



Středoškolská technika 2010

Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT

Návrh antény Yagi pro WiFi v pásmu 2,4GHz

Petr Pospíšil

**Vyšší odborná škola a Střední škola slaboproudé elektrotechniky
Novovysočanská 48/280
190 00 Praha 9**



Obsah:

1. Úvod	3
2. Teorie antén v pásmu 2,4 GHz	4
2.1 Pásmo 2,4GHz.....	4
2.1.1 Přenosové kanály v pásmu 2,4GHz.....	5
2.2 Parametry antén.....	5
2.2.1 Směrovost antény.....	5
2.2.2 Zisk antény.....	5
2.2.3 Impedance.....	5
2.2.4 Šířka pásma.....	6
3. Bezdrátové WiFi sítě	7
3.1 Nejpoužívanější standardy.....	7
3.2 Princip WiFi.....	7
3.3 Různé Typy uspořádání.....	10
3.3.1 Ad-hoc.....	10
3.3.2 Infrastrukturní.....	11
4. Anténa Yagi	12
4.1 Jednotlivé prvky antény.....	13
4.2 Realizace Yagi.....	14
4.2.1 Výroba.....	15
4.2.2 Směrové charakteristiky.....	16
4.2.3 Využití a příklad použití.....	17
4.3 Obecné zásady pro návrh mikrovlnného spoje.....	19
5. Závěr	22

1. Úvod

Tato práce se zabývá realizací a analýzou antény Yagi. Navržený prvek bude mít využití především v rozvodech bezdrátových spojů.

První část je čistě teoretická a setkáme se v ní se základními parametry antén v pásmu 2,4GHz a principy bezdrátových sítí.

V části druhé se budeme věnovat samotné realizaci 10-ti prvkové Yagi, její analýze a příklady použití této antény.



Obr. 1: Anténa Yagi

2. Teorie antén v pásmu 2,4GHz

Zde jsou uvedeny především ty parametry, které jsou důležité pro návrh zadané antény.

2.1 Pásmo 2,4GHz

Pásmo 2,4GHz je povolené pásmo a pro jeho využívání nejsou definována zvláštní oprávnění. Rozmezí pásma je 2400 - 2483,5 MHz. V tomto pásmu je povolen maximální výkon vyzařování 100mW. Je to ovšem výkon, který nemůžeme měřit my, ale jsou na to přesné metody, které může provádět pouze pověřená osoba. Pásmo 2,4GHz je využito zejména pro WiFi přenosy. Pro menší spoje a rozvody konektivity například v domácnostech, firmách apod. Oproti pásmu 5GHz má menší maximální přenosovou rychlost, ale dle mých zjištěných informací má pásmo 2,4GHz mírně vyšší dosah a lepší propustnost signálu například zdi. Nevýhodou však je, že v jedné lokalitě lze v pásmu 2,4GHz použít pouze 3 vysílací kanály, aby nedošlo k překryvání signálů a následném rušení, oproti pásmu 5GHz, kde je možnost až 13-ti vysílacích kanálů. Pásmo 5GHz je novější technologie a proto můžeme očekávat, že se bude nadále rozvíjet a vylepšovat. Nevýhodou obou pásem je bohužel nekompatibilita, která znemožňuje vzájemnou synchronizaci obou pásem.

2.1.1 Přenosové kanály v pásmu 2,4GHz

Protože v pásmu 2,4GHz nepracují jenom WiFi zařízení, tak nastává problém přehlcení kanálu. Tento problém řeší licence povolených kanálů, kterých je 14. Avšak počet použitých kanálů se liší. Pro Ameriku a Kanadu je to 11 kanálů, pro Evropu 13 a pro Japonsko 14. Zde je tabulka povolených kanálů:

Kanál	Kmitočet(GHz)
1	2,412
2	2,417
3	2,422
4	2,427
5	2,432
6	2,437
7	2,442
8	2,447
9	2,452
10	2,457
11	2,462
12	2,467
13	2,472
14	2,484

Obr.2: Přehled používaných kanálů v pásmu 2,4GHz

2.2 Parametry antén

Nejdůležitější parametry pro naši Yagi anténu

2.2.1 Směrnost antény

Požadavek na směrnost antény vyplývá z toho, že v místě příjmu se zpravidla skládá přímý signál od vysílače se signály odraženými. Vzhledem k tomu, že dráha přímého signálu je kratší než dráha signálu odraženého, jsou signály v místě přijímací antény navzájem časově posunuty. Anténa, která přijímá signál z jednoho směru lépe než z jiných směrů, se nazývá směrová anténa. Použitím takové antény je možné vliv nežádoucího signálu podstatně omezit nebo ho úplně odstranit. Směrové vlastnosti antény se nejčastěji znázorňují diagramem poměrné směrnosti. V něm je graficky znázorněna velikost napětí na svorkách antény v závislosti na úhlu, pod kterým dopadá na anténu rovinná vlna s konstantní intenzitou. V rovině kolmé na dipól přijímá dipól všesměrově - směrový diagram je kružnice. V rovině dipólu záleží na úhlu, pod nímž vlna na dipól dopadá. Nejvyšší napětí na svorkách dipólu je, dopadá-li vlna kolmo na dipól. Přidáním dalších prvků k dipólu je možné směrový diagram výrazně ovlivnit a zlepšit směrnost antény. Směrový diagram se přitom rozpadne na hlavní lalok a na laloky postranní. Úhel a se nazývá třidecibelová šířka svazku. Mírou směrových vlastností je velikost úhlu v jehož rozsahu neklesne napětí na anténě o více než 3 dB (70,8 %, tj. 50 % pokles výkonu), tzv. třidecibelová šířka hlavního svazku. Jednotlivé laloky směrového diagramu jsou odděleny místy minimálního příjmu, kterým se říká směry nulového příjmu. Polohy takového směru lze využít při potlačení nežádoucího signálu. Potlačení nežádoucího signálu může být větší, je-li anténa k rušivému signálu směřována nulovým směrem i za cenu, že užitečný signál nedopadá ve směru hlavního maxima.

2.2.2 Zisk antény

Zisk antény udává, poměr vysílaného výkonu ku výkonu dodávanému na vstup antény zpravidla ve směru maxima vyzařování. Kdybychom například chtěli vést určitý datový tok na nějakou vzdálenost, museli bychom si vypočítat, jaký by musela mít anténa zisk, abychom tohot toku dosáhli a aby byl signál stabilní.

$$G(\vartheta, \varphi) = 4\pi \frac{U(\vartheta, \varphi)}{P_{vst}}$$

2.2.3 Impedance

Vstupní impedance antény je poměr napětí k proudu na svorkách antény. Velikost impedance je významná, neboť má vliv na přizpůsobení antény k napáječi, tzn. že pro max. přenos vysokofrekvenční energie z antény do přijímače je třeba zajistit, aby vlnová impedance antény byla stejná jako vlnová impedance přijímače. Impedance antény je obecně komplexní, skládá se z reálné části (činný odpor) a z imaginární části (jalových složek). Je-li např. dipól v rezonanci, má impedanci čistě reálnou; je-li dipól poněkud delší než $l/2$, má jalová složka indukční charakter; je-li dipól kratší než $l/2$, má jalová složka charakter kapacitní. Z požadavku přizpůsobení vyplývá, že je žádoucí, aby výsledná impedance antény byla čistě reálná. Ideální tenký půlvlnný dipól umístěný ve volném prostoru má impedanci

73,13 W . Volbou počtu vodičů, jejich vzdálenosti a poměrem jejich tloušťek lze měnit vstupní impedanci dipólu v širokých mezích. Častěji než údaj o impedanci antény se udává činitel stojatého vlnění s (sigma) při spojení antény s vedením se standardní impedancí. Přijatelná hodnota je $a < 1,5$; větší hodnoty mají za následek zejména zmenšení zisku antény.

2.2.4 Šířka pásma

Pojem šířka pásma udává, na jakém rozsahu frekvencí vykazuje anténa např. $|S_{11}| < -10\text{dB}$. Udává v jakých frekvencích může anténa pracovat s určitým ziskem, aby se její vlastnosti podstatně nezměnily. (v jakých kanálech může pracovat)

3. Bezdrátové WiFi sítě

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

3.1 Nejpoužívanější standardy

IEEE 802.11b:

-kmitočtové pásmo: 2 400 - 2483,5 Mhz (v ČR)

-použitá modulace: HR/DSSS (High Rate DSSS - přímá sekvence o vysoké rychlosti), PBCC (pro rychlost 22Mb/s)

-dosahované rychlosti: 1, 2, 5,5, 11 Mb/s; 22 Mb/s (není ve standardu, rozšíření firem jako D-Link, apod.)

-vysílací výkon: upravuje generální licence ČTÚ, je stanoven na maximální ekvivalentní izotropicky vyzářený výkon 100 mW

-dosah: liší se v závislosti na použitém zařízení/anténě/térenu/zarušenosti prostředí/rychlosti přenosu a dalších faktorech. Maximálně lze v příhodných podmínkách dosáhnout spoje na vzdálenost kolem 10km.

IEEE 802.11g:

-kmitočtové pásmo: 2 400 - 2483,5 Mhz (v ČR)

-použitá modulace: OFDM

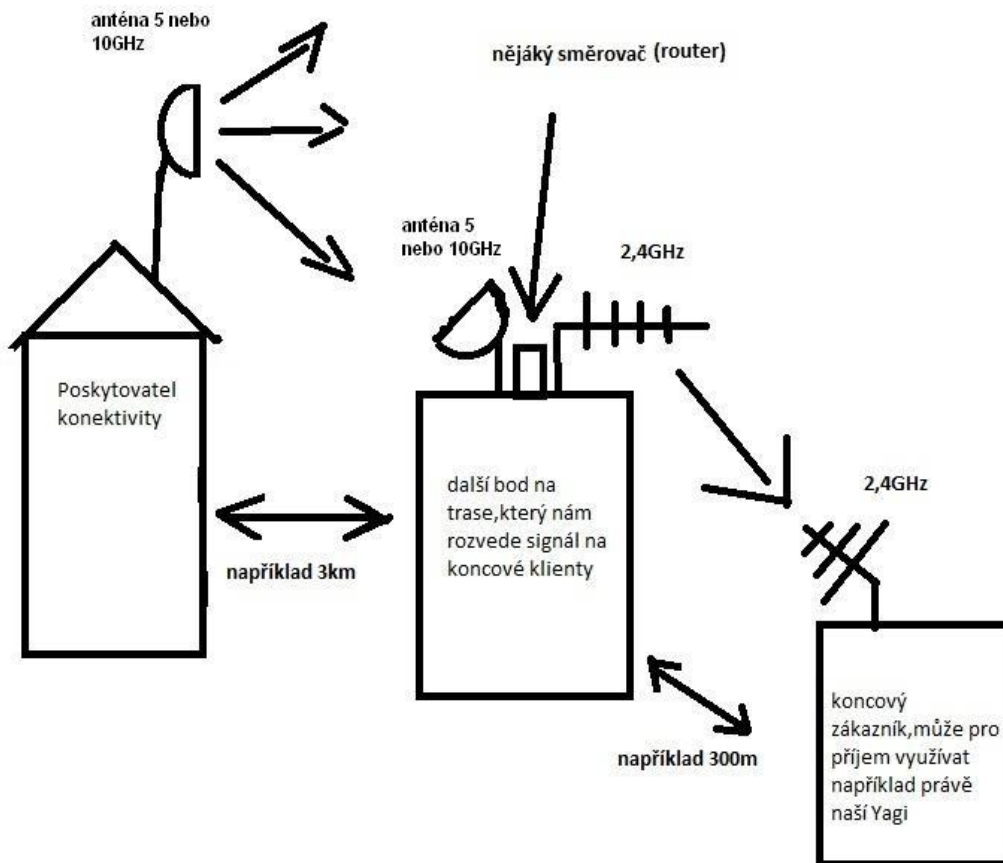
-dosahované rychlosti: 1, 2, 5.5, 6, 9, 11, 12, 18, 24, 36, 48, 54 Mb/s; 108Mb/s (není ve standardu, rozšíření taktéž od D-Link)

-vysílací výkon: vzhledem k práci ve stejném pásmu je upraven stejnou generální licencí ČTÚ jako pro IEEE 802.11b

-dosah: je mírně větší nebo stejný jako u 802.11b, avšak na hranici dosahu již rychlost klesá více než u "b" zařízení

3.2 Princip WiFi

Jako první věc, kterou je potřeba si uvědomit je především umístění naší bezdrátové sítě. Chceme-li například připojení k internetu od nějaké společnosti a tato společnost rozvádí konektivitu právě technologií WiFi. V tomto případě bude tato společnost mít své vysílací body, ze kterých bude vysílat signál na další body a z těch například ke koncovému zákazníkovi. Jednoduché zobrazení je vidět na následujícím obrázku:



Obr. 3: Schéma znázorňující základní princip fungování WiFi sítí

Zde je princip tzv. velkých spojů. Z páteřní sítě (tj. od poskytovatele) je signál vyslán velkými anténami, které mají dosah i několik kilometrů. Ke koncovým zákazníkům stačí anténa s dosahem pár set kilometrů a proto můžeme použít naši anténu Yagi, která pracuje v pásmu 2,4GHz. Anténa 10GHz vypadá například takto:



Obr. 4: Anténa pracující v pásmu 10GHz

Anténa v pásmu 5GHz například takto:

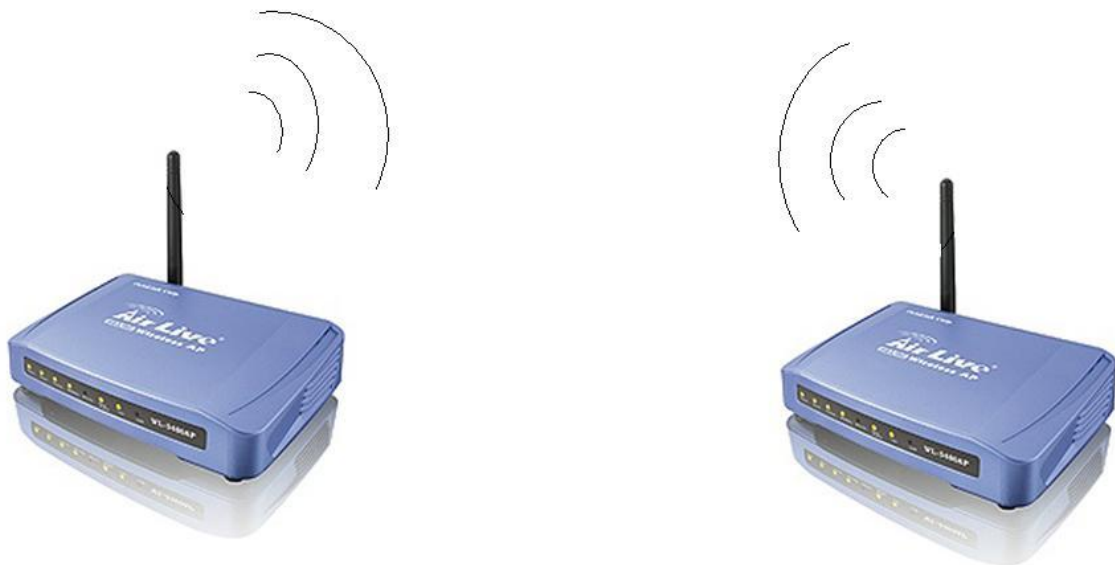


Obr. 5: Anténa pracující v pásmu 5GHz

3.3 Různé typy uspořádání

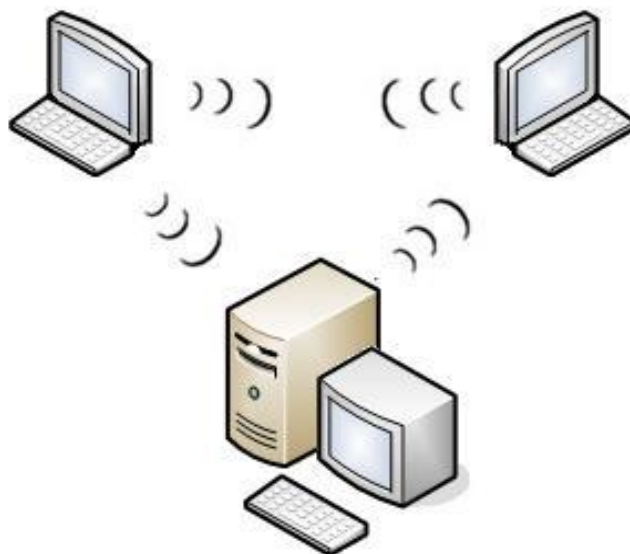
3.3.1 Ad-hoc

V pásmu 2,4GHz můžeme vytvořit více typů sítí. Můžeme například propojit dva koncové klienty a vytvořit síť pouze mezi nimi. Tomuto uspořádání říkáme **Ad-hoc**. Zde je možno mít buďto dvě síťové jednotky, které tuto funkci podporují, například dva multifunkční routery:



Obr. 6: Uspořádání Ad-hoc mezi dvěma routery

Nebo více počítačů s WLAN síťovou kartou:



Obr. 7: Uspořádání Ad-hoc s různými druhy klientů

Klasické stolní počítače(desktop) nemývají integrovanou WLAN kartu a proto jej můžeme jednoduše doplnit externím WLAN zařízením například pomocí rozhraní USB:

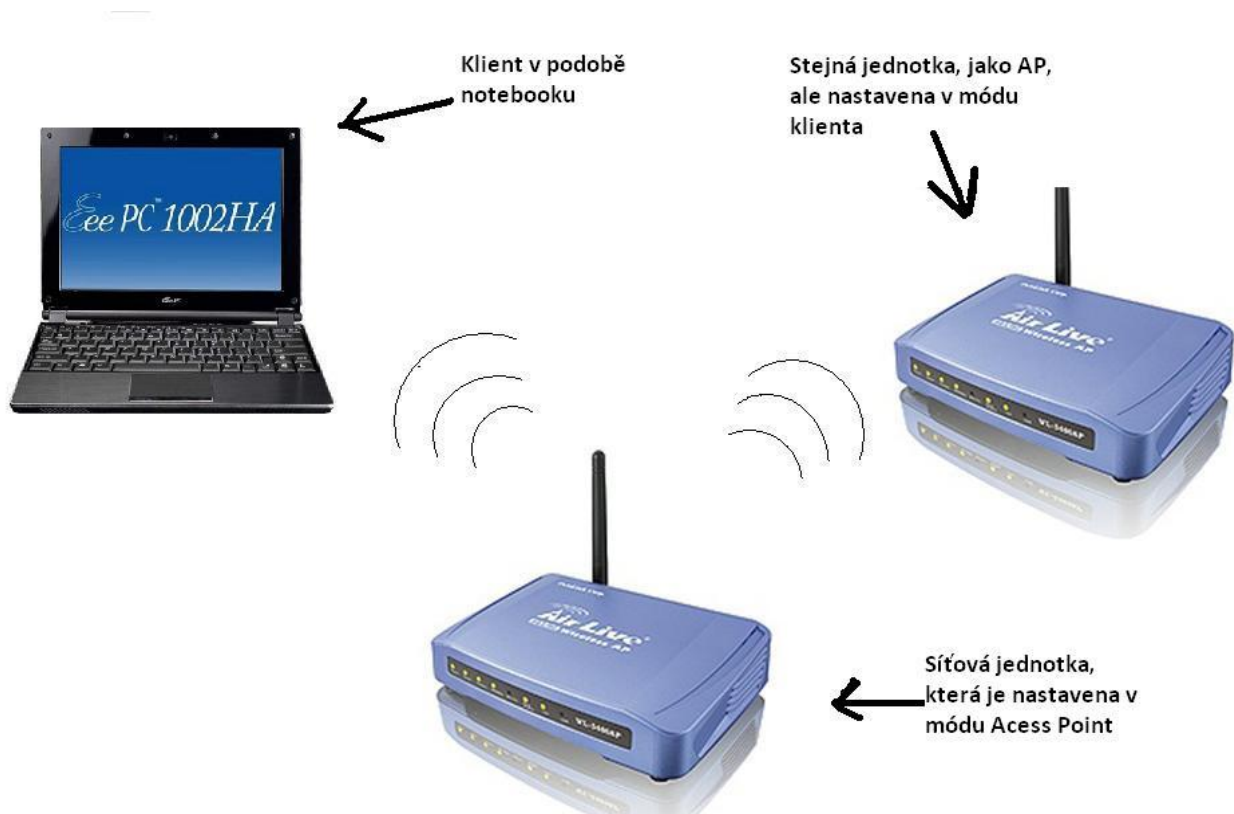


Obr. 8: Externí USB WiFi přijímač

Uspořádání Ad-hoc nejčastěji využíváme v sítích LAN, například pro zasílání domácnosti ať už pro hraní her, sdílení souborů či jen sdílení připojení k síti internet.

3.3.2 Infrastrukturní

U tohoto typu máme nějaký multifunkční router, který je přepnut do režimu AP (Access point) a ten funguje jako takový MASTER. Má vlastní SSID (název, který vidíme, pokud hledáme WiFi hotspoty). Na AP se nám napojují klienti, kteří fungují jako SLAVE. AP nemusí být pouze jedno zařízení, pokud chceme, můžeme pomocí funkce BRIDGE spojit dva přístupové body, což nám rozšíří rozsah vyílaného signálu, ale jelikož u této funkce zůstane SSID sdílené, tak si klient ani nemusí všimnout, ke kterému AP se přesně připojuje. U této funkce je výhoda, že AP si mezi sebou předávají klienta podle toho, jak chytá signál, což značně urychluje průběh sítě. SLAVE neboli klient může být například notebook, či jiné zařízení s možností bezdrátového spojení. Princip je dobře viditelný na tomto obrázku:



Obr. 9: Infrastrukturní uspořádání

Využití může být opět v domácnostech, kdy si do našeho vlastního AP zapojíme konektivitu z modemu kabelem do portu WAN a dále rozesíláme signál bezdrátově. S tímto uspořádáním se můžeme také například setkat v nákupních střediscích, kdy provozovatelé středisek nabízí nakupujícím zákazníkům přístup k internetu, kdykoli to budou potřebovat.

4. Anténa Yagi

V této kapitole se budeme zabývat samotnou anténou Yagi v pásmu 2,4GHz. Protože se jedná o anténu směrovou, tak její využití bude především u propojení více síťových bodů (přenáší konektivitu na větší vzdálenosti). Anténa Yagi je využívána pro svojí jednoduchost a spolehlivost od roku 1926, nejčastěji pro přenos VKV. Anténu Yagi navrhli vědci Hidetsugu Yagi a jeho společník Dr. Shintaro Uta.



Obr. 10: Dr, Hidetsugu Yagi

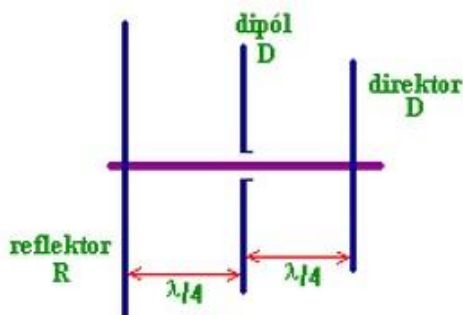
4.1 Jednotlivé prvky antény

Nejdůležitější prvky jsou direktor, reflektor a dipól:

Dipól (Zářič) – Je tvořen nejčastěji půlvlnným dipólem, jelikož má větší impedanci, než dipól jednoduchý. Vytvořením skládaného dipólu tedy zvětšíme impedanci naší antény.

Reflektor – Reflektor je umístěn za dipólem jako poslední prvek. Jeho úkolem je soustřeďovat energii vyzařovanou zářičem směrem k direktorům (do směru vysílání). U přijímací antény slouží reflektor jako jakési „zrcadlo“. Zachytává energii, kterou nezachytil zářič a tím zvyšuje její zisk.

Direktory – Umožňují vznik vlny vedené podél antény. Tím zvětší oblast, ze které může energie přejít do napáječe a tedy i efektivní plocha (zvýší se zisk). Direktor funguje v podstatě, jako dipól, ovšem s jako zkratovanými svorkami. Energie prochází jednotlivými direktory, a na konci se odrazí. Rozměry a počet direktorů mají vliv na směrové vlastnosti antény. Nejdůležitější direktor nazýváme *kompensační direktor*. Má největší vliv na výslednou impedanci zátěže, proto jeho uspořádáním můžeme ovlivňovat vliv ostatních prvků na jeho impedanci.

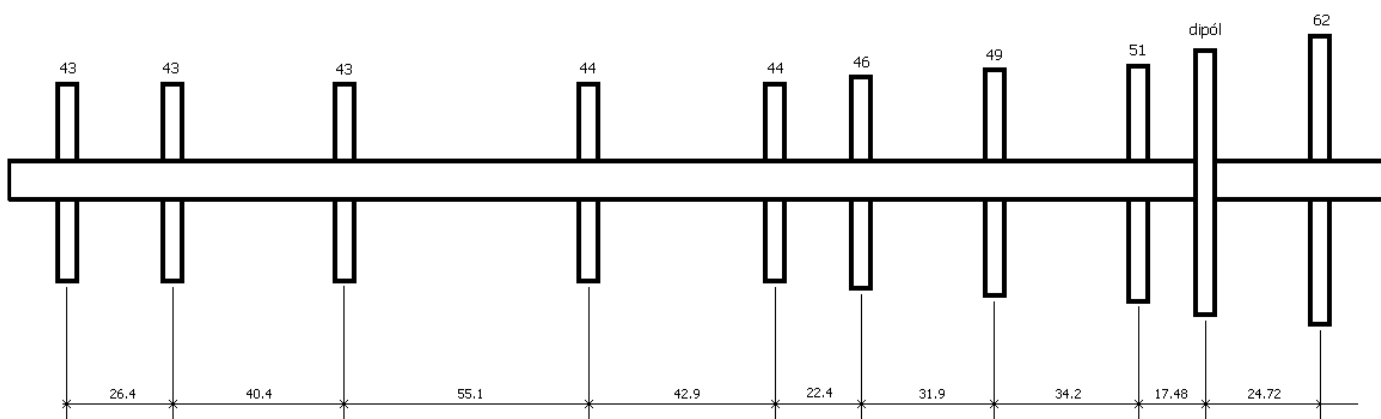


Obr. 11: Základní rozestavení prvků antény

Na dipól je připojen VF napáječ, proto dipólu také říkáme zářič. Reflektor je část, která bývá o 5-7% delší, než dipól. Direktor se nastavuje do dopadu elektromagnetických vln. Činnost těchto prvků spočívá v tom, že zachycují značnou část energie vyzářené vlastní zařízením. Tu spojí s energií přijatou z dopadu elektromagnetických vln. Pasivní prvek je vždy spojen rovnoběžně se zářičem a je v tzv. rovině příjmu. Důraz klademe na to, aby se nerušila energie vyzářená a přijatá. Čím více pasivních prvků anténa má, tím lepší budou její vlastnosti (Rozhodující vliv na zisk antény je její délka, avšak platí, že od jisté délky antény již zvětšování zisku nevyváží komplikace plynoucí z jejího dalšího prodlužování). Nejlepší příjem je ze směru, kam míří direktory. Nejčastěji využíváme díky vlastnostem Yagi pro příjem VKV a UKV. Anténa Yagi se dá kombinovat do patričních soustav či jiných zapojení. V naší práci si uvedeme využití v sítích WiFi.

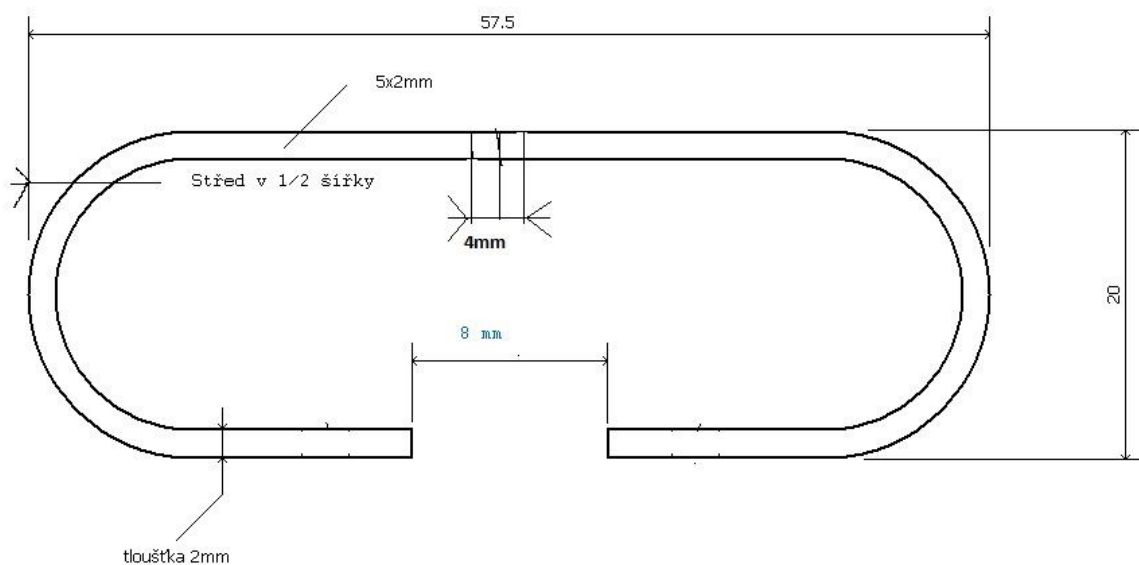
4.2 Realizace Yagi

Pro realizaci jsem si vybral 10-ti prvkovou anténu Yagi. Tato anténa má zisk 12dB. Návrh antény je vidět na tomto obrázku:



Obr. 12: Návrh antény

Takto vypadá dipól:



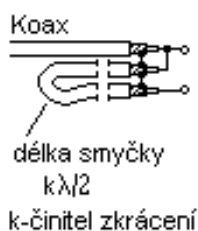
Obr. 13: Elektromagnetický dipól neboli zářič

Pro výrobu jsem využil následující materiál:

- hliníkový jelek dlouhý 0,5m, široký 15mm
- hliníkové prvky sloužící jako direktory, průměr 6mm
- měděný pásek dlouhý 15cm, široký 20mm a tlustý 3mm
- 1m kabelu RG-58 s impedancí 50Ω

4.2.1 Výroba

Na hliníkový jelek jsem si označil a vydulčikoval body, které jsem poté vyvrtal vrtákem 5,5mm. Otvory jsem postupně zlehka rozšiřoval tak, aby nám do nich pasovaly direktory, ale zároveň, aby v konstrukci nebyly volně. Po zavedení direktorů do antény jsem si na nich vyznačil požadovanou velikost a poté zkrátil frézou. Do jeleku jsem vyvrtal další díru, sloužící k upevnění dipólu. Tato díra však byla vrtána vrtákem průměru 4mm. Dipól jsem vyráběl z měděného pásku, který jsem musel zkrátit a zohýbat do požadovaných tvarů. Vyvrtal jsem díru 4mm a pomocí samořezného šroubu jsem dipól připevnil k anténě. Nyní bylo zapotřebí si vyrobit symetrizační člen:



Obr. 14: Symetrizační člen

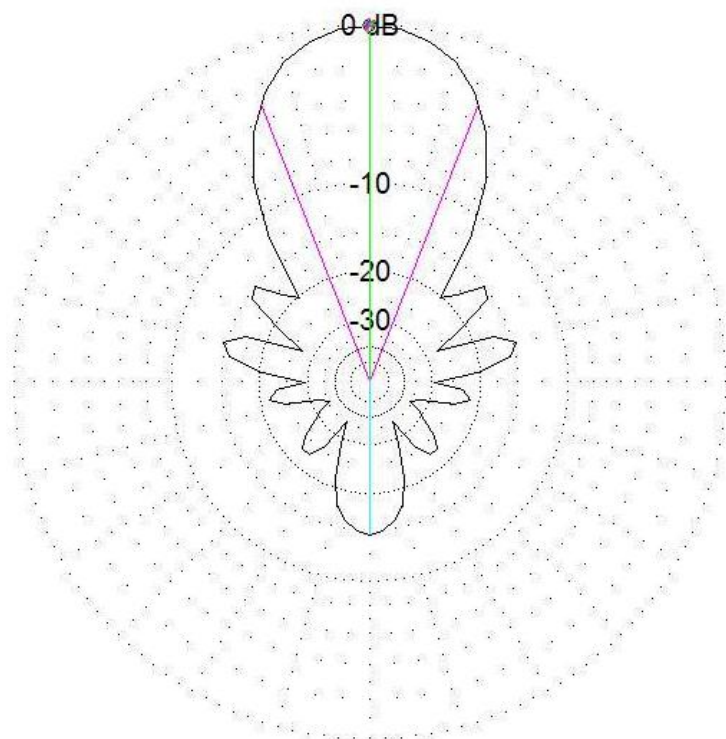
K výrobě posloužil kabel RG-58. Na jedné straně kabelu jsem uřízl koncovku a odřízl asi 10cm kabelu. Konce tohoto kabelu jsem odizoloval a spojil, propájel se zbytkem kabelu a

symetrizační člen byl hotov. Symetrizační člen jsem poté připájel k dipólu. Anténa vypadá takto:

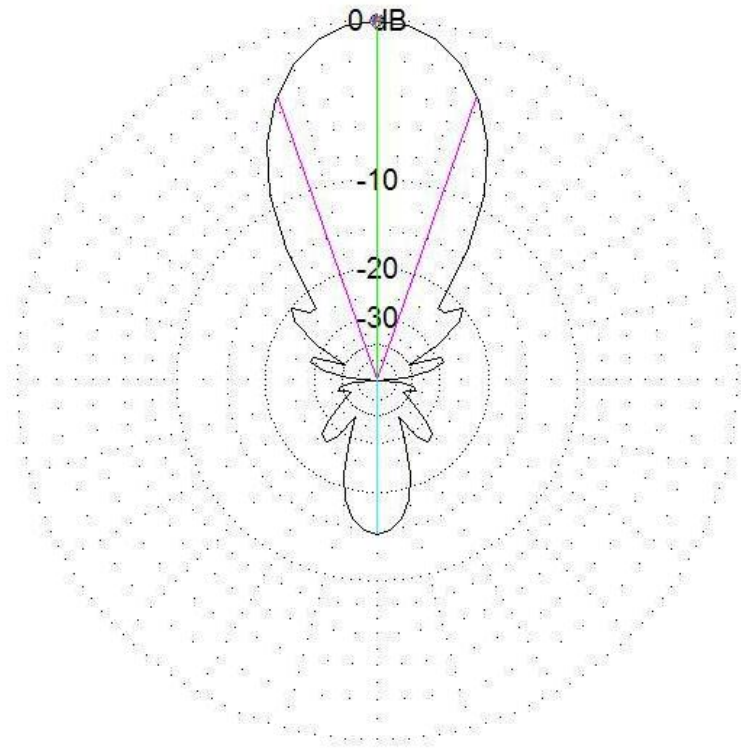


Obr. 15: Finální podoba antény

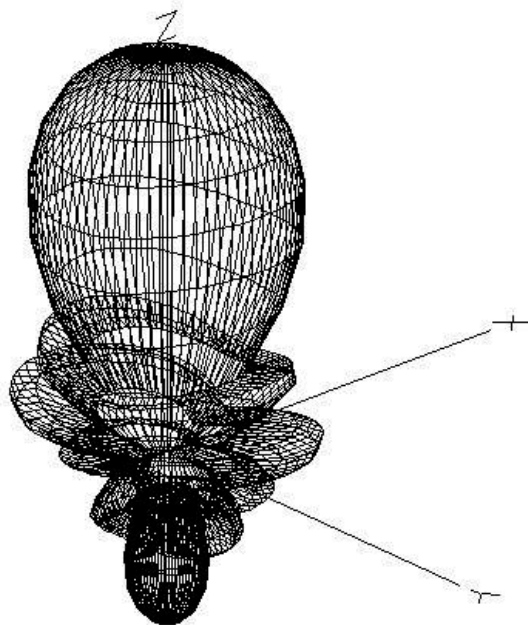
4.2.2 Směrové charakteristiky



Obr. 15: Horizontální charakteristiky



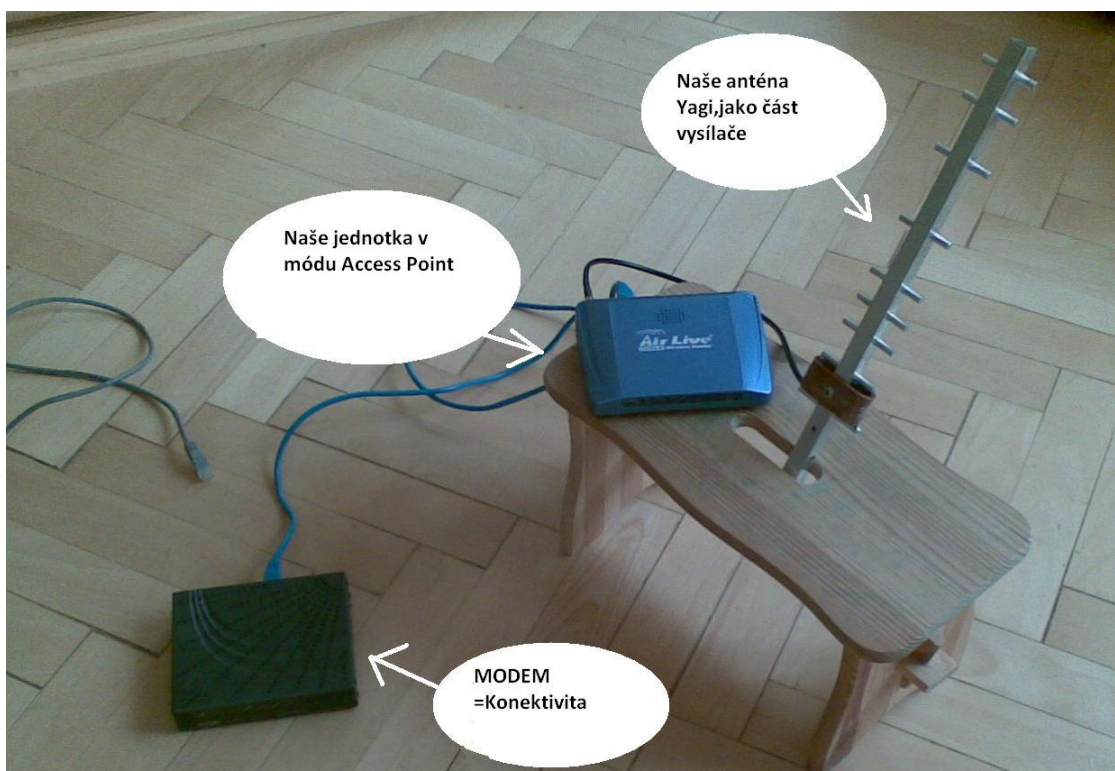
Obr. 16: Vertikální charakteristiky



Obr. 17: Obě charakteristiky ve 3D pohledu

4.2.3 Využití a příklad použití

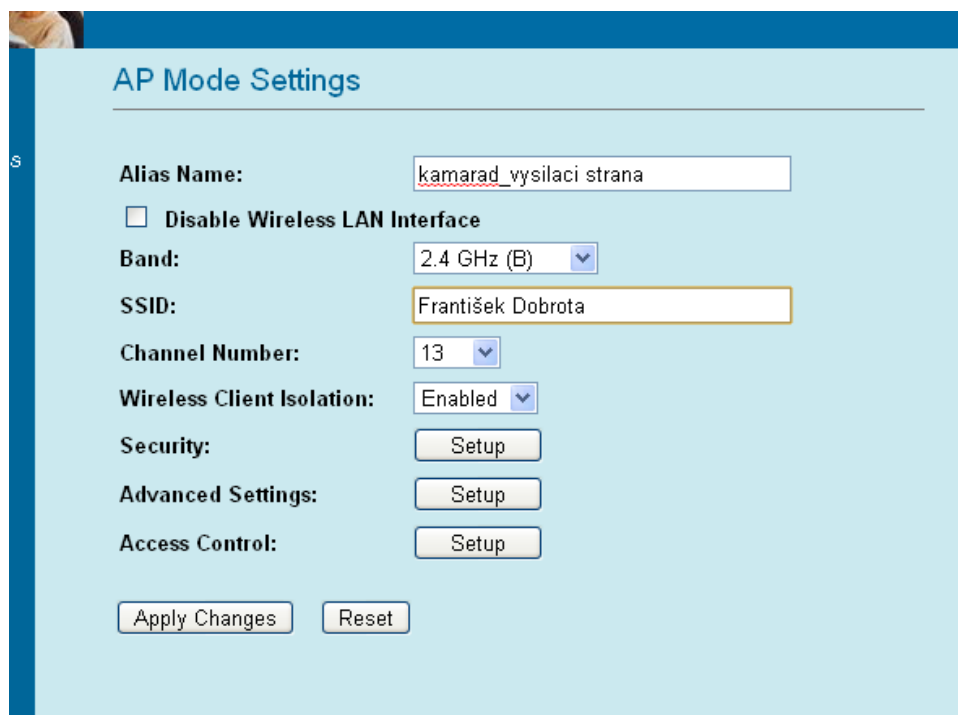
Jak již bylo zmíněno, jedná se o anténu směrovou, tedy o anténu, která musí být namířena na přijímací nebo vysílací stranu. Představme si, že bydlíme kousek za městem, ale v místě, kde není možnost připojení k internetu ani bezdrátově a ani optickými kabely. Máte kamaráda, který bydlí na okraji města a vyskytuje se v zóně, kde má připojení k internetu například přes ADSL modem. Má stolní PC a konektivita mu je do počítače přiváděna kabelem. Naštěstí zjistíme, že kamarád bydlí nedaleko od vás a když si vlezeme na střechu našeho domu, tak vidíme přímou čarou volný prostor a v dáli dům našeho kamaráda. Jelikož jsme technici, tak nám již situace napovídá, že můžeme náš problém velice snadno vyřešit. Domluvíme se tedy s kamarádem, jestli by vám za určitou finanční částku nemohl poskytnout přístup k internetu. Nyní si tedy pořídíme 2 jednotky a 2 antény Yagi. První jednotku si pořídíme takovou, aby měla možnost pracovat v režimu AP. Tu druhou v režimu CLIENT. První jednotku (AP) umístíme ke kamarádovi domu a zapojíme do ní kabel, který nám vedl z modemu přímo do PC. Kabel zapojíme do portu s názvem WAN. Tento port přijímá kabelově konektivitu od modemu.



Obr. 18: Anténa jako vysílač

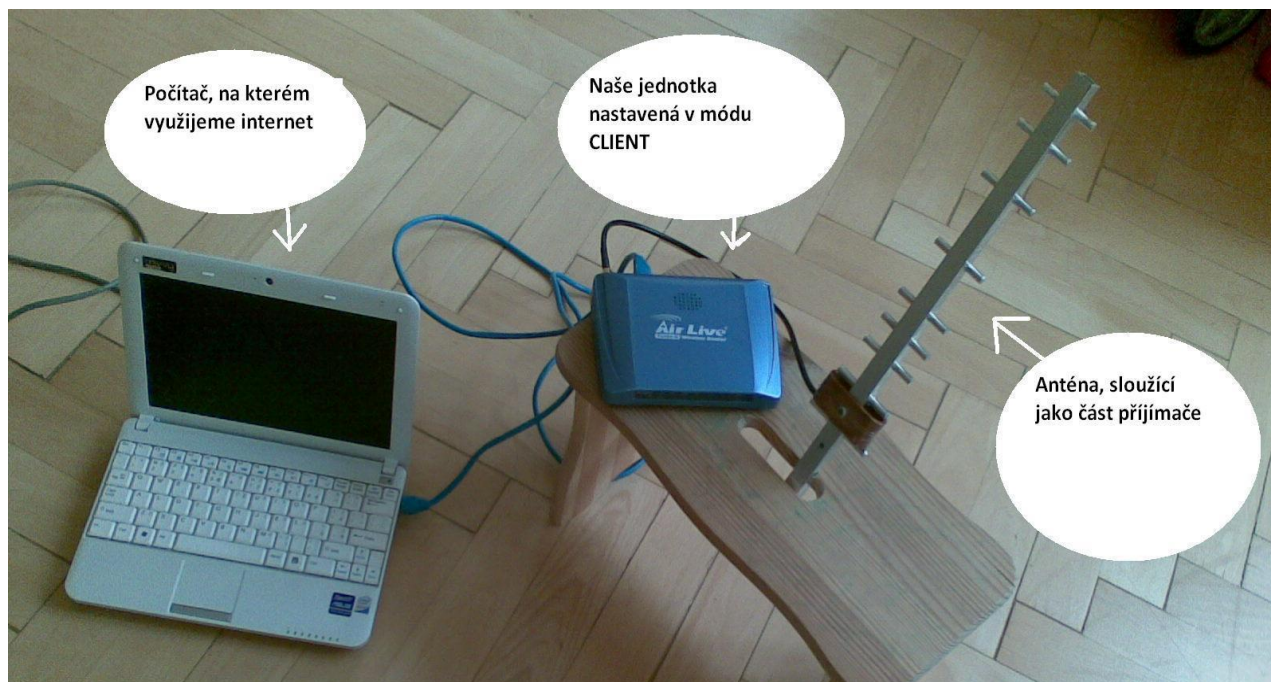
Naše AP nastavíme tak, aby mu byla přidělována IP adresa dynamicky, protože poskytovatel internetového připojení nám většinou pevnou adresu nedává, ale přiděluje nám ho jím nastavený DHCP server.

AP nastavíme podle svých představ:



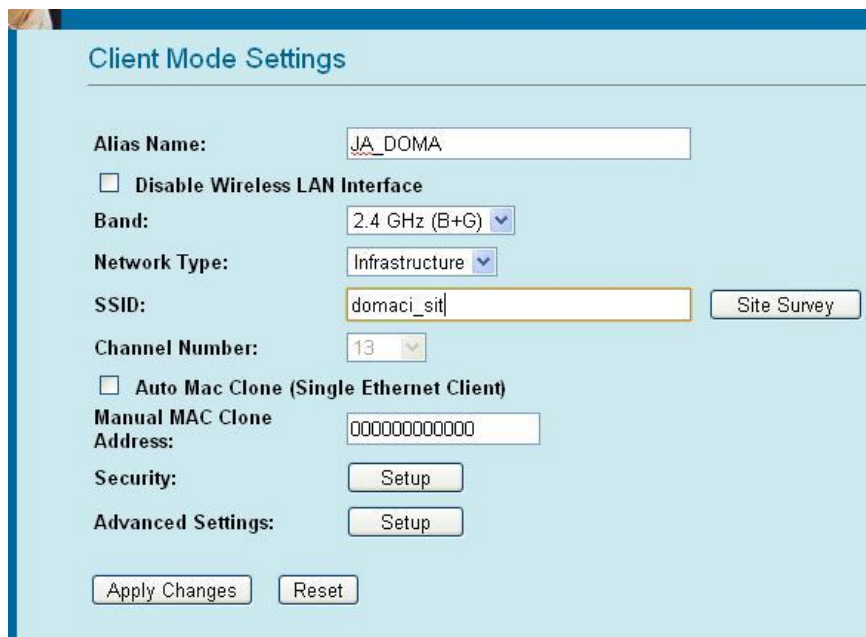
Obr. 19: Konfigurace AP

Vše potvrdíme, připojíme k jednotce první Yagi anténu a máme vysílač bezdrátového internetu. Nyní musíme udělat přijímač. Druhou jednotku připojíme například k notebooku či stolnímu PC. Do jednotky zapojíme druhou Yagi anténu.



Obr. 20: Anténa jako přijímač

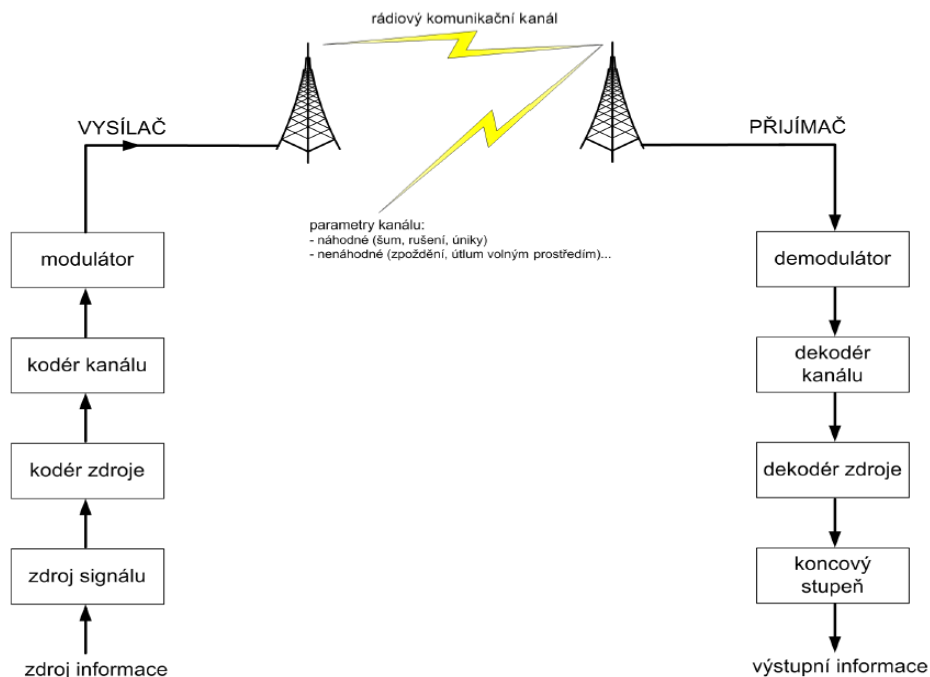
A ještě nastavíme jednotku tak, aby fungovala jako klient:



Obr. 21: Konfigurace klienta

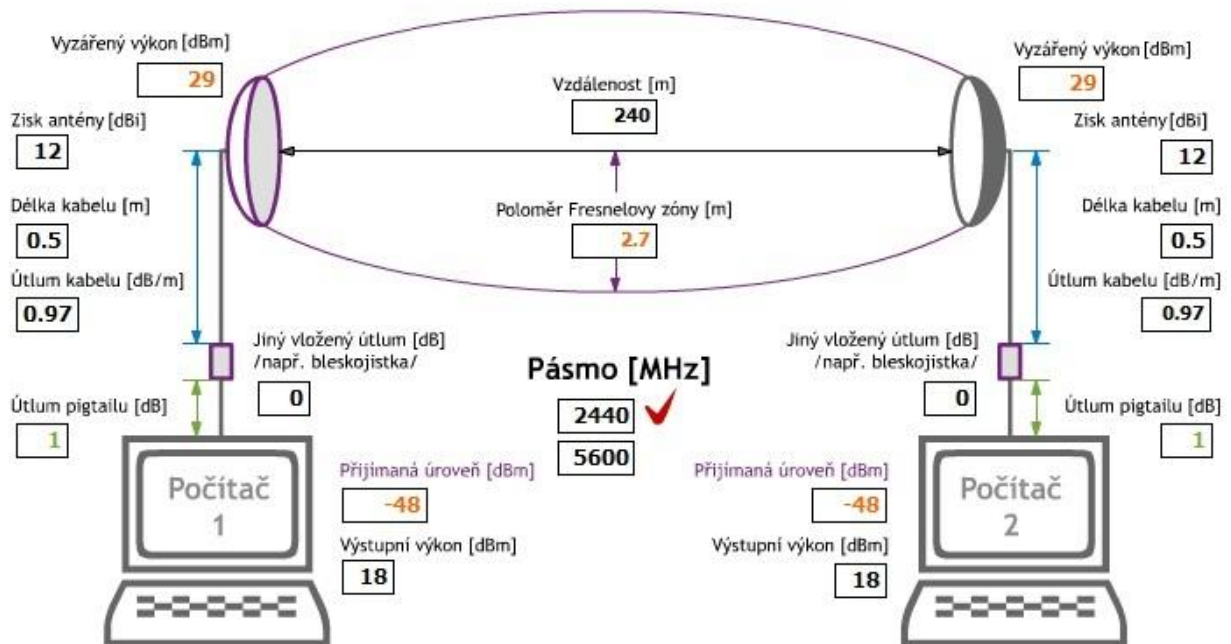
4.3 Obecné zásady pro návrh mikrovlnného spoje

Vzdálenost našeho spoje bude například 240m, musíme si proto spočítat některé důležité parametry, abychom věděli, jestli naše anténa bude vyhovovat. Obecné schéma přenosového kanálu:



Obr. 22: Obecné schéma rádiového přenosu

Takto to vypadá u spoje WiFi:



Obr. 23: Schéma znázorňující rádiový přenos mezi dvěma počítači

Celý radiokomunikační řetězec je založen na rovnici, která zní takto:

$$Pr = Pt + Gt + Gr - Lo - Lt - Lr - Rez$$

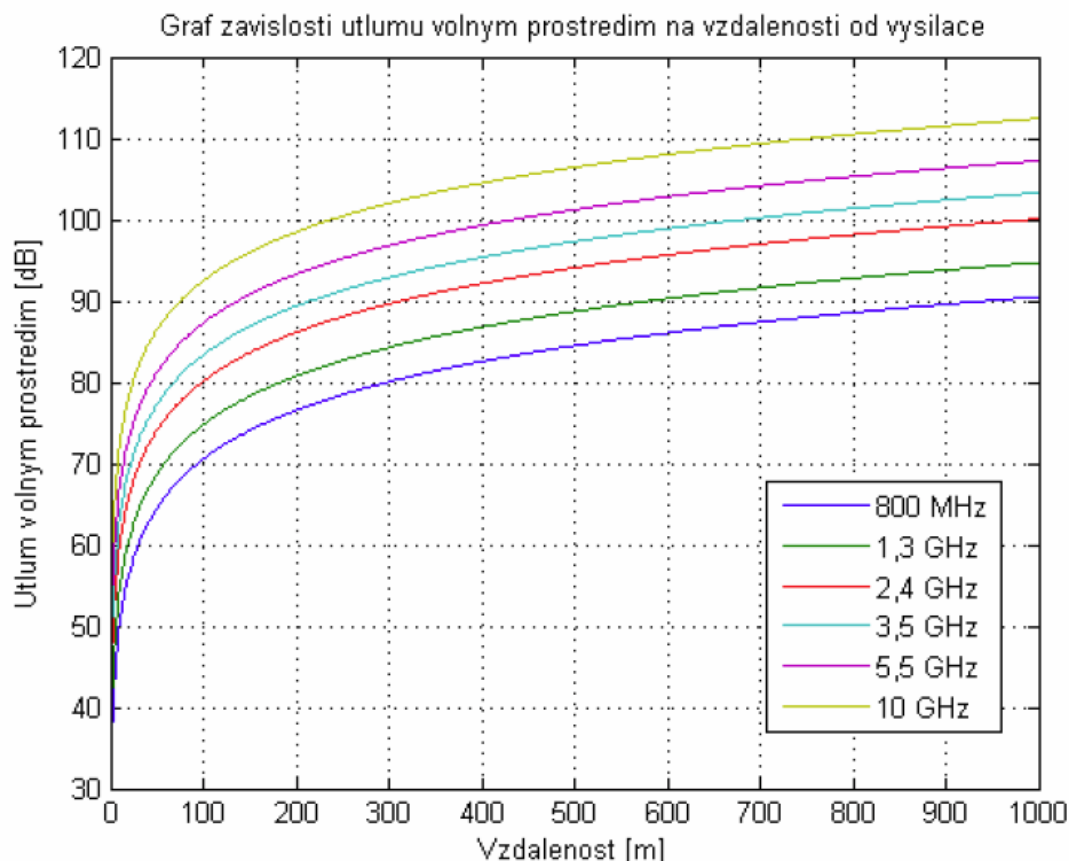
- Pt – výstupní výkon WiFi karty; [dBm]
- Pr – vstupní citlivost; [dBm]
- Lo – ztráty vlivem šíření volným prostorem; [dB]
- Lt – ztráty anténního svodu na vysílací straně; [dB]
- Lr – ztráty anténního svodu na přijímací straně; [dB]
- Gt – zisk vysílací antény; [dBi]
- Gr – zisk přijímací antény; [dBi]
- Rez – rezerva; [dB]

Výpočet útlumu u naší antény bude vypadat například nějak takto:

R = 240 m (vzdálenost mezi anténami)
 $\lambda = 0,122$ m (vlnová délka frekvence 2,45 Gz)

$$L_o = 20 \cdot \log\left(\frac{4 \cdot \pi \cdot R}{\lambda}\right) = 20 \cdot \log\left(\frac{4 \cdot \pi \cdot 240}{0,122}\right) = \underline{\underline{88dB}}$$

Ztráty(útlum) prostředí při různých frekvencích je vidět na následujícím grafu:



Obr. 24: Graf znázorňující ztráty způsobené útlumem prostředí

Stěžejním parametrem pro celou bezdrátovou komunikaci je odstup užitečného signálu od šumu(SNR- Signal to Noise Ratio). Se snižujícím se SNR klesá kvalita spoje a narůstá chybovost BER(Bit Error Ratio). Dochází ke zhoršení propustnosti a vysílač musí poškozené bloky dat opakovat.

Základní problémy šíření rádiového signálu jsou:

-vícecestné šíření, kdy se zvyšuje výskyt interferencí a roste chybovost

-rušení jinými systémy, které se nacházejí ve stejném frekvenčním pásmu(zvyšuje se chybovost)

-vlivy počasí a přímé viditelnosti(omezují dosah spoje)

5. Závěr

Ke konci této práce bych chtěl tedy zhodnotit naše téma. Zjistili jsme, že rozdíl mezi pásmem 2,4 a 5GHz zatím není příliš znatelný, až na bezrušnost pásma 5GHz, která je mnohem lepší. Uvedli jsme si nejzákladnější parametry antén a základní principy bezdrátových spojů. Práce byla ovšem soustředěna především na anténu Yagi, u které bylo uvedeno, jak se dá realizovat, jak fungují jednotlivé prvky antény a pár obecných informací o rádiovém přenosu. Díky nedostatku prostředků jsem anténu bohužel nemohl otestovat v jejím přenosu a proto jsem se snažil naznačit alespoň teoreticky. Technologie WiFi se s dobou více rozšiřuje a proto si myslím, že tato práce je velice užitečná nejen pro mladší ročníky, ale i například pro běžné použití při realizaci vlastního spoje. Já sám se dozvěděl spoustu nových informací týkajících se bezdrátového přenosu a antén Yagi samotných. Zdroje, ze kterých byl použit materiál byl především internet a vlastní zkušenosti s WiFi technologií.

Servery, ze kterých bylo čerpáno:

www.google.com,

<http://cz.jirous.com/vypocet-wifi>