní zásah. Věnujme tedy výběru vhodného kanálu dostatečnou pozornost.

4.5 Konfigurace zařízení

Důležitou podmínkou pro provoz venkovních bezlicenčních bezdrátových sítí v pásmu 2.4, 5 a 10 GHz je dodržení maximálních vyzářených výkonů ($100 \text{ mW} = 20 \text{ dBm}$). Potřebné nastavení lze jednoduše vypočítat:

$$\text{výkon karty} + \text{zisk antény} - \text{ztráty na vedení} \leq 20$$

S běžným výkonem karty 17 dBm, při použití antény s 10 dB ziskem a ztrátou na kabeláži 5 dB je tedy nutné snížit výkon ze 17 na 15 dBm.



Obrázek 17 - Nastavení výkonu u Routerboardů

4.6 Centrální systém

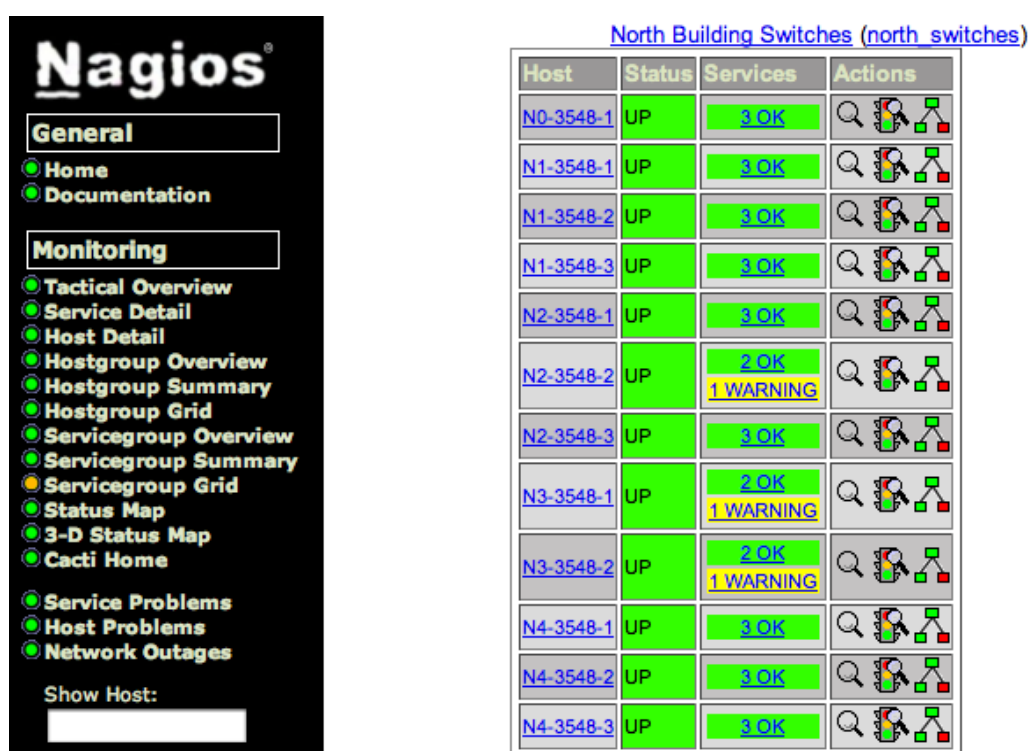
V začátcích budování naší sítě jsme netušili, jak moc bude v budoucnu potřeba centrální správa všech přístupových bodů a připojených stanic.

Pokud tedy budeme chtít mít se sítí co nejméně starostí, je výhodně investovat prostředky do centrálního systému. Ten se nám bude starat o rozumné přidělování IP adres přes DHCP, zobrazování úvodní informativní stránky po připojení na vysílač, každému nově připojenému přiřadí DNS záznam, ale může i omezovat šířku pásma jednotlivým připojeným zařízením.

o vytíženosti procesorů a bezdrátových linek. V případě výpadku zašle emailovou zprávu nebo SMS na zvolenou adresu či mobilní telefon.

Mnohokrát se tento systém osvědčil a nahlásil nedostupnost přístupového bodu při výpadku proudu nebo otočení antény velkým větrem.

Ačkoliv je The Dude velice názorný systém, pro nasazení v profesionální sféře prokázal nedostatečnou stabilitu a možnosti konfigurace. Velcí poskytovatelé internetu proto používají specializované balíky softwaru. Jedním kvalitním, ale stále bezplatným řešením je systém Nagios.



The screenshot shows the Nagios web interface. On the left is a sidebar menu with sections: General (Home, Documentation) and Monitoring (Tactical Overview, Service Detail, Host Detail, Hostgroup Overview, Hostgroup Summary, Hostgroup Grid, Servicegroup Overview, Servicegroup Summary, Servicegroup Grid, Status Map, 3-D Status Map, Cacti Home, Service Problems, Host Problems, Network Outages). Below the menu is a 'Show Host:' input field. The main content area displays a table titled 'North Building Switches (north_switches)' with columns: Host, Status, Services, and Actions. The table lists 16 hosts, all with a status of 'UP'. The 'Services' column shows the number of OK and WARNING services for each host.

Host	Status	Services	Actions
N0-3548-1	UP	3 OK	[Icons]
N1-3548-1	UP	3 OK	[Icons]
N1-3548-2	UP	3 OK	[Icons]
N1-3548-3	UP	3 OK	[Icons]
N2-3548-1	UP	3 OK	[Icons]
N2-3548-2	UP	2 OK 1 WARNING	[Icons]
N2-3548-3	UP	3 OK	[Icons]
N3-3548-1	UP	2 OK 1 WARNING	[Icons]
N3-3548-2	UP	2 OK 1 WARNING	[Icons]
N4-3548-1	UP	3 OK	[Icons]
N4-3548-2	UP	3 OK	[Icons]
N4-3548-3	UP	3 OK	[Icons]

Obrázek 19 - Výřez úvodního okna Nagiosu

Přes webové rozhraní dokáže na Unix stroji kontrolovat běžící služby tisíců počítačů zároveň, služby, které jsou

diagnostikovány jako nefunkční, dokáže na dálku restartovat. Umožňuje i napojení na SMS a VoIP bránu. Důležitou vlastností je i generování rozsáhlých statistik.

Nastat mohou i jiné, těžko diagnostikovatelné problémy. Většinou je možné se setkat s rušením z nového sousedského vysílače nebo klientské stanice. V takovém případě je nezbytné znovu zmapovat frekvenční okolí vysílače a zvolit nejlepší možný kanál. Vše je možné zařídit vzdáleně bez nutnosti přímého přístupu k zařízení. Většina klientských zařízení si se změnou kanálu hravě poradí a během několika málo vteřin se znovu připojí.

Ukázalo se, že je velmi důležité věnovat pozornost kvalitnímu provedení samotné instalace. Anténní systém je potřeba dostatečně zajistit proti otočení větrem, v případě potřeby lankem napevno přichytit, kabely pevně přichytit stahovací páskou ke stožáru, osadit vhodnou přepěťovou ochranou a konektory vodotěsně zaizolovat speciální vulkanizační páskou. Pokud člověk při instalaci zařízení provede vše správně, není třeba se o vysílač starat po celý rok.

4.8 Výsledek práce

Přístupový bod na konci naší práce pak může vypadat vcelku profesionálně. Díky použití síťových antén a ne plných parabol si leckdo takového vysílače ani nevšimne. To se hodí v případě budování na střeších panelových domů, kde se o probíhající práci zajímá každý společný vlastník.



Obrázek 20 - Výsledný Access Point

Na obrázku je vysílač s několika směrovými retranslačními anténami, přes které v dnešní době proudí data od cca 250 klientských zařízení. Všesměrová anténa, která se nevešla do záběru, byla po měsíci vyměněna za 2 sektorové antény, umožňující připojení dalších 40 koncových stanic.

5 Přínosy bakalářské práce

Tato práce si nečiní nárok být vyčerpávající odbornou příručkou na téma wifi - vzhledem ke svému rozsahu ani nemůže být. Jejím cílem je podat ucelený přehled o bezdrátových sítích a o technologiích, které jsou dostupné k jejich budování.

Práce nastiňuje problémy, které musejí zájemci o vybudování bezdrátové sítě wifi řešit. Měla by přispět k jejich orientaci v základních pojmech, pomoci jim seznámit se s použitím příslušného hardwaru i softwaru a nastínit technické, technologické i ekonomické překážky, které při tvorbě vlastní sítě budou muset překonávat. Text není určen čtenářům, kteří dosud o technologii wifi nikdy neslyšeli a nyní o ní chtějí získat první poznatky. Vyžaduje od nich již určitý stupeň znalostí problematiky, protože se dá předpokládat, že právě takoví začínající techničtí nadšenci postupně docházejí k rozhodnutí pustit se do budování vlastní sítě. Tato práce by jim měla vstup do světa wifi usnadnit a vyhnout se nutnosti potýkat se s obtížemi, které už v minulosti mnohokrát řešili jejich předchůdci.

Pro zjednodušení orientace a zachování potřebné posloupnosti byla práce rozčleněna do teoretické a praktické části. V první z nich čtenář získá základní přehled o pojmech, s nimiž se bude v praxi neustále setkávat a jejichž osvojení je proto nezbytnou podmínkou úspěšného pokusu o zřízení vlastní sítě. Praktická část potom přináší poznatky nashromážděné při budování již existující a fungující sítě; právě tyto konkrétní zkušenosti přispějí ke zjednodušení a zrychlení jeho práce na vlastní bezdrátové síti.

Při dodržení těchto doporučení je možné snížit náklady na realizaci i pozdější údržbu.

6 Závěr

Bezdrátové sítě se stále ještě rozvíjejí, uživatelé je s nadšením přijímají a výrobci se předhánějí v nabídce příslušných technologií. Bude ale tento trend pokračovat i v dalších letech? Jsou bezdrátové sítě opravdu budoucností počítačových technologií? Takové tvrzení si asi s naprostou jistotou nemůžeme dovolit vyslovit.

Stejně jako každá technologie i bezdrátové sítě totiž v praxi narážejí na mnohá omezení. Největší překážkou současnosti je zřejmě nedostatečná kapacita přenosu dat, protože bezdrátové sítě se nemohou rychlostí rovnat sítím kabelovým. Moderní optické spoje navíc začínají zaplňovat i bílá místa na mapách pokrytí internetem a nejsme možná daleko od chvíle, kdy jistotu připojení do počítačové sítě s dostatečnou kapacitou bude poskytovat každý dům. Pokud bezdrátové sítě nepřijdou s nějakou převratnou technologií, v takové konkurenci mohou těžko obstát.

Zaniknou potom bezdrátové sítě? Domnívám se, že v nějaké formě bude praktické je provozovat i nadále. Nejspíš jen ztratí dnešní průkopnické postavení a budou si vedle silnějších a rychlejších konkurentů muset hledat specializovanější uplatnění. Tím může být budování vnitřních podnikových a domácích sítí, které umožňují operativní připojování notebooků doslova na každém kroku. Těžko nahraditelné budou bezdrátové sítě také ve městech - připojení v parcích, kavárnách či městské hromadné dopravě využívá k práci či zábavě stále více lidí, kteří se svých zvyků nebudou chtít vzdát.

7 Seznam zdrojů

- Internetové zdroje

- [1] Green Line Communication technology [on-line], © 2008, URL:
http://www.glct.ir/index.php?option=com_content&task=view&id=5&Itemid=6
- [2] Fresnelova zóna [on-line], © 2008, URL:
http://www.zcomax.cz/Fresnelova_zona.aspx
- [4] Westerly Public Library - Wilcox Park [on-line], © 2008,
URL: www.westerlylibrary.org
- [5] D-Nexus Online-Shop [on-line], © 1997-2008 URL:
http://shoponline.com.sg/product_info.php/manufacturers_id/11/products_id/46
- [6] Xcomputer internetový obchod [on-line], © 2002-2005, URL:
<http://www.xcomputer.cz/ovislink-wl-5460ap-wifi-klient-access-point-repeater-bridge-802-11g-54mbps-d56554.htm>
- [7] GigaBeam profesionální bezdrátové řešení [on-line], © 2008,
URL: <http://www.zcomax.cz/Gigabeamnovinka.aspx>
- [8] Kaiser Data - Pojítka Ericsson MiniLink [on-line], © 2003,
URL: <http://www.bezdratove-telekomunikace.cz/index.php?showid=46&typ=KAC>
- [9] Internet na gigahertzoch - Inet.sk [on-line], © 2001-2008,
URL: <http://www.inet.sk/clanok/1481/internet-na-gigaherzoch>
- [10] 5400 AP - přístupové AP Wifi ASPA.cz [on-line], © 2001-2006,
URL: <http://wifi.aspa.cz/zbozi.php?detail=55087>
- [11] Routerboard.com [on-line], © 2008, URL:
<http://www.routerboard.com>

- [12] AirLive Power over Ethernet - itek.cz [on-line], © 2005-2008, URL: <http://pc.itek.cz/lan-power-over-ethernet/NETO8949-AirLive-Power-over-Ethernet>
- [13] Mikrotik RouterOS - WR 304km [on-line], © 2000, 2002, 2005, 2007, URL: <http://forum.mikrotik.com/viewtopic.php?f=7&t=16548>
- [14] Anténa - Wikipedie [on-line], © 2008, URL: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Ant%C3%A9na>
- [15] NE WLAN DXT Computers - Směrová anténa [on-line], © 2004-2007, URL: <http://www.dxt.cz/?Mode=Sti&StiId=52514>
- [16] SENAIO International CO. LTD [on-line], © 2004-2007, URL: http://www.senao.com.tw/english/product/product_wireless01_outdoor.asp?tplid=02&tp2id=04
- [17] Sitkom - Wifi - voip [on-line], © 2008, URL: <http://wifishop.sitkom.cz/images/dmw10.jpg>
- [18] Začínáme s Wi-Fi (část. 1) - Linux Software [on-line], © 2003-2008, URL: http://www.linuxsoft.cz/article.php?id_article=107
- [20] Základní kámen každého fotáku - iDnes.cz [on-line], © 1998-2008, URL: http://technet.idnes.cz/zakladni-kamen-kazdeho-fotaku-jak-vznika-obraz-v-objektivu-pan-tec_foto.asp?c=A071025_103506_tec_foto_jlb
- [21] Trocha teorie o měření PSV CB antén [on-line], © 2004-2005, URL: <http://www.volny.cz/cb16/psv.htm>
- [22] Internet Service Provider Admin [on-line], © 2003-2007, URL: <http://www.ispadmin.cz/administrace-isp/co-je-ispadmin/>
- [23] Zkratová přepěťová ochrana PKO-N (2.4GHz) - i4wifi.cz [on-line], © 2008, URL: <http://www.i4wifi.cz/?cls=stoitem&stiid=24>

- Tištěné zdroje

[24] ZANDL, Patrick. Bezdrátové sítě Wi-Fi. Praktický průvodce. 1. vyd. Brno: Computer Press, 2003.

[25] BARKEN, L. Jak zabezpečit bezdrátovou síť Wi-Fi. 1. vyd. Brno: Computer Press, 2004.

[26] BRISBIN, S. Wi-Fi: Postavte si svou vlastní wi-fi síť. 1. vyd. Praha: Neocortex spol. s.r.o, 2003.

[27] KÖHRE, T. Stavíme si bezdrátovou síť Wi-fi. 1. vyd. Praha: Computer Press, 2004.

8 Seznam obrázků

Obrázek 1 - BreezNet SA-10D PRO.11	14
Obrázek 2 - Fresnelova zóna [2]	16
Obrázek 3 - Logo Wifi [4]	18
Obrázek 4 - Běžný amatérský přístupový bod [5]	20
Obrázek 5 - Ovislink WL-5460AP [6]	21
Obrázek 6 - Pojítka Ericsson Mini-Link E [9]	22
Obrázek 7 - Motorola Cluster Canopy 5.4GHz [10]	23
Obrázek 8 - Routerboard RB532A [11]	24
Obrázek 9 - POE injektor se zdrojem [12]	24
Obrázek 10 - Zasouvání miniPCI do slotu	25
Obrázek 11 - Konfigurační utilita Winbox	26
Obrázek 12 - Směrová síťová, yagi a všesměrová horizontální anténa [15] [16] [17]	27
Obrázek 13 - Vertikální vyzařovací diagram a 3D zobrazení	28
Obrázek 14 - Lineární, kruhová a eliptická polarizace [20] ...	29
Obrázek 15 - Zkratová „bleskojistka“ [23]	31
Obrázek 16 - Schematické pokrytí s p2p spojem	35
Obrázek 17 - Nastavení výkonu u Routerboardů	38
Obrázek 18 - The Dude (mapa)	39
Obrázek 19 - Výřez úvodního okna Nagiosu	40
Obrázek 20 - Výsledný Access Point	42

9 Seznam tabulek

Tabulka 1 - Maximální průměry první Fresnelovy zóny	17
Tabulka 2 - Vliv PSV na výkon vysílače	30