Bezdrátový přenos signálu ze snímačů na centrální jednotky

Wireless transmission of signals from the sensors to a central unit

Bc. Vladislav Adam

Diplomová práce
2011

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení:	**Bc. Vladislav ADAM**
Osobní číslo:	**A09345**
Studijní program:	**N 3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor:	**Bezpečnostní technologie, systémy a management**
Téma práce:	**Bezdrátový přenos signálů ze snímačů na centrální jednotky.**

Zásady pro vypracování:

1. **Vypracujte analýzu světového řešení bezdrátové komunikace mezi snímači a centrální jednotkou.**
2. **Analyzujte klady a zápory stávajících řešení.**
3. **Zpracujte teorii šíření RF signálů v prostředí.**
4. **Proveďte měření přenosu signálů z vývojového modulu ZSTAR3.**
5. **Vyhodnoťte výsledky měření.**
6. **Využijte výsledky měření pro návrh a projektování bezdrátového přenosu obecně.**

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. **HRUŠKA,F. Technické prostředky informatiky a automatizace. Učební texty. 1.vyd. Zlín: UTB ve Zlíně, duben 2007, s.193. ISBN 978-80-7318-535-0**
2. **HRUŠKA,F. Senzory pro systémy informatiky a automatizace. Učební texty. 1.vyd. Zlín: UTB ve Zlíně, prosinec 2007, s.177. ISBN 978-80-7318-630-2**
3. **HRUŠKA,F. Projektování řídicích a informačních systémů. Učební texty. 1.vyd. Zlín: UTB ve Zlíně, 2010, s.175. ISBN 978-80-7318-979-2.**
4. **Altmann W. Practical Process Control for Engineers and Technicians. ELSEVIER, 2006, s. 290, ISBN 978-0-7506-6400-4**
5. **Tumanski, S. Principles of electrical measurement. Taylor &Francis, Boca Raton, s. 472, ISBN 0-7503-1038-3**
6. **Svačina,J. Základy elektromagnetické kompatibility, Brno- MJ servis, 2001, ISBN 80-214-1573-8**
7. **Jerhotová, Eva, Elektromagnetické pole a vlny : Příklady. Doplňkové skriptum / Eva Jerhotová, Praha : ČVUT, 2001, s. 62 s, ISBN 80-01-02288-9**

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. František Hruška, Ph.D.**
Ústav elektroniky a měření

Datum zadání diplomové práce: **25. února 2011**

Termín odevzdání diplomové práce: **27. května 2011**

Ve Zlíně dne 25. února 2011

L.S.

prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
děkan

doc. RNDr. Vojtěch Křesálek, CSc.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá bezdrátovým přenosem signálů ze snímačů na centrální jednotky. Teoretická část popisuje rozdělení přenosů a uvádí jednotlivé příklady přenosových technologií. Také se zde seznámíme s problematikou šíření RF signálů v uzavřeném prostředí. Praktická část popisuje měření provedené na vývojovém modulu ZSTAR3 a následné vyhodnocení výsledků. Nakonec se podíváme na problematiku projektování bezdrátového propojení.

Klíčová slova: Snímač, centrální jednotka, signál, bezdrátový přenos, útlum, měření, ZSTAR3

ABSTRACT

This thesis deals with the wireless transmission of signals from the sensors to a central unit. The theoretical part describes the distribution of transmissions and provides examples of different transmission technologies. There is also introduction with the problems of spreading the RF signal in a closed environment. Practical part describes the measurements performed on the module ZSTAR3 and subsequent evaluation of results. Finally, we look at the issue of designing a wireless interconnection.

Keywords: Sensor, central unit, signal, wireless transmission, attenuation, measurement, ZSTAR3

Rád bych poděkoval svému vedoucímu práce doc. Ing. Františku Hruškovi, Ph.D. za odborné vedení, náměty, připomínky a konzultace. Déle bych rád poděkoval svým spolužákům za poskytnuté rady a v neposlední řadě také přátelům a své rodině za trpělivost, kterou se mnou měli při psaní této práce.

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 s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- 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 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 …….

podpis diplomanta

OBSAH

ÚVOD **9**

I TEORETICKÁ ČÁST **10**

1 ANALÝZA SVĚTOVÉHO ŘEŠENÍ BEZDRÁTOVÉ KOMUNIKACE MEZI SNÍMAČI A CENTRÁLNÍ JEDNOTKOU **11**

1.1 PROPOJOVACÍ PROSTŘEDKY PERIFERNÍ (SIGNÁLNÍ) ÚROVNĚ 13

1.2 PROPOJOVACÍ PROSTŘEDKY DATOVÉ ÚROVNĚ PODSYSTÉMŮ-D1 14

1.2.1 ZigBee 15
1.2.2 Bluetooth 18
1.2.3 IrDA 20
1.2.4 WirelessHART 21
1.2.5 ISA 100.11a 23
1.2.6 Proprietární řešení 24
1.2.7 Využití sítí mobilních operátorů 24

1.3 PROPOJOVACÍ PROSTŘEDKY DATOVÉ ÚROVNĚ LAN-D2 26

1.3.1 Ethernet 26
1.3.2 Bezdrátové propojení v sítích LAN 27
1.3.3 Průmyslový Ethernet (I-Ethernet) 28

2 ANALÝZA KLADŮ A ZÁPORŮ STÁVAJÍCÍCH ŘEŠENÍ **29**

3 ŠÍŘENÍ RF SIGNÁLŮ V PROSTŘEDÍ **30**

3.1 KMITOČTOVÁ PÁSMA RADIOVÉHO SPEKTRA 30

3.1.1 Velmi dlouhé (VLF) a dlouhé vlny (LF) 30
3.1.2 Střední vlny (MF) 31
3.1.3 Krátké vlny (HF) 31
3.1.4 Velmi krátké vlny (VHF), ultra krátké vlny (UHF) a mikrovlny 31

3.2 ŠÍŘENÍ RF SIGNÁLŮ V BUDOVÁCH 32

3.2.1 Rušení jinými systémy ve stejném frekvenčním pásmu 32
3.2.2 Prostorové uspořádání 32
3.2.3 Decibely 33

3.3 PRŮCHOD ELEKTROMAGNETICKÉHO VLNĚNÍ PŘES STĚNY 34

3.3.1 Charakteristika stínění 34
3.3.2 Účinnost elektromagnetického stínění 36
3.3.3 Účinnost stínění v blízké zóně elektromagnetického pole 38

II PRAKTICKÁ ČÁST **40**

4 MĚŘENÍ PŘENOSU SIGNÁLŮ Z VÝVOJOVÉHO MODULU ZSTAR3 ..... **41**

4.1 VÝVOJOVÝ MODUL ZSTAR3 41

4.1.1 Vysílací deska 42
4.1.2 Přijímací USB deska 43

4.2 OBECNÝ POSTUP MĚŘENÍ 44

4.3 MĚŘENÍ ÚTLUMŮ V MÍSTNOSTI C306 46

4.3.1 Útlum okenní tabule a dveří 48

4.4 MĚŘENÍ ÚTLUMŮ NA CHODBĚ 49
4.4.1 Útlum dveřní skleněné tabule 50
5 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ 51
5.1 ÚTLUMY V MÍSTNOSTI C306 51
5.1.1 Útlum okenní tabule a dveří 53
5.2 ÚTLUMY NA CHODBĚ 53
5.2.1 Útlum dveřní skleněné tabule 54
6 PROJEKTOVÁNÍ BEZDRÁTOVÉHO SPOJENÍ 56
6.1 FAKTORY PRO POSOUZENÍ BEZDRÁTOVÉHO SPOJENÍ 56
6.2 BEZDRÁTOVÉ ZABEZPEČOVACÍ SYSTÉMY 57
6.2.1 Bezdrátový systém OASIS 868 57
ZÁVĚR 59
ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ 60
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY 61
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK 63
SEZNAM OBRÁZKŮ 65
SEZNAM TABULEK 67
SEZNAM PŘÍLOH 68

ÚVOD

V roce 1895 italský vědec Guglielmo Marconi poprvé v historii úspěšně přenesl informaci na vzdálenost okolo dvou kilometrů bez použití kabelů. O šest let později již dokázal uskutečnit první transatlantický přenos. Od tohoto období uplynulo mnoho času a vývoj bezdrátových přenosů urazil dlouhou cestu. Jediné co zůstalo stejné, jsou důvody proč nahrazovat drátové spoje spoji bezdrátovými. Mezi nejdůležitější výhodu, která byla před rokem 1895 neřešitelná, je možnost komunikace s mobilními a pohybujícími se objekty. Dalším významným důvodem tehdy i dnes je jistě vidina nižších nákladů souvisejících s výstavbou přenosové trasy.

Počátek bezdrátových přenosů ze snímačů můžeme datovat do 80. let minulého století, kdy dochází ke snaze komerčního využití bezdrátových přenosů. V tomto období se objevují řešení umožňující digitální přenos v řádech jednotek kb/s. Na začátku 90. let dochází k přijetí standardu pro sítě GSM a k jeho prvnímu spuštění. V této dekádě dochází k značnému rozvoji techniky, která umožňuje využívat pro bezdrátové přenosy dříve nedostupné UHF a mikrovlnné pásma. Od této doby dochází k neustálému zdokonalování přenosových řešení a ke snaze miniaturizace jednotlivých komponent určených pro bezdrátové přenosy.

V dnešní době je bezdrátové spojení mezi snímači a centrálními jednotkami již běžné. Pokud nastává dilema, zda použít klasickou kabelovou síť pro přenosy dat ze snímačů nebo využít bezdrátového řešení, tak již mnoho podniků preferuje právě bezdrátové řešení. Hlavními důvody této volby je již zmiňovaná méně nákladná a také rychlá instalace, nižší požadavky na údržbu, servis a v neposlední řadě i samotná absence kabeláže. Značné využití bezdrátových přenosů je také u snímačů nacházejících se na rotujících či pohyblivých částech strojů, kdy při kabelovém propojení docházelo k mechanickému opotřebení tohoto média.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 ANALÝZA SVĚTOVÉHO ŘEŠENÍ BEZDRÁTOVÉ KOMUNIKACE MEZI SNÍMAČI A CENTRÁLNÍ JEDNOTKOU

Problematiku komunikace mezi snímači a centrální jednotkou můžeme zařadit do systému integrované automatizace SIA, který integruje všechny funkce informačních a automatizačních systémů. Systém SIA se skládá z několika podsystémů. Pro nás je důležitý podsystém centrálních jednotek, který zpracovává signály z podsystému pro měření a snímání údajů.

Pro přenosy dat a komunikaci v systémech SIA jsou využívány nejrůznější struktury technických a programových prostředků a různé struktury datových toků. Všechny tyto struktury musí být logicky a fyzicky propojeny z důvodu spolehlivosti a bezpečnosti systému a to při zachování odpovídajících vlastností přenosů informací. [1]

V distribuovaných systémech SIA můžeme uvažovat vnější komunikaci ve 4 základních úrovních (Tab. 1), které svým logickým propojením vytvářejí komplexní funkční systém (Obr. 1). Pro nás je klíčové propojení mezi první a druhou úrovní, pro kterou se využívají prostředky propojení z první až třetí úrovně.

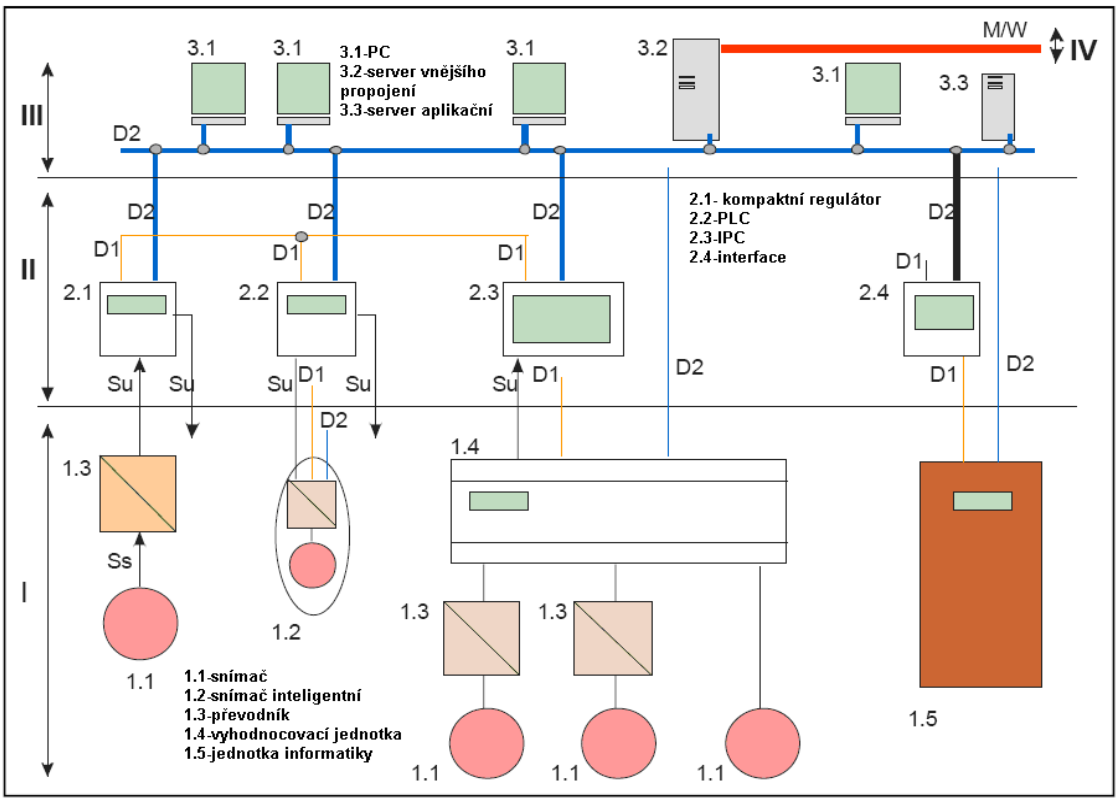
V tabulce (Tab. 1) můžeme vidět u každé úrovně vybrané možnosti propojení, kde žlutě jsou vyznačeny způsoby propojení pomocí metalických či optických kabelů a zeleně bezdrátové možnosti.

Tab. 1. Základní úrovně komunikace v systémech SIA.

I: Úroveň signálová periferní		**Ss, Su**-komunikace
Přenos údajů prostřednictvím signálů mezi snímači a akčními členy a jednotkami podsystémů centrálních jednotek. Přenos na této úrovni je prováděn pomocí signálu senzorového (Ss) a unifikovaného (Su) 4-20mA; 0-10 V.		propojovací signální kabely napájecí kabely HART/WiralessHART
II: Úroveň datová podsystémů (PAN)		**D1**
Přenos bloků údajů na úrovni podsystému centrálních jednotek.	RS232 , RS485 USB, HART EIB/KNX LonWorks	IEEE 802.15.4 (ZigBee) IEEE 802.15.1 (BlueTooth) IrDa, WUSB GSM/GPRS

	I^2C, SPI AS-Interface	UMTS WiralessHART
III: Úroveň datová lokální (LAN)		**D2**
Přenos informací na úrovni subsystému a mezi nimi (horizontální a vertikální přenos).	IEEE 802.3(4,5) TCP/IP, I-Ethernet	IEEE 802.11 (WiFi) HiperLAN
IV: Úroveň datová vnější (WAN, MAN)		**M/W**
Přenos informací do vnějšího světa (město, stát).	ISDN Pevná linka	GSM/GPRS WiMax

Na obrázku (Obr. 1) můžeme vidět schéma propojení všech 4 úrovní komunikace v systémech SIA. Propojení signálem unifikovaným je označeno Su, senzorovým Ss, datovým sériovým D1, datovým lokálním D2 a pro propojení do vnějšího prostředí je použito označení M/W. My se zaměříme na propojovací prostředky signální úrovně a úrovně datové D1 a D2.



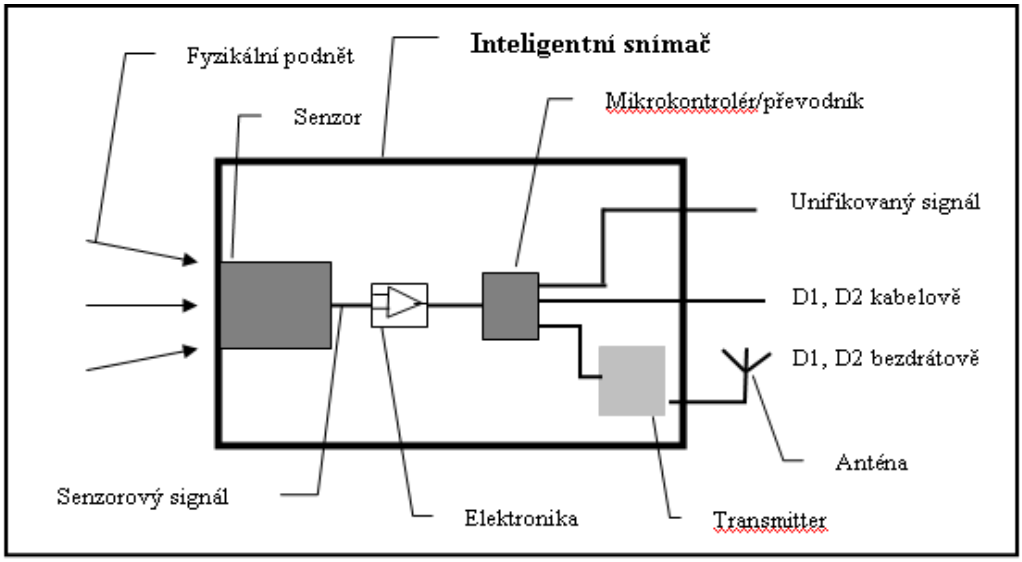
Obr. 1. Schéma propojení jednotlivých úrovní komunikace v SIA [1]

1.1 Propojovací prostředky periferní (signální) úrovně

Zajišťují signální propojení snímačů na nejnižší systémové úrovni. Signál může být přenášen ve stejném stavu jak vyšel ze senzoru. V tomto případě mluvíme o neunifikovaném či senzorovém signálu. Tento neunifikovaný signál je přenášen k převodníku, kde je převeden na unifikovaný signál, který je již možno předávat na centrální jednotku. Unifikovaný signál se také používá pro propojení na jednotky ovládání. Signál na této úrovni je elektrická hodnota, ze které odvodíme přenášený údaj.

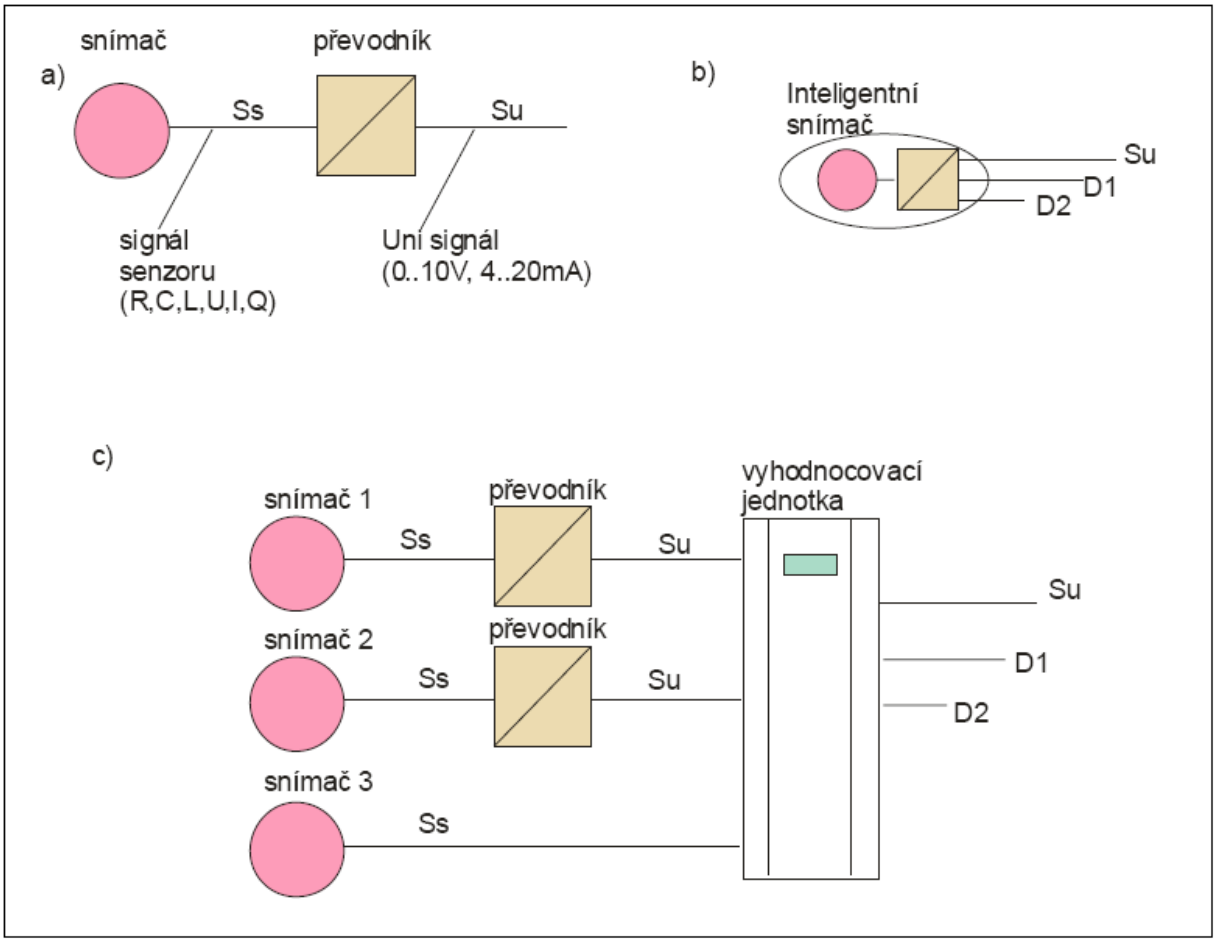
Nyní si popíšeme druhy signálního propojení ze snímačů (Obr. 3). První řešení (a) je, když má snímač na výstupu signál senzoru. Tento signál musí být napojen na převodník, který ho převede na signál unifikovaný.

Druhý způsob (b) a pro nás významný, je když snímač obsahuje vyhodnocovací obvod s mikrokontrolérem. V tomto případě mluvíme o inteligentním snímači (Obr. 2). Výstup z tohoto snímače je buď unifikovaný signál nebo datové propojení D1 nebo D2.



Obr. 2. Blokové schéma inteligentního snímače

Třetí způsob (c) umožňuje spojení několika snímačů do vyhodnocovací jednotky, přičemž je jedno zda do ní přenášíme senzorový nebo unifikovaný signál. Výstupem z vyhodnocovací jednotky jsou jako u předchozího způsobu opět všechny tři varianty, tedy unifikovaný signál a datový signál D1 a D2.



Obr. 3. Schéma signálních propojení ze snímačů [1]

1.2 Propojovací prostředky datové úrovně podsystémů-D1

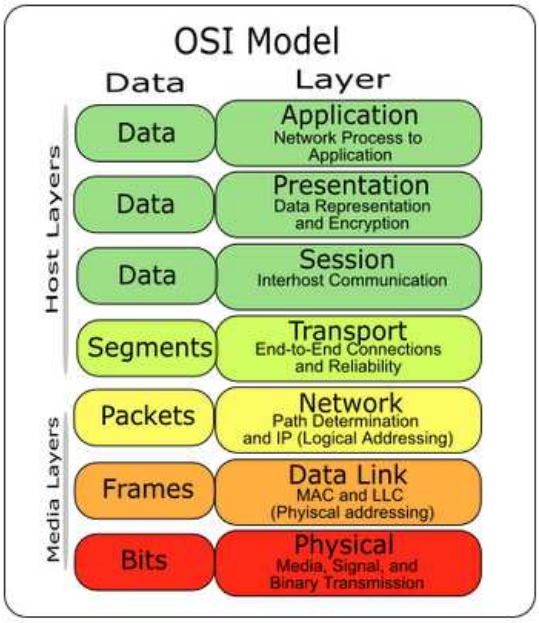
Zajišťují přenos většího množství údajů než u předchozí úrovně a to převážně po blocích ve formě zprávy. Nejrozšířenějším zástupcem propojovacího prostředku této úrovně v průmyslu je zřejmě sériové rozhraní RS 484, déle například RS 232 nebo USB.

Vzhledem k tomu, že práce je zaměřená na bezdrátové přenosy, tak se podíváme na používané bezdrátové standardy a technologie této úrovně. Předtím si ještě ve zkratce řekneme co to vlastně bezdrátový standard je.

Bezdrátový standard definuje síťovou architekturu, podle které je vystavěna, provozována a udržována daná bezdrátová síť. Síťová architektura představuje strukturu řízení komunikace, mezi kterou spadá výměna dat mezi komunikujícími zařízeními. Vzhledem k tomu, že komunikace a její řízení je složitá problematika, proto je rozdělena do sedmi

problémových skupin tzv. vrstev, které jsou definovány vrstvovým referenčním modelem OSI (Obr. 4).

Každá z vrstev OSI provádí skupinu přesně určených funkcí potřebných pro komunikaci. Jednotlivé vrstvy jsou definovány službou, kterou může poskytovat nejbližší vyšší vrstvě a sama pro svou činnost využívá služeb sousední nižší vrstvy. Vrstvy jsou dále definovány funkcemi, které jsou vykonávány v rámci protokolu. Funkce se vykonávají v jednotlivých vrstvách a jsou charakterizovány společným cílem, účelem a účinkem. Příkladem funkce může být řízení zabezpečení, řízení toku, směrování, vytvoření/zrušení spoje nebo například adresování. Řízení komunikace na úrovních jednotlivých vrstev je řízeno pomocí vrstvových komunikačních protokolů [2].



Obr. 4. Referenční model OSI [3]

Nyní již přejdeme přímo k popisům jednotlivých propojovacích technologií datové úrovně D1, které řadíme do bezdrátových osobních sítí WPAN.

1.2.1 ZigBee

Jde o bezdrátovou komunikační technologii vytvořenou organizací ZigBee Aliance a založenou na standardu IEEE 802.15.4. Tento standard je definován pro komunikaci mezi

zařízeními na krátké vzdálenosti v sítích PAN. Hlavními výhodami této technologie oproti jiným standardům je větší stabilita, flexibilita, jednoduchá konfigurace a také malá spotřeba.

Sítě ZigBee jsou primárně určeny k průmyslovým aplikacím s požadavkem na nízkou cenu, ale uplatnění nalézají prakticky v jakémkoliv odvětví. Pro nás je důležitá využitelnost při sběru dat ze snímačů. Jako příklady lze uvést přenosy z detektorů používaných v EZS, EPS a nebo v průmyslové automatizaci. Tento standard se stává jedním z důležitých technologických řešení pro bezdrátové přenosy mezi snímači a centrálními jednotkami. Kompletní využití standardu lze nalézt na stránkách ZigBee Aliance dostupných z www.zigbee.org v sekci standarts, která definuje tzv. veřejné profily určené pro různé aplikace.

Dosah spojení této technologie není vázán na přímou viditelnost a pohybuje se okolo 100m, ale při kvalitních místních podmínkách lze dosáhnout i větších vzdáleností. Některé aplikační moduly umožňují i výrazně delší přenosové trasy. Frekvenční pásma pro ZigBee a jejich jednotlivé přenosové rychlosti jsou uvedeny v tabulce (Tab. 2).

Tab. 2. Pásma a přenosové rychlosti ZigBee.

Pásmo	Přenosová rychlost	Dostupnost	Modulace	Počet kanálů
868 MHz	20 kbit/s	Evropa	BPSK	1
915 MHz	40 kbit/s	Amerika, Austrálie	BPSK	10
2,4 GHz	250 kbit/s	Celosvětově	O-QPSK	16

Sítě ZigBee jsou obecně složeny z tří typů zařízení:

- První zařízení je koordinátor sítě (PAN Coordinator), který uchovává síťové informace a určuje přenosové cesty mezi libovolnými body. Koordinátor se v celé síti vyskytuje pouze jednou a předává data na centrální jednotku.
- Druhé plně funkční zařízení (Full function device) zavádí protokolový rámec a zajišťují všechny specifikace, včetně předávání dat z jiných zařízení.
- Třetím typem je zařízení s redukovanou funkčností (Reduced Function Device). Má zavedeno minimum funkcí z důvodu komunikace s příslušným plně funkčním

zařízením nebo koordinátorem. Zařízení s redukovanou funkčností nemohou předávat data z jiných zařízení.

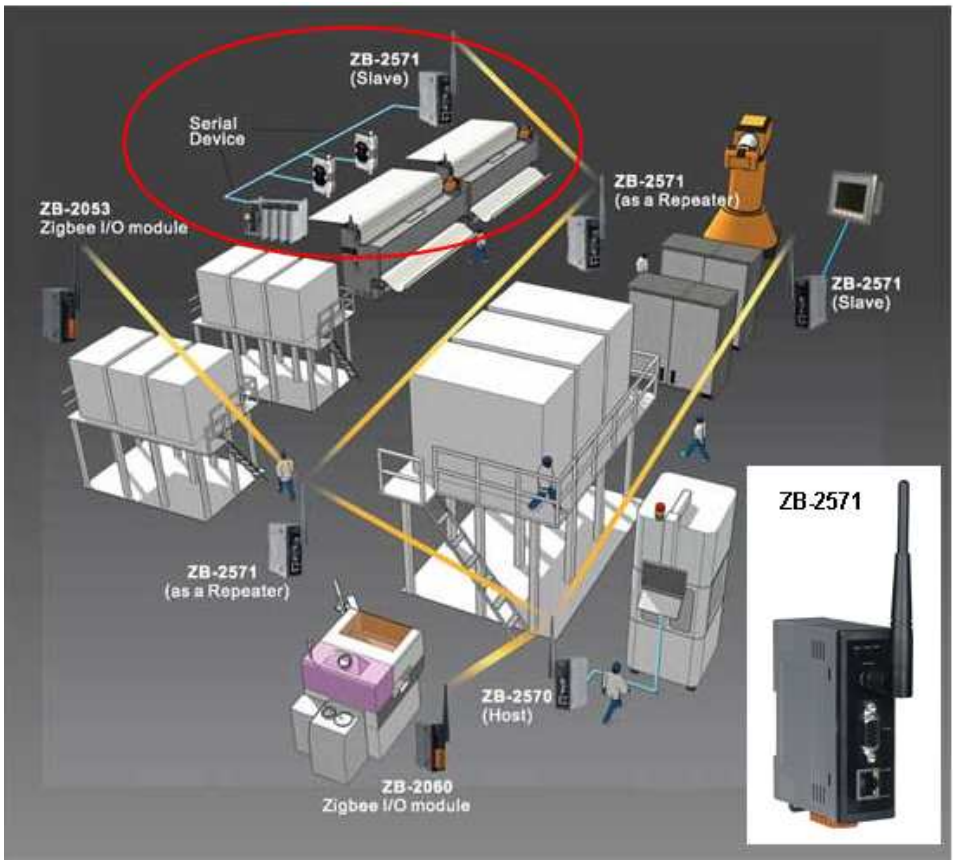
Jednotlivé zařízení mohou být podle standardu uspořádány do topologie hvězda (Obr. 5), strom nebo mesh. Standard IEEE 802.15.4 dále definuje v linkové (MAC) vrstvě komunikační protokol založený na přenosu datových rámců. Pro přenosy dat se používá rámec Data Frame, pro přijetí potvrzení informace slouží Acknowledgement Frame a pro centralizované řízení všech zařízení slouží MAC Command Frame.

Obr. 5. Příklad hvězdicovou topologie v provedení ZigBee modulu ZSTAR3 [4]

Jak již bylo zmíněno standard se vyznačuje nízkou spotřebou, kterou lze ještě výrazně snížit, a to použitím synchronizace pomocí datového rámce Beacon frame, který zajišťuje schopnost vypnutí a probuzení zařízení v přesně stanovenou dobu před samotným přenosem dat. Výdrž baterií v jednotlivých uzlech se průměrně pohybuje kolem 2 let.

Pro přenosy signálu je použito přímého rozprostřeného spektra (DSSS). Přístup k fyzickým médiím je řešen metodou CSMA/CA. Pro zabezpečení je použito šifrování AES-128 bit.

Jako příklad využití tohoto standardu uvádím ZigBee konvertor ZB-2571 pro rozhraní Ethernet, RS-485 a RS-232 od společnosti ICP DAS (Obr. 6).



Obr. 6. ZigBee konvertor ZB-2571 od společnosti ICP DAS [5]

1.2.2 Bluetooth

Jedná se o bezdrátovou komunikační technologii, která byla původně vytvořena jako alternativa k RS-232 kabelům a také jako technologie vyznačující se nízkou spotřebou. V současnosti se hlavně využívá k propojení dvou a více elektronických zařízení, mezi nimiž je nejznámější propojení mobilních telefonů.

Obr. 7. Průmyslové moduly Bluetooth 2.1+ EDR

Bluetooth je definována standardem IEEE 802.15.1 a má několik verzí, mezi kterými je dnes nejpoužívanější verze označovaná 2.0 a 2.1 EDR a velké očekávání se také čeká od nejmladší verze 4.0, která obsahuje funkci nazvanou nízko energetické Bluetooth. Tato funkce zmenšuje spotřebu několikanásobně oproti předchozím verzím. Přehled vybraných verzí a jejich přenosových rychlostí je znázorněn v tabulce (Tab. 3).

Tab. 3. Přehled vybraných verzí Bluetooth

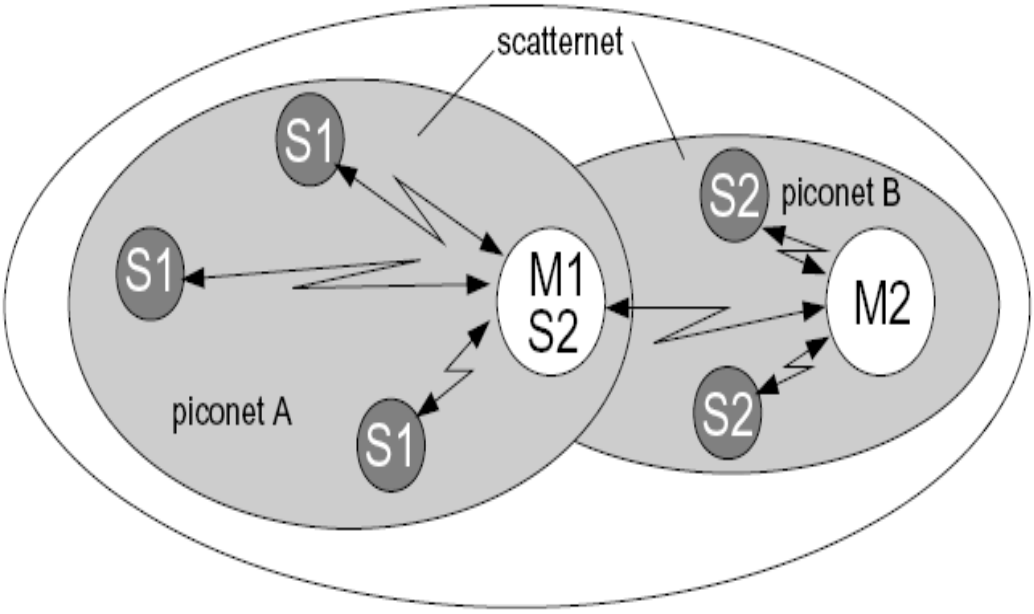
Verze	Přenosová rychlost	Maximální propustnost	Specifická vlastnost
1.2	1 Mbit/s	0,7 Mbit/s	
2.0 + EDR	3 Mbit/s	2,1 Mbit/s	pi/4- DQPSK a 8 DPSK modulace
2.1+ EDR	3 Mbit/s	2,1 Mbit/s	GFSK + 2.0 modulace
3.0 + HS	3 nebo 24 Mbit/s	Bluetooth 2,1 Mbit/s Wifi závisí na AMP	Použití AMP (Alternace MAC/PHY) pro přenosy 24 Mbit/s- Přenos: Bluetooth-Wifi-Bluetooth
4.0	3 nebo 24 Mbit/s		

Bluetooth pracuje v ISM pásmu 2,400 až 2,4835 GHz. K přenosu se používá technologie FHSS (frequency hopping spread-spectrum) umožňující spolupráci mnoha zařízení bez dodatečného rušení na stejné frekvenci. FHSS metoda provádí během jedné sekundy 1600 skoků (přeladění) mezi 79 frekvencemi s rozestupem 1MHz. Pro jednotlivá zařízení je definováno několik výkonových tříd uvedených v tabulce (Tab. 4), které umožňují komunikaci na různé vzdálenosti.

Tab. 4. Dělení bluetooth zařízení podle výkonnosti do verze 3.0

Třída	Maximální výkon	Dosah
Třída 1	100mW (20dBm)	100 m
Třída 2	2,5mW (4dBm)	10 m
Třída 3	1mW (0dBm)	1 m

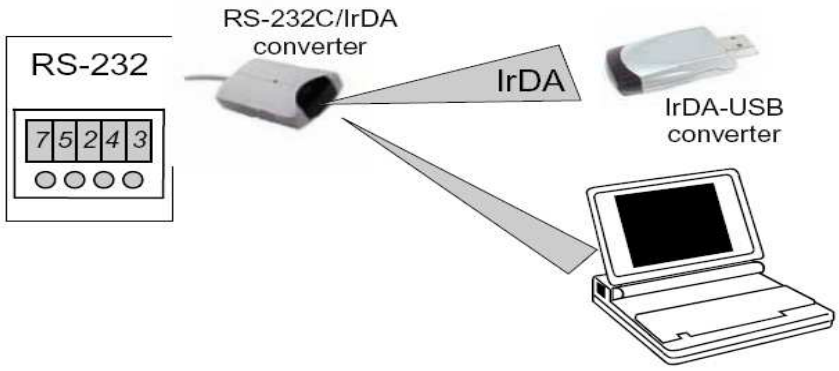
Bluetooth podporuje komunikaci jak dvoubodovou tak i mnohabodovou. Při mnohabodové komunikaci jsou všechny body-stanice propojeny do tzv. pikosítě, která je omezena na 8 zařízení. Jedno z nich je řídící (master) a může současně obsloužit zbylých 7 podřízených (slave) zařízení. Všechna zařízení v pikosíti se synchronizují s taktem řídící stanice a se způsobem přeskakování mezi kmitočty. Specifikace umožňuje současně použít až 10 pikosítí na ploše o průměru 10 metrů a dále je sdružovat do tzv. „scatternets“ neboli rozprostřených sítí (Obr. 8). K identifikaci jednotlivých zařízení slouží BDA adresa (BlueTooth Device Address). [6, 7]



Obr. 8. Rozprostřená síť [7]

1.2.3 IrDA

V roce 1994 založily společnosti IBM, HP a SHARP organizaci s názvem Infrared Data Association, která definuje standardy pro komunikaci na krátkou vzdálenost prostřednictvím infračerveného záření. Komunikace pomocí IrDA standardu vyžaduje přímou viditelnost mezi vysílacím a přijímacím zařízením. IrDa rozhraní můžeme najít u některých mobilních telefonů, notebooků, palmtopů, lékařského vybavení nebo zkušebních a měřících zařízení. Komplexnost měřících systémů s IrDA rozhraním zajišťují konvertory jako například převodník RS-232C/IrDA nebo IrDA / USB jak je znázorněno na obrázku (Obr. 9).



Obr. 9. Přenos dat přes IrDA rozhraní [7]

Rozhraní IrDA využívá infračervené záření s vlnovou délkou 875 nm. Jako zdroj záření může být použito infračervených LED diod. Přijímačem jsou PIN fotodiody, které pracují v generačním režimu (při dopadu světla na přijímač "vyrazí" světlo elektrony, které se odvádí do filtru (elektrického) který propusti jen ty frekvence které jsou povoleny pro daný typ IrDA modulace). Existuje přímá úměra mezi energií dopadnutého záření a nábojem který optická část přijímače vygeneruje.

IrDa zařízení pracují podle normy IrDA 1.0 a 1.1 na vzdálenost až 1m při bitové chybovosti BER (bit error ratio, poměr chybně přenesených bitů ku správně přenesených) 10^{-9} a za přítomnosti denního osvětlení o intenzitě 10 klux a maximální nesouososti (Off-alignment) vysílače a přijímače 15°. Rychlosti pro IrDA 1.0 jsou od 2400 do 115200 kbps. [6]

Rozhraní IrDA je popsáno mnoha protokoly, jejichž kompletní přehled lze najít na oficiálních stránkách Infrared Data Association.

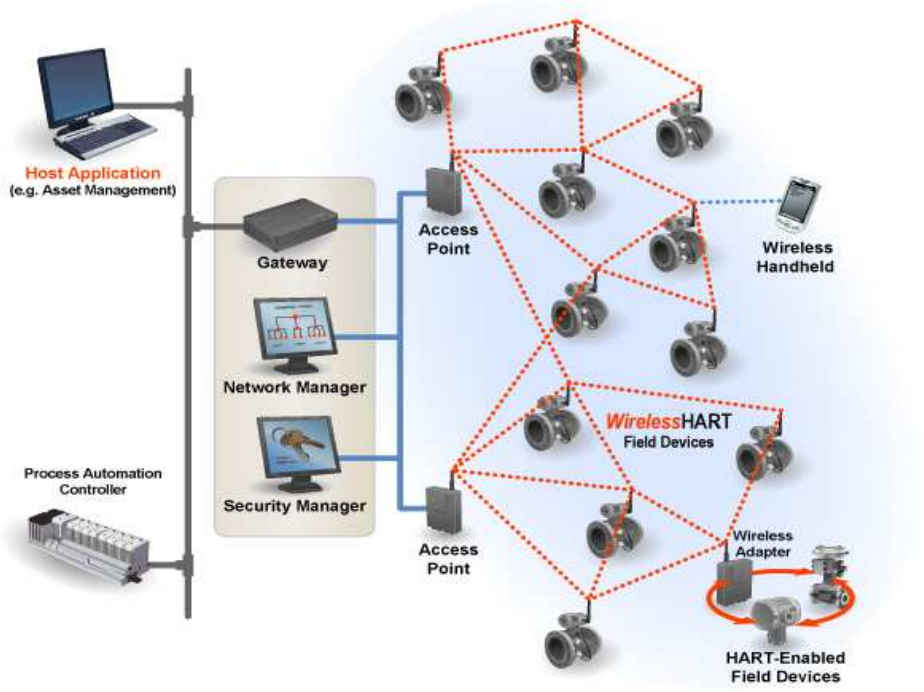
1.2.4 WirelessHART

WirelessHART je bezdrátový síťový komunikační protokol vyvinutý organizací HART Communication Foundation, který je primárně určený k aplikacím v automatizačních procesech. Jedná se o bezdrátovou náhradu a nebo pojítko k protokolu HART, který je využitelný u periferní signálové úrovně. Protokol WirelessHART je kompatibilní pouze se zařízeními HART. Základní parametry a vlastnosti protokolu WirelessHART můžeme vidět v tabulce (Tab. 5).

Tab. 5. Vlastnosti protokolu WirelessHART

Použitý rádiový standard	IEEE 802.15.4-2006, 250kbps
Frekvenční pásmo	2.4GHz
Frekvenční řízení	Přepínání kanálů na základě paketů
Dosah	až 250 m mezi zařízeními
Napájení	síť, baterie
Topologie	Mesh, hvězda, kombinace
Šifrování	AES-128 bit
Přístupová metoda k médiím	TDMA

Bezdrátová síť HART je složena z několika prvků. Jde o periferní zařízení (snímač) s integrovaným protokolem WirelessHART. Dále se v síti nachází brána umožňující komunikaci s centrální jednotkou a samozřejmě také adaptéry umožňující připojení zařízení HART k bezdrátové síti. Podrobný popis protokolu WirelessHART a jednotlivých síťových zařízení lze nalézt na stránkách organizace HART Communication Foundation dostupných z www.hartcomm.org. Schématické znázornění bezdrátové sítě HART můžeme vidět na obrázku (Obr.10).



Obr. 10. Síť WirelessHART [8]

1.2.5 ISA 100.11a

Jde o otevřený bezdrátový standard pro systémy v průmyslové automatizaci určený k řízení procesů a souvisejících aplikací. Multifunkční protokol podle tohoto standardu je použitelný pro sítě snímačů. Zařízení realizované pomocí ISA 100.11a jsou robustní, nenáročné na spotřebu energie, odolné proti rušení a v neposlední řadě i bezpečné z hlediska přenosu dat. Zařízení tedy splňují všechny požadavky pro průmyslové prostředí. Norma se také zabývá koexistencí s jinými bezdrátovými zařízeními, které se dají očekávat v průmyslových prostorech jako mobilní telefony a zařízení založené na standardech IEEE 802.11, IEEE 802.15 nebo IEEE 802.16. [9]

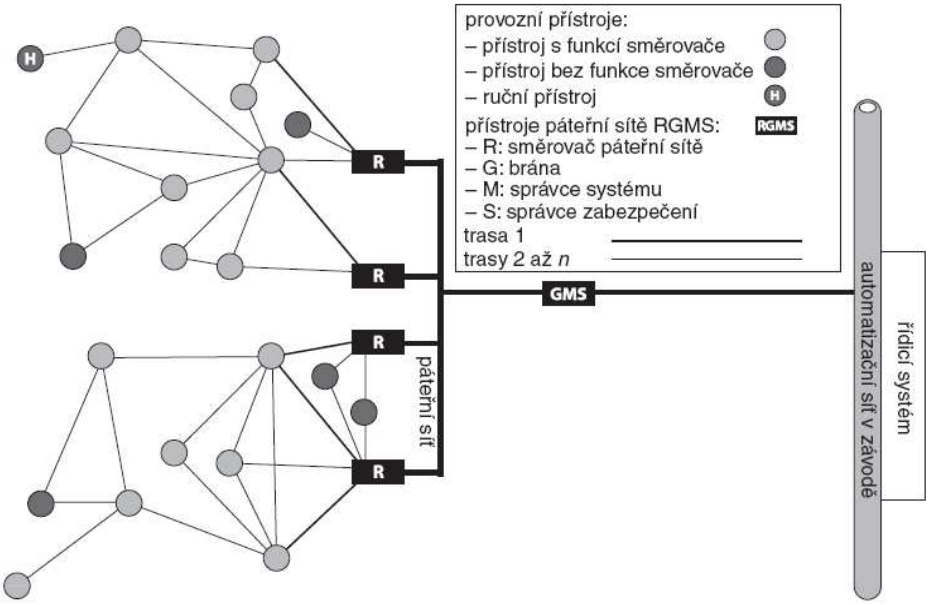
Standard ISA 100.11a umožňuje uživatelskou úpravu protokolu tak, aby napodoboval aplikační vrstvy současných kabelových provozních sběrnic a tím umožnil jejich začlenění do stávajících systémů. Jde například o protokoly Fieldbus, HART, Profibus Modbud a další.

Nejjednodušší prostředek pro přenosy zpráv určených k přenosu kabelovými sítěmi je základní komunikační kanál (Obr. 11). Přenášená uživatelská data se vloží do obálky a pomocí protokolu ISA 100.11a a radiového pojítka se odešlou do koncového zařízení.

Obr. 11. Základní komunikační kanál [10]

Další funkcí, kterou tento standard umožňuje je směrování k páteřní síti. Sítě s velkým počtem snímačů a přeskoků se vyznačují opakovaným vysíláním stejné zprávy. To vede k zbytečnému energetickému vytížení jednotlivých uzlů. Standard ISA 100.11a zajišťuje to, aby se zpráva dostala k místu určení co nejkratší cestou. Tím redukujeme intenzitu využití kanálu pro přenos zprávy zpravidla na jednu až dvě rádiové relace.

V průmyslových sítích snímačů a akčních členů dochází u brány k sbíhání značného počtu přenosových tras a tedy i údajů. Použití páteřní sítě (Obr. 12) nám umožňuje zvětšit šířku přenosového pásma při postupu od snímače k bráně a tím zajistit v okolí brány efektivnější komunikaci. Jako páteřní síť může být u standardu ISA 100.11a použita libovolná vysokorychlostní datová síť. [10]



Obr. 12. Senzorová síť napojená na páteřní síť [10]

1.2.6 Proprietární řešení

Kromě výše uvedených bezdrátových komunikačních technologií je v oblasti snímačů využíváno proprietárních řešení. Jedná se o řešení, které jsou vytvořeny určitým výrobcem nebo skupinou výrobců. Zpravidla jde o řešení vybudované na některém ze standardů a doplněné o další funkce a vylepšení. Využívání proprietárních řešení může být podmíněno licencí nebo může být otevřeno a využíváno kýmkoli. Nevýhoda výstavby sítě a komunikace pomocí proprietárních řešení spočívá v nekompatibilitě zařízení různých výrobců. Jako příklad lze uvést protokoly Z-Wave, SimpliciTi nebo ONE-NET.

1.2.7 Využití sítí mobilních operátorů

Až doposud byly všechny uváděné technologie provozovány v nelicencovaném pásmu ISM. Za nejvyužívanější službu v licencovaných pásmech lze bezpochyby považovat služby sítí mobilních telefonů. Výhoda služeb mobilních telefonů spočívá v již vybudované síti, která svým pokrytím umožňuje přenos informací prakticky odkudkoli. Využití se

nabízí při přenosech z odlehlých a vzdálených míst. V tabulce (Tab. 6) uvádím několik vybraných standardů sítí mobilních telefonů i s jejich frekvenčními pásmy. Tyto přenosové standardy můžeme také zařadit do datové úrovně vnější.

Tab. 6. Vybrané standardy sítí mobilních telefonů

Standard	Pásmo	Generace mobilních komunikací
GSM/GPRS	890-960 MHz 1710-1880 MHz	2G
W-CDMA (UMTS)	1900-2200 MHz	3G
CDMA 450	450 MHz	3G

Jako příklad využití sítí mobilních telefonů uvádím ultrazvukový snímač hladiny BHV Echo 111 s bezdrátovým přenosem dat, který využívá přenos po síti GSM (Obr. 13). Přenos z tohoto snímače může být prováděn pomocí datové služby GPRS, která umožňuje účtování za přenesené data a nebo pomocí SMS zpráv. Snímač se spustí v okamžiku kdy je do něj vložena SIM karta a zadán PIN kód. Pro přenos pomocí GPRS musíme snímači přidělit IP adresu a pro posílání dat pomocí SMS přidělujeme telefonní číslo. Jako centrální jednotku pro příjem zpráv můžeme využít osobní počítač vybavený GSM modemem a příslušným softwarem. Posílání dat ze snímače je prováděno buď v pravidelných intervalech nebo na vyžádání z centrální jednotky. Snímač může být použit například pro sledování hladin vodních toků [11].

Obr. 13. Ultrazvukový snímač hladiny BHV Echo 111 GSM [11]

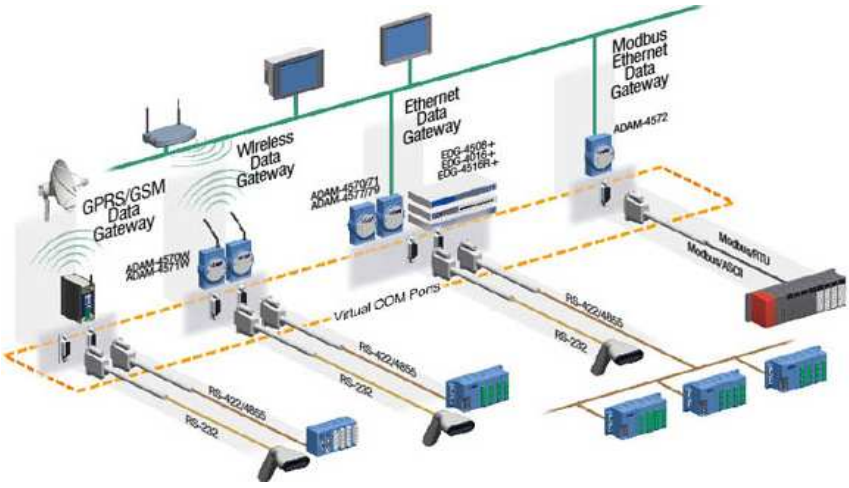
1.3 Propojovací prostředky datové úrovně LAN-D2

Propojovací systémy tohoto druhu zajišťují přenos informací jak na úrovni subsystému tak i mezi různými subsystémy. Propojením LAN se přenáší velké objemy dat s velkou přenosovou rychlostí. Přenášeny jsou informace typu elektronických souborů. Využívá se topologie sběrnice a pro rozsáhlejší sítě, hlavně v průmyslu se jedná o topologii typu hvězda. Na sítě LAN bývají často připojeny systémy centrálních jednotek. Sítě LAN se skládají z aktivních a pasivních zařízení. Pasivní zařízení jsou kabely, konektory a rozvaděče. Aktivní zařízení jsou:

- konvertor (tranceiver): přepojuje síť přes různé média (ZigBee konvertor ZB-2571)
- opakovač (repeater): pro zesílení signálu
- rozbočovač (hub): umožňuje větvení sítě
- přepínač (switch): propojování segmentů sítě
- router: přeposílání datagramů k cíli
- most (gateway): propojuje sítě s různými protokoly [1]

1.3.1 Ethernet

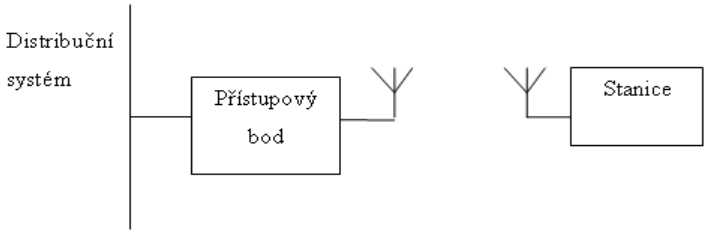
Základní protokol pro sítě LAN je Ethernet. Ethernet používá jako přenosové médium koaxiální kabel, kroucenou dvojlinku a optická vlákna. Typů Ethernetu je velké množství a nejnovější verze 10GBase-T dosahuje rychlosti 10Gb/s. Propojení Ethernetu s prostředky úrovně D1 se děje pomocí mostů (gateway) (Obr. 14).



Obr. 14. Propojení Ethernetu s prostředky Datové úrovně D1

1.3.2 Bezdrátové propojení v sítích LAN

Bezdrátové propojení v sítích LAN obstarává skupina standardů IEEE 802.11 nazývaná WiFi a evropská alternativa k tomuto standardu HiperLAN. Na obrázku (Obr. 15) můžeme vidět jednotlivé komponenty sítě 802.11.



Obr. 15. Komponenty sítě 802.11

Distribuční systém slouží ke komunikaci mezi jednotlivými přístupovými body a předává informace o pohybu mobilních stanic. Také slouží jako distribuční médium a bývá zpravidla v drátovém provedení. Typickým příkladem distribučního systému je vysokorychlostní Ethernet. Přístupový bod (Access point) slouží k přemostění mezi kabelovou a bezdrátovou sítí. Počet přístupových bodů závisí na velikosti sítě. Poslední komponent je stanice a to buď mobilní nebo statická. Stanicí může být notebook, PDA apod. Přehled základních variant standardu 802.11 nalezneme v tabulce (Tab. 7). Technologie 802.11a nelze používat v Evropě, a proto se připravuje její doplněk pod názvem 802.11h, který bude splňovat požadavky pro Evropu.

Tab. 7. Vybrané varianty standardu 802.11

Standard	Pásmo [GHz]	Propustnost [Mbit/s]	Rozprostřené spektrum
IEE 802.11 a	5	54	OFDM
IEE 802.11 b	2,4	11	DSSS
IEE 802.11 g	2,4	54	OFDM

Standard HiperLAN umožňuje oproti IEEE 802.11 více skokové směrování, což umožňuje komunikaci se stanicí, která je mimo dosah a to prostřednictvím třetí stanice. V současnosti jsou dostupné dvě verze tohoto standardu pracující shodně v ISM pásmu 5 GHz (Tab. 8).

Tab. 8. Verze standardu HiperLAN

Standard	Propustnost	Modulace	Specifika
HiperLAN 1	1,5 Mbit/s	FSK	CSMA/CA
	23,5 Mbit/s	GMSK	
HiperLAN 2	54 Mbit/s	BPSK, QPSK,QAM	OFDM

1.3.3 Průmyslový Ethernet (I-Ethernet)

Je systém schopný umožňovat datové přenosy od procesů řízení, přes LAN sítě až po WAN a MAN sítě. Systém a jeho komponenty musí oproti klasickému Ethernetu být schopny odolávat průmyslovému prostředí a specifikám automatizačních systémů. Hlavní výhodou průmyslového Ethernetu je distribuovaná inteligence a možnost komunikace napříč všemi podsystémy ve struktuře SIA.

Mezi základní požadavek pro I-Ethernet je komunikace v reálném čase za všech podmínek. V současnosti se odezva pohybuje pod hranicí 20 ms. Protokoly pro přenos v reálném čase obsahuje například verze I-Ethernetu PROFINET nebo PowerLink. Příklady rozdílů na požadavky pro zařízení v síti Ethernet a I-Ethernet můžeme vidět v tabulce (Tab. 9).

Tab. 9. Verze standardu HiperLAN [1]

Parametr	Ethernet	I-Ethernet
Napájení	230 V AC	24 V DC
Provozní teplota	0 až 40°C	-40 až +70°C
Rázy	--	15g
Vibrace	--	2g
Chlazení	Větrák	Přirozené
Odolnost	Prach	Prach, chemikálie
Odezva	Více než 200 ms	Méně než 20 ms
Životnost	3 roky	6 roků

2 ANALÝZA KLADŮ A ZÁPORŮ STÁVAJÍCÍCH ŘEŠENÍ

Nyní si shrneme základní vlastnosti jednotlivých řešení (standardů) pro přenosy mezi snímači a centrálními jednotkami. V první tabulce (Tab. 10) nalezneme shrnutí základních vlastností pro skupinu propojovací prostředků dané úrovně.

Tab. 10. Vlastnosti propojovacích prostředků dané úrovně

Propojovací prostředky	Propojení úrovně	Přenosová rychlost	Sítě snímačů
Signální (periferní)	I-II	+	Ne
Datové-D1	I-II	++	Ano
Datové-D2	II-III (I-III)	+++++	Ne

V druhé tabulce (Tab.11) již můžeme vidět hlavní klady a zápory jednotlivých bezdrátových řešení pro danou skupinu propojovacích prostředků.

Tab. 11. Klady a zápory jednotlivých bezdrátových řešení

Řešení	**Klady**	**Zápory**
Propojovací prostředky signální (periferní) úrovně		
WiralessHART	Unifikovaný signál 4 až 20 mA	Pouze zařízení HART
Propojovací prostředky datové úrovně D1		
ZigBee	Spolehlivost, výkon/cena, spotřeba energie, velikost sítě	Nižší rychlosti (dostačující)
BlueTooth	Cena, jednoduchost	Počet uzlů, spotřeba energie
IrDa	Frekvenční pásmo-nulové rušení	Přímá viditelnost, malý dosah
ISA 100.11a	Přenos nejrůznějších protokolů	
Proprietární	Jednoduchost	Nekompatibilita
Sítě mobil. tel. (GPRS/GSM)	Dosažitelnost, kvalita	Placená služba
Propojovací prostředky datové úrovně D2		
WiFi	Flexibilita, rychlost	Nepropojení I-II,
HiperLAN	Pásmo, více-skokové směrování	Nepropojení I-II

3 ŠÍŘENÍ RF SIGNÁLŮ V PROSTŘEDÍ

Mluvíme-li o RF signálech, máme na mysli elektromagnetické vlny o kmitočtech od 9 kHz do 3000 GHz a více, které se prostředím šíří rychlostí blížící se rychlosti světla. RF spektrum je rozděleno do devíti kmitočtových pásem, které definuje Radiokomunikační řád Mezinárodní telekomunikační unie ITU a jsou uvedeny v tabulce (Tab. 12).

Tab. 12. Kmitočtová pásma radiového spektra [12]

Číslo pásma N	Symboly	Rozsah kmitočtů (dolní mez mimo, horní mez včetně)	Vlnová délka	Odpovídající názvy pásem	Metrické zkratky pro pásma
4	VLF	3 až 30 kHz	100 až 10km	myriametrové	Mam
5	LF	30 až 300kHz	10 až 1 km	kilometrové	km
6	MF	300 až 3000 kHz	1km až 100m	hektometrové	hm
7	HF	3 až 30 MHz	100m až 10m	dekametrové	Dm
8	VHF	30 až 300 MHz	10m až 1m	metrové	m
9	UHF	300 až 3000 MHz	1m až 10cm	decimetrové	dm
10	SHF	3 až 30 GHz	10cm až 1cm	centimetrové	cm
11	EHF	30 až 300 GHz	1cm až 1 mm	milimetrové	mm
12	---	300 až 3000 GHz		decimilimetrové	---

Šíření RF signálů ovlivňuje spousta faktorů, které můžeme rozdělit na dvě skupiny. Jedná se o samotné prostředí, ve kterém je vlna šířena a o prostorové uspořádání mezi vysílačem a přijímačem. Z hlediska prostředí se zaměříme na přenosy RF signálů v uzavřených prostorech. Dříve než se podíváme na problematiku šíření vln v budovách, stručně si popíšeme kmitočtová pásma radiového spektra.

3.1 Kmitočtová pásma radiového spektra

3.1.1 Velmi dlouhé (VLF) a dlouhé vlny (LF)

Velmi dlouhé vlny zabírají kmitočtové pásmo 3 až 30 kHz a dlouhé vlny 30 až 300 kHz. Tyto vlny se používají pro spoje na velké vzdálenosti. Na vzdálenosti stovek kilometrů je

možné uvažovat o šíření přízemní vlnou, ale s rostoucí délkou spoje mluvíme již o šíření prostorovou vlnou.

3.1.2 Střední vlny (MF)

V Prostředí radiotechniky se jedná o vlny v rozsahu 100 kHz až 1,5 MHz. Podle ITU je pásmo vymezeno od 300 kHz do 3 MHz. Šíření probíhá jak vlnou přízemní tak i vlnou prostorovou. Jejich odraz nastává v troposféře.

3.1.3 Krátké vlny (HF)

Krátké vlny obsahují kmitočty od 3 do 30 MHz, přičemž v radiotechnice toto pásmo začíná již na 1,5 MHz. K šíření může docházet opět jak přízemní tak i prostorovou vlnou. Při šíření přízemní vlnou dochází ke značnému útlumu, který umožňuje spojení na vzdálenosti pouze v desítkách kilometrů. Prostorová složka se šíří odrazy od ionosféry.

3.1.4 Velmi krátké vlny (VHF), ultra krátké vlny (UHF) a mikrovlny

Jedná se o pásmo nad 30 MHz, které přechází do mikrovlnného pásma a dále do infračerveného a optického spektra. Šíření probíhá hlavně přízemní vlnou a přímočaře, přičemž u vyšších frekvencí je nutnost přímé viditelnosti. [13] Tyto pásma jsou využívané pro přenosy ve všech bezdrátových standardech a technologiích, které jsme si popsali v první kapitole. Hlavně ISM pásmo je z hlediska přenosů dat ze snímačů na centrální jednotky klíčové (Tab. 12).

Tab. 13. ISM pásma podle ITU-R [12]

Pásmo	Střední kmitočet	Dostupnost
6765-6795 kHz	6780 kHz	povolení
13 553-13 567 kHz	13 560 kHz	
26 957-27 283 kHz	27 120 kHz	
40,66-40,70 MHz	40,68 MHz	
433,05-434,79 MHz	433,92 MHz	Evropa, Afrika, Rusko
868-868,6 MHz	868 MHz	Nepatří do ISM

		Evropa
902-928 MHz	915 MHz	Amerika,Grónsko, Austrálie
2400-2500 MHz	2450 MHz	Celosvětově
5725-5875 MHz	5800 MHz	
24-24,25 GHz	24,125 GHz	
61-61,5 GHz	61,25 GHz	Povolení
122-123 GHz	122,5 GHz	Povolení
244-246 GHz	245 GHz	Povolení

ISM pásmo je definováno pro provozování přístrojů nebo zařízení určených pro výrobu a místní využívání rádiové energie pro průmyslové, vědecké nebo lékařské aplikace [12].

3.2 Šíření RF signálů v budovách

Šíření RF signálů v budovách může být ovlivňováno interferencemi jinými systémy ve stejném frekvenčním pásmu. Další problematika spočívá v prostorovém uspořádání mezi vysílačem a přijímačem.

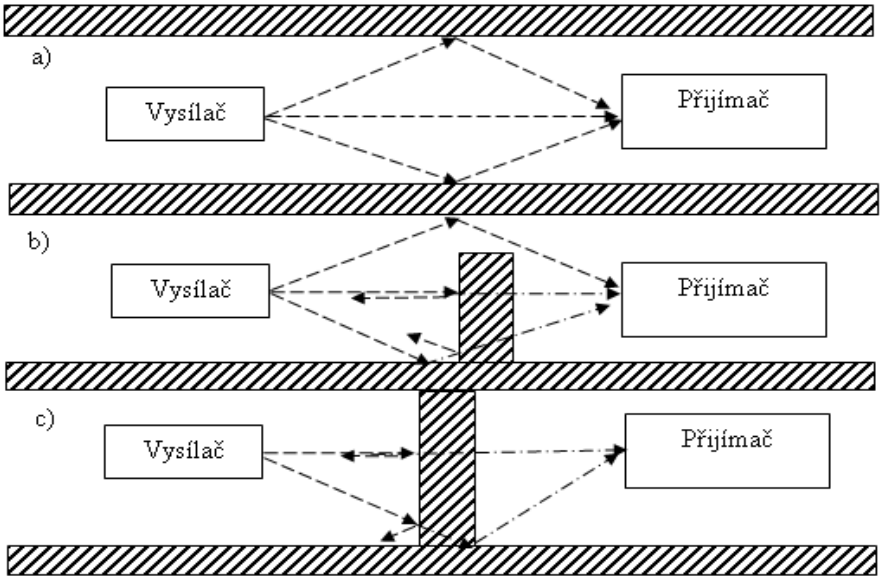
3.2.1 Rušení jinými systémy ve stejném frekvenčním pásmu

Tento problém nastává hlavně v nelicencovaném ISM pásmu, kde mnoho technologií používá stejné frekvenční pásmo. Radiokomunikační služby provozované v těchto pásmech musí strpět škodlivé rušení, které může být způsobeno tímto využíváním [12]. Proto při provozování zařízení v ISM pásmu musíme omezit škodlivé rušení vznikající provozem na minimum a pokud i přesto dochází k rušení, musí uživatel, který přišel později tento problém odstranit. Popis ustanovení pro tyto zařízení pro Českou republiku lze nalézt ve všeobecném oprávnění č. VO-R/10/06.2009-9 k využívání rádiových kmitočtů a k provozování přenosů krátkého dosahu.

3.2.2 Prostorové uspořádání

Nejjednodušší rozdělení je podle toho, zda se mezi vysílačem a přijímačem nachází nějaká překážka (Obr. 17). V prvním případě (a) je mezi přijímačem a vysílačem přímá viditelnost

a zde dochází k útlumu způsobeného průchodem vlnění prostorem a k útlumům vln odrážením se od stropních konstrukcí. Druhý případ (b) znázorňuje přenos, kde není přímá viditelnost mezi vysílačem a přijímačem a signál je šířen odrazy a také průchodem přes překážku. Tento přenos ještě nepředstavuje tak velké komplikace, pokud ovšem nejde o přenos v infračerveném spektru. Třetím případem (c) je přenos výhradně přes překážku, která může fungovat jako stínění a může být reprezentována například železobetonovou stěnou. Zde již nastává problém v úrovni prošlého signálu přes stěnu. Pokud je útlum takový, že úroveň signálu na vstupu přijímače již není dostatečně silná, snižuje se rychlost přenosu a při ještě nižších úrovních už neprojde nic. Toto samozřejmě platí i při přenosech na přímou viditelnost (a,b), kdy s rostoucí vzdáleností vysílače a přijímače klesá úroveň signálu a tedy roste útlum. Hodnotu maximálního možného útlumu, který je přijímač ještě schopen akceptovat nazýváme citlivost přijímače. Podrobný popis průchodu elektromagnetických vln přes stínící překážky (stěny) nalezneme v následující kapitole.



Obr. 16. Prostorové uspořádání mezi vysílačem a přijímačem

3.2.3 Decibely

Před chvílí jsme začali mluvit o útlumech. Vzhledem k tomu, že se s nimi budeme setkávat i v dalších částech práce, tak si definujeme jednotku používanou pro vyjádření velikosti útlumu.

Decibel je logaritmická jednotka podílu dvou hodnot stejné veličiny. Je tedy bezrozměrná a určuje kolikrát je daná hodnota větší než jiná. Pro nás je důležitý poměr mezi výkony, kdy platí

$$G_{dB} = 10.\log\left(\frac{P_2}{P_1}\right).....[dB;W;W] \quad . \tag{1}$$

Pokud je výkon P_2 větší než výkon P_1 mluvíme o zisku na přenosové soustavě. Naopak pokud je tomu obráceně jedná se o ztrátu neboli útlum.

Decibely také slouží k vyjádření útlumu (zisku) vzhledem k referenční veličině P_1. My se v praktické části práce setkáme se vztažnou hodnotou 1mW. Takto získaná hodnota se označuje dBm (decibel nad miliwattem) a tedy platí, že 1mW=0dBm.

3.3 Průchod elektromagnetického vlnění přes stěny

Průchod elektromagnetického vlnění stěnou ovlivňuje hlavně druh a složení materiálu, ze kterého je stěna vystavěna a samotná frekvence vlnění. Nejhorším materiálem pro přenos signálu je železobetonové zdivo a obecně zdivo s výskytem železných armatur, které fungují jako stínící prvek. Nyní se podíváme na problematiku stínění podrobněji.

3.3.1 Charakteristika stínění

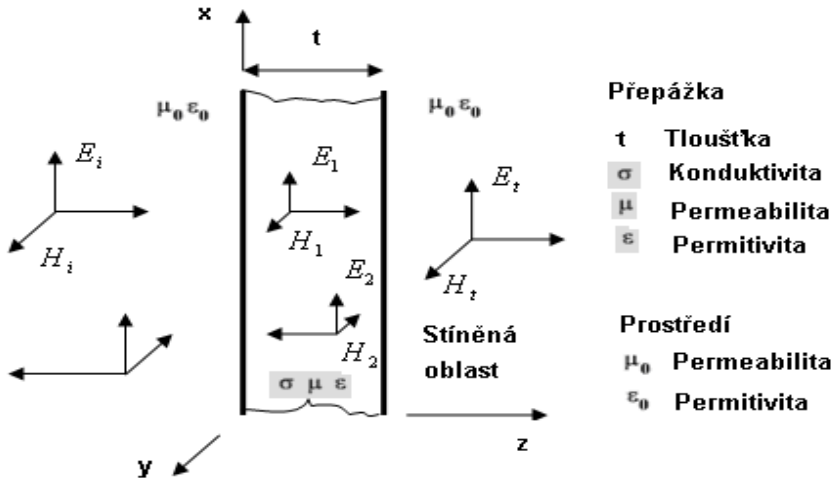
Vliv elektromagnetického stínění charakterizujeme koeficientem stínění K_S, který je roven

$$K_S = \frac{E_t}{E_i} = \frac{H_t}{H_i} \tag{2}$$

kde E_t je intenzita elektrického pole v daném bodě stíněného prostoru a E_i je intenzita elektrického pole dopadajícího na překážku (H_t *a* H_i jsou intenzity magnetického pole) (Obr. 17). Pro normální použití se místo koeficientu stínění používá tzv. efektivnost stínění, která je dána vztahem

$$SE = 20.\log\frac{1}{|K_S|} = 20.\log\left|\frac{E_i}{E_t}\right| \;, \qquad SE = 20.\log\left|\frac{H_i}{H_t}\right|....[dB] \tag{3}$$

Při dopadu homogenní vlny jsou obě definice pro efektivnost stínění stejné a to za předpokladu, že je prostředí na obou stranách konstantní. Při stínění v blízké zóně již toto neplatí a používá se první definice.



Obr. 17. Kolmý dopad rovinné elektromagnetické vlny na kovovou stínící přepážku

Nyní určíme efektivnost stínění pro desku na obrázku (Obr.17), na kterou dopadá kolmá rovinná vlna (osa z). Kolmý dopad představuje nejhorší případ pro stínění. Také uvažujeme, že plocha přepážky je značná a tak nemusíme brát v úvahu děje na jejích okrajích. Abychom byly schopni stanovit efektivnost stínění, musíme stanovit jednotlivé složky vlny, která pronikla do stíněné oblasti a to při známe velikost dopadající vlny E_i, H_i i všech parametrech jak stínící přepážky tak i obklopujícího prostředí. Pomocí Maxvellových rovnic docházíme ke vztahu pro koeficient stínění, ze kterého po úpravách získáváme výraz pro efektivnost stínění

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

kde Z_0 značí charakteristickou impedanci volného prostředí a Z_M charakteristickou impedanci prostředí kovové přepážky. Pro tyto impedance platí

$$Z_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}} = \sqrt{\frac{4\pi.10^{-7}}{8{,}86.10^{-12}}} = 377\Omega \qquad (5) \qquad \text{a} \qquad Z_M = \sqrt{\frac{j\omega\mu}{\sigma}}, \qquad (6)$$

kde γ určuje konstantu šíření rovinné vlny ve vodivém prostředí stínící přepážky.

$$\gamma = \sqrt{j\omega\mu\sigma} = (1+j).\sqrt{\frac{\omega\mu\sigma}{2}} = \alpha + j\beta \qquad (7)$$

3.3.2 Účinnost elektromagnetického stínění

Celková účinnost stínění se skládá ze součtu útlumů způsobených odrazem, absorpcí a mnohanásobnými odrazy. Tedy platí

$$SE = R + A + M .....[dB]. \tag{8}$$

Útlum odrazem R

Vzniká při částečném odrazu energie vlny na impedančním rozhraní mezi vzduchem a kovovou stěnou přepážky a také na výstupu, tedy mezi kovovou stěnou přepážky a vzduchem. Velikost útlumu odrazem je ze vztahu (4) rovna

$$R = 20.\log\left|\frac{(Z_0 + Z_M)^2}{4Z_0 Z_M}\right| = R_1 + R_2 .....[dB] \tag{9}$$

kde R_1 vyjadřuje útlum odrazem mezi prostředím a kovem a R_2 útlum mezi kovem a prostředím (výstup). Pokud je charakteristická impedance prostředí výrazně větší než impedance stínící přepážky, tedy je-li přepážka vyrobena z dobrého vodiče, je útlum odrazem roven

$$R = 20.\log\left|\frac{Z_0}{4Z_M}\right| ....[dB] \quad , \tag{10}$$

a pro R_1, R_2

$$R_1 = 20.\log\left|\frac{Z_0}{2Z_M}\right| , \qquad R_2\, 20.\log\frac{1}{2} = -6dB \tag{11}$$

Zde vidíme, že největší útlum vzniká na rozhraní prostředí-kov a na rozhraní kov- prostředí již má vlna pouze malou část energie. Velikost útlumu odrazem je tak vysoce závislá na vodivosti přepážky a nezávisí na její tloušťce. Tedy i velmi tenká přepážka avšak vysoce vodivá způsobuje značné stínění.

Absorpční útlum A

Vzniká při průchodu vlny stínící překážkou o tloušťce *t* a to pohlcením části její energie, které se mění v teplo. Ze vztahu (4) je velikost tohoto útlumu kovové přepážky rovna

$$A = 20.\log\left|e^{\gamma.t}\right| = 20.\log e^{\alpha.t} = 20,\log e^{\frac{t}{\delta}} ....[dB] \quad , \tag{12}$$

kde δ je hloubka vniku elektromagnetického pole do kovového materiálu a je dána

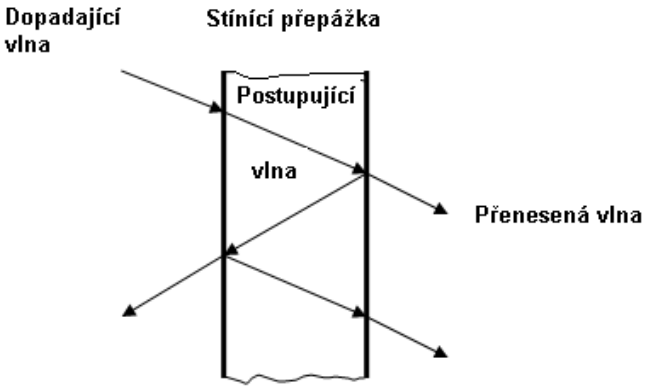
$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega\mu\sigma}} \tag{13}$$

Absorpční útlum je po úpravě (12) roven

$$A = 8{,}69.\frac{t}{\delta}....[dB] \tag{14}$$

Útlum vlivem mnohonásobných odrazů M

Vznik mnohanásobných odrazů můžeme vidět na obrázku (Obr. 18).



Obr. 18. Vznik mnohanásobných odrazů

Ze vztahu (4) lze pro tento útlum určit

$$M = 20.\log\left|1-\left(\frac{Z_0 - Z_M}{Z_0 - Z_M}\right)^2.e^{-2.\gamma.t}\right| = 20.\log\left|1-\left(\frac{Z_0 - Z_M}{Z_0 - Z_M}\right)^2.e^{-\frac{2t}{\delta}}.e^{-\frac{2t}{\delta}}\right|.....[dB] \tag{15}$$

V případě kdy $Z_o >> Z_M$ a $t >> \delta$ jsou mnohanásobné odrazy M rovny nule. V případě kdy $t << \delta$, nabývá útlum M záporných hodnot a tedy snižuje účinnost stínění přepážky.

Celková účinnost stínění

Celková účinnost stínění je především dána útlumem odrazem a absorpčním útlumem přepážky. Pro útlum odrazem platí po dosazení vztahů (5) a (6) do vztahu (10)

$$R = 20.\log\left(\frac{1}{4}\sqrt{\frac{\sigma}{\omega\mu_r\varepsilon_0}}\right)....[dB] \quad . \tag{16}$$

Z tohoto vztahu vyplývá, že útlum odrazem je vyšší pro nízké frekvence a pro značně vodivé kovy. Nemagnetické materiály s permeabilitou okolo 1 mají vyšší útlum oproti elektromagnetickým materiálům s permeabilitou značně vyšší než 1.

Absorpční útlum je vyjádřen vztahem

$$A = 8{,}69.\frac{t}{\delta} = 0.0069.t.\sqrt{\omega\mu_r\sigma}....[dB] \quad . \tag{17}$$

Ze vztahu je zřejmé, že tento útlum roste s druhou mocninou frekvence a nabývá větších hodnot pro materiály s vyšší permeabilitou.

Z posledních uvedených vztahů je zřejmé, že útlum odrazem je výraznější částí účinku stínění a to pro nízké frekvence magnetických i nemagnetických kovových materiálů. Naopak na vyšších frekvencích narůstá absorpční útlum a značně převyšuje útlum odrazem.

3.3.3 Účinnost stínění v blízké zóně elektromagnetického pole

Pokud je vzdálenost zdroje elektromagnetického vlnění od stínící překážky značně menší než vlnová délka ($r << \lambda$), přesněji ($r << \lambda / 2\pi$) tak mluvíme o blízké zóně elektromagnetického pole.

Blízké elektrické pole

Toto blízké pole elementárního elektrického dipólu má charakteristickou impedanci

$$Z_{OE} = \frac{1}{\omega\varepsilon_0 r} = Z_0.\frac{\lambda}{2\pi.r} >> Z_0 \quad , \tag{18}$$

kdy při $\lambda >> 2\pi r$ je její hodnota jednoznačně větší než u impedance homogenní vlny. Proto je elektrický dipól nazýván vysokoimpedančním zdrojem elektromagnetického pole. Absorpční útlum je stejný jako pro vzdálenou zónu (14). Pro útlum odrazem musíme do vztahu (10) dosadit místo impedance Z_0 impedanci Z_{0E} a po úpravě dostaneme vztah

$$R_E \approx 268 + 10.\log\frac{\sigma}{\mu_r\omega^3 r^2}.....[dB] \tag{19}$$

Blízké magnetické pole

Blízké pole magnetického dipólu bývá nazývané jako nízkoimpedanční a jeho velikost je dána

$$Z_{0H} = \omega\mu_{0r} = Z_0 . \frac{2\pi r}{\lambda} << Z_0 \quad . \tag{20}$$

Jak vidíme, tak pro $r << \lambda / 2\pi$ je hodnota impedance Z_{0H} menší než impedance Z_0 a odtud je právě název nízkoimpedanční zdroj elektromagnetického pole. Pro absorpční útlum opět platí vztah (14). Pro útlum odrazem opět dosadíme do vztahu (10) místo impedance Z_0 impedanci Z_{0H} a po úpravě dostaneme vztah

$$R_{_H} \approx -71 + 10.\log \frac{\omega\sigma r^2}{\mu_r} ....[dB] \qquad . \tag{21}$$

[15]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

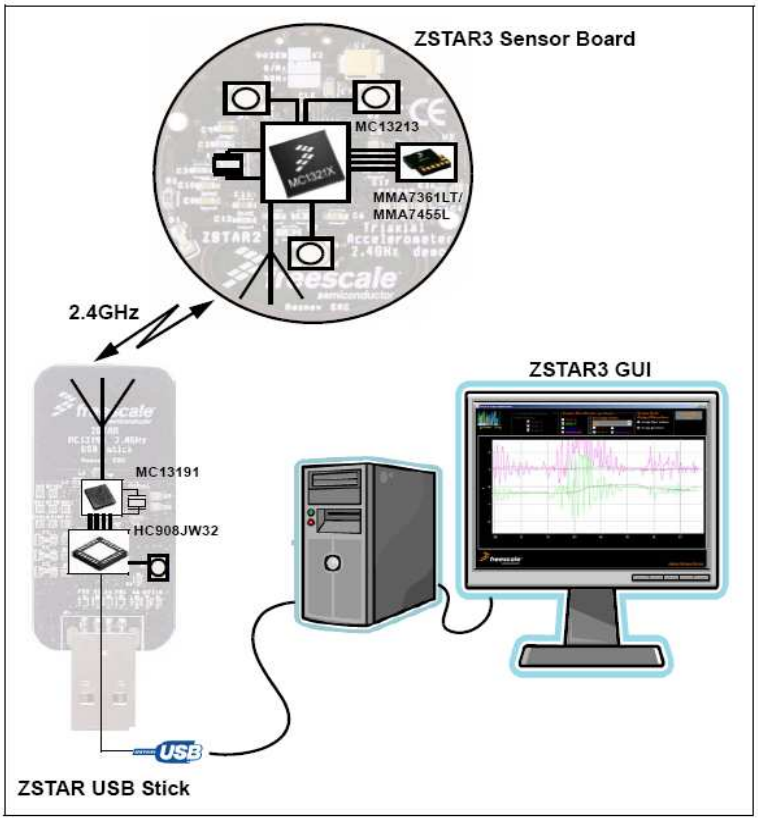
4 MĚŘENÍ PŘENOSU SIGNÁLŮ Z VÝVOJOVÉHO MODULU ZSTAR3

V praktické části jsme provedli měření přenosu signálů z vývojového modulu ZSTAR3. Cílem tohoto měření bylo zjistit ztráty při přenosu signálu v uzavřeném prostoru.

4.1 Vývojový modul ZSTAR3

Byl vytvořen jako referenční návrh pro práci s tříosými akcelerometry od společnosti freescale s přenosem dat na PC. Přenos údajů z akcelerometrů na PC je řešen bezdrátově na radiové frekvenci 2,4 Ghz a to technologií ZigBee.

Vývojový modul ZSTAR3 se skládá ze dvou desek (Obr.19). První vysílací deska (sensor board) slouží k digitálnímu a analogovému snímaní dat z akcelerometrů a k bezdrátovému přenosu těchto údajů na PC. Druhá deska (USB klíčenka) slouží pro příjem dat a snadnému připojení k PC. Obě desky komunikují lehce upraveným softwarovým stackem Simple Media Access Control (SMAC) od freescale.



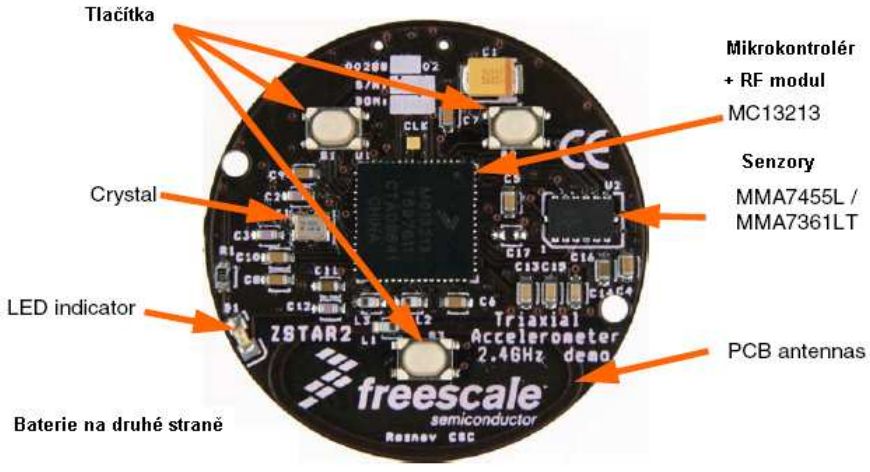
Obr. 19. Blokové schéma modulu ZSTAR3 [16]

Nyní se podíváme na základní vlastnosti modulu ZSTAR3, kterými jsou:

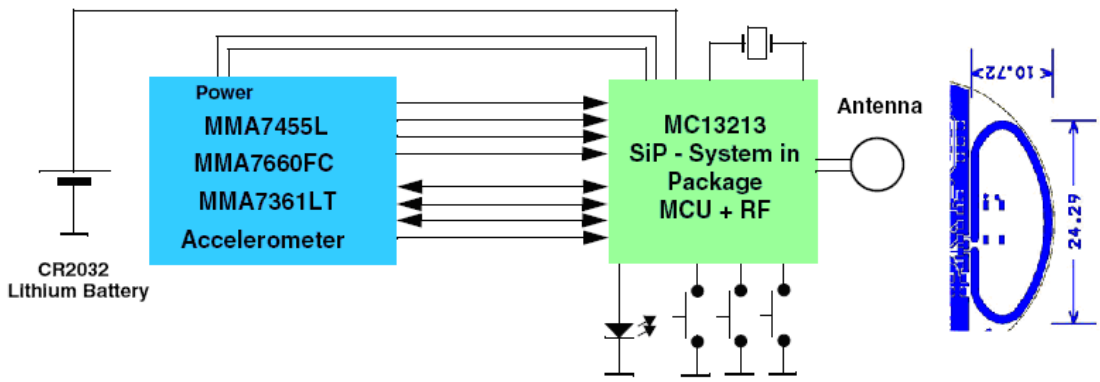
- Snímání zrychlení ve 3 osách
- Zpracování digitálních (MMA7455L, MMA7660FC) a analogových senzorů (MMA7361LT)
- Bezdrátová komunikace mezi deskami v pásmu 2,4GHz
- Podpora až 16-ti vysílacích desek na jeden USB přijímač s hvězdicovou topologií
- Typický dosah 20m, dvě stěny nebo jedno patro.
- 3 tlačítka na vysílací desce
- USB komunikace na straně přijímače
- 8-bit/16-bit pracovní režimy
- Spotřeba v normálním režimu 1,8-3,9mA (rychl. přenosu), spánkový režim 900nA
- Vysílací deska je napájena mincovou baterií CR2032 3 [16]

4.1.1 Vysílací deska

Složení vysílací desky můžeme vidět na obrázku (Obr. 20). Pro nás je z hlediska bezdrátového přenosu důležitý systém v balíčku (SiP) MC 13213, který v sobě zahrnuje mikrokontrolér a RF modul (Obr. 21).



Obr. 20. Vysílací deska ZSTAR3 [16]



Obr. 21. Blokové schéma vysílací desky [16]

Z hlediska našeho měření je pro nás dobré vědět o základních vlastnostech RF modulu integrovaného v MC 13213. Těmito vlastnostmi jsou:

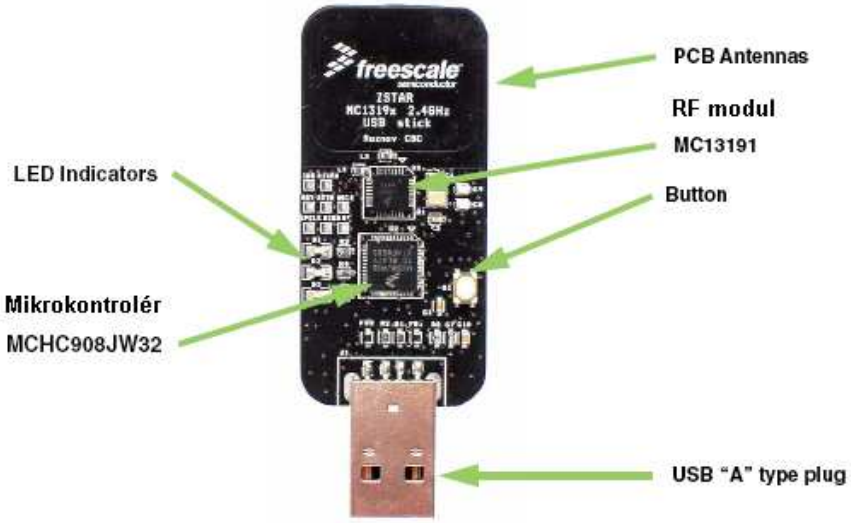
- Pásmo 2,4GHz
- 250 kb / s O-PQSK modulace
- 16 volitelných kanálů
- 0 dBm jmenovitý výstupní výkon
- Programovatelný od -27 dBm do +3 dBm
- Přijímací citlivost -92 dBm na 1% PER
- Integrovaný přepínač příjem/vysílání
- Tři režimy snížení spotřeby energie
- Podporuje streaming a režimy zpracování dat
- Pro SMAC: nároky na paměť <4kB, podpora point-to-point a hvězda.

Zjednodušené blokové schéma řešení MC1321x nalezneme v příloze (PVI). Další informace o vlastnostech jednotlivých komponent vysílací desky lze nalézt v podnikových manuálech na stránkách společnosti freescale. [16]

4.1.2 Přijímací USB deska

Rozmístění jednotlivých komponent přijímací desky můžeme vidět na obrázku (Obr. 22). RF modul a mikrokontrolér nejsou již spojeny do jednoho prvku. Jako RF modul slouží

MC13191, jehož vlastnosti jsou obdobné jako u MC13213. Zjednodušení blokové schéma řešení MC13191 nalezneme v příloze (PVII).



Obr. 22. Přijímací deska [16]

4.2 Obecný postup měření

Před samotným měřením jsme si nahráli do notebooku uživatelské rozhraní ZSTAR3 GUI volně dostupné ze stránek společnosti Freescale. Poté jsme na notebook připojily USB přijímač a za pomoci přiloženého CD jsme ho nastavili a mohly jsme začít s měřením.

Pro lepší orientaci budeme dále pro vysílač (senzorovou desku) používat pojem Senzor, který je shodný s pojmem uvedeným v uživatelském rozhraní. Přijímači USB ponecháme stejné znění.

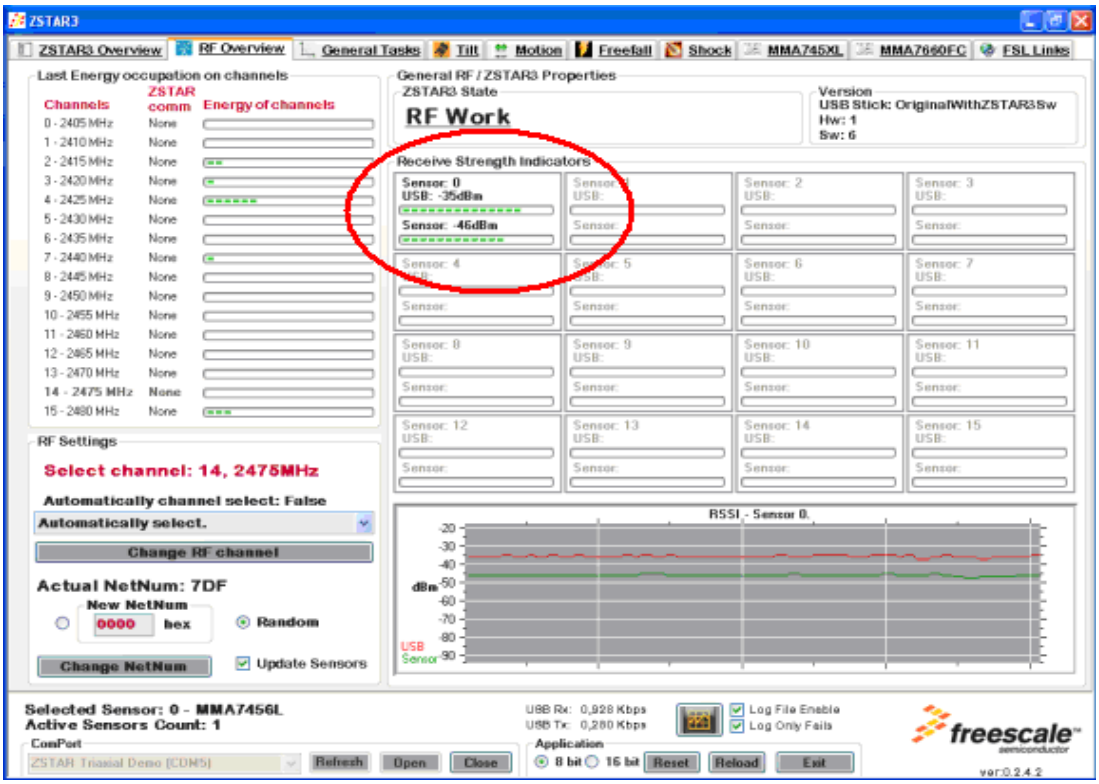
Všechna prováděná měření měla společný postup, který se skládal z:

- Umístění USB přijímače na statické místo
- Navázání spojení mezi senzorem a USB přijímačem
- Umístění USB přijímače na měřící bod
- Odečítání údajů z uživatelského rozhraní
- Změna polohy senzoru

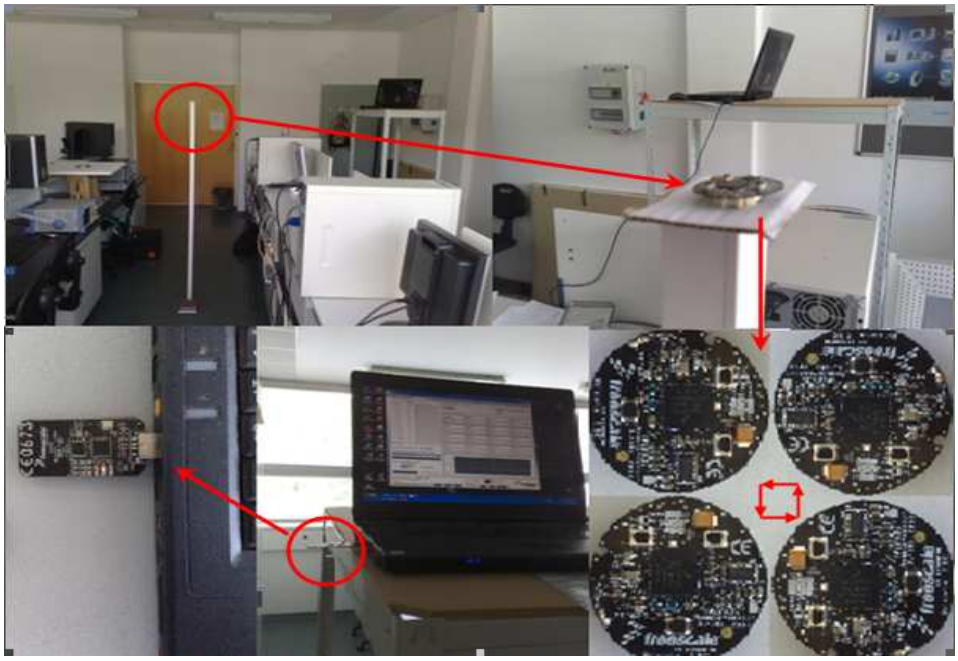
Při měření jsme vždy zvolili USB přijímač jako statický bod (Obr. 24), se kterým nebylo po celou dobu jednotlivých měření manipulováno. Spojení jsme navázali vložením baterie do senzoru. V případě, že při měření došlo ke ztrátě signálu na delší dobu, musely jsme senzor opětovně spustit stiskem spodního tlačítka. Po navázání spojení jsme umístily senzor na požadovaný měřící bod a začali jsme odečítat údaje z uživatelského rozhraní běžícího na notebooku (Obr. 23).

Odečítanými údaji je přijímací síla signálu od senzoru k USB přijímači a přijímací síla signálu od USB přijímače k senzoru. Vzhledem k tomu, že vysílací výkony senzoru i USB přijímače jsou 1mW, tak zobrazené hodnoty v jednotkách -dBm můžeme přímo brát jako hodnoty útlumu v decibelech (-50dBm= 50dB).

V každém měřícím bodě jsme provedli měření pro postupné otáčení senzoru po 90° kolem své osy (Obr. 24). Tedy byly provedeny čtyři měření pro různé natočení vysílací antény vzhledem k USB přijímači, přičemž pro každé toto natočení jsme provedli pět opakovaných měření. Všechny naměřené hodnoty byly zapisovány a posléze vyhodnoceny. Všechny vyhodnocené hodnoty byly zaokrouhlovány na celé čísla.



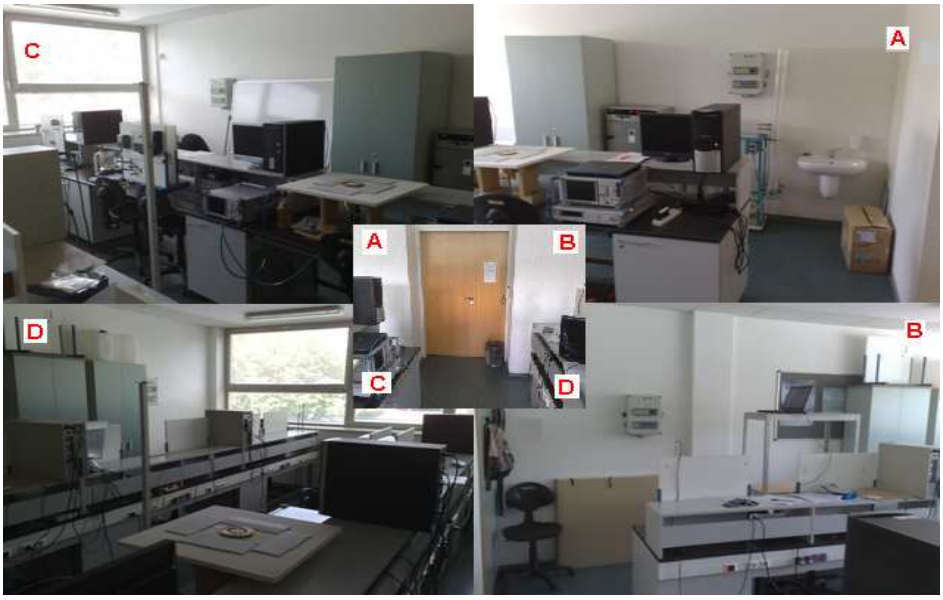
Obr. 23. Odečítání údajů z uživatelského rozhraní



Obr. 24. Umístění vysílače na měřícím bodu 18 + statické umístění přijímače

4.3 Měření útlumů v místnosti C306

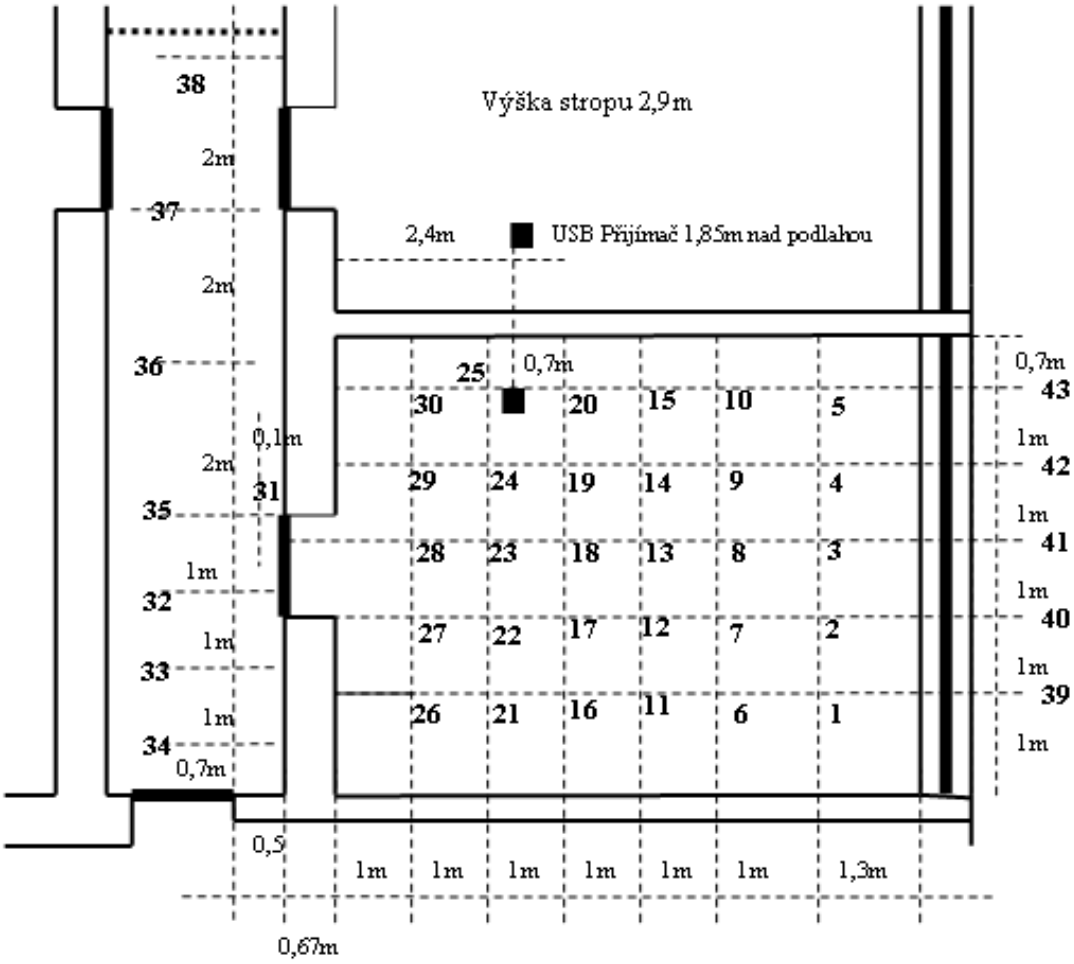
První měření bylo provedeno v místnosti C306 nacházející se v budově U5, jejíž stavební parametry nalezneme v příloze (P I) a uspořádání místnosti můžeme vidět na obrázku (Obr. 25). Místnost slouží jako laboratoř a nachází se zde množství elektronických zařízení, které byly během měření vypnuty.



Obr. 25. Upořádání místnosti C306

Cílem měření bylo popsat tuto místnost z hlediska velikosti útlumu vzniklého na přenosové trase (path loss) a to v jejich jednotlivých částech. Z tohoto důvodu jsme si vytvořili síť se 30 měřícími body uvnitř místnosti, kterou můžeme vidět na obrázku (Obr. 26). Kromě těchto bodů byla síť doplněna o dalších 8 měřících bodů nacházejících se na chodbě a 5 bodů umístěných za oknem. Body nacházející se vně místnosti sloužily k zmapování dosahu přenosu přes stavební konstrukce jako jsou okna, dveře nebo zdi. Všechny body se nacházely ve výšce 185cm a to z důvodu přímé viditelnosti mezi senzorem a USB přijímačem.

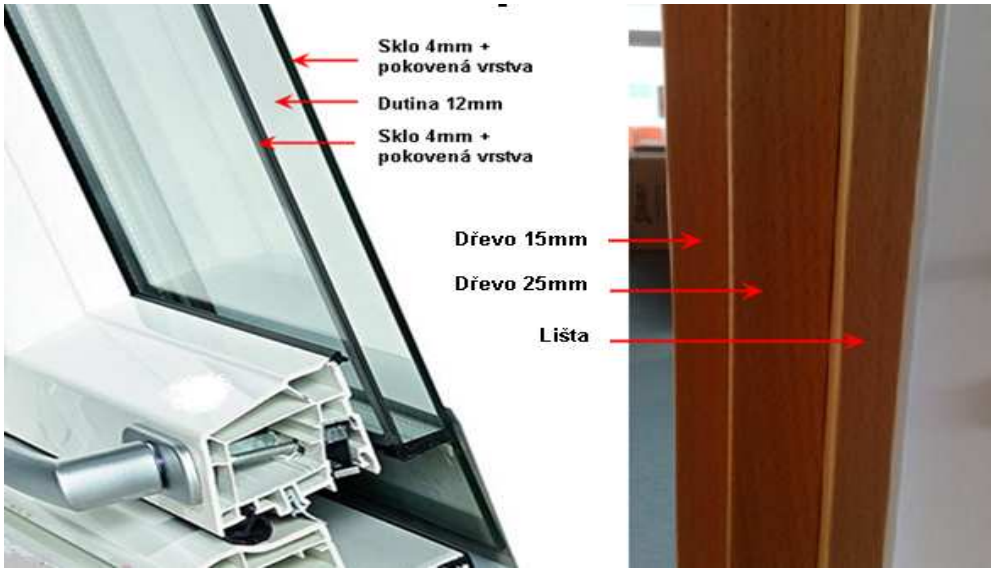
Naměřené hodnoty pro každý z 43 měřících bodů nalezneme v příloze (P II). Zde také nalezneme průměrné hodnoty pro každý bod i s odchylkami.



Obr. 26. Měřící síť pro místnost C306

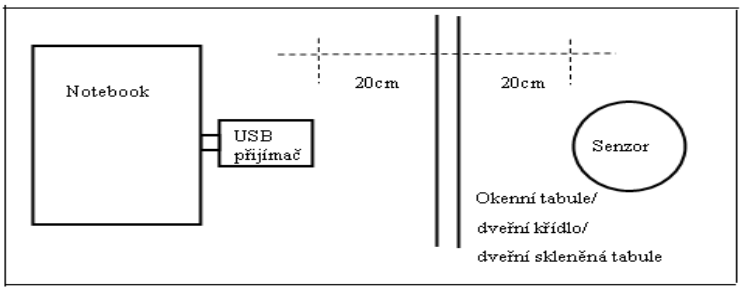
4.3.1 Útlum okenní tabule a dveří

Vzhledem k tomu, že jsme v prvním měření umístily několik měřících bodů mimo místnost C306, tak jsme se pokusili změřit útlum signálu vlivem průchodu prosklenými částmi oken a také dveřmi, které spojující tuto místnost s chodbou. Řez okenní tabulí a dveřmi můžeme vidět na obrázku (Obr. 27).



Obr. 27. Řez okenní tabulí a dveřmi v místnosti C306

Měření bylo provedeno uprostřed skleněné tabule a dveřního křídla. Umístění komponentů u obou měření bylo konstantní a můžeme ho vidět na obrázku (Obr. 28). Při tomto měření bylo nejprve provedeno naměření hodnot přes překážku (skleněná tabule, dveřní křídlo) a poté bylo provedeno měření bez těchto překážek. Rozdílem těchto hodnot jsme zjistili přibližný útlum způsobený průchodem těmito překážkami. Naměřené hodnoty najdeme v příloze (P III).



Obr. 28. Umístění komponent při měření útlumu prvků

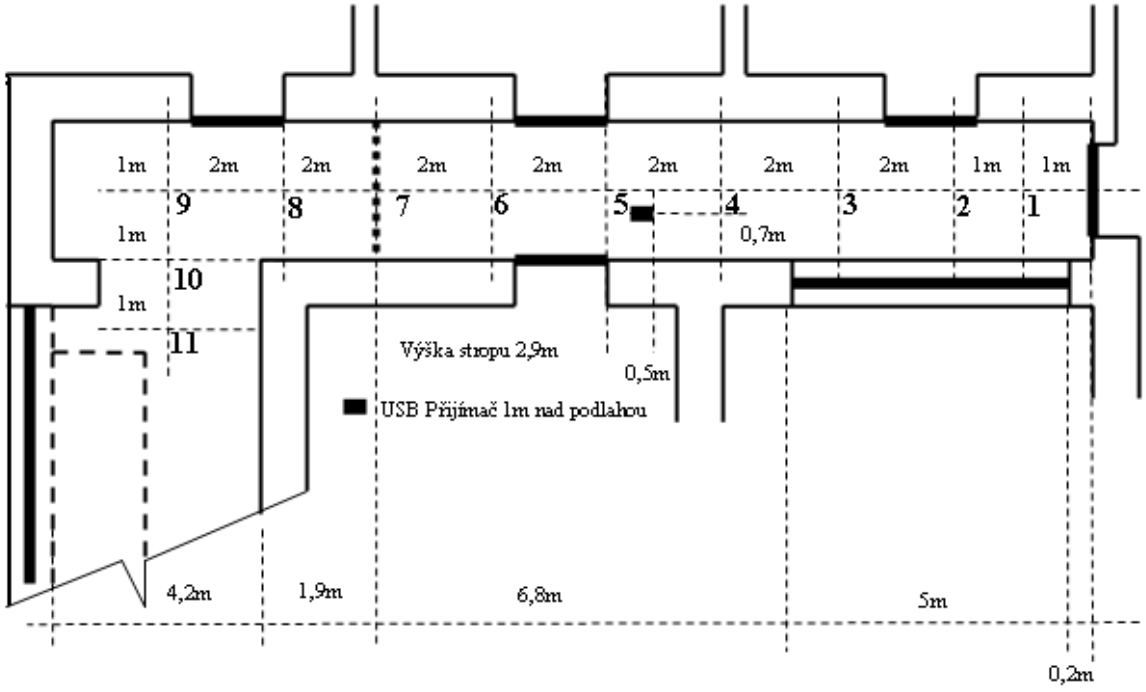
4.4 Měření útlumů na chodbě

Další měření proběhlo na chodbě u místnosti C306. Uspořádání chodby můžeme vidět na obrázku (Obr. 29) a konstrukční rozměry jsou uvedeny na obrázku (Obr. 30).

Cíle měření byly stejné jako u předchozího měření. Měřící síť se skládala z 11 měřících bodů, které můžeme vidět na obrázku (Obr. 30). Všechny měřící body se nacházely v konstantní výšce jednoho metru. Body 8 až 11 se nacházely za úrovní protipožárních dveří, které byly v průběhu měření zavřeny. Pro srovnání s měřením útlumu skleněné výplně protipožárních dveří jsme u bodů 8 až 11 provedli navíc měření i s otevřenými dveřmi. Statické umístění USB přijímače můžeme opět nalézt na obrázku (Obr. 29, 30).

Obr. 29. Uspořádání chodby

Naměřené hodnoty pro jednotlivé měřící body se zavřenými dveřmi nalezneme v příloze (P IV). Zde rovněž nalezneme průměrné hodnoty pro každý bod.



Obr. 30. Měřící síť pro chodbu

4.4.1 Útlum dveřní skleněné tabule

Z důvodu zavření protipožárních dveří v průběhu měření jsme přistoupili k pokusu změřit útlum dveřního proskleného křídla respektive dveřní skleněné tabule. Protipožární dveře (Obr. 29) rozdělují chodbu po celé její šířce a výšce. Dveřní prosklené tabule obsahují drátěné čtverečky o velikosti 1,3cm a tloušťce drátu 0,8mm. Rámy pro usazení skleněných tabulí mají tloušťku 5cm, šířku a výšku 10cm a jsou vyrobeny z kovového materiálu.

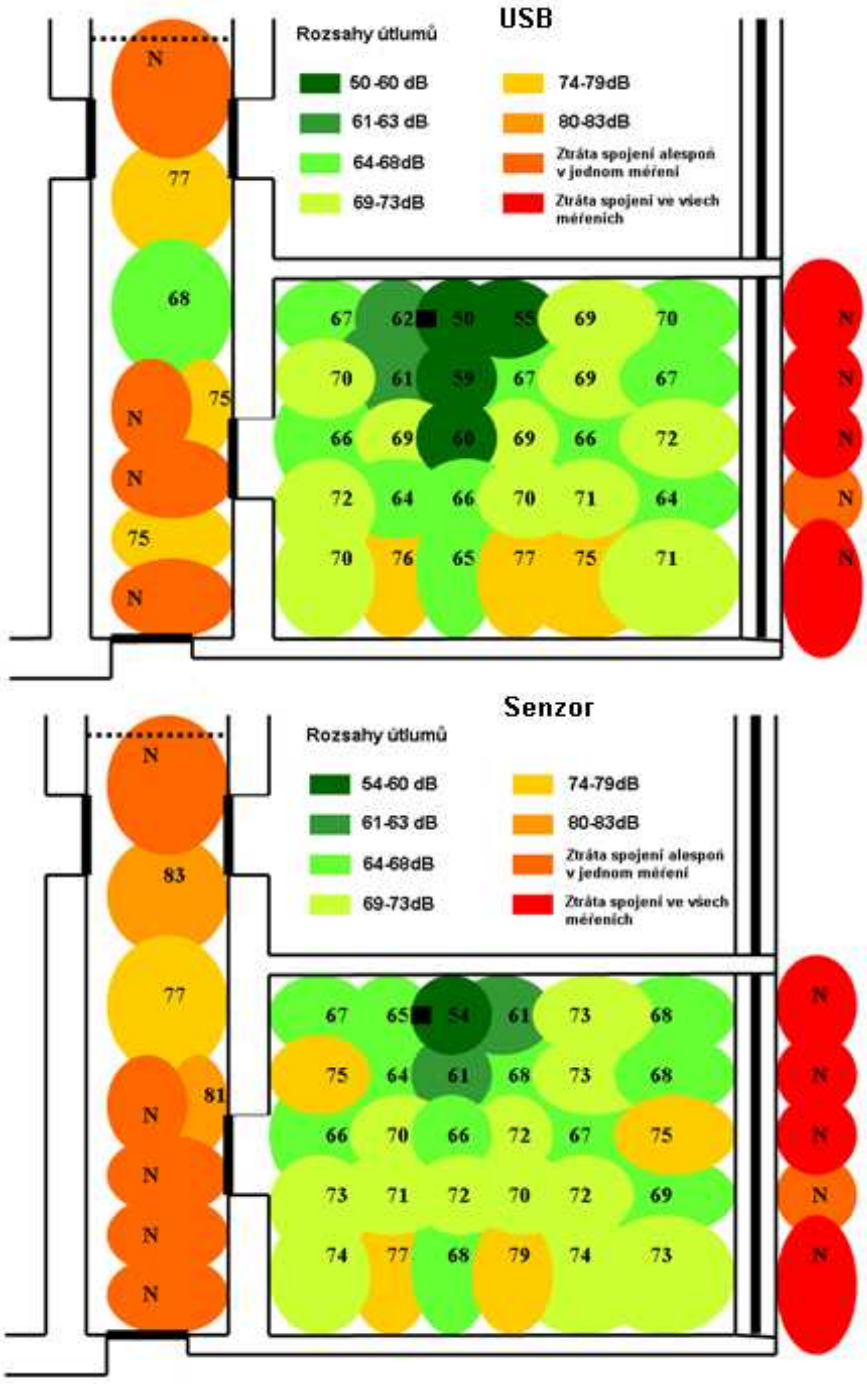
Umístění měřících komponent nalezneme na obrázku (Obr. 28). Měření probíhalo opět stejně jako při měření útlumu okenní tabule a dveřního křídla. Naměřené hodnoty nalezneme v příloze (P V).

Pro srovnání naměřené hodnoty útlumu této skleněné tabule jsme využili hodnot z měřících bodů 8 až 11, které jsme odečetli od stejných bodů, ale naměřených s otevřenými dveřmi. Tyto naměřené hodnoty nalezneme v příloze (P V).

5 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ

5.1 Útlumy v místnosti C306

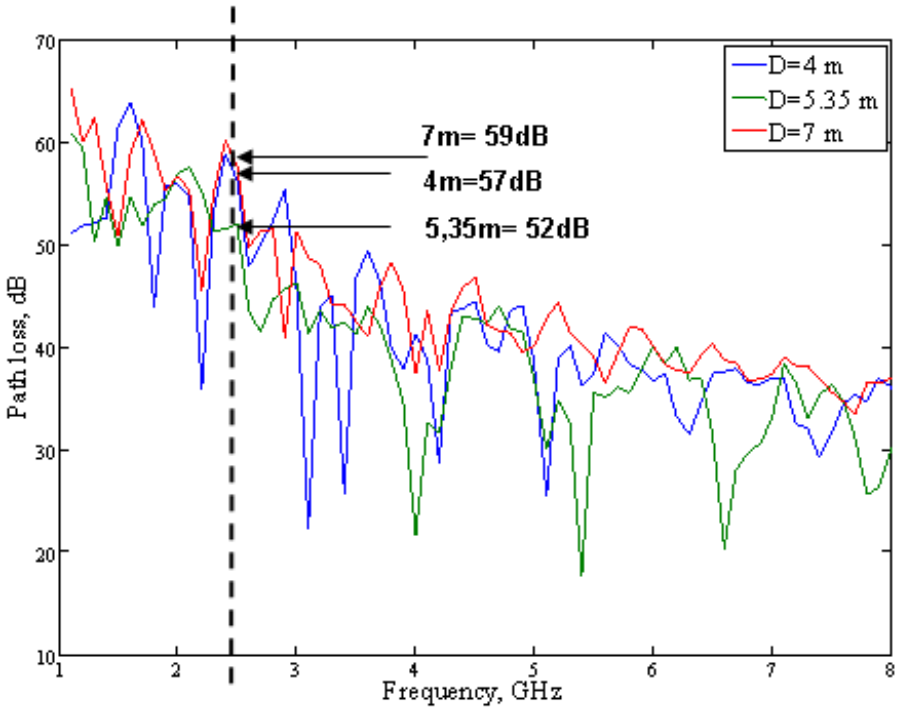
Na obrázku (Obr. 31) vidíme velikosti útlumů pro jednotlivé měřící body. Tyto hodnoty znázorňují útlumy způsobené přenosovou cestou (Path loss). Jednotlivé velikosti útlumů jsme vypočítali jako průměrnou hodnotu jednotlivých natočení senzoru.



Obr. 31. Útlumy v místnosti C 306

Ze zobrazených hodnot je patrné, že hodnoty útlumů pro USB se pohybují průměrně na úrovni okolo 2 decibelů nižší než u senzoru. Výraznější odchylky útlumů v místnosti lze pozorovat na měřících bodech 17, 18 a 22, kde je hodnota útlumu u senzoru v průměru o více než 6 decibelů větší oproti USB. Tyto body se nacházejí vedle sebe a pokud si vyhledáme jednotlivé naměřené hodnoty pro tyto body tak zjistíme, že při natočení senzoru směrem ke zdi s tabulí je rozdíl mezi útlumem senzoru a útlumem USB větší než 10 decibelů. Pokud se podíváme na dispozici místnosti (Obr. 25) tak vydedukujeme, že je to zřejmě zapůsobeno skříní, která přesahuje svojí výškou úroveň umístění měřících bodů a tím při vysílání signálu ze senzoru absorbuje část vyslané energie. Podobně tomu tak je i v měřícím bodě 15.

Naměřené hodnoty útlumů přenosové cesty můžeme porovnat s hodnotami naměřenými v této místnosti v rámci disertační práce studenta Tumenbayar Lkhagvatseren na téma Aspects of signal conditioning and wireless communication for sensore, která v průběhu tohoto uvedení ještě nebyla dokončena.. Z grafu (Obr. 32) jsme odvodili hodnoty útlumů pro signál o frekvenci 2,4 GHz. Tyto hodnoty oproti naším jsou v průměru o 13 decibelů menší. Toto je ale zkresleno postupem měření, kdy my uvádíme úrovně útlumů s nasměrováním antény do všech směrů, přičemž kolegovo měření bylo prováděno pro nasměrování vysílače a přijímače přímo proti sobě.



Obr. 32. Hodnoty Path loss v závislosti na frekvenci

Jako příklad podobných hodnot lze například uvést hodnotu při nasměrování antény senzoru směrem k USB přijímači v měřícím bodě 4d, kdy hodnota útlumu nabývá 55dB pro USB a 57dB pro senzor. Vzdálenost mezi tímto měřícím bodem a USB přijímačem je 4m. Tato hodnota je srovnatelná s hodnotou uváděnou v grafu.

Nyní se podíváme na hodnoty útlumů mezi místností a chodbou. Tyto rozdíly jednoznačně hovoří ve prospěch USB. Je to způsobeno rozdílnými pozicemi vysílačů (senzorového a USB) v závislosti ke stavební dispozici. Z obrázku je zřejmé, že v bodě 36 je útlum nejmenší. Vzhledem k umístění tohoto bodu vůči přijímači můžeme konstatovat, že zeď samotná příliš velké nebezpečí z hlediska ztrát nepředstavuje. Body 31-35 již naznačují, že zde dochází k výraznějšímu stínění, které je zřejmě způsobeno mohutnými železnými rámy dveří, protože jak se dozvíme dále, tak samotné dveře nebezpečí stínění vylučují.

Velikosti útlumů v bodech nacházejících se vně místnosti za oknem již nebylo možné změřit z důvodu ztráty signálu.

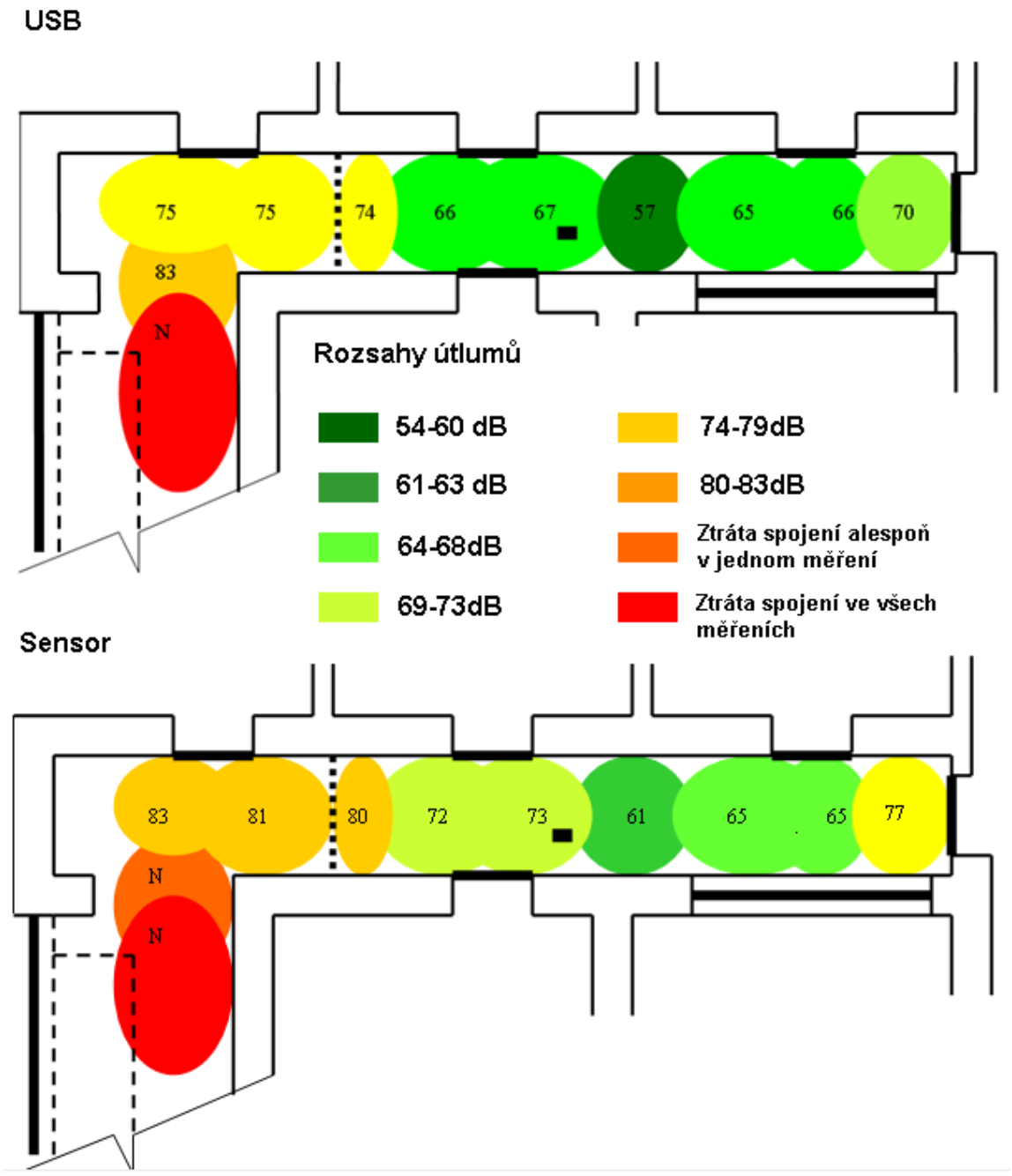
5.1.1 Útlum okenní tabule a dveří

Z naměřených hodnot pro dveřní křídlo vyplynulo, že průměrný útlum se pohybuje okolo 0,5 decibelu. Tento výsledek nebyl překvapivý, protože skladba dveří byla tvořena pouze dřevěným materiálem.

Zajímavější zjištění bylo u okenního rámu, u kterého vyšla hodnota útlumu 30 decibelů. Takto vysoká hodnota byla hlavně způsobena dvojskly s pokovenou vrstvou. Právě vysoký útlum okenní tabule způsobil u měření v místnosti C 306 ztrátu signálu za okny.

5.2 Útlumy na chodbě

Srovnání útlumů mezi senzorem a USB vidíme na obrázku (Obr. 33). Můžeme opět pozorovat menší útlum u přenosu z USB průměrně o 6 decibelů. Pouze u bodů 2 a 3 můžeme pozorovat téměř totožné hodnoty. Zajímavé jsou hodnoty naměřené u bodů nacházejících se za protipožárními dveřmi. Tyto hodnoty jsou prakticky totožné s hodnotami naměřenými těsně před dveřmi, ale již výrazně odlišné s hodnotami naměřenými déle ode dveří a blíže k USB přijímači. Za úrovní hrany stěny (rohu) již došlo ke ztrátě signálu.



Obr. 33. Útlumy na chodbě

5.2.1 Útlum dveřní skleněné tabule

Z naměřených hodnot vyplynulo, že útlum dveřní skleněné tabule je 5 decibelů. Jako porovnávací hodnotu jsme zvolili rozdíl hodnot bodů 8 až 11 naměřených při zavřených dveřích a odečetli jsme od nich hodnoty identických bodů ovšem s otevřenými dveřmi. Tyto výpočty nalezneme v příloze (P V). Tento útlum nám vyšel okolo 6-ti decibelů.

Porovnání těchto dvou hodnot nám tedy vyšlo velice dobře a hodnotu 1 decibelu rozdílu můžeme navíc ospravedlnit kovovými rámy spojující jednotlivé skleněné tabule.

6 PROJEKTOVÁNÍ BEZDRÁTOVÉHO SPOJENÍ

V této kapitole se podíváme na problematiku projektování bezdrátového spojení. Konkrétně se podíváme na projektování bezdrátového spojení pro zabezpečovací systémy, avšak popis je použitelný i obecně. Důvodem vybrání těchto systémů je studovaný obor s názvem Bezpečnostní Technologie Systémy a Management.

Při použití bezdrátového spojení se musíme zaměřit na vlivy náhodných či úmyslných radiových přenosů, které používají stejnou frekvenci a způsob modulace jako používá samotný zabezpečovací systém. Tyto parazitní přenosy mohou způsobit vyvolání falešných poplachů, stavů poruch nebo znemožnění správné funkce spojení.

6.1 Faktory pro posouzení bezdrátového spojení

Jednotlivé faktory posuzujeme v rámci technické prověrky objektu, která slouží jako potvrzení návrhu projektu. V případě nalezení problému musíme tyto problémy odstranit, pokud to není možné, tak přistupujeme k přepracování návrhu projektu. V případě nenalezení nesrovnalostí můžeme návrh projektu odsouhlasit.

Faktory, které musíme při použití bezdrátového spojení posoudit jsou:

- Umístění antén, které zajistí spolehlivou komunikaci s ostatními systémovými komponenty.
- Možnost rušení přenosových tras i samotných prvků systému jinými vysokofrekvenčními zařízeními.
- Vliv stínících překážek v přenosovém prostoru.
- Blízkost kovových stínících předmětů u antén jednotlivých prvků. [17]

Většina výrobců bezdrátových snímačů uvádí dosah spojení na přímou viditelnost. Ovšem přímá viditelnost v budovách je až na výjimky pouze snem. Jak jsme zjistili při měření na modulu ZSTAR3, tak na přenosových trasách dochází k útlumům. Tyto útlumy jsou způsobeny stínícími prvky, které mohou reprezentovat stavební konstrukce a nejrůznější překážky v místnostech (kapitola 3.2). Z toho důvodu je důležité ověřit dosah signálu přímo na určených místech.

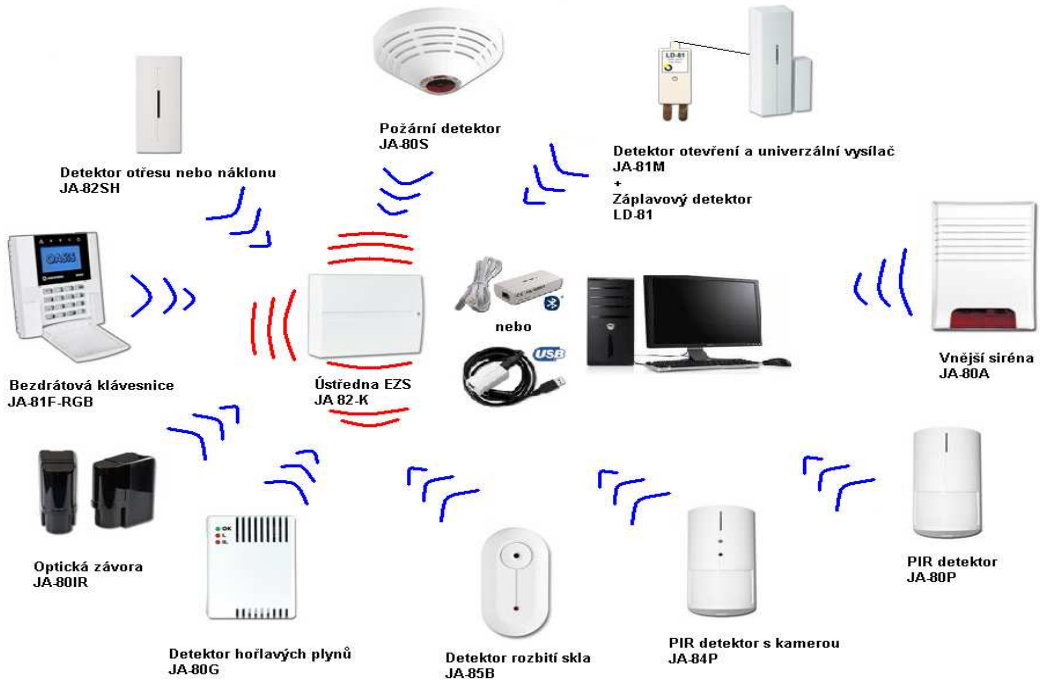
6.2 Bezdrátové zabezpečovací systémy

Primárně jsou určeny k ochraně majetku a osob. Velká výhoda oproti drátovým systémům spočívá v snadné a rychlé výstavbě bez nutnosti stavebních zásahů spojených s rozvody kabeláže.

Pro přenosy se nejčastěji využívá pásem 433 MHz a 868 MHz. Jednotlivé snímače vysílají provozní a stavové informace na centrální jednotku. Centrální jednotku v poplachových aplikacích reprezentují ústředny EZS, EPS nebo ústředny integrující více poplachových i nepoplachových aplikací. Ústředny se dále mohou připojit k PC pro správu systému pomocí uživatelských programů. V případě poplachových hlášení může ústředna předávat tyto informace na jednotky PCO nebo přímo uživateli. Pro bezdrátové spojení s PCO (uživatelem) nejčastěji slouží GSM moduly připojené k ústředně.

6.2.1 Bezdrátový systém OASIS 868

Jako příklad uvádím bezdrátový zabezpečovací systém OASIS 868 MHz od České společnosti Jablotron. Systém je určen k zabezpečení obytných prostor, obchodů, skladů, dílen apod. Použitím nejrůznějších druhů snímačů můžeme detekovat vloupání, požár, zatopení, přehřátí atd. Tento systém můžeme také použít pro domovní automatizaci. Ukázky použitelných detektorů můžeme vidět na obrázku (Obr. 34). [18]



Obr. 34. Systém OASIS 868 MHz od společnosti Jablotron

Přenos u tohoto systému probíhá v ISM pásmu 868 MHZ za použití firemního protokolu Oasis. Všechny vysílací prvky splňují podmínky pro všeobecné oprávnění, se kterými jsme se setkali v kapitole 3.2.1. Většina uvedených detektorů na obrázku (Obr. 34) má uvedený dosah na vzdálenost 300m při přímé viditelnosti.

ZÁVĚR

Teoretická část seznamuje čtenáře s rozdělením bezdrátové komunikace mezi snímači a centrální jednotkou. Pro každou skupinu jsme popsali několik přenosových řešení, které se v dnešní době hojně využívají v průmyslovém odvětví. Pro jednotlivá řešení jsme definovali nejdůležitější klady a zápory.

Také jsme se snažili uvést čtenáře do problematiky šíření RF signálů v uzavřených prostorech. Značná část byly věnována problematice elektromagnetického stínění. Na problematiku stínění jsme narazili v praktické části při provádění měření na vývojovém modulu ZSTAR3.

Měření a následné vyhodnocování výsledků nás zavedlo do problematiky útlumu signálu uvnitř budov. Z výsledků měření nám vyplynulo, že šíření v místnosti nepředstavuje velký problém. Naopak šíření přes stavební konstrukce již ano. Provedli jsme měření útlumu několika stavebních prvků. Velký problém představoval přenos přes okenní tabuli. Tato tabule byla vyrobena ze skla s pokovenou vrstvou. Zde jsme naměřili značnou hodnotu útlumu, která výrazně ovlivnila přenos signálu. Toto měření potvrdili fakt , že i velmi tenký povlak z dobře vodivého materiálu může fungovat jako účinné stínění.

Vyhodnocení výsledků měření jsme využili v závěrečné části práce. V ní jsme popsali faktory, které musíme brát v úvahu při projektování bezdrátových propojení.

ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ

Theoretical part introduces the reader to the distribution of wireless communication between sensors and central unit. For each group we described a number of transmission solutions which are nowadays widely used in industry. For each solution we have defined the most important pros and cons.

We also tried to introduce readers to the problems of the spread of RF signals in confined spaces. A large part has been paid to the electromagnetic shielding. On the problems shielding we encountered in the practical part in making measurements on the module ZSTAR3.

Measurement and subsequent evaluation of the results has led us to the issue of attenuation signal inside buildings. The results showed that the spread in the room is not big problem of. Dissemination over building structure already yes. We performed measurements of attenuation at several construction elements. The problem occurred at the window pane. This board was made of glass with a metal coated. Here, we measured a significant amount of attenuation, which significantly affected the signal. These measurements confirm the fact that a very thin coating of good conductive material can act as an effective shielding.

Evaluation of results of measurements were used in the final part. In this part we describe the factors to be taken into account when designing wireless links.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

[1] HRUŠKA, František. *Projektování řídicích a informačních systémů*. první. Zlín : Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2010. 176 s. ISBN 978-80-7318-979-2.

[2] PUŽMANOVÁ, Rita. *Moderní komunikační sítě : od A do Z*. první. Praha : Computer Press, 1998. 446 s. ISBN 80-7226-098-7.

[3] File:Osi-model-jb.png. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, [cit. 2011-05-15]. Dostupné z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Osi-model-jb.png>.

[4] *Freescale.com* [online]. 2009 [cit. 2011-05-10]. ZSTAR3 Accelerometer Family Expansion. Dostupné z WWW: <http://www.freescale.com/files/sensors/doc/fact_sheet/ZSTAR3BOARDFS.pdf?fpsp=1>.

[5] *ICP.DAS USA* [online]. 2011 [cit. 2011-05-15]. M2M Applications. Dostupné z WWW: <http://m2m.icpdas-usa.com/factorywireless.php>.

[6] HRUŠKA,F. *Technické prostředky informatiky a automatizace*. Učební texty. 1.vyd. Zlín: UTB ve Zlíně, duben 2007, s.193. ISBN 978-80-7318-535-0.

[7] TUMANSKI, S. *Principles of electrical measurement*. Boca Raton : Taylor & Francis, 2006. 472 s. ISBN 0-7503-1038-3.

[8] *HART Communication Foundation* [online]. 2011 [cit. 2011-05-16]. Wireless HART - How it works. Dostupné z WWW: <http://www.hartcomm.org/protocol/wihart/wireless_how_it_works.html>.

[9] *ISA* [online]. 2011 [cit. 2011-05-16]. ISA-100.11a-2009 . Dostupné z WWW: <http://www.isa.org/Template.cfm?Section=Standards2&template=/Ecommerce/ProductDisplay.cfm&ProductID=10766>.

[10] BOURKE, Tïm. ISA 100.11a zcela odstraňuje potřebu standardu WirelessHART. *AUTOMA* [online]. 2007, 2010, 7, [cit. 2011-05-16]. Dostupný z WWW: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/41653.pdf>.

[11] VACULÍK, Jan. Ultrazvukový hladinoměr s bezdrátovým přenosem – BHV Echo 111. *AUTOMA* [online]. 2010, 7, [cit. 2011-05-16]. Dostupný z WWW: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/41669.pdf>.

[12] *Vyhláška č.105/2010 o plánu přidělení kmitočtových pásem (národní kmitočtová tabulka).*

[13] MAZÁNEK, Miloš; PECHAČ, Pavel. *Šíření elektromagnetických vln a antény*. Praha : ČVUT, 2005. 259 s. ISBN 80-01-03032-6.

[14] ZANDL, Patrick. *Bezdrátové sítě WiFi : Praktický průvodce*. první. Brno : Computer Press, 2003. 181 s. ISBN 80-7226-632-2.

[15] SVAČINA, Jiří. *Elektromagnetická kompatibilita : Principy a metody*. první. Brno : VUT v Brno, 2001. 156 s. ISBN 80-214-1873-7.

[16] *Freescale.com* [online]. 2009 [cit. 2011-05-24]. DRM103 Designer Reference Manual. Dostupné z WWW: <http://cache.freescale.com/files/microcontrollers/doc/ref_manual/ZSTAR3RM.pdf?fpsp=1>.

[17] HOLAS, Milan; JERAČKA, Zdeněk . *Jablotron.cz* [online]. 2001 [cit. 2011-05-25]. Podniková norma PN 131-7. Dostupné z WWW: <http://www.jablotron.cz/upload/File/pnj131-7.pdf>.

[18] *Jablotron.cz* [online]. 2010 [cit. 2011-05-25]. Zabezpečení objektů - systém OASiS. Dostupné z WWW: <http://zabezpeceni-objektu.jablotron.cz/>.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

ISA	The International Society of Automation
HART	Highway Addressable Repote Transducer.
MAC	Media Access Control
FHSS	Frequency Hopping Spread Spectrum
DSSS	Direkt Sequence Spread Spectrum
OFDM	Orthogonal Freguency Division Multiplex
CSMA/CA	Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance
OSI	Open Systéme Interconnection
SIA	Systém Informatiky a Automatizace
IrDa	Infrared Data association
PAN	Personal Area Network
LAN	Local Area Network
MAN	Metropolitan Area Network
WAN	Wide Area Network
IPC	Indrustial Personal Computer
PLC	Programmable Computing Controller
USB	Universal Serial Bus
GSM	Groupe Speciál Mobile
GPRS	General Packet Radio Service
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
W-CDMA	Wideband Code Division Multiple Access
TDMA	Time Division Multiple Access
EIB	European Installation Bus

ISM	Industrial, Scientific and Medical
ITU	International Telecommunication Union
IEEE	The Institute of Electrical and Electronics Engineers
AES	Advanced Encryption Standard
BPSK	Bojary Phase Shift Keying
O-QPSK	Offset-Quadrature Phase Shift Keying
PCB	Printed circuit board
PCO	Pult centrální ochrany
EPS	Elektrická požární signalizace

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Schéma propojení jednotlivých úrovní komunikace v SIA [1] ……...……12

Obr. 2. Blokové schéma inteligentního snímače …….13

Obr. 3. Schéma signálních propojení ze snímačů [1] ……..14

Obr. 4. Referenční model OSI [3] …….....15

Obr. 5. Příklad hvězdicovou topologie v provedení ZigBee modulu ZSTAR3 [4] ….....17

Obr. 6. ZigBee konvertor ZB-2571 od společnosti ICP DAS [5] ……....…..18

Obr. 7. Průmyslové moduly Bluetooth 2.1+ EDR ……..……...….18

Obr. 8. Rozprostřená síť [7] ……20

Obr. 9. Přenos dat přes IrDA rozhraní [7] ……...…21

Obr. 10. Síť WirelessHART [8] …….....22

Obr. 11. Základní komunikační kanál [10] …….23

Obr. 12. Senzorová síť napojená na páteřní síť [10] ……...24

Obr. 13. Ultrazvukový snímač hladiny BHV Echo 111 GSM [11] ……..…25

Obr. 14. Propojení Ethernetu s prostředky Datové úrovně D1 ……27

Obr. 15. Komponenty sítě 802.11 ……...27

Obr. 16. Prostorové uspořádání mezi vysílačem a přijímačem …….……..33

Obr. 17. Kolmý dopad rovinné elektromagnetické vlny na kovovou stínící přepážku …...35

Obr. 18. Vznik mnohanásobných odrazů ……37

Obr. 19. Blokové schéma modulu ZSTAR3 [16] ……41

Obr. 20. Vysílací deska ZSTAR3 [16] ……42

Obr. 21. Blokové schéma vysílací desky [16] …….43

Obr. 22. Přijímací deska [16] ……..44

Obr. 23. Odečítání údajů z uživatelského rozhraní …….45

Obr. 24. Umístění vysílače na měřícím bodu 18 + statické umístění přijímače ……..46

Obr. 25. Upořádání místnosti C306 ……46

Obr. 26. Měřící síť pro místnost C306 ……....47

Obr. 27. Řez okenní tabulí a dveřmi v místnosti C306 ……...48

Obr. 28. Umístění komponent při měření útlumu prvků ……48

Obr. 29. Uspořádání chodby ……49

Obr. 30. Měřící síť pro chodbu ……50

Obr. 31. Útlumy v místnosti C 306 ……51

Obr. 32. Hodnoty Path loss v závislosti na frekvenci ……52

Obr. 33. Útlumy na chodbě ……54

Obr. 34. Systém OASIS 868 MHz od společnosti Jablotron ……..56

SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Základní úrovně komunikace v systémech SIA ……..11

Tab. 2. Pásma a přenosové rychlosti ZigBee ……..16

Tab. 3. Přehled vybraných verzí Bluetooth ……19

Tab. 4. Dělení bluetooth zařízení podle výkonnosti do verze 3.0 ……...19

Tab. 5. Vlastnosti protokolu WirelessHART ……..22

Tab. 6. Vybrané standardy sítí mobilních telefonů ……..25

Tab. 7. Vybrané varianty standardu 802.11 ……27

Tab. 8. Verze standardu HiperLAN ……28

Tab. 9. Verze standardu HiperLAN ……28

Tab. 10. Vlastnosti propojovacích prostředků dané úrovně ……29

Tab. 11. Klady a zápory jednotlivých bezdrátových řešení ……29

Tab. 12. Kmitočtová pásma radiového spektra ……...30

Tab. 13. ISM pásma podle ITU-R ……...31

SEZNAM PŘÍLOH

P I: Místnost C306

P II: Naměřené hodnoty pro Místnost C306

P III: Naměřené hodnoty pro útlum okenní tabule a dveřního křídla

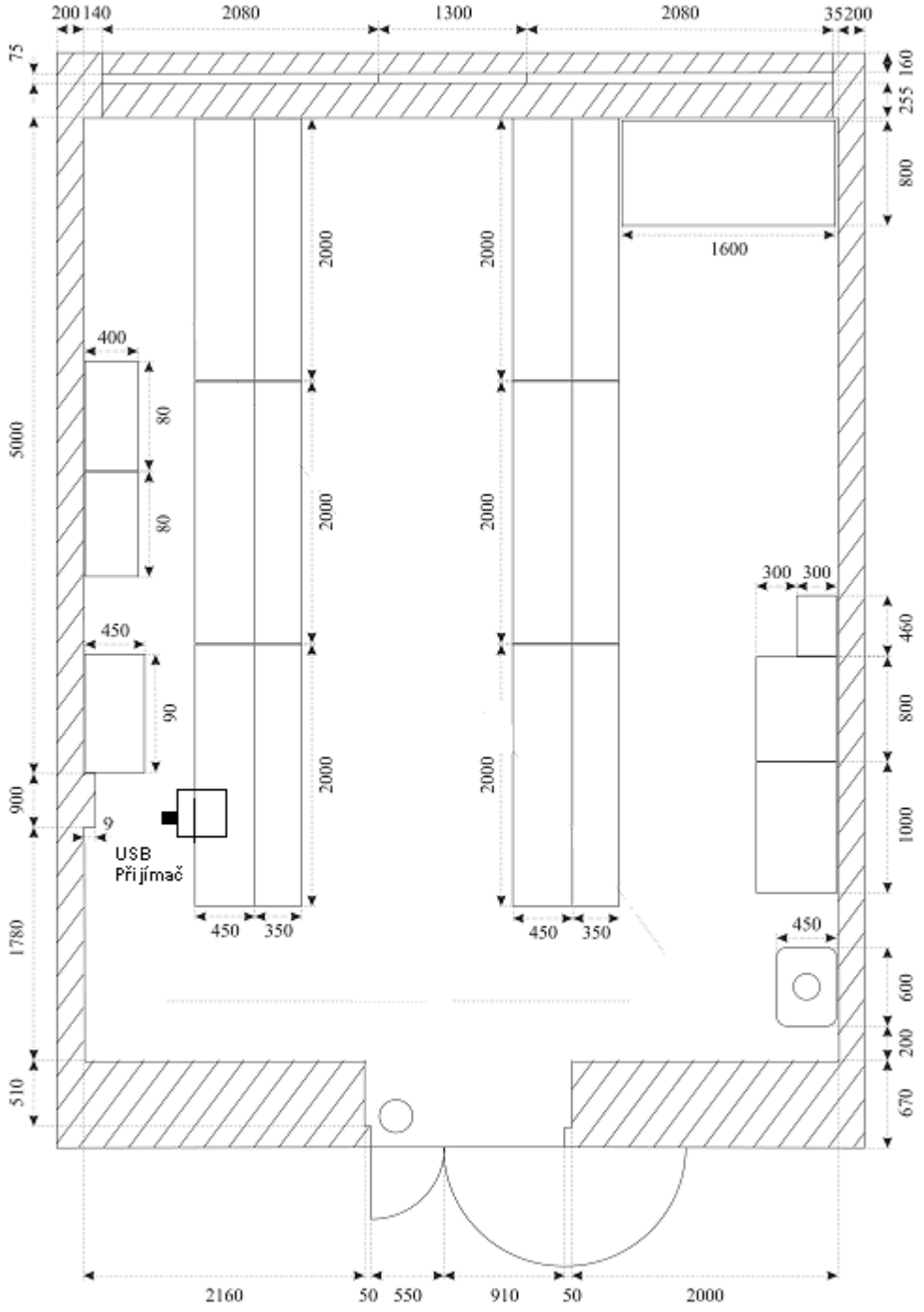
P IV: Naměřené hodnoty pro Chodbu

P V: Naměřené hodnoty pro útlum dveřního skla

P VI: Zjednodušené Blokové schéma MC1321x

P VII: Zjednodušené Blokové schéma MC13191

PŘÍLOHA P I: MÍSTNOST C306



PŘÍLOHA P II: NAMĚŘENÉ HODNOTY PRO MÍSTNOST C306

Naměřené hodnoty v místnosti C 306 (hodnoty jsou uvedeny v jednotce dBm, pokud není uvedeno jinak)

Měřící bod kde: a,b,c,d: nasměrování antény (a-strana s dveřmi, b-s tabulí, c-s oknem, d-s USB přijímačem)

Měřící bod																
	1													**Útlum [dB]**		**Útlum [dB]**	
1a	USB	Senzor	1b	USB	Senzor	1c	USB	Senzor	1d	USB	Senzor	USB	Senzor	**USB**		**Senzor**	
	-74	-77		-78	-72		-70	-69		-64	-75	celkově	celkově				
	-72	-77		-77	-72		-70	-69		-65	-76						
	-73	-79		-76	-72		-71	-70		-65	-75						
	-74	-77		-77	-72		-72	-70		-64	-75						
	-72	-77		-76	-72		-70	-69		-64	-74						
průměr	-73	-77,4		-77	-72		-71	-69,4		-64	-75	-71	-73		**71**		**73**
odchylka												5	3				
	2													**Útlum [dB]**		**Útlum [dB]**	
2a	USB	Senzor	2b	USB	Senzor	2c	USB	Senzor	2d	USB	Senzor	USB	Senzor	**USB**		**Senzor**	
	-62	-70		-69	-71		-67	-71		-59	-65	celkově	celkově				
	-61	-71		-70	-71		-67	-72		-60	-65						
	-61	-70		-68	-70		-67	-71		-59	-66						
	-62	-70		-70	-70		-67	-71		-60	-65						
	-62	-70		-70	-71		-67	-71		-59	-65						
průměr	-62	-70,2		-69	-70,6		-67	-71,2		-59	-65,2	-64	-69		**64**		**69**
odchylka												4	2				
	3													**Útlum [dB]**		**Útlum [dB]**	
3a	USB	Senzor	3b	USB	Senzor	3c	USB	Senzor	3d	USB	Senzor	USB	Senzor	**USB**		**Senzor**	
	-66	-72		-78	-79		-77	-77		-66	-69	celkově	celkově				
	-65	-73		-79	-83		-78	-79		-64	-67						
	-66	-74		-79	-79		-76	-75		-65	-68						
	-66	-74		-79	-81		-75	-77		-64	-67						
	-66	-73		-81	-81		-75	-78		-66	-69						
průměr	-66	-73,2		-79	-80,6		-76	-77,2		-65	-68	-72	-75		**72**		**75**
odchylka												6	5				
	4													**Útlum [dB]**		**Útlum [dB]**	
4a	USB	Senzor	4b	USB	Senzor	4c	USB	Senzor	4d	USB	Senzor	USB	Senzor	**USB**		**Senzor**	
	-62	-70		-69	-68		-71	-68		-66	-65	celkově	celkově				
	-63	-70		-70	-69		-67	-69		-66	-65						
	-63	-68		-71	-69		-67	-69		-65	-65						
	-63	-70		-70	-69		-69	-69		-64	-65						
	-61	-67		-70	-70		-69	-70		-65	-65						
průměr	-62	-69		-70	-69		-69	-69		-65	-65	-67	-68		**67**		**68**
odchylka												3	2				
	5													**Útlum [dB]**		**Útlum [dB]**	
5a	USB	Senzor	5b	USB	Senzor	5c	USB	Senzor	5d	USB	Senzor	USB	Senzor	**USB**		**Senzor**	
	-64	-68		-83	-72		-69	-69		-66	-65	celkově	celkově				
	-64	-68		-81	-73		-68	-69		-67	-65						
	-63	-68		-81	-71		-67	-69		-66	-65						
	-64	-68		-81	-71		-69	-69		-68	-67						
	-64	-68		-83	-71		-68	-68		-66	-64						
průměr	-64	-68		-82	-71,6		-68	-68,8		-67	-65,2	-70	-68		**70**		**68**
odchylka												7	2				
	6													**Útlum [dB]**		**Útlum [dB]**	

6a	USB	Senzor	6b	USB	Senzor	6c	USB	Senzor	6d	USB	Senzor	USB	Senzor	**USB**		**Senzor**	
	-77	-77		-81	-71		-69	-72		-71	-76	celkově	celkově				
	-78	-78		-79	-71		-71	-74		-72	-75						
	-75	-79		-83	-72		-72	-73		-71	-74						
	-73	-78		-83	-72		-71	-74		-70	-75						
	-75	-77		-81	-72		-70	-72		-71	-74						
průměr	-76	-77,8		-81	-71,6		-71	-73		-71	-74,8	-75	-74		**75**		**74**
odchylka												5	2				
7														**Útlum [dB]**		**Útlum [dB]**	
7a	USB	Senzor	7b	USB	Senzor	7c	USB	Senzor	7d	USB	Senzor	USB	Senzor	**USB**		**Senzor**	
	-79	-78		-74	-77		-68	-67		-65	-67	celkově	celkově				
	-72	-75		-75	-77		-67	-66		-65	-67						
	-73	-78		-76	-76		-69	-67		-66	-68						
	-77	-76		-77	-76		-67	-67		-65	-67						
	-74	-79		-77	-77		-69	-67		-65	-67						
průměr	-75	-77,2		-76	-76,6		-68	-66,8		-65	-67,2	-71	-72		**71**		**72**
odchylka												5	5				
8														**Útlum [dB]**		**Útlum [dB]**	
8a	USB	Senzor	8b	USB	Senzor	8c	USB	Senzor	8d	USB	Senzor	USB	Senzor	**USB**		**Senzor**	
	-62	-70		-74	-69		-67	-68		-59	-62	celkově	celkově				
	-61	-69		-74	-70		-68	-70		-58	-61						
	-63	-70		-77	-69		-67	-69		-59	-62						
	-63	-69		-74	-68		-68	-70		-58	-62						
	-63	-70		-77	-69		-68	-70		-59	-62						
průměr	-62	-69,6		-75	-69		-68	-69,4		-59	-61,8	-66	-67		**66**		**67**
odchylka												6	3				
9														**Útlum [dB]**		**Útlum [dB]**	
9a	USB	Senzor	9b	USB	Senzor	9c	USB	Senzor	9d	USB	Senzor	USB	Senzor	**USB**		**Senzor**	
	-67	-68		-67	-78		-74	-75		-72	-71	celkově	celkově				
	-65	-67		-68	-78		-71	-76		-71	-71						
	-68	-68		-68	-79		-72	-79		-69	-70						
	-65	-67		-67	-77		-71	-77		-67	-71						
	-64	-66		-67	-80		-71	-78		-73	-71						
průměr	-66	-67,2		-67	-78,4		-72	-77		-70	-70,8	-69	-73		**69**		**73**
odchylka												3	5				
10														**Útlum [dB]**		**Útlum [dB]**	
10a	USB	Senzor	10b	USB	Senzor	10c	USB	Senzor	10d	USB	Senzor	USB	Senzor	**USB**		**Senzor**	
	-71	-85		-74	-72		-67	-67		-65	-66	celkově	celkově				
	-72	-83		-73	-72		-66	-66		-66	-67						
	-70	-85		-74	-74		-67	-66		-65	-67						
	-71	-85		-74	-74		-67	-66		-64	-67						
	-69	-89		-75	-74		-67	-67		-65	-68						
průměr	-71	-85,4		-74	-73,2		-67	-66,4		-65	-67	-69	-73		**69**		**73**
odchylka												4	8				
11														**Útlum [dB]**		**Útlum [dB]**	
11a	USB	Senzor	11b	USB	Senzor	11c	USB	Senzor	11d	USB	Senzor	USB	Senzor	**USB**		**Senzor**	
	-77	-85		-77	-77		-79	-75		-71	-76	celkově	celkově				
	-77	-83		-78	-78		-76	-75		-76	-78						
	-81	-83		-77	-79		-78	-76		-72	-77						
	-76	-85		-77	-79		-78	-75		-73	-77						
	-79	-83		-78	-79		-76	-76		-75	-79						
průměr	-78	-83,8		-77	-78,4		-77	-75,4		-73	-77,4	-77	-79		**77**		**79**
odchylka												2	3				

12														**Útlum [dB]**		**Útlum [dB]**	
12a	USB	Senzor	12b	USB	Senzor	12c	USB	Senzor	12d	USB	Senzor	USB	Senzor	**USB**		**Senzor**	
	-71	-72		-68	-69		-71	-67		-69	-74	celkově	celkově				
	-71	-71		-67	-70		-72	-67		-69	-74						
	-71	-71		-66	-70		-71	-67		-68	-72						
	-72	-72		-68	-69		-71	-67		-70	-74						
	-72	-71		-67	-70		-71	-66		-66	-72						
průměr	-71	-71,4		-67	-69,6		-71	-66,8		-68	-73,2	-70	-70		**70**		**70**
odchylka												2	2				
13														**Útlum [dB]**		**Útlum [dB]**	
13a	USB	Senzor	13b	USB	Senzor	13c	USB	Senzor	13d	USB	Senzor	USB	Senzor	**USB**		**Senzor**	
	-77	-71		-71	-81		-65	-65		-63	-71	celkově	celkově				
	-81	-71		-72	-83		-69	-67		-64	-72						
	-75	-70		-72	-81		-65	-67		-63	-71						
	-76	-70		-71	-81		-65	-65		-63	-70						
	-77	-70		-71	-85		-64	-65		-63	-70						
průměr	-77	-70,4		-71	-82,2		-66	-65,8		-63	-70,8	-69	-72		**69**		**72**
odchylka												6	6				
14														**Útlum [dB]**		**Útlum [dB]**	
14a	USB	Senzor	14b	USB	Senzor	14c	USB	Senzor	14d	USB	Senzor	USB	Senzor	**USB**		**Senzor**	
	-63	-71		-72	-68		-67	-70		-61	-62	celkově	celkově				
	-62	-70		-72	-67		-71	-72		-62	-63						
	-62	-71		-73	-67		-72	-72		-62	-63						
	-63	-71		-72	-67		-70	-72		-63	-64						
	-62	-70		-74	-68		-69	-71		-61	-63						
průměr	-62	-70,6		-73	-67,4		-70	-71,4		-62	-63	-67	-68		**67**		**68**
odchylka												5	3				
15														**Útlum [dB]**		**Útlum [dB]**	
15a	USB	Senzor	15b	USB	Senzor	15c	USB	Senzor	15d	USB	Senzor	USB	Senzor	**USB**		**Senzor**	
	-53	-63		-62	-67		-56	-59		-51	-55	celkově	celkově				
	-53	-63		-61	-67		-56	-59		-51	-54						
	-53	-62		-62	-67		-56	-58		-51	-55						
	-53	-63		-62	-66		-56	-59		-50	-54						
	-53	-63		-62	-67		-56	-58		-51	-55						
průměr	-53	-62,8		-62	-66,8		-56	-58,6		-51	-54,6	-55	-61		**55**		**61**
odchylka												4	5				
16														**Útlum [dB]**		**Útlum [dB]**	
16a	USB	Senzor	16b	USB	Senzor	16c	USB	Senzor	16d	USB	Senzor	USB	Senzor	**USB**		**Senzor**	
	-72	-71		-66	-74		-62	-62		-59	-64	celkově	celkově				
	-72	-72		-66	-73		-63	-62		-59	-64						
	-71	-73		-66	-74		-62	-62		-58	-64						
	-72	-71		-65	-72		-63	-63		-59	-64						
	-70	-72		-65	-71		-62	-62		-59	-64						
průměr	-71	-71,8		-66	-72,8		-62	-62,2		-59	-64	-65	-68		**65**		**68**
odchylka												5	5				
17														**Útlum [dB]**		**Útlum [dB]**	
17a	USB	Senzor	17b	USB	Senzor	17c	USB	Senzor	17d	USB	Senzor	USB	Senzor	**USB**		**Senzor**	
	-68	-79		-71	-83		-65	-67		-59	-64	celkově	celkově				
	-70	-77		-72	-81		-66	-69		-60	-64						
	-71	-78		-71	-81		-64	-65		-60	-65						
	-69	-77		-70	-79		-63	-65		-58	-65						
	-70	-76		-69	-78		-65	-65		-61	-66						

průměr	-70	-77,4		-71	-80,4		-65	-66,2		-60	-64,8	-66	-72		**66**		**72**
odchylka												5	7				
18														**Útlum [dB]**		**Útlum [dB]**	
18a	USB	Senzor	18b	USB	Senzor	18c	USB	Senzor	18d	USB	Senzor	USB	Senzor	**USB**		**Senzor**	
	-65	-75		-62	-67		-60	-62		-55	-59	celkově	celkově				
	-63	-74		-61	-67		-59	-61		-55	-59						
	-64	-75		-62	-68		-60	-61		-56	-59						
	-63	-75		-62	-67		-62	-61		-56	-60						
	-63	-74		-61	-66		-61	-62		-55	-59						
průměr	-64	-74,6		-62	-67		-60	-61,4		-55	-59,2	-60	-66		**60**		**66**
odchylka												3	6				
19														**Útlum [dB]**		**Útlum [dB]**	
19a	USB	Senzor	19b	USB	Senzor	19c	USB	Senzor	19d	USB	Senzor	USB	Senzor	**USB**		**Senzor**	
	-64	-61		-64	-70		-55	-55		-51	-56	celkově	celkově				
	-64	-62		-65	-70		-56	-55		-52	-57						
	-64	-61		-64	-69		-55	-55		-52	-57						
	-63	-61		-63	-69		-54	-55		-51	-56						
	-63	-61		-64	-71		-55	-55		-51	-56						
průměr	-64	-61,2		-64	-69,8		-55	-55		-51	-56,4	-59	-61		**59**		**61**
odchylka												5	6				
20														**Útlum [dB]**		**Útlum [dB]**	
20a	USB	Senzor	20b	USB	Senzor	20c	USB	Senzor	20d	USB	Senzor	USB	Senzor	**USB**		**Senzor**	
	-47	-57		-56	-65		-49	-48		-46	-47	celkově	celkově				
	-47	-57		-57	-65		-50	-48		-46	-48						
	-47	-58		-55	-65		-49	-48		-46	-47						
	-47	-57		-56	-65		-49	-49		-46	-47						
	-48	-57		-56	-65		-50	-48		-46	-47						
průměr	-47	-57,2		-56	-65		-49	-48,2		-46	-47,2	-50	-54		**50**		**54**
odchylka												4	7				
21														**Útlum [dB]**		**Útlum [dB]**	
21a	USB	Senzor	21b	USB	Senzor	21c	USB	Senzor	21d	USB	Senzor	USB	Senzor	**USB**		**Senzor**	
	-81	-85		-75	-77		-78	-72		-70	-74	celkově	celkově				
	-81	-81		-76	-78		-76	-72		-69	-74						
	-83	-85		-77	-78		-81	-74		-70	-76						
	-85	-89		-72	-78		-77	-71		-69	-74						
	-81	-85		-76	-77		-77	-72		-71	-75						
průměr	-82	-85		-75	-77,6		-78	-72,2		-70	-74,6	-76	-77		**76**		**77**
odchylka												5	5				
22														**Útlum [dB]**		**Útlum [dB]**	
22a	USB	Senzor	22b	USB	Senzor	22c	USB	Senzor	22d	USB	Senzor	USB	Senzor	**USB**		**Senzor**	
	-67	-70		-65	-73		-64	-71		-63	-68	celkově	celkově				
	-67	-70		-65	-76		-64	-72		-62	-68						
	-66	-71		-65	-74		-64	-75		-62	-68						
	-67	-71		-63	-75		-65	-72		-62	-69						
	-67	-72		-65	-75		-64	-71		-61	-68						
průměr	-67	-70,8		-65	-74,6		-64	-72,2		-62	-68,2	-64	-71		**64**		**71**
odchylka												2	3				
23														**Útlum [dB]**		**Útlum [dB]**	
23a	USB	Senzor	23b	USB	Senzor	23c	USB	Senzor	23d	USB	Senzor	USB	Senzor	**USB**		**Senzor**	
	-71	-67		-62	-65		-78	-79		-63	-67	celkově	celkově				
	-70	-68		-63	-65		-72	-76		-64	-69						
	-71	-69		-62	-65		-78	-81		-63	-67						

	-69	-68		-63	-66		-81	-81		-64	-67					
	-70	-65		-62	-66		-79	-83		-65	-69					
průměr	-70	-67,4		-62	-65,4		-78	-80		-64	-67,8	-69	-70		**69**	**70**
odchylka												6	6			
24														**Útlum [dB]**		**Útlum [dB]**
24a	USB	Senzor	24b	USB	Senzor	24c	USB	Senzor	24d	USB	Senzor	USB	Senzor	**USB**		**Senzor**
	-65	-72		-60	-60		-58	-60		-55	-62	celkově	celkově			
	-65	-71		-61	-60		-59	-62		-55	-63					
	-67	-71		-62	-61		-61	-64		-55	-62					
	-64	-72		-63	-60		-59	-61		-57	-63					
	-68	-71		-62	-60		-59	-63		-56	-62					
průměr	-66	-71,4		-62	-60,2		-59	-62		-56	-62,4	-61	-64		**61**	**64**
odchylka												4	4			
25														**Útlum [dB]**		**Útlum [dB]**
25a	USB	Senzor	25b	USB	Senzor	25c	USB	Senzor	25d	USB	Senzor	USB	Senzor	**USB**		**Senzor**
	-63	-75		-59	-61		-54	-58		-71	-67	celkově	celkově			
	-66	-71		-57	-59		-59	-58		-72	-67					
	-62	-70		-56	-61		-61	-60		-69	-72					
	-65	-70		-58	-60		-60	-59		-64	-75					
	-64	-73		-57	-61		-61	-58		-67	-69					
průměr	-64	-71,8		-57	-60,4		-59	-58,6		-69	-70	-62	-65		**62**	**65**
odchylka												5	6			
26														**Útlum [dB]**		**Útlum [dB]**
26a	USB	Senzor	26b	USB	Senzor	26c	USB	Senzor	26d	USB	Senzor	USB	Senzor	**USB**		**Senzor**
	-72	-74		-73	-71		-69	-68		-67	-81	celkově	celkově			
	-71	-72		-75	-71		-70	-69		-66	-83					
	-70	-75		-73	-71		-69	-69		-67	-81					
	-71	-75		-74	-71		-69	-69		-70	-83					
	-71	-75		-72	-71		-68	-68		-69	-85					
průměr	-71	-74,2		-73	-71		-69	-68,6		-68	-82,6	-70	-74		**70**	**74**
odchylka												2	5			
27														**Útlum [dB]**		**Útlum [dB]**
27a	USB	Senzor	27b	USB	Senzor	27c	USB	Senzor	27d	USB	Senzor	USB	Senzor	**USB**		**Senzor**
	-81	-70		-74	-73		-64	-68		-69	-79	celkově	celkově			
	-77	-70		-72	-71		-64	-67		-69	-81					
	-79	-70		-75	-75		-65	-68		-71	-79					
	-81	-74		-76	-76		-64	-67		-70	-79					
	-79	-71		-75	-74		-64	-68		-70	-78					
průměr	-79	-71		-74	-73,8		-64	-67,6		-70	-79,2	-72	-73		**72**	**73**
odchylka												6	4			
28														**Útlum [dB]**		**Útlum [dB]**
28a	USB	Senzor	28b	USB	Senzor	28c	USB	Senzor	28d	USB	Senzor	USB	Senzor	**USB**		**Senzor**
	-67	-65		-64	-67		-67	-64		-65	-68	celkově	celkově			
	-68	-65		-63	-67		-68	-64		-63	-69					
	-68	-64		-64	-69		-69	-64		-64	-69					
	-68	-64		-64	-67		-70	-65		-64	-68					
	-68	-65		-64	-68		-67	-64		-64	-69					
průměr	-68	-64,6		-64	-67,6		-68	-64,2		-64	-68,6	-66	-66		**66**	**66**
odchylka												2	2			
29														**Útlum [dB]**		**Útlum [dB]**
29a	USB	Senzor	29b	USB	Senzor	29c	USB	Senzor	29d	USB	Senzor	USB	Senzor	**USB**		**Senzor**
	-72	-75		-77	-74		-66	-72		-70	-77	celkově	celkově			

	-74	-76	-72	-72	-64	-75	-67	-76							
	-75	-76	-71	-71	-64	-74	-66	-77							
	-73	-75	-72	-72	-66	-71	-67	-79							
	-74	-75	-74	-73	-66	-73	-66	-78							
průměr	-74	-75,4	-73	-72,4	-65	-73	-67	-77,4	-70	-75		**70**		**75**	
odchylka									4	2					
30											**Útlum [dB]**		**Útlum [dB]**		
30a	USB	Senzor	30b	USB	Senzor	30c	USB	Senzor	30d	USB	Senzor	USB	Senzor	**USB**	**Senzor**
	-71	-66		-67	-67		-60	-65		-61	-71	celkově	celkově		
	-79	-64		-70	-69		-59	-65		-62	-71				
	-77	-64		-70	-68		-59	-64		-62	-72				
	-79	-65		-71	-70		-61	-65		-62	-73				
	-79	-65		-71	-69		-60	-65		-63	-70				
průměr	-77	-64,8		-70	-68,6		-60	-64,8		-62	-71,4	-67	-67		**67**		**67**
odchylka												7	3				
31														**Útlum [dB]**		**Útlum [dB]**	
31a	USB	Senzor	31b	USB	Senzor	31c	USB	Senzor	31d	USB	Senzor	USB	Senzor	**USB**	**Senzor**
	-76	-85		-77	-78		-73	-74		-76	-89	celkově	celkově		
	-75	-83		-77	-77		-72	-74		-76	-89				
	-77	-83		-77	-77		-73	-74		-76	-89				
	-74	-83		-78	-76		-72	-73		-77	-89				
	-76	-83		-77	-76		-71	-73		-76	-89				
průměr	-76	-83,4		-77	-76,8		-72	-73,6		-76	-89	-75	-81		**75**		**81**
odchylka												2	6				
32														**Útlum [dB]**		**Útlum [dB]**	
32a	USB	Senzor	32b	USB	Senzor	32c	USB	Senzor	32d	USB	Senzor	USB	Senzor	**USB**	**Senzor**
	-85	-95		N	N		-79	-77		-81	-85	celkově	celkově		
	-83	-89		N	N		-78	-79		-83	-89				
	-81	-89		-89	-95		-72	-76		-81	-89				
	-83	-95		N	N		-74	-75		-83	-83				
	-83	-89		N	N		-77	-75		-81	-85				
průměr	-83	-91,4					-76	-76,4		-82	-86,2	N	N	**N**		**N**	
odchylka																	
33														**Útlum [dB]**		**Útlum [dB]**	
33a	USB	Senzor	33b	USB	Senzor	33c	USB	Senzor	33d	USB	Senzor	USB	Senzor	**USB**	**Senzor**
	-78	-89		-77	-85		-71	-77		-73	-85	celkově	celkově		
	-79	N-95		-81	N-95		-70	-77		-76	-85				
	-77	-89		-78	-85		-69	-76		-75	-85				
	-78	N-95		-78	-89		-70	-76		-74	-85				
	-79	N-95		-77	-89		-70	-77		-75	-83				
průměr	-78	-89		-78	-87		-70	-76,6		-75	-84,6	-75	N		**75**	**N**	
odchylka												4	5				
34														**Útlum [dB]**		**Útlum [dB]**	
34a	USB	Senzor	34b	USB	Senzor	34c	USB	Senzor	34d	USB	Senzor	USB	Senzor	**USB**	**Senzor**
	-81	-85		N	N		-89	N-95		N	N	celkově	celkově		
	-83	-85		-85	-95		-83	-85		N	N				
	-85	-85		N	N		-81	-85		N	N				
	-83	-85		N	N		-83	-85		-89	-83				
	-81	-83		N	N		-83	-85		-83	-83				
průměr	-83	-84,6					-84	-85				N	N	**N**		**N**	
odchylka																	
35														**Útlum [dB]**		**Útlum [dB]**	

35a	USB	Senzor	35b	USB	Senzor	35c	USB	Senzor	35d	USB	Senzor	USB	Senzor	**USB**	**Senzor**
	-74	-75		-70	-76		-74	-85		-81	-95	celkově	celkově		
	-73	-74		-69	-74		-74	-83		N	N				
	-71	-73		-69	-73		-76	-85		N	N				
	-72	-73		-69	-74		-75	-85		N	N				
	-74	-73		-70	-75		-75	-85		N	N				
průměr	-73	-73,6		-69	-74,4		-75	-84,6				N	N	**N**	**N**
odchylka															
36														**Útlum [dB]**	**Útlum [dB]**
36a	USB	Senzor	36b	USB	Senzor	36c	USB	Senzor	36d	USB	Senzor	USB	Senzor	**USB**	**Senzor**
	-66	-85		-69	-72		-65	-78		-71	-72	celkově	celkově		
	-67	-89		-69	-71		-64	-77		-71	-73				
	-67	-89		-69	-72		-64	-77		-71	-72				
	-66	-85		-69	-71		-64	-77		-72	-73				
	-66	-89		-68	-71		-65	-77		-71	-74				
průměr	-66	-87,4		-69	-71,4		-64	-77,2		-71	-72,8	-68	-77	**68**	**77**
odchylka												3	6		
37														**Útlum [dB]**	**Útlum [dB]**
37a	USB	Senzor	37b	USB	Senzor	37c	USB	Senzor	37d	USB	Senzor	USB	Senzor	**USB**	**Senzor**
	-81	-85		-71	-76		-72	-85		-83	-85	celkově	celkově		
	-83	-85		-72	-76		-71	-85		-85	-85				
	-81	-85		-71	-77		-72	-85		-83	-85				
	-79	-83		-71	-76		-72	-85		-85	-85				
	-83	-85		-72	-77		-72	-85		-83	-85				
průměr	-81	-84,6		-71	-76,4		-72	-85		-84	-85	-77	-83	**77**	**-83**
odchylka												6	4		
38														**Útlum [dB]**	**Útlum [dB]**
38a	USB	Senzor	38b	USB	Senzor	38c	USB	Senzor	38d	USB	Senzor	USB	Senzor	**USB**	**Senzor**
	-85	-85		-81	-85		N	N		N	N	celkově	celkově		
	-81	-85		-79	-85		N	N		N	N				
	-81	-83		-79	-83		N	N		N	N				
	-81	-85		-81	-89		N	N		N	N				
	-83	-85		-79	-85		N	N		N	N	N	N		
průměr	-82	-84,6		-80	-85,4									**N**	**N**
odchylka															
39														**Útlum [dB]**	**Útlum [dB]**
39a	USB	Senzor	39b	USB	Senzor	39c	USB	Senzor	39d	USB	Senzor	USB	Senzor	**USB**	**Senzor**
	N	N		N	N		N	N		N	N	celkově	celkově		
												N	N	**N**	**N**
40														**Útlum [dB]**	**Útlum [dB]**
40a	USB	Senzor	40b	USB	Senzor	40c	USB	Senzor	40d	USB	Senzor	USB	Senzor	**USB**	**Senzor**
	-74	-89		N	N		-83	-85		-75	-81	celkově	celkově		
	-75	-89		N	N		-81	-85		-74	-79				
	-73	-89		N	N		-81	-83		-75	-79				
	-75	-89		N	N		-83	-85		-75	-79				
	-73	-89		N	N		-81	-83		-76	-79				
průměr	-74	-89					-82	-84,2		-75	-79,4	N	N	**N**	**N**
odchylka															
41															
41a	USB	Senzor	41b	USB	Senzor	41c	USB	Senzor	41d	USB	Senzor	USB	Senzor		
	N	N		N	N		N	N		N	N	celkově	celkově		
												N	N	**N**	**N**
42															

42a		USB N	Senzor N	42b	USB N	Senzor N	42c	USB N	Senzor N	42d	USB N	Senzor N	USB celkově N	Senzor celkově N	**N**	**N**
	43															
43a		USB N	Senzor N	43b	USB N	Senzor N	43c	USB N	Senzor N	43d	USB N	Senzor N	USB celkově N	Senzor celkově N	**N**	**N**

PŘÍLOHA P III: NAMĚŘENÉ HODNOTY PRO ÚTLUM OKENNÍ TABULE A DVEŘNÍHO KŘÍDLA

Naměřené hodnoty pro dveřní křídlo

Křídlo

a	USB	Senzor	b	USB	Senzor	c	USB	Senzor	d	USB	Senzor	USB	Senzor
	-43	-51		-58	-49		-50	-57		-43	-44	celkově	celkově
	-42	-51		-56	-49		-50	-57		-43	-45		
	-42	-51		-57	-49		-50	-56		-44	-45		
	-42	-51		-56	-49		-49	-56		-44	-45		
	-43	-51		-56	-49		-50	-57		-43	-44		
průměr	-42,4	-51		-56,6	-49		-50	-56,6		-43	-44,6	-48	-50
odchylka												6	4

Naměřené hodnoty bez dveřního křídla

Volno

a	USB	Senzor	b	USB	Senzor	c	USB	Senzor	d	USB	Senzor	USB	Senzor
	-42	-51		-57	-48		-48	-56		-42	-42	celkově	celkově
	-43	-51		-56	-50		-51	-54		-43	-43		
	-42	-50		-55	-49		-50	-53		-43	-44		
	-43	-49		-56	-47		-50	-55		-42	-42		
	-41	-51		-56	-48		-49	-55		-44	-45		
průměr	-42,2	-50,4		-56	-48,4		-50	-54,6		-43	-43,2	-48	-49
odchylka												6	4

Hodnota útlumu přes dveřní křídlo = Křídlo - Volno

	USB	Senzor	Průměr	Odchylka
Křídlo	-48	-50		
Volno	-48	-49		
Rozdíl	0	-1		
Útlum [dB]	0	1	**1**	0,5

Naměřené hodnoty pro přenos přes okenní tabuli

Tabule

a	USB	Senzor	b	USB	Senzor	c	USB	Senzor	d	USB	Senzor	USB	Senzor
	-72	-81		-79	-83		-89	-93		-71	-83	celkově	celkově
	-73	-81		-74	-89		-82	-92		-79	-81		
	-72	-79		-85	-83		-83	-89		-82	-83		
	-74	-79		-83	-85		-85	-89		-83	-81		
	-71	-76		-76	-83		-89	-92		-78	-79		
průměr	-72,4	-79,2		-79,4	-84,6		-86	-91		-79	-81,4	-79	-84
odchylka												6	5

Naměřené hodnoty pro přenos bez okenní tabule

Volno

a	USB	Senzor	b	USB	Senzor	c	USB	Senzor	d	USB	Senzor	USB	Senzor
	-54	-63		-57	-56		-42	-51		-46	-48	celkově	celkově
	-51	-60		-56	-57		-43	-51		-45	-47		
	-51	-60		-55	-58		-42	-50		-45	-48		

	-52	-61		-56	-57	-43	-51	-46	-47	
	-53	-61		-56	-56	-41	-51	-45	-47	
průměr	-52,2	-61		-56	-56,8	-42	-50,8	-45	-47,4	-49	-54
odchylka										5	5

Hodnota útlumu přes okenní tabuli = Tabule - Volno

	USB	Senzor	Průměr	Odchylka
Tabule	-79	-84		
Volno	-49	-54		
Rozdíl	-30	-30		
Útlum [dB]	30	30	**30**	0

PŘÍLOHA P IV: NAMĚŘENÉ HODNOTY PRO CHODBU

Naměřené hodnoty pro chodbu (všechny hodnoty jsou uvedeny v jednotce dBm, pokud není uvedeno jinak)

Měřící bod kde: a,b,c,d: nasměrování antény (a-strana s protip. dveřmi, b-strana s okny, d- strana s C 306)

Měřící bod

1													**Útlum [dB]**		**Útlum [dB]**		
1a	USB	Senzor	1b	USB	Senzor	1c	USB	Senzor	1d	USB	Senzor	USB	Senzor	**USB**		**Senzor**	
	-71	-73		-71	-79		-67	-74		-70	-76	celkově	celkově				
	-70	-74		-71	-78		-68	-75		-70	-77						
	-70	-73		-71	-77		-68	-75		-70	-76						
	-67	-73		-71	-78		-68	-76		-70	-75						
	-70	-73		-71	-79		-67	-76		-70	-76						
průměr	-71	-78,2		-71	-78,2		-68	-75,2		-70	-76	-70	-77		**70**		**77**
odchylka												1	2				
2														**Útlum [dB]**		**Útlum [dB]**	
2a	USB	Senzor	2b	USB	Senzor	2c	USB	Senzor	2d	USB	Senzor	USB	Senzor	**USB**		**Senzor**	
	-58	-66		-85	-67		-61	-67		-59	-61	celkově	celkově				
	-58	-66		-85	-66		-62	-67		-58	-60						
	-58	-66		-83	-66		-62	-68		-58	-61						
	-58	-66		-85	-66		-63	-67		-58	-60						
	-58	-66		-83	-66		-62	-67		-58	-60						
průměr	-58	-66		-84	-66,2		-62	-67,2		-58	-60,4	-66	-65		**66**		**65**
odchylka												11	3				
3														**Útlum [dB]**		**Útlum [dB]**	
3a	USB	Senzor	3b	USB	Senzor	3c	USB	Senzor	3d	USB	Senzor	USB	Senzor	**USB**		**Senzor**	
	-56	-64		-73	-67		-72	-71		-60	-62	celkově	celkově				
	-56	-63		-72	-66		-73	-72		-59	-61						
	-56	-63		-71	-66		-72	-72		-59	-60						
	-56	-63		-72	-66		-71	-72		-59	-60						
	-55	-63		-71	-66		-72	-72		-59	-60						
průměr	-56	-63,2		-72	-66,2		-72	-71,8		-59	-60,6	-65	-65		**65**		**65**
odchylka												7	4				
4														**Útlum [dB]**		**Útlum [dB]**	
4a	USB	Senzor	4b	USB	Senzor	4c	USB	Senzor	4d	USB	Senzor	USB	Senzor	**USB**		**Senzor**	
	-54	-59		-58	-61		-64	-69		-55	-57	celkově	celkově				
	-53	-58		-58	-61		-65	-69		-56	-57						
	-51	-58		-57	-61		-64	-70		-55	-57						
	-52	-58		-58	-61		-65	-69		-55	-57						
	-52	-58		-58	-61		-64	-69		-55	-57						
průměr	-52	-58,2		-58	-61		-64	-69,2		-55	-57	-57	-61		**57**		**61**
odchylka												4	5				
5														**Útlum [dB]**		**Útlum [dB]**	
5a	USB	Senzor	5b	USB	Senzor	5c	USB	Senzor	5d	USB	Senzor	USB	Senzor	**USB**		**Senzor**	
	-69	-65		-70	-81		-68	-69		-67	-79	celkově	celkově				
	-68	-65		-66	-81		-67	-68		-66	-81						
	-67	-65		-67	-79		-66	-68		-67	-79						
	-68	-65		-67	-81		-66	-69		-66	-81						
	-69	-65		-67	-79		-65	-70		-66	-79						
průměr	-68	-65		-67	-80,2		-66	-68,8		-66	-79,8	-67	-73		**67**		**73**
odchylka												1	7				
6														**Útlum [dB]**		**Útlum [dB]**	

6a	USB	Senzor	6b	USB	Senzor	6c	USB	Senzor	6d	USB	Senzor	USB	Senzor	**USB**		**Senzor**	
	-61	-73		-74	-78		-67	-74		-61	-65	celkově	celkově				
	-61	-72		-74	-78		-67	-75		-61	-65						
	-61	-72		-74	-79		-67	-75		-61	-65						
	-60	-72		-74	-77		-66	-73		-61	-65						
	-61	-72		-73	-76		-65	-72		-61	-64						
průměr	-61	-72,2		-74	-77,6		-66	-73,8		-61	-64,8	-66	-72		**66**		**72**
odchylka												5	5				
7														**Útlum [dB]**		**Útlum [dB]**	
7a	USB	Senzor	7b	USB	Senzor	7c	USB	Senzor	7d	USB	Senzor	USB	Senzor	**USB**		**Senzor**	
	-77	-85		-81	-85		-72	-74		-71	-76	celkově	celkově				
	-77	-85		-79	-89		-72	-75		-70	-75						
	-77	-83		-77	-85		-72	-75		-71	-75						
	-77	-85		-76	-85		-72	-75		-70	-75						
	-76	-85		-76	-83		-71	-74		-70	-75						
průměr	-77	-84,6		-78	-85,4		-72	-74,6		-70	-75,2	-74	-80		**74**		**80**
odchylka												3	5				
8														**Útlum [dB]**		**Útlum [dB]**	
8a	USB	Senzor	8b	USB	Senzor	8c	USB	Senzor	8d	USB	Senzor	USB	Senzor	**USB**		**Senzor**	
	-77	-81		-74	-76		-76	-85		-73	-79	celkově	celkově				
	-76	-81		-74	-76		-75	-85		-73	-79						
	-76	-81		-74	-77		-76	-89		-73	-81						
	-76	-81		-75	-78		-76	-89		-73	-81						
	-77	-81		-74	-76		-76	-89		-85	-83						
průměr	-76	-81		-74	-76,6		-76	-87,4		-75	-80,6	-75	-81		**75**		**81**
odchylka												3	4				
9														**Útlum [dB]**		**Útlum [dB]**	
9a	USB	Senzor	9b	USB	Senzor	9c	USB	Senzor	9d	USB	Senzor	USB	Senzor	**USB**		**Senzor**	
	-76	-85		-72	-78		-71	-81		-79	-85	celkově	celkově				
	-76	-89		-72	-79		-71	-83		-79	-85						
	-76	-89		-72	-78		-72	-82		-79	-89						
	-75	-85		-72	-78		-71	-83		-79	-86						
	-76	-85		-72	-79		-72	-83		-81	-85						
průměr	-76	-86,6		-72	-78,4		-71	-82,4		-79	-86	-75	-83		**75**		**83**
odchylka												3	4				
10														**Útlum [dB]**		**Útlum [dB]**	
10a	USB	Senzor	10b	USB	Senzor	10c	USB	Senzor	10d	USB	Senzor	USB	Senzor	**USB**		**Senzor**	
	-85	N-95		-83	-89		-76	-83		-89	-89	celkově	celkově				
	-85	N-95		-85	-89		-77	-83		-85	-85						
	-85	N-95		-83	-89		-76	-83		-85	-85						
	-89	N-95		-85	-89		-76	-83		-85	-85						
	N	N		-85	-85		-75	-83		-85	-89						
průměr	-86			-84	-88,2		-76	-83		-86	-86,6	-83	N		**83**	**N**	
odchylka												4					
11														**Útlum [dB]**		**Útlum [dB]**	
11a	USB	Senzor	11b	USB	Senzor	11c	USB	Senzor	11d	USB	Senzor	USB	Senzor	**USB**		**Senzor**	
	N	N		N	N		N	N		N	N	celkově	celkově	**N**		**N**	

PŘÍLOHA P V: NAMĚŘENÉ HODNOTY PRO ÚTLUM DVEŘNÍHO SKLA

Naměřené hodnoty pro dveřní sklo

DverSklo

a	USB	Senzor	b	USB	Senzor	c	USB	Senzor	d	USB	Senzor	USB	Senzor
	-47	-57		-63	-55		-53	-56		-49	-50	celkově	celkově
	-46	-56		-62	-50		-51	-52		-49	-49		
	-45	-56		-63	-58		-51	-54		-49	-49		
	-46	-56		-62	-57		-54	-55		-49	-50		
	-45	-55		-61	-59		-51	-54		-49	-49		
průměr	-45	-56		-62	-55,8		-52	-54,2		-49	-49,4	-52	-54
odchylka												6	3

Naměřené hodnoty bez dveřního skla

Volno

a	USB	Senzor	b	USB	Senzor	c	USB	Senzor	d	USB	Senzor	USB	Senzor
	-42	-51		-57	-48		-48	-56		-42	-42		
	-43	-51		-56	-50		-51	-54		-43	-43		
	-42	-50		-55	-49		-50	-53		-43	-44		
	-43	-49		-56	-47		-50	-55		-42	-42		
	-41	-51		-56	-48		-49	-55		-44	-45		
průměr	-42	-50,4		-56	-48,4		-50	-54,6		-43	-43,2	-48	-49
odchylka												6	4

Hodnota útlumu přes dveřní sklo = DverSklo - Volno

	USB	Senzor	Průměr	Odchylka
DverSklo	-52	-54		
Volno	-48	-49		
Rozdíl	-4	-5	-5	0,4
Útlum 1[dB]	4	5	**5**	

Naměřené hodnoty pro chodbu s otevřenými dveřmi

8a	USB	Senzor	8b	USB	Senzor	8c	USB	Senzor	8d	USB	Senzor	USB	Senzor
	-70	-75		-68	-69		-68	-76		-83	-75	celkově	celkově
	-66	-75		-68	-69		-68	-76		-83	-75		
	-70	-75		-67	-69		-68	-76		-81	-75		
	-70	-75		-67	-68		-68	-76		-81	-76		
	-70	-76		-67	-69		-68	-76		-81	-76		
průměr	-69	-75,2		-67	-68,8		-68	-76		-82	-75,4	-72	-74
odchylka												6	3

9a	USB	Senzor	9b	USB	Senzor	9c	USB	Senzor	9d	USB	Senzor	USB	Senzor
	-68	-78		-67	-77		-65	-75		-72	-79	celkově	celkově
	-69	-78		-68	-77		-65	-74		-71	-79		
	-69	-78		-68	-78		-64	-73		-72	-81		
	-69	-78		-69	-78		-64	-74		-72	-79		
	-69	-78		-68	-77		-64	-74		-72	-79		
průměr	-69	-78		-68	-77,4		-64	-74		-72	-79,4	-68	-77
odchylka				-68	-77,48		-64	-73,8				3	2

10a	USB	Senzor	10b	USB	Senzor	10c	USB	Senzor	10d	USB	Senzor	USB	Senzor
	-85	-85		-76	-78		-73	-83		-85	-89	celkově	celkově

	-81	-89	-77	-79	-74	-83	-85	-85		
	-81	-89	-77	-79	-75	-85	-85	-89		
	-81	-85	-78	-79	-75	-83	-85	-89		
	-83	-89	-79	-83	-75	-85	-85	-85		
průměr	-82	-87,4	-77	-79,6	-74	-83,8	-85	-87,4	-80	-85
odchylka									4	4

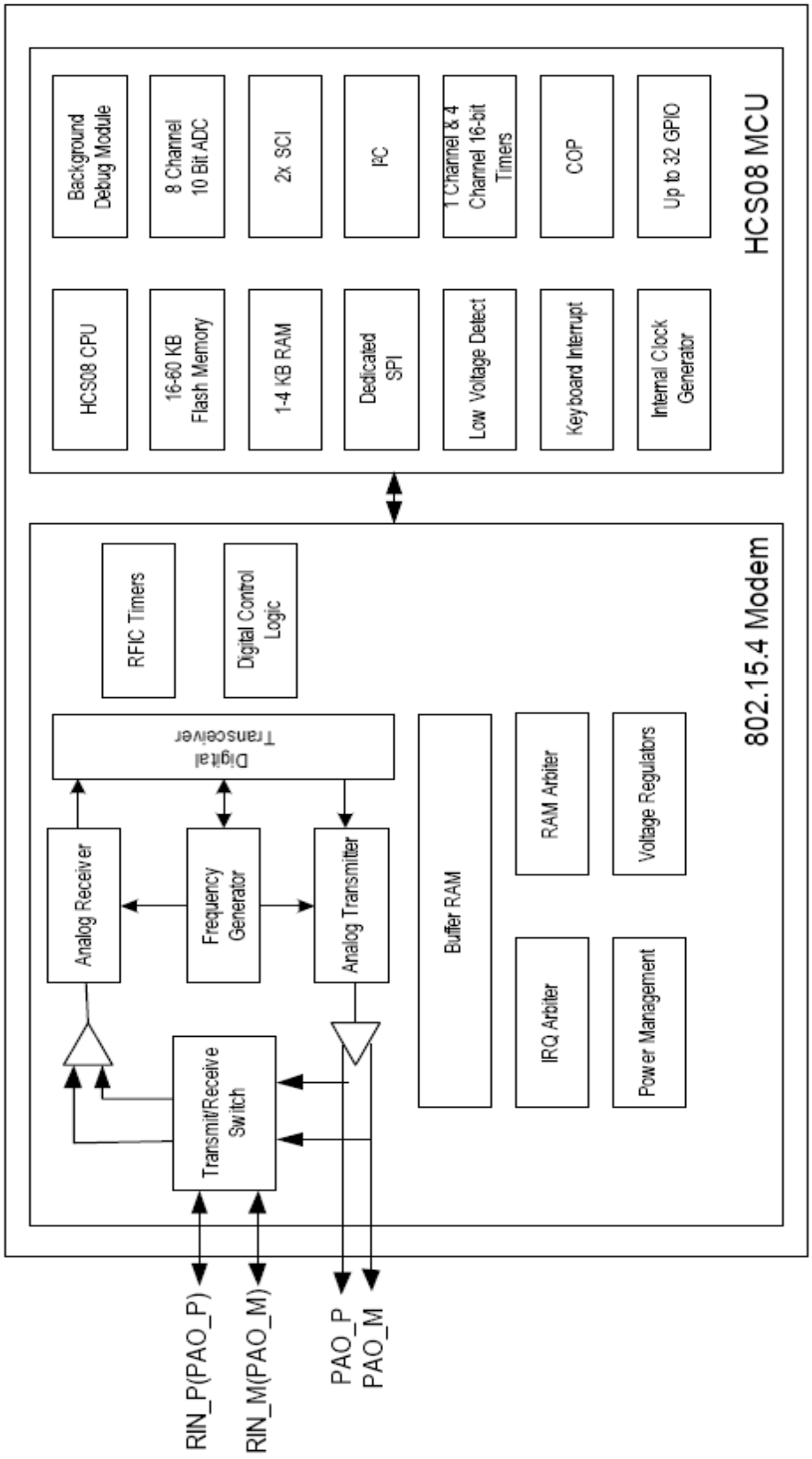
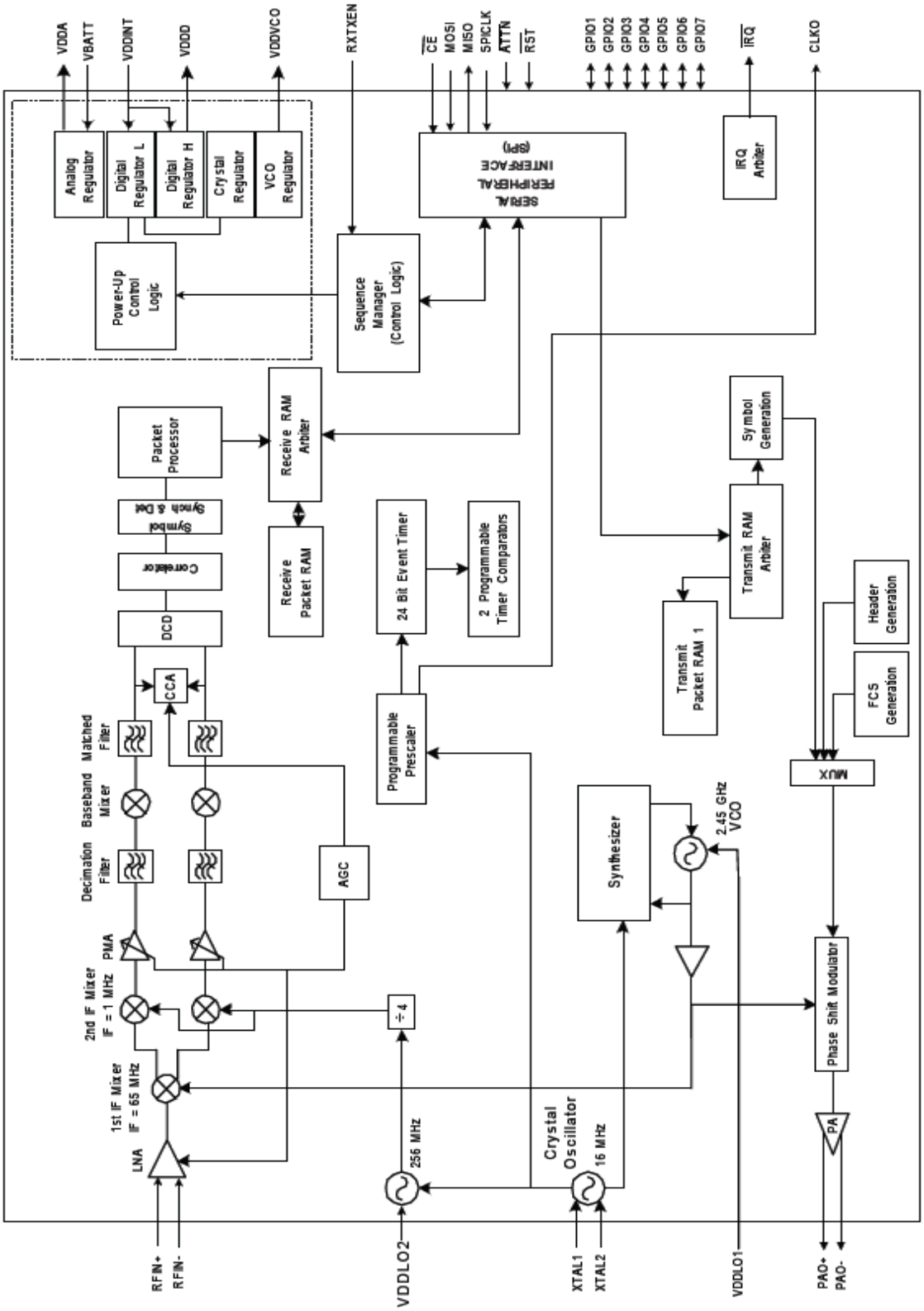
11a	USB	Senzor	11b	USB	Senzor	11c	USB	Senzor	11d	USB	Senzor	USB	Senzor
	-83	N-95	N	N	N		-85	-89		N	N	celkově	celkově
	-83	N-95					-85	-89					
	-83	N-95					-85	-89					
	-85	N-95					-85	N-95					
	-83	N-95					-85	-89				N	N

Útlum= Otevrene - Zavrene (Hodnoty Zavrene převzaty s měření útlumu chodby)

Merici bod	Zavrene USB	Zavrene Senzor	Otevrene USB	Otevrene Senzor	Útlum [dB] USB	Útlum [dB] Senzor	**Útlum 2 [dB]** Celkove
8	-75	-81	-72	-74	3	7	
9	-75	-83	-68	-77	7	6	
10	-83	N	-80	-85	3		
11	N	N	N	N			
Průměr					4,3	6,5	**6**
Odchylka					2	0,5	

Útlum 1[dB]	**5**
Útlum 2 [dB]	**6**

PŘÍLOHA P VI: ZJEDNODUŠENÉ BLOKOVÉ SCHÉMA MC1321X



PŘÍLOHA P VII: ZJEDNODUŠENÉ BLOKOVÉ SCHÉMA MC13191