

## ABSTRAKT

Táto práca sa zaoberá základnými princípmi bezdrôtovej komunikácie v mobilnej robotike. Uvádza prehľad možností využitia jednotlivých frekvenčných pásiem pre potreby bezdrôtovej komunikácie a ovládania mobilných zariadení v Českej republike. Zároveň obsahuje prehľad všetkých vhodných technológií a dostupných bezdrôtových modulov. Teoretická časť sa zaoberá aj niektorými protokolmi, ktoré boli využité pri praktickej časti tejto práce a spôsobom šírenia vln v budovách. Praktická časť pozostávala z návrhu vlastnej aplikácie na monitorovanie a ovládanie modulu Mikrotik Routerboard. Pomocou tejto aplikácie boli otestované a porovnané dve bezdrôtové karty tohto modulu.

## KLÚČOVÉ SLOVÁ

Bezdrôtová komunikácia, modul, protokol, šírenie vln.

## ABSTRACT

This work deals with the fundamental principles of wireless communications in mobile robotics. It introduces overview of the use of different frequency bands for wireless communications needs and control of mobile devices in Czech Republic. It also contains a brief overview of all applicable technologies and available modules that can be used for wireless communication. The theoretical part deals with some of the protocols that were used in the practical part of this work and the manner of wave propagation in buildings. The practical part consisted of a design of our own application to monitor and control the module Mikrotik Routerboard. With this application we have tested and compared two wireless cards of this module.

## KEYWORDS

Wireless communication, module, protocol, wave propagation.

HRICIŠIN T.: Bezdrátová komunikace v mobilní robotice. Brno: FEKT VUT. 2010,  
s. 83. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Luděk Žalud, Ph.D

## Prohlášení

„Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Bezdrátová komunikace v mobilní robotice jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.“

V Brně dne: **24. května 2010**

.....  
podpis autora

## Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Luděkovi Žaludovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

V Brně dne: **25. května 2009**

.....  
podpis autora

## OBSAH

<b>ABSTRAKT</b> .....	<b>3</b>
<b>OBSAH</b> .....	<b>6</b>
<b>1. ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>2. RÁDIOKOMUNIKÁCIA</b> .....	<b>10</b>
2.1 Úvod.....	10
2.2 Základné pojmy .....	10
2.3 Frekvenčné pásma.....	11
2.3.1 Základné rozdelenie.....	11
2.3.2 Správa frekvenčných pásiem .....	14
2.3.3 Voľné frekvenčné pásma .....	16
2.4 Prehľad rádio modulov .....	21
<b>3. ĎALŠIE BEZDRÔTOVÉ TECHNOLOGIE</b> .....	<b>26</b>
3.1 Bluetooth.....	26
3.2 Wi-Fi.....	28
3.2.1 Štandardy IEEE .....	28
3.2.2 Fyzická vrstva.....	29
3.2.3 Výhody Wi-Fi.....	31
3.2.4 Nevýhody.....	31
3.2.5 Bezpečnosť .....	32
3.2.6 WiFi moduly.....	32
3.3 WiMAX .....	33
3.3.1 Štandardy IEEE .....	33
3.3.2 Prednosti WiMAX.....	35
3.3.3 Porovnanie s Wi-Fi.....	35
3.3.4 WiMAX v ČR.....	36
3.3.5 WiMAX moduly.....	38
3.4 GSM.....	39
3.4.1 GPRS a EDGE.....	40
<b>4. MODEL OSI</b> .....	<b>43</b>

4.1	Komunikácia .....	43
4.2	Protokoly .....	44
4.3	Popis jednotlivých vrstiev modelu OSI .....	44
4.3.1	Aplikačná vrstva .....	45
4.3.2	Prezentačná vrstva .....	45
4.3.3	Relačná vrstva.....	45
4.3.4	Transportná vrstva .....	46
4.3.5	Sieťová vrstva .....	46
4.3.6	Linková vrstva .....	46
4.3.7	Fyzická vrstva .....	47
<b>5.</b>	<b>UDP.....</b>	<b>48</b>
5.1	UDP protokol .....	48
5.1.1	Datagram.....	48
5.1.2	Formát.....	48
5.1.3	Porty.....	49
5.2	Socket.....	50
<b>6.</b>	<b>ETHERNET.....</b>	<b>51</b>
6.1	CSMA/CD.....	51
6.2	Fyzické riešenie Ethernetu .....	52
6.3	Verzie Ethernetu .....	53
6.3.1	Ethernet.....	53
6.3.2	Fast Ethernet .....	53
6.3.3	Gigabitový Ethernet.....	53
6.3.4	Desať-gigabitový Ethernet.....	54
6.4	Formát rámcu .....	54
<b>7.</b>	<b>WIRELESS.....</b>	<b>56</b>
7.1	Šírenie vln .....	56
7.2	Straty v prostredí.....	57
7.2.1	Straty šírením.....	57
7.2.2	Pomalé úniky .....	57
7.2.3	Rýchle úniky.....	58

7.3	Mechanizmy šírenia vln v zástavbe .....	59
7.3.1	Makrobunka.....	59
7.3.2	Mikrobunka.....	59
7.3.3	Pikobunka .....	59
7.4	Pokrytie .....	60
7.4.1	Příklad.....	60
<b>8.</b>	<b>MIKROTIK .....</b>	<b>62</b>
8.1	RouterBOARD 433 AH.....	62
8.2	Mikrotik GUI .....	65
8.2.1	Popis tried programu.....	65
8.3	Testovanie .....	69
8.3.1	Metodika testovania.....	69
8.3.2	XR5 vs R52n .....	72
8.3.3	XR5 s prekážkami a bez nich .....	74
8.3.4	Dosah na priamu viditeľnosť .....	75
8.3.5	R52n v pásme 2,4GHz.....	76
<b>9.</b>	<b>ZÁVER.....</b>	<b>79</b>
<b>10.</b>	<b>CITOVANÁ LITERATÚRA.....</b>	<b>80</b>

## 1. ÚVOD

Pojem bezdrôtová komunikácia v sebe zahŕňa spojenie dvoch a viacerých zariadení bez nutnosti ich fyzického prepojenia. Na základe tohto spojenia môžu jednotlivé zariadenia spolu komunikovať, prenášať údaje, rôzne signály a pod. V súčasnosti sa pojem bezdrôtovej komunikácie skloňuje takmer v každej sfére života. A to buď ako mobilná komunikácia v bežnom živote, prepojenie zariadení v kanceláriách, riadenie v priemysle alebo diaľkové ovládanie rôznych zariadení. Práve posledným pojmom sa budeme zaoberať aj v tejto práci.

V jednotlivých častiach sa zoznámime so základnými pojmami v oblasti bezdrôtovej komunikácie, so súčasnými možnosťami jej využitia pri riadení mobilných robotov. Zároveň preskúmame oblasť dostupných technológií a výrobkov, ktoré sú momentálne na českom trhu a je teda možné ich v praxi použiť.

Ďalej by sme v tejto práci chceli priblížiť detaily samotného vrstvomého modelu komunikácie a zamerali najmä na protokol UDP a sieť Ethernet. Keďže cieľom tohto skúmania je bezdrôtová komunikácia v mobilnej robotike, ktorá z istej časti prebieha aj vo vnútri budov, objasnili by sme podrobnejšie práve bezdrôtovú komunikáciu v uzavretých priestoroch.

Posledná časť práce je venovaná praktickej časti a teda samotnému návrhu testovacej aplikácie a jej použitia pri testovaní vybraných modulov.

## 2. RÁDIOKOMUNIKÁCIA

### 2.1 ÚVOD

Bezdrôtová komunikácia využíva na prenos informácií rádiové vlny šíriace sa vo voľnom prostredí. Rádiové vlny je elektromagnetické vlnenie vo frekvenčnom pásme od 10 kHz až po 3000 GHz. V Českej republike správu jednotlivých frekvencií zabezpečuje Český telekomunikační úřad (ČTU). ČTU vykonáva štátnu správu v oblasti elektronických komunikácií a poštových služieb, vrátane regulácie trhu a stanovovania podmienok pre podnikanie za účelom nahradenia chýbajúcej hospodárskej súťaže a tak isto zaisťuje ochranu niektorých služieb v oblasti rozhlasového a televízneho vysielania a služieb informačnej spoločnosti. Keďže Česká republika je členom Medzinárodnej telekomunikačnej únie ITU (*International Telecommunications Union*) musí ČTU zároveň kontrolovať plnenie medzinárodných noriem a štandardov.

### 2.2 ZÁKLADNÉ POJMY

V nasledujúcom texte sa budeme stretávať s rôznymi neznámymi pojmami, preto v tejto časti si vysvetlíme ich základný význam.

**Dátový tok** – (*bit rate*) je frekvencia, akou prechádzajú bity daným (fyzickým alebo obrazným) "miestom". Jednotkou je *bit/s*.

**Latencia** – **oneskorenie**, vyjadruje čas za ktorý dôjdu dáta do cieľového miesta. Jednotkou je *ms*.

**Efektívny vyžiarený výkon** – (*Effective radiated power*) e.r.p., je definovaný ako rozdiel strát systému a pripočítanie systémového zisku (*gain*) k aktuálnemu elektrickému výkonu daného zariadenia.

**Dosah** – (*range*), je to maximálna vzdialenosť pri ktorej prijímač dokáže ešte prijať vyslané dáta.

**Šírka pásma** – (*bandwidth*), je šírka intervalu frekvencií, ktoré je prenosový kanál schopný preniesť. Jednotkou je *Hz*.



**Vysielací výkon** – veľkosť výkonu rádiového vysielacza použitého na vyzíarenie signálu. Vysielací výkon sa meria v miliwattoch, ktoré sa môžu prepočítať na dBm podľa nasledujúceho vzťahu:

$$P[dB] = 10 \log P[W] \quad (1.)$$

**Modulácia** – je proces ovplyvňovania nosného signálu, typicky sínusového, za účelom prenesenia informácie. Nosný signál je ovplyvňovaný modulačným signálom. Modulačný signál je signál v základnom pásme.

**Polovičný duplex** – (*Half-duplex*) je to spojenie dvoch staníc, kedy komunikácia môže prebiehať len v jednom smere v danom čase.

**Plný duplex** – (*Full-duplex*) je to komunikácia medzi dvomi stanicami, pri ktorej môžu vysielat' aj prijímať obe stanice súčasne.

**Down/up-link** – v GSM sieťach znamená prenosový kanál zo základňovej stanice smerom do mobilnej resp. naopak.

## 2.3 FREKVENČNÉ PÁSMA

### 2.3.1 Základné rozdelenie

Rádiokomunikačné systémy využívajú k prenosu informácií voľné prostredie, v ktorom je informácia prenášaná od vysielacza k prijímaču prostredníctvom rádiových vln. Tie môžu byť prenášané v rôznych frekvenčných pásmach od 10 kHz až po 3000 GHz čomu zodpovedá vlnová dĺžka v rozsahu 30km až po 0,1mm. Vzťah medzi vlnovou dĺžkou  $\lambda$  a frekvenciou  $f$  je daný vzťahom

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (2.)$$

kde  $c$  je rýchlosť šírenia elektromagnetických vln vo voľnom priestore. Pre zjednodušenie uvažujeme  $c \cong 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

Frekvenčné spektrum je rozdelené na 9 pásiem označených podľa nasledujúcej tabuľky (vid' Tabuľka 2.1) z *Plánu pridelených kmitočtových pásiem*. Jednotkou frekvencie je hertz (Hz) a frekvencia sa vyjadruje :

- v kilohertzoch (kHz) do 3000 kHz
- v megahertzoch (MHz) od 3 MHz do 3000 MHz

- v gigahertzech (GHz) od 3 GHz do 3000 GHz.

**Tabuľka 2.1 Frekvenčné pásma rádiových vln (1)**

Číslo pásm a	Symboly	Rozsah frekvencií (dolná hranica mimo, horná hranica vrátane)	Dĺžka vlny (dolná hranica mimo, horná hranica vrátane)	Názov pásma	Metrické skratky
4	VLF	3 – 30 kHz	100 – 10 km	myriametrové	mam
5	LF	30 – 300 kHz	10 – 1 km	kilometrové	km
6	MF	300 – 3000 kHz	1000 – 100 m	hektometrové	hm
7	HF	3 – 30 MHz	100 – 10 m	dekametrové	dam
8	VHF	30 – 300 MHz	10 – 1 m	metrové	m
9	UHF	300 – 3000 MHz	10 – 1 dm	decimetrové	dm
10	SHF	3 – 30 GHz	10 – 1 cm	centimetrové	cm
11	EHF	30 – 300 GHz	10 – 1 mm	milimetrové	mm
12	-	300 – 3000 GHz	1 – 0,1 mm	decimilimetrové	dmm

Symboly označujúce jednotlivé pásma sú skratky anglických výrazov:

VLF	<i>Very Low Frequency,</i>
LF	<i>Low Frequency,</i>
MF	<i>Medium Frequency,</i>
HF	<i>High Frequency,</i>
VHF	<i>Very High Frequency,</i>
UHF	<i>Ultra High Frequency,</i>
SHF	<i>Super High Frequency,</i>
EHF	<i>Extremely High Frequency.</i>

Uvedené rozdelenie frekvenčného pásma sa vyznačuje tým, že pre každé frekvenčné pásmo sú rozdielne fyzikálne podmienky šírenia rádiových vln. Z toho vyplýva aj ich rôzne použitie.

### **2.3.1.1 VLF a LF**

Rádiové vlny sa šíria s malým útlmom a na veľké vzdialenosti od vysielacza. Pomocou vysielacza s relatívne malým výkonom možno pokryť pomerne veľké územie. Nevýhodou týchto pásiem je malé množstvo rádiových kanálov, vysoká úroveň priemyslového a atmosférického rušenia a nutnosť používať veľké antény.

### **2.3.1.2 MF**

V tomto pásme sa najviac prejavuje rozdiel medzi šírením priestorovou alebo povrchovou vlnou. Povrchová vlna sa šíri okolo zemského povrchu vo výške porovnateľnej s dĺžkou vlny a preto je zemským povrchom tlmená. Rozdiel v šírení vln je ovplyvnený aj priebehom dňa. Počas dňa sa rádiové vlny šíria len povrchovou vrstvou a to až do vzdialenosti 100km od vysielacza. Priestorová vlna je teda úplne pohltená spodnou vrstvou ionosféry. V noci, keď spodná vrstva ionosféry úplne zmizne, sa priestorová vlna odráža od ionosféry a dopadá na zemský povrch.

### **2.3.1.3 HF**

V tomto pásme sa vlny šíria niekoľko násobným odrazom od ionosféry a zemského povrchu v závislosti na frekvencii a hustote ionosféry. Hustota ionosféry závisí na intenzite žiarenia dopadajúceho z kozmu na vonkajšiu časť atmosféry (svetelné žiarenie slnka, kozmické žiarenie...) a teda závisí na ročnom období, priebehu dňa a fáze jedenást' ročného cyklu slnečnej činnosti. Závislosť na frekvencii sa prejavuje tým, že vlny s príliš nízkymi frekvenciami sa v ionosfére utlmia avšak vlny s vysokou frekvenciou prepustí ionosféra do voľného priestoru. Len vlny s úzkym pásom stredných frekvencií sa od ionosféry odrážajú a umožňujú po niekoľkých odrazoch spojenie až na vzdialenosť 4000 km.

### **2.3.1.4 VHF**

Vlny sa šíria len do vzdialenosti rádiového horizontu tzv. priamou vlnou. Rádiový horizont je zväčša ďalej než optický pretože priame vlny sa čiastočne ohýbajú okolo zemského povrchu. Len na spodnom okraji pásma sa môžu vlny za určitých podmienok šíriť aj odrazom od ionosféry. Teplotné zmeny prostredia majú vplyv na zmenu dielektrickej konštanty prostredia, čo môže spôsobiť ohyb

elektromagnetickej vlny buď smerom nahor alebo smerom nadol (dosah sa znižuje). Šírenie rádiových vln je ovplyvňované aj odrazom od vodivých prekážok a možno tiež pozorovať ohyb signálu na hrebeni vysokých hôr.

#### **2.3.1.5 UHF**

V tomto pásme sa tak isto vlny šíria do vzdialenosti rádiového horizontu, avšak šírenie je do značnej miery ovplyvňované odrazmi od prekážok, ktorých rozmery sú porovnateľné s dĺžkou vlny. V mestskej zástavbe musí byť zvolené miesto pre uloženie antény s ohľadom na odraz signálu.

#### **2.3.1.6 SHF**

Šírenie vlnenia v pásme centimetrových vln sa podobá šíreniu svetla. Za prekážkami sa vytvárajú ostré tieňové oblasti a na útlm šírenia má vplyv lesný porast, dážď, hmla. (2)

### **2.3.2 Správa frekvenčných pásiem**

Ako už bolo spomenuté, rádiové vlny sa šíria voľným prostredím a preto je veľmi dôležitá koordinácia všetkých používateľov tohto prostredia v rámci krajiny ale aj v rámci celého sveta. Z tejto potreby bola založená aj Medzinárodná telekomunikačná únia (ITU).

Jej úlohou je vytvárať podmienky pre účelné využívanie frekvenčného spektra dohodnutých na svetových rádiokomunikačných konferenciách (*World Radio communications Conference*). Tieto pravidlá sú zhrnuté do dokumentu s názvom Rádiokomunikačný poriadok (*Radio Regulations*), ktorý tvorí prílohu k medzinárodnej zmluve o telekomunikáciách. Hlavným obsahom rádiokomunikačného poriadku sú nasledujúce body:

- Spôsob a zásady využitia frekvenčného spektra
- Rozdelenie frekvenčných pásiem
- Pridelenie frekvenčných pásiem jednotlivým rádiokomunikačným službám
- Zásady pre súčasnú činnosť rádiokomunikačných zariadení na rovnakých frekvenciách

- Zásady pre koordinované pridelenie frekvencií novým rádiokomunikačným zariadeniam a službám

Rádiokomunikačnou službou alebo prenosom sa nazýva služba zahrňujúca prenos, vysielanie alebo príjem rádiových vln k špecifickým telekomunikačným účelom. Jednotlivé služby definuje Rádiokomunikačný poriadok. Pre potreby nášho skúmania v oblasti mobilnej robotiky sa budeme zaujímať o „amatérsku službu“. Tá je určená pre vzdelávanie, vzájomné spojenie, technické štúdium a technické spojenie prevádzané amatérmi, t.j. riadne oprávnenými osobami, zaujímavými sa o rádiotechniku len s osobnej záľuby a nie pre zisk. Ďalšie možné služby sú napr. Družicová amatérska služba, Pomocná meteorologická služba, Pevná služba, Pohyblivá služba atď. (1)

Priradenie frekvenčných pásiem k týmto službám je zhrnuté v tzv. Kmitočtovej tabuľke, ktorá je súčasťou Plánu pridelenia frekvenčných pásiem. Vzhľadom na rastúce požiadavky využívania jednotlivých pásiem sú niektoré z nich zdieľané viacerými službami avšak v takýchto prípadoch sú presne stanovené primárne (prioritné) siete, prípadne časové obmedzenia pre ich využívanie. Zariadenia sekundárnych služieb nesmú spôsobiť škodlivé rušenie zariadeniam primárnych služieb a nemôžu si ani nárokovať ochranu pred ich rušením. Príklad časti tejto - vid' Obrázok 2.1.

Přidělení službám		
Oblast 1	Oblast 2	Oblast 3
174–223 ROZHLASOVÁ  5.235 5.237 5.243	174–216 ROZHLASOVÁ Pevná Pohyblivá 5.234	174–223 PEVNÁ POHYBLIVÁ ROZHLASOVÁ  5.233 5.238 5.240 5.245
	216–220 PEVNÁ NÁMOŘNÍ POHYBLIVÁ Radiolokační 5.241 5.242	
	220–225	
223–230 ROZHLASOVÁ Pevná Pohyblivá  5.243 5.246 5.247	AMATÉRSKÁ PEVNÁ POHYBLIVÁ Radiolokační 5.241 225–235 PEVNÁ POHYBLIVÁ	223–230 PEVNÁ POHYBLIVÁ ROZHLASOVÁ LETECKÁ RADIONAVIGAČNÍ Radiolokační 5.250
230–235 PEVNÁ POHYBLIVÁ  5.247 5.251 5.252		230–235 PEVNÁ POHYBLIVÁ LETECKÁ RADIONAVIGAČNÍ 5.250
235–267	PEVNÁ POHYBLIVÁ 5.111 5.199 5.252 5.254 5.256 5.256A	
267–272	PEVNÁ POHYBLIVÁ Kosmického provozu (sestupný směr) 5.254 5.257	

Obrázok 2.1 Kmitočtová tabuľka (3)

### 2.3.3 Voľné frekvenčné pásma

Kmitočtová tabuľka obsahuje okrem už pridelených pásiem aj voľné, zatiaľ nepridelené pásma a pásma určene pre amatérske služby. ČTU vydal okrem plánu

pridelenia frekvenčných pásiem aj ďalšie oprávnenia, ktoré špecifikujú použitie konkrétnych pásiem. Nás zaujímajú hlavne tieto tri všeobecné oprávnenia:

**Všeobecné oprávnenie č.VO-R/10/03.2007-4 k využívaniu rádiových kmitočtov  
a k prevádzke zariadení krátkého dosahu.**

Základné podmienky:

- Stanice možno prevádzkovať bez individuálneho oprávnenia k využívaniu rádiových kmitočtov
- Stanice sa využívajú v pevnej službe, pozemnej pohyblivej službe a bezpečnostnej službe v oblastiach diaľkového ovládania, telemetrie, signalizácie atď.
- Stanice možno prevádzkovať len s vstavanou anténou ale s anténou ktorú stanoví výrobca. Stanica nesmie byť prevádzkovaná s prídavným zosilňovačom vysokofrekvenčného výkonu a s prevádzzačom
- Stanice sú prevádzkované na zdieľaných frekvenciách a sú zaradené do kategórie sekundárnych zariadení

Tabuľka 2.2 obsahuje informácie o prístupných frekvenčných pásmach a k nim prislúchajúci povolený vyžiarený výkon. V pravom stĺpci sú pri niektorých pásmach tiež hodnoty striedy (*duty cycle*). Strieda je podiel času, kedy vysielateľ vysielala na nosnej frekvencii počas jednej hodiny.

Tabuľka 2.2 Technické parametre staníc (4)

Ozn.	Frekvenčné pásmo	Vyžiarený výkon, intenzita magnetického poľa	Šírka pásma	Činiteľ plnenia
<i>a</i>	6765 – 6795 kHz	42 dB $\mu$ A/m/10 m	-	-
<i>b</i>	13,553 – 13,567 MHz	42 dB $\mu$ A/m/10 m	-	-
<i>c</i>	26,957 – 27,283 MHz	42 dB $\mu$ A/m/10 m	-	-
<i>d</i>	40,660 – 40,700 MHz	10mW e.r.p.	-	-
<i>e</i>	138,200 – 138,450 MHz	10mW e.r.p.	-	< 1,0 %
<i>f</i>	433,050 – 434,790 MHz	10mW e.r.p.	-	< 10 %
<i>f1</i>	433,050 – 434,790 MHz	1mW e.r.p. Pre širokopásmové kanály o šírke > 250 kHz je spektrálna hustota výkonu obmedzená na -13 dBm / 10 kHz	-	až 100 %
<i>f2</i>	433,050 – 434,790 MHz	10mW e.r.p.	max 25kHz	až 100 %
<i>g</i>	863,000 – 870,000 MHz	25mW e.r.p.	-	< 0,1 %
<i>g1</i>	868,000 – 868,600 MHz	25mW e.r.p.	-	< 1,0 %
<i>g2</i>	868,700 – 869,200 MHz	25mW e.r.p.	-	< 0,1 %
<i>g3</i>	869,300 – 869,400 MHz	25mW e.r.p.	max 25kHz	-
<i>g4</i>	869,400 – 869,650 MHz	500mW e.r.p.	max 25kHz	< 10 %
<i>g5</i>	869,700 – 870,000 MHz	5mW e.r.p.	-	až 100 %
<i>h</i>	2400 – 2483,5 MHz	25mW e.r.p.	-	-
<i>i</i>	5725 – 5875 MHz	25mW e.r.p.	-	-



**Všeobecné oprávnenie č.VO-R/15/08.2005-27 k využívaniu rádiových kmitočtov a k prevádzke zariadení pre diaľkové ovládanie modelov v pásmach 13 MHz až 40 MHz.**

Pri tomto oprávnení platia rovnaké podmienky ako v predchádzajúcom.

**Tabuľka 2.3 Technické parametre staníc (5)**

Ozn.	Prevádzkové frekvencie	Vyžiarený výkon	Použitie
<i>a</i>	13,560 MHz	100 mW e.r.p.	všetky druhy staníc
<i>b</i>	26,995; 27,045; 27,095; 27,145; 27,195 MHz	100 mW e.r.p.	
<i>c</i>	35,000; 35,010; 35,020; 35,040; 35,050; 35,060; 35,070; 35,080; 35,090; 35,100; 35,110; 35,120; 35,130; 35,140; 35,150; 35,160; 35,170; 35,180; 35,190; 35,200; 35,210; 35,220 MHz	1 mW e.r.p.	len pre modely lietadiel
<i>d</i>	35,820; 35,830; 35,840; 35,850; 35,860; 35,870; 35,880; 35,890; 35,900; 35,910 MHz	1 mW e.r.p.	len pre modely lietadiel
<i>e</i>	40,665; 40,675; 40,685; 40,695; 40,715 MHz	100 mW e.r.p.	všetky druhy staníc
<i>f</i>	40,725; 40,735; 40,765; 40,775; 40,785; 40,815; 40,825; 40,835; 40,865; 40,875; 40,885; 40,915; 40,925; 40,935; 40,965; 40,975; 40,985 MHz	1 mW e.r.p.	

V Tabuľka 2.3 sú zobrazené parametre staníc spadajúcich do tohto oprávnenia. Podľa tohto oprávnenia sú k dispozícii pre naše potreby diaľkového riadenia robota skupiny *a*, *b*, *e*, *f*. Skupina *c*, *d* je určená len pre modely lietadiel.

**Všeobecné oprávnenie č.VO-R/16/08.2005-28 k využívaniu rádiových kmitočtov  
a k prevádzke zariadení spoločne v určených frekvenčných pásmach 27 až 450  
MHz.**

Pri tomto oprávnení platia rovnaké podmienky ako v predchádzajúcom.

**Tabuľka 2.4 Technické parametre staníc (6)**

Ozn.	Prevádzkové frekvencie	Vyžiarený výkon	Šírka pásma zabraného vysielaním	Druh prevádzky
<i>a</i>	27,905; 27,195 MHz	1 W e.r.p.	8,5 kHz	len prenos dát
<i>b</i>	27,975; 27,985; 27,995 MHz	100 mW e.r.p.	8,5 kHz	len prenos dát
<i>c</i>	34,050; 34,075; 34,150; 34,175 MHz	1 W e.r.p.	16 kHz	
<i>e</i>	57,225; 57,250; 57,275; 57,300 MHz	10 mW e.r.p.	16 kHz	len prenos dát
<i>f</i>	77,025; 77,050; 77,075; 77,100; 77,725; 78,00; 81,725; 81,750 MHz	1 W e.r.p.	16 kHz	
<i>g</i>	87,430; 87,470 MHz	500 mW e.r.p.	14 kHz	len prenos dát
<i>h</i>	149,125; 149,250; 155,725; 156,150 MHz	500 mW e.r.p.	16 kHz	len prenos dát
<i>i</i>	172,650; 172,950; 172,975 MHz	5 W e.r.p.	10 kHz	
<i>j</i>	172,725; 173,050 MHz	1 W e.r.p.	10 kHz	
<i>l</i>	448,070; 448,170 MHz	500 mW e.r.p.	16 kHz	len prenos dát
<i>m</i>	448,490; 448,570; 448,610 MHz	5 W e.r.p.	14 kHz	
<i>n</i>	449,770; 449,810 MHz	1 W e.r.p.	14 kHz	

V Tabuľka 2.4 sú zobrazené parametre staníc spadajúcich do tohto oprávnenia, ktoré sú ešte stále v platnosti alebo nie sú nijak časovo obmedzené. Vysielanie staníc v pásmach *a, b, e, g, h, l* nesmie mať charakter trvalej prevádzky. Tzn., že hodnota striedy nesmie byť väčšia než 10 % a dĺžka jedného vysielania nesmie byť dlhšia než 10 sekúnd. Stanice v pásmach *c, f, i, j, m, n* môžu byť prevádzkované len ako prenosné, takže nemôžu byť pevne zabudované v objekte alebo vo vozidle.

## 2.4 PREHĽAD RÁDIO MODULOV

V Tabuľka 2.5 až Tabuľka 2.8 je zobrazený prehľad rádio modulov dostupných v Českej republike. Sú zoradené podľa výrobcov a následne ich typového označenia a ďalších parametrov. Všetky moduly pracujú na frekvenciách, ktoré sú povolené ČTU a nevyžadujú žiadnu licenciu.

Tabuľka 2.5 Prehľad rádio modulov 1 (7)

Výrobca / Distribútor	Model	Pásmo	Výkon [mW]	Cena [CZK]	Poznámky
<i>Racom</i>	RE400	370 - 470 MHz	300/ 2000	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ dosah 10-ky km</li> <li>▪ rýchlosť 10,4 kbit/s</li> <li>▪ SW nastavenie šírky kanálu</li> <li>▪ jednoduchá konfigurácia</li> </ul>
	MD400	350 - 470 MHz	100 - 5000	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ dosah 10-ky km</li> <li>▪ rýchlosť 21,68 kbit/s (25 kHz kanál)</li> <li>▪ full-duplex</li> <li>▪ citlivosť -107 dBm</li> </ul>
	MX400	350 - 470 MHz	100 - 5000	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ dosah 10-ky km</li> <li>▪ rýchlosť 196 kbit/s (250 kHz kanál)</li> <li>▪ full-duplex</li> <li>▪ citlivosť -104 dBm</li> </ul>

Tabuľka 2.6 Prehľad rádio modulov 2 (8)

Výrobca / Distribútor	Model	Pásmo	Výkon [mW]	Cena [CZK]	Poznámky
Radiometrix / ART Brno	BiM1T	155,725 MHz	100	1813	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ s dosahom až 10 km, typicky cca. 5 km (vo voľnom priestore pri použití vhodných antén)</li> <li>▪ prenosová rýchlosť do 10 kbit/s</li> </ul>
	BiM1R	155,725 MHz		3287	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ citlivosť -120 dBm</li> </ul>
	BiM1	155,725 MHz	100	1990	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ prenosová rýchlosť do 10 kbit/s</li> <li>▪ obojsmerná dátová komunikácia</li> <li>▪ citlivosť prijímača -120 dBm</li> <li>▪ dosah až 10 km</li> </ul>
	BiM2	433,92 MHz	10	2365	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ prenosová rýchlosť do 64 kbit/s</li> <li>▪ obojsmerná dátová komunikácia</li> <li>▪ dosah 200m</li> <li>▪ citlivosť prijímača -93 dBm</li> </ul>
	TX2M	433.05 - 434.79 MHz	100 – nastavi teľný	3419	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ RS232</li> <li>▪ prenosová rýchlosť do 5 kbit/s</li> <li>▪ dosah 1 km</li> <li>▪ RSSI - indikátor sily poľa, analógový a digitálny výstup</li> <li>▪ ľubovoľné pásmo od 420 MHz do 480 MHz s rozmedzím 5 MHz</li> </ul>
	RX2M	433.05 - 434.79 MHz	100	4571	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ citlivosť -118 dBm</li> <li>▪ dosah 1km</li> </ul>

Tabuľka 2.7 Prehľad rádio modulov 3 (8)

Výrobca / Distribútor	Model	Pásmo	Výkon [mW]	Cena [CZK]	Poznámky
Aerocomm / ART Brno	AC 4868- 250	869,4 - 869,65 MHz	250	3 046	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ RS232, RS485</li> <li>▪ 57600 bit/s (nastaviteľné), podpora adresácie</li> <li>▪ analógové a digitálne vstupy/výstupy</li> <li>▪ dosah do 15 km</li> <li>▪ citlivosť -103 dBm</li> </ul>
	AC 4486 -500	869,4 - 869,65 MHz	500		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ RS232 (3V or 5V TTL), RS485</li> <li>▪ 115,2kbit/s (nastaviteľné), podpora adresácie</li> <li>▪ dosah cca. 30km vo voľnom priestore</li> <li>▪ citlivosť -96 dBm</li> <li>▪ možný full-duplex</li> </ul>
	AC 4424	2,4 GHz	10/ 100/ 200	3 926	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ RS232 (5V TTL)</li> <li>▪ 195kbit/s, podpora adresácie</li> <li>▪ dosah 900/1800/3000m</li> <li>▪ citlivosť -100 dBm</li> </ul>
Hoft & Wessel / ART Brno	HW 86012	1880, 1900 MHz	200	4 307	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ v spektre nekolízny systém, automaticky vyhľadá voľnú nosnú a voľný time(časový) slot</li> <li>▪ SPI, RS-232 duplex (nastaviteľné až 230,4 kbit/s)</li> <li>▪ prenosová rýchlosť v rádiovom kanáli až 500 kbit/s</li> <li>▪ dosah cca. 300m vo voľnom priestore</li> </ul>
RF DataTech / ART Brno	ART radio modem	138 - 175 MHz 406 - 512 MHz 820 - 950 MHz	10-750	21 200	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 38,4 kbit/s programovateľné</li> <li>▪ full-duplex</li> </ul>

Tabuľka 2.8 Prehľad rádio modulov 4 (8) (9) (10) (11)

Výrobca / Distribútor	Model	Pásmo	Výkon [mW]	Cena [CZK]	Poznámky
<i>One RF / ART Brno</i>	Radiomodem TinyOne Pro / Tiny plus	868 MHz	500/25	3457 / 2727	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ RS232 a RS485/422</li> <li>▪ dosah je až 4000 m/1500m</li> <li>▪ v robustnom obale s IP67</li> </ul>
	Radiomodem Integra	433 MHz	10	3068	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ RS232 a RS485/422</li> <li>▪ dosah je až 1000 m</li> <li>▪ v kryte s IP41</li> <li>▪ citlivosť -100 dBm</li> </ul>
	Radiomodem Power	868 MHz	500	8132	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ RS232 a RS485/422</li> <li>▪ dosah je až 15000 m</li> <li>▪ v kryte s IP65 alebo IP67</li> <li>▪ citlivosť -113 dBm</li> </ul>
<i>IQRF / hw.cz</i>	TR-868- 21	868.35 MHz	<1.3	680	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ dosah 200 m</li> <li>▪ malé rozmery</li> </ul>
	kit DS- 868-27	868.35 MHz	<1.3	3295	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 2 ks kitu CK-USB-02 s TR-868-21A</li> <li>▪ USB pripojenie</li> <li>▪ dosah 150 m</li> </ul>
<i>ELPRO / Trinstruments</i>	E405U	450 MHz	10-500	19000	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ RS232/RS485</li> <li>▪ 38 kbit/s</li> <li>▪ dosah je až 15000 m</li> </ul>
	E805U	869,4 - 869,65 MHz	500	24371	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ RS232/RS485</li> <li>▪ 115,200 kbit/s</li> <li>▪ dosah 5000 m (19200 baudov)</li> <li>▪ half-duplex</li> </ul>
<i>AUREL / Enika</i>	XTR 869	869,85 MHz	5	1860	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ citlivosť -100 dBm</li> </ul>
	XTR 434	433,92 MHz	10	1640	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ citlivosť -103 dBm</li> </ul>

Predchádzajúce tabuľky vychádzajú z momentálnej ponuky výrobcov a distribútorov v Českej republike. Niektorí výrobcovia ponúkajú len samostatné TRX (vysielač aj prijímač integrovaný v jednom module) moduly ako napríklad firma Radiometrix modely radu BiMx. Je možné ich použiť v pásmach 155,725 a 434 MHz. Pre tieto a pásmo 869 MHz ponúka podobné výrobky aj firma Aurel. Ďalšie moduly s dosahom väčším než 1000m sú v ponuke firmy Aerocomm, One RF a Elpro. Rozdiely medzi spomenutými modulmi sú najmä v maximálnom vysielačom výkone.

Zaujímavý modul ponúka firma IQRF a to miniatúrny model TR-868-21 veľkosti SIM karty s veľmi malou spotrebou pracujúci na platforme IQRF. IQRF je platforma pre jednoduché vytváranie bezdrôtových aplikácií a sieťových topológií pre kontrolu a riadenie. Je postavená na moduloch transceiverov (vysielač aj prijímač) vybavených vlastným operačným systémom a k dispozícii sú aj kompletne vývojové prostredia, aplikačný software a príklady. Zároveň je možné dostať tzv. kit DS-868-27, ktorý obsahuje 2 moduly TR-868-21 a 2 moduly CK-USB-02, s rozhraním USB, 4 tlačítka a LED.

Pre riadenie je možné použiť aj dátový modem Elpro 805U alebo Elpro 405U, ktorý poskytuje veľkú prenosovú rýchlosť, dosah a taktiež max. vysielač výkon. Nevýhodou je tu ako aj pri predchádzajúcich moduloch poloduplexná komunikácia, kde musí byť zabezpečená rýchla zmena medzi vysielačím a príjmom signálu. Tento modem bol použitý aj pri robotickom systéme Orpheus vyvíjanom na Fakulte elektrotechniky a komunikačných technológií VUT v Brne.

Podobné vlastnosti ako spomínaný modem E805U avšak navyše vybavený full-duplexom ponúka firma Racom so svojím modelom MD 400 a MX 400. Rada MX typu wideband, so šírkou kanálu až 200 kHz, umožňuje dosiahnuť väčšie prenosové rýchlosti. Oba spomínané modemy sú vyrábané aj vo verzii pre pásmo 135-175 kHz resp. 290-350 kHz pre typ MD. Pre použitie týchto modulov v Českej republike je však nutné povolenie od ČTU, pretože všeobecné oprávnenia nepovoľujú vysielač s tak veľkou šírkou pásma.

### 3. ĎALŠIE BEZDRÔTOVÉ TECHNOLOGIE

S rozvojom telekomunikácií súvisí aj rozvoj technológií, ktoré sú využívané na prenos informácií alebo iných dát. V nasledujúcej časti zhrnieme niekoľko najpoužívanejších technológií, ktoré sa dajú tiež použiť pri bezdrôtovej komunikácii v mobilnej robotike.

#### 3.1 BLUETOOTH

Bluetooth je bezdrôtová komunikačná technológia slúžiaca na prepojenie medzi dvoma a viacerými elektronickými zariadeniami. Najčastejšie sa využíva na prepojenie mobilných telefónov, PDA či osobných počítačov.

Technológia Bluetooth je definovaná štandardom IEEE 802.15.1 a spadá do kategórie tzv. osobných počítačových sietí. Pracuje vo frekvenčnom pásme 2,4 – 2,4835 GHz. Aby nedochádzalo k rušeniu s inými zariadeniami pracujúcimi na tejto nelicencovanej frekvencii je využitá metóda FHSS (*Frequency-hopping spread spectrum*), kedy počas jednej sekundy dôjde k 1600 skokom medzi 79 frekvenciami s rozstupom 1 MHz. Je definovaných niekoľko výkonových úrovní (1 mW, 2,5 mW a 100 mW), ktoré potom určujú aj dosah zariadenia od cca 10 do 100m.

V súčasnosti sa používa štandard Bluetooth 2.1+EDR a Bluetooth 3.0 HS (*High Speed*), ktorý je oproti svojmu predchodcovi vylepšený najmä a vyššiu prenosovú rýchlosť. Tá sa zvýšila z predchádzajúcich 3 Mbps na 54 Mbps vo voľnom prostredí. Naraz podporuje Bluetooth prepojenie 7 zariadení. Pri spájaní (párovaní) zariadení môže byť použitých viacero štruktúr: single - slave, multi - slave, scatternet (rozptýlený).

V apríli 2010 bola zverejnená najnovšia verzia 4.0, ktorá v sebe zahŕňa všetky tri predchádzajúce špecifikácie – Klasická Bluetooth technológia (*Classic Bluetooth technology*), Nízkoenergetický Bluetooth (*Bluetooth low energy technology*), Vysoko-rýchlostný Bluetooth (*Bluetooth high speed technology*). Táto verzia ponúka možnosť využiť tie predchádzajúce samostatne alebo ich všetky skombinovať. Na trh by mala byť uvedená v druhej polovici roku 2010. (12)



Bluetooth je voľne prístupný štandard s pomerne malou energetickou náročnosťou. Je možné ho použiť na kontrolovanie a riadenie malých mobilných zariadení alebo prenos dát avšak len na krátku vzdialenosť. Najväčší dosah je 100 m za ideálnych podmienok, tzn., že ak ho použijeme v uzavretých priestoroch a pri prenose cez steny tak táto vzdialenosť rýchlo klesá. Jednou z výhod je aj cenová dostupnosť Bluetooth modulov, ktoré sa pohybujú v cenách rádovo do 1000 CZK.

**Tabuľka 3.1 Prehľad Bluetooth modulov (13)**

Výrobca	Model	Pásmo [GHz]	Výkon [dBm]	Citlivosť [dBm]	Dosah [m]	Cena [CZK]	Poznámky
Free2move	F2M03GX	2.4	+19	-92	1000	660	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Bluetooth™ v2.0+EDR</li> <li>▪ Bluetooth™ Serial Port Profile</li> </ul>
Free2move	F2M03GXA	2.4	+19	-92	1000	710	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Bluetooth™ v2.0+EDR</li> <li>▪ Bluetooth™ Serial Port Profile</li> <li>▪ Integrovaná anténa</li> </ul>
Free2move	Evaluation kit F2M03GXA, GX	2.4	+19		350	6125	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ RS-232, USB</li> <li>▪ UART, SPI, GPIO, AUDIO</li> </ul>
Bluegiga	Modul WT12	2.4	+15	-82	200	902	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Bluetooth™ v2.0+EDR</li> <li>▪ USB, UART</li> </ul>
RAYSON	BTM-222	2.4	+18	-86	100	360	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Bluetooth™ v2.0+EDR</li> <li>▪ USB, UART &amp; PCM</li> </ul>

## 3.2 WI-FI

Wi-Fi (*Wireless Fidelity*) v sebe zahrňuje sadu štandardov na vytváranie lokálnych sietí typu LAN (WLAN) založených na štandarde IEEE 802.11. Wi-Fi bolo navrhnuté pre bezdrôtové zariadenia a lokálne siete, ale dnes sa často používa aj na pripojenie k internetu. Umožňuje osobe so zariadením s bezdrôtovým adaptérom (PC, notebook, PDA, mobil ...) pripojenie k internetu v blízkosti prístupového bodu (AP - *access point*). Geografická oblasť pokrytá jedným alebo niekoľkými prístupovými bodmi sa nazýva hotspot.

### 3.2.1 Štandardy IEEE

Keďže v rámci tejto práce sme dostali na testovanie práve moduly s Wi-Fi technológiou, predstavíme si v krátkosti jednotlivé štandardy pre Wi-Fi.

Každý nový krok vo vývoji rádiovkej technológie súvisí s vývojom nového štandardu, ktorý zabezpečuje spoľahlivosť a kompatibilitu zariadení od rôznych výrobcov.

IEEE 802 Committee je medzinárodne uznaná komisia pre LAN siete, ktorá okrem iných definuje štandardy aj pre WLAN siete. Prvý schválený štandard typu 802.11 v roku 1997 dosahoval rýchlosť prenosu 1 – 2 Mbit/s. Keďže táto rýchlosť nebola dostatočná pre následný vývoj aplikácií v tomto smere, nasledovali ďalšie štandardy typu 802.11 HR (*high rate*) alebo 802.11b, ktoré už dosahovali rýchlosť 5 - 11 Mbit/s a pracovali na frekvencii 2,4 GHz.

Tabuľka 3.2 obsahuje prehľad základných štandardov 802.11, ktoré sa dnes používajú resp. sa predpokladá ich príchod v blízkej budúcnosti. Tiež sú tu zahrnuté aj frekvenčné pásma, prenosové rýchlosti a maximálny dosah. (14)

V súčasnosti je najpoužívanejším štandardom 802.11g, ktorý však už v krátkom čase nahradí novší 802.11n.

**Tabuľka 3.2 Prehľad Wi-Fi špecifikácií a základných parametrov (15)**

Štandard (rok schválenia)	Rýchlosť	Frekvencia Pásmo	Dosah (vo vnútri budov)	Dosah (vo voľnom priestranstve)
802.11a (1999)	54 Mbit/s	5 GHz	35 m	120 m
802.11b (1999)	11 Mbit/s	2.4 GHz	38 m	140 m
802.11g (1999)	54 Mbit/s	2.4 GHz	38 m	140 m
802.11n (2009)	248 Mbit/s	2.4 / 5 GHz	70 m	250 m

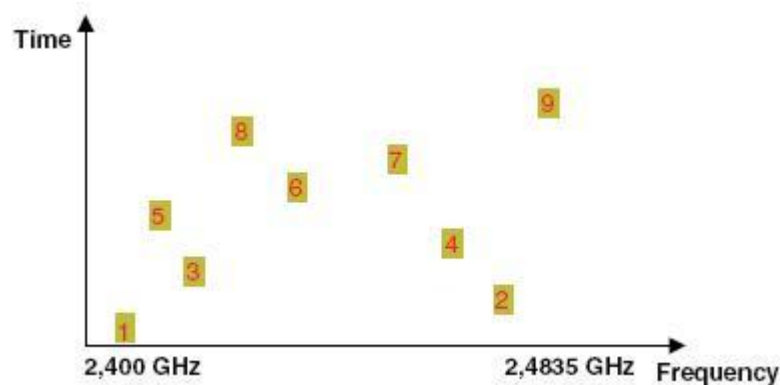
### 3.2.2 Fyzická vrstva

Štandard IEEE 802.11 podporuje rôzne typy rozhraní. Medzi tri základné patria:

- Rádiová fyzická vrstva využívajúca techniku FHSS (*Frequency Hopping Spread Spectrum*), pracujúca na frekvencii 2,4 GHz v pásme ISM (*Industrial, scientific and medical*)
- Rádiová fyzická vrstva využívajúca techniku DSSS (*Direct-sequence Spread Spectrum*), pracujúca na frekvencii 2,4 GHz v pásme ISM
- Fyzická vrstva pre IR(*Infra-red*) prenos (v praxi sa nepoužíva)

#### 3.2.2.1 *Frequency Hopping Spread Spectrum*

Umožňuje 1 až 2 Mbit/s priechodnosť. Využitie frekvenčné pásmo je medzi 2,4 a 2,483 GHz. Využíva sa 79 kanálov o šírke 1 MHz. Signál je prenášaný na rôznych voľných kanáloch (viď Obrázok 3.1). Vysielač a prijímač sú synchronizované na základe frekvenčných skokov počas komunikácie. Následnosť skokov je definovaná určitým vzorom. Pre civilné účely je tento vzor definovaný na základe pseudo-náhodnej postupnosti, avšak pre vojenské účely je to na základe tajného kódu. Zmena frekvencie musí byť vykonaná do cca 400 ms. FHSS Chráni pred úplnou stratou signálu má dobrú ochranu proti interferencii, zoslabovaniu a šumu.



Obrázok 3.1 Technika FHSS (14)

### 3.2.2.2 Direct Sequence Spread Spectrum

Používa jednotnú šírku pásma 2,4 -2,4835 GHz a 14 kanálov šírky 22 MHz oddelených po 5 MHz. Pôvodná verzia ponúkala dva základné typy modulácie:

- Fázová modulácia – DBPSK (*Differential Binary Phase Shifting Key*) – 1Mbit/s
- Modulácia ako druhá mocnina fázy – DQPSK (*Diferential Quadrature Phase Shift Keying*) – 2 Mbit/s

Oba spôsoby modulácie sú založené na princípe diferenčnej fázovej modulácie. To znamená, že nový znak, ktorý sa má preniesť spôsobí otočenie fázy signálu. Pri DBPSK jeden znak prenáša jeden bit, a teda samotná “0“ nespôsobí otočenie fázy. Ďalšia “1“ však spôsobí fázovú inverziu. Pri DQPSK je jeden znak prenášaný ako dva bity a preto rýchlosť prenosu je dvojnásobná.

Tabuľka 3.3 Zmena fázy

Znak	Otočenie
00	0°
01	90°
11	180°
10	270°

V praxi sa na prenos využíva tzv. chipping, teda nahradenie bitu, ktorý sa má preniesť určitou početnejšou sekvenciou bitov. Tieto sekvencie sú väčšinou

vytvárané na základe Goldovho alebo Brakovho kódu. Skutočne prenášaná je táto sekvencia bitov. Ide teda o istý spôsob redundancie prenosu. Takýto signál je potom rozprestretý do väčšej šírky spektra a je tak odolnejší voči rušeniu. Pre ostatných užívateľov má tento signál charakter náhodného šumu a bez znalosti mechanizmu vytvárania pôvodnej pseudonáhodnej sekvencie, je pre neho obtiažne získať (demodulovať) prenášané dáta.

To či je výhodnejšie použiť FHSS alebo DSSS závisí hlavne na potrebách danej aplikácie. Ak je potreba širokého pokrytia alebo vysokej priechodnosti potom je výhodnejšie DSSS. Naopak v prípade viac cestného prostredia je to FHSS. (14)

### 3.2.3 Výhody Wi-Fi

- Na rozdiel od paketových rádiových systémov, Wi-Fi využíva nelicencované rádiové pásmo a individuálny používateľ nepotrebuje súhlas miestnych úradov.
- Umožňuje vybudovať LAN bez káblov a tak znížiť náklady na vybudovanie, či rozširovanie siete.
- Wi-Fi produkty sú na trhu široko dostupné a sú kompatibilné na základnej úrovni.
- Wi-Fi siete podporujú roaming - mobilná klientska stanica (napr. prenosný počítač) sa môže presúvať od jedného prístupového bodu k druhému bez straty spojenia súčasne s pohybom používateľa v budove alebo oblasti.
- Wi-Fi je globálna skupina štandardov. Na rozdiel od mobilnej telefónie ten istý Wi-Fi klient pracuje v rôznych krajinách na celom svete. (16)

### 3.2.4 Nevýhody

- Použitie Wi-Fi pásma 2.4 GHz vo väčšine krajín nevyžaduje licenciu za predpokladu, že zostanete pod limitom 100 mW a akceptujete rušenie z iných zdrojov vrátane rušenia, ktoré zapríčini znefunkčnenie vašich zariadení.
- Wi-Fi štandardy 802.11b a 802.11g používajú nelicencované pásmo 2.4 GHz, ktoré je preplnené inými zariadeniami, napr. Bluetooth, mikrovlnné rúry, bezdrôtové telefóny alebo zariadenia na bezdrôtový prenos video signálu. To môže spôsobiť zníženie výkonu.

- Vysoká spotreba v porovnaní s niektorými inými
- Wi-Fi siete majú obmedzený dosah
- Prístupové body sa dajú využiť na ukradnutie osobných informácií vysielaných Wi-Fi klientmi. (16)

### 3.2.5 Bezpečnosť

Na zabezpečenie WLAN sietí sa najčastejšie používal bezdrôtový kryptovací štandard WEP (*Wired Equivalent Privacy*), ktorý je prelomiteľný, aj keď je správne nakonfigurovaný (príčinou je generovanie slabého kľúča).

Hoci väčšina novších bezdrôtových produktov podporuje zdokonalený protokol WPA (*Wi-Fi Protected Access*), množstvo prístupových bodov prvej generácie sa nedá upgradovať v teréne a musí sa vymeniť. Štandard 802.11i (WPA2) z júna 2004, ktorý je dostupný v najnovších zariadeniach, ďalej vylepšuje bezpečnosť. Oba novšie protokoly vyžadujú silnejšie heslá než zvykne používať väčšina používateľov. Mnohé firmy aplikujú dodatočné úrovne kryptovania (napr. VPN), aby sa uchránili pred zachytením komunikácie.

### 3.2.6 WiFi moduly

Vzhľadom na popularitu Wi-Fi technológie je na trhu veľmi veľké množstvo Wi-Fi modulov použiteľných pre naše potreby. Z nich v Tabuľka 3.4 uvádzame len tie dva, ktoré sme sme na konci práce mali možnosť otestovať.

**Tabuľka 3.4** Prehľad Wi-Fi modulov vybraných na testovanie

Výrobca/ Distribútor	Model	Pásmo [GHz]	Výkon [dBm]	Citlivosť [dBm]	Cena [CZK]	Poznámky
Mikrotik / i4wifi	R52n	2,4 5	25	-97	727	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ miniPCI</li> <li>▪ Chipset Atheros AR9220</li> <li>▪ Rýchlosť 300Mbps</li> <li>▪ 802.11a/b/g/n</li> </ul>
Ubiquiti / Wifi.aspa	XR5	5	28	-94	2 099	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ mini-PC</li> <li>▪ Chipset Atheros AR5414</li> <li>▪ Rýchlosť 54Mbps</li> </ul>

### 3.3 WIMAX

WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) je jedna z najnovších a najrozširujúcejších sa bezdrôtových technológií. Podobne ako Wi-Fi aj WiMAX je definovaný štandardom IEEE, konkrétne 801.16. Tento štandard bol vyvinutý ako doplnok k Wi-Fi pre vonkajšie siete.

#### 3.3.1 Štandardy IEEE

Skupina IEEE 802.16 bola založená v roku 1998 aby vyvinula štandardné rozhranie pre bezdrôtový širokopásmový prenos. Prvá verzia štandardu bola publikovaná v roku 2002 pod číslom 802.16 a definovala prístupovú technológiu s nutnosťou priamej viditeľnosti (LOS – *Line of Sight*) a architektúrou point-to-multipoint (PMP) pre frekvenčné pásma 10 - 66 GHz. Tento štandard bol založený na jedno nosnej fyzickej vrstve (PHY) s časovo rozdelenou multiplexovou (TDM – *Time Division Multiplexing*) MAC vrstvou.

Skupina IEEE 802.16 následne vyvinula doplnok s názvom 802.16a, v ktorom odstránila nutnosť priamej viditeľnosti (NLOS - *Non line of sight*) v pásme 2 - 11 GHz s využitím fyzickej vrstvy s ortogonálnym multiplexom s kmitočtovým delením (OFDM - *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*). Taktiež ku MAC vrstve bola dodaná podpora pre ortogonálne frekvenčné delenie s viacnásobným prístupom (OFDMA - *Orthogonal Frequency Division Multiple Access*). Ďalšie zmeny boli zapracované do nového štandardu v roku 2004 s názvom IEEE 802.16-2004, ktorý nahradil všetky predchádzajúce štandardy a vytvoril tak základ WiMAX riešenia.

Tieto prvé WiMAX riešenia založené na štandarde IEEE 802.16-2004 patria do skupiny tzv. pevných (*fixed*) WiMAX. (17) V decembri 2005 skupina IEEE schválila štandard IEEE 802.16e-2005, s doplnenou mobilitou k predchádzajúcemu štandardu. Preto tento je tiež nazývaný mobilný (*mobile*) WiMAX. (18)

**Tabuľka 3.5 Základné informácie o štandarde IEEE 812.16 (15)**

Štandard	802.16	802.16-2004	802.16e-2005
Rok schválenia	2001	2004	2005
Frekvenčné pásmo	10 GHz – 66 GHz	2 GHz – 11 GHz	2 GHz – 11 GHz –pevný 2 GHz – 6 GHz – mobilný
Aplikácia	pevný LOS	pevný NLOS	pevný a mobilný NLOS
Rýchlosť prenosu	32 Mbit/s – 134,4 Mbit/s	1 Mbit/s – 75 Mbit/s	1 Mbit/s -75 Mbit/s
Šírky kanálov	20MHz, 25MHz, 28MHz	1.75MHz, 3.5MHz, 7MHz, 14MHz, 1.25MHz, 5MHz, 10MHz, 15MHz, 8.75MHz	1.75MHz, 3.5MHz, 7MHz, 14MHz, 1.25MHz, 5MHz, 10MHz, 15MHz, 8.75MHz
WiMAX implementácia	–	256 – OFDM ako pevný WiMAX	nastavovateľný OFDMA ako mobilný WiMAX

Pravdepodobne do konca roku 2010 bude k dispozícii jedna z ďalších dôležitých noriem na podporu WiMAX – IEEE 802.16m. V porovnaní s normou IEEE 802.16e-2005 bude predstavovať ďalší kvalitatívny skok v rámci technických možností WiMAX, pretože umožní väčšiu priepustnosť. Podľa doterajších informácií by mala byť kapacita v doprednom smere min 120 Mbit/s pre prípad vysoko mobilného užívateľa a až 1 Gbit/s pre stacionárneho užívateľa. Toto zvýšenie šírky pásma bude docielené využitím OFDM a vyspelých anténnych systémov MIMO (Multiple-Input, Multiple-Output).



### 3.3.2 Prednosti WiMAX

- **OFDM fyzická vrstva** - technika pracujúca s tzv. rozprestretým spektrom, kedy je signál vysielaný na viacerých nezávislých frekvenciách a je odolný voči viacestnému spojeniu a umožňuje tak WiMAXu fungovať aj v NLOS podmienkach.
- **Vysoká prenosová rýchlosť** - Teoreticky je fyzická vrstva schopná rýchlostí až 74 Mbit/s v prípade že je použité frekvenčné spektrum šírky 20 MHz
- **Nastavovateľná šírka pásma** – možnosť meniť rýchlosť prenosu dát v závislosti na voľnej šírke pásma.
- **Podpora TDD a FDD** - TDD(*Time Division Duplex*) a FDD(*Frequency Division Duplex*). Najpoužívanejším je TDD, ktorý umožňuje dynamické pridelenie prenosovej rýchlosti pre uplink a downlink, schopnosť implementácie v nespárovanom spektre.
- **Podpora mobility** – **podpora** bezpečného a hladkého prenosu pre aplikácie ako napr. VoIP. Podpora pre šetrenie energie.
- **Robustná bezpečnosť** - silné šifrovanie tzv. (AES – *Advanced Encryption Standard*). Flexibilná architektúra autentifikácie založená na EAP (*Extensible authentication Protocol*). (19)

### 3.3.3 Porovnanie s Wi-Fi

Tak WiMAX ako aj Wi-Fi sú založené na štandardoch IEEE 802.xx a oba slúžia na bezdrôtové pripojenie k internetu. Avšak oba štandardy mieria trochu iným smerom.

WiMAX je systém s veľkým dosahom (km), ktorý využíva licencované pásmo a slúži najmä na pripojenie k internetu.

Wi-Fi má niekoľko krát menší dosah (100 x m), ale pracuje na nelicencovanom pásme 2,4 resp. 5 GHz. Najčastejšie je Wi-Fi použité na vytváranie lokálnych sietí WLAN alebo na pripojenie k internetu.

Wi-Fi a WiMAX majú vcelku odlišné riadenie dátových tokov (QoS – *Quality of service*). WiMAX používa mechanizmus vzniku spojenia medzi základnou stanicou a užívateľským zariadením. Každé prepojenie je založené na

špecifickom plánovacom algoritme (*specific scheduling algorithm*), čo zaručuje QoS garantované pre každý tok.

Wi-Fi uviedlo QoS mechanizmus podobný pevnému Ethernetu, kde pakety majú pridelenú rôznu prioritu podľa ich značenia. To znamená, že QoS medzi paketmi/prúdením je relatívny, v porovnaní s garantovaným. (16)

### 3.3.4 WiMAX v ČR

Technológia WiMAX funguje v Českej republike už od začiatku roku 2005. Ako sme už spomínali, vo svete sa okrem tzv. fixného štandardu 802.16d začína používať aj tzv. mobilný štandard 802.16e. V ČR však zatiaľ jediným povoleným štandardom pre WiMAX je štandard fixný 802.16d. WiMAX v ČR je prevádzkovaný v licencovanom pásme 3,5GHZ.

Tak ako celá technológia je neustále vo vývoji tak sa postupne vyvíjajú nové zariadenia pre WiMAX, kde momentálnym lídrom na trhu je spoločnosť Alvarion. Väčšina výrobcov sa však už teraz zameriava viac na vývoj zariadení pre mobilný WiMAX pri ktorom sa čaká mäsovejšie rozšírenie.

WiMAX v súčasnosti prevádzkuje niekoľko desiatok poskytovateľov internetu. Prevádzkovatelia využívajú WiMAX čiastočne ako nosné spojenie vo svojich sieťach a čiastočne ako priame pripojenie užívateľov k internetu.

Výhodou pripojenia k internetu cez WiMAX je spoľahlivosť a garancia bezdrôtového pripojenia, ktorá je omnoho vyššia ako napr. pri využívaní bezlicenčných pásiem technológiou Wi-Fi. Prenosová rýchlosť je vďaka šírke pásma 7 MHz (od roku 2008) oproti Wi-Fi šírke 20 MHz len okolo 16 Mbit/s . Naproti tomu však WiMAX poskytuje stabilnejšie pripojenie v prípade zhoršenia SNR(*Signal to Noise Ratio*). Taktiež k prechodu na nižšie rýchlosti dochádza bez výpadku spojenia.

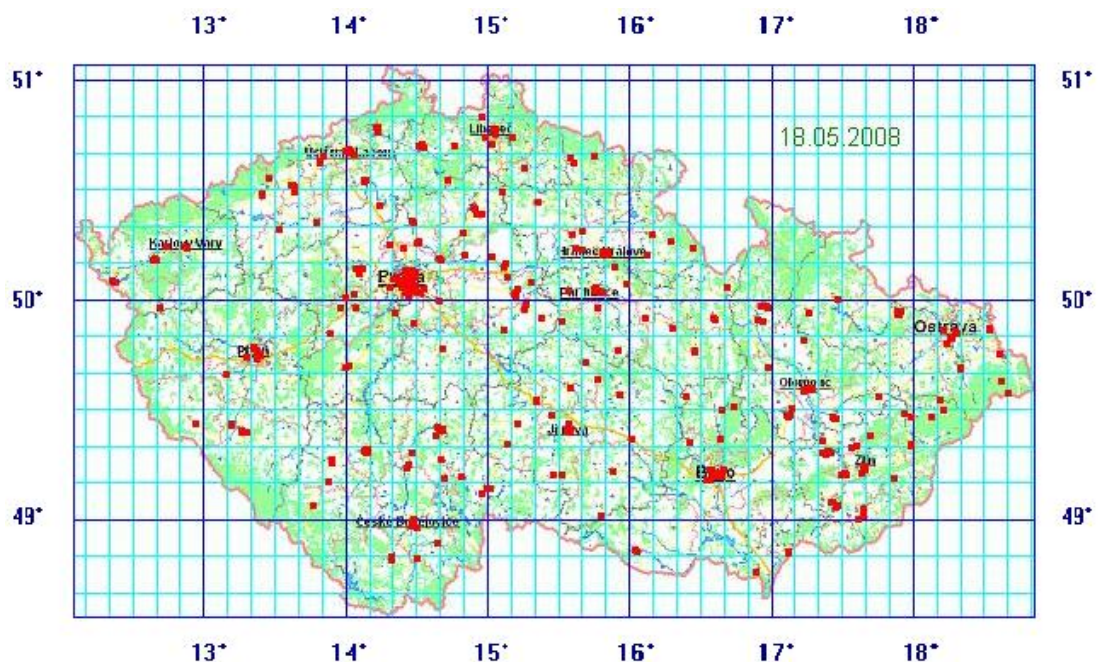
Od príchodu WiMAX do ČR došlo k niekoľkým zmenám a vylepšeniam z ktorých nasledujúce dve sú najvýznamnejšie:

**Podpora diverzitého príjmu** – podstatné zlepšenie pokrytia pri NLOS spojoch a ich stabilita. Redundancia siete – pri výpadku jednej rádiovkej jednotky,

dôjde len k výpadku diverzity, ale bezdrôtové spojenie bude stále funkčné a klient nezaznamená žiadny výpadok.

**Podpora 7 MHz kanálu** – nové zariadenia umožňujú aj 7 MHz kanál, čo prináša zvýšenie kapacity a zdvojnásobenie prenosovej rýchlosti na hodnotu 16 Mbit/s . (20)

Podľa nariadení ČTU je v ČR možné WiMAX prevádzkovať v pásme 3,5 GHz aj na tzv. lokálnych licenciách. To znamená, že WiMAX siete môžu byť prevádzkované aj lokálnymi poskytovateľmi a nielen celoplošnými operátormi. Zatiaľ sú WiMAX siete rozšírené vo väčšine menších a väčších miest. Na Obrázok 3.2 je mapa ČR, červenou farbou sú zobrazené oblasti s pokrytím WiMAX.



**Obrázok 3.2 Pokrytie WiMAX signálom v ČR (1)**

Ako už bolo spomenuté WiMAX technológia funguje na licencovanom pásme 3,5 GHz. To znamená, že poskytovatelia musia najprv podať žiadosť o udelenie oprávnenia k využívaniu rádiových frekvencií v pásme 3,5 GHz. Na internetových stránkach ČTU je možno nájsť voľné resp. už pridelené kanály v danej lokalite. Poplatky za licenciu na jeden rok sú zhruba 25 - 30 tisíc Kč.

### 3.3.5 WiMAX moduly

V súčasnosti je lídrom na trhu WiMAX zariadení spoločnosť Alvarion, ktorá ponúka jednak antény pre pásmo 3,5 GHz, ale aj klientske stanice pre pripojenie do siete a na svetovom trhu WiMAX inštalácií má 50% podiel.

Tabuľka 3.6 Prehľad WiMAX modulov

Výrobca/ Distribútor	Model	Pásmo [GHz]	Výkon [dBm]	Citlivosť [dBm]	Cena [CZK]	Poznámky
Alvarion / Intelek	BMAX-CPE- DMe-Si-E- 3.5 BreezeMAX	3,5	22	-103	12 540	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ klientska stanica</li> <li>▪ indoor</li> <li>▪ norma 802.16d, 802.16e</li> <li>▪ integrovaná anténa</li> <li>▪ rýchlosť 16Mbit/s</li> </ul>
	BMAX-CPE- ODU-PRO- DMe-SA-3.5 BreezeMAX	3,5	20	-103	8 978	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ klientska stanica</li> <li>▪ outdoor</li> <li>▪ norma 802.16d, 802.16e</li> <li>▪ rýchlosť 16Mbit/s</li> </ul>
Airspan / Damovo	EasyST	3,4 – 3,6 4,9 – 5,0 2,3 – 2,4	24	-103	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ klientska stanica</li> <li>▪ indoor</li> <li>▪ IEEE 802.16- 2004</li> <li>▪ samoinštalácia</li> <li>▪ podpora Wi-Fi</li> </ul>
	ProST	3,4 – 3,6 5,8 4,9 – 5,0 2,3 – 2,4	23	-103	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ IEEE 802.16- 2004</li> <li>▪ outdoor</li> <li>▪ podpora Wi-Fi</li> <li>▪ LOS / NLOS</li> <li>▪ 4x Hub</li> </ul>
RedMAX / Barco	SU-I	3,4 – 3,6	20	-90	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ vnútorná klientska stanica</li> <li>▪ IEEE 802.16- 2004</li> <li>▪ LOS / NLOS</li> </ul>

Zatiaľ ponuka zariadení podporujúcich technológiu WIMAX je na Českom trhu dosť obmedzená. Firma Alvarion ponúka okrem základňových staníc a antén pre tvorbu sietí jeden typ klientskej stanice pre vnútorné a druhý pre vonkajšie použitie. Ide však o zariadenia, ktoré majú väčšie rozmery (cca 100x100x200 mm) a preto nie sú vhodné na použitie na mobilných zariadeniach. Podobné zariadenia má v ponuke aj firma Airspan, ktorej stanice sú síce o niečo menších rozmerov, ale stále nie vhodné pre naše potreby.

Ďalším svetovým výrobcom WiMAX zariadení je spoločnosť RedMAX ako člen skupiny Redline Communications. Podobne ako prechádzajúci výrobcovia ponúkajú zatiaľ len klientske systémy, ktoré sú nevhodné na použitie v mobilnej robotike. Popredný výrobcovia mobilných telefónov a notebookov začínajú s implementáciou WiMAX modulov do ich zariadení. Tento krok výrazne zjednoduší a rozšíri používanie WiMAX pripojenia k internetu.

### 3.4 GSM

GSM (Globálny Systém pre Mobilnú komunikáciu) je najobľúbenejší štandard pre mobilné telefóny na svete. GSM telefóny používa viac než 2 miliardy ľudí z viac ako 200 zemí. GSM sa od svojich predchodcov líši tým, že signálne a hovorové kanály sú digitálne, teda sa jedná o druhú generáciu systému mobilných telefónov. GSM je otvorený štandard, ktorý vyvíja 3GPP (*The 3rd Generation Partnership Project*).

GSM systém funguje na štyroch základných frekvenciách, pričom v Európe je to pásmo 900 MHz alebo 1800 MHz. V pásme 900 MHz frekvenčné pásmo pre uplink je 890 – 915 MHz a pre downlink 935 – 960 MHz. Tieto 25 MHz –ové pásma sú rozdelené na 124 nosných frekvenčných kanálov, o šírke 200 kHz. Vysielač výkon GSM zariadení v pásme 900 MHz je maximálne 2W a v pásme 1800 MHz 1W.

V súčasnosti mobilný operátori zabezpečujú pokrytie takmer celej republiky s výnimkou niektorých horských oblastí. Preto je výhodné využiť túto sieť aj na riadenie mobilných zariadení. Odpadajú náklady na budovanie vlastnej siete a nákup

vlastných zariadení. Stačí použiť niektorý s GSM modulov a súhlasiť s podmienkami telefónnych operátorov pre využívanie ich sietí na dané účely.

### 3.4.1 GPRS a EDGE

GPRS (*General Packet Radio Service*) a EDGE (*Enhanced Data rates for Global Evolution*) sú mobilné dátové služby prístupné pre užívateľov GSM mobilných telefónov. EDGE vychádza z technológie svojho predchodcu GPRS.

GPRS je paketovo - prepínané spojenie, čo znamená, že viacej užívateľov zdieľa rovnaký prenosový kanál a dáta sa prenášajú len keď sú odosielané. GPRS pred odoslaním, dáta rozdelí na niekoľko menších častí tzv. balíčkov (paketov) a tie potom nezávisle odošle práve voľnými kanálmi (väčšina zariadení používa 4 kanály na odosielanie a 2 na sťahovanie). U prijímateľa sú tieto dáta spojené v správnom poradí tak, aby ich koncové zariadenie vedelo prijať a spracovať. Celková kapacita linky môže byť okamžite vyhradená tým užívateľom, ktorí práve posielajú dáta v ktorejkoľvek chvíli, čo poskytuje vyššiu prístupnosť tam, kde užívatelia posielajú alebo prijímajú dáta periodicky. Prezeranie webových stránok, prijímanie e-mailov hneď ako prídu, chatovanie, to sú príklady, kde sa využíva občasný prenos dát a tak je výhodou zdieľanie dostupnej kapacity.

Maximálna rýchlosť je daná najmä od použitia kódovej schémy v danej sieti. V Českej republike podporuje kódovanie CS-3 a CS-4 sieť T-mobile a sieť Vodafone, kým sieť O2 podporuje len základné kódovanie CS-1 a CS-2. Kódová schéma sa vyberá v závislosti na odstupe signálu rušenia, tak aby bol zaistený najlepší prenos dát.

Tabuľka 3.7. zobrazuje prehľad rýchlostí v závislosti na type kódovej schémy.

**Tabuľka 3.7 Kódové schémy a ich rýchlosti (15)**

Kódová schéma	Rýchlosť v kbit/s
CS-1	8,0
CS-2	12,0
CS-3	14,4
CS-4	20,0

To znamená, že maximálna rýchlosť, ktorú môžeme dosiahnuť pri použití kódovania CS-4 a konfigurácii 4+2 je 4x20 kbit/s pre sťahovanie. Avšak aby bola dosiahnutá max. hodnota pri kódovaní CS-3 a CS-4 musí mať zariadenie kvalitný signál.

EDGE vylepšuje GPRS o inkrementálnu redundanciu, ktorá namiesto znovuprenášania poškodených paketov posiela viac redundantnej informácie, aby bola skombinovaná v prijímači. Zvyšuje to pravdepodobnosť správneho dekódovania. EDGE za ideálnych podmienok (dobrý signál) a podpory zo strany operátora môže dosahovať rýchlosť až 384 kbit/s. (21)

#### ***3.4.1.1 GPRS zariadenia***

V Tabuľka 3.8 je výber niekoľkých zariadení, ktoré je možné použiť na komunikáciu so systémom GPRS prípadne ponúkajú rozšírenie o EDGE. Najefektívnejšie je použiť moduly, ktoré obsahujú nielen GPRS/EDGE rozhranie ale aj softwarovú konfiguráciu a preto ich inštalácia a použitie je pomerne jednoduché. Väčšina spomenutých modulov má možnosť implementácie vlastného softwaru pre dátovú komunikáciu. Pri výbere zariadení je potrebné zistiť presné podmienky podpory služby zo strany mobilného operátora

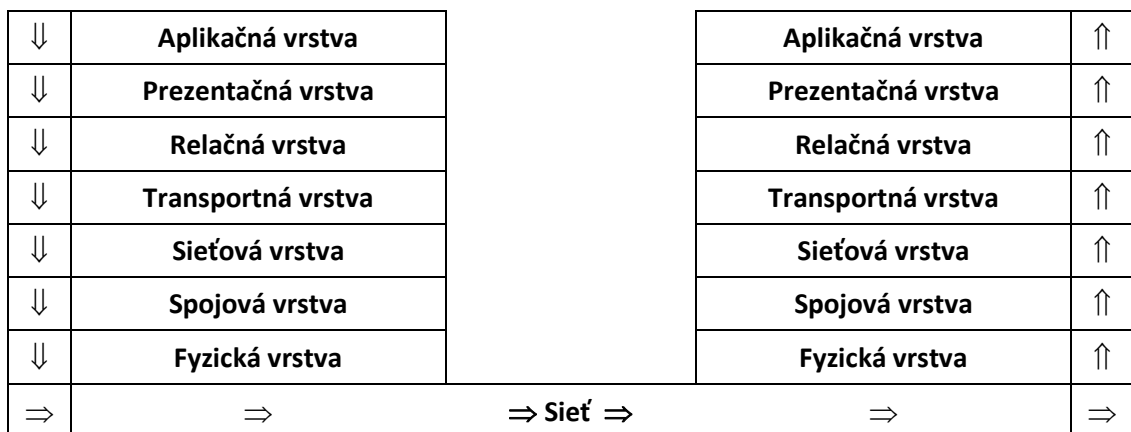
Tabuľka 3.8 Prehľad GPRS modulov a modemov

Výrobca / Distribútor	Model	Pásmo [MHz]	Rýchlosť down/up [kbit/s]	Cena [CZK]	Poznámky
<i>Comtech M2M</i>	OEM-GPRS2E	900 / 1800	57,6 / 28,8	4 176	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Modem modul</li> <li>▪ RS232/TTL</li> <li>▪ starter kit</li> </ul>
<i>Wavecom / Icenet</i>	FASTRACK SUPREME	900 / 1800	80,0 / 40,0	3 950	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ RS-232</li> <li>▪ Rozšíriteľnosť o GSM/GPRS/EDGE modem FASTRACK SUPREME 20</li> </ul>
	GENLoc31e	900 / 1800	80,0 / 40,0	9 900	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ malé rozmery</li> <li>▪ modul WISMO QUIK Q2406B</li> <li>▪ univerzálna sledovacia a komunikačná aplikácia</li> </ul>
	INTEGRA M2106	900 / 1800	80,0 / 40,0	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ rýchla integrácia</li> <li>▪ možnosť programovania a integrácie TCP/IP</li> </ul>
	InterSeal 2.0	900 / 1800	80,0 / 40,0	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ plne integrovaný modul s GPRS modemom</li> <li>▪ RS232C</li> <li>▪ nízka spotreba</li> <li>▪ Real-time, On-line GSM/GPRS TCP/IP riešenie</li> </ul>
<i>Audiotel / Telsys</i>	GPRS Industrial Base	900 / 1800	85,6 / 40,0	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ malé rozmery</li> <li>▪ jednoduchá inštalácia</li> </ul>
	GPRS Industrial I/O	900 / 1800	85,6 / 40,0	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ TCP/IP</li> <li>▪ digitálne I/O</li> </ul>
<i>Insys Microelectronics</i>	i-modul GSM/GPRS/ EDGE	900 / 1800	85 / 85 237 / 237		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ rôzne varianty</li> <li>▪ RS232/Ethernet</li> </ul>



## 4. MODEL OSI

Dátová komunikácia prešla v priebehu svojho vývoja rôznymi zmenami, ktoré ovplyvňovali najmä spôsob prenosu dát cez rôzne médiá a prostredia. Postupom času bola vytvorená všeobecná sieťová architektúra, ktorá predstavuje štruktúru riadenia komunikácie v komunikačných systémoch. Keďže riadenie komunikácie je dosť náročný proces, pozostávajúci z množstva čiastkových problémov, bolo toto riadenie rozdelené do niekoľkých vrstiev. Tým vznikol tzv. vrstvový referenčný model OSI (Open System Interconnection), ktorý je zložený zo 7 vrstiev. Vid' Obrázok 4.1.



Obrázok 4.1 OSI referenčný model

### 4.1 KOMUNIKÁCIA

Každá zo siedmych vrstiev tohto modelu vykonáva skupinu jasne definovaných funkcií potrebných pre komunikáciu s iným systémom. Každá z týchto vrstiev využíva pre svoju činnosť vždy služby susednej nižšej vrstvy a následne poskytuje svoje služby susednej vyššej, ak existuje. Komunikácia medzi jednotlivými vrstvami teda funguje len postupne cez susedné vrstvy.

Všetky vrstvy okrem najvyššej aplikačnej sú poskytovateľom určitých služieb, nazývaných vrstvovými, pre susedné vyššie vrstvy. Rozlišujeme 3 typy služieb:

- Povinné služby – musia sa poskytovať

- Služby voliteľné prevádzkovateľom – môžu ale nemusia byť poskytované
- Služby voliteľné užívateľom – sú poskytované na žiadosť

Každý užívateľ služieb je v interakcii s ich prevádzkovateľom prostredníctvom služobných primitív, nezávislých na implementácii. Rozlišujeme štyri primitíva:

- Žiadosť
- Oznámenie
- Odpoveď
- Potvrdenie

## 4.2 PROTOKOLY

Protokol je všeobecne definovaný ako súbor pravidiel syntaktických (formáty jednotlivých správ) a sémantických (požívanie príkazov a odpovedí), ktoré pôsobia na každej vrstve a špecifikujú výmenu riadiacich údajov medzi komunikujúcimi stanicami, t.j. protokolové dátové jednotky (PDU - *Protocol Data Unit*). Protokolové dátové jednotky obsahujú záhlavie s protokolovou riadiacou informáciou (PCI - *Protocol Control Information*), a prípadne aj užívateľské dáta.

Každý protokol je definovaný PDU a ich formátom, pravidlami pre výmenu PDU medzi entitami, a hodnotami merateľných a nastaviteľných veličín, parametrov (napr. časové oneskorenie, počet opakovaní, objem užívateľských dát, šírka okna...). Na každej vrstve sú definované rôzne protokoly, s rôznymi protokolovými slovami (žiadosti, odpovede) a tým pádom aj záhlaviami. Preto pri vysielaní pridáva každá vrstva k PDU svoje vlastné záhlavie (zapuzdrowanie) prípadne pri prijímaní dát ho odoberá (odpuzdrowanie). (22)

## 4.3 POPIS JEDNOTLIVÝCH VRSTIEV MODELU OSI

Ako už bolo spomenuté, referenčný model OSI je zložený zo siedmych vrstiev, pričom najnižšie dve je možné implementovať v hardwari aj softwari ale už vyššie vrstvy sú implementované len v softwari.

#### 4.3.1 Aplikačná vrstva

Úlohou aplikačnej vrstvy je zabezpečiť rozhranie medzi užívateľom a procesmi rôznych aplikácií. Medzi najznámejšie sieťové aplikácie tejto vrstvy patrí napr. elektronická pošta (SMTP - *Simple Mail Transfer Protocol*), prenos súborov (FTP – *File Transfer Protocol*), vzdialený prístup (TELNET - *Telecommunication Network*), komunikácia medzi servermi a klientmi, správa sietí (SNMP - *Simple Network Management Protocol*).

Na zabezpečenie služieb aplikačnej vrstvy sú potrebné funkcie, ktoré sú zahrnuté v nižších vrstvách a sú poskytované formou patriacou len do aplikačnej vrstvy.

#### 4.3.2 Prezentačná vrstva

Prezentačná vrstva zaisťuje transparentný prenos správ medzi koncovými užívateľmi a zaoberá sa len štruktúrou správ a nie samotným významom, ktorý je známy len aplikačnej vrstve. Účelom prezentačnej vrstvy je poskytovať informácie aplikačnej vrstve tak aby prenášané správy boli pre aplikáciu prezentované jednotným spôsobom bez ohľadu na svoju rôznorodosť.

Medzi funkcie tejto vrstvy patrí napr. žiadosť o zrušenie alebo vytvorenie relácie, prenos dát, transformácia syntaxe vrátane transformácie dát, formátovanie, prípadne (de)šifrovanie dát

#### 4.3.3 Relačná vrstva

Relačná vrstva má na starosti organizovanie a synchronizáciu dialógu medzi spolupracujúcimi prezentačnými entitami a riadenie výmeny dát medzi nimi. Prezentačná entita môže byť súčasne pripojená k viacerým relačným spojeniam. Relačná vrstva poskytuje služby vytvárania a uzatvárania relačného spojenia (relácie), normálny a zrýchlený prenos správ, podržaný prenos správ, riadenie interakcie, synchronizáciu relačného spojenia a oznamovanie výnimočných stavov prezentačnej vrstve.

#### 4.3.4 Transportná vrstva

Transportná vrstva je postavená medzi užívateľov a sieť poskytuje transparentný prenos dát medzi koncovými uzlami. Nestará sa o smerovanie ale poskytuje relačnej vrstve:

- Transportnú službu so spojením (TCP - *Transmission Control Protocol*)
- Transportnú službu bez spojenia (UDP - *User Datagram Protocol*) (viď kap. 5)

Funkcie transportnej vrstvy sú najmä adresovanie (zobrazovanie transportných adries na sieťové), multiplexovanie (združovanie) a rozvetvovanie transportných spojení, koncová detekcia a oprava chýb, formátovanie (rozkladanie správ na fragmenty), koncové riadenie toku atď.

#### 4.3.5 Sieťová vrstva

Sieťová vrstva poskytuje sieťové spojenie pre systémy, ktoré chcú spolu komunikovať a pritom spolu nemusia priamo susediť. Na základe sieťovej (logickej) adresácie je sieťová vrstva zodpovedná za vlastnú komunikáciu v komplexnej sieti, smerovanie (výber vhodnej cesty v otvorených systémoch) a prenos dátových jednotiek – paketov (datagramov) od zdroja k cieľu.

Funkcie sieťovej vrstvy umožňujú preklenúť rozdielne vlastnosti technológií v prenosových sieťach.

#### 4.3.6 Linková vrstva

Linková vrstva vykonáva svoju funkciu vždy medzi dvomi priamo susediacimi komunikačnými systémami. Umožňuje zahájenie, udržanie a ukončenie spojenia, rozvetvenie dátových spojení, formátovanie rámcov, identifikáciu koncových bodov spojenia, zoradenie prenášaných rámcov, detekciu a opravu chýb atď.

Linková vrstva sa v lokálnych sieťach rozdeľuje do dvoch podvrstiev:

- Podvrstva riadenia logického spoja (LLC – *Logical Link Control*)
  - multiplex protokolov vysielaných na MAC vrstvu (vysielanie) a demultiplex (príjem)
  - realizuje riadenie toku a zabezpečenie proti chybám

- nie je hardwarovo závislá
- Podvrstva riadenia prístupu k prenosovému prostriedku (MAC - *Media Access Control*)
  - fyzické adresovanie,
  - riadenie prístupu k médiu
  - je hardwarovo závislá

#### **4.3.7 Fyzická vrstva**

Fyzická vrstva poskytuje služby pre linkovú vrstvu. Aktivuje a udržiava fyzické spojenie. Fyzické spojenie môže byť dvojbodové (RS-232) alebo viacbodové (Ethernet).

Funkcie fyzickej vrstvy sú aktivácia a deaktivácia fyzických spojení, sprostredkovanie prepojenia dátových okruhov a prenos bitov alebo skupín bitov. Mechanické, elektrické a iné charakteristiky použitých prenosových prostriedkov sú definované na rozhraní medzi fyzickou vrstvou a fyzickými prostriedkami.

Prenosové prostredia už nie sú súčasťou referenčného modelu OSI. (23)

## 5. UDP

Ako sme už bolo spomenuté v kapitole 4.3.4, UDP (*User Datagram Protocol*) je jedným z dvoch najpoužívanějších protokolov transportnej vrstvy OSI modelu. Vo všeobecnosti je charakterizovaný ako nespoľahlivý protokol hlavne vo vzťahu k zaručeniu spoľahlivého prenosu dát. Na rozdiel od protokolu TCP nezaručuje, že sa prenášaný datagram nestratí, nezmení sa ich poradie alebo sa niektorý z datagramov doručí dva krát. Pre účely testovania sme využili práve posielanie dát prostredníctvom UDP (viac v kapitole 8.3).

Samotný protokol je definovaný v IETF RFC 768 (24).

### 5.1 UDP PROTOKOL

#### 5.1.1 Datagram

Pojem datagram označuje typ paketu nespoľahlivého prenosu dát. V porovnaní so spoľahlivým prenosom v tomto prípade neexistuje spätná väzba, ktorá by potvrdila doručenie daného paketu.

#### 5.1.2 Formát

Tabuľka 5.1 znázorňuje hlavičku UDP datagramu, ktorá sa skladá len zo štyroch polí, z ktorých povinné sú len dve – Cieľový port a Dĺžka.

**Tabuľka 5.1 Formát UDP hlavičky**

+	bit 0 - 15	16 – 31
0	Zdrojový port (Source port)	Cieľový port (Destination port)
32	Dĺžka (Length)	Kontrolný súčet (Checksum)
64	Dáta (Data)	

#### **5.1.2.1 Zdrojový port**

Je to voliteľné pole, ktoré označuje port vysielajúceho procesu a taktiež môže byť označený aj ako cieľový port pre odoslanie odpovedi v prípade, že nie sú dostupné ďalšie informácie. Ak toto pole nie je využité je automaticky zdrojový port nastavený na 0.

#### **5.1.2.2 Cieľový port**

Číslo cieľového portu je základná a povinná informácia, podľa ktorej sa protokol UDP na strane príjemcu rozhoduje komu má prijatý datagram doručiť resp. cez ktorý port má prijatý datagram odovzdať entite aplikačnej vrstvy.

#### **5.1.2.3 Dĺžka**

Dĺžka označuje dĺžku UDP datagramu v oktetoch vrátane hlavičky datagramu a samotných dát. Minimálna dĺžka datagramu je teda 8, v prípade, že dátová časť je prázdna.

#### **5.1.2.4 Kontrolný súčet**

Kontrolný súčet je 16-bitový jednotkový doplnok počítaný ako suma informácií z pseudohlavičky, UDP hlavičky a samotných dát, ktoré sú v prípade potreby na konci doplnené nulami aby sa dosiahol násobok dvoch oktetrov.

Pseudohlavička vychádza z IP hlavičky a obsahuje teda zdrojovú adresu, cieľovú adresu, typ protokolu a UDP dĺžku. Táto informácia zabezpečuje ochranu pred zle presmerovanými datagramami. Pseudohlavička nie je v skutočnosti prenášaná od odosielateľa k príjemcovi, ale je braná do úvahy len pri výpočte kontrolného súčtu.

### **5.1.3 Porty**

UDP používa porty, aby bolo možné rozlíšiť v systéme jednotlivé aplikácie (entity) a správne im doručiť dáta a to aj v prípade, že ich v systéme komunikuje viac. Port je 16-bitová hodnota ktorá umožňuje používať porty z rozsahu 0 - 65535. Port 0 je rezervovaný, avšak je možné ho použiť v prípade, že odosielajúci proces neočakáva odpoveď.

Čísla portov sú rozdelené do troch skupín:

1. Dobře známe (Well known): 1 - 1023
2. Registrované: 1024 - 49151
3. Klient – server: 49152 - 65535

## 5.2 SOCKET

Pojmom socket označujeme usporiadanú dvojicu (IP adresa, port), ktorá jednoznačne definuje proces resp. službu v rámci siete a umožňuje nám komunikáciu v rámci tejto siete medzi serverom a klientom.

Rozlišujeme tri základné typy socketov:

- Datagramový socket
- Stream socket
- Raw socket

Pre naše potreby je najzaujímavejší práve prvý, datagramový socket, ktorý využíva UDP protokol. Pri použití tohto socketu nie je potrebné nadviazať priame spojenie medzi klientom a serverom pred zahájením komunikácie, ako je tomu v prípade TCP protokolu. Server vytvorí socket s dobre známym číslom portu a klient použije ľubovoľný voľný port. Na rozdiel od TCP, klient neinicializuje spojenie. Klient môže odosielať dáta bez predchádzajúceho nadviazania spojenia. Preto nie je ani zaručené doručenie dát ale zas na druhej strane takéto spojenie je omnoho rýchlejšie. (25)



## 6. ETHERNET

Pojmom Ethernet je označovaná technológia používaná pri budovaní lokálnych sietí LAN (*Local Area Network*). V referenčnom modeli OSI realizuje fyzickú a spojovú vrstvu. V súčasnosti je Ethernet využívaný v 80% realizácií lokálnych sietí. Od roku 1980 je Ethernet definovaný ako norma IEEE 802.3.

### 6.1 CSMA/CD

Klasický Ethernet využíval zbernicovú topológiu – teda zdieľané médium, kde všetci počujú všetko a v každom okamžiku môže vysielat' len jedna stanica. Jednotlivé stanice sú na ňom identifikované svojimi hardwarovými adresami (MAC adresa). V prípade že stanica obdrží paket, ktorý jej nepatrí, zahodí ho.

Práve pre prístup k zdieľanému médiu sa používa metóda mnohonásobného prístupu prostredníctvom načúvania nosnej a s detekciou kolízií (*CSMA/CD - Carrier Sense with Multiple Access and Collision Detection*).

Stanica (sieťová karta), ktorá potrebuje vysielat', počúva čo sa deje na prenosovom médiu. Ak nezaznamená žiadnu komunikáciu, stanica začne vysielat'. Môže sa stať (v dôsledku oneskorenia signálu pri prenose médium), že dve stanice začnú vysielat' približne v rovnaký okamih a nastane kolízia. Stanica, ktorá zistí kolíziu, vyšle krátky signál (*JAM* o dĺžke 32 bitov). Doba vysielania JAM signálu je dostatočne dlhá na to aby sa všetky pripojené stanice dozvedeli o kolízii. Po obdržaní informácie o kolízii sa všetky vysielajúce stanice odmlčia a neskôr sa pokúsia o nové vysielanie.

Medzi opakovanými pokusmi o vysielanie stanica počká vždy náhodnú dobu, ktorá je generovaná špeciálnym mechanizmom (*backoff*). Interval, z ktorého sa čakacia doba náhodne vyberá, sa počas prvých desiatich pokusov vždy zdvojnásobuje. Stanica tak pri opakovaných neúspechoch "riedi" svoje pokusy o vysielanie a zvyšuje tak pravdepodobnosť, že sa o zdieľané médium úspešne podelí s ostatnými. Ak sa počas šestnástich pokusov nepodarí rámec odvysielat', stanica svoje snaženie ukončí a ohlásí nadradenej vrstve neúspech.

Ku kolízii môže dôjsť len v dobe, ktorá uplynie od začiatku vysielania do okamihu, kedy signál vysielaný stanicou obsadí celé médium (potom už prípadní ďalší záujemcovia o vysielanie zistia, že médium nie je voľné a musia počkať na jeho uvoľnenie). Tento interval sa nazýva kolízne okno a musí byť kratšie, ako je doba vysielania najkratšieho rámca. Inak by mohlo dochádzať k neidentifikovaným kolíziám kedy dve vzdialené stanice odvysielajú krátke rámce, ktoré sa na médiu pretnú a skomolia, ale obe stanice ukončia vysielanie skôr, než k nim dorazí kolidujúci signál.

Táto metóda prístupu k médiu je veľmi efektívna pri nižšom zaťažení siete (cca 30% šírky pásma). Jej efektivita klesá pri väčšom počte záujemcov o vysielanie, kedy môže dôjsť k exponenciálnemu nárastu kolízií. Efektivita CSMA / CD je vyššia pre dlhšie rámce, pretože pri ich prenose je výhodnejší pomer medzi trvaním kolízneho okna a vysielaním dát. (23)

## 6.2 FYZICKÉ RIEŠENIE ETHERNETU

Pôvodný Ethernet bol prepojený tzv. hrubým koaxiálnym káblom a označoval sa ako 10Base5. Jeden segment mohol byť dlhý až 500 metrov. Na kábel boli pripájané prijímače (*transceivers*), ktoré sa pripájali na AUI (*Attachment Unit Interface*) port sieťovej karty. Neskôr bol 10Base5 kábel nahradený tenkou verziou označovaným ako 10Base2.

Najpoužívanejším druhom Ethernetovej kabeláže je v dnešnej dobe krútený pár. S jeho použitím a pripájaním na rozbočovač (*hub*) sa zmenila aj topológia siete so zbernicovej na hviezdicovú. Rozbočovač je však už dnes nahradzovaný prepínačom (*switch*), ktorého fungovanie je inteligentnejšie.

Pracuje na princípe "ulož a odovzdaj" - prijme ethernetový rámec, uloží si ho do vyrovnávacej pamäte, analyzuje adresu jeho príjemcu a následne ho odvysiela do rozhrania, ktorým je pripojený jeho adresát. Tabuľky s fyzickými adresami a im zodpovedajúcimi rozhraniami si udržiava automaticky - učí sa na základe adresy odosielateľa v rámcoch. Vzhľadom na to, že prepínač nezasiela rámec rovno, ale po uložení ho sám odvysiela, až bude na cieľovom rozhraní voľno, počítače (alebo siete) pripojené k jeho rozhraniu si spolu navzájom nekonkurujú o médium. Na každom

rozhraní prepínača beží nezávislý algoritmus CSMA / CD a o médium spolu súťažia len tunajšie počítače - prepínač teda oddeľuje kolízne domény siete. Dôsledkom je vyššia priepustnosť siete a tiež vyššia bezpečnosť, pretože dáta sú doručované len tam, kde sa nachádza ich príjemca.

Zapojenie zariadenia priamo na prepínač pomocou krútenej dvojlinky, ktorá obsahuje štyri krútené páry vodičov je časť z nich určená na prenos dát v smere od prepínača k počítaču a časť v smere opačnom. Prenos dát vodičom teda môže prebiehať súčasne a každý z účastníkov môže vysielat' kedykoľvek. Tento režim prevádzky sa nazýva plný duplex (*full duplex*). Odpadajú v ňom prestoje spôsobené kolíziami a prenosová rýchlosť zodpovedá maximálnej možnej. Rozvod krútenej dvojlinky v budovách sa nazýva štruktúrovaná kabeláž.

Ethernet je definovaný aj pre optické vlákno. Používajú sa jednovidové aj mnohovidové vlákna v závislosti na požadovanej rýchlosti a vzdialenosti. Vybudovanie optickej trasy je drahšie, ako štruktúrovaná kabeláž, ale umožňuje prenos na väčšie vzdialenosti. Ďalšou výhodou je, že spojenie je odolné voči elektromagnetickému rušeniu a koncové body spoja sú galvanicky oddelené. Je teda vhodné pre budovanie LAN sietí medzi budovami a vzdialenými lokalitami.

## **6.3 VERZIE ETHERNETU**

### **6.3.1 Ethernet**

Pôvodný variant s prenosovou rýchlosťou 10 Mbit/s. Definovaný pre koaxiálny kábel, krútenú dvojlinku a optické vlákno.

### **6.3.2 Fast Ethernet**

Je to rýchlejšia verzia s prenosovou rýchlosťou 100 Mbit/s definovaná štandardom IEEE 802.3u. Prevzala maximum prvkov z pôvodného Ethernetu (formát rámca, algoritmus CSMA/CD apod.). V súčasnosti ju možno považovať za základnú verziu Ethernetu. Je k dispozícii pre krútenú dvojlinku a optické vlákna.

### **6.3.3 Gigabitový Ethernet**

Zvýšil prenosovú rýchlosť na 1 Gbit/s. Opäť bolo použitých čo najviac prvkov z pôvodného Ethernetu, teoreticky aj algoritmus CSMA/CD. V praxi je ale

gigabitový Ethernet prevádzkovaný iba prepínaním s plným duplexom. Dôležité je predovšetkým použitie rovnakého formátu rámca. Taktiež je definovaný pre krútenú dvojlinku (IEEE 802.3ab) a aj optické vlákna (IEEE 802.3z)

### 6.3.4 Desať-gigabitový Ethernet

Predstavuje zatiaľ poslednú štandardizovanú verziu. Jeho definícia bola ako norma IEEE 802.3ae prijatá v roku 2003. Prenosová rýchlosť je 10 Gbit/s a ako médium zatiaľ slúžia hlavne optické vlákna a opäť používajú rovnaký formát rámca. Algoritmus CSMA / CD bol definitívne opustený, táto verzia pracuje vždy plne duplexne. V roku 2008 bola vyvinutá jeho špecifikácia pre krútenú dvojlinku s označením IEEE 802.3an.

## 6.4 FORMÁT RÁMCU

Nižšie uvedená Tabuľka 6.1 opisuje rámec Ethernet II a 802.3, ktoré sa líšia využitím jedného poľa pre *typ* alebo *dĺžku* (vysvetlenie je pod tabuľkou).

**Tabuľka 6.1 Formát rámca Ethernet II a 802.3**

Preambul a	SFD	MAC cieľa	MAC zdroja	Typ / dĺžka	Dáta a výplň	CRC 32	Medzera medzi rámcami
7 x oktet 10101010	1 x oktet 10101011	6 oktetov	6 oktetov	2 oktety	46–1500 oktetov	4 oktety	12 oktetov

Popis jednotlivých polí:

- *Preambula* - 7 oktetov, strieda sa 0 a 1; slúži na synchronizáciu hodín príjemcu
- *SFD* - označenie začiatku rámca (*Start of Frame Delimiter*), oktet 10101011
- *MAC cieľa* - MAC adresa cieľového sieťového rozhrania o dĺžke 48 bitov; adresa môže byť individuálna (unicast), skupinová (multicast) a všeobecná (broadcast)
- *MAC zdroja* - MAC adresa zdrojového sieťového rozhrania
- *Typ / dĺžka*
  - pre Ethernet II je to pole určujúce typ vyššieho protokolu
  - pre IEEE 802.3 udáva dĺžku poľa dát

- *Dáta* - polia dlhé minimálne 46 a maximálne 1500 oktetov; minimálna dĺžka je potrebná pre správnu detekciu kolízií v rámci segmentu
- *Výplň* - vyplní zvyšok dátovej časti rámca, ak je zasielaných dát menej ako 46 B
- *CRC32* - kontrolný súčet (*FCS* - *Frame Check Sequence*), 32bitový kontrolný kód, ktorý sa počíta zo všetkých polí s výnimkou preambuly SFD a FCS; slúži ku kontrole správnosti dát - príjemca si ho vypočíta z prijatého rámca a ak výsledok nesúhlasí s hodnotou poľa, rámec zahodí ako chybný. (26)

## 7. WIRELESS

Jednotlivé typy bezdrôtového (*Wireless*) šírenia signálu už boli popísané v predchádzajúcich častiach. V tejto časti by sme sa zamerali na praktickú časť šírenia elektromagnetických vln a to šírenie vln v reálnom prostredí. Pre naše potreby reálne prostredie predstavujú najmä oblasti s pevnou zástavbou resp. oblasti vo vnútri budov.

### 7.1 ŠÍRENIE VLŇN

Klasická teória šírenia elektromagnetických vln vychádza z vlnovej rovnice, ktorá je priamym odvodením Maxwellových rovníc. My sa zameriame na šírenie prízemnej priestorovej vlny, ktorá sa môže šíriť buď priamo pri priamej optickej viditeľnosti medzi oboma anténami, alebo s odrazmi, ohybmi a rozptylom na prekážkach, v oblasti zastavanej budovami.

Pri plánovaní a modelovaní šírenia signálu v priestore sa berie do úvahy nielen druh spoja, prostredia ale aj typ použitej antény. Pre popis pokrytia (úroveň signálu generovaného základňovou anténou v danom bode pozorovania) existujú dve možnosti. Úroveň signálu môžeme popísať ako intenzitu elektrického poľa v danom mieste alebo ako výkonovú úroveň prijatú referenčnou anténou. Ako referenčná anténa sa typicky volí ideálne všesmerová anténa s jednotkovým ziskom (0dB).

Pre šírenie vlny v ideálnych podmienkach platí nasledovná rovnica:

$$E_{ef} = \frac{\sqrt{30P_V G_V}}{d} \quad (3.)$$

kde

$E_{ef}$  efektívna hodnota intenzity elektrického poľa (V/m) v bode pozorovania

$P_V$  výkon (W) na vstupe vysielacej antény

$G_V$  zisk vysielacej antény v príslušnom smere

$d$  vzdialenosť (m) vysielacej antény od bodu príjmu

Pre vyjadrenie výkonu prijímacej antény sa v praxi najčastejšie používa vyjadrenie v decibeloch:

$$P_P = P_V + G_V + G_P - FSL(d) - L \quad (4.)$$

kde

$P_P$  prijatý výkon (dBm),  $P_{dBm} = 10 \log \frac{P_W}{10^{-3}}$

$P_V$  výkon na vstupe vysielacej antény (dBm)

$G_V$  zisky antén (dBm)

$FSL(d)$  straty voľným priestorom (dBm)

$L$  straty šírením (dB) v danom prostredí (vo voľnom priestore sú nulové)

## 7.2 STRATY V PROSTREDÍ

Signál šíriaci sa v pevnej zástavbe medzi pevnou a inou pevnou prípadne mobilnou anténou je tlmný pôsobením rôznych fyzikálnych mechanizmov. Na oboch koncoch spoja sa berie do úvahy taktiež samotný zisk antén, ktorý je potrebné vynásobiť výkonovou úrovňou prijímaného signálu. Na prijímacej strane je navyše pridaný šum zo šírenia prostredím alebo samotného prijímača.

Vlastný útlm šírenia daným prostredím je rozdelený na tri multiplikatívne zložky:

- Straty šírením (*Path loss*)
- Pomalé úniky (*Slow fading*)
- Rýchle úniky (*Fast fading*)

### 7.2.1 Straty šírením

Tento útlm je závislý najmä na dĺžke spoja a type prostredia. Táto zložka je časovo nemenná a predstavuje strednú hodnotu signálu v danom bode pozorovania a jeho okolí.

### 7.2.2 Pomalé úniky

Tento útlm je spôsobený tienením spoja (napr. zástavbou, vegetáciou, ľuďmi) pri pohybe mobilnej antény. Ku kolísaniu úrovne signálu dochádza z hľadiska vlnovej dĺžky „pomaly“, t.j. pri zmene polohy o rádovo minimálne desiatky

vlnových délek. Velikost poklesu úrovně signálu vůči základnému průběhu závisí jednoznačně od konkrétní situace avšak v istých případech může být aj pomerne veľká.

### 7.2.3 Rýchle úniky

Tento útlm je spôsobený najmä viaccestným šírením signálu a Dopplerovým posuvom, ktorý vzniká dôsledkom pohybu mobilnej antény a okolitých objektov. Spôsobuje zväčša veľmi hlboké a rýchle kolísanie úrovně signálu. Dôležitou vlastnosťou rýchlych únikov je značná premena v čase, ktorá je spôsobená neustálym pohybom užívateľa alebo premenou okolitého prostredia.

Celkove straty šírenia môžeme po idealizácii vyjadriť nasledovným vzťahom:

$$L_c(p, t) = L(p) + X(t) \quad (5.)$$

kde

$L_c(p, t)$  celkové straty šírenia (dB) pre mobilnú anténu v mieste  $p$  a čase  $t$

$p$  poloha mobilnej antény (súradnice, vzdialenosť atď.)

$L(p)$  stredná hodnota strát (dB) daná pozíciou mobilnej antény  $p$

$X(t)$  náhodná časovo premenná zložka strát (dB) s nulovou strednou hodnotou daná štatistickým rozložením pomalých a rýchlych únikov v čase

Pre model prenosového kanálu, ako náhodný časový priebeh úrovně signálu, je podstatná časovo premenná zložka  $X(t)$ . Aby sme ju mohli odhadnúť nie je potrebné v zásade poznať konkrétnu situáciu a geometriu daného spoja. Pre stochastické modely postačí rámcová klasifikácia prostredia a usporiadanie spoja, ktoré určuje príslušné štatistické rozloženie únikov v čase.

Najpodstatnejšou zložkou je zložka  $L(p)$ , ktorá je určená vzájomným umiestnením pevnej a mobilnej antény. Zahrňuje straty šírením a časť pomalých únikov, ktoré sú spôsobené zatičením nepohybujúcimi sa objektmi. Niekedy sa v danom prípade používa aj pojem stredná hodnota útlmu.



### 7.3 MECHANIZMY ŠÍŘENIA VLŇN V ZÁSTAVBE

Vlna šíriaca sa zástavbou interaguje z prekážkami a teda dochádza k jej odrazu, rozptylu, difrakcii prípadne prechodu skrz prekážku. Jednotlivé mechanizmy šírenia sa uplatňujú hlavne s ohľadom na typ okolitého prostredia a umiestnenia oboch koncových bodov spoju.

#### 7.3.1 Makrobunka

Je to model v ktorom sa vysielacia anténa(stanica) nachádza nad samotnou zástavbou a mobilná anténa je na úrovni ulice a neexistuje priama optická viditeľnosť medzi stanicami, dominujúcim mechanizmom šírenia je difrakcia na hranách striech a odrazy od objektov v blízkosti mobilnej antény. Pokles úrovne signálu so vzdialenosťou od vysielача je závislý od pravidelnosti resp. nepravidelnosti rozmiestnenia budov.

#### 7.3.2 Mikrobunka

V prípade, že sa vysielacia anténa nachádza pod úrovňou striech hovoríme o mikrobunke. V tomto prípade hlavnú rolu v šírení signálu zohráva priama viditeľnosť a odraz od stien budov, kde sa uplatňuje tzv. vlnovodný efekt ulíc. Vtedy sa vlna šíri ulicou podobne akoby prechádzala nadkritickým vlnovodom.

#### 7.3.3 Pikobunka

Z hľadiska šírenia vlny predstavuje najkomplikovanejší prípad šírenie vlny v budovách, pričom oba anténne spoje sú umiestnené v budove. Tento prípad nazývame pikobunka. Signál medzi pevnou a mobilnou anténou sa šíri priamo, prechodom cez steny, vybavenie miestností, odrazmi, ohybmi atď. Signál môžu ovplyvniť aj okolité budovy, a to v prípade keď sa signál medzi poschodiami odráža napr. od okien blízkej budovy alebo sa šíri výt'ahovou šachtou ako vlnovodom.

Ak je pevná anténa umiestnená na chodbe, uplatňuje sa často veľmi silne už spomínaný vlnovodný efekt chodby, pričom nedochádza takmer k žiadnemu poklesu úrovne signálu so vzdialenosťou. Keďže elektromagnetická vlna väčšinou veľmi dobre preniká bežnými prepážkami v interiéri, má pikobunka oproti makrobunke pravidelnejší tvar. Podstatným rozdielom je to, že v pikobunke sa pohybujeme ešte



- Prostredie - pikobunka: členitý interiér
- Pásmo - 2,4 GHz

Pre výpočet použijeme Model One-Slope, podľa ktorého z tabuľky určíme hodnoty pre referenčné straty  $L_1$  a spádový koeficient  $n$  a dosadíme do vzorca

$$L(d) = L_1 + 10n \log(d) \quad (6.)$$

dostaneme

$$L(d) = 40,2 + 42 \log(d)$$

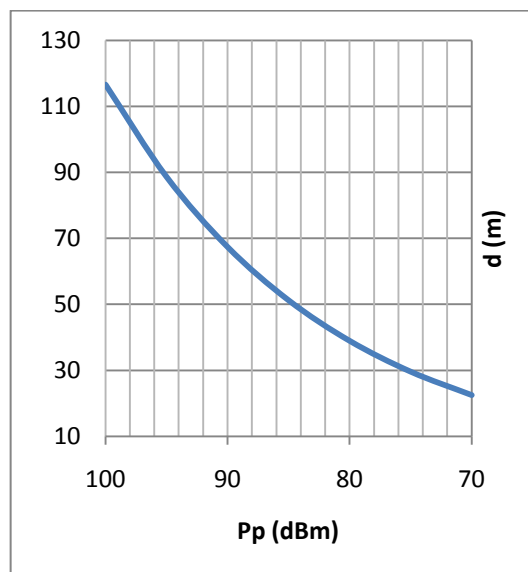
Potom dosadíme do rovnice (4.)

$$-95 = 25 + 2 - (40,2 + 42 \log(d))$$

Odtiaľ vyjadríme hľadané  $d$

$$d = 10^{\frac{95+25+2-40,2}{42}} = 88,6m$$

Nesmieme však zabudnúť na náhodné kolísanie úrovne signálu vplyvom neustále sa meniaceho prostredia a preto môžeme do výpočtu zahrnúť aj tzv. rezervu na únik o ktorú sa líši prahová hodnota  $P_p$  vo výkonovej bilancii. V našom prípade by sme mohli použiť hodnotu 10 dB, čo by znížilo polomer na 51,2m. Závislosť polomeru bunky od citlivosti prijímača je na Obrázok 7.1.



Obrázok 7.1 Závislosť polomeru mikrobunky  $d$  na prahovej hodnote  $P_p$

## 8. MIKROTIK

Po teoretickom preskúmaní vlastností a možností bezdrôtových technológií sme mali možnosť otestovať vybrané bezdrôtové moduly. K dispozícii sme dostali bezdrôtové smerovače (router) tzv. RouterBOARD-y od firmy Mikrotik. Dostupných je niekoľko rôznych modelov, ktoré sa líšia jednotlivými výkonovými ako aj sieťovými parametrami. My sme testovali dva identické moduly typu RB 433 AH. Oba moduly bolo možné obsluhovať prostredníctvom aplikácie WinBox, ktorá je jednou z niekoľkých možných ciest ako pristupovať ku konfiguračným a ovládacím funkciám operačného systému RouterOS.

### 8.1 ROUTERBOARD 433 AH

Tento model patrí k lepším verziám so zväčšenou pamäťou a jedným z najrýchlejších CPU používaných v nízko nákladových verziách bezdrôtových prístupových bodoch (AP – Access Point). Presné parametre sú uvedené v Tabuľka 8.1.

**Tabuľka 8.1 Parametre RB 433 AH (28)**

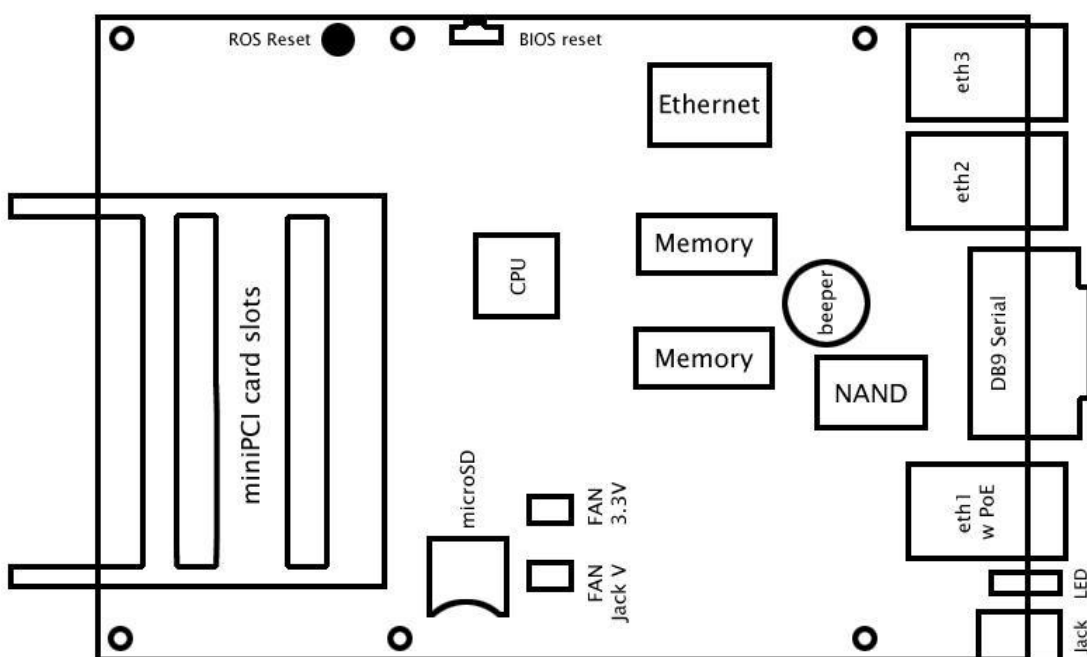
<b>Procesor</b>	Atheros AR7161 680MHz
<b>Pamäť RAM</b>	128MB DDR SDRAM
<b>Ethernet port</b>	3x 10/100 Auto-MDI/X
<b>MiniPCI slot</b>	3x MiniPCI Type IIIA/IIIB
<b>Rozšírenie</b>	3x miniPCI
<b>Sériový port</b>	DB9 RS232C asynchrónny
<b>Pamäť</b>	64MB NAND, microSD
<b>Napájanie</b>	10..28V DC; prepäťová ochrana
<b>POE</b>	Power over Ethernet: 10..28V
<b>Software</b>	RouterOS Level5
<b>Váha</b>	140 g
<b>Rozmery</b>	105 mm x 150 mm
<b>LED</b>	Napájanie a užívateľská LED

Na obrázku Obrázok 8.1 je schematicky zobrazené rozmiestnenie hlavných komponentov na základnej doske RB 433 AH.

Spomínaný RouterBOARD bol rozšírený o 2 bezdrôtové miniPCI karty - R52n a XR5. Karta R52n podporuje protokoly 802.11a/b/g/n a teda pracuje v pásme 2,4 a 5 GHz. Pre základné parametre, vid' Tabuľka 8.3.

Karta XR5 je vysokovýkonná karta len pre pásmo 5 GHz od firmy Ubiquiti Networks, ktorá podporuje protokol 802.11a. Podrobnejšie parametre sú v tabuľke Tabuľka 8.2.

Oba RouterBOARD-y mali rovnakú konfiguráciu. Rozdiel bol len v použitých anténach. Kým modul slúžiaci ako AP mal všesmerovú wifi anténu so ziskom 2 dBi, tak na druhom module bola použitá taktiež wifi anténa avšak so ziskom 5 dBi.



**Obrázok 8.1** Schéma usporiadania hlavných prvkov na RB 433 AH (28)

Výhodou RouterBOARD-ov od firmy MikroTik je okrem samotných parametrov aj dodávaný operačný systém(OS) založený na jadre Linux v26, RouterOS, ktorý poskytuje ideálne rozhranie pre konfiguráciu a testovanie zariadení od firmy MikroTik. My sme mali nainštalovanú verziu 4.0 rc1. Zahŕňa funkcie ako smerovanie, firewall, MPLS (MultiProtocol Label Switching), VPN, Wireless, HotSpot, QoS (Quality of Service) a ďalšie.

**Tabuľka 8.2 Parametre XR5 (29)**

<b>Citlivosť</b>	-94 ... -74dBm
<b>Frekvencia</b>	5 GHz
<b>Chipset</b>	Atheros, 6th Generation, AR5414 s SuperA/Turbo Support
<b>Rozhranie</b>	32-bit miniPCI typ IIIA
<b>Prenosové rýchlosti</b>	6Mbps, 9Mbps, 12Mbps, 24Mbps, 36Mbps, 48Mbps, 54Mbps
<b>Šírka Tx kanálu</b>	5MHz / 10MHz / 20MHz / 40MHz
<b>Modulácia</b>	OFDM, DBPSK, DQPSK, CCK, QAM
<b>Norma</b>	IEEE 802.11a
<b>Operační mód</b>	AP, Client, Ad-Hoc, Bridge
<b>Podporované OS</b>	Linux MADWIFI, Win XP, Win 2000
<b>Výkon</b>	23 – 28 dBm, +/-1.5dB
<b>Dosah vo vnútri</b>	> 150 m
<b>Dosah vonku</b>	> 50 km
<b>Spotreba</b>	max.: 2,4 W
<b>Šifrovanie</b>	WPA, WPA2, AES-CCM & TKIP Encryption, 802.1x, 64/128/152bit WEP

**Tabuľka 8.3 Parametre R52n (30)**

<b>Citlivosť</b>	-94 ... -74
<b>Frekvencia</b>	2GHz 2,4GHz 5GHz
<b>Chipset</b>	Atheros AR9220
<b>Rozhranie</b>	miniPCI
<b>Prenosové rýchlosti [Mbps]</b>	1 – 11 (802.11b) 6 – 54 (802.11g) 65 – 300 (802.11n)
<b>Šírka Tx kanálu</b>	5MHz / 10MHz / 20MHz / 40MHz
<b>Modulácia</b>	OFDM: BPSK, QPSK, 16QAM, 64 QAM DSSS: DBPSK, DQPSK, CCK
<b>Norma</b>	IEEE 802.11a/b/g/n
<b>Operační mód</b>	AP, Client, Ad-Hoc, Bridge
<b>Podporované OS</b>	Linux, Windows, RouterOS v 4.0 >
<b>Výkon</b>	13 -25 dBm
<b>Dosah vo vnútri</b>	-
<b>Dosah vonku</b>	-
<b>Spotreba</b>	max.: 2,4 W
<b>Šifrovanie</b>	WEP, TKIP, AES-CCM, WPA, WPA2, 802.1x

## 8.2 MIKROTIK GUI

Jednou z úloh tejto práce bolo navrhnuť vlastnú metodiku merania a porovnávania bezdrôtových modulov. Keďže sme mali k dispozícii práve spomínané jednotky od firmy Mikrotik s operačným systémom RouterOS, využili sme jednu z ich funkcionalít a to API (Application programming interface – programovateľné aplikačné rozhranie), ktorá umožňuje vytvorenie vlastného rozhrania. Prostredníctvom neho je možné sledovať a nastavovať vybrané parametre.

Mikrotik API funguje na princípe odosielania príkazov na router, cez TCP spojenie na porte 8728 vo forme sekvencie slov (príkazov a parametrov). Tie vo väčšine prípadov kopírujú príkazy z terminálového okna v samotnom programe Winbox, kde však medzera je nahradená znakom „/“. Každé slovo je kódované ako dĺžka a sekvencia bitov danej dĺžky. Jednotlivé slová sú spájané do viet. Koniec vety resp. príkazu je rozpoznávaný prázdny znakom. Router po obdržaní tohto prázdneho znaku odošle odpoveď. Tento systém podporuje kódovanie slov len do dĺžky 4 bajtov. Príklad príkazu pre výpis všetkých dostupných informácií o bezdrôtových rozhraniach bude mať nasledovnú formu:

```
/interface/wireless/print
```

Množstvo informácií v odpovedi je možné redukovať pomocou ďalších príkazov a parametrov. Napr. príkaz *.proplist* môže obsahovať zoznam všetkých požadovaných vlastností:

```
.proplist=name,mtu,type
```

Každá odpoveď začína znakom *!re* a končí znakom *!done*. Pomocou týchto znakov vieme ohraničiť moment, kedy máme všetky informácie o ktoré sme žiadali. V prípade odosielanie viacerých požiadaviek súčasne je možné každú z nich označiť tzv. tagom, pridaním ďalšieho parametru napr. *.tag= 1*. Následne všetky odpovede na danú požiadavku budú označené rovnakým tagom ako pri odosielaní.

### 8.2.1 Popis tried programu

Ako vývojové prostredie pre našu aplikáciu sme si zvolili Microsoft Visual Studio 2005 a objektovo orientovaný programovací jazyk C# (31). Jazyk C#

poskytuje tiež možnosť ako pomerne jednoducho vytvárať formulárové aplikácie tzv. WinForms. (32)

V nasledujúcich riadkoch si v stručnosti popíšeme funkcionality našej aplikácie a hlavných tried využívaných pri jej behu.

Hlavnou požiadavkou na túto aplikáciu bola možnosť on-line monitorovať tok dát na jednotlivých rozhraniach RouterBOARD-u. Tá je úzko spojená nielen s výpisom toku dát ale aj grafickým vykresľovaním množstva prenesených dát v oboch smeroch. Pomocou tejto aplikácie sme mali byť schopný nielen čítať údaje z RouterBOARD-u ale rovnako ich aj zapisovať. Táto druhá možnosť je prezentovaná na funkcii v ktorej vieme povoliť alebo zakázať jednotlivé bezdrôtové rozhrania.

Výpis hlavných tried programu:

- *Form1.cs* - prihlasovacie okno
- *Form2.cs* - hlavné okno aplikácie
- *ConnectionAdapter.cs*
- *ConnectionFactory.cs*
- *Graphing.cs*
- *RouterStatus.cs*
- *TrafficMonitorWorkerClass.cs*

Po spustení aplikácie je užívateľovi zobrazené prihlasovacie okno (viď Obrázok 8.2), v ktorom sú od neho vyžadované tri informácie potrebné pre prihlásenie sa na router:

- IP adresa rozhrania cez ktoré chceme komunikovať
- Užívateľské meno – login
- Heslo

Po odoslaní sú tieto údaje uložené v pomocnej triede *ConnectionFactory*, ktorá následne poskytuje prístup k spoločnej inštancii *ConnectionAdapter*. Samotná trieda zabezpečuje nadviazanie spojenia s routrom ako aj následnú komunikáciu počas behu programu. Po nadviazaní TCP spojenia je overená správnosť



uživatelského mena a hesla. V prípade úspešnosti je spustené hlavné okno aplikácie *Form2* (Obrázok 8.3).

Toto okno je rozdelené do troch hlavných častí:

- Ovládacie prvky
- Informácie o rozhraniach v textovej podobe
- Grafické zobrazenie dátových tokov na vybraných rozhraniach

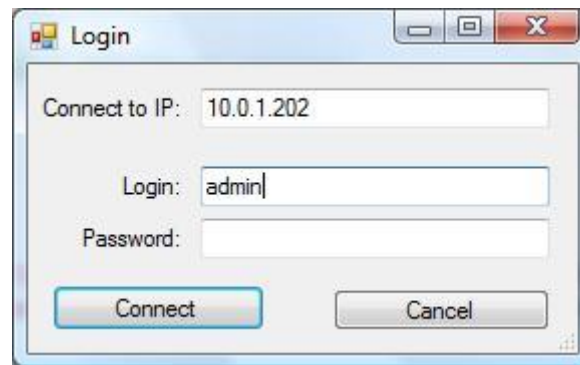
V prvej časti si užívateľ môže zvoliť ktoré rozhrania (eternetové alebo bezdrôtové) chce monitorovať. Po výbere rozhrania sa pomocou triedy *RouterStatus* odošle požiadavka na router a z vrátenej odpovedi sú vybrané informácie o mene, type, hodnote MTU a stave daného rozhrania.

Následne je možné pomocou tlačidla *START monitor* spustiť samotné monitorovanie, kde v príslušných poliach sú periodicky zobrazované informácie o počte odoslaných a prijatých bitov a paketov za sekundu. Súčasne je v pravej časti okna vykresľovaný graf pre dané rozhranie. Zobrazovacia plocha grafov pre bezdrôtové rozhrania je o niečo väčšia pretože v našom prípade bolo prioritou sledovať tok na týchto rozhraniach. Modrá krivka predstavuje množstvo odoslaných dát, kým červená množstvo prijatých. Nastavenie a vykresľovanie grafov je vykonávané v triede *Graphing*. Pre implementáciu grafov bola využitá .NET open-source (voľne prístupná) knižnica *ZedGraph* (33). Táto knižnica ponúka široké možnosti prispôsobenia grafov pre vlastné potreby aplikácie. Trieda *TrafficMonitorWorkerClass* spúšťa nové vlákno, ktoré kontinuálne odosiela požiadavku na router o prenesených dátach a zároveň prijaté dáta rozkladá do požadovanej formy aby mohli byť zobrazené užívateľovi vo forme textu prípadne grafu.

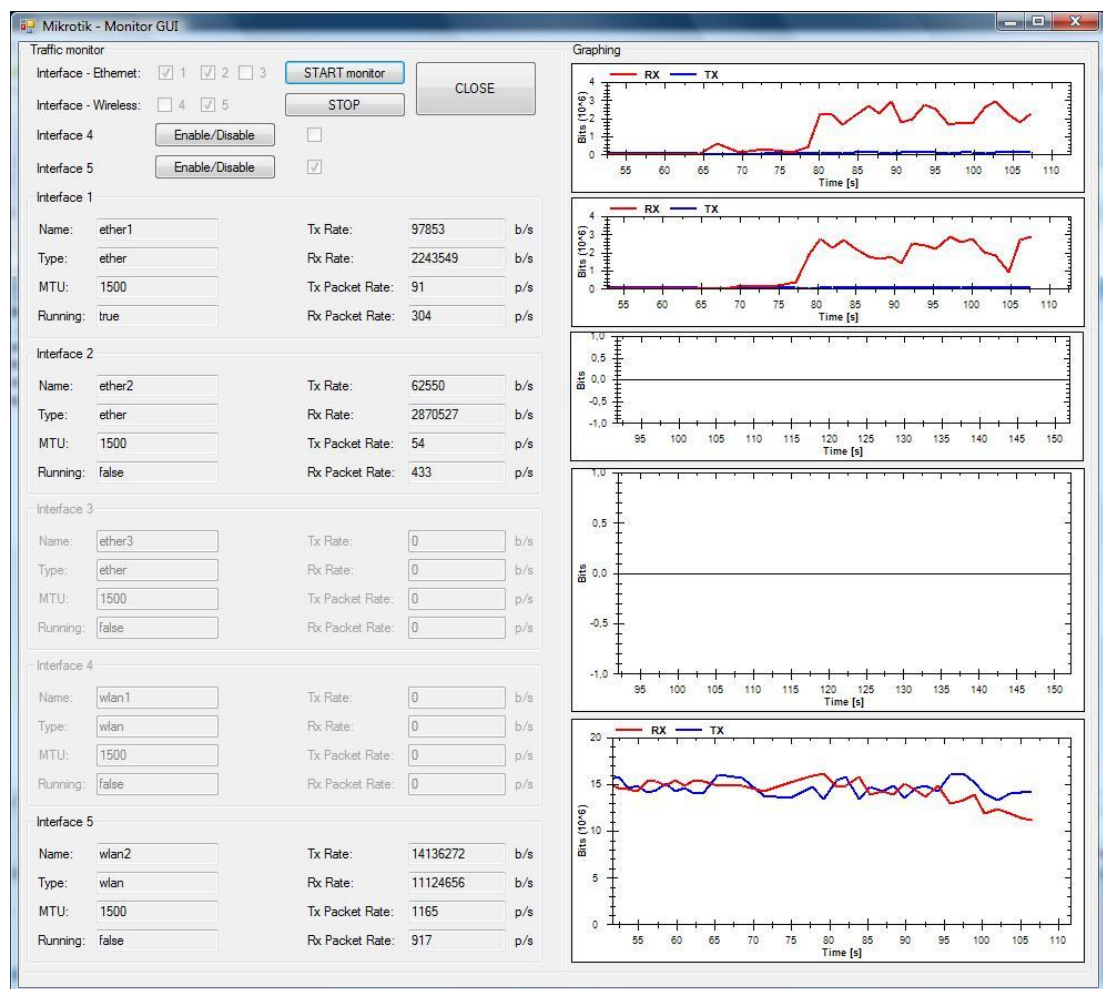
Ako sme už spomenuli odosielanie a prijímanie dát prebieha v triede *ConnectionAdapter*, kde sú jednotlivé požiadavky vo forme vety rozložené na riadky, zakódované podľa dĺžky slov a odoslané na router. Ten po prijatí ukončovacieho znaku odošle odpoveď, ktorá začína znakom *!re*, končí znakom *!done* a je načítaná do zoznamu (*List<>*) jednotlivých viet.

Pri inicializácii aplikácie je súčasne spustená aj metóda, ktorá overí stav bezdrôtových rozhraní. V prípade potreby je možné ich aktivovať alebo naopak zakázať. V tomto prípade metóda *setWlan* odošle príkaz na zmenu nastavení.

Ďalšie triedy v tomto programe slúžia len ako pomocné triedy pre vytváranie výnimiek, ktoré môžu vzniknúť počas behu programu alebo umožňujú ukladanie získaných dát do tzv. tried slovníkov (Dictionary), z ktorých sú potom volané hodnoty na základe daného kľúča (31).



**Obrázok 8.2** Prihlasovacie okno



Obrázok 8.3 Hlavné okno aplikácie

## 8.3 TESTOVANIE

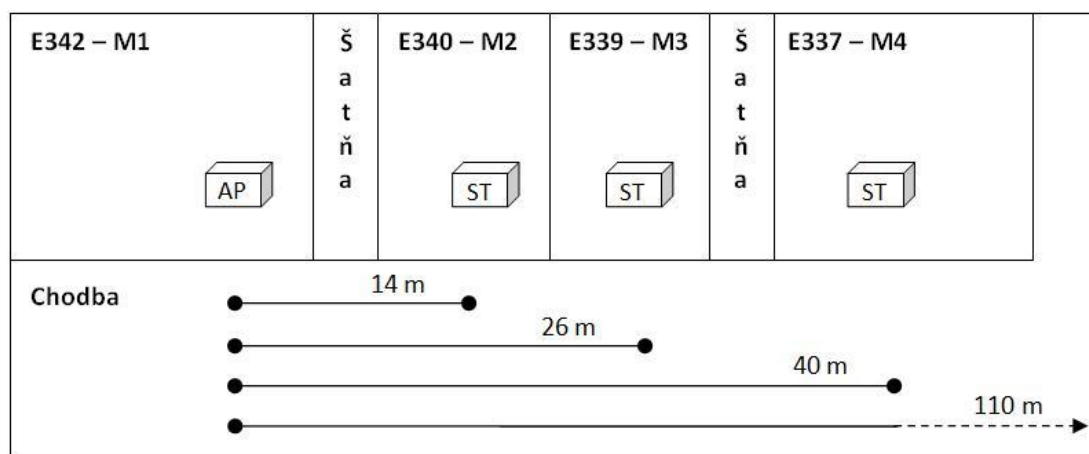
### 8.3.1 Metodika testovania

Vzhľadom na to, že mobilná robotika dnes nie je len záležitosťou vonkajšieho prostredia, zvolili sme pre testovanie bezdrôtových modulov práve priestory vo vnútri budovy. Týmto spôsobom sme mohli lepšie overiť možnosti jednotlivých modulov, pretože pri prenose signálu cez prekážky sú naň kladené omnoho väčšie nároky.

Aby bolo meraním možné porovnať viacero rôznych parametrov vybrali sme si časť integrovaného objektu VUT Brno na Kolejní 4, kde sa nachádzajú okrem iných aj 4 prednáškové miestnosti postavené v rade za sebou. Zároveň pred vstupmi

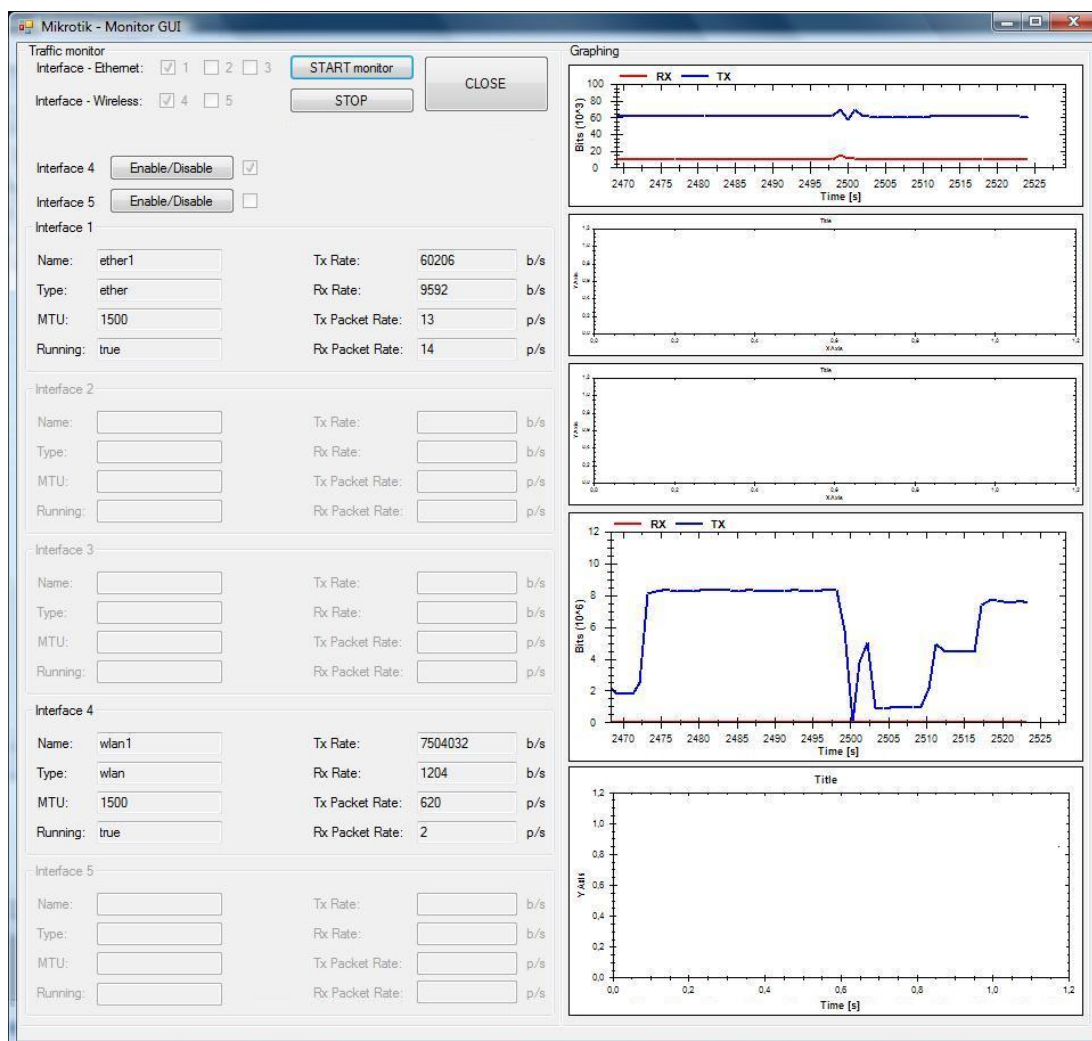
do všetkých miestností sa nachádza spoločný vestibul. Tým pádom sme mali možnosť porovnať šírenie signálu pri prechode rôznym počtom stien v priamom smere a tieto výsledky porovnať s meraním v rovnakej vzdialenosti ale bez stien.

Jeden modul bol umiestnený v miestnosti E 342 (M1). Tento modul bol nastavený ako prístupový bod (Access point - AP) ku ktorému sa mohli pripájať ďalšie povolené stanice (Station - ST). Druhý modul sme nakonfigurovali ako stanicu, ktorá sa pripája k AP. Spôsob rozmiestnenia jednotlivých modulov a ich vzájomné vzdialenosti v priebehu merania sú schematicky znázornené - vid' Obrázok 8.4. Kvôli zachovaniu rovnakých podmienok pre všetky merania, vykonávali sme ich vždy v čase keď všetky miestnosti ako aj chodby boli prázdne a teda nedochádzalo k interferencii signálu s ľuďmi.



**Obrázok 8.4 Schéma rozmiestnenia modulov**

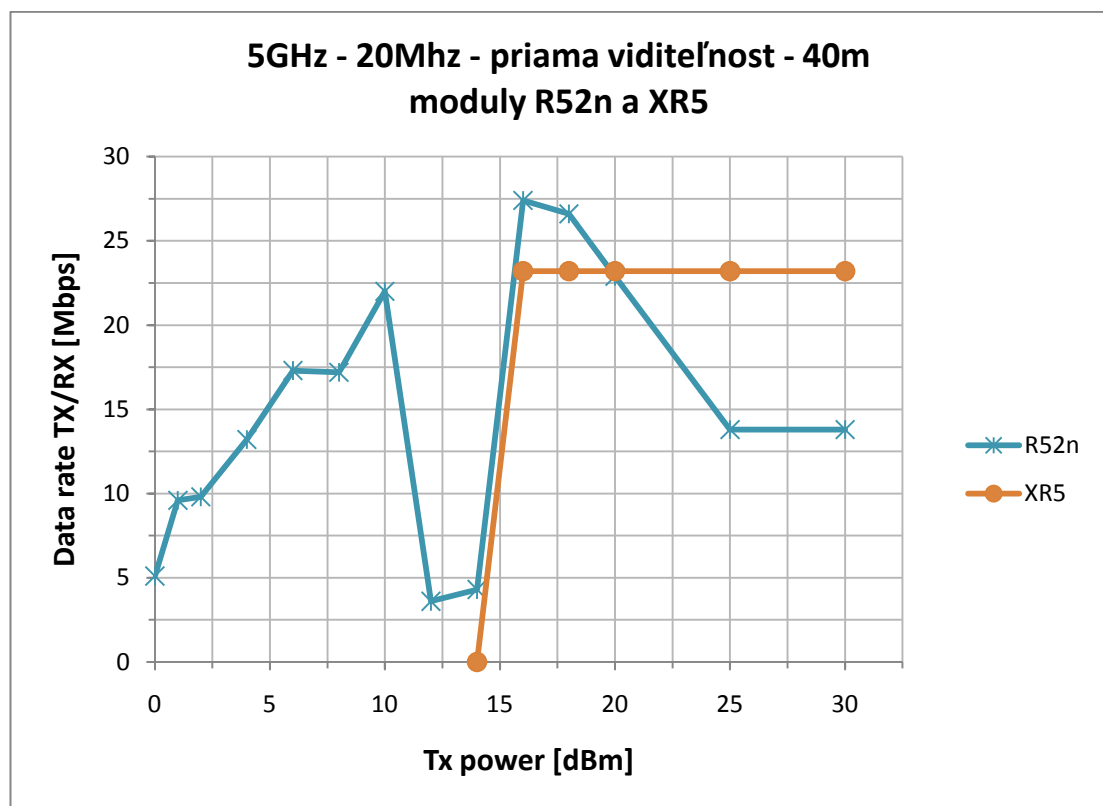
Pri každom meraní bolo nadviazané spojenie medzi ST a AP. Následne bol pomocou aplikácie WinBox na stanici ST spustený tzv. Bandwidth test, ktorý je určený na meranie šírky daného pásma. Ten sa snaží posielat' alebo prijímať (v našom prípade len posielat') maximálne množstvo dát cez sledované rozhranie. Tok dát a objem prenesených dát za sekundu sme následne sledovali v našej vytvorenej aplikácii Mikrotik GUI (vid' Obrázok 8.5).



**Obrázok 8.5 Mikrotik GUI - monitorovanie toku dát na rozhraní (Interface) 4 - modul R52n**

Pri všetkých meraniach sme na oboch moduloch skúmali aj rozsah použiteľného výkonu. Výrobcovia poskytujú ku svojim modulom len pomerne stručné informácie o hodnotách použiteľného výkonu. Preto sme pri meraniach menili hodnoty výkonu (*TX power*) v rozsahu 0 – 30 dBm resp. kým nedošlo k strate spojenia. Tu je potrebné zdôrazniť, že pri nastavovaní výkonu pomocou WinBoxu bola pri module XR5 hodnota „Real TX Power“ (skutočná hodnota vysielačieho výkonu) o 10dBm nižšia než nami nastavená hodnota „TX Power“. Tzn., že pri hodnote 30 dBm mala byť skutočná hodnota len 20 dBm. Pri porovnaní údajov od výrobcu (viď Tabuľka 8.2) a našich výsledkov meraní (viď Obrázok 8.6) je však

zrejme, že hodnota nastavená vo WinBox – e nemôže mať odchýlku 10 dBm. Predpokladáme, že môže ísť o chybu čítania dát z konkrétneho chipsetu použitého na module, pretože už pri hodnote 16 dBm sme dosiahli hladinu maximálnej rýchlosti v danom prostredí. V prípade R52n bola hodnota Real TX Power zhodná s nami nastavenou hodnotou výkonu. Výrobca udáva ako minimálnu hodnotu výkonu 13 dBm avšak ešte pri výkone 1 dBm bola prenosová rýchlosť takmer 10 Mbps.



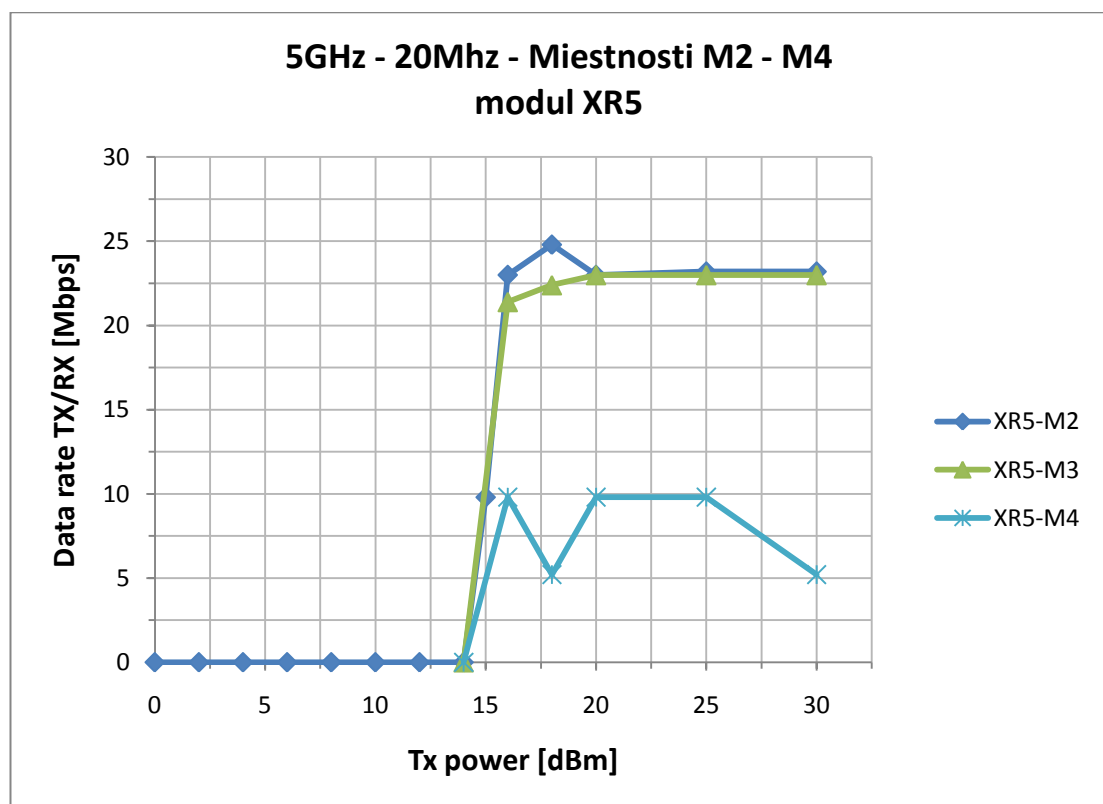
Obrázok 8.6 Overenie nastavenia výkonu „Tx Power“

### 8.3.2 XR5 vs R52n

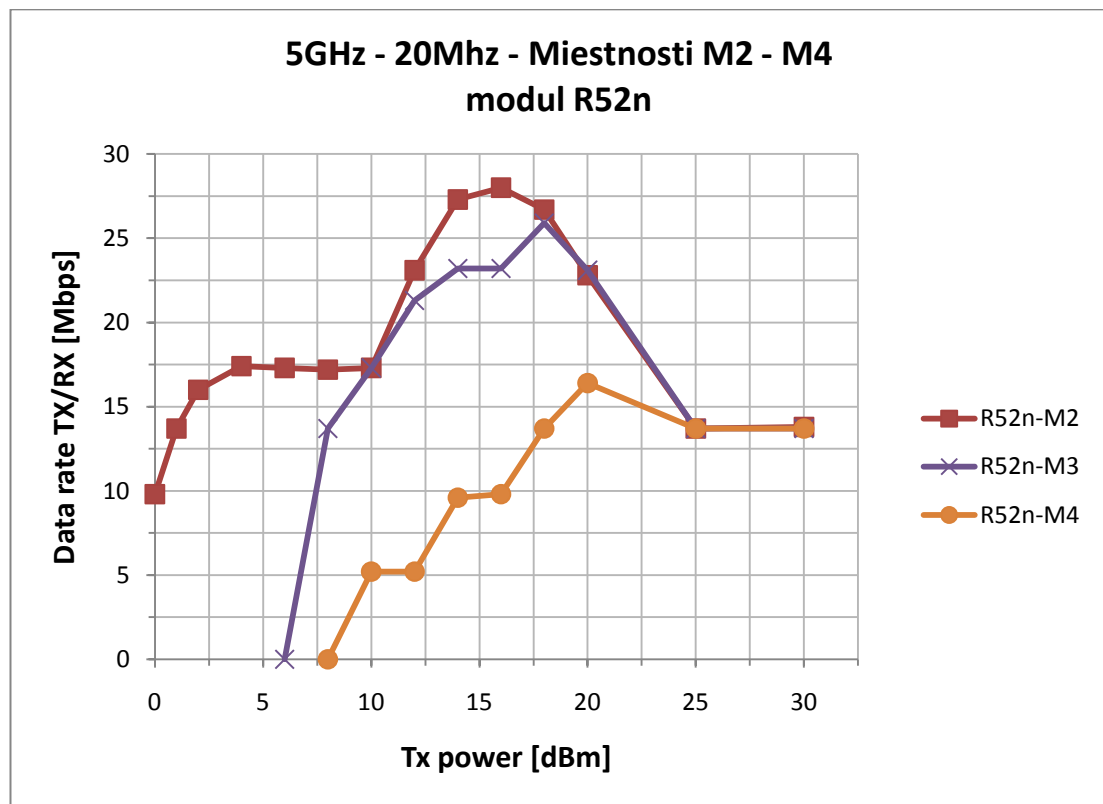
V tomto meraní bolo jednoznačným zámerom porovnať dva moduly od rôznych výrobcov ale s rovnakým nastavením pásma a šírky kanálu. Oba vysielali na frekvencii 5180 MHz so šírkou kanálu 20MHz. Z nameraných hodnôt a grafov (viď Obrázok 8.7 a Obrázok 8.8) je zrejmých hneď niekoľko faktov. So zväčšujúcou sa vzdialenosťou od AP a aj väčším počtom stien klesá prenosová rýchlosť avšak

u každého modulu iným spôsobom. Ako sme mohli vidieť na Obrázok 8.6 XR5 pracuje len s užším rozsahom vysielacieho výkonu ale o to je jeho dátový tok pri danej hodnote výkonu stabilnejší. V tretej miestnosti M3 je prenosová rýchlosť takmer rovnaká ako v miestnosti M2. V miestnosti M4 už klesá až o zhruba 12 Mbps, kde v porovnaní s R52n je tento pokles menší. R52n je schopný pracovať s väčším rozsahom výkonu a vrchol dosahuje pri 16 dBm. S ďalším zvyšovaním výkonu rýchlosť už len klesá. Pokles maximálnej rýchlosti je v porovnaní s XR5 o niekoľko Mbps väčší ako v prípade R52n.

Pôvodným zámerom bolo vzájomne porovnať oba moduly aj pre šírku kanálu 5 a 10 MHz. S XR5 nebol žiadny problém pri nadviazaní spojenia ale jednotka R52n nebola schopná sa pripojiť na AP. Po neúspešných testoch sme si túto skutočnosť overili aj u firmy Mikrotik, ktorý nám v danom prípade potvrdili aplikačnú chybu na RouterBOARD-e.



Obrázok 8.7 Porovnanie prenosovej rýchlosti pri zmene vzdialenosti a počte stien – modul XR5

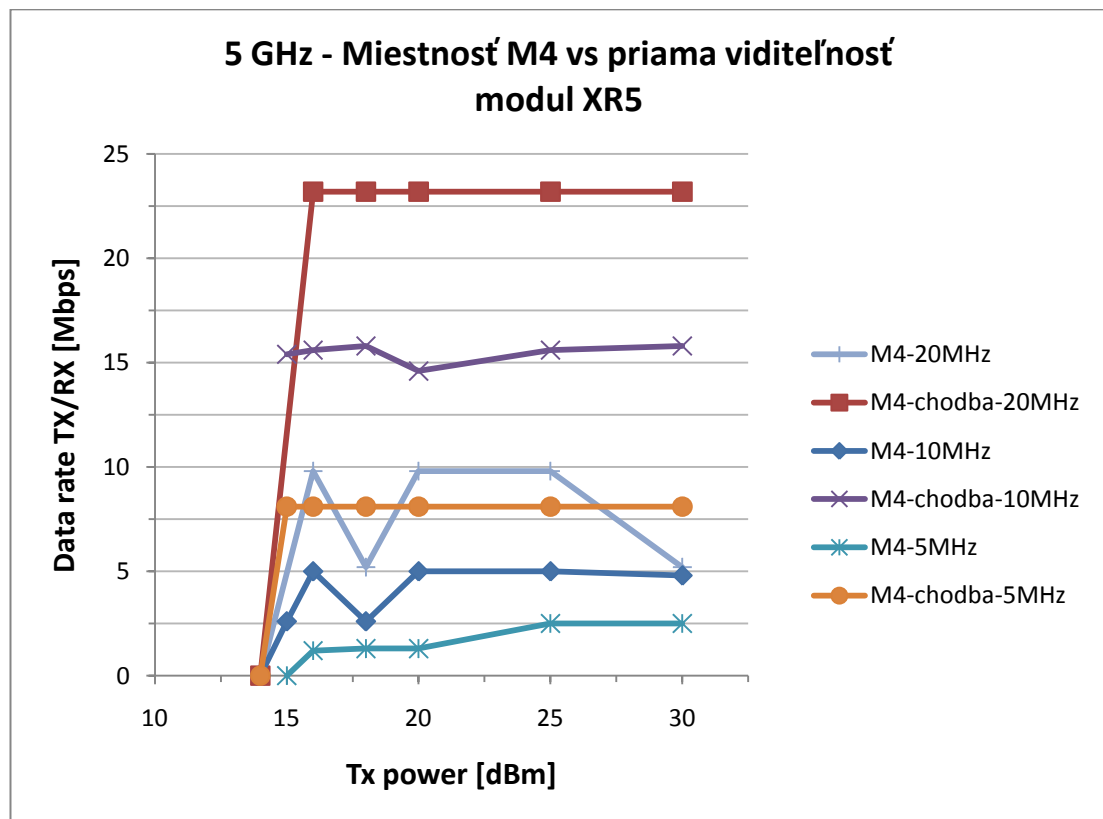


**Obrázok 8.8 Porovnanie prenosovej rýchlosti pri zmene vzdialenosti a počte stien – modul R52n**

### 8.3.3 XR5 s prekážkami a bez nich

Týmto meraním sme chceli dokázať vplyv prekážky (steny) na prenosovú rýchlosť pri zvolených rôznych šírkach prenosového kanálu. Modul XR5 vysiela na pásme 5GHz so šírkou kanálu 5, 10 a 20 MHz. Tento vplyv je jasný vo všetkých troch prípadoch. Tiež tu môžeme pozorovať ako aj šírka pásma vplýva na prenosovú rýchlosť. Čím väčšia šírka tým je aj rýchlosť vyššia.



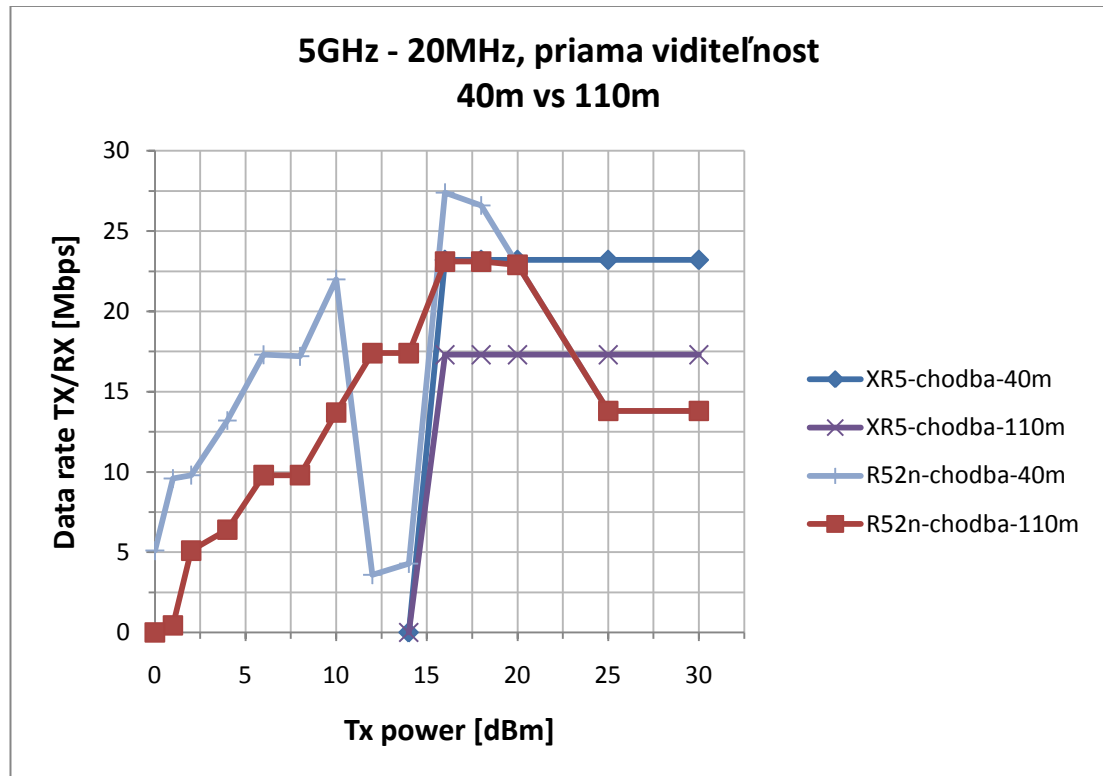


**Obrázok 8.9** Porovnanie prenosovej rýchlosti cez prekážky (steny) a s priamou viditeľnosťou v rovnakej vzdialenosti pri rôznych šírkach kanálu - modul XR5

### 8.3.4 Dosah na priamu viditeľnosť

Ďalší z testov mal overiť šírenie signálu vo vnútri budov s priamou vzájomnou viditeľnosťou oboch modulov. V jednom meraní bola ich vzdialenosť 40m a v druhom 110m, čo predstavuje takmer celú vnútornú šírku budovy. Porovnávali sme opäť modul XR5 a R52n pri zhodnom nastavení, t.j. frekvencia 5180 MHz a šírka kanálu 20MHz. Vysielačový výkon XR5 je definovaný len od 15 dBm preto výsledná charakteristika (viď Obrázok 8.10) odpovedá údajom od výrobcu. Ten udáva dosah vo vnútri budov až 150m. Preto je prenosová rýchlosť na vzdialenosti 110m len o 5 Mbps nižšia než v porovnaní so vzdialenosťou 40m. Modul R52n má odlišnú charakteristiku ako sme videli na obrázku Obrázok 8.6. Avšak vzhľadom na vzdialenosť je pokles rýchlosti podobný XR5. Pri oboch vzdialenostiach charakteristika opäť zodpovedá údajom od výrobcu, ktorý udáva

maximálnu rýchlosť v rozmedzí 19 – 21 dBm. V našom prípade na dlhšiu vzdialenosť bolo dosiahnuté maximum už pri 16 dBm.



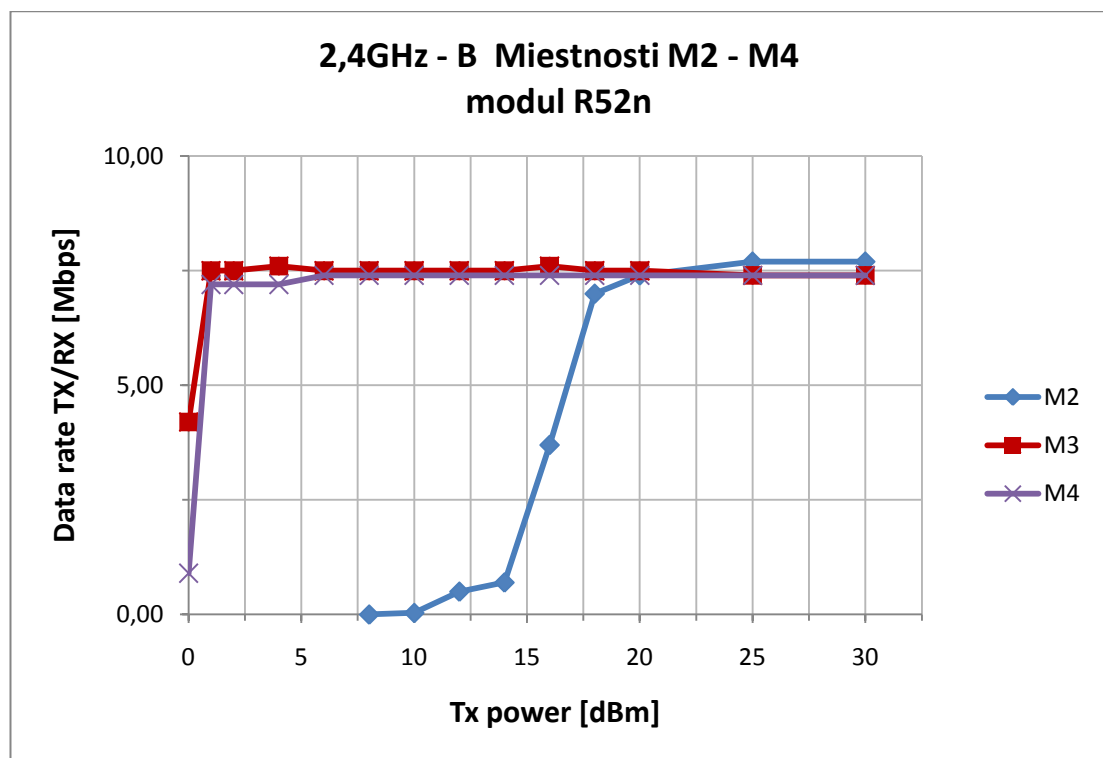
**Obrázok 8.10** Porovnanie dosahu na priamu viditeľnosť v pásme 5GHz so šírkou kanálu 20MHz

Z tohto merania získané pomerne dobré výsledky mohli byť do určitej miery ovplyvnené aj tzv. vlnovodným efektom chodby, kde je signál akoby smerovaný priamou chodbou a odráža sa od stien. Na druhej strane však treba poznamenať, že zhruba vo vzdialenosti 50 – 80m sa nachádzal pomerne rozšírený vestibul, kde mohlo dochádzať k ďalším nežiaducim odrazom signálu.

### 8.3.5 R52n v pásme 2,4GHz

Keďže sme mali k dispozícii 2-pásmový modul R52n, ktorý dokáže vysielateľ nielen v pásme 5GHz ale aj 2,4GHz, otestovali sme šírenie signálu resp. prenosovú rýchlosť pri použití v pásme 2,4GHz – B a 2,4GHz – G.

Podľa medzinárodného štandardu IEEE 802.11 je rozdiel medzi pásmom 2,4GHz – B a 2,4GHz – G hlavne v prenosovej rýchlosti kde 2,4GHz – G dosahuje max. rýchlosť 54Mbps oproti 11Mbps 2,4GHz – B. Výrobca v tomto prípade neudáva žiadny max. dosah a z prehľadu WiFi špecifikácii (viď Tabuľka 3.2) by mal byť dosah vo vnútri budov max 38m. V prípade špecifikácie 802.11b sme dosiahli pomerne uspokojivé výsledky so stabilným signálom aj vo vzdialenosti 40 metrov od AP (viď Obrázok 8.11). Maximálna rýchlosť v tejto špecifikácii je 11Mbps nám sa však pri všetkých troch vzdialenostiach podarilo dosiahnuť maxima na 7,5Mbps.

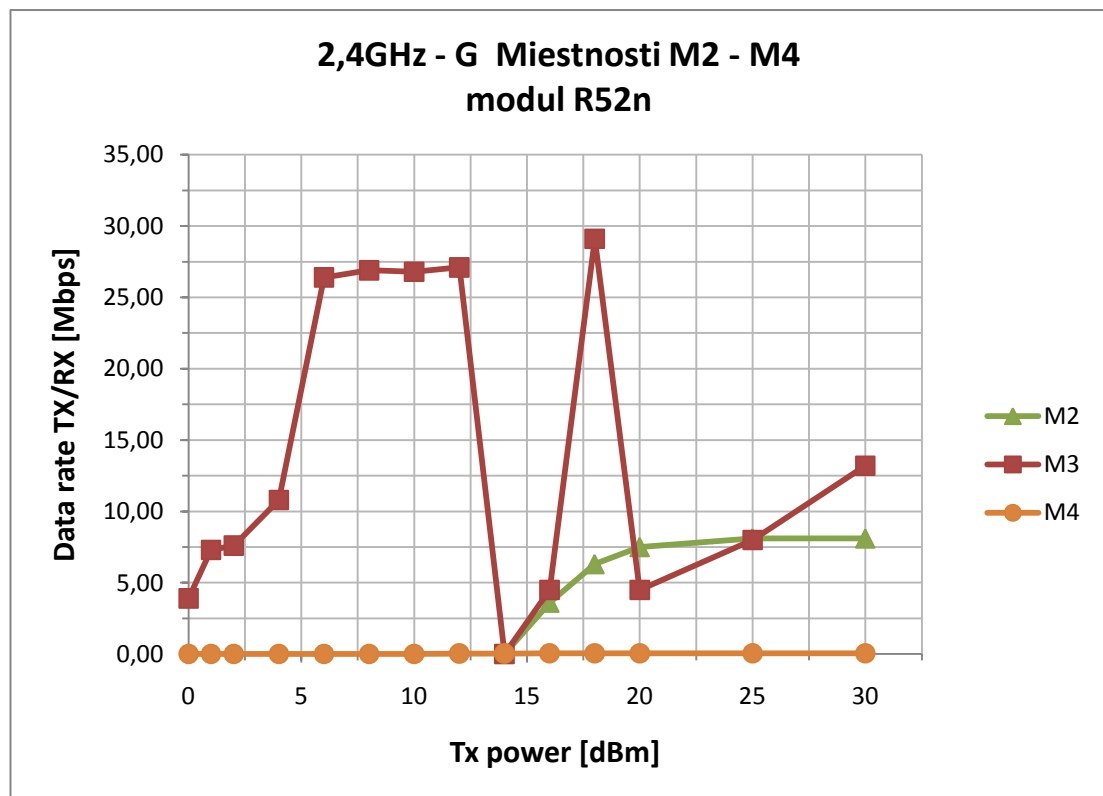


**Obrázok 8.11 Porovnanie prenosovej rýchlostí pre modul R52n v pásme 2,4GHz – B**

Pri špecifikácii 802.11g boli výsledky vcelku prekvapivé (viď Obrázok 8.12). Najvyššiu rýchlosť a to 29Mbps sme dosiahli len pri vzdialenosti 26m a to pri výstupnom výkone 18 dBm. Výrobca udáva maximálny tok 54Mbps pri výkone

21dBm. Zaujímavé je že pri meraní na vzdialenosť 40 m v miestnosti M4 sa nám síce podarilo nadviazať spojenie avšak prenosová rýchlosť bola len tesne nad 0Mbps.

Po výsledkoch z tohto merania sme skúšali otestovať tento modul s touto špecifikáciou aj mimo nášho testovacieho prostredia na Koleční 4 avšak výsledky boli vo všetkých prípadoch o mnoho horšie ako stanovuje výrobca resp. štandard. Preto nevylučujeme ako príčinu týchto výsledkov možnú chybu v chipsete na tomto module.



Obrázok 8.12 Porovnanie prenosovej rýchlosti pre modul R52n v pásme 2,4GHz - B

## 9. ZÁVER

V tejto práci sme sa oboznámili so základnými pojmami z oblasti rádiovkej komunikácie a zároveň preskúmali možnosti bezplatného využitia jednotlivých frekvenčných pásiem na bezdrôtovú komunikáciu v Českej republike. Priblížili sme si najvhodnejšie komunikačné systémy, ktoré by bolo možné použiť na komunikáciu s mobilnými zariadeniami. K jednotlivým systémom sme vybrali niekoľko vhodných dostupných modulov. V tejto oblasti je na trhu naozaj široká ponuka dostupných zariadení a preto každá implementácia závisí od presnej špecifikácie požiadaviek daného systému. Cieľom preto nebolo nájsť všetky moduly ale priblížiť tie najvhodnejšie a uľahčiť tým výber modulov pre prípadne použitie v budúcnosti.

V ďalšej časti sme sa oboznámili s detailmi niektorých protokolov využitých pri testovaní modulov a taktiež sme si priblížili detaily šírenia vln v uzavretých priestoroch budov.

V poslednej praktickej časti sme dostali k dispozícii dva vybrané WiFi moduly - R52n od firmy Mikrotik a XR5 od firmy Ubiquiti, ktoré boli použité v RouterBOARDe tak isto od firmy Mikrotik. Práve pre spomínaný RouterBOARD sme navrhli a vytvorili aplikáciu, ktorá dokáže monitorovať a zároveň vykresľovať tok dát na jednotlivých rozhraniach RouterBOARDu.

Pomocou tejto aplikácie sme vykonali niekoľko testov oboch modulov. Testovacie prostredie sme navrhli tak by bolo možné zistiť vplyv prekážok (stien) v budovách na šírenie signálu resp. prenos dát. V niektorých testoch sme porovnávali oba moduly navzájom, v iných sme sa snažili dosiahnuť čo najbližšie hodnoty k tým uvádzaným od výrobcu.

## 10. CITOVANÁ LITERATÚRA

1. Český telekomunikační úřad. *Český telekomunikační úřad*. [Online] 2010. <http://www.ctu.cz>.
2. Hanus, Stanislav. *Bezdrátové a mobilní komunikace*. Brno : Vysoké učení technické v Brně, 2003. str. 150. Sv. 1. 80 – 214 – 1833 – 8.
3. Český telekomunikační úřad. Plán přidělení kmitočtových pásem. *Národní kmitočtová tabulka*. Praha, 2004.
4. Český telekomunikační úřad. Všeobecné oprávnění č.VO-R/10/03.2007-4. Praha, 2007.
5. Český telekomunikační úřad. Všeobecné oprávnění č.VO-R/15/08.2005-27 . Praha, 2007.
6. Český telekomunikační úřad. Všeobecné oprávnění č.VO-R/16/08.2005-28 . Praha, 2005.
7. RACOM. *RACOM - rádiové modemy*. [Online] RACOM - produkty, 2010. <http://www.racom.eu>.
8. Advanced Radio Telemetry. *ART - Advanced Radio Telemetry*. [Online] 2010. [www.artbrno.cz](http://www.artbrno.cz).
9. TR instruments spol. s r.o. Radiomodemy a telemetrie. *TR instruments - měřicí přístroje, měřicí technika*. [Online] 2010. <http://www.trinstruments.cz>.
10. ENIKA.CZ s.r.o. Transceivery. *Enika*. [Online] 2010. <http://www.enika.cz>.
11. HW server s.r.o. . Vývojové kity. *HW Server*. [Online] 2010. <http://obchod.hw.cz/>.
12. Bluetooth SIG. Bluetooth. *The Official Bluetooth® Technology Info Site*. [Online] Bluetooth SIG, May 2010. <http://www.bluetooth.com>.
13. Free2move. Bluetooth modules. *Free2move*. [Online] 2010. <http://www.free2move.se>.
14. Labiod, Houda, Afifi, Hossan and De Santis, Costantino. *Wi-Fi Bluetooth ZigBee and WiMax*. Dordrecht : Springer, 2007. p. 316. Vol. 1. 978-1-4020-5396-2.

15. **IEEE Standard Association.** IEEE standards Working Group Areas. [Online] May 2010. <http://grouper.ieee.org/groups/>.

16. **Wikipedia.** Wikipedia, the free encyclopedia. [Online] March 2008. <http://en.wikipedia.org/wiki/Wifi>.

17. **IEEE.** Standard 802.16-2004. *Part16: Air interface for fixed broadband wireless access system*. October 2004.

18. **IEEE.** Standard 802.16e-2005. *Part16: Air interface for fixed and mobile broadband wireless access systems—Amendment for physical and medium access control layers for combined fixed and mobile operation in licensed band*. December 2005.

19. **Andrews, Jeffrey G., Ghosh, Arunabha and Muhamed, Rias.** *Fundamentals of WiMAX: Understanding Broadband Wireless Networking*. s.l. : Prentice Hall, 2007. 0-13-222552-2.

20. **ASPRA a.s.** WiMAX.cz. *WiMAX*. [Online] May 2010. [www.wimax.cz](http://www.wimax.cz).

21. **GSM Association.** GSM World. *GSM World*. [Online] 2010. <http://www.gsmworld.com>.

22. **Pužmanová, Rita.** *Moderní komunikační sítě*. Praha : Computer Press, 1998. 80-7226-098-7.

23. **Pužmanová, Rita.** *TCP/IP v kostce*. České Budejovice : KOPP, 2009. 978-80-7232-388-3.

24. **Postel, J.** *RFC 768 - User Datagram Protocol*. [Online] August 1980. [www.ietf.org](http://www.ietf.org).

25. **Karli Watson, Christian Nagel, Christian Nagel, Jacob Hammer Pedersen, Jon D. Reid, Morgan Skinner, Eric White.** *Beginning Microsoft® Visual C#® 2008*. Indianapolis, Indiana, USA : Wiley Publishing, Inc, 2008. 978-0-470-19135-4.

26. **Dietrich, Ronald;** *Industrial Ethernet ... from the Office to the Machine - world wide* -. Osnabrück : Printshop Meyer, Osnabrück, 2004.

27. **Pechač, Pavel.** *Modely šíření vln v zástavbě*. Praha : BEN-technická lieteratura, 2005. 80-7300-186-1.

28. **SIA, MikroTiks.** MikroTik Routers and Wireless . *RouterBOARD 433 Series User's Manual*. [Online] Jun 9, 2009. [www.mikrotik.com](http://www.mikrotik.com).

29. **Ubiquiti Networks, Inc.** Ubiquiti Networks, Inc. . *XR5 Datasheet*. [Online] 2009 .  
[www.ubnt.com](http://www.ubnt.com).

30. **Mikrotik.** RouterBoards. *Routerboard.com*. [Online]  
<http://www.routerboard.com>.

31. **Microsoft Corporation.** Visual C# Developer Center. [Online] 2010.  
<http://www.msdn.microsoft.com/en-us/vcsharp>.

32. **Petzhold, Charles.** *Programování Microsoft Windows Forms v jazyce C#*. [překl.]  
Karel Voráček. Brno : Computer Press, 2006. 80-251-1058-3.

33. **ZedGraph.** *ZedGraphWiki*. [Online] 2007. <http://www.zedgraph.org>.