

# Šíření radiových vln u bezdrátových systémů

The expansion of radio signal transmissions for wireless systems

Bc. Petr Dlabač

---

Diplomová práce  
2015



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky  
akademický rok: 2014/2015

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Petr Dlabáč**  
Osobní číslo: **A13438**  
Studijní program: **N3902 Inženýrská informatika**  
Studijní obor: **Počítačové a komunikační systémy**  
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Šíření radiových vln u bezdrátových systémů**  
Téma anglicky: **The Expansion of Radio Signal Transmissions for Wireless Systems**

Zásady pro vypracování:

1. Zpracujte literární rešerši.
2. Popište stav teorie a techniky podle získaných informací rešerše.
3. Provedte měření pro vybrané materiály a frekvence.
4. Zpracujte naměřená data do protokolů.
5. Sestavte matematické modely absorpce pro materiály a frekvence.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. STAUDEK, Jan. 2 x 15 kapitol z distribuovaných systémů. Část 2, Přenos dat a počítačové sítě. 1. vyd. Brno: VUT, 1994. 155 s. Učební texty vysokých škol.
2. MLÝNEK, Petr. Analýza a modelování datové komunikace po silnoproudém vedení Analysis and modeling of power line communication: zkrácená verze Ph.D. thesis. [V Brně: Vysoké učení technické], 2012. 32 s. Vědecké spisy Vysokého učení technického v Brně. PhD Thesis, sv. 675. ISBN 978-80-214-4607-6.
3. TVRDÍKOVÁ, Milena. Aplikace moderních informačních technologií v řízení firmy: nástroje ke zvyšování kvality informačních systémů. 1. vyd. Praha: Grada, 2008. 173 s. Management v informační společnosti. ISBN 978-80-247-2728-8.
4. CAROLL, Brandon. Bezdrátové sítě Cisco: autorizovaný výukový průvodce. Vyd. 1. Brno: Computer Press, 2011. 478 s. Samostudium. ISBN 978-80-251-2884-8.
5. MERZ, Hermann, HANSEMANN, Thomas a HÜBNER, Christof. Automatizované systémy budov: sdělovací systémy KNX/EIB, LON a BACnet. 1. vyd. Praha: Grada, 2008. 261 s. Stavitel. ISBN 978-80-247-2367-9.
6. BÍLA, Jiří et al. Informační technologie: databázové a znalostní systémy. Vyd. 3., přeprac. V Praze: České vysoké učení technické, 2009. 135 s. ISBN 978-80-01-04409-4.
7. ROTHWELL, Edward J. Electromagnetics. Boca Raton :CRC Press,2009, ISBN978-1-4200-6447-6.

Vedoucí diplomové práce:

**doc. Ing. František Hruška, Ph.D.**

Ústav elektroniky a měření

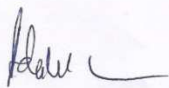
Datum zadání diplomové práce:

**12. ledna 2015**

Termín odevzdání diplomové práce:

**15. května 2015**

Ve Zlíně dne 6. února 2015



doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.  
*děkan*



Ing. Miroslav Matýšek, Ph.D.  
*ředitel ústavu*


### Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen připouští-li tak licenční smlouva uzavřená mezi mnou a Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně s tím, že vyrovnání případného přiměřeného příspěvku na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše) bude rovněž předmětem této licenční smlouvy;
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

### Prohlašuji,

- že jsem na diplomové/bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně 20.5.2015

  
.....  
podpis diplomanta

## **ABSTRAKT**

Diplomová práce se zabývá ve velké míře bezdrátovým přenosem dat a šířením radiových vln u bezdrátových systémů. V teoretické části práce jsou popsány bezdrátové protokoly a metody bezdrátového přenosu. Je zde shrnuta také teorie nezbytná pro pochopení šíření elektromagnetických vln. Praktická část této diplomové práce se vztahuje ke studiu šíření signálů přes překážky v budovách. Měření proběhlo pro vybrané materiály a frekvence s cílem udělat katalog útlumu radiových signálů v rozsahu od 700 MHz do 3GHz. Na závěr je také uvedeno mapování intenzity signálu v budovách.

Klíčová slova: Bezdrátový přenos, šíření radiových vln, WLAN, měření, ZSTAR3, RFID, mapování útlumu

## **ABSTRACT**

This thesis deals largely with wireless data transmission and propagation of radio waves in wireless systems. The theoretical part describes the wireless protocols and methods for wireless transmission. There is also summarized the theory necessary for understanding the propagation of electromagnetic waves. The practical part of this thesis relates to the study of signal propagation through obstacles in buildings. There were made measurements for defined materials and frequencies to make a catalog of attenuation of radio signals in range from 700 MHz to 3 GHz. Finally, there is also mapping of signal intensity in buildings.

Keywords: Wireless transmission, radio wave propagation, WLAN, measurement, ZSTAR3, RFID, attenuation mapping

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu své práce doc. Ing. Františku Hruškovi, PhD. za vedení mé diplomové práce, návrhy, konzultace a poskytnutí materiálů a pomůcek. Rád bych poděkoval také své přítelkyni a rodině, že při mně stáli během psaní této práce.

## OBSAH

<b>ÚVOD.....</b>	<b>9</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST .....</b>	<b>10</b>
<b>1 LITERÁRNÍ REŠERŠE O ZPŮSOBECH BEZDRÁTOVÉHO PŘENOSU DAT.....</b>	<b>11</b>
1.1 KOMUNIKACE SYSTÉMŮ INTEGROVANÉ AUTOMATIZACE.....	12
1.2 SYSTÉMY PROPOJENÍ NA SIGNÁLNÍ ÚROVNI.....	15
1.3 SYSTÉM PROPOJENÍ DATOVÉ ÚROVNĚ D1/SAN.....	16
1.3.1 IrDA .....	17
1.3.2 EnOcean .....	17
1.3.3 Bluetooth .....	18
1.3.4 ZigBee .....	20
1.4 SYSTÉM PROPOJENÍ DATOVÉ ÚROVNĚ D2/LAN.....	22
1.4.1 IEEE 802.11 .....	22
1.4.2 Průmyslová Wi-Fi .....	23
1.5 VÝHODY A NEVÝHODY JEDNOTLIVÝCH STANDARDŮ PRO PŘENOS DAT.....	24
1.6 RFID A NFC .....	26
<b>2 ŠÍŘENÍ ELEKTROMAGNETICKÝCH VLN.....</b>	<b>29</b>
2.1 ÚVODNÍ KLASIFIKACE ELEKTROMAGNETICKÝCH VLN .....	32
2.1.1 Přímá vlna .....	32
2.1.2 Odražená a rozptýlená vlna .....	32
2.1.3 Povrchová vlna.....	33
2.1.4 Prostorová vlna.....	34
2.2 VLIVY PŮSOBÍCÍ NA BEZDRÁTOVÝ PŘENOS DAT .....	34
2.2.1 Absorpce .....	34
2.2.2 Odrazy .....	34
2.2.3 Free Path Loss .....	35
2.2.4 Sousední kanály .....	35
2.3 TECHNIKY MODULACE .....	35
2.3.1 DSSS .....	36
2.3.2 OFDM .....	36
2.3.3 MIMO .....	36
2.4 ŠÍŘENÍ VLN V PROSTŘEDÍ.....	37
2.4.1 Decibel .....	37
2.4.2 Šíření vln v budově .....	37
2.4.3 Průchod vln přes překážky .....	39
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>44</b>
<b>3 ÚVOD K MĚŘENÍ PRO VYBRANÉ MATERIÁLY A FREKVENCE.....</b>	<b>45</b>
3.1 RFID UHF 868MHZ.....	45
3.2 802.15.4 ZIGBEE 2,4GHZ .....	48
3.3 802.11G WLAN 2,4GHZ .....	52
<b>4 MĚŘENÍ A ZPRACOVÁNÍ PROTOKOLŮ Z NAMĚŘENÝCH DAT .....</b>	<b>55</b>

4.1	MĚŘENÍ ÚTLUMU POMOCÍ ZAŘÍZENÍ ZSTAR3.....	57
4.2	MĚŘENÍ ÚTLUMU POMOCÍ ZAŘÍZENÍ VLIT RFID .....	58
<b>5</b>	<b>MATEMATICKÉ MODELY ABSORPCE A VÝSLEDKY MĚŘENÍ.....</b>	<b>59</b>
<b>6</b>	<b>MAPOVÁNÍ INTENZITY SIGNÁLU .....</b>	<b>63</b>
6.1	RODINNÝ DŮM.....	63
6.1.1	802.11g - program Ekahau HeatMapper .....	63
6.1.2	802.11g – přijímač Bullet2.....	65
6.1.3	RFID VLIT.....	67
6.2	BUDOVA U5 8.NP .....	70
6.2.1	802.11g - program Ekahau HeatMapper .....	70
6.2.2	RFID VLIT.....	71
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>73</b>
	<b>ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ.....</b>	<b>74</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>75</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>78</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>80</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>82</b>



## ÚVOD

Historie prvních spojení a přenosů za pomoci drátů se datuje daleko do historie lidstva. Touha lidí komunikovat mezi sebou byla odjakživa a není tedy divu, že se vědci odnepaměti zabývali touto tematikou. V době zrodu telegrafů a prvních přenosů si asi pouze hrstka vizionářů dokázala představit, že by se jednoho dne mohla přenášet komunikace bezdrátově. Netrvalo ovšem dlouho a s obrovským rozvojem vědy a techniky se povedlo na konci 19. století přenést informace bezdrátově na vzdálenost činící asi dva kilometry.

Přenos dat byl vždy považován za obor vědění, který má co nabídnout, a kde je možné se stále posouvat dále. Není tedy překvapením, že vědci přicházeli se stále novějšími a lepšími metodami bezdrátového přenosu. Velkého rozvoje bylo dosaženo v období světových válek, kde hrála komunikace klíčovou roli. Za největší vlnu nástupu bezdrátových komunikací lze považovat však 90. léta minulého století, kdy došlo k obrovskému rozmachu a distribuci osobních počítačů široké veřejnosti do domácností. S prvním přístupem k Internetu a propojením domácí sítě nastávaly otázky zvyšování rychlosti, bezpečnosti a dostupnosti všem.

V dnešní době si už těžko představujeme náš život bez bezdrátových technologií. S postupem času se totiž stáváme mobilními i ve velmi odlehlých koutech Země. Existuje celá řada organizací, které se věnují rozvoji standardů a protokolů, které s bezdrátovým přenosem souvisí. Pro koncového uživatele to má za následek větší škálovatelnost a variabilitu. Přínos bezdrátových přenosů však není pouze v domácnostech nebo ve firmách zabývajících se informačními technologiemi. Dnes je toto využití širší a využívají je ve zdravotnictví nebo v průmyslové automatizaci.

Využití bezdrátových technologií nám umožňuje být neustále v kontaktu se světem v době, kdy potřebujeme být mobilní na cestách. Přesto, že jsme schopni překonávat obrovské vzdálenosti, často se stává, že z důsledku stínění nemůžeme přijmout signál tam, kde dříve byl. Vlivy působící na bezdrátový přenos nám často zneprůjemňují situaci. Někdy stačí za pomoci znalostí správně upravit například umístění zdrojů vysílání nebo změnit jeho nastavení. Někdy je však nutné důkladnější analýzy a prověřit okolní interference a brát v potaz okolní prostředí, které má v dnešní „zarušené“ době, velký vliv na chod elektrických zařízení fungujících na daných frekvencích.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

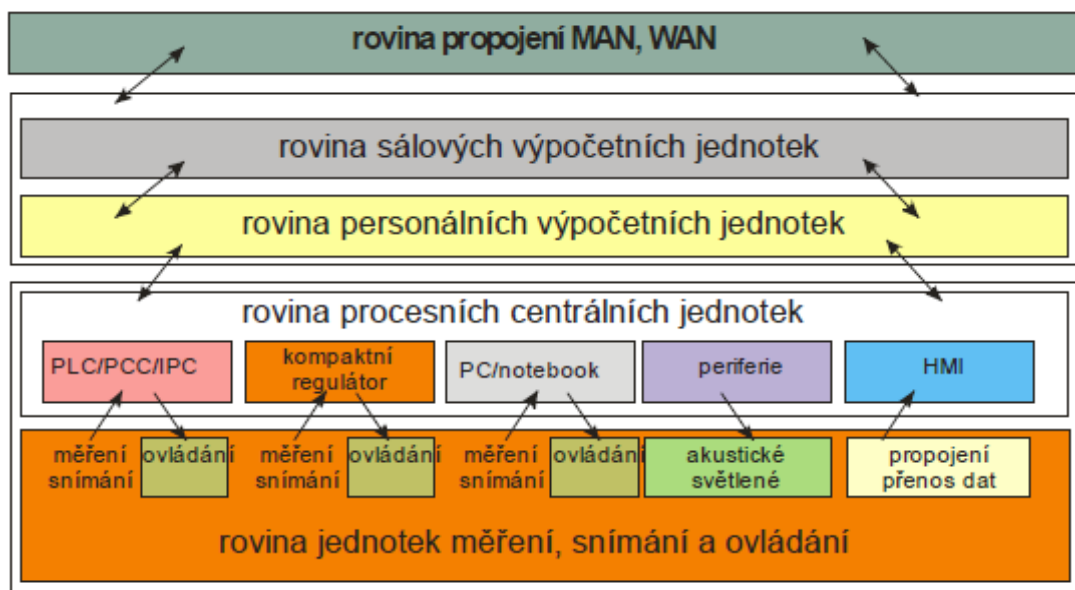
## 1 LITERÁRNÍ REŠERŠE O ZPŮSOBECH BEZDRÁTOVÉHO PŘENOSU DAT

Bezdrátovou komunikaci provází neustále aktualizace a přívaly nových trendů u protokolů či samotných technologií. Je tomu tak, protože ruku v ruce s novými trendy se mění i struktura domácích spotřebičů, které již neplní jen úlohu, ke které měly původně sloužit. Propojení domácnosti je však jen špičkou ledovce, které mohou nejnovější bezdrátové technologie nabídnout. Využití v průmyslu s sebou přináší urychlení, zpřesnění pracovních procesů, taktéž úsporu v energii či pracovních sil. U informačních systémů je jedním z posledních trendů například místní síť LAN komunikující pomocí protokolu I-Ethernet. Více o téhle technologii nám poskytnou následující kapitoly.[1]

Historie a nebývalý rozvoj informatiky a automatizace v posledních dekáдах nesvědčí o ničem jiném, než že se do budoucna nedá pomýšlet o poklesu tohoto trendu v rozvoji informačních technologií. Naopak se setkáváme se stále více úzce spolupracujícími odvětvími, které spolu musí neustále komunikovat. Propojení informačních systémů se systémy automatizace vedou ke vzniku systému integrované automatizace. Možnost datové komunikace v takovém systému je na obrázku (Obr. 1).[1]

Přes všechny nesporné výhody je však nutné se také zabývat otázkou bezpečnosti. Propojování systémů totiž může vést k oslabení jednoho systému, pokud k němu připojíme systém méně dokonalý z hlediska bezpečnosti. Je tedy nezbytné vyvíjet bezpečnostní standardy a protokoly, aby se tato rizika eliminovala. Moderní doba je totiž oceánem příležitostí pro nejrůznější hackery, špiony a zloděje, kteří by rádi využili slabin systémů ke svému obohacení nebo k prokázání své nepřemožitelnosti. Systém zpravidla ztroskotá na nedokonalosti nějakého svého nejslabšího článku, který se stane bránou pro útok třetí strany. Útoky na informační technologie dělíme na přerušení či zničení, odposlech, změna a přidání dat nebo funkcí.[17]

Často se jako ochrana proti změnám zpráv a také z důvodu utajení používá zabezpečení šifrováním. Šifrování může být na různých úrovních. Na transportní vrstvě se využívá protokol SPX sítí Novell. Při užívání sítí internet jsme často odkázáni na protokoly https a ssl.[19]



Obrázek 1 Obecné schéma systému informatiky a řízení[2]

V úvodní analýze metod a způsobů bezdrátové komunikace nelze zapomenout zmínit přístup k Internetu. Napojení systémů na tuto síť je dnes již také standard. Lze tedy komunikovat se světem v reálném čase. Prognózy nepočítají s ničím jiným, než s dalším strmým vzestupem tohoto trendu a již dnes se málokdo bez Internetu obejde.[2]

### 1.1 Komunikace systémů integrované automatizace

Komunikace systémů integrované automatizace, zkráceně SIA, se zabývá způsoby a metodami bezdrátového přenosu. SIA se využívají v mnoha oblastech a napříč různým spektrem oborů. Mezi nejrozšířenější oblasti využití patří průmysl, zemědělství, ale i další neméně překvapivé obory. Mezi něž patří inteligentní domy, protože u nich dochází ke sběru signálů z nejrůznějších čidel, které se pak musí zpracovat ve vyhodnocovacím zařízení, které nám pošle informace, a my se podle nich pak zařídíme a nastavíme si další úkony. Máme tak možnost ovládat chod domácnosti vzdáleně za pomoci zařízení, připojených k síti (Obr. 2). Komunikace a přenášení dat v rámci systémů nám SIA umožňuje díky nejrozličnějším technickým a programovým prostředkům. K bezproblémové, spolehlivé a hlavně bezpečné funkci SIA je nezbytné kvalitní logické i fyzické propojení daných struktur.[2]



Obrázek 2 Technika umožňující po síti spravovat domácnost inteligentních domů[2]

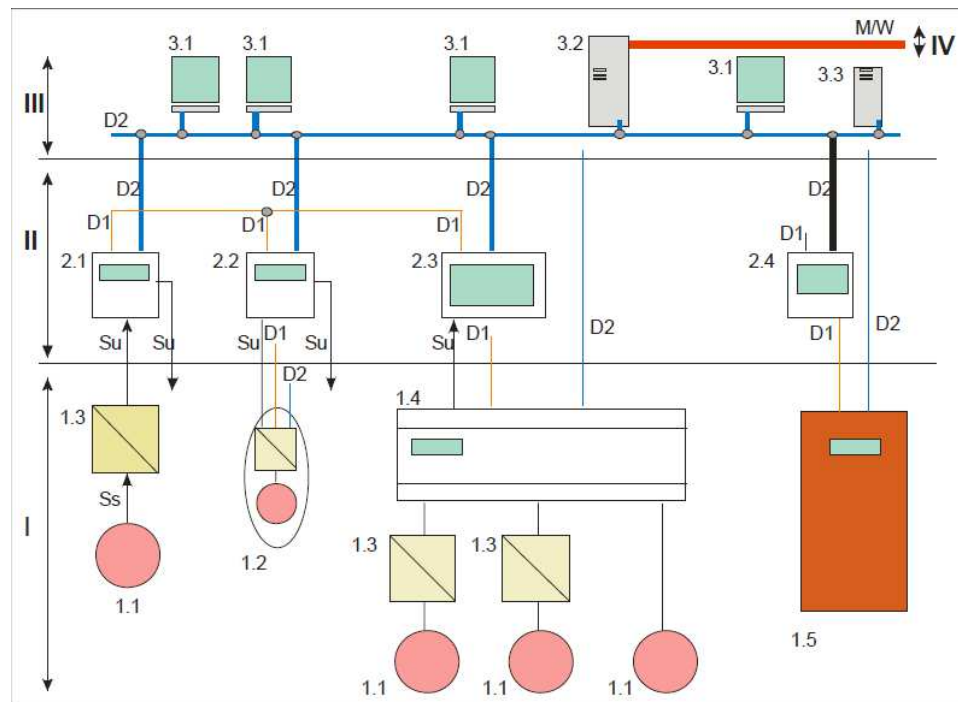
Komunikace v rámci SIA lze rozdělit na jednotlivé úrovně přenosu. Tyto úrovně máme čtyři a jsou rozepsány a zobrazeny v tabulce (Tab. 1). Spojením těchto čtyř úrovní nám vzniká kompletní systém SIA zobrazený na obrázku (Obr. 3).

Tabulka 1 Komunikace v SIA – základní úrovně[2]

<b>I. Úroveň – signální procesů, měření, snímání</b>	<b>Su, Sn</b>
Komunikace mezi snímači, podsystémy a akčními členy pomocí signálů. Tyto signály jsou neunifikované (Sn) a unifikované (Su)	Kabely: napájecí, propojovací signální Zdroje: napájecí
<b>II. Úroveň – řízení a sběr dat</b>	<b>D1</b>
Komunikace mezi podsystémy – přenášení celých bloků údajů. Datová úroveň podsystémů (SAN)	RS232, RS485, USB, Bluetooth, ZigBee, IrDA, EnOcean
<b>III. Úroveň – zpracování dat, archivace, CIM úrovně</b>	<b>D2</b>
Přenos dat a informací v rámci podsystémů u jednoho systému. Lokální datová úroveň LAN	Wi-Fi, I-Ethernet, TCP/IP
<b>IV. Úroveň - globální</b>	<b>D3</b>
Přenos dat a informací na velké vzdálenosti	MAN/WAN přenos mezi městy a přes celý svět

Komunikace v rámci SIA a ukázka propojení jeho dílčích úrovní jsou zobrazeny na obrázku (Obr. 3). Snímače a vyhodnocovací jednotky tvoří úroveň I. (1.1 – 1.5) a přenos mezi nimi umožňuje signál unifikovaný či signál neunifikovaný (Su, Sn). Dále je zde úroveň II. (2.1 – 2.4), kterou tvoří datové podsystémy PAN a komunikace mezi nimi, zde zaznačeno

jako D1. Úroveň III (3.1 – 3.3) popisuje datový přenos lokální sítě LAN (D2). Úroveň IV. Popisuje komunikaci s vnějším prostředím (MAN/WAN).[1]



Obrázek 3 Schéma propojení v rámci SIA[1]

## 1.2 Systémy propojení na signální úrovni

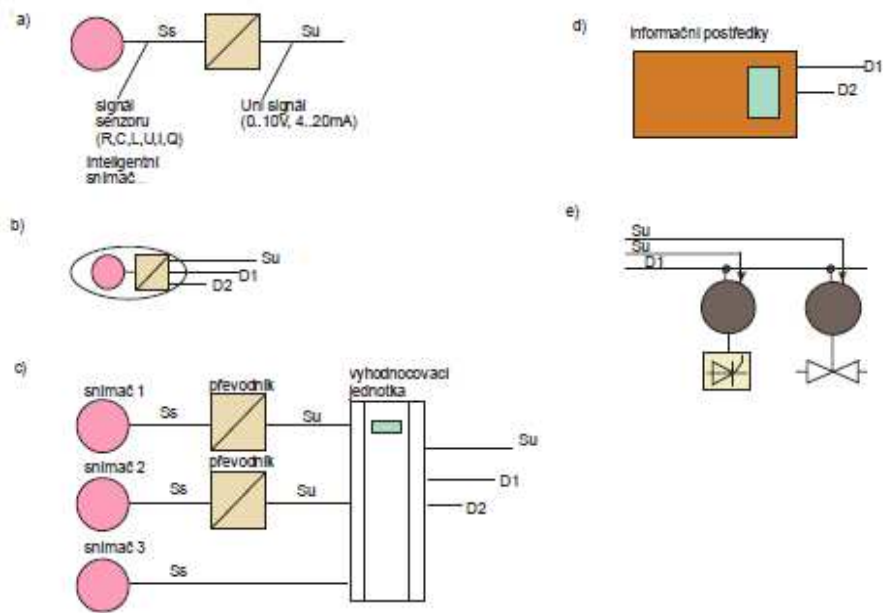
Jde o propojení systémů na nejnižší úrovni. Patří sem sběr dat z nejrůznějších měření či snímání dat a informací. Takto načtená data je většinou potřeba poslat dále k dalšímu vyhodnocovacímu zařízení, v rámci SIA jde o přeposlání na další úroveň. Data pak mohou vzejít na výstup ve třech možných variantách. Jednou z variant je výstup dat pomocí unifikovaného signálu, druhou je datový výstup D1 a třetí je datový výstup D2.[2]

Komunikace na signální úrovni je umožněna za pomoci elektrických, elektromagnetických či jiných signálů. Signál jakožto hodnota informace, lze vyjádřit za pomoci elektrického napětí (0 až 10V), elektrického proudu (4 až 20mA DC), elektrického odporu, náboje či indukčnosti. U bezdrátového přenosu propojení vzniká za užití infračerveného záření, nebo také užitím laserových paprsků.[2]

Existuje několik variant propojení na této úrovni. Příklady těchto variant jsou na obrázku (Obr. 4).

- a) Výstup ze snímače je neunifikovaný signál, který měníme na signál unifikovaný napojením na převodník
- b) Snímač má obvod s mikrokontrolérem pro vyhodnocení a dostat lze výstup, jímž je unifikovaný signál, propojení D1 nebo D2.
- c) Propojení více snímačů na vyhodnocovací jednotku
- d) K zjišťování a sběru dat se využívá informačních prostředků
- e) Propojení je za pomoci ovládacího zařízení[2]

V praxi se signální úrovně hojně využívá, jelikož má své nesporné výhody. Mezi tyto patří vysoká rychlost přenosu hraniční s rychlostí světla. Doba odezvy je velmi malá. Spolehlivost, jednoduchost propojení a nízké pořizovací náklady jsou velmi žádané parametry na poli automatizace. Ve srovnání s vyššími úrovněmi SIA však nalezneme i nevýhody. Jde o poměrně základní propojení, což má za následek, že může dojít ke vzniku odchylek. Ty mohou vzniknout, protože máme omezené možnosti při nastavování rozlišení. Manipulace s určitými daty je obtížná, pokud je potřebujeme transformovat na daný signál 0-10V.[2]



Obrázek 4 Schéma signálního propojení[1]

### 1.3 Systém propojení datové úrovně D1/SAN

Na datové úrovni D1 již nejde pouze o přenos pomocí impulsů nebo jednoduchých signálů, ale už zde probíhá komunikace v rámci zpráv nebo bloků, a tak je možné, aby mezi sebou jednotlivé podsystémy daných úrovní mohly spolupracovat. SAN je propojení sériové, nižší úrovně, velmi častým synonymem je pojem PAN, kam patří například zástupci standardu 802.15 a jiné. V následujících podkapitolách si shrneme některé ze zástupců tohoto standardu a zhodnotíme si jejich klady a zápory.[2]

V tabulce (Tab. 2) je výčet některých ze standardů PAN. Jsou zde zobrazeny nejenom bezdrátové, ale i klasické drátové varianty.

Tabulka 2 Standardy komunikace PAN[2]

Wireless	Wired
IrDA	RS232
ZigBee	RS485
Bluetooth	Hart
EnOcean	USB
WirelessHart	LonWorks
UWB, WiMedia	ASI
ISA 100.11a	SPI
Proprietární varianty	I2C



### 1.3.1 IrDA

Infrared Data Association je organizace, která má zásluhu na vzniku standardu IrDA, což je technologie, jež využívá ke komunikaci infračervené paprsky. Jde o komunikaci dvou přístrojů na velmi malou vzdálenost. Cílem tohoto standardu bylo propojení zařízení za pomoci bezdrátové komunikace. Své využití si našel u osobních komunikátorů, notebooků nebo u videokamer. Často se s nimi můžeme setkat u mobilních telefonů. Podmínkou, a přitom zásadní nevýhodou pro vznik spojení dvou zařízení, je jejich přímá viditelnost. Přenosová rychlost je velmi nízká a nedosahuje v žádném ohledu kvalit například standardu Bluetooth. Jedno ze zařízení funguje jako přijímač, druhé jako vysílač modulovaného infračerveného záření, které má vlnovou délku 875 nm. Vysílačem jsou infračervené LED diody a jako přijímač se využívá PIN fotodiody.[2]

IrDA se používá buď jako samostatný vysílač nebo přijímač, ale existuje i varianta, kdy je integrovaný přijímač s vysílačem do jednoho bloku, to se nazývá transceiver. Pokud chceme IrDA využívat, je nedílnou součástí senzor a zdroj infračerveného záření. Jedny takové jsou na obrázku (Obr. 5).[2]



Obrázek 5 Senzor a zdroj IR[1]

### 1.3.2 EnOcean

Tento bezdrátový standard byl optimalizován, aby spotřeboval velmi málo energie. Byl vydán organizací IEC jakožto standard ISO/IEC 14543-3-10. Přístroje využívající tohoto standardu nepotřebují baterie, jsou bezúdržbové a nepotřebují výměnu zdrojů. Sensory jsou uzpůsobeny tak, aby dokázaly čerpat energii od svého přilehlého okolí, například ze světla, teplotních rozdílů, nebo pohybu. Na obrázku (Obr. 6) jsou zobrazeny formy pro

získávání energie. Standard EnOcean se využívá hlavně v průmyslové automatizaci či automatizaci budov.[3]



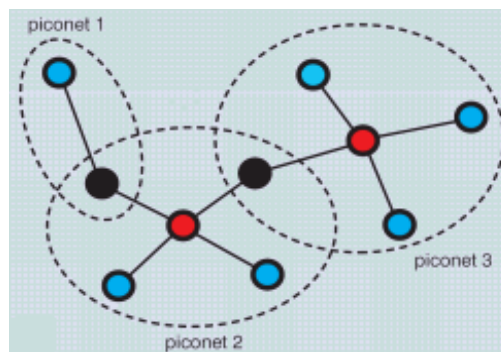
Obrázek 6 Tepelný konvertor, solární panel a EnOcean konvertor pohybu[3]

EnOcean z hlediska OSI modelu pokrývá první až třetí vrstvu. Ve volném prostoru se pohybuje jeho dosah až okolo 300m, v budově až 30m. Tyto parametry jsou doplněny velmi malým odběrem energie. Důvodem takto nízkého odběru je provedení celé komunikace ve zlomku vteřiny. Standard využívá frekvenčního pásma 315MHz nebo 868MHz. Rychlost přenosu je kolem 125kbit/s. Využívá ASK modulaci a přenos větších dat tedy není možný z hlediska efektivity.[3]

### 1.3.3 Bluetooth

Bluetooth je technologie patřící ke standardu 802.15.1, která nám umožňuje propojit dvě a více zařízení pomocí bezdrátové technologie. Nejčastěji se s ní setkáme u mobilních telefonů, notebooků, náhlavních souprav, či PDA.[2]

Pomocí Bluetooth lze k jednomu přijímači připojit až 7 zařízení s právě touto technologií. Vzniká tak propojení, tzv. piconet, jež se může skládat až z 8 zařízení. Uspořádání takového propojení vytváří model Master-Slave. V prostoru o průměru 10m nám základní specifikace dovoluje využít až 10 pikosítí. Takové sdružení sítí se nazývá „scatternets“. Model „scatternetu“ je na obrázku (Obr. 7). Červeně jsou zaznačeny jednotky řídicí, modře jednotky řízené a černě pak jednotky společné pro dvě piconet buňky. Piconet však není jediné propojení, které může vzniknout. Klasická dvoubodová komunikace je asi nejrozšířenější.[4]



Obrázek 7 Scatternet – sdružená síť[4]

Bluetooth je definováno IEEE a patří mezi sítě typu PAN. Komunikace probíhá v pásmu 2,4GHz stejně jako Wi-Fi. Existuje několik verzí, které se liší přenosovou rychlostí, maximální propustností a svými individuálními vlastnostmi. Tyto jejich parametry jsou na obrázku (Obr. 8).[5]

Verze	Přenosová rychlost	Maximální propustnost	Vlastnosti
1.1	1 Mbit/s	0,7 Mbit/s	Nešifrované kanály
1.2	1 Mbit/s	0,7 Mbit/s	Přeskakování frekvencí (AFH)
2.0 + EDR	3 Mbit/s	2,1 Mbit/s	pi/4- DQPSK a 8 DPSK modulace
2.1 + EDR	3 Mbit/s	2,1 Mbit/s	SSP, rozšířené informace EIR
3.0 + HS	54 Mbit/s	24 Mbit/s	Vysokorychlostní přenos přes Wi-Fi
4.0 BLE	1 Mbit/s	0,7 Mbit/s	Dual – mode nízká spotřeba energie

Obrázek 8 Vlastnosti verzí Bluetooth[5]

U bezdrátových technologií, a Bluetooth není výjimkou, hraje velkou roli místo, kde ji používáme. Lepších přenosových výsledků a lepší kvality signálu tedy dosáhneme v místech bez překážek. V místech s velkou členitostí překážek dochází ke snížení kvality signálu a k nárůstu paketů, které nenajdou svůj cíl správně. Podobně jako Ethernet má svou MAC adresu, má i Bluetooth svou adresu. Jde o identifikátor, který nám jednoznačně určuje zařízení v síti, nazývá se BT\_ADDR. Bluetooth používá metodu FHSS. Dle výkonnosti lze tuto technologii rozdělit na tři úrovně, jak je uvedeno v tabulce (Tab. 3).[5]

Tabulka 3 Úrovně výkonnosti Bluetooth[5]

Úroveň	Dosah	Výkon
1	100m	100mW
2	10m	2,5mW
3	1m	1mW

### 1.3.4 ZigBee

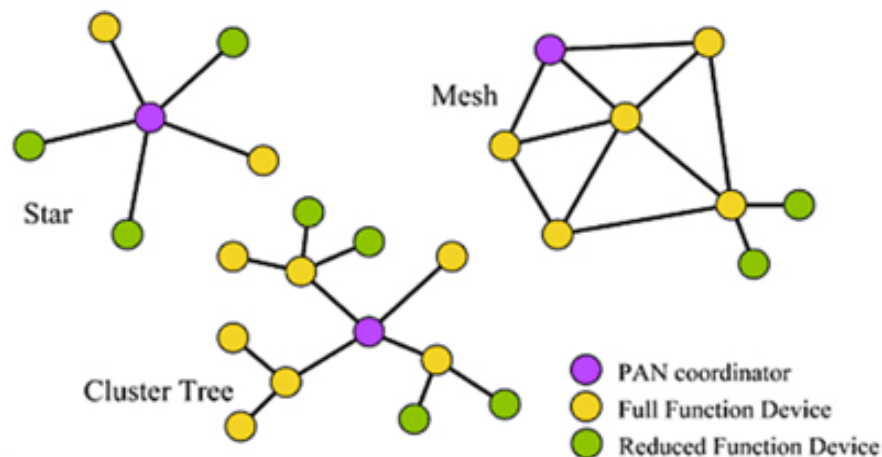
Technologie ZigBee využívá podobně jako Bluetooth k přenosu jako médium vzduch. Řeší tak problémy s kabeláží a umožňuje efektivní přenos dat bez nutnosti rozsáhlých úprav. V oblastech průmyslu někdy činí restrukturalizace kabeláže až 80% všech nákladů při instalaci nových senzorů. Nastávají navíc i situace, kdy kvůli komplikovanosti přístupu a místa nasazení není možné ani drátové provedení zavést. Dalším častým problémem je otázka spotřeby energie u senzorů, které bezdrátově posílají zjištěné údaje a musí svůj chod neustále napájet. Výsledkem je pak příliš velká baterie senzoru, nebo je potřeba časté výměny baterie.[5]

ZigBee jakožto nízkoenergetická technologie naprosto zásadně ovlivnila názor na bezdrátové senzory. Jde o velmi bezpečnou síťovou technologii, která funguje na standardu IEEE 802.15.4. Od roku 2004 patří díky ZigBee alianci stejně jako Bluetooth k sítím PAN pro velmi malé vzdálenosti. Ve srovnání s IrDA není nutná přímá viditelnost dvou zařízení, a proto je tedy i vhodná k nasazení pro průmyslovou automatizaci. ZigBee pracuje v závislosti na lokalitě v různých frekvenčních pásmech.[6]

Porovnáme-li přenosové rychlosti například s Bluetooth či Wi-Fi, nelze příliš počítat s přenosem větších dat. ZigBee své využití směřuje především na přenos signálů ze snímačů, tyto jsou v řádech bytů, a není tedy vyžadována příliš velká přenosová rychlost. Vzdálenost, na kterou dokáže tyto signály přenést, se pohybuje až na hranici 100m. Velkou výhodou je podpora a kompatibilita s ostatními zařízeními. Jelikož ZigBee funguje i v nízkých šířkách pásma, mohou uzly setrvat v režimu spánku do doby, než je potřebné odeslat data. Tato vlastnost napomáhá šetření baterie. Zpoždění pro dobu vstávání je nízké a pohybuje se v řádu 15msec.[6]

ZigBee lze nastavit na jeden ze tří možných módů. První mód má snahu odklonit své přenosy od nechtěného překrývání vysílání jinými uzly, to má ale za následek vyšší spotřebu energie. Z tohoto důvodu se nejedná o příliš efektivní volbu. Další variantou je mód maják,

kdy řídicí uzel v pravidelných intervalech probouzí jím kontrolované uzly a přeposílá jim informace k synchronizaci. Pokud dochází k častému probouzení a příjmu dat, zvyšuje se potřebná dodávka energie. Třetí mód, tzv. In-Your-Face-Communication, má nejnižší požadavky na spotřebu. Přeposílá údaje pouze tehdy, je-li připraven data odeslat a poté počká na jejich potvrzení.[6]



Obrázek 9 Topologie sítě ZigBee[6]

ZigBee umožňuje práci ve třech topologiích sítě (Obr. 9). Jde o topologie hvězda, strom a mesh. Poslední zmiňovaná je nejčastěji využívána u bezdrátového přenosu. Takový přenos může být totiž velkou mírou ovlivněn okolními vlivy, jako je počasí, teplota, vlhkost nebo překážkami po trase komunikace. Pro potřebu zdoání těchto rušení, hlavně pak v průmyslovém prostředí, se jeví topologie mesh jako nejlepší volba. Mohou za to následující vlastnosti:

- Pokud najde síť mesh nový uzel, je tento uzel automaticky přidán do aktuální sítě.
- Je-li nějaký uzel nefunkční, mesh síť najde jinou cestu pro předání dat do dalšího uzlu
- Pokud se přidají další opakovací uzly do sítě, přibudou pro uzly další možné cesty pro přenos.[6]

Další zásluhou na velmi nízké spotřebě energie u ZigBee nese fakt, že k přenosu dat využívá signál DSSS (direct-sequence spread spectrum) technologii. Na bezpečnost se u ZigBee také nahlíželo, a tak je vybavena šifrováním AES za použití 128-bitového klíče.[6]

## 1.4 Systém propojení datové úrovně D2/LAN

Systémy propojení na datové úrovni D2/LAN již umožňují přenášet data v rámci subsystémů. Ve srovnání s datovou úrovní SAN disponují mnohem větší přenosovou rychlostí, a proto jsou zaměřeny pro přenos větších objemů dat. Pro rozsáhlejší systémy se využívá topologie hvězdice, u menších systémů často postačuje sériové propojení. Z protokolů se využívají Token Ring nebo Ethernet TCP/IP.[18] Hardware využívaný na této úrovni je již sofistikovanější a lze dělit na aktivní a pasivní prvky. Mezi pasivní prvky patří kabely a konektory. Mezi aktivní patří switche, bridge, gateway, routery, huby, transceivery.[2]

Standardizace LAN spadá pod záštitu organizace IEEE. Cílem této práce je objasnění vlastností bezdrátových systémů, zmíněn bude tedy v rámci LAN jen standard 802.11. Ten pod sebe sdružuje a dále definuje certifikaci WLAN, známou převážně pod názvem Wi-Fi.[8]

### 1.4.1 IEEE 802.11

Jednou ze složek, kterou se organizace IEEE zabývá, je vývoj a uvedení bezdrátových protokolů. V této části práce se seznámíme se standardem 802.11 a jeho podskupinami a/b/g/n/ac. Rok 1997 je rokem původu prvního standardu 802.11. V dalších letech pokračující dnešním datem dochází stále k inovacím a zlepšováním vlastností tohoto standardu. Důvodem jsou čím dál větší nároky na kvalitu těchto technologií např. v průmyslu ale i v domácnostech. Protokol 802.11 je hojně využíván a dnes si spousta z nás nedokáže představit jeden jediný den v práci ani v soukromí bez připojení, které právě tento protokol umožňuje. V tabulce (Tab. 4) jsou uvedeny pro srovnání jednotlivé protokoly standardu 802.11.[8]

Tabulka 4 – Srovnání protokolů 802.11[15]

Typ protokolu	802.11b	802.11a	802.11g	802.11n	802.11ac
Frekvence [GHz]	2,4	5	2,4	2,4 i 5	5
Datum vzniku	1998	2000	2003	2009	2013
Rychlost přenosu [Mbit/s]	11	54	54	150	450
Modulační technika	DBPSK a DQPSK	BPSK, QPSK	DBPSK a DQPSK	BPSK, QPSK	256-QAM
RF technologie	DSSS	OFDM	OFDM a DSSS	OFDM a MIMO	OFDM a MIMO

Jak rostla rychlost kabelových sítí, tak bylo zapotřebí zvednout rychlost i pro sítě bezdrátové. Standard 802.11 již nebyl konkurenceschopný a museli přijít na řadu jeho nástupci.

- 802.11b – Zvýšila se rychlost přenosu a změnil se způsob kódování z původního Barker 11 na novou metodu CCK.[8]
- 802.11g – Totožná rychlost jako 802.11a avšak v jiném frekvenčním pásmu. Je zpětně kompatibilní s 802.11b. Rozdílný je taktéž způsob modulace, který se změnil na OFDM.[8]
- 802.11a – Tento protokol využívá pásmo 5GHz a není tak zpětně kompatibilní s dřívějšími protokoly. Kladem je nulové rušení zařízeními pracujícími v pásmu 2,4GHz.[8]
- 802.11n – Jde o protokol plně zpětně kompatibilní s předchozími protokoly. Umožňuje to fakt, že dokáže pracovat v obou frekvenčních pásmech, jak 2,4GHz tak i 5GHz. Z tabulky (Tab. 4) také vyplývá až trojnásobné zrychlení přenosu oproti 802.11a/g. Té je možné dosáhnout za užití více antén a změnou modulační techniky na techniku MIMO. Lze tedy přijímat i vysílat z více antén najednou.[8]
- 802.11ac – Nejnovější z protokolů 802.11 může dosáhnout až třikrát větší výkonu oproti protokolu 802.11n. Udržuje si výkon v rámci celého svého dosahu a přitom je spolehlivější. Podobně jako je tomu u 802.11n je varianta s jednou až třemi anténami. Verze se třemi anténami má přenosovou rychlost až 1,35Gb/s.[8]

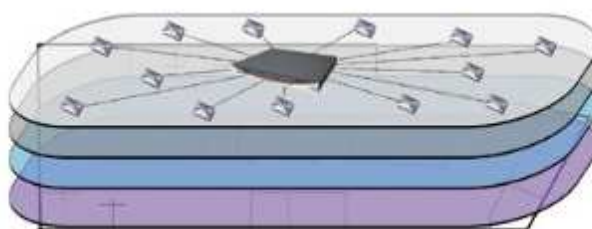
#### 1.4.2 Průmyslová Wi-Fi

Některé nedostatky brzdily rozšíření bezdrátového protokolu 802.11 do průmyslu. Tyto nedostatky však byly odstraněny nástupcem tohoto protokolu. Jde o Wi-Fi čtvrté generace, tzv. průmyslovou Wi-Fi. Wi-Fi určená pro průmyslovou oblast se již vyrovná v mnoha ohledech klasickému kabelovému připojení a jsou i místa, kde ho může zcela překonat. Ve srovnání s obyčejnou Wi-Fi sítí došlo ke zlepšení zabezpečení, stability a dostupnosti.[9]

Průmyslová Wi-Fi pracuje s novou architekturou blanket. Její zjednodušené schéma je možné vidět na obrázku (Obr. 10). Vlastností této topologie je především zabránění rušení mezi přístupovými body. Rozšíření sítě o další přístupový bod je snadné díky využití funk-

ce plug-and-play. Platí také pravidlo, že síť funguje značně lépe, pokud je v ní více přístupových bodů. Každá vrstva blanket topologie potřebuje jeden kanál a lze tak různé služby spravovat odděleně, aniž by docházelo k negativnímu ovlivňování.[9]

Klient připojující se k síti s blanket topologií s desítkami přístupových bodů ji považuje za pouze jeden přístupový bod, jenž je určený jednou MAC adresou. Při provozu blanket topologie pomocí standardu IEEE 802.11n můžeme dosáhnout rychlosti okolo 300Mb/s.[9]



Obrázek 10 Ukázka topologie blanket[9]

Příkladem jsou produkty řady Scalance W od firmy Siemens. Ty se od obyčejných výrobků liší svou konstrukcí a i dalšími vylepšeními, které umožňují správnou funkci v oblasti průmyslu. Mezi tyto vylepšení patří funkční bezpečnost, možnost užití v oblasti s nebezpečím výbuchu či redundance spojení. Nezbytností je zvýšená odolnost vůči okolním vlivům, jako je vlhkost, prašnost, vibrace nebo extrémní teploty.[9]

## 1.5 Výhody a nevýhody jednotlivých standardů pro přenos dat

Následující kapitola se zabývá hlavními přednostmi ale i nedostatky, které zmíněné standardy poskytují. Budou zde shrnuty i vlastnosti standardů, pro které již v této práci nebyl dostatek místa, ale své místo si u bezdrátových standardů pro komunikaci zaslouží. Většina hlavních informací a specifikací byla v předchozích kapitolách nastíněna. Zde budou pouze podtrženy důvody pro využití daného standardu, nebo naopak důvod proč daný standard nepoužít pro komunikaci.

### Systemy propojení na signální úrovni

- Klady: Přenosové rychlosti, odezva, jednoduchost propojování, cena
- Zápory: Nastavitelnost rozlišení, možnost odchylek, složitější transformace dat



#### WirelessHart

- Klady: Cena, dosah, jednoduchost, vysoká odolnost proti rušení
- Zápory: Nutná komunikace s dalšími zařízeními HART

#### **Systemy propojení datové úrovně D1**

##### IrDA

- Klady: Bezpečnost, velmi nízká cena, žádné rušení
- Zápory: Zařízení musí být v přímé viditelnosti, velmi malý dosah

##### EnOcean

- Klady: Spotřeba, frekvenční pásmo, spolehlivost, interoperabilita
- Zápory: Nízká rychlost přenosu

##### Bluetooth

- Klady: Spotřeba u určitých verzí, rozšířenost
- Zápory: Metoda spojově orientované komunikace

##### ZigBee

- Klady: Dosah, flexibilita, spolehlivost, cena, spotřeba, jednoduchost
- Zápory: Velmi malá přenosová rychlost

##### ISA 100.11a

- Klady: Robustnost, spotřeba, multifunkčnost
- Zápory: Komplikovaná struktura, cena komponent

##### Proprietární řešení

- Klady: Pro danou situaci může být nejvhodnější
- Zápory: Kompatibilita s dalšími zařízeními

#### **Systemy propojení datové úrovně D2**

##### Wi-Fi

- Klady: Mobilita, rychlost
- Zápory: Dostupnost, bezpečnost, stabilita

Průmyslová Wi-Fi

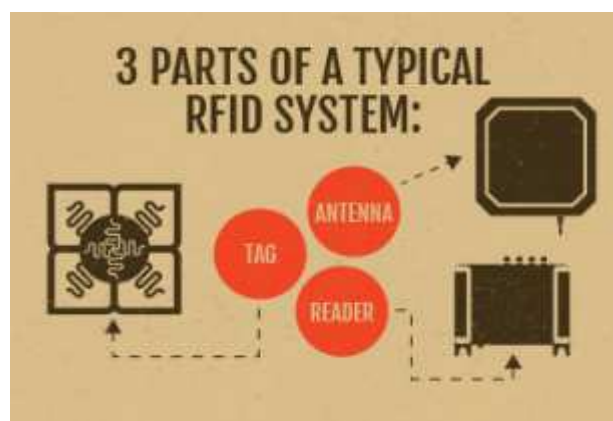
- Klady: Bezpečnost, stabilita, dostupnost[5][15]

Dané klady a zápory závisí také na potřebě využití. Srovnávání dvou standardů, kdy jeden je potřeba s co nejnižší spotřebou, ale není tak důležitá rychlost, se standardem kde rychlost je vším, je velmi obtížné. Ve výsledku existuje celá řada bezdrátových standardů, ze kterých jde pro konkrétní účel vybírat.

## 1.6 RFID a NFC

RFID je zkratka pro Radio-Frequency IDentification. Tato zkratka se týká malých elektronických zařízení, která se skládají z malého čipu a antény. Čip je typicky schopný nést 2000 bytů nebo méně. RFID zařízení slouží ke stejnému účelu jako čárový kód nebo magnetický proužek na zadní straně kreditní karty. Poskytuje jedinečný identifikátor pro daný objekt. A stejně jako čárový kód nebo magnetický proužek, musí být také oskenovaný, abychom získali identifikační informace.[10]

RFID je metoda, která jednoznačně určuje položky pomocí rádiových vln. V minimu, RFID systém obsahuje tag, čtečku a antény, ukázka na obrázku (Obr. 11). Čtečka vyšle signál do dotazujícího se tagu prostřednictvím antény a tag reaguje se svými unikátními informacemi. RFID tagy jsou buď aktivní, nebo pasivní.[11]



Obrázek 11 Systém RFID[11]

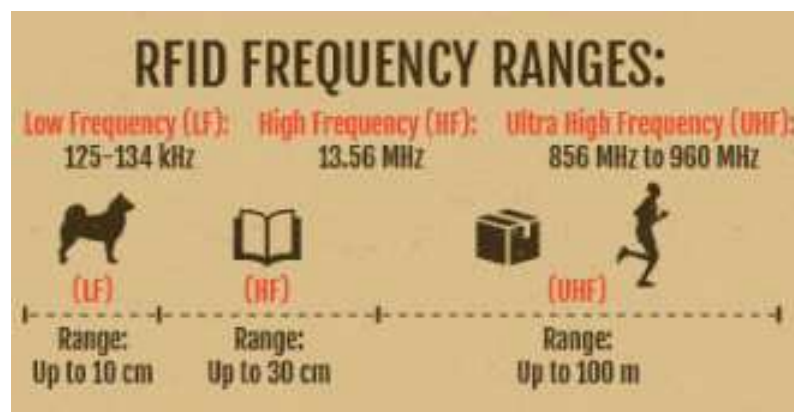
Aktivní RFID tagy obsahují svůj vlastní zdroj energie, což jim dává schopnost vysílat s čtecím dosahem až 100m. Dlouhý čtecí dosah RFID tagů je ideální pro mnoho průmyslo-

vých odvětví, kde je důležité zlepšení v oblasti logistiky. Pasivní RFID tagy nemají svůj zdroj energie. Místo toho jsou poháněny elektromagnetickou energií přenášenou z RFID čtečky. Jelikož musí být rádiové vlny dostatečně silné, aby zásobily tagy energií, mají pasivní RFID tagy čtecí dosah v rozsahu blízkého kontaktu po 25 metrů.[11]

Pasivní RFID tagy primárně pracují ve třech frekvenčních pásmech:

- Nízké frekvence (LF) 125 – 134 kHz
- Vysoké frekvence (HF) 13.56 MHz
- Ultra vysoké frekvence (UHF) 856 MHz až 960 MHz[11]

Jednotlivé frekvence a jejich dosahy jsou zobrazeny na obrázku (Obr. 12).



Obrázek 12 Frekvenční pásmo pro RFID[11]

Technologie RFID byla k dispozici více než 50 let. Jenže teprve nedávno se schopnost vyrábět tyto zařízení posunula na hranici, kdy mohly být použity jako „nevratné“ položky. Velkovýroba tak umožnila snížit cenu jednoho tagu na opravdové minimum. Dalším důvodem, proč tak dlouho trvalo než se RFID začal běžně používat, byl nedostatek standardů v průmyslu. Mezi běžné problémy s RFID patří kolize při čtení nebo kolize tagu. Kolize čtečky může nastat, pokud se signály ze dvou nebo více čteček překrývají. Tag není schopný reagovat na více dotazů současně. Systémy musí být pečlivě nastaveny tak, aby se tomuto problému vyhnuly. Kolize tagu může nastat, pokud je v malém prostoru přítomno mnoho tagů. Ale jelikož je doba čtení velmi krátká, je jednodušší pro prodejce vyvíjet systémy, které zajišťují, aby tagy reagovaly jeden po druhém.[10]

RFID tagy mají nejrůznější škálu tvarů a velikostí. Mohou být navíc vloženy do různých materiálů:

- Sledování zvířat, značky vložené pod kůži o velikosti zrnka rýže.
- Tagy mohou být ve tvaru šroubu pro identifikaci stromů nebo dřevěných předmětů.
- Tagy ve tvaru kreditních karet pro použití v přístupových aplikacích.
- Proti zlodějům mohou být připojené ke zboží v obchodech[10]

RFID zařízení se používají již léta k identifikaci psů. Dlouho se používala tetování, permanentní inkoust. Nicméně, tyty mohou časem slábnout a pak je těžká identifikace.[10]

Z bezpečnostního hlediska jsou určité obavy, které mohou s RFID zařízeními nastat. Nejmenší tagy nemají dostatek výpočetního výkonu k šifrování dat na ochranu našeho soukromí. Pokud se jedná o spotřební zboží, málokdo by se asi cítil ohrožený, že si někdo s RFID čtečkou přečetl obsah našeho nákupu. Horší je to ovšem s bezpečností u společností, které RFID zařízení používají k identifikaci nebo přístupům. Zloděj by pak mohl mít možnost veškeré informace o uložené na tagu odcizit.[10]

Near-Field Communication zařízení pracují na stejné frekvenci (13.56 MHz) jako HF RFID čtečky a tagy. Standardy a protokoly NFC jsou založené na RFID standardech uvedených v ISO/IEC 14443, FeliCa a dále části ISO/IEC 18092. Tyto standardy se zabývají využitím RFID u bezkontaktních karet. Jakožto vybroušená verze HF RFID, NFC zařízení využila krátkých čtecích rozsahů této rádiové frekvence. Jelikož musí být NFC zařízení v těsné blízkosti u sebe, obvykle ne více než několik centimetrů, stala se tato metoda velmi populární díky své bezpečné komunikaci. Komunikace peer-to-peer je funkce, která odlišuje NFC od typických RFID zařízení. NFC zařízení může fungovat i jako čtečka i jako tag. Tato jedinečná schopnost učinila NFC populární volbou pro bezkontaktní platby či sdílení dat mezi smartphony. NFC zařízení také dokáží číst pasivní NFC tagy a některá tato zařízení jsou schopná přečíst pasivní HF RFID tagy, které jsou v souladu s normou ISO 15693. Data na takovém tagu mohou mít uloženu informaci nebo příkaz pro zařízení, jako je otevření konkrétní mobilní aplikace. Na reklamách a plakátech jsou HF RFID tagy a NFC tagy k vidění stále častěji, aby předaly informace spotřebitelům.[11]

## 2 ŠÍŘENÍ ELEKTROMAGNETICKÝCH VLN

U problematiky rádiového přenosu se řeší následující vlastnosti:

- antény, jakožto prostředky k přeměně elektromagnetické vlny, jež se šíří prostorem, na energii, která se šíří po vedení, a také měnící energii elektromagnetické vlny vedené pomocí některého vhodného typu vedení na elektromagnetickou vlnu, jež je vyzařovaná do prostoru
- napájecí vedení antén od antény do vstupu přijímače a naopak od koncového stupně vysílače až do antény.
- přenosové prostředí – prostor mezi přijímací a vysílací anténou[12]

Na obrázku (Obr. 13) je zobrazen obecný přenosový radiokomunikační řetězec.



Obrázek 13 Obecný přenosový radiokomunikační řetězec[12]

Jednotlivé články tohoto přenosového řetězce patří ke komplikované problematice a je vždy otázkou, jak zvolit frekvenční pásmo rádiového přenosu a jaké jsou konkrétní systémové požadavky. Musí se rozlišovat, jestli je snaha nalézt určité prvotní fyzikální přístupy k nějakému problému, nebo jestli se bude na jednotlivé části přenosu nahlížet z hlediska popsání matematicky formulovanou funkcí přenosu. Ta první metoda je nezbytná, pokud chceme nalézt konkrétní cesty, jež vedou k novějším konstrukčním řešením. U druhého přístupu jde o klasický přístup systémového hodnocení, kdy je nezbytný převod daného problému na uzavřenou křivku matematické formulace.[12]

Co se týče anténních systémů, existuje mnoho různých požadavků. Při vysílání (např. rádio, televize) je žádoucí, aby přenášené záření mohlo být přijímáno přes obrovské vzdálenosti. Ve spojení bod-bod (např. geostacionární satelit) je žádoucí snížení přenášeného záření na malý úhel. Při aplikaci u mobilní komunikace je požadováno, aby se při komunikaci mohla měnit lokace přijímače.[21]

Šíření elektromagnetických vln je podřízeno vlastnostem daných vln a to v závislosti na jejich frekvenci a samozřejmě také na vlnové délce. Existují dvě složky, ze kterých jsou elektromagnetické vlny složeny – magnetické a elektrické. Vektory intenzity magnetického pole  $B$  a elektrického pole  $E$  jsou vzájemně kolmé a zároveň jsou kolmé ke směru šíření vln. Orientace vektorů intenzity elektrického pole k povrchu Země je udána tzv. polarizací rádiových vln. Ta může být buď horizontální (rozhlasové vysílače a TV) nebo vertikální (běžné použití je u pozemní pohyblivé služby) a je určena orientací k vysílací anténě. Orientace přijímací antény musí být taktéž přizpůsobena příslušné orientaci. Vlna lineárně polarizovaná je vlna, u které se směr vektoru  $B$ ,  $E$  nemění. Vektor intenzity elektromagnetického vlnění leží vždy v rovině, jež je kolmá na pól.[13]

### Parametry prostředí

Mezi parametry prostředí patří permitivita  $\epsilon$ , permeabilita  $\mu$  a konduktivita  $\sigma$ . Přičemž platí, že permitivita prostředí je dána vztahem

$$\epsilon = \epsilon_r \epsilon_0 \quad (1)$$

A permeabilita prostředí je dána vztahem

$$\mu = \mu_r \mu_0 \quad (2)$$

Indexy  $r$  označují relativní parametry a indexy  $0$  se vztahují k vakuu. Relativní permeabilita a relativní permitivita jsou bezrozměrné veličiny a ve vzduchu případně troposféře jsou rovny přibližně hodnotě jedna. Troposféra i vzduch se tedy chovají z elektrického hlediska stejně jako vakuum.[23]

Elektromagnetické vlny se ve volném prostředí jako je vakuum šíří rychlostí světa od svého zdroje všemi směry. Maximální rychlost těchto vln je určena tzv. rychlostí světla  $c = 299\,792\,458 \text{ ms}^{-1}$ . [13]

$$c = \lambda \cdot f \quad (3)$$

V každém prostředí je tedy rychlost šíření elektromagnetického vlnění v menší než ve vakuu. Tato rychlost je závislá na permeabilitě  $\mu_r$  prostředí a relativní permitivitě  $\epsilon_r$ . [13]

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r \cdot \mu_r}} \quad (4)$$

Zákon o odrazu a lomu nám určuje, jak se bude chovat elektromagnetická vlna při svém dopadu na překážku. Podle zákona odrazu leží odražený paprsek v rovině dopadu a úhel dopadu paprsku se rovná úhlu odrazu.[13]

$$\varphi_1 = \varphi_2 \quad (5)$$

Zákon lomu nám říká, že úhel lomu je s úhlem dopadu spojen vztahem a paprsek lomu se nachází v rovině dopadu. Veličiny  $n_1$  a  $n_2$  jsou bezrozměrné, jde o tzv. indexy lomu. Charakterizují nám prostředí, ve kterém dochází k lomu. V určitém prostředí je index lomu roven  $c/v$ , kde  $c$  je rychlost elektromagnetické vlny (světlo ve vakuu) a  $v$  jeho rychlost v prostředí. Dle Snellova zákona dostáváme vztah:[13]

$$n_1 \cdot \sin \varphi_1 = n_2 \cdot \sin \varphi_2 \quad (6)$$

Vzájemné skládání vln se nazývá interference. Dopadá-li elektromagnetická vlna na rozhraní dvou prostředí, v nichž má odlišnou rychlost šíření, dojde k odrazu a poté ke složení jednotlivých vln. Takovým způsobem vznikají minima a maxima, což jsou body, ve kterých je konečný součet fázovým posuvem daných vln. Dochází k zesilování půl vln pro dráhový rozdíl, jenž je roven sudému počtu půl vlny.[13]

$$2k \cdot \frac{\lambda}{2} \quad (7)$$

Pokud se dráhový rozdíl rovná lichému počtu půl vln, pak dochází naopak k zeslabení půl vln.[13]

Ohyb vln neboli difrakce. Pakliže dopadá vlna na překážku s otvorem, který má srovnatelné rozměry s vlnovou délkou, určitá část vlny, jež projde otvorem, se rozšíří, bude se ohýbat (difraktovat) do místa geometrického stínu. Šíření této vlny odpovídá šíření dílčích vlnoploch. Oproti lomu je rozdíl ve změně směru šíření vlnění, tak aby nedošlo k přesunu vlnění do jiného prostředí.[13]

Intenzitou elektrického pole udáváme intenzitu pole rádiových vln. Tato se vyjadřuje v jednotkách  $V \cdot m^{-1}$  nebo pomocí logaritmického vyjádření oproti hodnotě  $1 \mu V \cdot m^{-1}$  což je  $dB\mu V \cdot m^{-1}$ . Intenzitu elektromagnetického záření ovlivňuje vzdálenost od zdroje záření. V praxi je složité tuto intenzitu stanovit, jelikož jednotlivé zdroje záření mají různé odrazy

či směry. Pracujeme-li s faktem, že se jedná o zdroj bodový, který vyzařuje izotropně, pak nám vznikají kulové vlnoplochy, jež se v takovém prostoru šíří směrem od zdroje.[13]

## 2.1 Úvodní klasifikace elektromagnetických vln

Brzký výsledek Maxwellovy teorie byl predikcí a později také potvrzením existence elektromagnetických vln. Nyní víme, že téměř každý v čase proměnný zdroj produkuje vlny a tyto vlny mají určité důležité vlastnosti. Elektromagnetická vlna je šířící se elektromagnetické pole, které putuje konečnou rychlostí jako rušení prostřednictvím média.[20]

Šíření elektromagnetických vln ovlivňuje mnoho faktorů, které lze rozdělit na dvě skupiny. První skupinou je vlastní prostředí šíření a druhou skupinou je prostorové uspořádání celé situace. Nejčastěji se jedná o šíření nad povrchem země s proměnlivou vodivostí pokrytí, s různou drsností i profilem terénu. Atmosféra Země je časově proměnlivé prostředí s komplexní a různou permitivitou. Atmosférické vlivy (mlha, déšť, sníh, vodní pára aj.) mohou způsobovat útlumy a rozptyl elektromagnetických vln. Závisí ovšem na dané meteorologické situaci.[13]

Obecně není šíření elektromagnetické vlny záležitostí pouze jediného přímočarého paprsku, jež znázorňuje směr dalšího postupu elektromagnetické vlny, ale velmi často se jedná o součet mnoha takovýchto vln, které vznikly při různých odrazech.[13]

Podle základních mechanismů šíření lze jednotlivé typy vln rozlišit z hlediska šíření:

### 2.1.1 Přímá vlna

Elektromagnetická vlna je přímá, pokud se přímočaře šíří izotropním homogenním prostředím. Jelikož je zemská atmosféra zvrstvená, způsobuje tak zakřivení tohoto paprsku (paprsky postupují po opticky nejkratších drahách, v co nejkratším čase, a je to dáno jednotlivými součiny délky dráhy a příslušnými relativními indexy lomu na nich). Jedná se tedy o idealizaci, a o přímé vlně lze hovořit pouze u velmi krátkých vzdáleností spojů, či u družicových spojů, kdy lze vliv atmosféry zanedbat. Typická je přímá vlna pro spojení na opticky přímou viditelnost a pro velmi vysoké frekvence.[13]

### 2.1.2 Odražená a rozptýlená vlna

S přihlédnutím na délku spoje, typ použité antény i na jeho profil, je potřeba při šíření z vyšších míst nad povrchem Země nezbytné uvažovat nejen paprsek přímý, ale i paprsek



odražený od povrchu Země, nebo od jiných struktur na něm. Je několik variant, které mohou nastat. Pokud se jedná o tzv. radioreléový spoj, na kterém se většinou skládá paprsek přímý s jedním paprskem odraženým, tak je to rozdíl oproti spoji pohyblivému (komunikační systémy), u kterého se signál přijímá v zástavbě a kde je nezbytné uvažovat větší počet odrazů. Při šíření může dojít i k ohybu a difrakci (prostorový rozptyl) elektromagnetické vlny o překážky, které lze klasifikovat podle jednotlivých modelů (např. hrana budovy). U mnoha případů je nutné pracovat s myšlenkou, že existuje dostatečná úroveň vlny odražené. Pak je potřeba výslednou intenzitu pole vyjádřit pomocí vektorového součtu obou složek (přímá i odražená vlna, nebo i více odražených vln). V takovémto případě je nezbytně nutné uvažovat nejen velikost složky odražené, ale také fázový posuv odrazu, nebo rozdíl délek odražené a přímé vlny atd. vzhledem k potřebě komplexního sčítání. To má pak za následek interferenční charakter výsledné vlny. V případech, kdy lze zanedbat vliv fázového rozdílu přímé a odražené dráhy, se sčítají jen moduly intenzit polí těchto dvou složek. V případě, že máme dostatečné výšky antén, je potřeba existenci odražené vlny uvažovat, za předpokladu, že  $h/\lambda$  je mnohem větší než  $1/2$ . [13]

### 2.1.3 Povrchová vlna

Vlny, které se šíří v těsné blízkosti země, se šíří na hranici dvou elektricky odlišných prostředí (nevodivý vzduch a poměrně vodivá zem). Takovýto způsob šíření je znám jako šíření přízemní (povrchovou) vlnou. Při šíření v blízkosti země lze situaci rozlišit dle relativní elektrické výšky přijímací a vysílací antény. Tato relativní výška je udána poměrem  $h/\lambda$ . Jestliže je poměr  $h/\lambda$  menší než  $1/2$ , tak dochází při šíření k pomalému zakřivení paprsku spoje (vlna kopíruje zemský povrch a část své energie ztratí vlivem ztrát vzniklých v zemském polovodivém prostředí). Jak moc je tlumena tato vlna se odvíjí hlavně od hodnot parametrů povrchu Země podél trasy. Vliv atmosféry je v takovém případě zanedbatelný. Povrchová vlna je vybudena hlavně vertikálně polarizovanými anténami, které jsou umístěné bezprostředně při zemi (u horizontální polarizace by měla být vzhledem k zrcadlení s vodivým povrchem Země složka vlny, která se šíří podél, nulová. Pro povrchovou vlnu je typické spojení na poměrně nízkých frekvencích v řádu několika MHz (kritériem je nejen frekvence ale i vzdálenost spoje). [13]

### 2.1.4 Prostorová vlna

Šíření prostorovou vlnou je označováno současná existence přímé a odražené vlny, kdy je výsledná intenzita pole obecně komplexním součtem. Jedná se o obvyklý typ šíření pro přijímač a vysílač s přímou viditelností díky vyvýšeným anténám a to pro frekvenční pásmo nad 30 MHz.[13]

## 2.2 Vlivy působící na bezdrátový přenos dat

Ve srovnání se sítěmi LAN, kde se ke komunikaci používají elektrické signály, se u bezdrátových sítí používá rádiové frekvence. Díky tomu je možné spojit dvě zařízení, aniž bychom použili dráty. S postupem času se vývoj posouvá stále dopředu a neustále je kladen důraz na myšlenku „pošli co nejvíc dat co nejrychleji a co možná nejdál“.[8]

Elektromagnetické spektrum se rozkládá v rozsahu 3Hz až 300GHz. Pro tuto práci jsou ovšem důležité hlavně frekvence, které umožňují přenos dat. Konkrétně tedy frekvence 868MHz, 2,4GHz.[8]

V předchozích kapitolách byly rozebrány základní vlastnosti a pojmy elektromagnetických vln. V následující kapitole budou vysvětleny některá úskalí, která provázejí bezdrátový přenos dat.[8]

### 2.2.1 Absorpce

Absorpce je jev, který negativně ovlivňuje bezdrátový přenos. Docílí toho snížením amplitudy vlny. Podobně jako je tomu u mikrovln, vzniká pohlcením vlny teplo. Mezi tyto pohlcovače patří např. zdi, lidé, koberce aj. Podobný případ je i u zvukových vln. Představme si komunikaci přes zeď, slyšet někoho srozumitelně v takové situaci je obtížnější než na volném prostranství.[8]

### 2.2.2 Odrazy

Obdobně jako absorpce také odrazy mohou mít negativní vliv na provoz bezdrátových sítí. Za odraz je považováno, jestliže signál narazí na nějakou překážku a poté se od ní odrazí a pokračuje dále v jiném směru. Odrazy vln lze srovnat s odrazy světla od objektů. Závislost odrazu je především frekvenci vlny. Odraz při různých frekvencích je tedy ovlivněn jinak. Existují totiž předměty, které dokáží jednu frekvenci odrazit a druhou odrazit nedokáží.[8]

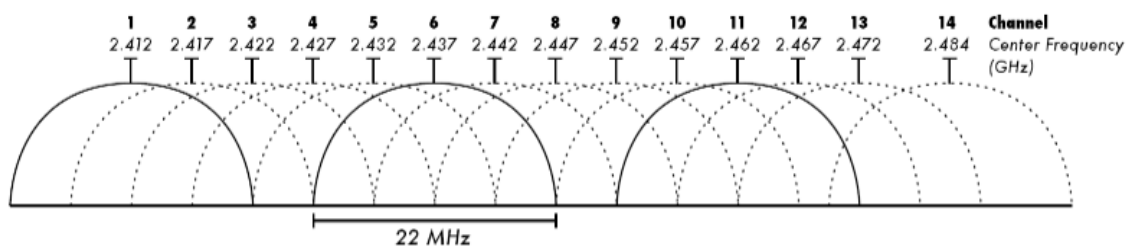
S odrazy se pojí také rozptyl. Rozptyl je jev, který může zásadně zhoršovat kvalitu signálu. Jedná se o odraz, kdy signál putuje dál více směry. Ukázkovým příkladem je snížení signálu za prudkého deště.[8]

### 2.2.3 Free Path Loss

Jestliže přístupový bod vysílá informace hned k několika zařízením, pak není zaručeno, že tyto zařízení přijmou vždy stejný signál. Dosah a vzdálenost od přístupového bodu má vliv na sílu přijatého signálu zařízení. Pokud umístíme zařízení moc daleko od přístupového bodu, nelze očekávat, že bude síť fungovat tak jak má. Dojde buď k velkému zhoršení, nebo úplnému výpadku signálu. Free Path Loss upozorňuje na to, že vlnu nemusí nic zastavovat, ona jednoduše zmizí.[8]

### 2.2.4 Sousední kanály

Část frekvenčního pásma, ve kterém se odehrává komunikace, se nazývá komunikační kanál. Jelikož pracují sousední kanály na blízké frekvenci, zčásti se překrývají. To má za následek rušení signálu neboli tzv. „mezikanálovou interferenci“. V Evropě je v pásmu 2,4 GHz k dispozici 13 kanálů, šířka kanálu je 22 MHz a odstup středů je 5 MHz. Při nastavování zařízení pracujícího v pásmu 2,4 GHz, je tedy potřeba oskenovat okolní vysílání a vybrat správný kanál s nejvhodnějším rozsahem, který je využíván buď málo, nebo vůbec, stejně jako jeho sousedi. Rozhodnout může při jeho výběru zobrazení pásem kanálů na obrázku (Obr. 14).[22]



Obrázek 14 – Kanály pásma 2,4 GHz[22]

## 2.3 Techniky modulace

V jedné z předchozích kapitol bylo uvedeno, že pro bezdrátový přenos je nezbytné užití modulačních technik. K přenosovému signálu se modulací přidávají data, díky čemuž lze

posílat za užití rádiového signálu bezdrátově zakódovaná data. Modulovanou vlnu tvoří tři prvky: frekvence, amplituda a fáze. Nejčastěji se u bezdrátových přenosů setkáváme se třemi modulačními technikami. Jsou to OFDM, DSSS a MIMO. V následující kapitole se jednotlivé modulační techniky rozeberou detailněji.[8]

### 2.3.1 DSSS

V tabulce (Tab. 4) jsou zobrazeny standardy IEEE 802.11 a k nim jejich modulační techniky. Technika DSSS pracuje na principu, že se rozloží signál napříč spektrem, které využívá. V závislosti na přenosovém kanálu, se tedy signál v daném kanálu rozloží napříč 22MHz.[8]

Pro zakódování dat využívá DSSS čipovou sekvenci. Tato vlastnost je nezbytná, jelikož by mohlo dojít ke ztrátě při přenosech dat z důvodu interference.[8]

U nižších přenosových rychlostí v řádu 1Mb/s až 2Mb/s se používá pro DSSS tzv. Barkerův kód. U rychlostí v rozsahu 5,5Mb/s až 11Mb/s je ovšem potřeba použít už kódování CCK.[8]

### 2.3.2 OFDM

Ortogonální multiplex s frekvenčním dělením neboli OFDM nepracuje s principem rozložení spektra. Stejně jako předchozí technologie, i OFDM se využívá u bezdrátových sítí. Díky této modulaci je možný přenos s vyšší rychlostí a minimalizuje se vliv interference, který by mohl poškodit přenášená data. Máme několik kanálů o určitých frekvenčních rozsazích s šířkou 20 MHz. Jsou k dispozici také pomocné nosné vlny, které však umožňují jen nízkou přenosovou rychlost. Toho se ovšem dá využít při odeslání všech vln paralelně, najednou se tak dosáhne vysoké rychlosti. Mezi standardy, které OFDM používají, patří 802.11a a 802.11g.[16]

### 2.3.3 MIMO

U novějšího standardu 802.11, kterým je 802.11n se používá již modulační technika MIMO. K užívání této technologie je nezbytně nutné, aby zařízení, které ji má používat, bylo osazeno minimálně dvěma anténami sloužícími k příjmu signálu a ne jednou anténou určenou k vysílání signálu. Pomocí technologie MIMO lze dosáhnout rychlosti pohybující se okolo 450 Mb/s s užitím právě tří antén. Tato rychlost je umožněna skrz simultánní multiplexing dat v jednom kanálu. Je-li přístupový bod schopen pracovat s technologií MIMO,

je mu umožněna také komunikace se zařízeními, jež MIMO nepodporují. Dokonce je u takovýchto zařízení schopen zvednout výkon až okolo 30%. [8]

## 2.4 Šíření vln v prostředí

Elektromagnetické vlny s rozsahem kmitočtu od 9 kHz až do 3000 GHz, hovoříme o nich často jako o RF signálech. Mnoho faktorů ovlivňuje šíření RF signálů. Lze je rozdělit do dvou skupin. První je samotné prostředí šíření vlny a druhou je uspořádání objektů mezi přijímačem a vysílačem. Důležitým pojmem je taky jednotka decibel, o které se bude v této práci ještě hovořit.

### 2.4.1 Decibel

Jedná se o jednotku, která se používá k vyjádření velikosti útlumu. Jde o logaritmické vyjádření podílu mezi dvěma hodnotami stejné veličiny. Je bezrozměrná a určuje nám kolikrát je nějaká hodnota větší než druhá. Pro tuto práci je velmi důležitý poměr výkonů, při kterém platí

$$G_{dB} = 10 \cdot \log\left(\frac{P_2}{P_1}\right) \dots [dB; W; W] \quad (8)$$

Platí-li, že výkon  $P_2 >$  výkon  $P_1$ , hovoříme o zisku na soustavě přenosu. Pokud to ale platí obráceně, jde o ztrátu (útlum). [13]

Decibely nám slouží také k zjištění útlumu vůči referenční veličině  $P_1$ . V praktické části se pracuje s hodnotou 1mW, jde o vztaznou hodnotu, která se označuje jako dBm. Platí vztah 1mW=0dBm. [13]

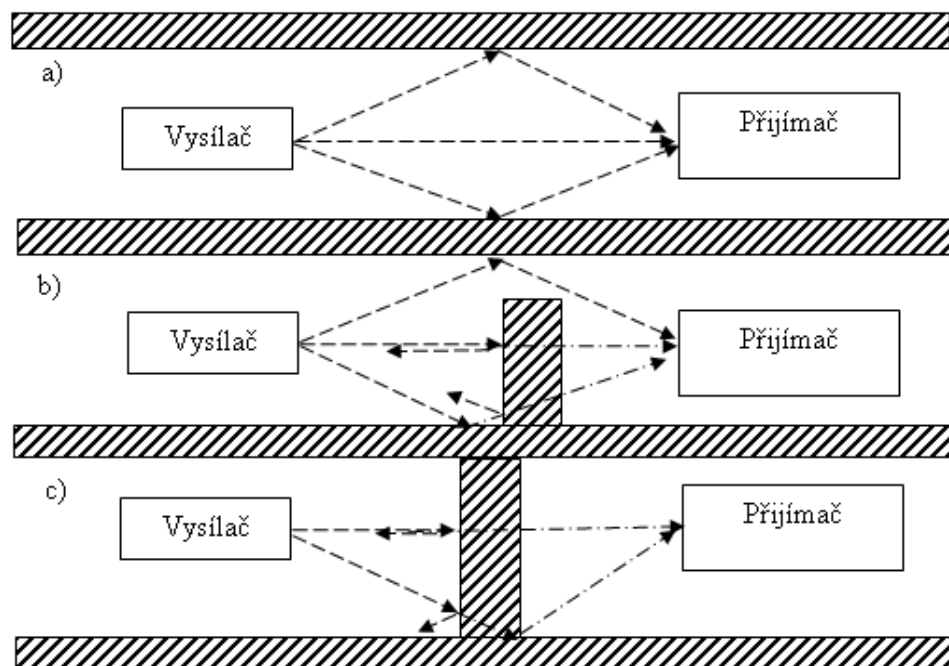
### 2.4.2 Šíření vln v budově

V budově může být šíření RF signálů ovlivněno rušením od jiných systémů, které pracují na stejné frekvenci. Dalším problémem při šíření v budově je vhodnost a vliv prostorového uspořádání mezi přijímačem a vysílačem. [14]

Rušení od jiných systémů nastává převážně v nelicencovaném pásmu ISM, ve kterém pracují technologie na stejném frekvenčním pásmu. Služby radiokomunikace musí v těchto pásmech odolávat škodlivému rušení. Proto musíme škodlivé rušení omezit při používání zařízení v ISM pásmu na minimum. Pokud dochází k rušení i navzdory tomu, je nutné, aby odstranil tento problém uživatel, který začal pracovat v tomto pásmu později. [14]

Jak jsem již zmínil, je nutné se také zabývat problematikou prostorového uspořádání. Toto uspořádání nám nejlépe přibližuje obrázek (Obr. 15). Je potřeba rozlišit, zdali se nachází mezi přijímačem a vysílačem nějaká překážka:

- Varianta a) znamená, že se dochází mezi vysílačem a přijímačem k přímé viditelnosti a dochází tak k útlumům vln způsobeným průchodem vlnění prostorem a také odrazem od stropní konstrukce.
- V druhém případě b) je již mezi vysílačem a přijímačem překážka, která ovlivňuje přenos informací. Nedochozí tak k přímé viditelnosti a vlny se šíří odrazy, ale také prochází skrze danou překážku. Pro některé frekvence a výkony tento typ překážky ještě nepředstavuje příliš velké komplikace.
- Ve třetí variantě c) je přenos nutné provést přes překážku, která se pak chová jako stínění. V dnešní době je potřeba počítat s celou řadou nejrůznějších překážek, které se liší ve své struktuře či typu materiálu. Je tedy potřeba počítat s nižší úrovní signálu, který projde přes překážku. Pokud útlum dosahuje takové hodnoty, že už není dostatečně silná úroveň signálu u vstupu přijímače, dochází ke snížení rychlosti přenosu. Dojde-li k příliš velkému poklesu úrovně signálu, neprojde už žádný signál a komunikace nenastane.[13]



Obrázek 15 Vliv překážky na přenos[13]

Obecně ale může dojít k poklesu úrovně signálu a vzrůstu útlumu i variant (a, b), tedy i při přímé viditelnosti. Je tedy potřeba dbát na dostatečnou vzdálenost vysílače od přijímače. Maximální možný útlum, tedy hodnota, kterou je schopen přijímač ještě akceptovat se nazývá citlivost přijímače.[13]

### 2.4.3 Průchod vln přes překážky

Jak jsem se již zmínil v minulé kapitole, průchod vln přes překážku ovlivňuje nejvíce typ materiálu, jeho druh a také frekvence vlnění. Jedním z nejhůře průchodných materiálů je železobeton, tedy z něj vyrobené zdivo a obecně také zdivo s větším výskytem železa, které pak působí jako stínicí prvek.[14]

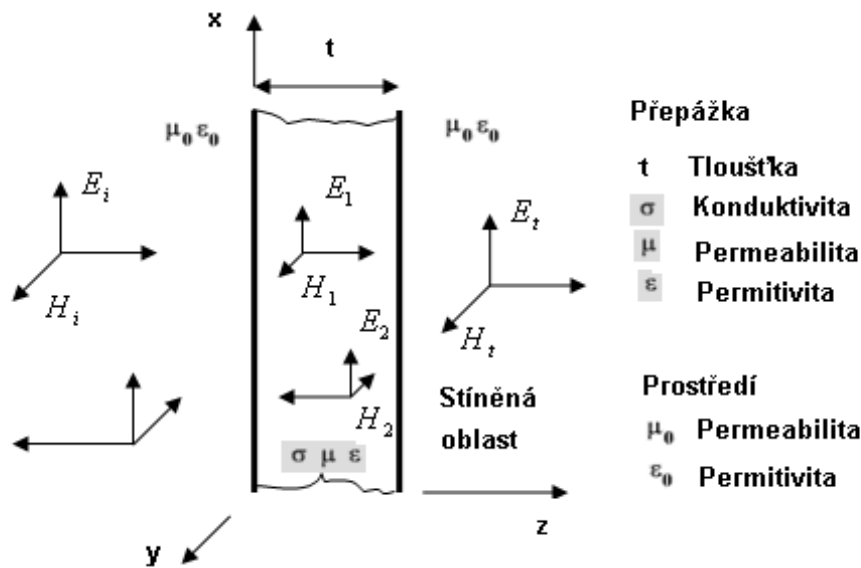
Elektromagnetické stínění a jeho vliv můžeme charakterizovat pomocí koeficientu stínění  $K_s$ , ten je daný vztahem

$$K_s = \frac{E_t}{E_i} = \frac{H_t}{H_i} \quad (9)$$

kde  $E_t$  udává intenzitu elektrického pole v určitém bodu stíněného prostoru a  $E_i$  udává intenzitu elektrického pole, která dopadá na překážku ( $H_i$  a  $H_t$  udávají intenzitu magnetického pole) (Obr. 18). Pokud se jedná o normální použití, používá se místo koeficientu stínění tzv. efektivnost stínění, ta je udávána vztahem

$$SE = 20 \cdot \log \frac{1}{|K_s|} = 20 \cdot \log \left| \frac{E_i}{E_t} \right|, \quad SE = 20 \cdot \log \left| \frac{H_i}{H_t} \right| \dots [dB] \quad (10)$$

Obě tyto definice pro efektivnost stínění jsou při dopadu homogenní vlny stejné za předpokladu, že je na obou těchto stranách konstantní prostředí. Toto však neplatí pro stínění v blízké zóně, kde se používá první definice.[14]



Obrázek 16 Rovinná elektromagnetická vlna kolmo dopadající na kovovou stínící přepážku[13]

Nyní pro desku na obrázku (Obr. 16) určíme efektivnost stínění při kolmém dopadu rovinné vlny (osa  $z$ ). Nejhorším případem pro stínění je právě kolmý dopad vln. Pro daný příklad se také uvažuje, že je plocha přepážky značná, a tak se nemusí brát v potaz děje na jejích okrajích. Pro stanovení efektivnosti stínění je však potřeba nejprve stanovit jednotlivé složky vlny, jež pronikla do stíněné oblasti, při známé velikosti dopadající vlny  $E_i$ ,  $H_i$ , i všech dalších parametrů stínící přepážky a prostředí, které ji obklopuje. Za pomoci Maxwellových rovnic se získá vztah pro koeficient stínění, ze kterého pak po úpravách dostáváme výraz pro efektivnost stínění

$$SE = 20 \cdot \log \left| \frac{(Z_0 + Z_M)^2}{4Z_0 Z_M} \cdot e^{\gamma t} \left[ 1 - \left( \frac{Z_0 - Z_M}{Z_0 + Z_M} \right)^2 \cdot e^{-2\gamma t} \right] \right|, \quad (11)$$

kde  $Z_0$  vyjadřuje charakteristickou impedanci u volného prostředí a  $Z_M$  charakteristickou impedanci daného prostředí kovové přepážky. Pro jednotlivé impedance pak platí

$$Z_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = \sqrt{\frac{4\pi \cdot 10^{-7}}{8,86 \cdot 10^{-12}}} = 377\Omega \quad (12)$$

$$a \quad Z_M = \sqrt{\frac{j\omega\mu}{\sigma}}, \quad (13)$$



### Účinnost elektromagnetického stínění

Celkovou účinnost elektromagnetického stínění skládáme ze součtu útlumů, které jsou způsobeny absorpcí, odrazem a mnohonásobnými odrazy. Platí tedy

$$SE = A + R + M \dots [dB] \quad (14)$$

- Útlum absorpcí  $A$  – vzniká průchodem vlny skrze stínící překážku o tloušťce  $t$  tak, že pohltí část její energie, jež se pak změní v teplo. U kovové přepážky je velikost útlumu rovna

$$A = 20 \cdot \log |e^{\gamma \cdot t}| = 20 \cdot \log e^{\alpha t} = 20 \cdot \log e^{\frac{t}{\delta}} \dots [dB], \quad (15)$$

kde  $\delta$  udává hloubku vniknutí elektromagnetického pole do daného kovového materiálu a je udána vztahem

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega \mu \sigma}} \quad (16)$$

Po úpravě (2.10) je absorpční útlum roven [14]

$$A = 8,69 \cdot \frac{t}{\delta} \dots [dB] \quad (17)$$

- Útlum odrazem  $R$  – vzniká při odrazech energie vlny na rozhraní mezi kovovou stěnou přepážky a vzduchem a také na výstupu mezi těmito prostředími. Vztah pro velikost útlumu odrazem je dán ze vztahu

$$R = 20 \cdot \log \left| \frac{(Z_0 + Z_M)^2}{4Z_0 Z_M} \right| = R_1 + R_2 \dots [dB], \quad (18)$$

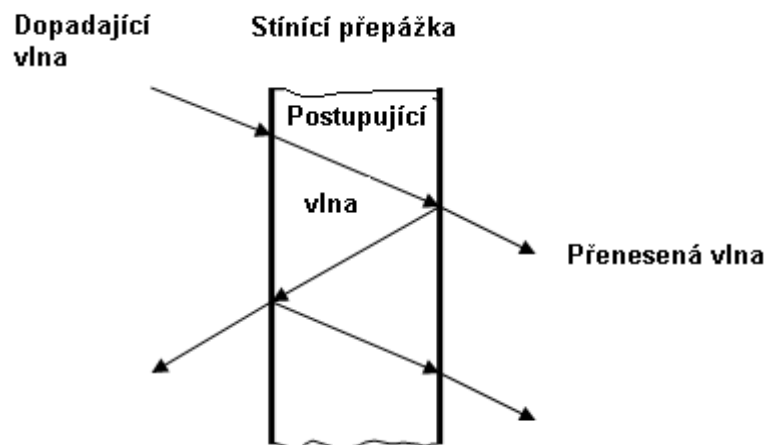
kde  $R_1$  značí velikost útlumu odrazem mezi kovem a prostředím a  $R_2$  značí velikost útlumu mezi daným kovem a prostředím (výstup). [14]

Pokud je vyrobena stínící přepážka z dobrého vodiče, je roven odraz útlumem

$$R = 20 \cdot \log \left| \frac{Z_0}{4Z_M} \right| \dots [dB] \quad (19)$$

Útlum je největší na rozhraní prostředí – kov, kdežto na rozhraní kov – prostředí má již vlna jen velmi malou část energie. Útlum odrazem je velmi závislý na vodivosti přepážky, ale nezávisí přitom na její tloušťce.[14]

- Útlum mnohonásobnými odrazy  $M$  – vznik těchto odrazů je vidět na obrázku (Obr. 17).



Obrázek 17 Vznik mnohonásobných odrazů[13]

Pro tento útlum lze odvodit vzorec podobně jako pro předchozí útlumy

$$M = 20 \cdot \log \left| 1 - \left( \frac{Z_0 - Z_M}{Z_0 + Z_M} \right)^2 \cdot e^{-2\gamma t} \right| = 20 \cdot \log \left| 1 - \left( \frac{Z_0 - Z_M}{Z_0 + Z_M} \right)^2 \cdot e^{-\frac{2t}{\delta}} \cdot e^{-\frac{2t}{\delta}} \right| \dots [dB] \quad (20)$$

Pokud platí  $Z_0 \gg Z_M$  a také  $t \gg \delta$  pak platí, že mnohonásobné odrazy  $M$  jsou rovny nule. Platí-li, že  $t \ll \delta$  pak útlum  $M$  nabývá záporných hodnot a snižuje tedy účinnost stínění přepážky.[14]

### Celková účinnost stínění

Je dána především útlumem odrazem a také absorpčním útlumem stínící přepážky. Po dosazení vztahů (10) a (11) do vztahu (17) platí pro útlum odrazem

$$R = 20 \cdot \log \left( \frac{1}{4} \sqrt{\frac{\sigma}{\omega \mu_r \epsilon_0}} \right) \dots [dB] \quad (21)$$

Z daného vztahu vyplývá, že pro nízké frekvence a značně vodivé kovy je útlum odrazem vyšší. Nemagnetické materiály (s permeabilitou kolem 1) mají vyšší útlum ve srovnání s elektromagnetickými materiály s permeabilitou výrazně vyšší než 1.[14]

Absorpční útlum je pak vyjádřen vztahem

$$A = 8,69 \cdot \frac{t}{\delta} = 0.0069 \cdot t \cdot \sqrt{\omega \mu_r \sigma} \dots [\text{dB}] \quad (22)$$

Ze vztahu vyplývá, že tento absorpční útlum roste s druhou mocninou frekvence a větších hodnot nabývá pro materiály, které mají vyšší permeabilitu.[14]

Z předchozích vztahů nám vychází, že výraznou částí účinku stínění je útlum odrazem, a to pro nízké frekvence jak magnetických, tak i nemagnetických kovových materiálů. U vyšších frekvencí naopak narůstá absorpční útlum, který tak převyšuje značně útlum odrazem.[14]

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

### 3 ÚVOD K MĚŘENÍ PRO VYBRANÉ MATERIÁLY A FREKVENCE

V praktické části diplomové práce jsem provedl měření pomocí tří měřicích zařízení. Každé z těchto zařízení pracuje na jiném principu za pomoci jiného standardu. Následující kapitoly se budou věnovat úvodním informacím o těchto zařízeních a také postupy, jak měření probíhala. Budou zde také zobrazeny schémata zapojení, základní vlastnosti a nastavení hardwaru i softwaru při jednotlivých měřeních pro vybrané materiály.

První část měření proběhla v rodinném domu v místní části Zlína – Jaroslavice. Druhá na sídlišti Jižní Svahy – ulice Budovatelská. Jako třetí lokace byla zvolena budova U5 Univerzity Tomáše Bati. V místnostech, vyjma třetí lokace, byly vždy vypnuty zařízení, které pracují na frekvenci 2,4GHz, pro snížení rušení. Vysílač i přijímač jsem vždy umístil do výšky 1m. Vzdálenosti a další informace jsou pak rozepsány v protokolech v další kapitole.

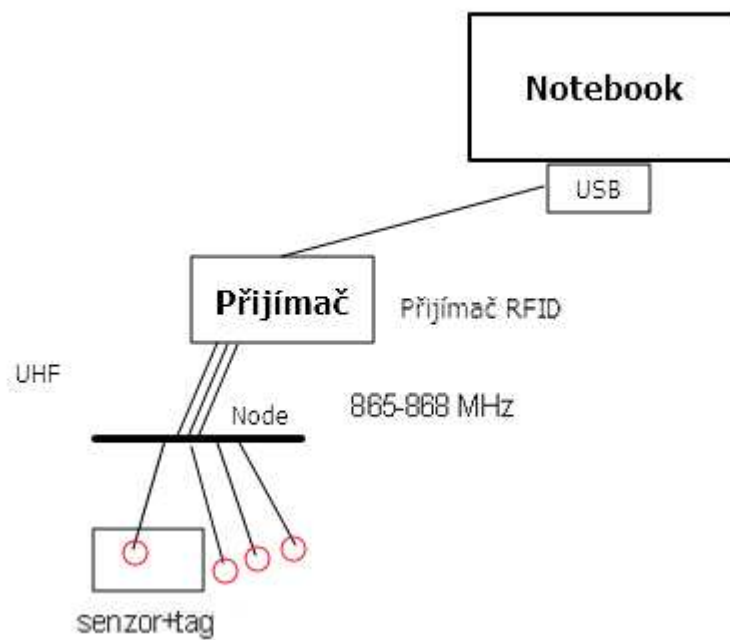
#### 3.1 RFID UHF 868MHz

Prvním z měřicích přístrojů je snímač VLIT AP A1 ENCO od firmy Cominfo, a.s. a k němu patřící RFID osobní tagy. Tyto přístroje jsou vidět na obrázku (Obr. 20). Zapojení a měřicí sestava je pak na obrázku (Obr. 19).

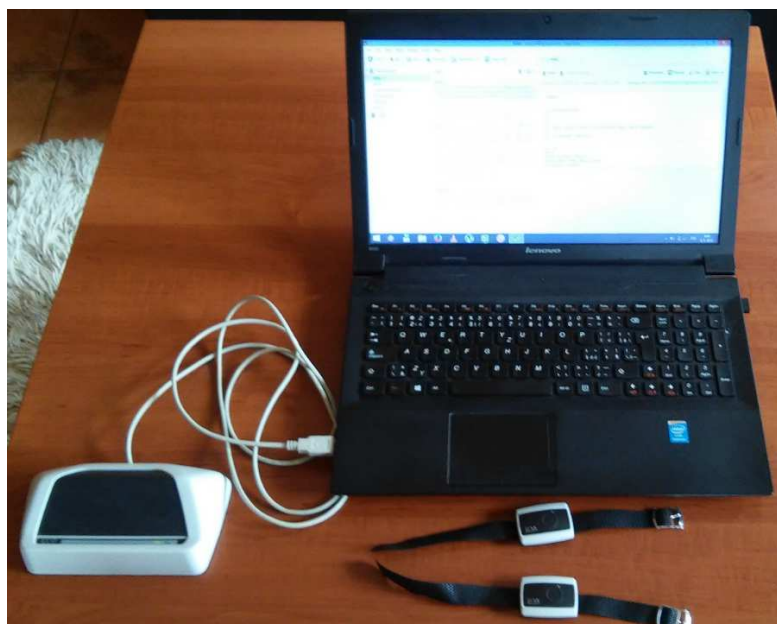
Snímací zařízení VLIT AP je přístroj určený k bezkontaktní komunikaci s osobními tagy a čipovými kartami, které pracují na kmitočtu 868MHz. Existují verze s různými komunikačními rozhraními, přičemž jsem měl k dispozici zařízení s USB konektorem, pro přímé propojení do počítače. Komunikace probíhá s tagy a tato data jsou pak dále přenášena na server pro další zpracovávání. K dispozici jsou také různá provedení pro exteriér, interiér nebo průmyslové prostředí.[25]

K sestavě patří i VLIT tag jakožto základní identifikační prvek v systému. Využívá se jako vybavení pro sledování osob, předmětů nebo zařízení. V závislosti na aplikaci lze vybírat mezi provedením formou přívěsku, náramku či zapouzdření pro průmyslové užití.[25]

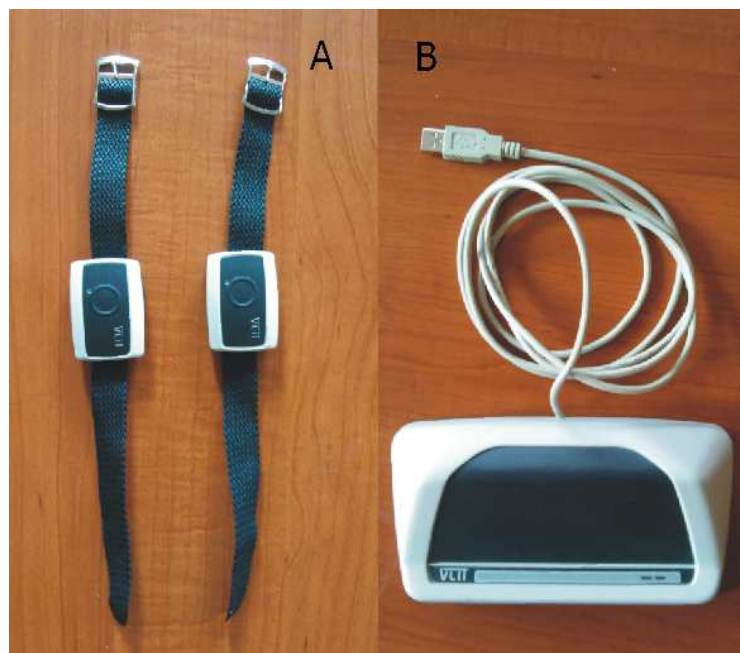
Instalaci jsem provedl za pomoci specialistů firmy Cominfo, a.s., kteří mi poskytli ovladače k přístroji i daný software pro možnost měření. Po instalaci je již samotná práce s přístroji i softwarem velmi snadná a intuitivní. VLIT AP se zapojí do notebooku a spustí se VLIT tag a ihned dochází ke spojení a je možné sledovat vybrané vlastnosti, které umožňuje software.



Obrázek 18 Schéma měření pomocí RFID



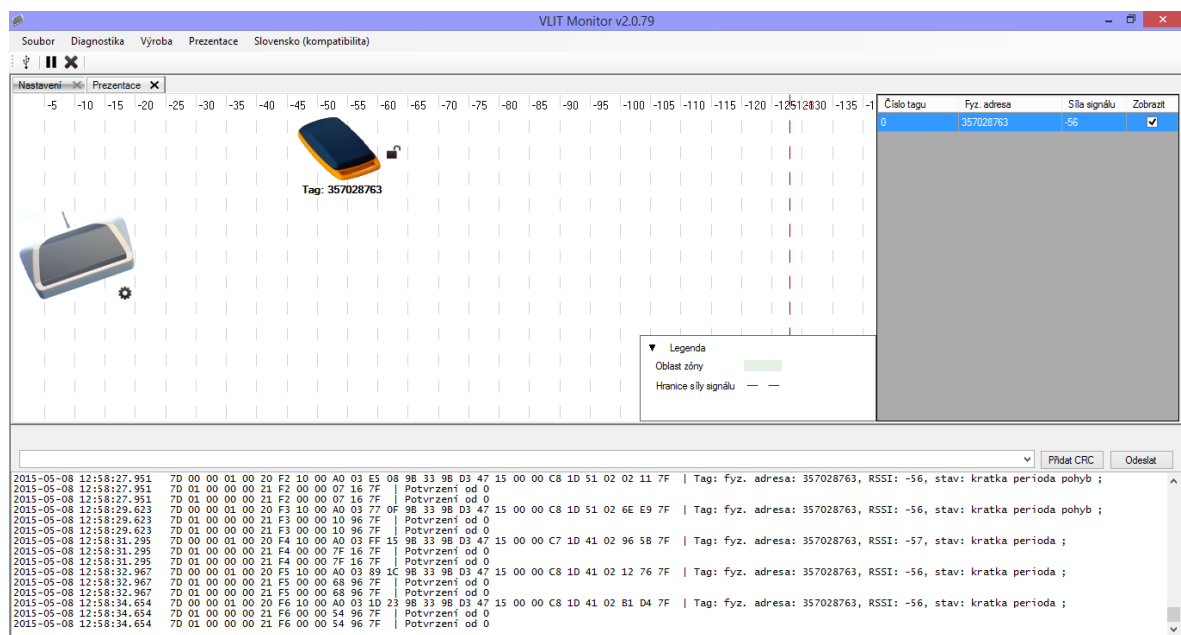
Obrázek 19 Měřící sestava RFID a RFID tagy



Obrázek 20 VLIT tagy (A) a přijímač VLIT AP (B)

Software dodaný firmou Cominfo, a.s. VLIT Monitor v2.0.79 mi umožnil provést měření síly signálu pro VLIT tagy. Na obrázku (Obr. 21) je ukázka vizualizace a zpracování výstupů. Software má omezené funkce pro testovací účely, i tak lze poměrně pěkně sledovat mnoho údajů.

V první řadě lze upravovat nastavení jak přijímače (AP), tak vysílače (tag). Lze mapovat dostupné vysílače v okolí a zjistit jejich fyzické adresy, sílu signálu, informace o paketech a celou řadu dalších informací. Je zde také možnost sledování kvality linky, kdy sledujeme procentuální chybovost paketů či pakety se špatným CRC vůči celkovému počtu paketů přijatých. V neposlední řadě je zde také již zmiňovaná vizualizace síly signálu v grafickém provedení, kdy vidíme i informace o daném tagu a zda je právě aktivní či ne.



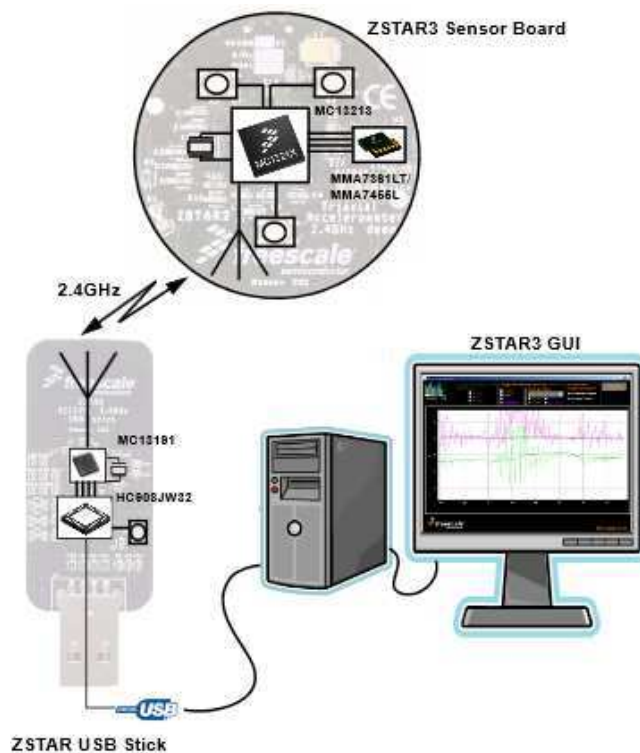
Obrázek 21 Ukázka softwaru VLIT Monitor pro mapování síly signálu VLIT tagu

### 3.2 802.15.4 ZigBee 2,4GHz

Druhý měřicí přístroj, pomocí kterého jsem měřil kvalitu přenosu dat, byl vývojový modul ZSTAR3. Tento přístroj od firmy Freescale pracuje za využití bezdrátového protokolu ZigBee na frekvenci 2,4GHz. Modul snímá data skrze analogový nebo digitální senzor a systém může měřit akceleraci ve třech osách. Bezdrátový čip, který ZSTAR3 využívá, je typ MC1321x a lze si vybírat mezi dvěma typy senzorů. Pro analogový senzor je MMA7361LT a pro digitální akcelerometr je MMA7455L. MC13213 má výstupní programovatelný výkon od -27 dBm do +3 dBm. Blokové schéma zapojení modulu ZSTAR3 je vidět na obrázku (Obr. 22). Je zde vidět přijímač napojený přes USB do počítače, a k němu přidružený vysílač.[24]

Detailnější informace o celém systému či podrobnosti k jednotlivým komponentům sestavy lze nalézt v dokumentaci ZSTAR3. Ta je k nalezení a na stránkách společnosti Freescale.

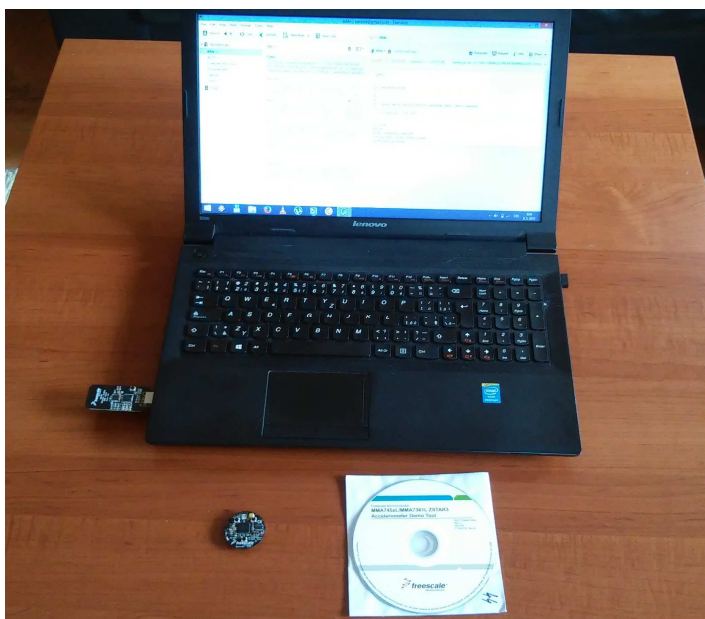




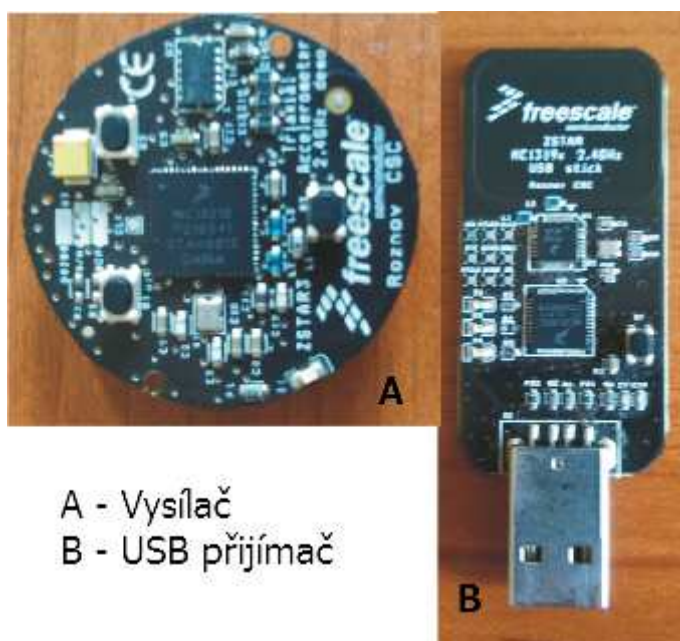
Obrázek 22 Schéma zapojení ZSTAR3[24]

K měření pomocí tohoto vývojového modulu bylo potřeba počítač. V mém případě byl využit notebook. Software pro manipulaci a ovládání ZSTAR3 podporuje pouze 32bitové operační systémy. Musel jsem tedy kvůli absenci tohoto typu systému pracovat ve virtuálním prostředí pomocí programu VMWARE, na kterém jsem nainstaloval Windows XP 32 bit. V první řadě bylo potřeba nainstalovat ovladače zařízení a přiložené grafické uživatelské rozhraní – ZSTAR3 GUI (Obr. 25)

Zapojení celé sestavy ZSTAR3 je velmi jednoduché. Spočívá k připojení přijímače do notebooku pomocí USB konektoru. Do vysílače se vloží baterie a spustí. Posléze se spustí i přijímač, který vyhledá dostupné vysílače, a společně se spárují.



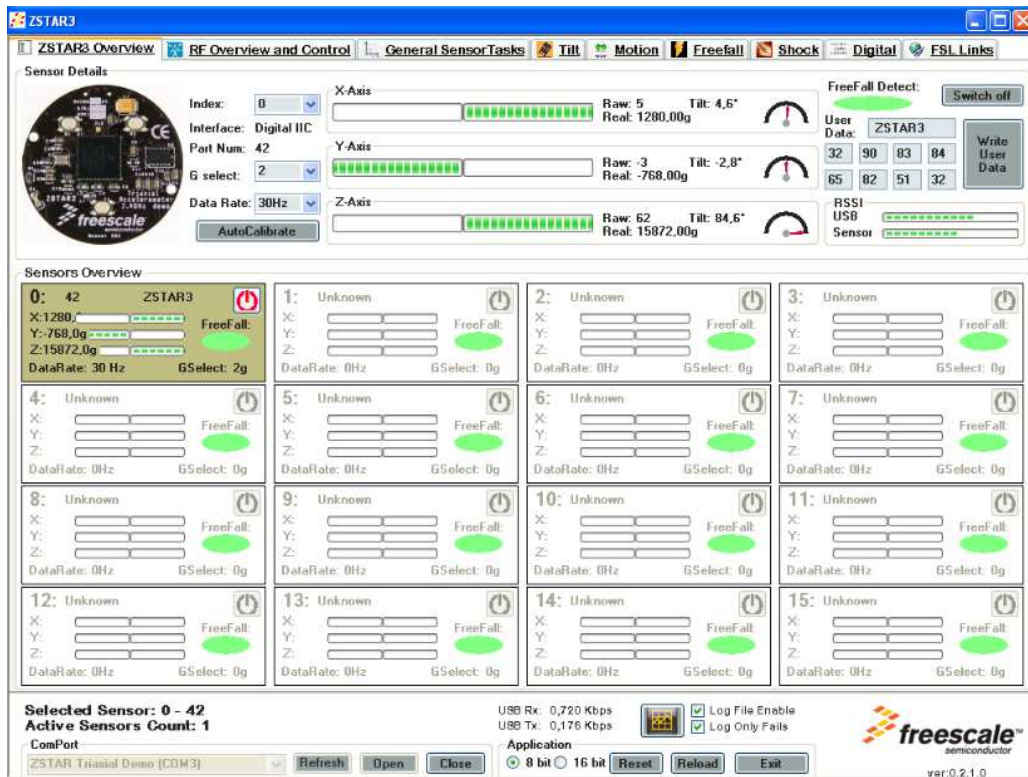
Obrázek 23 Zapojení ZSTAR3 k notebooku



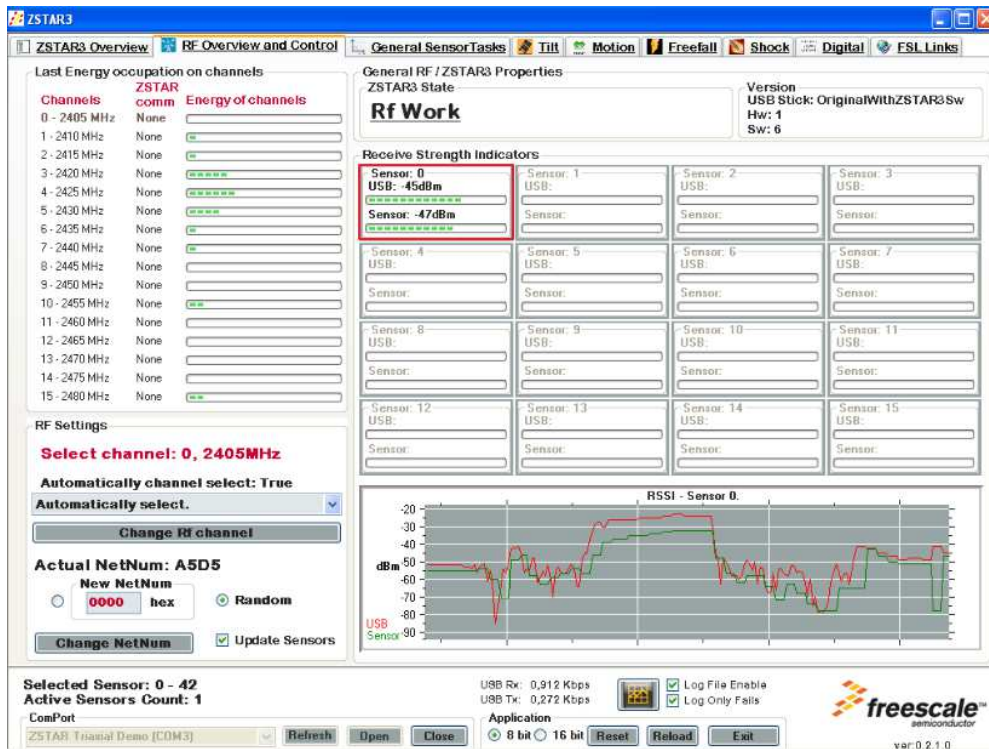
Obrázek 24 Detail vysílače a přijímače ZSTAR3

Pomocí konektoru USB jsem připojil přijímač k notebooku. Vložil jsem do vysílače baterii a tím jsem spustil okamžitě monitorování. Obslužný software umožňuje nepřeberné množství funkcí a způsoby vyhodnocení. Za zmínku stojí například funkce FreeFall, kdy je detekován jakýkoliv pohyb senzoru směrem dolů. Funkce Anti-Theft naopak detekuje jakýkoliv pohyb senzoru, tedy všemi směry. Software dokáže zobrazit hodnoty intenzity přijí-

maného a vysílaného signálu a tyto výsledky následně exportovat do \*.csv či \*.xls souborů. Samozřejmostí je výběr kanálu ve frekvenčním pásmu 2,4GHz.



Obrázek 25 Úvodní obrazovka softwaru ZSTAR3



Obrázek 26 Měření RSSI pomocí softwaru ZSTAR3

V této práci jsem si vystačil se základním monitorováním intenzity přijímaného signálu z vysílače RSSI (Obr. 26). Zjišťoval jsem sílu signálu přijímanou na USB přijímači.

V uživatelském rozhraní jsou hodnoty zobrazeny v jednotkách decibel (dBm). Užitečná je i možnost sledování změny síly signálu pomocí grafu.

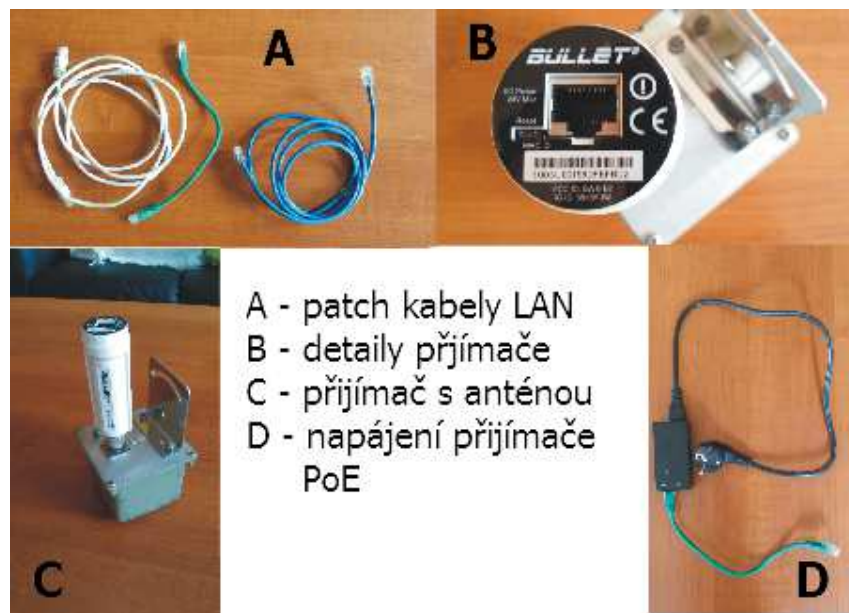
### 3.3 802.11g WLAN 2,4GHz

Třetí měřicí přístroj, který jsem v této práci využil, je Bullet2 od firmy UBIQUITY Networks. Jde o bezdrátovou jednotku určenou k montáži přímo na anténu. Využívá se pro bezdrátové sítě pracující v pásmu 2,4GHz a podporuje standardy 802.11b/g o rychlosti až 54 Mbps.[26]

Tato bezdrátová jednotka je poháněna procesorem Atheros MIPS 4KC s frekvencí 180MHz, jež má k pro systém a data k dispozici 4MB NAND flash paměti a ještě 16MB RAM. Tento hardware je poháněn výkonným operačním systémem AirOS a je možné nastavit režimy AP, WDS nebo klient. Výstupní výkon je až 20 dBm a používá se zabezpečení WEP, WPA, WPA2. Napájení je provedeno přes PoE.[26]



Obrázek 27 Měřicí sestava pro IEEE 802.11



Obrázek 28 Detaily zapojení pro měření IEEE 802.11

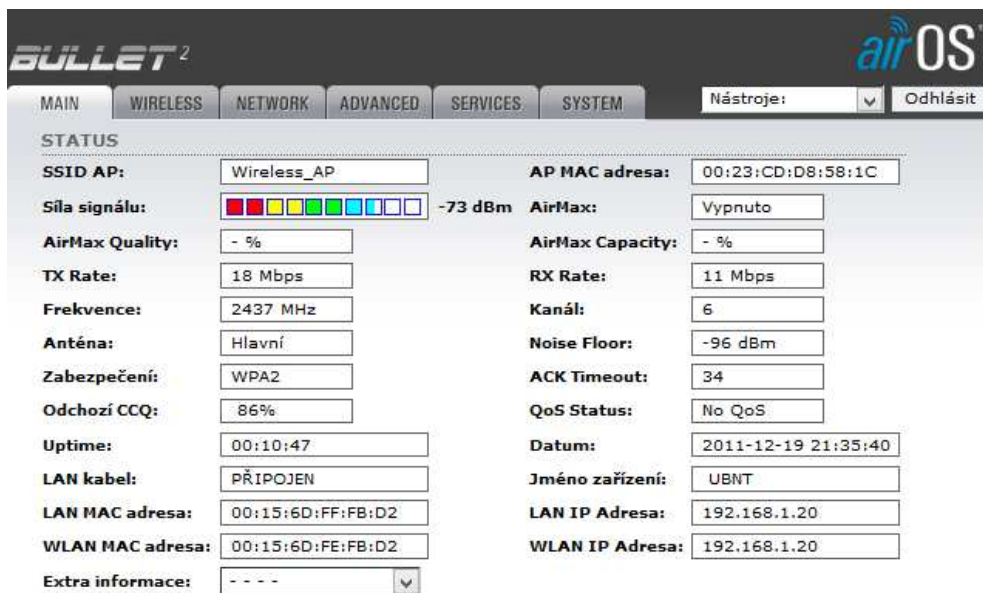
Po zapojení všech součástí jsem přešel k instalaci a zprovoznění této měřící soustavy. Musel jsem změnit nastavení sítě Ethernet, kdy jsem nastavil Protokol IP verze 4 (TCP/IPv4) na statické přidělení adres.

IP adresa: 192.168.1.1

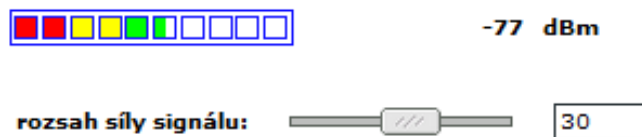
Maska podsítě: 255.255.255.0

Poté jsem do webového prohlížeče zadal adresu zařízení 192.168.1.20. Po přihlášení do nastavení zařízení jsem mohl měnit veškeré nastavení. Důležité bylo zvolit, aby se zařízení proměnilo v přijímač a nejednalo se o AP.

Na úvodní straně (Obr. 29) jsem viděl obecné informace o nastavení a různé statistiky využití sítě. V záložce Wireless jsem pak nastavil, aby přijímač skenoval daný router, který byl součástí měření. V dalších záložkách jsem již nic nenastavoval a tak jsem mohl začít používat položku Nástroje. V Nástrojích se nachází funkce vhodné pro měření síly signálu, ale i další. Pro měření jsem využil funkci Antenna alignment tool (Obr. 30), která mi ukazuje sílu signálu.



Obrázek 29 Úvodní obrazovka nastavení zařízení Bullet



Obrázek 30 Nástroj Antenna alignment tool

Mezi další funkce patří Skenování sítí (Obr. 31), kdy se zobrazí okolní bezdrátové sítě, které přijímač našel.

Skenované kanály: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

MAC adresa	ESSID	Šifrování	Signál, dBm	Noise, dBm	Frekvence, GHz	Kanál
00:19:E0:8F:CA:D9	i2net_jaroslavice_2	WEP	-92	-96	2.427	4
00:23:CD:D8:58:1C	Wireless_AP	WPA2	-70	-94	2.437	6
BC:EE:7B:94:38:BC	JARNET	WPA2	-94	-96	2.422	3

Skenovat      Zavřít okno

Obrázek 31 Nástroj Skenování sítě

Nachází se zde i funkce Ping, která umožňuje obyčejné ověření funkčnosti spojení.

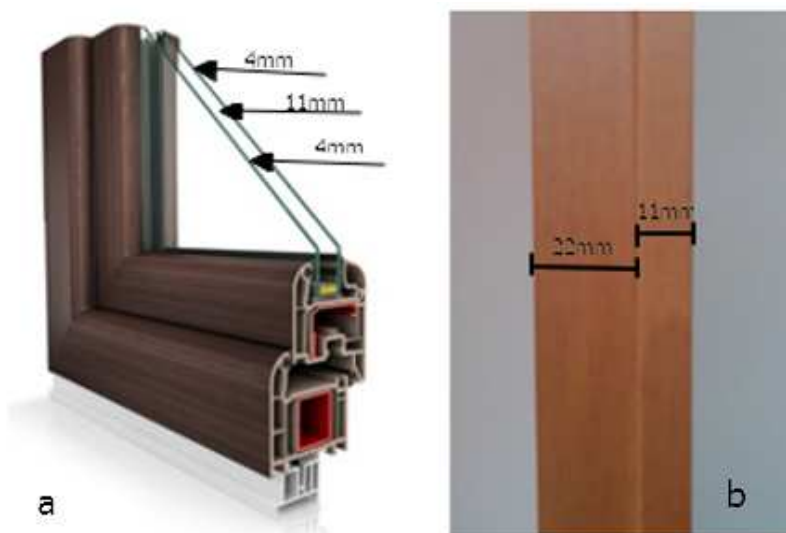
#### 4 MĚŘENÍ A ZPRACOVÁNÍ PROTOKOLŮ Z NAMĚŘENÝCH DAT

V této kapitole diplomové práce jsem se zabýval měřením vlivu překážky na sílu přijatého signálu. Využil jsem k tomu vývojový modul ZSTAR3 a měřicí sestavu VLIT.

Předem jsem si určil typy překážek, kterých se měření týká. Vždy jsem první provedl měření pro danou vzdálenost bez překážky (referenční hodnota) a poté již s jednotlivými přístroji přes překážku. Sledoval jsem tedy vliv materiálu (a jeho permitivity) a jeho tloušťky na útlum intenzity signálu.

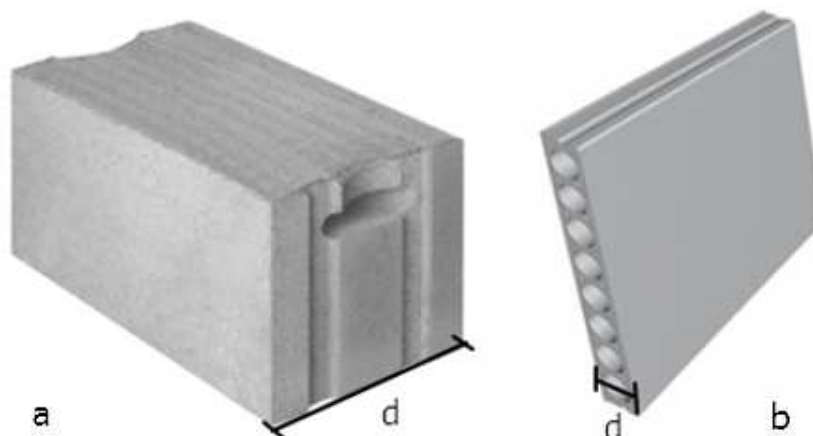
Mezi měřené stínící prvky patřily:

- Skleněné (a) a dřevěné (b) dveře o daných tloušťkách



Obrázek 32 Řez skleněnou dvevní tabulí a dřevěnými dveřmi

- Betonové (a) a panelové železobetonové zdivo (b) o daných tloušťkách



Obrázek 33 Ukázka betonového (a) panelového zdiva (b)

Varianta a<sub>1</sub>: d = 75mm

Varianta a<sub>2</sub>: d = 200mm

Varianta b<sub>1</sub>: d = 75mm

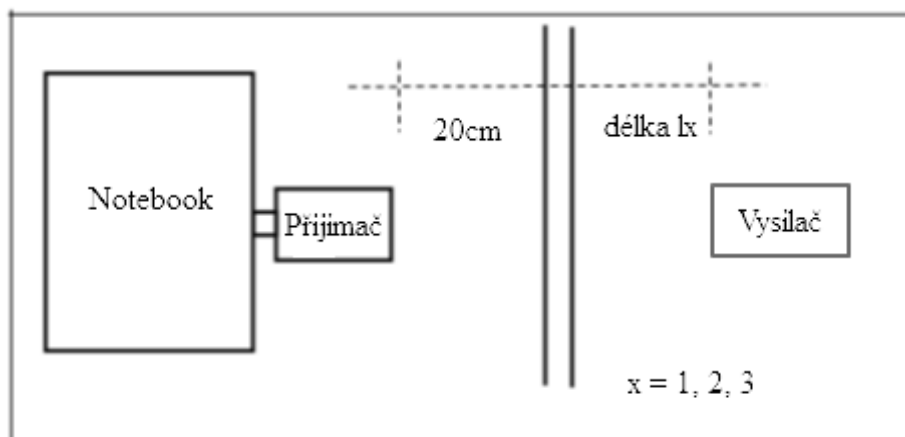
Varianta b<sub>2</sub>: d = 150mm

Jednotlivá měření měla totožný postup, jenž se skládal z:

- Umístění přijímače na statické místo
- Umístění vysílače na statické místo v předem zvolené vzdálenosti
- Navázání spojení mezi vysílačem a přijímačem
- Zjištění referenční hodnoty pro danou vzdálenost
- Přesun měřicí sestavy a nastavení překážky do stejné vzdálenosti jako pro určení referenční hodnoty.
- Zjištění hodnoty pro danou vzdálenost
- Změna vzdálenosti l a opakování předchozích bodů

Schéma měření je uvedeno na obrázku (Obr. 34). U jednotlivých měření se lišil vždy:

- Použitý přístroj k měření
- Stínící překážka – různé materiály a tloušťky
- Vzdálenost vysílače od stínící překážky (vzdálenost přijímače od stínící překážky byla vždy konstantní)



Obrázek 34 Rozmístění přístrojů při měření útlumů přes překážky

Jednotlivé délky mají následující parametry:  $l_1=0,2\text{m}$ ,  $l_2=0,4\text{m}$ ,  $l_3=1\text{m}$ .



Měření útlumu signálu vlivem průchodu přes stínící překážky je velmi důležité pro další kapitoly, kdy se mapuje intenzita signálu uvnitř budovy. Díky tomuto měření je tak možné lépe pochopit výsledné mapy útlumů, které se nacházejí v poslední kapitole.

#### 4.1 Měření útlumu pomocí zařízení ZSTAR3

Útlum přes překážky definované na začátku kapitoly 4 jsem provedl jako první pomocí vývojového modulu ZSTAR3. Měřil jsem pro jedno natočení antény. Výsledné hodnoty jsou v tabulkách (Tab. 5), (Tab. 6) a (Tab. 7).

Tabulka 5 Naměřené hodnoty pro  $l_1$  – ZSTAR3

ZSTAR3	$\gamma_{ref}$ - referenční hodnota	$x - l_1$ [m]	$\gamma^*$ - naměřená hodnota [dB]
skleněné dveře	-46	0,2	-70
dřevěné dveře	-39	0,2	-41
beton $a_1$	-44	0,2	-51
beton $a_2$	-44	0,2	-62
panel $b_1$	-42	0,2	-43
panel $b_2$	-39	0,2	-57

Tabulka 6 Naměřené hodnoty pro  $l_2$  – ZSTAR3

ZSTAR3	$\gamma_{ref}$ - referenční hodnota	$x - l_2$ [m]	$\gamma^*$ - naměřená hodnota [dB]
skleněné dveře	-50	0,4	-71
dřevěné dveře	-50	0,4	-52
beton $a_1$	-50	0,4	-61
beton $a_2$	-49	0,4	-66
panel $b_1$	-44	0,4	-52
panel $b_2$	-41	0,4	-60

Tabulka 7 Naměřené hodnoty pro  $l_3$  – ZSTAR3

ZSTAR3	$\gamma_{ref}$ - referenční hodnota	$x - l_3$ [m]	$\gamma^*$ - naměřená hodnota [dB]
skleněné dveře	-57	1	-75
dřevěné dveře	-51	1	-52
beton $a_1$	-55	1	-64
beton $a_2$	-54	1	-72
panel $b_1$	-49	1	-55
panel $b_2$	-46	1	-63

Z tabulek naměřených hodnot jsou patrné útlumy jednotlivých materiálů. Výsledky jsou blíže diskutované v další kapitole.

#### 4.2 Měření útlumu pomocí zařízení VLIT RFID

K dalšímu měření útlumu přes překážky jsem využil měřicí sestavy tvořené VLIT AP a VLIT tagy.

Tabulka 8 Naměřené hodnoty pro  $l_1$  – VLIT AP

VLIT	$\gamma_{ref}$ - referenční hodnota	$x - l_1$ [m]	$\gamma^*$ - naměřená hodnota [dB]
skleněné dveře	-39	0,2	-54
dřevěné dveře	-43	0,2	-49
beton $a_1$	-43	0,2	-49
beton $a_2$	-44	0,2	-51
panel $b_1$	-27	0,2	-36
panel $b_2$	-27	0,2	-52

Tabulka 9 Naměřené hodnoty pro  $l_2$  – VLIT AP

VLIT	$\gamma_{ref}$ - referenční hodnota	$x - l_2$ [m]	$\gamma^*$ - naměřená hodnota [dB]
skleněné dveře	-43	0,4	-57
dřevěné dveře	-44	0,4	-52
beton $a_1$	-42	0,4	-50
beton $a_2$	-46	0,4	-54
panel $b_1$	-35	0,4	-42
panel $b_2$	-38	0,4	-57

Tabulka 10 Naměřené hodnoty pro  $l_3$  – VLIT AP

VLIT	$\gamma_{ref}$ - referenční hodnota	$x - l_3$ [m]	$\gamma^*$ - naměřená hodnota [dB]
skleněné dveře	-47	1	-60
dřevěné dveře	-45	1	-49
beton $a_1$	-49	1	-55
beton $a_2$	-48	1	-53
panel $b_1$	-40	1	-48
panel $b_2$	-40	1	-61

Z tabulek naměřených hodnot jsou patrné útlumy jednotlivých materiálů. Výsledky jsou blíže diskutované v další kapitole.

## 5 MATEMATICKÉ MODELY ABSORPCE A VÝSLEDKY MĚŘENÍ

Vzorec pro výpočet útlumu  $y$  přes překážku je dán vztahem:

$$y = y^* - y_{ref} \quad (23)$$

kde  $y^*$  značí naměřenou hodnotu v dB a  $y_{ref}$  značí naměřenou referenční hodnotu bez překážky.

Ze vztahu (23) jsem vypočítal pro tabulky z předchozí kapitoly hodnoty útlumu pro jednotlivé materiály, frekvence a vzdálenosti. S těmito útlumy jsem dále pracoval při regresní analýze, kdy proti sobě stojí nezávislá proměnná v úloze příčiny a závislá proměnná v úloze následků. Využil jsem rovnici jednoduchého lineárního regresního modelu:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots, \quad (24)$$

kde  $y$  je závislá hodnota útlumu,  $x$  je nezávislá hodnota permitivity a  $b$  je parametr modelu, který může nabývat libovolných hodnot.. Z této rovnice jsem sestavil grafy regrese a zobrazil tak závislost hodnoty útlumu na permitivitě materiálu. Hodnoty, z nichž jsem vycházel, jsou v tabulce (Tab. 11) a tabulce (Tab. 12).

Tabulka 11 Výsledné hodnoty pro VLIT

Materiál	l	$\gamma$	$\epsilon$
skleněné dveře	0,2	-15	5
	0,4	-14	
	1	-13	
dřevěné dveře	0,2	-6	2
	0,4	-8	
	1	-4	
beton a <sub>1</sub>	0,2	-6	7
	0,4	-8	
	1	-6	
beton a <sub>2</sub>	0,2	-7	7
	0,4	-8	
	1	-5	
panel b <sub>1</sub>	0,2	-9	15
	0,4	-7	
	1	-8	
panel b <sub>2</sub>	0,2	-25	15
	0,4	-19	
	1	-21	

V těchto tabulkách jsou vidět naměřené hodnoty útlumů  $\gamma$  k odpovídajícím vzdálenostem  $l$  a také orientační hodnota permitivity materiálu  $\varepsilon$ . Permitivita materiálu se mění v závislosti na vlhkosti materiálu a v případě panelů také na množství železa v něm obsaženém. Obtížné bylo také určit permitivitu skleněných dveří, které mají ve vnitřní straně skla vrstvu pokovení. Skleněné dveře tak vykazovaly poměrně velký útlum signálu a výsledně se pohyboval útlum na úrovni železobetonových panelů.

Tabulka 12 Výsledné hodnoty pro ZSTAR3

Materiál	$l$	$\gamma$	$\varepsilon$
skleněné dveře	0,2	-24	5
	0,4	-21	
	1	-18	
dřevěné dveře	0,2	-2	2
	0,4	-2	
	1	-1	
beton $a_1$	0,2	-7	7
	0,4	-11	
	1	-9	
beton $a_2$	0,2	-18	7
	0,4	-17	
	1	-18	
panel $b_1$	0,2	-7	15
	0,4	-8	
	1	-6	
panel $b_2$	0,2	-18	15
	0,4	-19	
	1	-17	

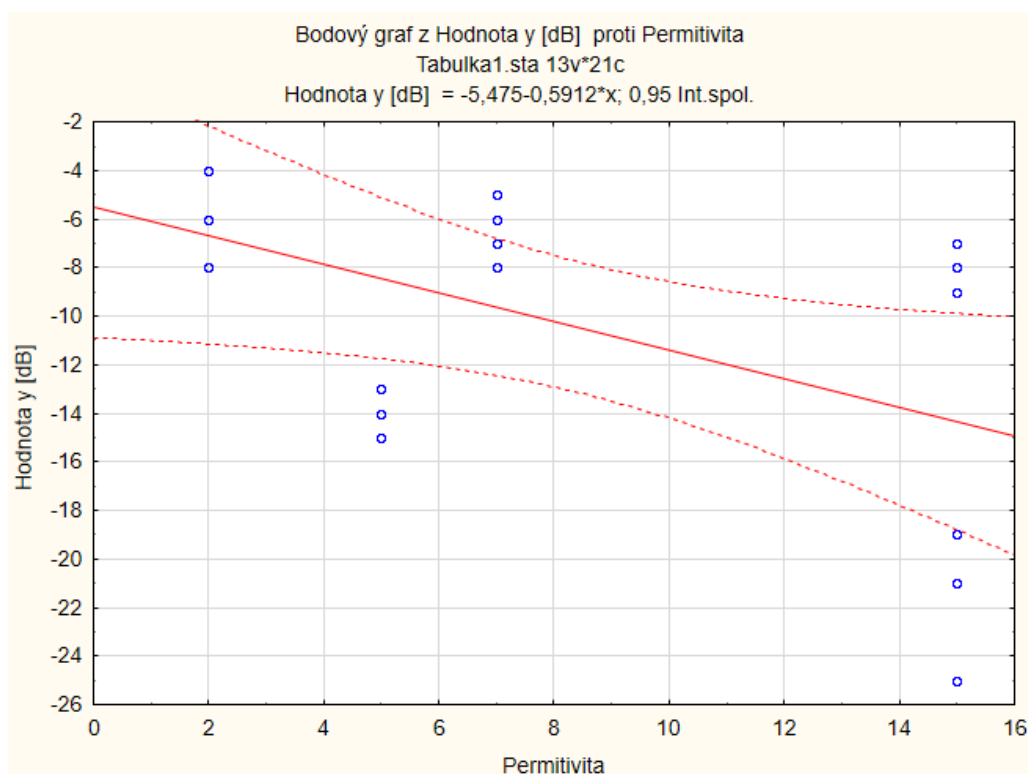
Z výsledků vidíme, že pokud dojde ke změně vzdálenosti, jak při zjištění referenční hodnoty bez překážky, tak při stejné změně s překážkou, nemá to příliš velký vliv a výsledné hodnoty jsou až na výjimky u obou přístrojů poměrně stabilní.

U měření pomocí ZSTAR3 dosahovaly nejmenšího útlumu při měření dřevěné dveře, které mají také nejmenší hodnotu permitivity. Na podobné úrovni, co se útlumu týče, jsou pak tenké verze betonových i panelových zdí  $a_1$  a  $b_1$ . Největší útlum naopak vykazovaly beton  $a_2$  a panel  $b_2$ , což z hlediska struktury těchto materiálů není nijak překvapivé. Největší út-

lum ovšem způsobovaly skleněné dveře s vrstvou pokovení. Tyto se tedy jeví jako poměrně nepříjemná překážka z hlediska útlumu signálu.

U přístroje VLIT, který využívá RFID, byly naměřeny velmi malé hodnoty útlumu přes dřevěné dveře, beton  $a_1$ , beton  $a_2$ , panel  $b_1$ . Větší útlumy však nastaly taktéž při měření přes skleněné dveře a největšího útlumu bylo naměřeno přes panel  $b_2$ .

Na obrázku (Obr. 35) a na obrázku (Obr. 36) jsou vidět závislosti útlumu materiálu na jeho permitivitě v rámci regresní analýzy. Pomocí softwaru Statistica jsem naměřené hodnoty vložil do bodového grafu regrese s 95% pravděpodobností. Výsledkem jsou dva grafy pro každý přístroj, se kterým jsem měřil.



Obrázek 35 Graf regresní analýzy – závislost útlumu na permitivitě RFID

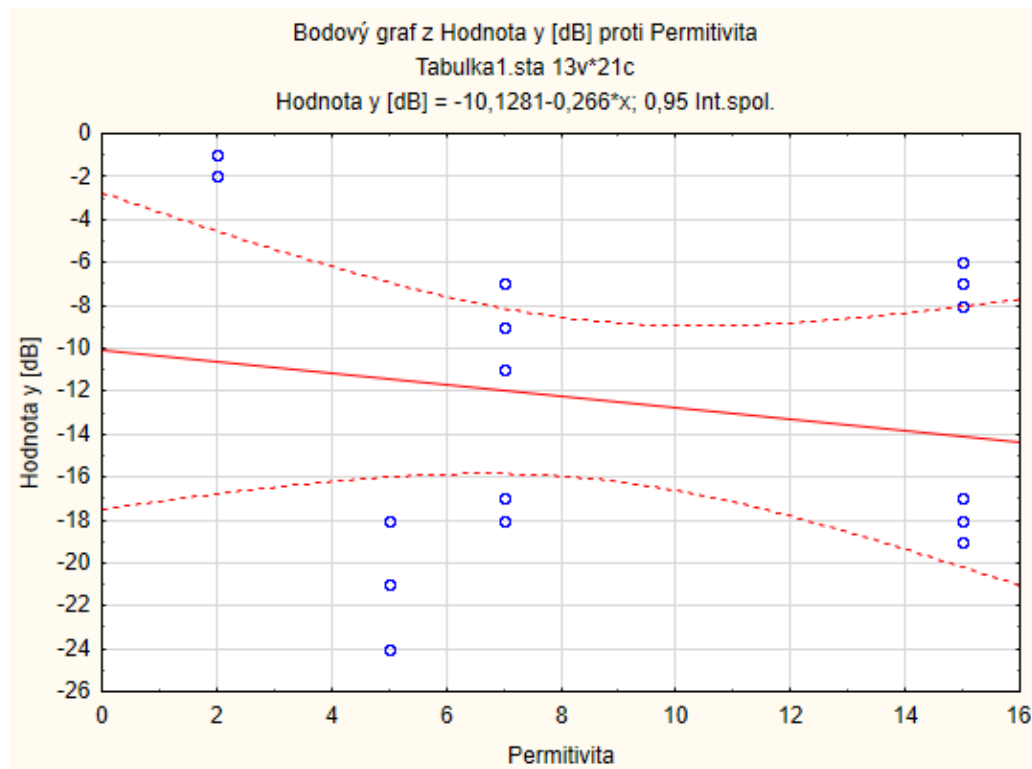
Hodnota útlumu  $y$  je pro měření pomocí VLIT dána rovnicí:

$$y = -5,475 - 0,5912 * x, \quad (25)$$

kde  $y$  je závislá proměnná hodnoty útlumu a  $x$  je hodnota permitivity v daném bodě.

Jednotlivé body v grafu jsou vypočteny ze vztahu (25), kdy se za  $x$  dosadí permitivita materiálu a výsledkem je hodnota útlumu  $y$ .

Je tedy patrné, že s rostoucí hodnotou permitivity materiálu roste často i jeho stínění, tedy roste i hodnota útlumu. Není to ovšem pravidlem. Jedná se tak o nižší stupeň závislosti.



Obrázek 36 Graf regresní analýzy – závislost útlumu na permitivitě ZSTAR3

Hodnota útlumu  $y$  je pro měření pomocí ZSTAR3 dána rovnicí:

$$y = -10,1281 - 0,266 * x, \quad (26)$$

kde  $y$  je závislá proměnná hodnoty útlumu a  $x$  je hodnota permitivity v daném bodě.

U ZSTAR3 je zvýšení útlumu s rostoucí permitivitou nižší, než jaký byl u VLIT, kde byly hodnoty útlumu o něco větší.

## 6 MAPOVÁNÍ INTENZITY SIGNÁLU

V této kapitole jsem provedl mapování intenzity signálu v rodinném domě a také na Univerzitě Tomáše Bati. K měření jsem využil Wi-Fi signál ze směrovačů situovaných v daných místech a RFID sestavu zapůjčenou od firmy Cominfo a.s..

### 6.1 Rodinný dům

První část mapování intenzity signálu proběhla v rodinném domě v Jaroslavicích u Zlína.

#### 6.1.1 802.11g - program Ekahau HeatMapper

V domě se nachází Wi-Fi router TP-LINK pracující s protokolem 802.11g na frekvenci 2,4GHz. Mapoval jsem intenzitu signálu při jeho umístění v podkroví, kde se stabilně nachází, abych zjistil jeho dostupnost v rámci celého domu. Program Ekahau HeatMapper je v omezené verzi dostupný zdarma a umožňuje graficky zpracovat sílu signálu procházením jednotlivých částí, které chceme zmapovat. V této kapitole jde o zobrazení demonstrační mapy pomocí tohoto softwaru. Při práci s tímto programem není potřeba sepisovat měřené hodnoty. Program vše načte, uloží a vyhodnotí sám. Jde pouze o orientační vyhodnocení, které ovšem v reálné situaci mapování naprosto postačuje, pokud si někdo potřebuje rozvrhnout umístění směrovačů v domácí nebo i firemní síti. K dispozici je tento software na adrese <http://www.ekahau.com/wifidesign/ekahau-heatmapper>.

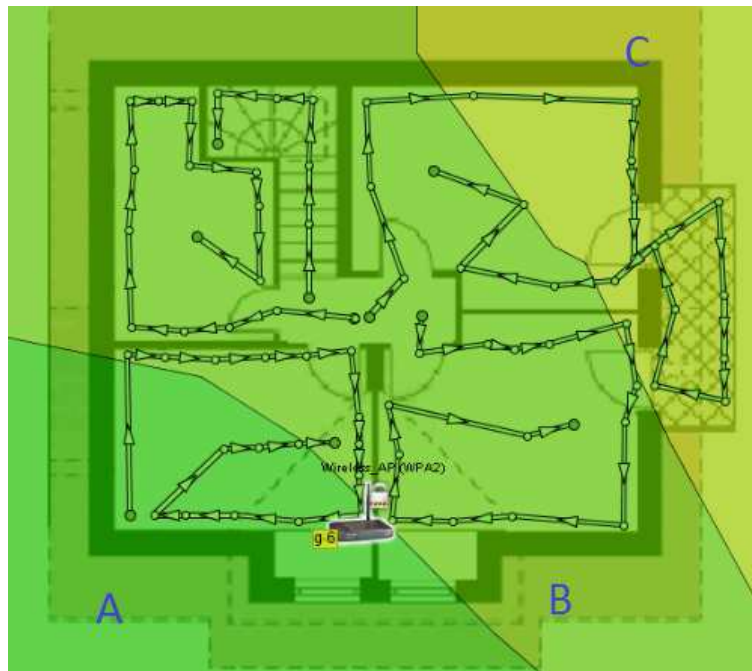
Měření jsem provedl pro podkroví i přízemí. Následující tabulka (Tab. 13) vysvětluje naměřené rozsahy, které jsou blíže uvedené na jednotlivých mapách.

Tabulka 13 Rozsah naměřených hodnot

Oblast	Hodnota
A	-48.0dBm až -40.0dBm
B	-56.0dBm až -48.0dBm
C	-64.0dBm až -56.0dBm
D	-72.0dBm až -64.0dBm
E	-80.0dBm až -72.0dBm

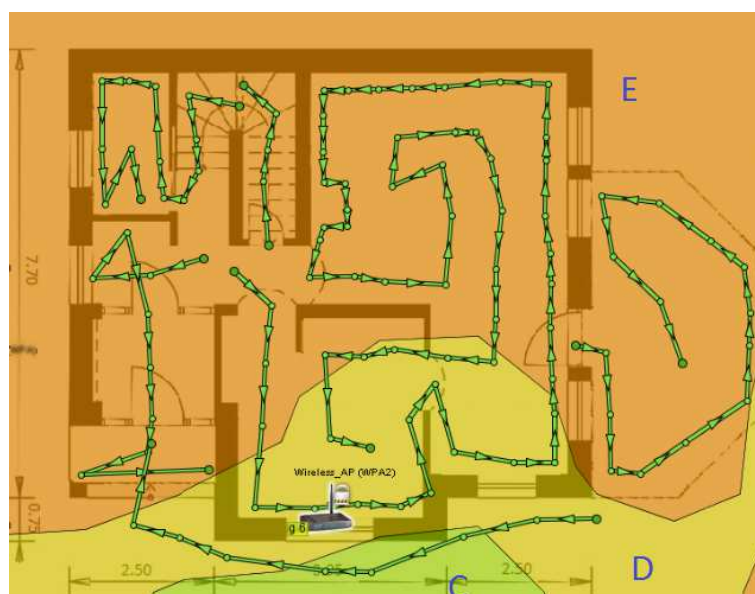
Mapa podkroví (Obr. 37), kde se také nachází Wi-Fi router, dosahuje nejlepších výsledků intenzity. S rostoucí vzdáleností a výskytem zdí se síla intenzity zhoršuje.

Tloušťka betonových zdí je u příček 75mm, u nosných 200mm a u obvodových zdí 300mm. Dveře byly při měření v jednotlivých pokojích otevřeny.



Obrázek 37 Mapa intenzity Wi-Fi signálu v podkroví

V přízemí (Obr. 38) již intenzita signálu nedosahuje takových výsledků jako v podkroví. Oblast E má dokonce v některých místech problém s výpadky signálu a ztrátou spojení. Železobetonový strop má tak velký vliv na útlum Wi-Fi signálu a snižuje zdatelně kvalitu příjmu.



Obrázek 38 Mapa intenzity Wi-Fi signálu v přízemí



### 6.1.2 802.11g – přijímač Bullet2

Mapování intenzity signálu jsem dále měřil pomocí přijímače Bullet2. Tento přístroj umožňuje běžné funkce jako kterýkoliv jiný bezdrátový router. Může se chovat jako vysílač/přijímač/WDS. Využil jsem ho v režimu přijímače.

Router se v rodinném domě nachází v podkroví (Obr. 39). Oproti měření pomocí programu Ekahau jsou pomocí přijímače Bullet2 výsledky přesnější.

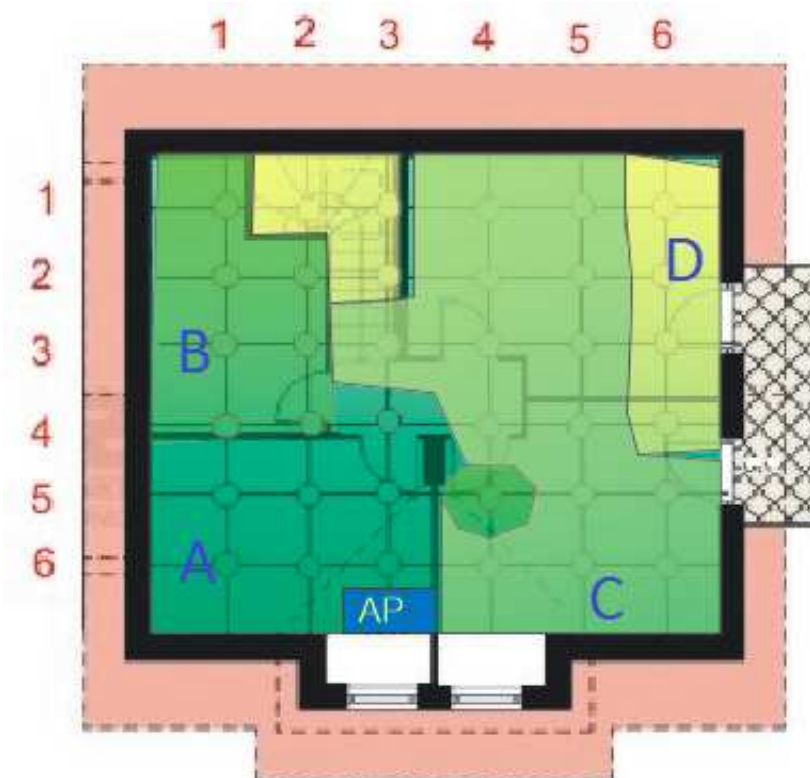
Mapa podkroví (Obr. 39) a mapa přízemí (Obr. 40) jsou rozděleny do jednotlivých oblastí, jejichž naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce (Tab. 15) a v tabulce (Tab. 16). Pozice 1-1 se bere jako řádek – sloupec. Naměřené hodnoty jsou rozděleny na jednotlivé rozsahy pro lepší orientaci a práci s mapováním. Tyto rozsahy jsou uvedeny v tabulce (Tab. 14). Cílem měření bylo v první řadě zmapovat podkroví a přízemí z hlediska velikosti útlumů v jednotlivých bodech. Vytvořil jsem proto síť s 36 měřícími body pro obě patra.

Tabulka 14 Rozsah hodnot – Bullet2

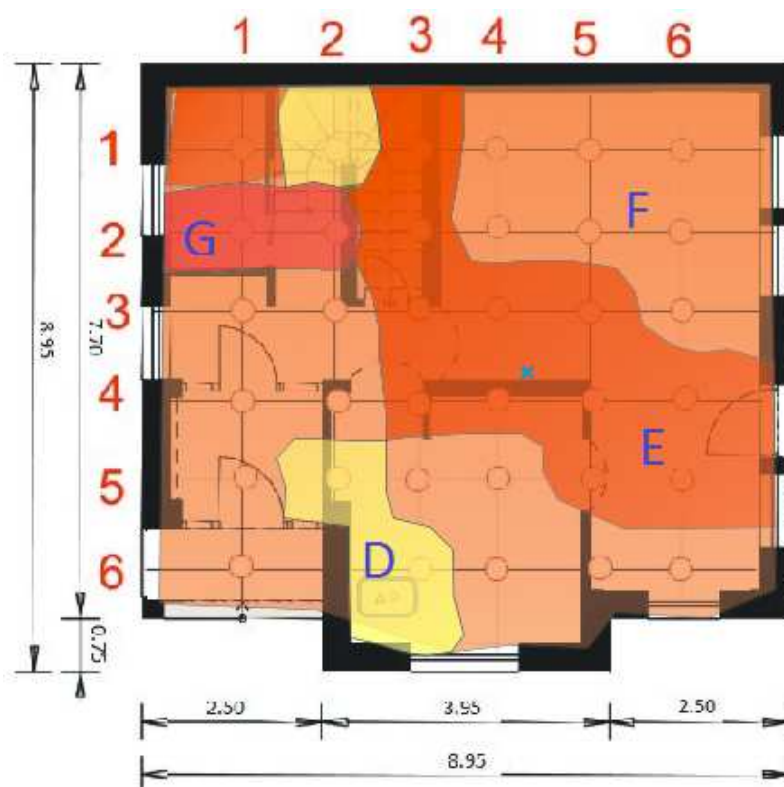
Oblast	Hodnota
A	-10.0dBm až -30.0dBm
B	-30.0dBm až -40.0dBm
C	-40.0dBm až -50.0dBm
D	-50.0dBm až -60.0dBm
E	-60.0dBm až -70.0dBm
F	-70.0dBm až -80.0dBm
G	-80.0dBm až -90.0dBm

Tabulka 15 Naměřené hodnoty v podkroví pomocí přijímače Bullet2

Pozice	Hodnota [dBm]	Pozice	Hodnota [dBm]	Pozice	Hodnota [dBm]
1 - 1	-36	3 - 1	-38	5 - 1	-22
1 - 2	-58	3 - 2	-32	5 - 2	-17
1 - 3	-54	3 - 3	-42	5 - 3	-17
1 - 4	-45	3 - 4	-40	5 - 4	-39
1 - 5	-41	3 - 5	-54	5 - 5	-40
1 - 6	-58	3 - 6	-54	5 - 6	-42
2 - 1	-40	4 - 1	-39	6 - 1	-22
2 - 2	-31	4 - 2	-38	6 - 2	-22
2 - 3	-55	4 - 3	-30	6 - 3	-17
2 - 4	-40	4 - 4	-42	6 - 4	-41
2 - 5	-48	4 - 5	-48	6 - 5	-40
2 - 6	-59	4 - 6	-55	6 - 6	-41



Obrázek 39 Mapa intenzity Wi-Fi signálu v podkroví



Obrázek 40 Mapa intenzity Wi-Fi signálu v přízemí

Tabulka 16 Naměřené hodnoty v přízemí pomocí přijímače Bullet2

Pozice	Hodnota [dBm]	Pozice	Hodnota [dBm]	Pozice	Hodnota [dBm]
1 - 1	-68	3 - 1	-65	5 - 1	-62
1 - 2	-58	3 - 2	-74	5 - 2	-59
1 - 3	-69	3 - 3	-64	5 - 3	-72
1 - 4	-74	3 - 4	-65	5 - 4	-72
1 - 5	-72	3 - 5	-65	5 - 5	-66
1 - 6	-76	3 - 6	-75	5 - 6	-66
2 - 1	-87	4 - 1	-66	6 - 1	-68
2 - 2	-89	4 - 2	-72	6 - 2	-60
2 - 3	-68	4 - 3	-63	6 - 3	-59
2 - 4	-75	4 - 4	-63	6 - 4	-78
2 - 5	-72	4 - 5	-66	6 - 5	-77
2 - 6	-76	4 - 6	-69	6 - 6	-78

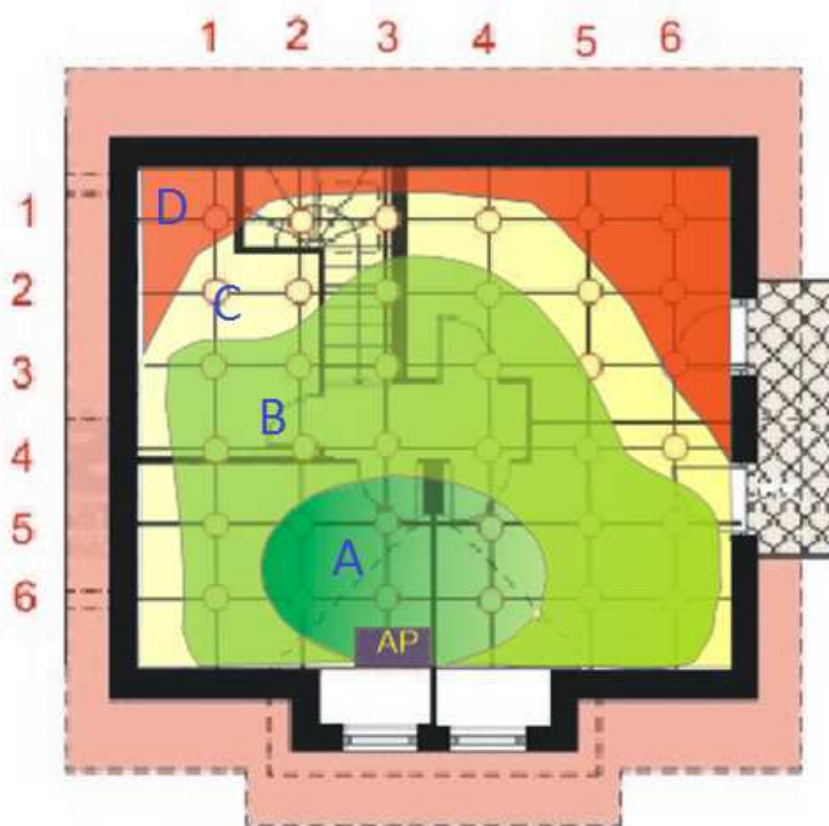
Pomocí přijímače Bullet2 bylo možné ještě přesněji mapovat Wi-Fi signál v tomto rodinném domě. Je tak možné najít měřenou hodnotu v konkrétním bodě mapy. Výsledné mapy potvrzují a doplňují měření pomocí programu Ekahau. V oblasti F je ještě možné přijímat signál na únosné úrovni, v oblasti G je už ale potřeba počítat s velmi nízkou kvalitou příjmu. V této oblasti se nachází v přízemí koupelna.

### 6.1.3 RFID VLIT

Pro měření RFID jsem umístil VLIT AP na stejné místo, jako byla pozice Wi-Fi směrovače v předchozím měření. Měřil jsem také na stejných pozicích. Pozice a výsledné hodnoty jsou v tabulce (Tab. 19) a tabulce (Tab. 20). Opět jsem rozdělil naměřené hodnoty do jednotlivých rozsahů pro lepší práci s mapami. Výsledkem je mapa pokrytí signálu přijímaného pomocí VLIT AP v podkroví (Obr. 41) a v přízemí (Obr. 42).

Tabulka 17 Rozsah hodnot – VLIT AP

Oblast	Hodnota
A	-40.0dBm až -50.0dBm
B	-50.0dBm až -60.0dBm
C	-60.0dBm až -70.0dBm
D	-70.0dBm až -80.0dBm
E	-80.0dBm až -90.0dBm
F	-90.0dBm až -100.0dBm

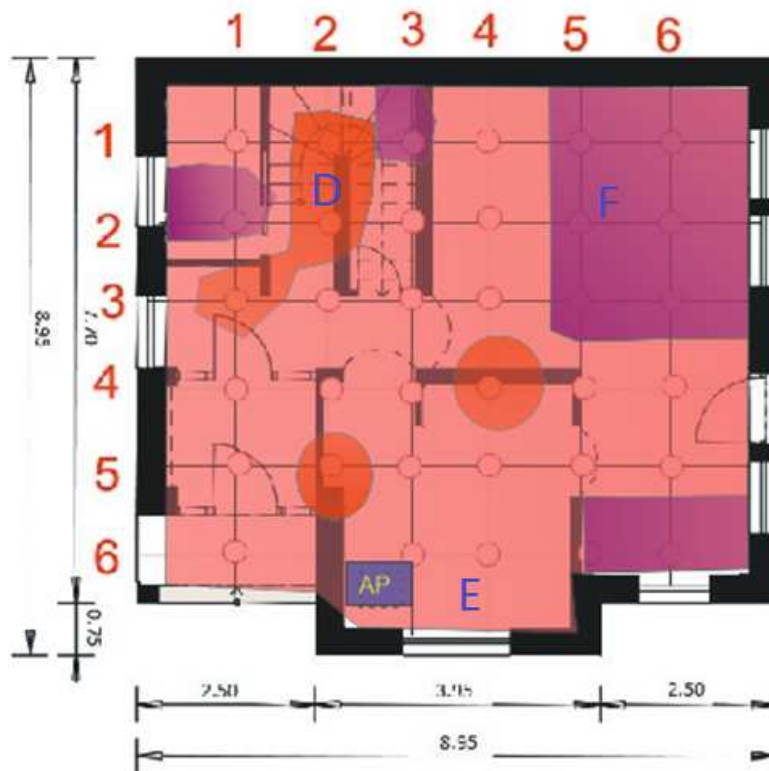


Obrázek 41 Mapa intenzity RFID signálu v podkroví

Sestava pro měření RFID signálu dosahovala poměrně stabilních výsledků. Nedošlo k žádným výkyvům v měření. Výsledná mapa pokrytí vypovídá o poměrně slušné propustnosti přes běžně se vyskytující překážky. Betonové zdi dělicí místnosti nedělají RFID příliš velký problém a síla signálu je uspokojivá ve všech místnostech.

Tabulka 18 Naměřené hodnoty v podkroví pomocí přijímače VLIT AP

Pozice	Hodnota [dBm]	Pozice	Hodnota [dBm]	Pozice	Hodnota [dBm]
1 - 1	-72	3 - 1	-58	5 - 1	-52
1 - 2	-70	3 - 2	-60	5 - 2	-50
1 - 3	-62	3 - 3	-56	5 - 3	-44
1 - 4	-64	3 - 4	-56	5 - 4	-47
1 - 5	-73	3 - 5	-64	5 - 5	-54
1 - 6	-79	3 - 6	-78	5 - 6	-54
2 - 1	-62	4 - 1	-60	6 - 1	-51
2 - 2	-67	4 - 2	-60	6 - 2	-45
2 - 3	-56	4 - 3	-55	6 - 3	-41
2 - 4	-57	4 - 4	-58	6 - 4	-47
2 - 5	-66	4 - 5	-55	6 - 5	-57
2 - 6	-76	4 - 6	-61	6 - 6	-54



Obrázek 42 Mapa intenzity RFID signálu v přízemí

V přízemí již byl ztelnější úpadek síly signálu, ale i přesto nedocházelo k výpadkům signálu a ztrátě spojení. Železobetonový strop má také vliv na zhoršení síly signálu. Nej-  
slabší signál byl v oblasti F (Obr. 42), kde dochází ke kombinaci stínění stropu, ale i dal-  
ších zdí a jiných prvků.

Tabulka 19 Naměřené hodnoty v přízemí pomocí přijímače VLIT AP

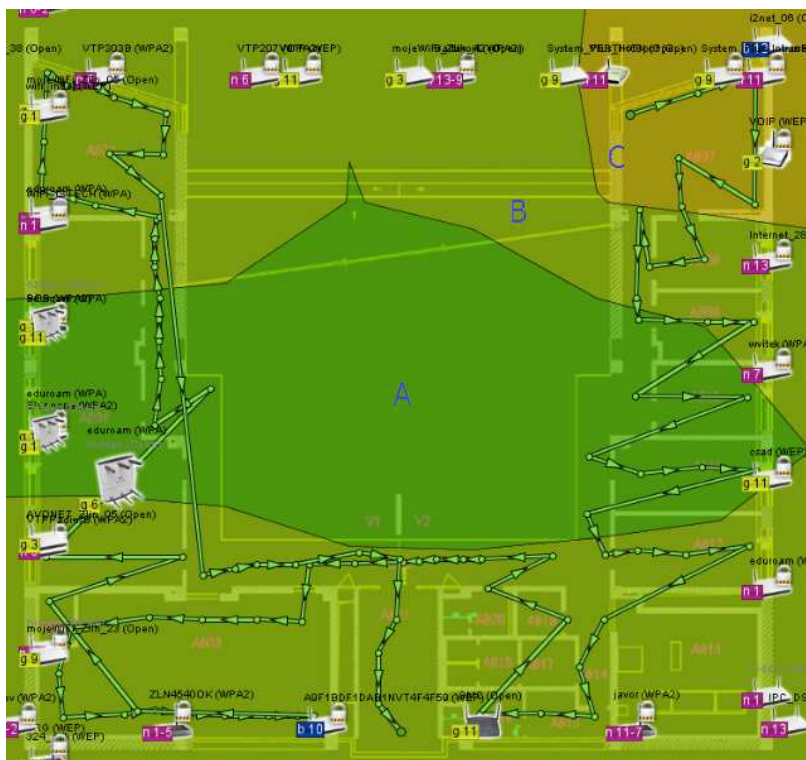
Pozice	Hodnota [dBm]	Pozice	Hodnota [dBm]	Pozice	Hodnota [dBm]
1 - 1	-84	3 - 1	-78	5 - 1	-84
1 - 2	-70	3 - 2	-80	5 - 2	-78
1 - 3	-90	3 - 3	-83	5 - 3	-92
1 - 4	-85	3 - 4	-82	5 - 4	-88
1 - 5	-92	3 - 5	-90	5 - 5	-89
1 - 6	-92	3 - 6	-92	5 - 6	-88
2 - 1	-91	4 - 1	-82	6 - 1	-84
2 - 2	-79	4 - 2	-86	6 - 2	-84
2 - 3	-87	4 - 3	-82	6 - 3	-85
2 - 4	-88	4 - 4	-77	6 - 4	-81
2 - 5	-91	4 - 5	-88	6 - 5	-90
2 - 6	-94	4 - 6	-87	6 - 6	-90

## 6.2 Budova U5 8.NP

Na Univerzitě Tomáše Bati jsem provedl mapování síly signálu Wi-Fi a RFID pro 8. NP.

### 6.2.1 802.11g - program Ekahau HeatMapper

Pomocí programu Ekahau HeatMapper jsem provedl mapování signálu Wi-Fi v 8. NP. Jak je vidět na obrázku (Obr. 43), v této lokaci se nachází velké množství směrovačů. Prošel jsem trasu celého podlaží včetně většiny místností a program nakreslil mapu dle naměřených hodnot. Mapa odpovídá intenzitě signálu pro směrovač s SSID eduroam a šifrováním WPA.



Obrázek 43 Mapa intenzity Wi-Fi signálu 8. NP

Hodnoty rozsahů jednotlivých barev na mapě jsou v tabulce (Tab. 20).

Tabulka 20 Rozsah hodnot Wi-Fi 8.NP

Oblast	Hodnota
A	-48.0dBm až -40.0dBm
B	-56.0dBm až -48.0dBm
C	-64.0dBm až -56.0dBm

Pokrytí celého 8. NP je tedy velmi stabilní a v žádném místě není problém Wi-Fi signál přijímat na dostatečné úrovni.

### 6.2.2 RFID VLIT

Umístil jsem VLIT AP do místnosti A807. A na určených pozicích jsem provedl měření intenzity signálu RSSI. Výsledky měření jsou uvedeny v tabulce (Tab. 22). Z naměřených hodnot jsem nakreslil výslednou mapu intenzity signálu pro dané patro (Obr. 44).

Tabulka 21 Rozsah hodnot – VLIT AP

Oblast	Hodnota
A	-50.0dBm až -60.0dBm
B	-60.0dBm až -70.0dBm
C	-70.0dBm až -95.0dBm
D	Výpadek signálu

Tabulka 22 Naměřené hodnoty v 8NP U5 pomocí přijímače VLIT AP

Pozice	Hodnota [dBm]	Pozice	Hodnota [dBm]	Pozice	Hodnota [dBm]
1	-55	13	-91	25	-92
2	-58	14	-88	26	-95
3	-59	15	-92	27	-
4	-57	16	-84	28	-88
5	-55	17	-86	29	-88
6	-60	18	-93	30	-
7	-77	19	-	31	-
8	-62	20	-	32	-
9	-78	21	-88	33	-
10	-68	22	-90	34	-
11	-81	23	-92	35	-
12	-87	24	-90	36	-

Kvalita signálu podle očekávání klesala s rostoucí vzdáleností. Nejlepší výsledky byly dosaženy v oblastech A až B. Větší úpadek signálu byl v oblasti C. V oblasti D již VLIT AP nezaznamenal s RFID tagy spojení ani v jednom případě a došlo k výpadku spojení, a tedy nemožnosti dalšího měření síly signálu.



Obrázek 44 Mapa intenzity RFID signálu v 8 NP U5

Naprostý výpadek v oblasti D byl velmi překvapující. Nejednalo se totiž o nijak značně větší vzdálenost než některé vzdálenosti v oblasti C. I tak zde nebylo možné navázat jakoukoliv komunikaci vysílače s přijímačem.

Ve výsledku obsahuje práce celou řadu mapování síly signálu RSSI a dává tak možnost čtenáři udělat si představu o tom, jaký vliv mají jednotlivé překážky na útlum signálu v místnostech a v rámci budov.



## ZÁVĚR

V teoretické části této diplomové práce se čtenář seznamuje s celou řadou způsobů a metod bezdrátového přenosu. Vypracoval jsem literární rešerši stávajících možností komunikace. K jednotlivým řešením byly taky shrnuty jejich výhody a nevýhody. Byla zde také zmíněna technologie RFID, která stejně jako standard 802.11g našla své uplatnění v praktické části této práce.

V další části práce jsem se zabýval teorií šíření elektromagnetických vln. Jelikož jde o nedílnou součást k pochopení bezdrátového přenosu, rozvedl jsem podrobněji jednotlivé vlivy, které působí na bezdrátový přenos dat. Zabýval jsem se také technikami modulace a šířením vln v prostředí. Tuto část jsem zaměřil na šíření vln v budově, zejména na průchod vln přes překážky.

V úvodu praktické části jsem se věnoval přípravě pro měření útlumu signálu přes vybrané materiály při různých frekvencích. Seznámil jsem se s měřicími sestavami, které jsem v této práci použil k měření. Popsal jsem jednotlivá zařízení a uvedl možnosti, které nám umožňují při měření.

V další kapitole jsem se zabýval samotným měřením přes vybrané materiály. Pomocí vývojového modulu ZSTAR3 a měřicí sestavy VLIT jsem měřil útlum signálu přes překážky. Naměřená data jsem zpracoval do tabulek. Vytvořil jsem taky grafy závislosti permitivity na velikosti hodnoty útlumu signálu.

Na závěr jsem provedl mapování intenzity signálu v rodinném domě. Využil jsem k tomu program Ekahau HeatMapper, kdy jsem mapoval sílu signálu domácí Wi-Fi sítě. Pro ověření výsledků jsem zmapoval tento rodinný dům znovu pomocí přijímače Bullet2. Mapování jsem provedl také pro měřicí sestavu VLIT pracující na technologii RFID. Tuto sestavu jsem využil také při mapování síly signálu při měření na Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně. V jednotlivých kapitolách byly vždy shrnuty výsledky měření a mapování.

Existuje celá řada technologií, které by bylo zajímavé otestovat, a proto toto téma vyžaduje další studium šíření vln. Práce se zabývá testováním několika technologií v reálných podmínkách a za daných podmínek jsou výsledky poměrně relevantní. Problematika bezdrátových technologií a měření kvality signálů je zajímavé téma a jsem rád, že jsem se mu mohl opět věnovat stejně jako při psaní své bakalářské práce.

## ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ

In the theoretical part of this thesis reader learns about variety of ways and methods of Wireless transmission. I wrote a literature review of existing communication options. There were also summarized at the end the advantages and disadvantages of these solutions. There was also mentioned RFID technology and standard 802.11g.

In the next section of this thesis, I discussed the theory of propagation of electromagnetic waves. Since it is inseparable part of understanding of wireless transmission, I expanded the details about effects on wireless data transmission. I also wrote about modulation techniques and propagation of waves in the environment. I focused this part on the propagation of waves in the building and especially on the penetration of the waves through the obstacles.

At the beginning of the practical part, I dealt with the preparation for the measurement of signal attenuation over the selected materials at different frequencies. I learned about measuring assemblies, which I used in this thesis for measurements. I described various devices and stated options we have with them.

In the next chapter, I have already dealt with the measurement itself. I used module ZSTAR3 and module VLIT to measure signal attenuation through the obstacles. I put measured data in to tables. I also created graphs of dependency of the permittivity and the signal attenuation.

In conclusion I did mapping of signal strength in a family house. I used program Ekahau HeatMapper to create map of signal strength of the home network. For even better results I checked the signal strength of this home network with a receiver Bullet2. I also created map for module VLIT, which uses RFID technology. This module was also used to create map of signal strength at Thomas Bata University in Zlin. In each chapters there were always summarized results of measurements.

There are number of technologies that would be interesting to test and therefore this subject requires further study of wave propagation. Work is focused on testing several technologies under real conditions and under these circumstances the results are quite relevant. The issue of wireless technologies and measuring the quality of the signals is an interesting topic, and I'm glad that I was able to work with these technologies again.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] HRUŠKA, František. Projektování řídicích a informačních systémů. První. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2010. 175 s. ISBN 978-80-7318-979-2.
- [2] HRUŠKA, František. Technické prostředky informatiky a automatizace. Učební texty. 1.vyd. Zlín: UTB ve Zlíně, duben 2007, s. 193. ISBN 978-80-7318-535-0.
- [3] EnOcean Wireless Standard. EnOcean [online]. 2015 [cit. 2015-03-19]. Dostupné z: <http://www.enocean.com/en/enocean-wireless-standard/>
- [4] HYNČICA, Ondřej. Bezdrátové sítě typu mesh. Automa [online]. 2005, roč. 2005, č. 12, s. 2 [cit. 2015-02-17]. Dostupné z: [http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=30826](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=30826)
- [5] DLABAČ, Petr. *Metody a způsoby bezdrátového přenosu dat ze snímačů na centrální jednotky*. Zlín, 2013. Bakalářská práce. UTB ve Zlíně. Vedoucí práce doc. Ing. František Hruška, Ph.D.
- [6] LEGG, Gary. ZigBee: Wireless Technology for Low-Power Sensor Networks. EE Times [online]. 2004, 5. 6. 2004 [cit. 2015-03-19]. Dostupné z: [http://www.eetimes.com/document.asp?doc\\_id=1275760](http://www.eetimes.com/document.asp?doc_id=1275760)
- [7] Product ZT-2550. In: Icpdas.com [online]. [cit. 2015-03-20]. Dostupné z: [http://www.icpdas.com/root/product/solutions/industrial\\_wireless\\_communication/wireless\\_solutions/zt-2550.html](http://www.icpdas.com/root/product/solutions/industrial_wireless_communication/wireless_solutions/zt-2550.html)
- [8] CAROLL, Brandon James. Bezdrátové sítě Cisco: Autorizovaný výukový průvodce. První. Holandská 3, 639 00 Brno: Compure Press, a.s., 2011. ISBN 978-80-251-2884-8.
- [9] ŠALANDA, Marek. Bezdrátová síť WiFi čtvrté generace pro náročné průmyslové podmínky. Automa [online]. 2009, roč. 2009, č. 10, s. 2 [cit. 2015-03-24]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/39716.pdf>
- [10] What is RFID?. In: *Technovelgy.com - where science meets fiction™* [online]. [cit. 2015-03-26]. Dostupné z: <http://www.technovelgy.com/ct/Technology-Article.asp?ArtNum=1>
- [11] THRASHER, James. RFID vs. NFC: What's the Difference?. In: [online]. 2014 [cit. 2015-03-26]. Dostupné z: <http://blog.atlasrfidstore.com/rfid-vs-nfc>

- [12] MAZÁNEK, M., PECHAČ, P. Šíření elektromagnetických vln a antény, 2. vydání. Praha. Skriptum ČVUT 2004. ISBN 80-01-03032-6.
- [13] VYSLOUŽIL DIPLOMOVÁ PRÁCE, Michal. *Analytické a numerické řešení šíření EM vln v pásmu VHF a UHF po budovách* [online]. Zlín, 2010 [cit. 2015-04-01]. Diplomová práce. UTB. Vedoucí práce Ing. Stanislav Goňa, Ph.D
- [14] SVAČINA, Jiří. Elektromagnetická kompatibilita : Principy a metody. první. Brno : VUT v Brno, 2001. 156 s. ISBN 80-214-1873-7.
- [15] STAUDEK, Jan. 2 x 15 kapitol z distribuovaných systémů. Část 2, Přenos dat a počítačové sítě. 1. vyd. Brno: VUT, 1994. 155 s. Učební texty vysokých škol.
- [16] MLÝNEK, Petr. Analýza a modelování datové komunikace po silnoproudém vedení. Analysis and modeling of power line communication: zkrácená verze Ph.D. thesis. [V Brně: Vysoké učení technické], ©2012. 32 s. Vědecké spisy Vysokého učení technického v Brně. PhD Thesis, sv. 675. ISBN 978-80-214-4607-6.
- [17] TVRDÍKOVÁ, Milena. Aplikace moderních informačních technologií v řízení firmy: nástroje ke zvyšování kvality informačních systémů. 1. vyd. Praha: Grada, 2008. 173 s. Management v informační společnosti. ISBN 978-80-247-2728-8.
- [18] MERZ, Hermann, HANSEMANN, Thomas a HÜBNER, Christof. Automatizované systémy budov: sdělovací systémy KNX/EIB, LON a BACnet. 1. vyd. Praha: Grada, 2008. 261 s. Stavitel. ISBN 978-80-247-2367-9.
- [19] BÍLA, Jiří et al. Informační technologie: databázové a znalostní systémy. Vyd. 3., přeprac. V Praze: České vysoké učení technické, 2009. 135 s. ISBN 978-80-01-04409-4.
- [20] ROTHWELL, Edward J. Electromagnetics. Boca Raton : CRC Press, c2009, ISBN 978-1-4200-6447-6.
- [21] BANSAL, Rajeev, Fundamentals of engineering electromagnetics . Boca Raton : CRC/Taylor & Francis, 2006. ISBN 0-8493-7360-3.
- [22] Informatika naostro: Záklay WiFi. In: [online]. ÚI PEF MENDELU v Brně, 2013 [cit. 2015-04-29]. Dostupné z: <https://ui.pefka.mendelu.cz/files/image/Technika/Laboratore/NetLab/02%20-%20WiFi%20-%20WLC.pdf>

- [23] IVÁNEK, Lubomír a Stanislav ZAJACZEK. *Elektromagnetismus* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2007, 1 CD-R [cit. 2015-05-05]. ISBN 978-80-248-1486-5.
- [24] DRM103 Designer Reference Manual. In: Freescale.com [online]. 2009 [cit. 2015-05-08]. Dostupné z: [http://www.freescale.com/files/microcontrollers/doc/ref\\_manual/ZSTAR3RM.pdf?fsp=1](http://www.freescale.com/files/microcontrollers/doc/ref_manual/ZSTAR3RM.pdf?fsp=1)
- [25] *Cominfo: Snímač ENCO* [online]. [cit. 2015-05-08]. Dostupné z: <http://www.cominfo.cz/kategorie/snimac-enco.aspx>
- [26] In: *Ubiquity Networks: Bullet2 Datasheet* [online]. [cit. 2015-05-08]. Dostupné z: [http://dl.ubnt.com/b2\\_datasheet.pdf](http://dl.ubnt.com/b2_datasheet.pdf)

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

LAN	Local Area Network
SIA	Systém Informatiky a Automatizace
Wi-Fi	Wireless Fidelity
USB	Universal Serial Bus
PAN	Private Area Network
IEEE	The Institute of Electrical and Electronics Engineers
IrDA	Infrared Data Association
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum
WLAN	Wireless Local Area Network
RFID	Radio-Frequency IDentification
SPX	Sequenced Packet Exchange
SAN	Seriál Area Network
TCP/IP	Transmission Control Protocol / Internet Protocol
MAN	Metropolitan Area Network
WAN	Wide Area Network
UWB	Ultra-Wideband
ASI	Actuator Sensor Interface
SPI	Seriál Peripheral Interface
I2C	Inter-Integrated Circuit
LED	Light-Emitting Diode
ISO	International Organization for Standardization
IEC	International Electrotechnical Commission
OSI	Open Systems Interconnection
ASK	Amplitude-Shift Keying

---

PDA	Personal Digital Assistant
MAC	Media Access Control
AES	Advanced Encryption Standard
MIMO	Multiple-Input and Multiple-Output
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplex
CRC	Cyclic Redundancy Check
AP	Access Point
RSSI	Received Signal Strength Indication
GUI	Graphic User Interface
PoE	Power over Ethernet
WEP	Wired Equivalent Privacy
WPA	Wi-Fi Protected Access
WPA 2	Wi-Fi Protected Access 2
WDS	Wireless Distribution System

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obrázek 1 Obecné schéma systému informatiky a řízení[2] .....	12
Obrázek 2 Technika umožňující po síti spravovat domácnost inteligentních domů[2] .....	13
Obrázek 3 Schéma propojení v rámci SIA[1].....	14
Obrázek 4 Schéma signálního propojení[1].....	16
Obrázek 5 Senzor a zdroj IR[1] .....	17
Obrázek 6 Tepelný konvertor, solární panel a EnOcean konvertor pohybu[3] .....	18
Obrázek 7 Scatternet – sdružená síť[4].....	19
Obrázek 8 Vlastnosti verzí Bluetooth[5] .....	19
Obrázek 9 Topologie sítě ZigBee[6] .....	21
Obrázek 10 Ukázka topologie blanket[9] .....	24
Obrázek 11 Systém RFID[11] .....	26
Obrázek 12 Frekvenční pásmo pro RFID[11] .....	27
Obrázek 13 Obecný přenosový radiokomunikační řetězec[12].....	29
Obrázek 14 – Kanály pásma 2,4 GHz[22].....	35
Obrázek 15 Vliv překážky na přenos[13] .....	38
Obrázek 16 Rovinná elektromagnetická vlna kolmo dopadající na kovovou stínicí přepážku[13].....	40
Obrázek 17 Vznik mnohonásobných odrazů[13] .....	42
Obrázek 18 Schéma měření pomocí RFID .....	46
Obrázek 19 Měřicí sestava RFID a RFID tagy.....	46
Obrázek 20 VLIT tagy (A) a přijímač VLIT AP (B).....	47
Obrázek 21 Ukázka softwaru VLIT Monitor pro mapování síly signálu VLIT tagu .....	48
Obrázek 22 Schéma zapojení ZSTAR3[24] .....	49
Obrázek 23 Zapojení ZSTAR3 k notebooku .....	50
Obrázek 24 Detail vysílače a přijímače ZSTAR3 .....	50
Obrázek 25 Úvodní obrazovka softwaru ZSTAR3.....	51
Obrázek 26 Měření RSSI pomocí softwaru ZSTAR3 .....	51
Obrázek 27 Měřicí sestava pro IEEE 802.11 .....	52
Obrázek 28 Detaily zapojení pro měření IEEE 802.11 .....	53
Obrázek 29 Úvodní obrazovka nastavení zařízení Bullet.....	54
Obrázek 30 Nástroj Antenna alignment tool .....	54



Obrázek 31 Nástroj Skenování sítě.....	54
Obrázek 32 Řez skleněnou dveřní tabulí a dřevěnými dveřmi.....	55
Obrázek 33 Ukázka betonového (a) panelového zdiva (b).....	55
Obrázek 34 Rozmístění přístrojů při měření útlumů přes překážky.....	56
Obrázek 35 Graf regresní analýzy – závislost útlumu na permitivitě RFID .....	61
Obrázek 36 Graf regresní analýzy – závislost útlumu na permitivitě ZSTAR3.....	62
Obrázek 37 Mapa intenzity Wi-Fi signálu v podkroví.....	64
Obrázek 38 Mapa intenzity Wi-Fi signálu v přízemí .....	64
Obrázek 39 Mapa intenzity Wi-Fi signálu v podkroví.....	66
Obrázek 40 Mapa intenzity Wi-Fi signálu v přízemí .....	66
Obrázek 41 Mapa intenzity RFID signálu v podkroví.....	68
Obrázek 42 Mapa intenzity RFID signálu v přízemí.....	69
Obrázek 43 Mapa intenzity Wi-Fi signálu 8. NP.....	70
Obrázek 44 Mapa intenzity RFID signálu v 8 NP U5 .....	72

**SEZNAM TABULEK**

Tabulka 1 Komunikace v SIA – základní úrovně[2] .....	13
Tabulka 2 Standardy komunikace PAN[2] .....	16
Tabulka 3 Úrovně výkonnosti Bluetooth[5] .....	20
Tabulka 4 – Srovnání protokolů 802.11[15].....	22
Tabulka 5 Naměřené hodnoty pro $l_1$ – ZSTAR3 .....	57
Tabulka 6 Naměřené hodnoty pro $l_2$ – ZSTAR3 .....	57
Tabulka 7 Naměřené hodnoty pro $l_3$ – ZSTAR3 .....	57
Tabulka 8 Naměřené hodnoty pro $l_1$ – VLIT AP .....	58
Tabulka 9 Naměřené hodnoty pro $l_2$ – VLIT AP .....	58
Tabulka 10 Naměřené hodnoty pro $l_3$ – VLIT AP .....	58
Tabulka 11 Výsledné hodnoty pro VLIT .....	59
Tabulka 12 Výsledné hodnoty pro ZSTAR3 .....	60
Tabulka 13 Rozsah naměřených hodnot .....	63
Tabulka 14 Rozsah hodnot – Bullet2.....	65
Tabulka 15 Naměřené hodnoty v podkroví pomocí přijímače Bullet2 .....	65
Tabulka 16 Naměřené hodnoty v přízemí pomocí přijímače Bullet2.....	67
Tabulka 17 Rozsah hodnot – VLIT AP .....	67
Tabulka 18 Naměřené hodnoty v podkroví pomocí přijímače VLIT AP .....	68
Tabulka 19 Naměřené hodnoty v přízemí pomocí přijímače VLIT AP .....	69
Tabulka 20 Rozsah hodnot Wi-Fi 8.NP .....	70
Tabulka 21 Rozsah hodnot – VLIT AP .....	71
Tabulka 22 Naměřené hodnoty v 8NP U5 pomocí přijímače VLIT AP .....	71