



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

MĚŘENÍ DOSAHU IEEE 802.15.4

IEEE 802.15.4 RANGE MEASUREMENTS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. LUKÁŠ KOMADEL

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. PETR FIEDLER, Ph.D.

BRNO 2009



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav automatizace a měřicí techniky

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Kybernetika, automatizace a měření

Student: Bc. Lukáš Komadel

ID: 83624

Ročník: 2

Akademický rok: 2008/2009

NÁZEV TÉMATU:

Měření dosahu IEEE 802.15.4

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

V rámci diplomové práce realizujte a vyhodnoťte měření dosahu a kvality bezdrátového signálu v závislosti na umístění modulu ve vozidle. Dále realizujte a vyhodnoťte dlouhodobé měření tak, aby bylo možné vyhodnotit vliv atmosferických podmínek (déšť, sníh) na kvalitu komunikace.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Dle vlastního literárního průzkumu a doporučení vedoucího práce.

Termín zadání: 9.2.2009

Termín odevzdání: 25.5.2009

Vedoucí práce: Ing. Petr Fiedler, Ph.D.

prof. Ing. Pavel Jura, CSc.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

ABSTRAKT

Diplomová práce Měření dosahu IEEE 802.15.4 měla v první části za cíl zjistit, zda mají vliv na bezdrátovou komunikaci mezi dvěma moduly ZigBee různé atmosférické podmínky.

Odpověď jsem chtěl najít pomocí dlouhodobého měření, protože ale nebylo možné najít vhodné místo pro měření, odpověď jsem hledal v literatuře. Z ní vyplynulo, že počasí nemá zásadní vliv na kvalitu signálu, ale co může přerušit komunikaci, je mokré listí.

V druhé části diplomové práce jsem měřil vliv na kvalitu signálu, jestliže jeden modul byl umístněný v automobilu. V rámci měření jsem umístnil moduly do různých částí auta, na palubní desce, na sedadle spolujezdce, v přihrádce před spolujezdcem a v zavazadlovém prostoru. Automobil pro měření byl použit Renault Scénic r.v. 2004.

Z měření vyplynulo, že největší útlum vzniká na motoru automobilu.

KLÍČOVÁ SLOVA

IEEE 802.15.4, ZigBee, atmosférické podmínky, automobil, kvalita signálu, PAN 4450

ABSTRACT

In the master's thesis IEEE 802.15.4 Range measurements I want to find out, whether atmospheric conditions have influence over the quality of communication between two ZigBee modules.

I would like found the answer by long-time test, because I can't found the proper place for the measuring, I must found the answer in the literature. In the literature I found that weather hasn't influence over the quality of ommunication, but big problem for wireless communication are wet leaves.

In the second part of the master's thesis I measuring, whether placing one of the module in the car have influence over the quality of communication. The module was placing in the various places in the car, on a dashboard, on a guest-passenger's seat, in a pocket before guest-passenger and in luggage compartment. The car for the measuring was used Renaul Scénic my. 2004.

By the measuring I found, that the biggest absorption loss is in the motor.

KEYWORDS

IEEE 802.15.4, ZigBee, atmospheric conditions, car, quality of communication, PAN 4450

KOMADEL, L. *Měření dosahu IEEE 802.15.4*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009. 55 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Petr Fiedler, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

„Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma "Měření dosahu IEEE 802.15.4" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

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

V Brně dne: 25. května 2009

Podpis:

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Petrovi Fiedlerovi, Ph.D. za velmi užitečnou metodickou pomoc a cenné rady při zpracování diplomové práce.

V Brně dne: 25. května 2009

Podpis:

OBSAH

OBSAH	6
ZOZNAM TABULIEK	7
ZOZNAM OBRÁZKOV	8
1. ZADANIE DIPLOMOVEJ PRÁCE	10
2. ÚVOD	11
3. TEORETICKÝ ROZBOR	12
4. MERANIE VPLYVU ATMOSFERICKÝCH PODMIENOK	16
4.1 software pre meranie vplyvu atmosferických podmienok	16
4.1.1 Software pre komunikačné moduly	16
4.1.2 Software pre PC	25
4.2 vyhodnotenie testu vplyvu atmosferických podmienok.....	26
5. MERANIE VPLYVU KAROSÉRIE AUTOMOBILU	28
5.1 software pre meranie vplyvu karosérie automobilu	30
5.1.1 Software pre komunikačné moduly	30
5.1.2 Software pre PC	32
5.2 Meranie vplyvu karosérie automobilu	32
5.2.1 Postup merania.....	32
5.2.2 Použité prístroje a pomôcky	33
5.2.3 Meranie referenčných hodnôt	33
5.2.4 Meranie závislosti pri umiestnení vysielača na palubnej doske	36
5.2.5 Meranie závislosti pri umiestnení vysielača v priehradke spolujazdca	41
5.2.6 Meranie závislosti pri umiestnení vysielača na sedadle spolujazdca	46
5.2.7 Meranie závislosti pri umiestnení vysielača v batožinovom priestore	51
6. ZÁVER	57
LITERATÚRA	58
ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A SYMBOLOV	59
ZOZNAM PRÍLOH	60

ZOZNAM TABULIEK

Tab. 4.1 U8PaValue	23
Tab. 5.1 Tabuľka rozmerov pre Renault Scenic 2003 – 2008[6].....	29
Tab. 5.2 Namerané hodnoty pre meranie ref. hodnôt pri výkone -8,8 dB	34
Tab. 5.3 Namerané hodnoty pre meranie ref. hodnôt pri výkone 0 dB.....	35
Tab. 5.4 Namerané hodnoty pre meranie ref. hodnôt pri výkone 3,6 dB.....	35
Tab. 5.5 Namerané hodnoty pre meranie na palubnej doske pri výkone -8,8 dB	37
Tab. 5.6 Namerané hodnoty pre meranie na palubnej doske pri výkone 0 dB	38
Tab. 5.7 Namerané hodnoty pre meranie na palubnej doske pri výkone 3,6 dB	39
Tab. 5.8 Namerané hodnoty pre meranie v priehradke pri výkone -8,8 dB.....	42
Tab. 5.9 Namerané hodnoty pre meranie v priehradke pri výkone 0 dB	43
Tab. 5.10 Namerané hodnoty pre meranie v priehradke pri výkone 3,6 dB	44
Tab. 5.11 Namerané hodnoty pre meranie na sedadle pri výkone -8,8 dB	47
Tab. 5.12 Namerané hodnoty pre meranie na sedadle pri výkone 0 dB	48
Tab. 5.13 Namerané hodnoty pre meranie na sedadle pri výkone 3,6 dB	49
Tab. 5.14 Namerané hodnoty pre meranie v kufri pri výkone -8,8 dB	52
Tab. 5.15 Namerané hodnoty pre meranie v kufri pri výkone 0 dB	53
Tab. 5.16 Namerané hodnoty pre meranie v kufri pri výkone 3,6 dB	54

ZOZNAM OBRÁZKOV

Obr. 3.1 Topológia siete: a) hviezda, b) sieť, c) strom[3].....	12
Obr. 3.2 Architektúra protokolovej štruktúry ZigBee[3].....	15
Obr. 4.1 UML diagram pre prijímač pre dlhodobé meranie	19
Obr. 4.2 UML diagram pre vysielač	21
Obr. 4.3 Software pre PC	25
Obr. 5.1 Rozmery auta Renault Scenic 2003 - 2008 [6]	28
Obr. 5.2 Umiestnenie automobilu v kruhu.....	29
Obr. 5.3 UML diagram pre prijímač pre meranie s automobilom	31
Obr. 5.4 Software pre PC	32
Obr. 5.5 Umiestnenie vysielača pri meraní referenčných hodnôt.....	34
Obr. 5.6 Referenčné hodnoty pre výkon -8,8dB, 0 dB a 3,6 dB	36
Obr. 5.7 Meranie pri umiestnení vysielača na palubnej doske	37
Obr. 5.8 Meranie na palubovej doske a výkone -8,8 dB.....	38
Obr. 5.9 Meranie na palubovej doske a výkone 0 dB	39
Obr. 5.10 Meranie na palubovej doske a výkone 3,6 dB	40
Obr. 5.11 Meranie na palubnej doske pre výkony -8,8 dB, 0 dB a 3,6 dB	41
Obr. 5.12 Meranie pri umiestnení vysielača v priehradke pred spolujazdcom.....	42
Obr. 5.13 Meranie v priehradke a výkone -8,8 dB.....	43
Obr. 5.14 Meranie v priehradke a výkone 0 dB	44
Obr. 5.15 Meranie v priehradke a výkone 3,6 dB.....	45
Obr. 5.16 Meranie v priehradke spolujazdca pre výkony -8,8 dB, 0 dB a 3,6 dB	46
Obr. 5.17 Meranie pri umiestnení vysielača na sedadle	47
Obr. 5.18 Meranie na sedadle a výkone -8,8 dB	48
Obr. 5.19 Meranie na sedadle a výkone 0 dB	49
Obr. 5.20 Meranie na sedadle a výkone 3,6 dB	50
Obr. 5.21 Meranie na sedadle pre výkony -8,8 dB, 0 dB a 3,6 dB	51
Obr. 5.22 Meranie pri umiestnení vysielača v batožinovom priestore	52
Obr. 5.23 Meranie v kufri a výkone -8,8 dB	53
Obr. 5.24 Meranie v kufri a výkone 0 dB	54

Obr. 5.25 Meranie v kufri a výkone 3,6 dB	55
Obr. 5.26 Meranie v kufri pre výkony -8,8 dB, 0 dB a 3,6 dB	56

1. ZADANIE DIPLOMOVEJ PRÁCE

V rámci diplomové práce realizujte a vyhodnoťte měření dosahu a kvality bezdrátového signálu v závislosti na umístění modulu ve vozidle. Dále realizujte a vyhodnoťte dlouhodobé měření tak, aby bylo možné vyhodnotit vliv atmosférických podmínek (déšť, sníh) na kvalitu komunikace.

2. ÚVOD

Komunikačné moduly, využívajúce pomerne novú technológiu ZigBee postavenú na štandarde IEEE 802.15.4, v sebe skrývajú široké spektrum použiteľnosti v rôznych typoch aplikácií. Aby však bolo možné použiť tieto moduly v daných aplikáciách je najskôr treba na moduloch vykonať meranie, aby bolo možné predpokladať, čo od daného zariadenia môžeme očakávať a aby sme jeho vlastnostiam vedeli prispôbiť samotnú aplikáciu.

Táto diplomová práca sa zaoberala meraním modulov PAN 4450 v dvoch rôznych oblastiach použitia.

V prvom prípade som sa venoval príprave na meranie modulov v dlhodobom teste, kde bolo treba vyhodnotiť vplyv atmosférických podmienok na kvalitu signálu.

V druhom prípade som venoval pozornosť na prípravu, meranie a vyhodnotenie merania kvality bezdrôtového signálu v závislosti na umiestnení modulu vo vozidle.

Ako meranie prebiehalo je popísané v ďalších kapitolách tejto práce.

3. TEORETICKÝ ROZBOR

3.1 Bezdrôtová komunikácia podľa štandardu IEEE 802.15.4

Štandard 802.15.4 definuje pre bezdrôtové zariadenia, ktoré sa vyznačujú nízkou spotrebou energie, vysokou bezpečnosťou, malými rozmermi a mnohým iným, fyzickú vrstvu (PHY) a vrstvu prístupu k médiu (MAC).

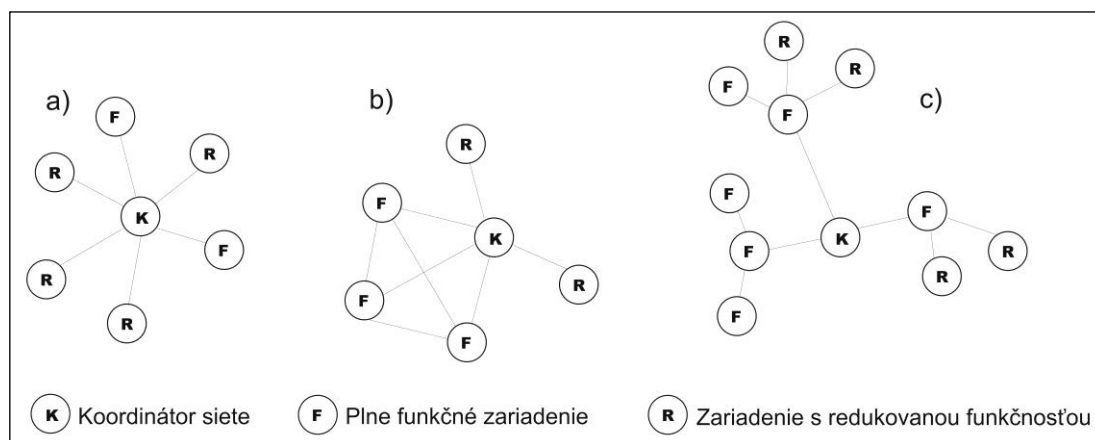
Na fyzickej vrstve štandard definuje napríklad rádiové pásma, topológiu siete, prístupovú metódu a spôsob modulácie signálu.

Zariadenia, ktoré sú postavené na tomto štandarde môžu komunikovať v rôznych rádiových pásmach, aby bez problémov mohli komunikovať v rôznych krajinách po celom svete.

Štandard IEEE 802.15.4 definuje tieto tri typy rádiových pasiem[3]:

- **globálne použitie:** pásmo ISM 2,4 GHz s 16 kanálmi s prenosovou rýchlosťou 250 kb/s;
- **Amerika a Austrália:** pásmo 915 MHz s 10 kanálmi a prenosovou rýchlosťou 40 kb/s;
- **Európa:** pásmo 868 MHz s jedným kanálom a prenosovou rýchlosťou 20 kb/s;

Ďalšou vecou, ktorá je definovaná na fyzickej vrstve je topológia siete, ktorá je znázornená na Obr. 3.1.



Obr. 3.1 Topológia siete: a) hviezda, b) sieť, c) strom[3]

Štandard definuje tri typy sieťovej topológie. Základ tvorí topológia typu hviezda, kde je definované jedno zariadenie ako koordinátor siete a ostatné zariadenia sú už len vo funkcii koncového zariadenia.

Ďalšou z možností, ako môžu byť zariadenia spolu pospájané, je pomocou topológie typu strom, kde je tiež určené jedno zariadenie ako koordinátor a ostatné zariadenia ako koncové, avšak na rozdiel od topológie typu hviezda, môžu zariadenia využiť pre komunikáciu aj iné zariadenie ako koordinátora, napríklad zariadenie typu smerovač.

Tretí typ definovanej topológie, je topológia typu sieť, ktorá je kombináciou dvoch predchádzajúcich topológií.

Štandard IEEE 802.15.4 ďalej definuje použitie metódy CSMA/CA, ktorá spočíva v tom, že každý uzol musí informovať ostatné uzly o úmysle vyslať. V okamžiku, keď boli ostatné uzly informované, informácia je vyslaná. Toto opatrenie by malo zabrániť kolíziám, pretože všetky uzly vedia o vysielaní skôr, ako k nemu v skutočnosti dôjde[1].

MAC vrstva (linková) definuje samotný komunikačný protokol, ktorý je založený na prenose dátových rámcov. Sú definované štyri typy komunikačných rámcov, ktoré sú využívané pre prenos dát, riadenia či správu siete[2]:

- **Data frame:** rámec s dĺžkou užitočných dát 104 bytu slúži na prenos užitočnej informácie pre všetky dátové prenosy v kontexte štandardu[3];
- **Acknowledgement Frame:** rámec slúži pre prenos potvrdzovacej informácie. Je využiteľný len na úrovni MAC pre potvrdzovanú komunikáciu a je vysielaný v takzvanom „mŕtvom čase“ ihneď po prenose paketu[3];
- **MAC Command Frame:** rámec slúži k centralizovanému konfigurovaniu, nastavenia a riadenia klientských zariadení v sieti ZigBee[3].
- **Beacon Frame:** rámec slúži k synchronizácii zariadenia v sieti a je využívaný hlavne pri konfigurácii siete v móde beacon enable,

v ktorom umožňuje uvádzanie klientských zariadení do spánkových režimov[3].

3.2 ZigBee

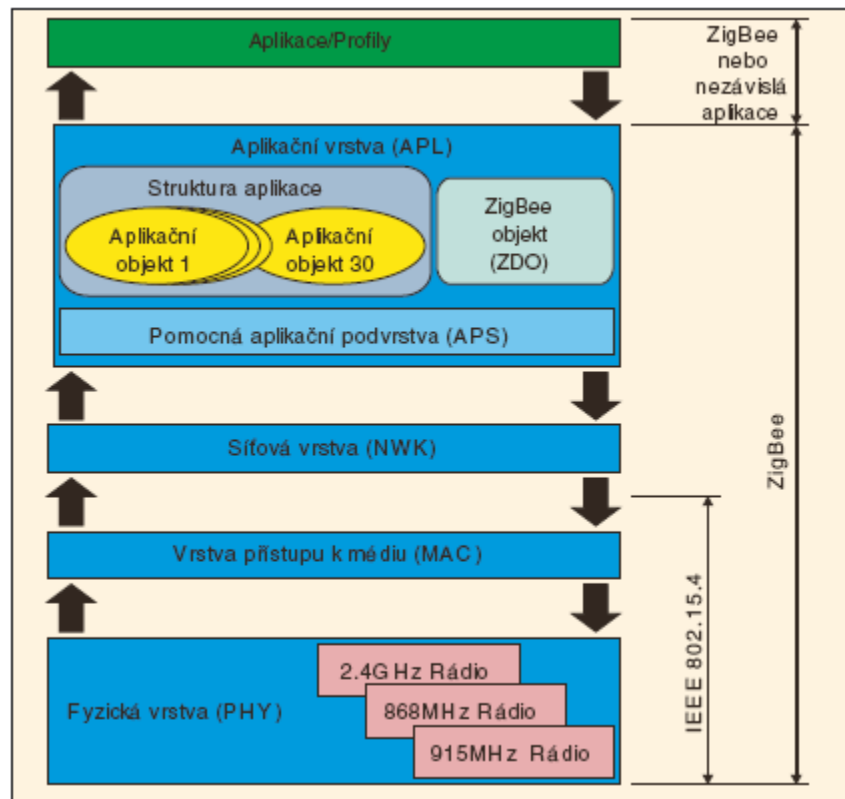
Komunikačná technológia ZigBee je nový nízkorychlostný štandard bezdrôtovej komunikácie, zameraný predovšetkým na oblasti automatizácie a riadiacej techniky. Jedná sa o bezdrôtovú komunikačnú technológiu schválenú ako štandard nadnárodnej organizácie ZigBee Alliance a štandardizačnej organizácie IEEE. Táto perspektívna bezdrôtová komunikačná technológia nájde uplatnenie najmä v takých oboroch, ako je riadenie budov, diaľkové ovládanie, monitorovanie a diagnostika zariadenia, vzdialené čítanie meracích hodnôt, počítačové periférie alebo spotrebná elektronika[3].

3.2.1 Štruktúra protokolu ZigBee

Štruktúra protokolu štandardu ZigBee je znázornený na Obr. 3.2. Štruktúra je navrhnutá maximálne úsporne kvôli predpokladanej implementácii do málo výkonných jednočipových 8-bitových mikrokontrolérov s veľmi obmedzenými pamäťovými dispozíciami. Preto štruktúra protokolov nezaberie viac ako 30 kB v systémovej pamäti[3].

Nad vrstvami štandardu IEEE 802.15.4 je vo vlastnom štandarde ZigBee definovaná sieťová vrstva (NWK) a štruktúra pre aplikačnú vrstvu (APL). Sieťová vrstva zabezpečuje pripájanie k sieti a odpájanie sa z nej, zabezpečenie a smerovanie paketov. Ďalej zaisťuje objavovanie zariadení v rámci jedného preskoku. U koordinátora siete ZigBee je zodpovedná za štart siete a priradovanie adres novozачlenených zariadení[3].

Aplikačná vrstva protokolu ZigBee sa skladá z pomocnej aplikačnej vrstvy (APS), objektov Zigbee (ZDO) a užívateľských aplikačných objektov. Aplikačná pomocná podvrstva udržuje párovací (binding) tabuľky, ktoré umožňujú párovanie zariadení podľa poskytovaných služieb a požiadavkou. Objekt ZigBee definuje rolu zariadení v rámci siete ZigBee (koordinátor, smerovač alebo koncové zariadenie), zaisťuje objavovanie zariadení a vyhľadávanie poskytovaných služieb.



Obr. 3.2 Architektúra protokolovej štruktúry ZigBee[3]

Komunikácia medzi zariadeniami siete sa odvíja od profilu ZigBee, čo je súhrn vlastností možných zariadení a definícií typov a formátov správ medzi jednotlivými zariadeniami tak, aby tvorili zmysluplnú aplikáciu. Profily ZigBee musia byť jednoznačne určené 16-bitovým identifikátorom, ktorý vydáva na základe žiadosti spoločnosť ZigBee Alliance. V rámci profilu Zigbee si potom tvorca aplikácie definuje deskriptory zariadenia, identifikátory správ a poskytované služby[3].

4. MERANIE VPLYVU ATMOSFERICKÝCH PODMIENOK

Meranie malo spočívať v tom, že moduly PAN 4450 mali komunikovať medzi sebou cez otvorené priestranstvo tak, aby bolo možné zaznamenať vplyv napr. dažďa a snehu na signál.

Meranie malo prebiehať automaticky, o čo by sa staral software, ktorý je popísaný v nasledujúcej časti textu.

4.1 SOFTWARE PRE MERANIE VPLYVU ATMOSFERICKÝCH PODMIENOK

Software je navrhnutý tak aby bol schopný vyhodnotiť vplyv rôznych atmosférických vplyvov na kvalitu signálu pri komunikácii dvoch modulov komunikujúcich bezdrôtovou technológiou na frekvenčnom pásme 2,405 až 2,480 GHz. Test prebiehal pre všetkých 15 kanálov a pre 3 hodnoty výstupného výkonu (-8,8 dB; 0 dB a 3,6 dB). SW zaznamenáva dátum a čas kedy bolo dané meranie vykonané, kanál na ktorom prebiehala komunikácia, výkon v decibeloch, ktorý bol nastavený, kvalitu signálu v decibeloch, počet prijatých packetov, počet koľko z týchto packetov prišlo dobrých a koľko prišlo zlých, ďalej program zaznamenáva údaje ako napríklad dobu ktorú trvalo modulom poslať daný počet packetov, popis prostredia v ktorom bolo meranie vykonané a na záver popis aktuálneho počasia v čase prebiehajúceho testu.

SW všetky namerané hodnoty automaticky ukladá do zvoleného súboru, z ktorého bude možné údaje načítať do tabuľkového procesoru a dáta vyhodnotiť.

V nasledujúcej časti tejto kapitoly sa podrobnejšie budem venovať SW pre jednotlivé moduly a pre komunikáciu medzi modulom a PC.

4.1.1 Software pre komunikačné moduly

Kostra softwaru bola vyhotovená pomocou SW BeeKit od firmy Freescale vo verzii 1.9.2. Codebase som nastavil HCS08 SMAC Codebase 1.0.6 pričom využíva SMAC verzie 4.2. Ako typ projektu som zvolil Range Demo Plus RX/TX kde som nastavil hardware na MC13192-SARD.

BeeKit následne vygeneroval kód pre program Freescale CodeWarrior v ktorom už je možné SW prispôbiť vlastným požiadavkám.

Všetko podstatné sa odohráva v nekonečnej slučke, kde sa nachádza switch, ktorý prepína stavy, ktorými sa má program zaoberať. Táto informácia sa nachádza v premennej `gi8AppStatus`. Stavov je samozrejme niekoľko a ich význam je popísaný v nasledujúcej časti.

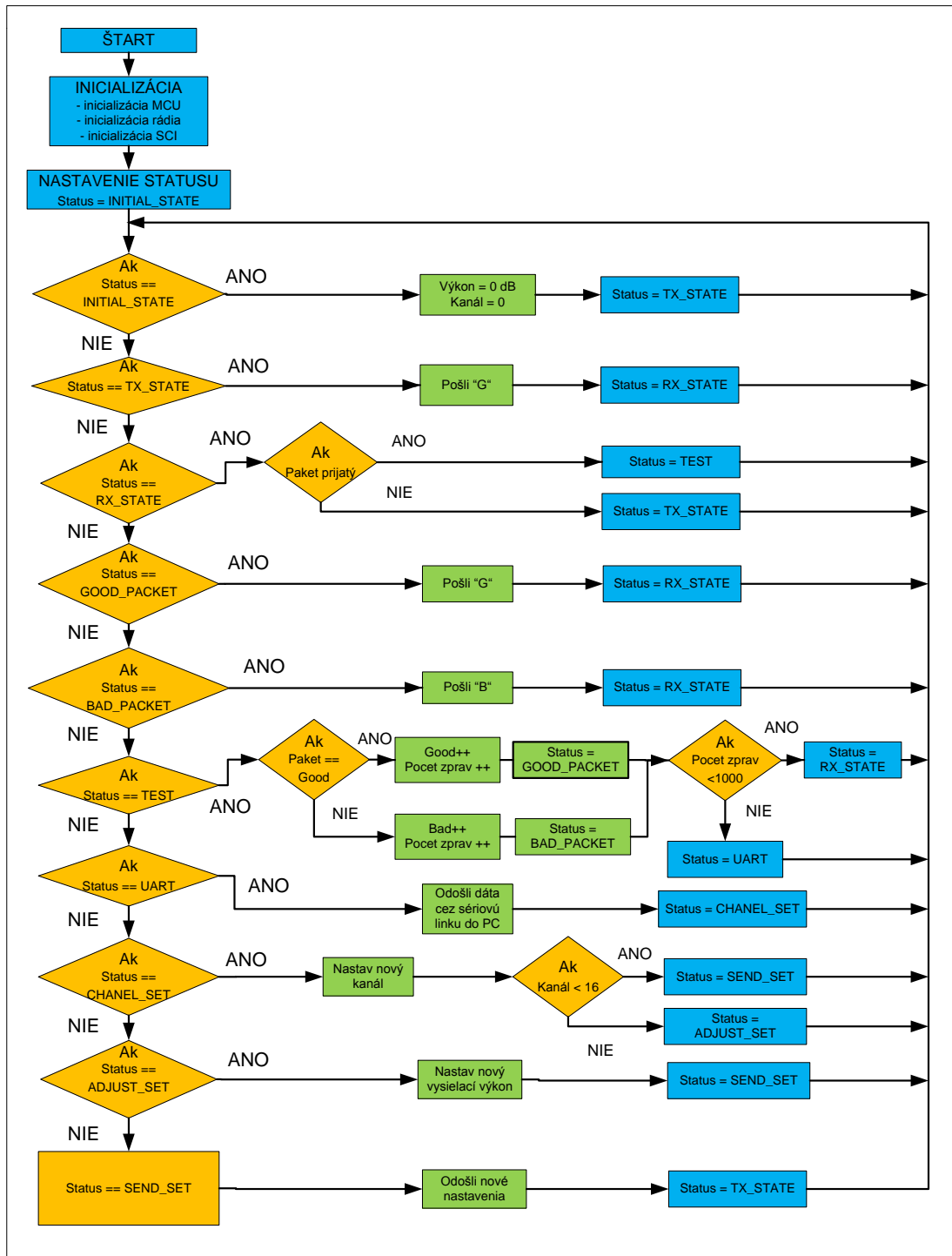
a) Prijímač:

- `INITIAL_STATE`: tento stav nastaví modul na východzie hodnoty, konkrétne kanál na ktorom budeme prijímať/vysielať pomocou funkcie `MLMSetChannelRequest` a vysielačí výkon pomocou funkcie `MLMEMC13192PAOutputAdjust`. Tento stav je nastavený vždy na začiatku, po 200 po sebe nasledujúcich neúspešných poslaní packetu alebo po ukončení sérii testu, čiže po prejdení všetkých kanálov a troch rôznych hodnôt vysielačieho výkonu.
- `TX_STATE`: stav sa používa na prvotné posielanie packetu, alebo sa používa pri výpadku spojenia, kedy prijímač dlhodobo neprijal žiadny packet. Tento stav si od vysielača vyžiada vždy nový packet, bez ohľadu, či bol predchádzajúci packet dobrý alebo zlý. Pre odosielanie správ využíva funkciu `MCPSDataRequest`.
- `RX_STATE`: tu modul čaká a prijíma správy od vysielača, k čomu slúžia funkcie `MLMERXEnableRequest` a `MCPSDataIndication`. Prvá funkcia čaká na prijatie správy nastavenú dobu, ak nastane príjem, je zavolaná funkcia `MCPSDataIndication`, v ktorej sa obsluhuje vyčítanie správy a nastavuje sa príslušný stav.
- `WAITING_FOR_ACK`: tento stav je užitočný pre čakanie na príjem packetu, kedy môžu nastať dve situácie. Buď nastane príjem alebo po uplynutí potrebného času nastane timeout. V tejto situácii je program riadený pomocou prerušení.
- `TEST`: do tohto stavu sa dostaneme po akomkoľvek prijatí packetu. Tu je packet otestovaný pomocou funkcie `crc_f`, či prišiel v poriadku alebo sa

cestou poškodil. Ako z názvu vyplýva, funkcia počíta CRC kód. V prípade príjmu musí byť výsledný kód nulový a vtedy je možné označiť správu za správnu.

- **GOOD_PACKET:** ak bola správa vyhodnotená ako nepoškodená, inkrementuje sa premenná, ktorá zaznamenáva počet dobre prijatých správ a vysielачu je oznámené, že packet bol v poriadku a môže poslať novú správu.
- **BAD_PACKET:** ak stav TEST vyhodnotil, že prijatá správa nebola v poriadku sa program dostane práve sem. Tu sa inkrementuje premenná so zlými packetmi a vysielачu sa odošle zpráva, že prijatý packet bol zlý a vyžiada si poslanie informácie ešte raz.
- **UART:** cez tento stav komunikuje modul pomocou sériovej linky s PC, kedy mu posiela informácie o získaných údajoch počas testovania.
- **CHANNEL_SET:** po vykonaní testu pre aktuálny kanál, je v tomto stave nastavený kanál nasledujúci.
- **ADJUST_SET:** v tomto stave sa nastavujú tri úrovne vysielacieho výkonu a to -8,8 dB, 0 dB a 3,6 dB.
- **SEND_SET:** cez tento stav sa odošlú nastavenia vysielачu, na akom kanály a s akým výkonom budú komunikovať.
- **DELAY_STATE:** táto situácia nastane, ak prebehne test pre všetkých 15 kanálov a 3 stupne výkonu a tento stav určuje, aká bude prestávka medzi jednotlivými blokmi testov

UML diagram pre prijímač je znázornený na Obr. 4.1.

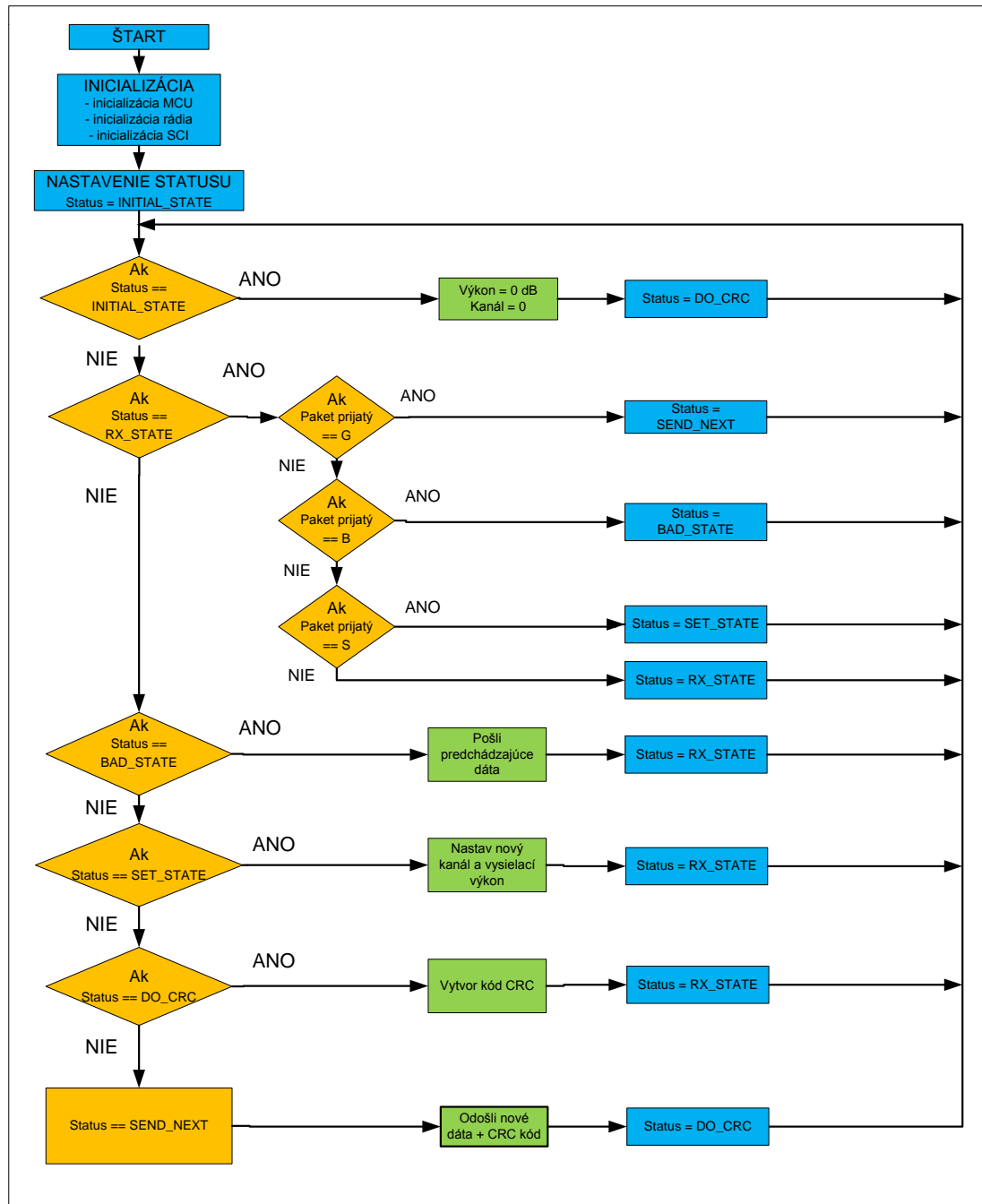


Obr. 4.1 UML diagram pre prijímač pre dlhodobé meranie

b) Vysielač:

- INITIAL_STATE: tento stav nastaví modul na východzie hodnoty, konkrétne kanál na ktorom budeme prijímať/vysielať pomocou funkcie MLMESetChannelRequest a vysielačí výkon pomocou funkcie MLMEMC13192PAOutputAdjust. Tento stav je nastavený vždy na začiatku, alebo po vypršaní času, ktorý je nastavený pre čakanie na prijatie packetu.
- TX_STATE: stav sa používa na vytvorenie a posielanie nového packetu v prípade, že od prijímača dostaneme odpoveď, že prijatý packet bol v poriadku alebo ak dostaneme požiadavku pre poslanie nového packetu. Pre vytváranie správy používa generovanie 24 bitových správ a ďalších 8 bitov je CRC kód vypočítaný vo funkcii crc_f. Pre odosielanie správ využíva funkciu MCPSDataRequest.
- RX_STATE: tu modul čaká a prijíma správy od vysielača, k čomu slúžia funkcie MLMERXEnableRequest a MCPSDataIndication. Prvá funkcia čaká na prijatie správy nastavenú dobu, ak nastane príjem, je zavolaná funkcia MCPSDataIndication, v ktorej sa obsluhuje vyčítanie správy a nastavuje sa príslušný stav.
- WAITING_FOR_ACK: tento stav je užitočný pre čakanie na príjem packetu, kedy môžu nastať dve situácie. Buď nastane príjem alebo po uplynutí potrebného času nastane timeout. V tejto situácii je program riadený pomocou prerušení.
- BAD_STATE: v prípade že od prijímača dostaneme informáciu, že prijal zlý packet, nastane tento stav a postará sa o to, aby bol packet odoslaný ešte raz.
- SET_STATE: do tohto stavu sa dostaneme ak od prijímača prídu informácie o nastaveniach pre výstupný výkon a pre kanál na ktorom budeme komunikovať a nastaví tieto parametre na aktuálne hodnoty.

UML diagram pre vysielač je znázornený na Obr. 4.2.



Obr. 4.2 UML diagram pre vysieláč

c) Popis hlavných funkcií

MCUInit[4]

Táto funkcia inicializuje MCU pre komunikáciu s vysieláčom.

Prototyp:

```
void MCUInit(void);
```

Argumenty:

žiadne

Návratová hodnota:

žiadna

SCIInit

funkcia slúži pre nastavenie sériovej linky pre komunikáciu modulu s PC cez rozhranie RS232.

Prototyp:

```
void SCIInit(void);
```

Argumenty:

žiadne

Návratová hodnota:

žiadna

tim_init

funkcia slúži na nastavenie timeru v MCU.

Prototyp:

```
void tim_init(void);
```

Argumenty:

žiadne

Návratová hodnota:

žiadna

MCPSDataRequest[4]

funkcia sa používa pre odoslanie packetu.

Prototyp:

```
UINT8 MCPSDataRequest(tTxPacket *psTxPacket);
```

Argumenty:

tTxPacket *: Packet pre poslanie

Návratová hodnota:

{SUCCESS}

MLMSEtChannelRequest[4]

Funkcia nastavuje frekvenciu, na ktorej bude prebiehať prijímanie a odosielanie dát.

Prototyp:

UINT8 MLMSEtChannelRequest(UINT8 u8Channel);

Argumenty:

UINT8: Osem bitová premenná, ktorá reprezentuje požadovaný kanál. Sú prípustné hodnoty 0 až 15, čo zodpovedá frekvencii 2,405 až 2,480 GHz.

Návratová hodnota:

{ SUCCESS, ERROR }

MLMEMC13192PAOutputAdjust[4]

Funkcia nastavuje výstupný výkon pre vysieláč. V Tab. 3.1 sú zobrazené hodnoty výkonu v dB, ktoré zodpovedajú nastaviteľným hodnotám 0 až 15.

U8PaValue	Výkon [dB]	U8PaValue	Výkon [dB]
0x0	-16,6	0x8	-1,0
0x1	-16,0	0x9	-0,5
0x2	-15,3	0xA	0,0
0x3	-14,8	0xB	0,4
0x4	-8,8	0xC	2,1
0x5	-8,1	0xD	2,8
0x6	-7,5	0xE	3,5
0x7	-6,9	0xF	3,6

Tab. 4.1 U8PaValue

Prototyp:

UINT8 MLMEMC13192PAOutputAdjust(UINT8 u8PaValue);

Argumenty:

UINT8: 8 bitová hodnota pre nastavenie výstupnej hodnoty.

Návratová hodnota:

{ SUCCESS, OVERFLOW }

MLMERXEnableRequest[4]

Umiestni rádio do módu prijímania na kanál nastavený pomocou funkcie MLMSEtChannelRequest.

Prototyp:

UINT8 MLMERXEnableRequest(tRxPacket *psRxPacket, UINT32
u32Timeout).

Argumenty:

tRxPacket *: Umiestenie bufferu pre prijaté dáta.

UINT32: 32 bitová timeout hodnota.

Návratová hodnota:

{ SUCCESS, ERROR }

crc_f

slúži na výpočet 8 bitového CRC kódu

Prototyp:

UINT32 crc_f(UINT32 sprava);

Argumenty:

UINT32: hodnota, ku ktorej sa vypočíta 8-bitový CRC kód.

Návratová hodnota:

UINT32: 32 bitová hodnota reprezentujúca správu s CRC kódom.

MLMELinkQuality[4]

Funkcia vracia hodnotu, ktorá predstavuje kvalitu spojenia z posledného prijatého packetu:

$$dBm = - \frac{Link\ Quality}{2}$$

Prototyp:

UINT8 MLMELinkQuality (void);

Argumenty:

žiadne

Návratová hodnota:

UINT8: 8 bitová hodnota reprezentujúca kvalitu signálu.

MCPSDataIndication[4]

Táto funkcia je potrebná pre aplikáciu. SMAC volá túto funkciu keď sú prijaté dáta.

Prototyp:

```
void MCPSDataIndication(tRxPacket *gsRxPacket);
```

Argumenty:

tRxPacket *: Ukazatel' na premennú, kde je umiestnený prijatý packet.

Návratová hodnota:

žiadna

4.1.2 Software pre PC

SW slúži pre vyčítanie dát cez sériovú linku odoslaných z komunikačného modulu, ktoré uloží do súboru. S údajmi bude možné ďalej pracovať v tabuľkovom procesore.

GUI programu je zobrazený na Obr. 4.3.



Obr. 4.3 Software pre PC

Program je napísaný v jazyku C++ vo vývojovom prostredí Microsoft Visual Studio 2005. Ako šablónu som použil Windows Forms Application, čo mi prácu značne zjednodušilo, pretože táto šablóna obsahuje už veľmi veľa integrovaných nástrojov, ktoré stačí len vhodne implementovať. Takýmto spôsobom som využil napríklad nástroj pre obsluhu sériovej linky, pre komunikáciu medzi modulom a PC cez konektor RS232. Visual Studio tu ponúkalo široké možnosti nastavenia, ako napríklad nastavenie prenosovej rýchlosti, v mojom prípade nastavenú na 38400 b/s, počet bitov, paritu, počet stop bitov, názov portu, atď.

Ďalšie použité nástroje boli viac-menej štandardné, ako napríklad, tlačítka, text boxy alebo tabuľka Data Grid.

Po nakonfigurovaní a naprogramovaní jednotlivých súčastí bolo možné software prepojiť s modulom Prijímač a spracúvať dáta, ktoré mu boli posielané.

Následne sa dáta uložili do súboru, ktorý bolo možné predvoliť a s ktorým bolo možné ďalej pracovať napríklad v tabuľkovom procesore a dáta vyhodnocovať.

4.2 VYHODNOTENIE TESTU VPLYVU ATMOSFERICKÝCH PODMIENOK

Bohužiaľ sa v tejto časti nebude nachádzať žiadna tabuľka s nameranými hodnotami alebo grafické závislosti, ktoré by ukazovali, aký mali vplyv na komunikáciu jednotlivé atmosférické vplyvy, ako napríklad dážď či sneh. Nie je to z dôvodu nepripravenosti softveru, ten ako ste si mohli prečítať vyššie bol nachystaný a aj otestovaný, ale z dôvodu, že bolo veľmi ťažké nájsť miesto, ktoré by bolo na meranie vhodné.

Skúšal som dve miesta, kde som predpokladal, že by to bolo možné avšak ani v jednom prípade sa to nepotvrdilo. V prvom prípade boli moduly umiestnené v istej spoločnosti, kde mi bola prisľúbená osemhodinová starostlivosť, ktorá spočívala v tom, že občas by bolo skontrolované či moduly komunikujú, čo indikovali blikajúce LED diody. Ak by nekomunikovali, stačilo len vypnúť a zapnúť modul prijímač a o všetko ostatné sa už staral SW. No vďaka neodbornej manipulácii som ešte v prvý deň merania o jeden modul prišiel a vyhodnotil som toto prostredie ako krajne nevyhovujúce.

Po takomto neúspechu bol pokus umiestniť moduly niekam do priestoru objektu školy na ulici Koleční 4, no napriek značnému úsiliu to nebolo možné, pretože moduly mali slabý výkon a nedokázali spolu komunikovať ani na krátku vzdialenosť ak bola medzi nimi prekážka tvorená plastovými oknami.

Aby tu však nebol len text opisujúci nezdar pri meraní, pokúsil som sa aspoň vyhľadať informácie o bezdrôtovej komunikácii na frekvenčnom pásme 2,4 GHz a ako na ňu vplyvajú rôzne atmosférické podmienky.

Prečítal som niekoľko článkov a diskusných príspevkov, ktoré sa venovali danej problematike. Väčšinou išlo o praktické skúsenosti používateľov. Informácie sa rôznili, dokonca si často protirečili. Avšak prevládal názor, že dážď ani sneh komunikáciu neovplyvňujú a ak aj áno tak zanedbateľne. Pekne to bolo popísané

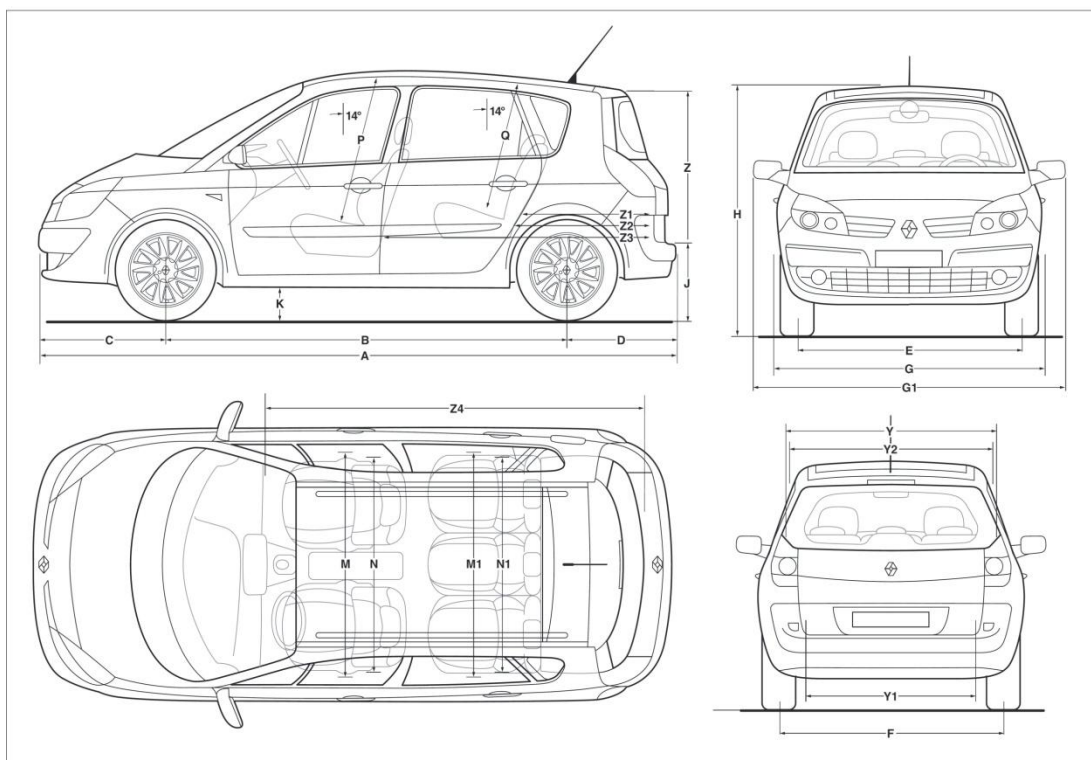
v istom článku[5], kde sa spomína, že i veľmi intenzívny dážď (150 mm/h) spôsobuje zoslabenie signálu maximálne o 0,02 dB/km.

Všetci sa ale zhodli na tom, že pre signál v pásme 2,4 GHz je najväčšou prekážkou mokré lístie, ktoré vytvára akúsi „vodnú stenu“, pretože voda vlny v pásme 2,4 GHz neprepúšťa – mení ju na tepelnú energiu[5].

5. MERANIE VPLYVU KAROSÉRIE AUTOMOBILU

Ako už z nadpisu vyplýva, toto meranie sa zaoberalo skúmaním aký, a či vôbec, má vplyv na signál, ktorý bol vysielaný medzi dvomi modulmi PAN 4450, karoséria a rôzne časti automobilu. Preto boli tieto moduly umiestňované na rôznych miestach, na palubnej doske, na prednom sedadle spolujazdca, v priehradke pred spolujazdcom a v zadnom batožinovom priestore.

Pre toto meranie bol použitý automobil Renault Scenic r.v. 2004. Jeho rozmery sú znázornené a popísané na Obr. 5.1 a v tabuľke Tab. 5.1.

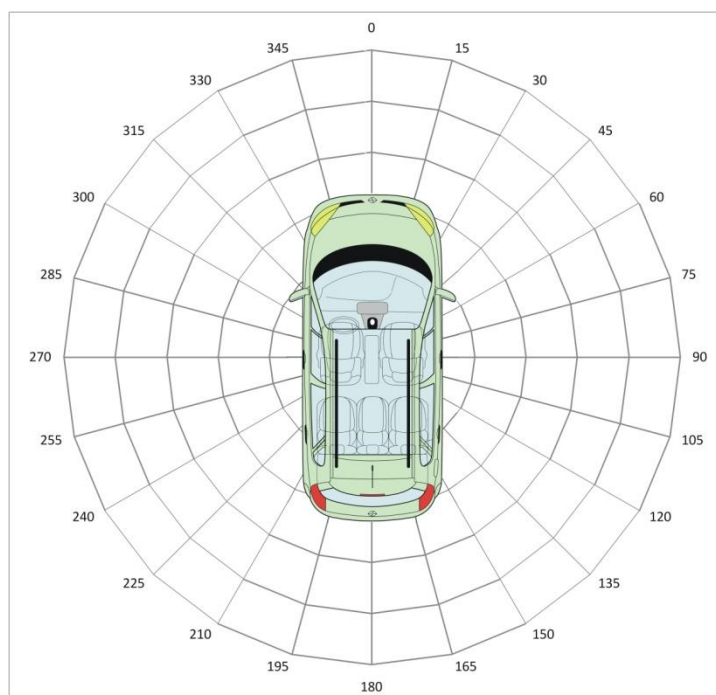


Obr. 5.1 Rozmery auta Renault Scenic 2003 - 2008 [6]

Legenda	Rozmer [mm]	Legenda	Rozmer[mm]
A	4263	N	1442
B	2685	N1	1446
C	851	P	1057
D	723	Q	978
E	1514/1506	Y	1180
F	1514/1506	Y1	1000
G	1810/1805	Y2	1000
H	1610	Z	920
J	569	Z1	840
K	>120	Z2	990
M	1484	Z3	1672
M1	1502	Z4	2500

Tab. 5.1 Tabuľka rozmerov pre Renault Scenic 2003 – 2008[6]

Meranie prebiehalo tak, že na parkovisku bol pomocou značkovacích pomôcok vytvorený kruh o polomere 10 m a následne boli zmerané referenčné hodnoty, čiže hodnoty merané tak, že vysielač bol umiestnený mimo vozidla a v strede kruhu.



Obr. 5.2 Umiestnenie automobilu v kruhu

V ďalšom kroku sa do stredu kruhu zaparkoval automobil, ako ukazuje Obr. 5.2 do ktorého sa umiestnil vysielač a prijímač s PC, ktorý zaznamenával namerané hodnoty, boli umiestnené na obvodě kruhu.

Počas merania boli ideálne meteorologické podmienky, teplota ovzdušia 21°C, jasno, bezvetrie.

Obslužnému softwaru a samotnému meraniu sa venujú nasledujúce podkapitoly.

5.1 SOFTWARE PRE MERANIE VPLYVU KAROSÉRIE AUTOMOBILU

Software bol naprogramovaný tak, aby bol schopný zaznamenať kvalitu signálu, počet prijatých packetov z ktorých vyhodnotil počet dobrých a počet zlých packetov. SW automaticky zmeral tieto hodnoty pre tri rôzne úrovne vysielacieho výkonu, konkrétne pre výkon -8,8 dB, 0 dB a 3,6 dB a pre kanál 0.

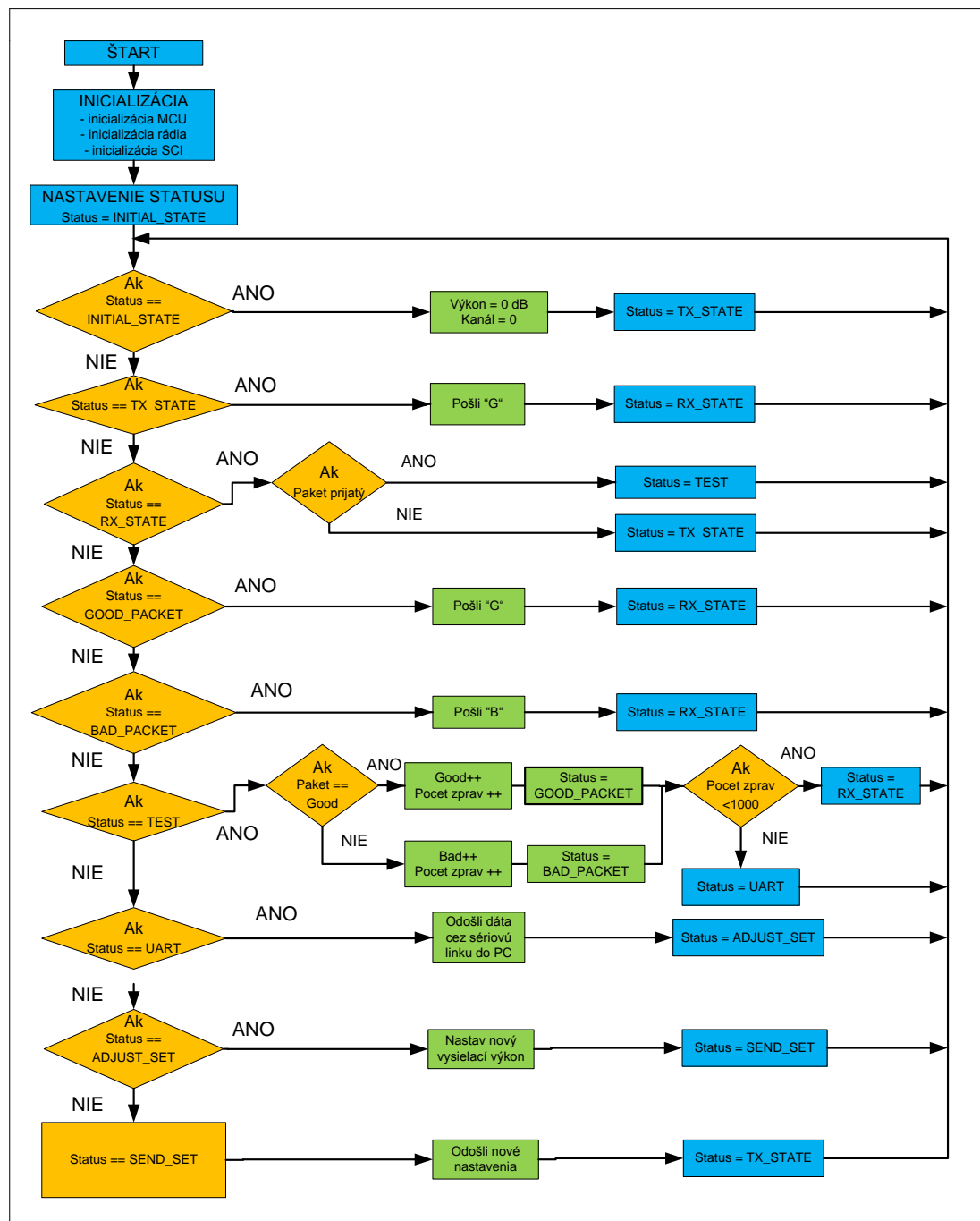
Tieto hodnoty boli uložené do textového súboru, ktorý bol importovaný do tabuľkového procesoru , kde boli dáta ďalej spracovávané.

5.1.1 Software pre komunikačné moduly

SW pre toto meranie je upravený kód softwaru, ktorý bol popísaný v časti pre meranie vplyvu atmosférických podmienok na vplyv komunikácie a preto sa nebudem už venovať kostre programu, ktorá bola vytvorená tiež pomocou programu BeeKit od firmy Freescale, ani sa nebudem rozpisovať o jednotlivých funkciách, ktoré oba moduly používajú, pretože sú úplne totožné s funkciami z predchádzajúceho merania.

Pre prijímač nastala jedna podstatná zmena a to v tom, že vypadol stav CHANNEL_SET pretože v tomto meraní už nenastavujem rôzne kanále, ale len rôzne vysielacie výkony.

Upravený UML diagram pre prijímač je znázornený na Obr. 5.3.

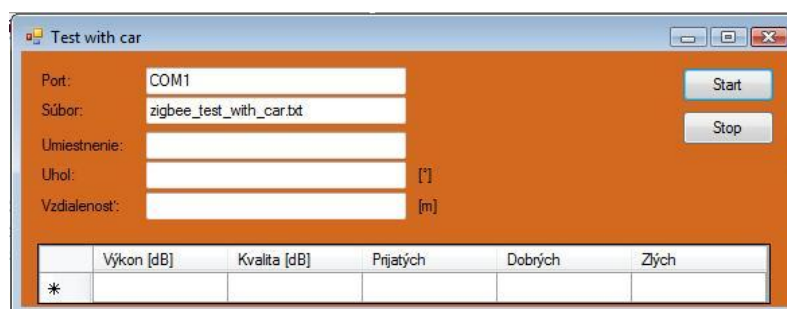


Obr. 5.3 UML diagram pre prijímač pre meranie s automobilom

Pre vysielač nastali tiež drobné zmeny, vyplývajúce zo zmien pre prijímač, teda pri nastavovaní nových parametrov sa nastavuje len nový vysielači výkon, kanál zostáva na hodnote 0. UML diagram je zhodný z diagramom pre meranie vplyvu atmosférických podmienok na kvalitu signálu a je znázornený na Obr.4.2.

5.1.2 Software pre PC

Program slúži na spracovanie dát poslaných prijímačom cez sériovú linku. Tieto údaje sú následne zobrazené v grafickom prostredí programu, ktorý je zobrazený na Obr. 5.4 a uložené do zvoleného súboru. Tie je možné zo súboru exportovať do tabuľkového procesora a ďalej spracovávať.



Obr. 5.4 Software pre PC

Pre tento program platia všetky vlastnosti, ako pre program, ktorý spracovával dáta pre meranie vplyvu atmosférických podmienok na kvalitu signálu, pretože zdrojový kód bol použitý priamo z neho, bol len trochu prispôbený požiadavkám pre nové meranie, teda boli zmenené popisky jednotlivých textových polí, a bol upravený aj ich počet.

Ostatná funkčnosť bola zachovaná, ako napríklad funkčnosť tlačítok Start, Stop, zobrazovanie výsledkov v tabuľke Data Grid, obsluhu sériovej linky, kde som ponechal nastavenia rovnaké ako v prvom meraní.

5.2 MERANIE VPLYVU KAROSÉRIE AUTOMOBILU

5.2.1 Postup merania

1. Na začiatok bolo treba vyznačiť kruh s polomerom 10 m s vyznačeným stredom. Po obvode kruhu sa vyznačili hodnoty uhla natočenia po 15°
2. V ďalšom kroku sa umiestnil vysielací modul na požadované miesto (stred kruhu, palubná doska, priehradka pred spolujazdcom, predné sedadlo spolujazdca, batožinový priestor).
3. Uviesť vysieláč do činnosti.

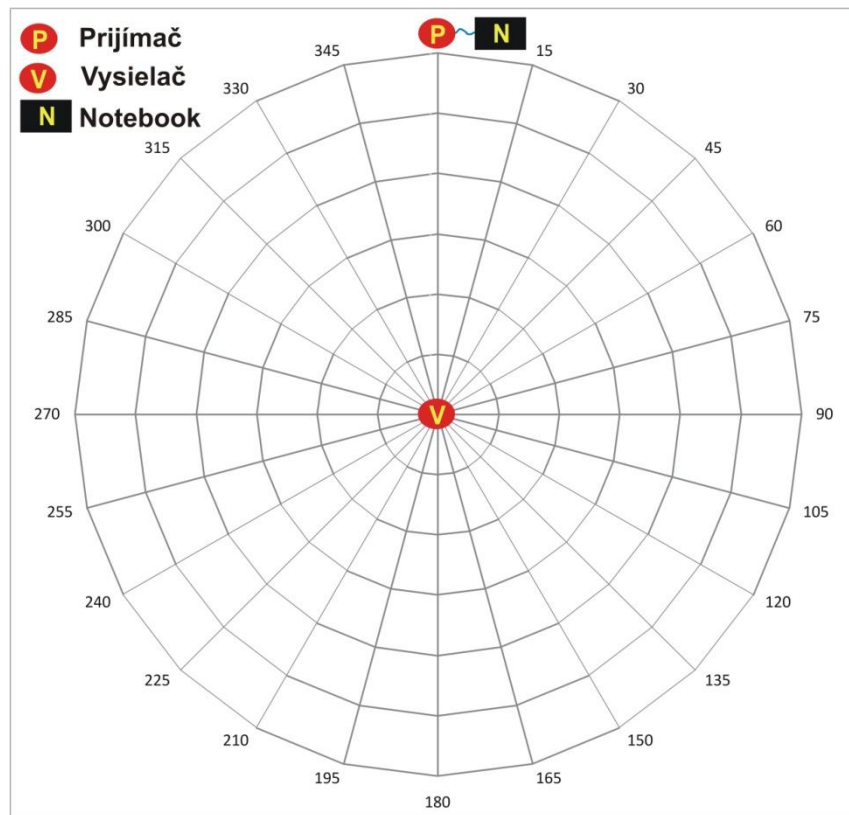
4. Umiestniť prijímač na východzí bod (na miesto s označením uhla 0°), zapnúť ho, pripojiť k notebooku a spustiť v ňom aplikáciu naprogramovanú pre vyčítanie dát zo sériovej linky, ktoré posielal prijímač.
5. Presunúť prijímač na nasledujúcu hodnotu uhla.
6. Opakovať bod 4. a 5. kým neprejdeme celý obvod kruhu.
7. Zmeniť umiestnenie vysielacza.
8. Opakovať meranie.

5.2.2 Použité prístroje a pomôcky

- 2-krát modul PAN 4450
- Notebook
- Automobil Renault Scenic r.v. 2004 (Diesel)
- Pásmo 30 m

5.2.3 Meranie referenčných hodnôt

V tomto merní automobil nebol použitý a vysieláč bol umiestnený v strede kruhu, ako to znázorňuje Obr. 5.5.



Obr. 5.5 Umiestnenie vysielача pri meraní referenčných hodnôt

Namerané výsledky sú prehľadne zobrazené v tabuľkách Tab. 5.2, Tab. 5.3 a Tab. 5.4.

Uhol [°]	Vzdialenosť [m]	Nastavený výkon [dB]	Kvalita signálu [dB]	Prijaté packety	Dobré packety	Zlé packety
0	10	-8,8	-71	100	100	0
30	10	-8,8	-68	100	100	0
60	10	-8,8	-71	100	100	0
90	10	-8,8	-80	100	100	0
120	10	-8,8	-74	100	100	0
150	10	-8,8	-78	100	100	0
180	10	-8,8	-76	100	100	0
210	10	-8,8	-80	100	100	0
240	10	-8,8	-75	100	100	0
270	10	-8,8	-71	100	100	0
300	10	-8,8	-72	100	100	0
330	10	-8,8	-73	100	100	0

Tab. 5.2 Namerané hodnoty pre meranie ref. hodnôt pri výkone -8,8 dB

Uhol [°]	Vzdialenosť [m]	Nastavený výkon [dB]	Kvalita signálu [dB]	Prijaté packety	Dobré packety	Zlé packety
0	10	0	-72	100	100	0
30	10	0	-72	100	100	0
60	10	0	-72	100	100	0
90	10	0	-77	100	100	0
120	10	0	-74	100	100	0
150	10	0	-79	100	100	0
180	10	0	-72	100	100	0
210	10	0	-81	100	100	0
240	10	0	-76	100	100	0
270	10	0	-74	100	100	0
300	10	0	-79	100	100	0
330	10	0	-71	100	100	0

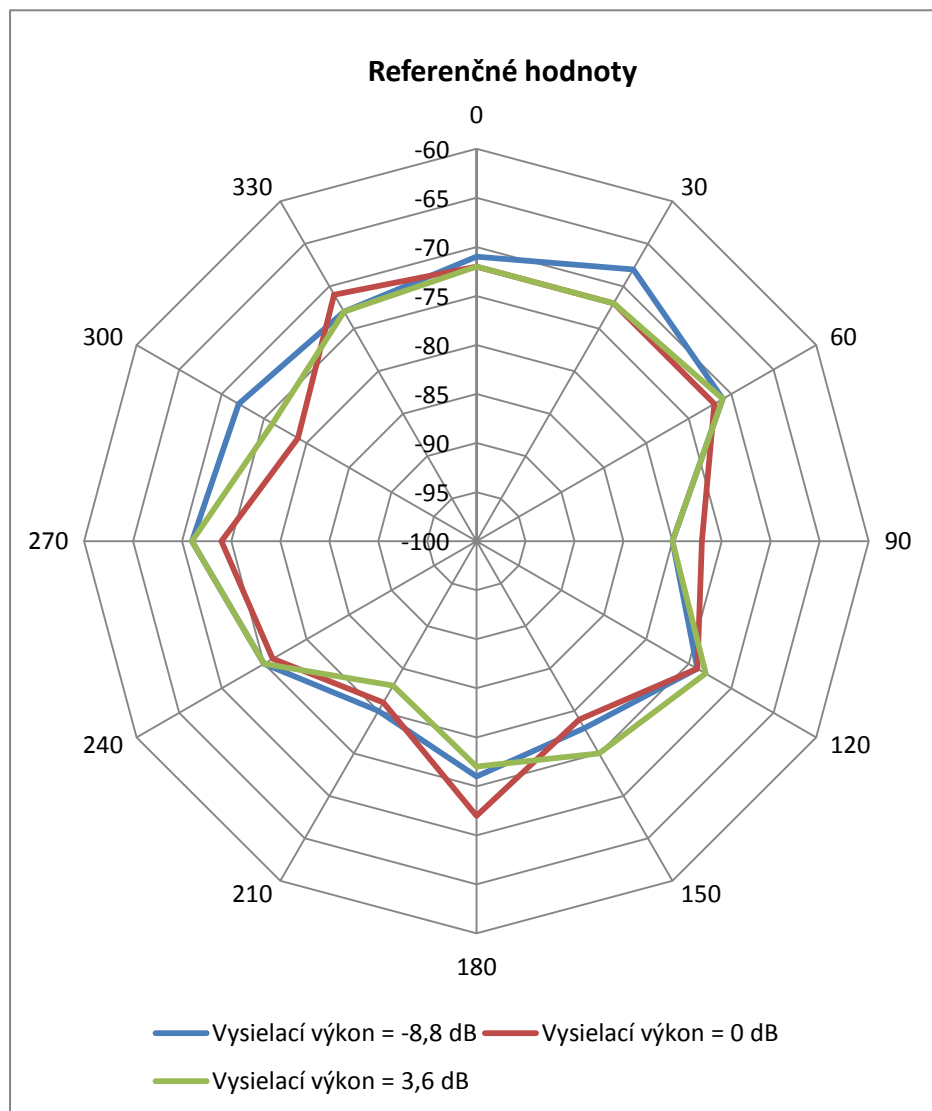
Tab. 5.3 Namerané hodnoty pre meranie ref. hodnôt pri výkone 0 dB

Uhol [°]	Vzdialenosť [m]	Nastavený výkon [dB]	Kvalita signálu [dB]	Prijaté packety	Dobré packety	Zlé packety
0	10	3,6	-72	100	100	0
30	10	3,6	-72	100	100	0
60	10	3,6	-71	100	100	0
90	10	3,6	-80	100	100	0
120	10	3,6	-73	100	100	0
150	10	3,6	-75	100	100	0
180	10	3,6	-77	100	100	0
210	10	3,6	-83	100	100	0
240	10	3,6	-75	100	100	0
270	10	3,6	-71	100	100	0
300	10	3,6	-76	100	100	0
330	10	3,6	-73	100	100	0

Tab. 5.4 Namerané hodnoty pre meranie ref. hodnôt pri výkone 3,6 dB

Grafická závislosť, kde porovnávam namerané výsledky pre jednotlivé nastavené výkony je znázornená na nasledujúcom obrázku.

Tieto hodnoty sú využívané pre porovnanie v jednotlivých meraniach s automobилоm.

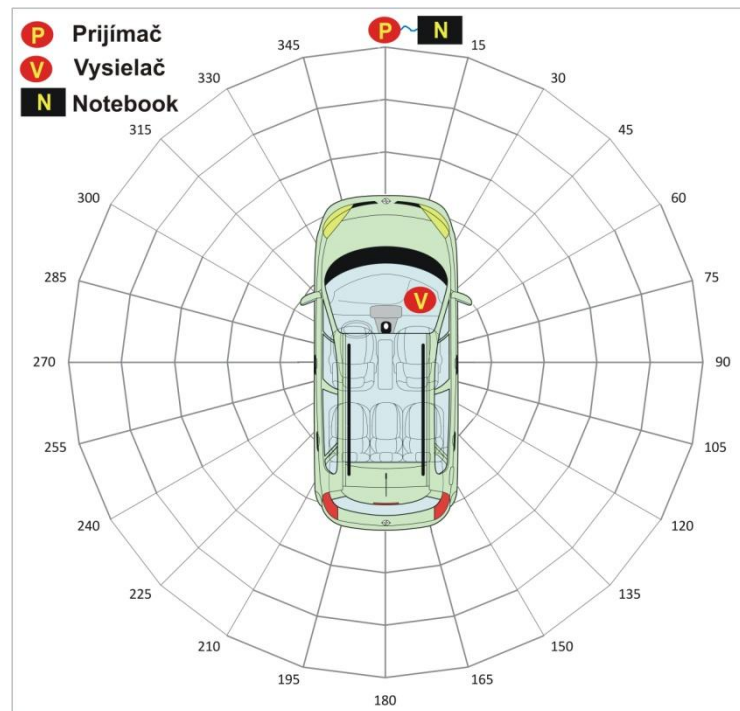


Obr. 5.6 Referenčné hodnoty pre výkon -8,8dB, 0 dB a 3,6 dB

5.2.4 Meranie závislosti pri umiestnení vysieláča na palubnej doske

Pri tomto meraní bol vysieláč umiestnený približne v strede palubnej dosky automobilu. Na obrázku Obr. 5.7 je znázornené ako to približne vyzeralo v praxi.

V tomto prípade bolo pravdepodobne pre signál najväčšou prekážkou pri ceste k prijímaču sklo automobilu, pretože práve cez sklo bola priama viditeľnosť medzi vysieláčom a prijímačom počas merania po obvode kruhu najčastejšia.

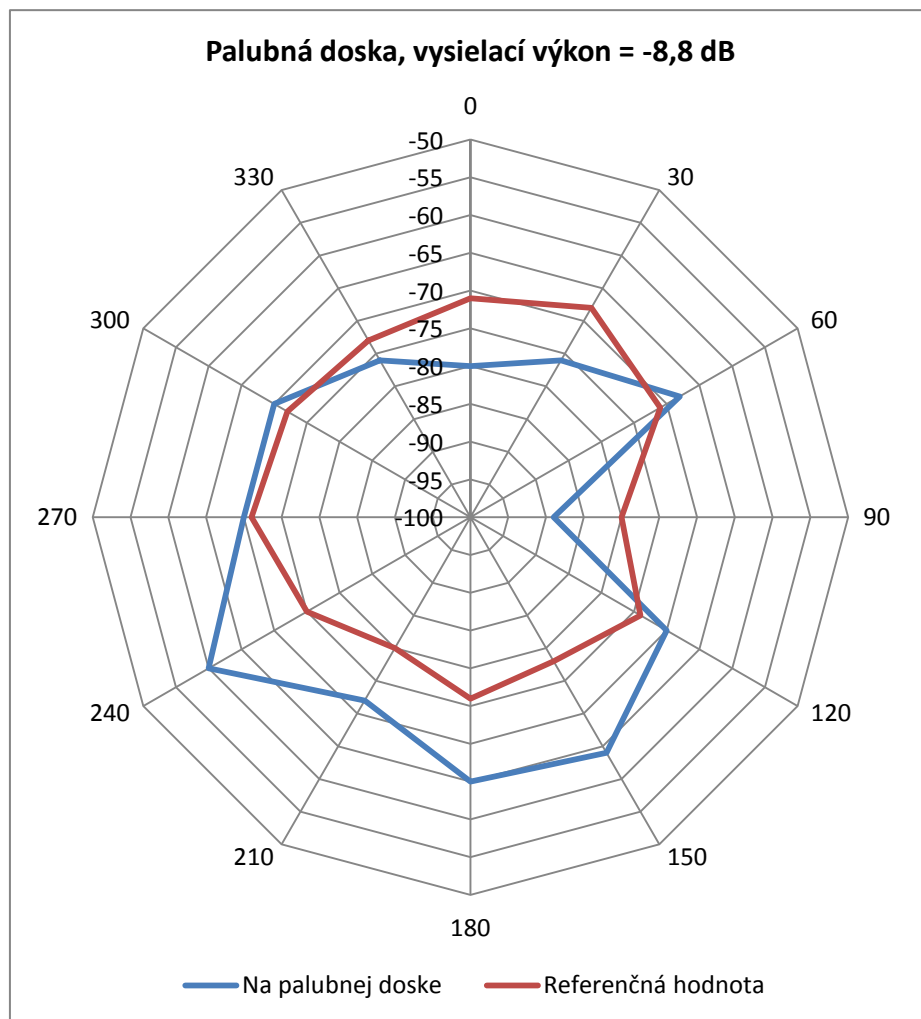


Obr. 5.7 Meranie pri umiestnení vysielača na palubnej doske

V nasledujúcich tabuľkách, sú zobrazené namerané hodnoty z tohto merania opäť pre tri hodnoty výstupného výkonu, -8,8 dB, 0 dB a 3,6 dB. Výsledky sú ďalej zobrazené v grafoch, kde sú porovnávané z referenčnými hodnotami pre dané výkony.

Uhol [°]	Vzdialenosť [m]	Nastavený výkon [dB]	Kvalita signálu [dB]	Prijaté packety	Dobré packety	Zlé packety
0	10	-8,8	-80	100	100	0
30	10	-8,8	-76	100	100	0
60	10	-8,8	-68	100	100	0
90	10	-8,8	-89	100	100	0
120	10	-8,8	-70	100	100	0
150	10	-8,8	-64	100	100	0
180	10	-8,8	-65	100	100	0
210	10	-8,8	-72	100	100	0
240	10	-8,8	-60	100	100	0
270	10	-8,8	-70	100	100	0
300	10	-8,8	-70	100	100	0
330	10	-8,8	-76	100	100	0

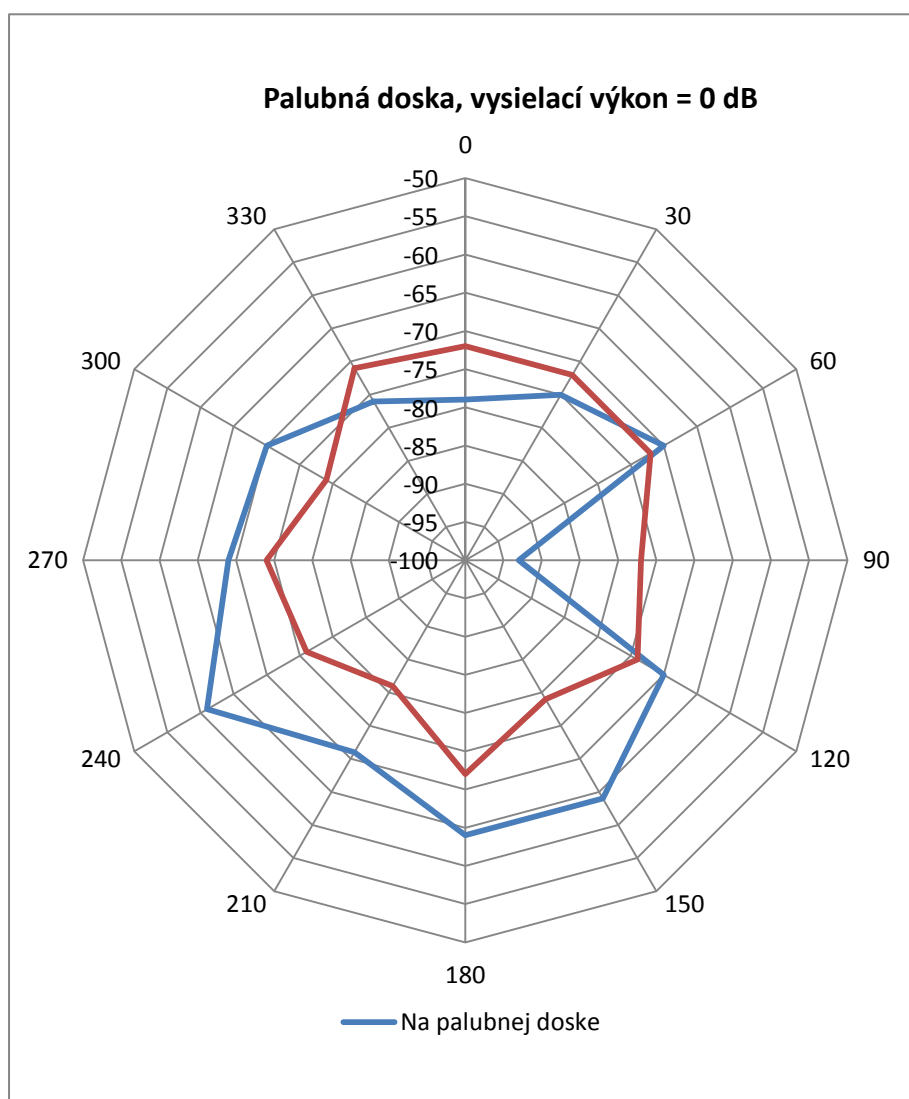
Tab. 5.5 Namerané hodnoty pre meranie na palubnej doske pri výkone -8,8 dB



Obr. 5.8 Meranie na palubovej doske a výkone -8,8 dB

Uhol [°]	Vzdialenosť [m]	Nastavený výkon [dB]	Kvalita signálu [dB]	Prijaté packety	Dobré packety	Zlé packety
0	10	0	-79	100	100	0
30	10	0	-75	100	100	0
60	10	0	-70	100	100	0
90	10	0	-93	100	100	0
120	10	0	-70	100	100	0
150	10	0	-64	100	100	0
180	10	0	-64	100	100	0
210	10	0	-71	100	100	0
240	10	0	-61	100	100	0
270	10	0	-69	100	100	0
300	10	0	-70	100	100	0
330	10	0	-76	100	100	0

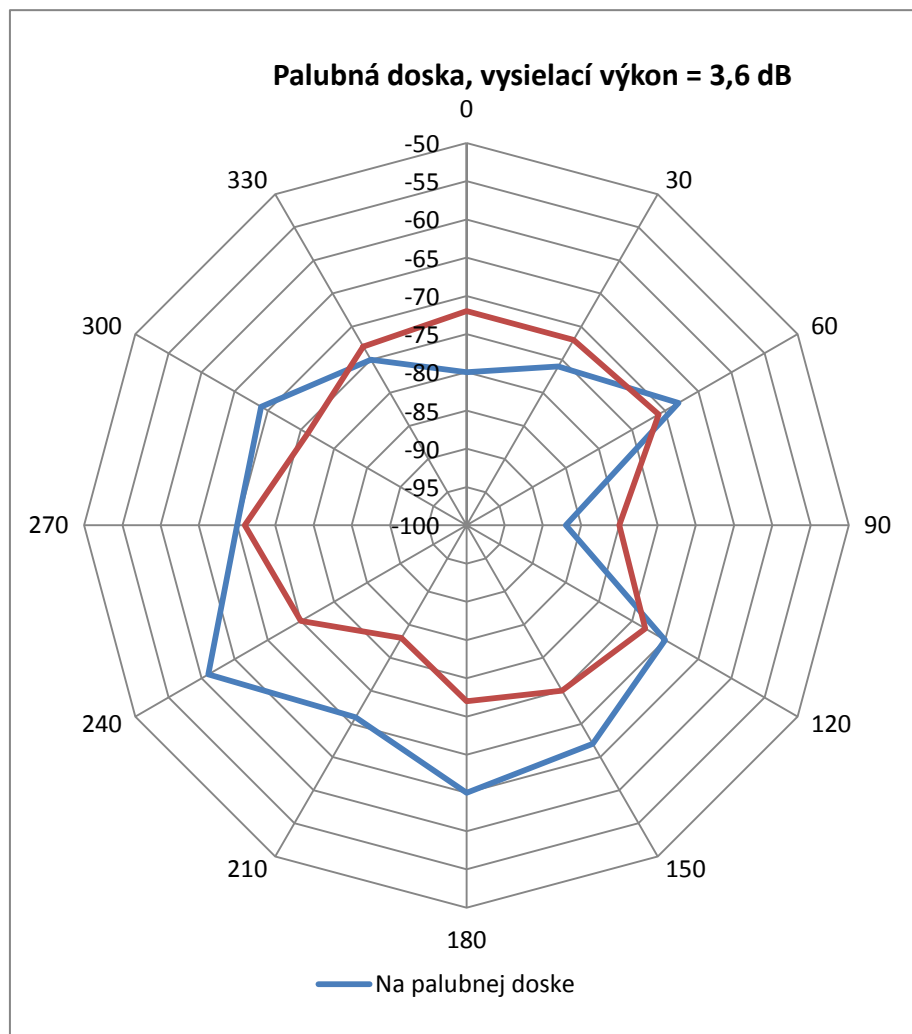
Tab. 5.6 Namerané hodnoty pre meranie na palubnej doske pri výkone 0 dB



Obr. 5.9 Meranie na palubovej doske a výkone 0 dB

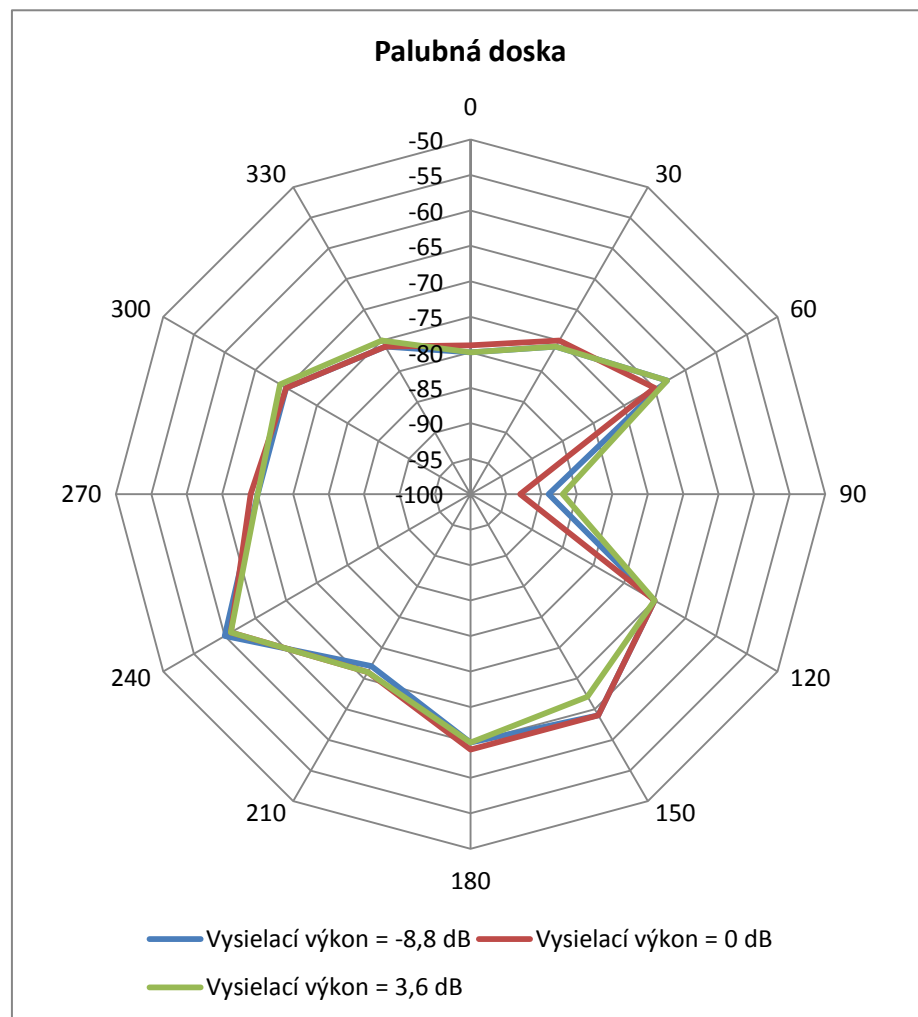
Uhol [°]	Vzdialenosť [m]	Nastavený výkon [dB]	Kvalita signálu [dB]	Prijaté packety	Dobré packety	Zlé packety
0	10	3,6	-80	100	100	0
30	10	3,6	-76	100	100	0
60	10	3,6	-68	100	100	0
90	10	3,6	-87	100	100	0
120	10	3,6	-70	100	100	0
150	10	3,6	-67	100	100	0
180	10	3,6	-65	100	100	0
210	10	3,6	-71	100	100	0
240	10	3,6	-61	100	100	0
270	10	3,6	-70	100	100	0
300	10	3,6	-69	100	100	0
330	10	3,6	-75	100	100	0

Tab. 5.7 Namerané hodnoty pre meranie na palubnej doske pri výkone 3,6 dB



Obr. 5.10 Meranie na palubovej doske a výkone 3,6 dB

V nasledujúcom grafe, na Obr. 5.11, sú zobrazené všetky tri namerané charakteristiky spoločne. Je tu zaujímavé sledovať, že sa od seba líšia úplne minimálne, napriek tomu, že každá bola meraná pri inom nastavenom vysielacom výkone.



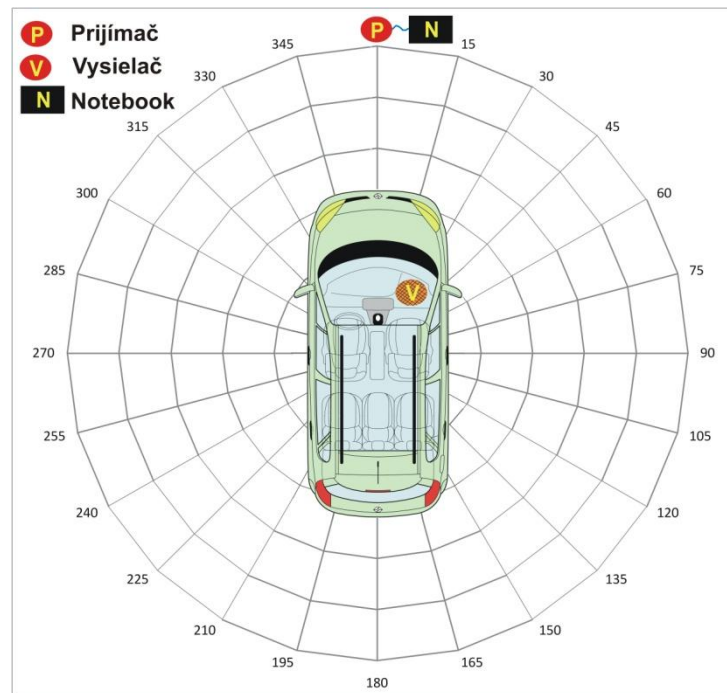
Obr. 5.11 Meranie na palubnej doske pre výkony -8,8 dB, 0 dB a 3,6 dB

V tomto meraní som sa pokúsil zmerať, pri uhle 0° , ako sa bude meniť kvalita signálu s narastajúcou vzdialenosťou od stredu kruhu po prijímač. No už pri 15 m som nameril pre nastavený výkon 0 dB a 3,6 dB hodnotu -95 dB a pre hodnotu -8,8 dB už nebolo možné zmerať nič.

5.2.5 Meranie závislosti pri umiestnení vysielača v priehradke spolujazdca

V tomto prípade bol vysielač umiestnený v úložnom priestore pred spolujazdcom, ako to znázorňuje Obr. 5.12.

Na signál viac ako sklo vplývali jednotlivé materiály auta, či už motorová časť vpredu, čalúnenie a výplň sedačiek alebo plechová časť karosérie.

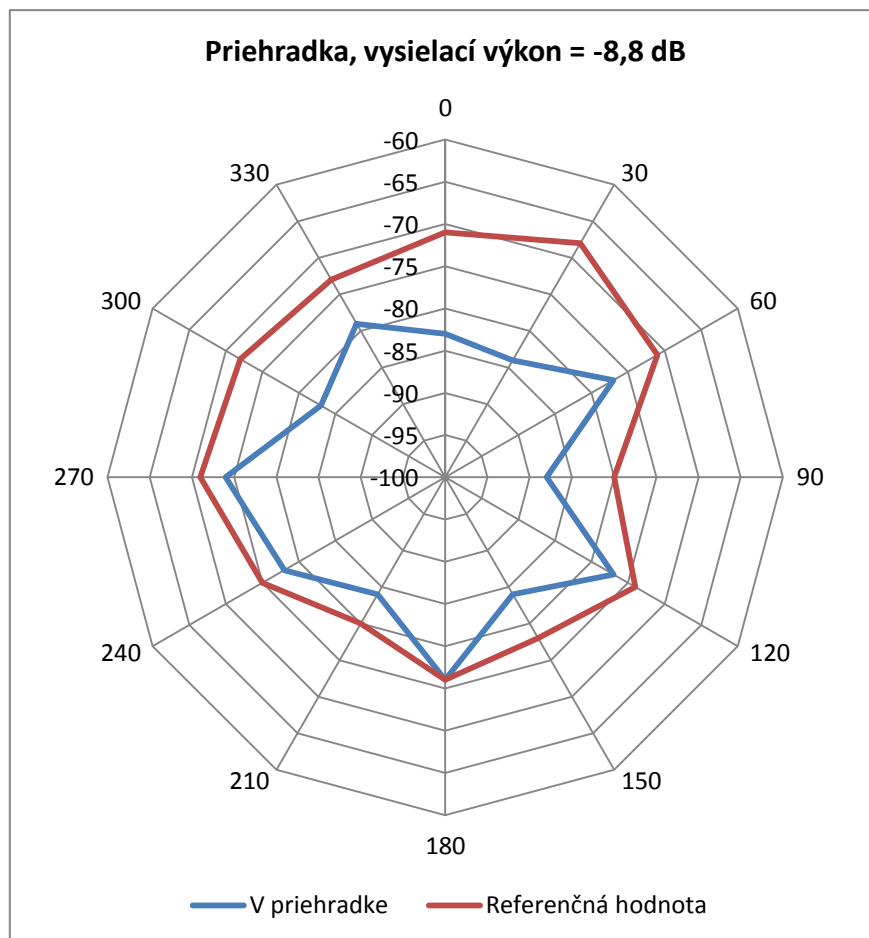


Obr. 5.12 Meranie pri umiestnení vysielača v priehradke pred spolujazdcom

V tabuľkách Tab. 5.8, Tab. 5.9 a Tab. 5.10 sú zobrazené namerané výsledky pre jednotlivé merania, ktoré sú ďalej zobrazené v grafoch na Obr. 5.13, Obr. 5.14, Obr. 5.15.

Uhol [°]	Vzdialenosť [m]	Nastavený výkon [dB]	Kvalita signálu [dB]	Prijaté packety	Dobré packety	Zlé packety
0	10	-8,8	-83	100	100	0
30	10	-8,8	-84	100	100	0
60	10	-8,8	-77	100	100	0
90	10	-8,8	-88	100	100	0
120	10	-8,8	-77	100	100	0
150	10	-8,8	-84	100	100	0
180	10	-8,8	-76	100	100	0
210	10	-8,8	-84	100	100	0
240	10	-8,8	-78	100	100	0
270	10	-8,8	-74	100	100	0
300	10	-8,8	-83	100	100	0
330	10	-8,8	-79	100	100	0

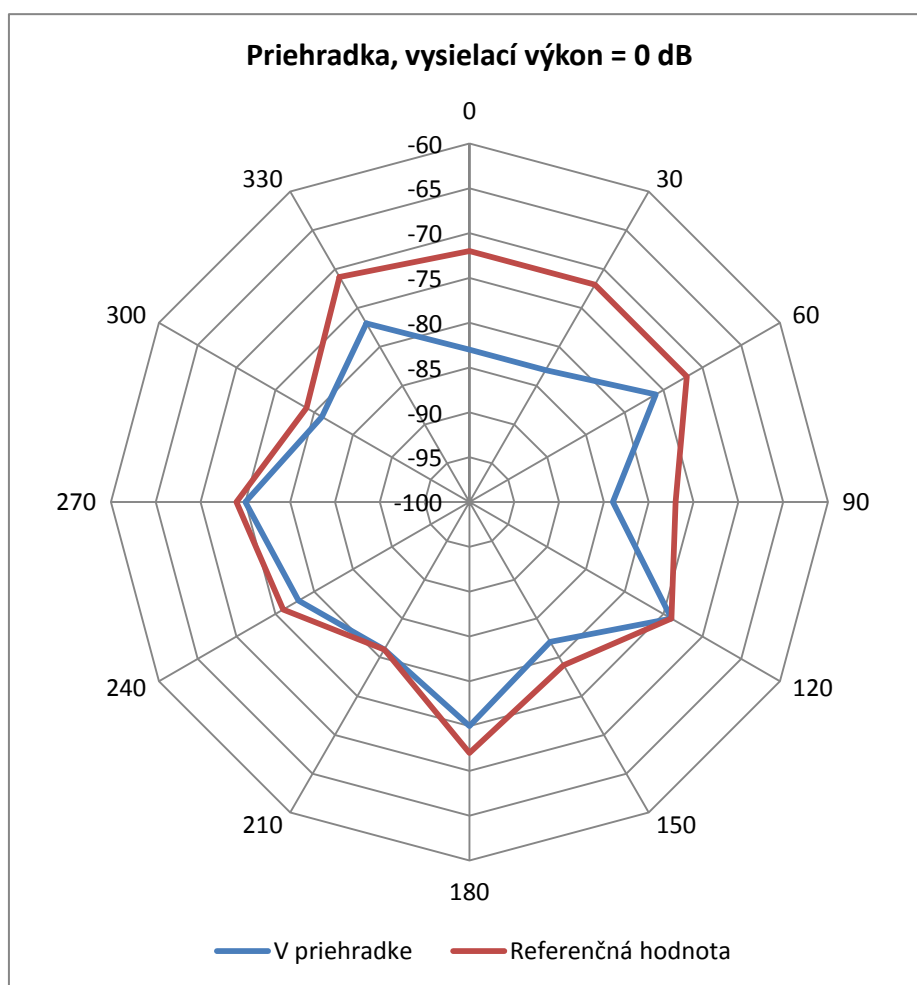
Tab. 5.8 Namerané hodnoty pre meranie v priehradke pri výkone -8,8 dB



Obr. 5.13 Meranie v priehradke a výkone -8,8 dB

Uhol [°]	Vzdialenosť [m]	Nastavený výkon [dB]	Kvalita signálu [dB]	Prijaté packety	Dobré packety	Zlé packety
0	10	0	-83	100	100	0
30	10	0	-83	100	100	0
60	10	0	-76	100	100	0
90	10	0	-84	100	100	0
120	10	0	-74	100	100	0
150	10	0	-82	100	100	0
180	10	0	-75	100	100	0
210	10	0	-81	100	100	0
240	10	0	-78	100	100	0
270	10	0	-75	100	100	0
300	10	0	-81	100	100	0
330	10	0	-77	100	100	0

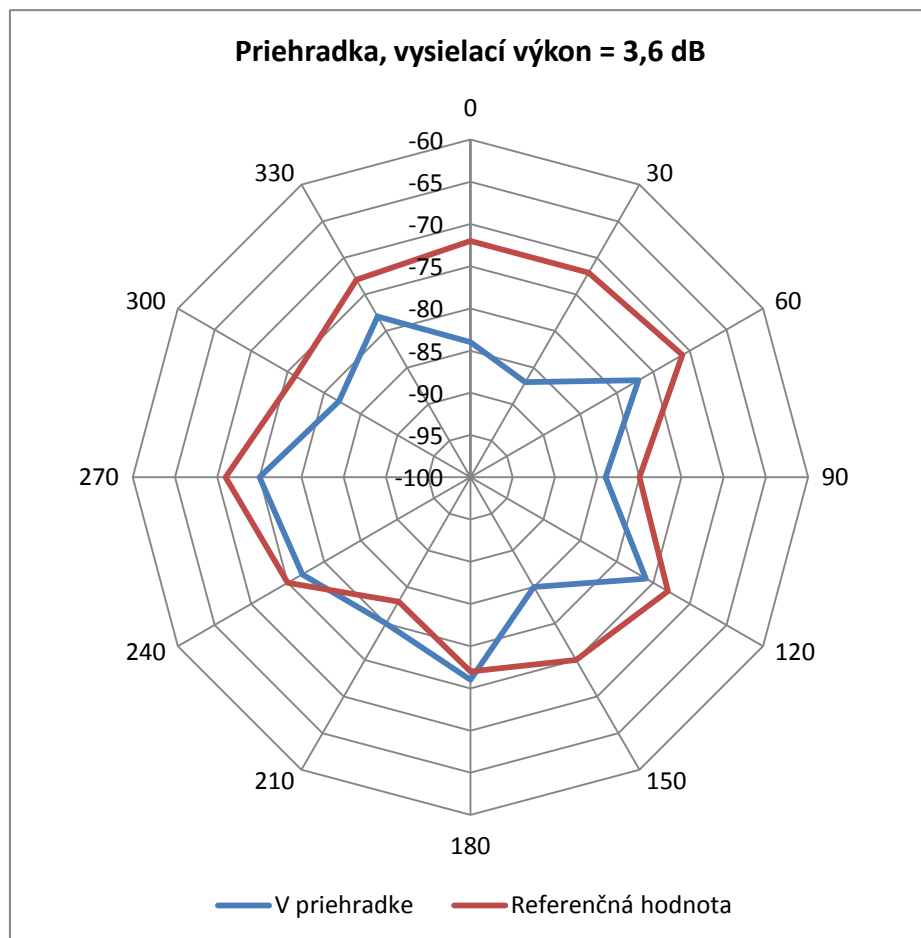
Tab. 5.9 Namerané hodnoty pre meranie v priehradke pri výkone 0 dB



Obr. 5.14 Meranie v priehradke a výkone 0 dB

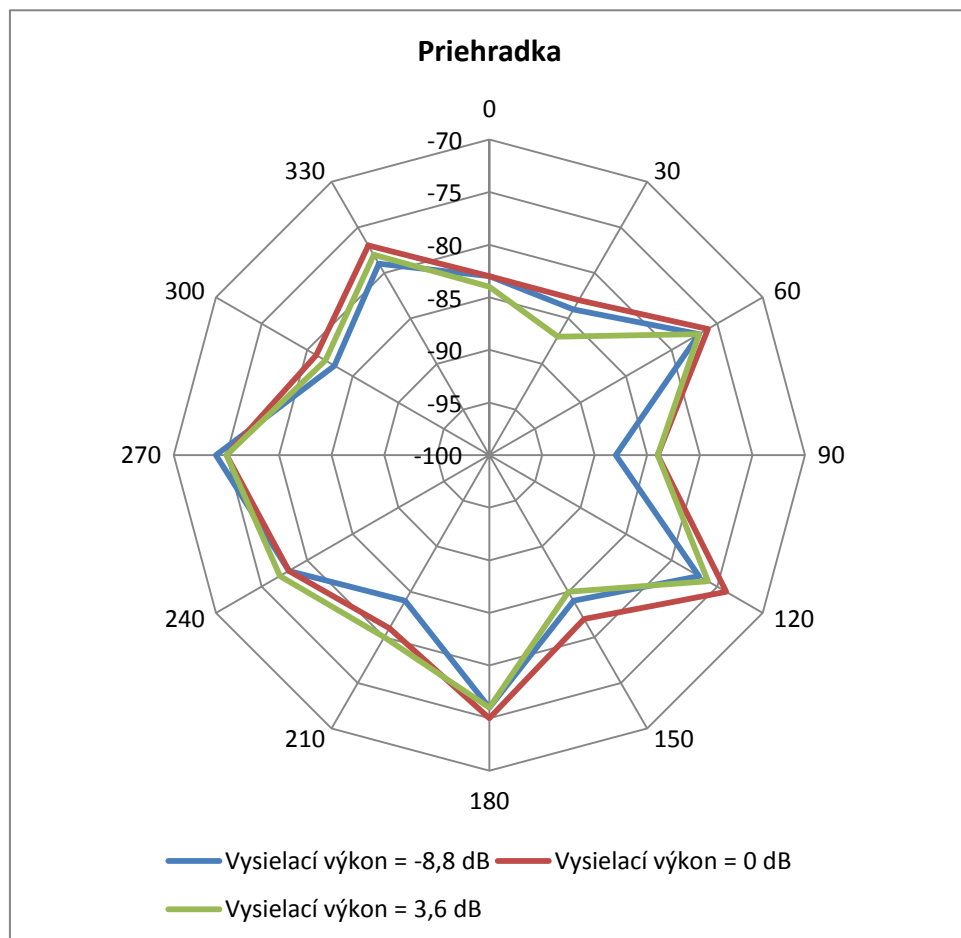
Uhol [°]	Vzdialenosť [m]	Nastavený výkon [dB]	Kvalita signálu [dB]	Prijaté packety	Dobré packety	Zlé packety
0	10	3,6	-84	100	100	0
30	10	3,6	-87	100	100	0
60	10	3,6	-77	100	100	0
90	10	3,6	-84	100	100	0
120	10	3,6	-76	100	100	0
150	10	3,6	-85	100	100	0
180	10	3,6	-76	100	100	0
210	10	3,6	-80	100	100	0
240	10	3,6	-77	100	100	0
270	10	3,6	-75	100	100	0
300	10	3,6	-82	100	100	0
330	10	3,6	-78	100	100	0

Tab. 5.10 Namerané hodnoty pre meranie v priehradke pri výkone 3,6 dB



Obr. 5.15 Meranie v priehradke a výkone 3,6 dB

Nasleduje opäť graf kde sú spolu zobrazené výsledky pre všetky tri nastavené výkony.

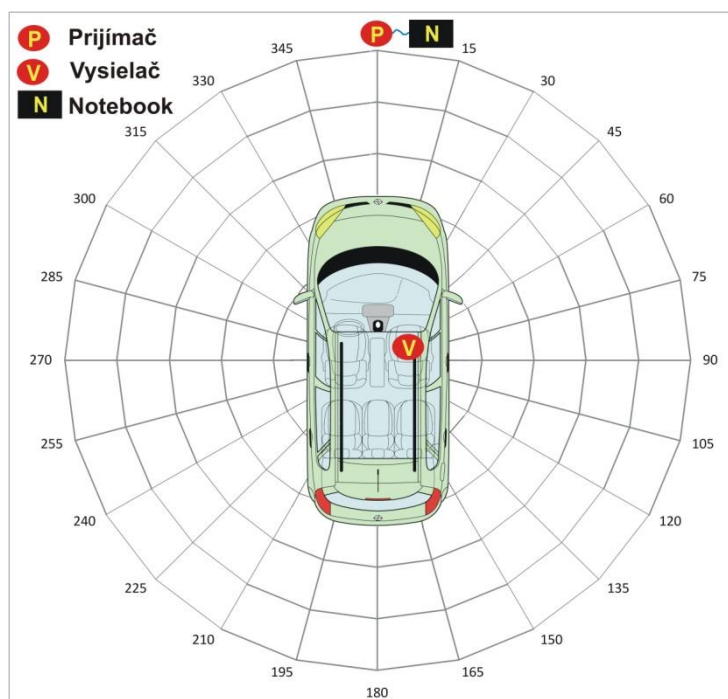


Obr. 5.16 Meranie v priehradke spolujazdca pre výkony -8,8 dB, 0 dB a 3,6 dB

V tomto meraní, ako aj v predchádzajúcom, som premeral kvalitu signálu na hodnote uhlu 0° vo vzdialenosti 15 m od stredového kruhu. Hodnoty boli uspokojivejšie ako v prvom prípade, pretože sa podarila zmerať kvalita pre všetky tri nastavené výkony. Hodnota bola pre všetky zhodná, -89 dB.

5.2.6 Meranie závislosti pri umiestnení vysielača na sedadle spolujazdca

Pri tomto meraní bol vysielač umiestnený na sedadle spolujazdca. Bolo význačné napríklad tým, že vysielač bol umiestnený najbližšie stredú kruhu zo všetkých meraní, preto porovnanie s referenčnými hodnotami bude určite zaujímavé.

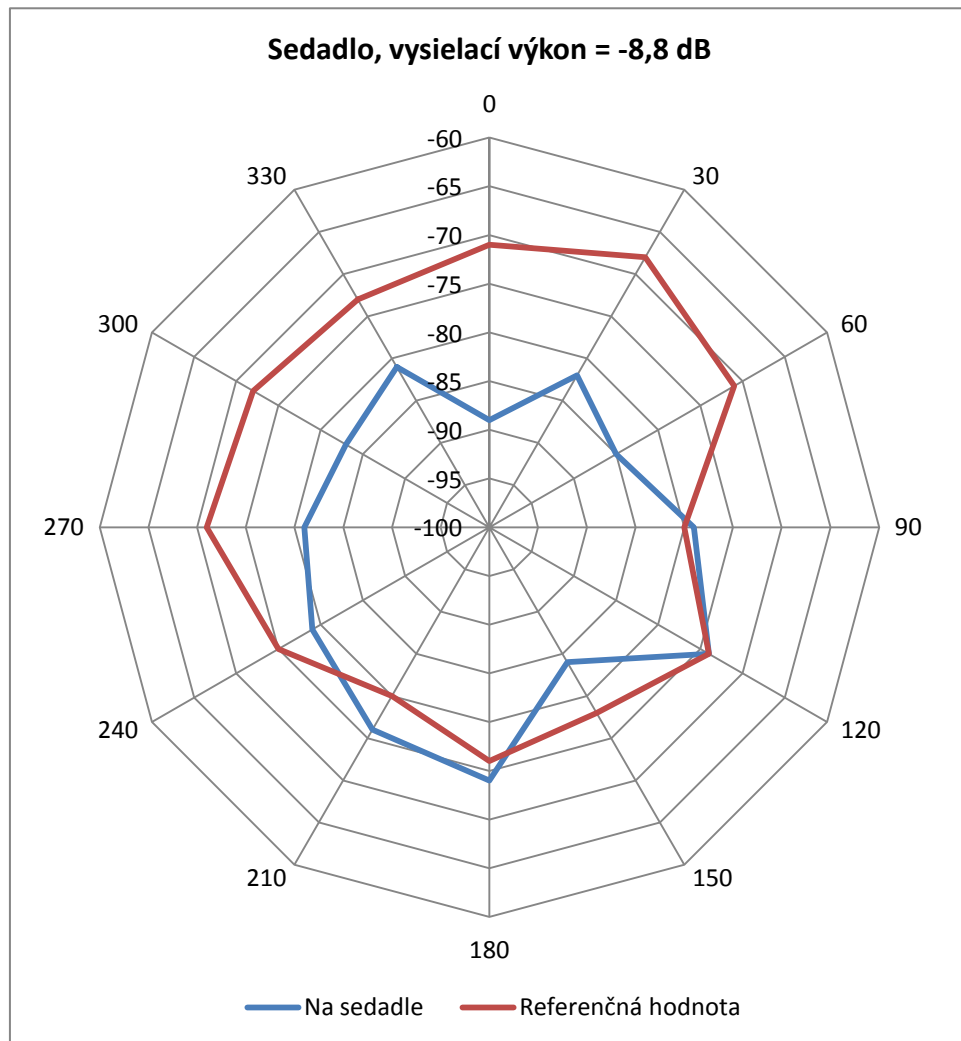


Obr. 5.17 Meranie pri umiestnení vysielača na sedadle

Výsledky z merania sú zobrazené a znázornené v nasledujúcej časti podkapitoly.

Uhol [°]	Vzdialenosť [m]	Nastavený výkon [dB]	Kvalita signálu [dB]	Prijaté packety	Dobré packety	Zlé packety
0	10	-8,8	-89	100	100	0
30	10	-8,8	-82	100	100	0
60	10	-8,8	-85	100	100	0
90	10	-8,8	-79	100	100	0
120	10	-8,8	-74	100	100	0
150	10	-8,8	-84	100	100	0
180	10	-8,8	-74	100	100	0
210	10	-8,8	-76	100	100	0
240	10	-8,8	-79	100	100	0
270	10	-8,8	-81	100	100	0
300	10	-8,8	-83	100	100	0
330	10	-8,8	-81	100	100	0

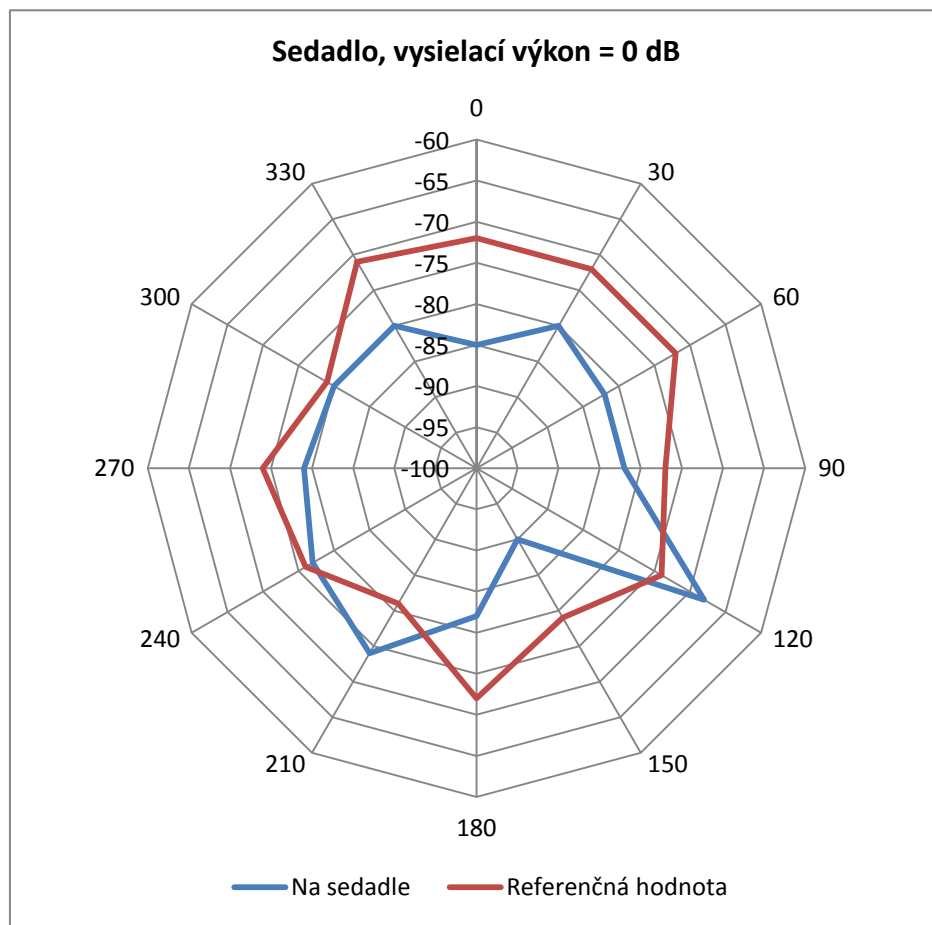
Tab. 5.11 Namerané hodnoty pre meranie na sedadle pri výkone -8,8 dB



Obr. 5.18 Meranie na sedadle a výkone -8,8 dB

Uhol [°]	Vzdialenosť [m]	Nastavený výkon [dB]	Kvalita signálu [dB]	Prijaté packety	Dobré packety	Zlé packety
0	10	0	-85	100	100	0
30	10	0	-80	100	100	0
60	10	0	-82	100	100	0
90	10	0	-82	100	100	0
120	10	0	-68	100	100	0
150	10	0	-90	100	100	0
180	10	0	-82	100	100	0
210	10	0	-74	100	100	0
240	10	0	-77	100	100	0
270	10	0	-79	100	100	0
300	10	0	-80	100	100	0
330	10	0	-80	100	100	0

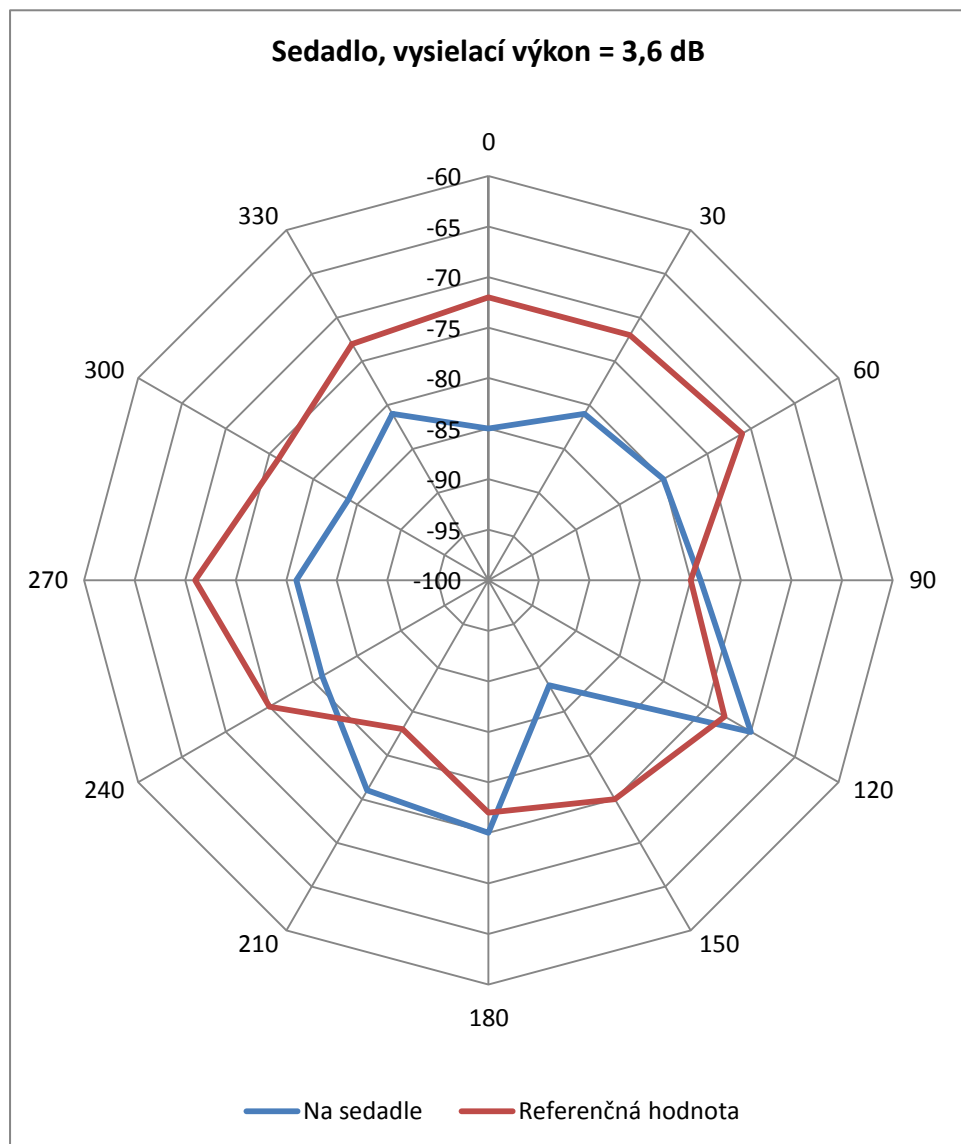
Tab. 5.12 Namerané hodnoty pre meranie na sedadle pri výkone 0 dB



Obr. 5.19 Meranie na sedadle a výkone 0 dB

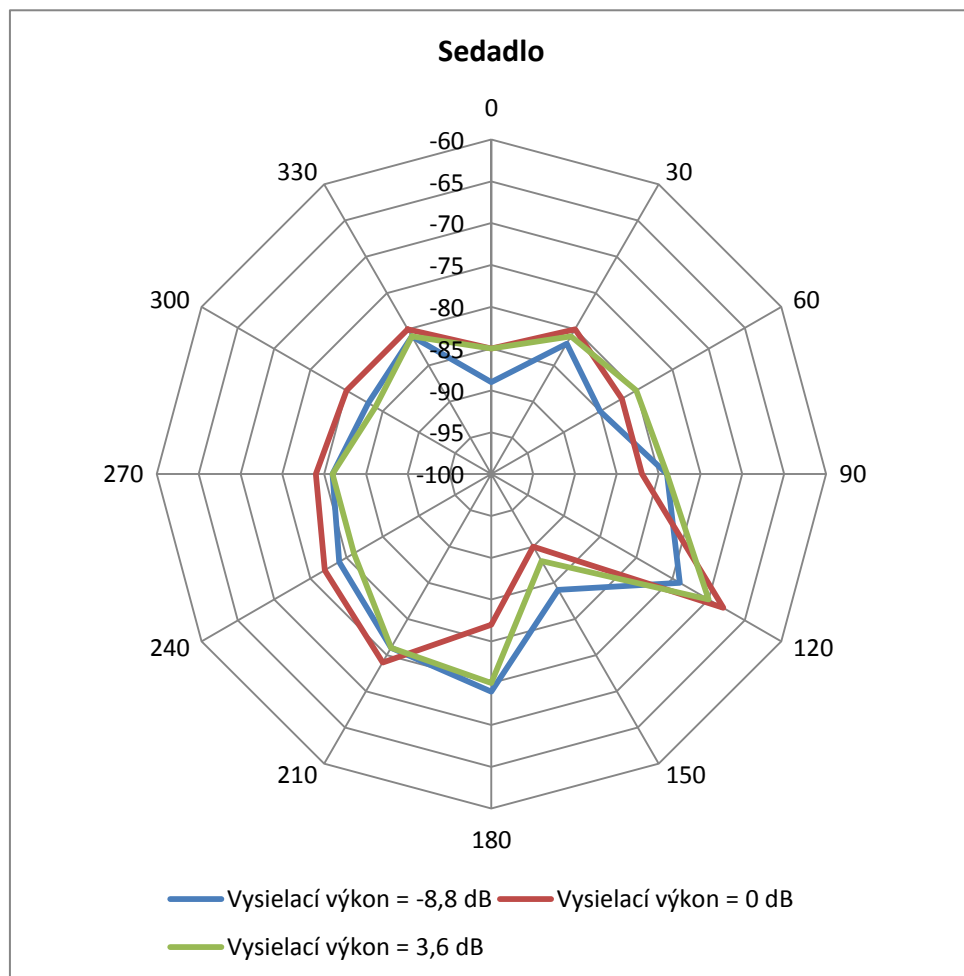
Uhol [°]	Vzdialenosť [m]	Nastavený výkon [dB]	Kvalita signálu [dB]	Prijaté packety	Dobré packety	Zlé packety
0	10	3,6	-85	100	100	0
30	10	3,6	-81	100	100	0
60	10	3,6	-80	100	100	0
90	10	3,6	-79	100	100	0
120	10	3,6	-70	100	100	0
150	10	3,6	-88	100	100	0
180	10	3,6	-75	100	100	0
210	10	3,6	-76	100	100	0
240	10	3,6	-81	100	100	0
270	10	3,6	-81	100	100	0
300	10	3,6	-84	100	100	0
330	10	3,6	-81	100	100	0

Tab. 5.13 Namerané hodnoty pre meranie na sedadle pri výkone 3,6 dB



Obr. 5.20 Meranie na sedadle a výkone 3,6 dB

Nasleduje opäť graf, kde sú zobrazené všetky charakteristiky súčasne a bude teda možné pozorovať, či má na kvalitu signálu vplyv aj nastavený výkon pre vysielanie dát.

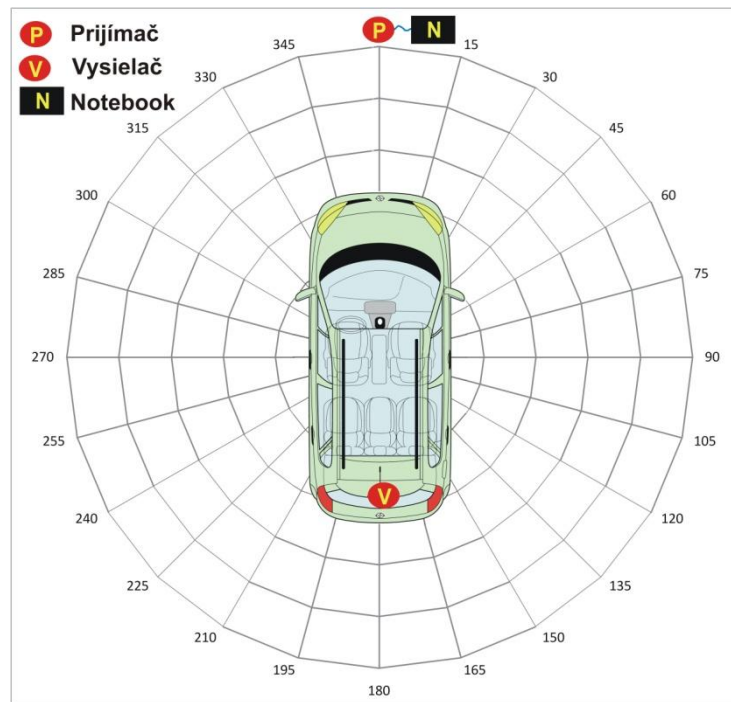


Obr. 5.21 Meranie na sedadle pre výkony -8,8 dB, 0 dB a 3,6 dB

Pri meraní kvality signálu pri uhle 0° a vzdialenosti 15 m od stredu kruhu, som sa dopracoval k hodnotám -95 dB pre všetky tri nastavené vysielacie výkony.

5.2.7 Meranie závislosti pri umiestnení vysielča v batožinovom priestore

Vysielač bol umiestnený v zadnom kufri automobilu. Bol v značnej vzdialenosti od stredu kruhu, čo ukazuje aj obrázok Obr. 5.22.

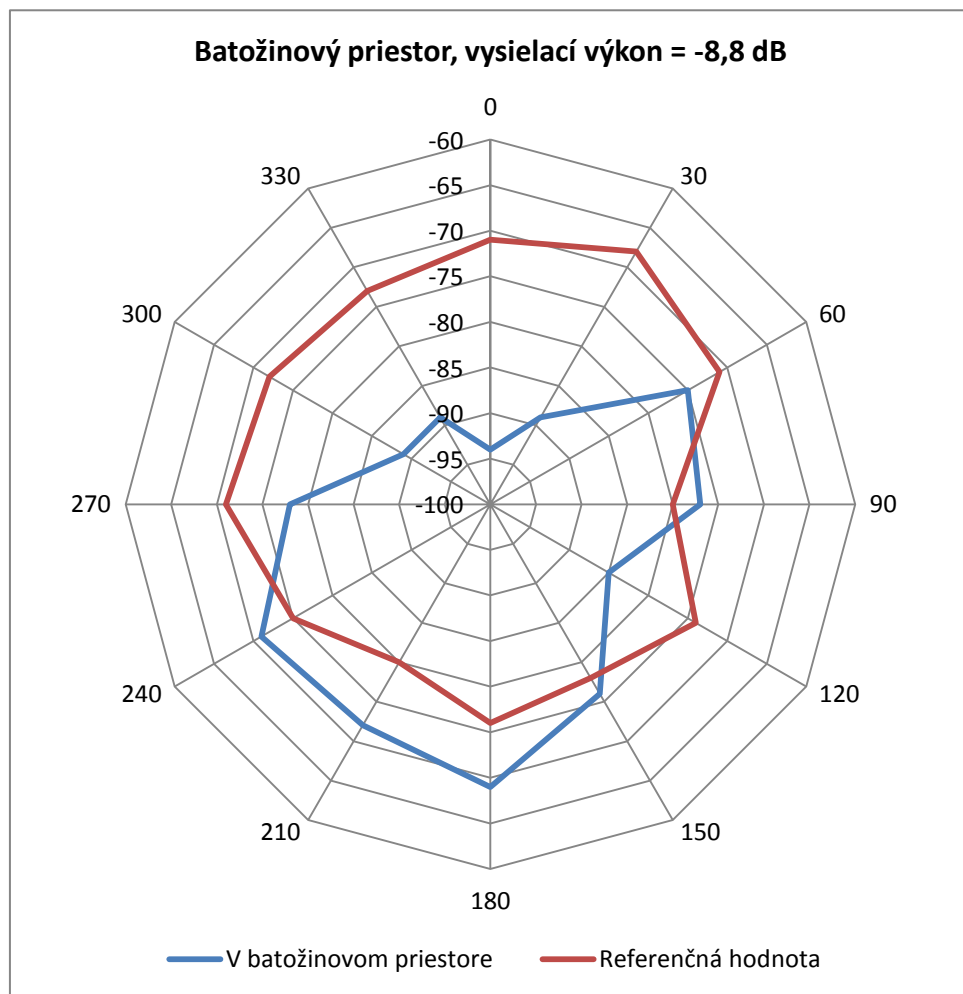


Obr. 5.22 Meranie pri umiestnení vysielča v batožinovom priestore

Pre už spomínanú vzdialenosť vysielča od stredu kruhu je porovnanie nameraných výsledkov z referenčnými hodnotami, ktoré boli merané práve zo stredu, nie úplne ideálne, ale pre zaujímavosť nebude iste na škodu si prezrieť ako to v skutočnosti vyzeralo, čo je ukázané v zobrazených tabuľkách a grafoch.

Uhol [°]	Vzdialenosť [m]	Nastavený výkon [dB]	Kvalita signálu [dB]	Prijaté packety	Dobré packety	Zlé packety
0	10	-8,8	-94	100	100	0
30	10	-8,8	-89	100	100	0
60	10	-8,8	-75	100	100	0
90	10	-8,8	-77	100	100	0
120	10	-8,8	-85	100	100	0
150	10	-8,8	-76	100	100	0
180	10	-8,8	-69	100	100	0
210	10	-8,8	-72	100	100	0
240	10	-8,8	-71	100	100	0
270	10	-8,8	-78	100	100	0
300	10	-8,8	-89	100	100	0
330	10	-8,8	-89	100	100	0

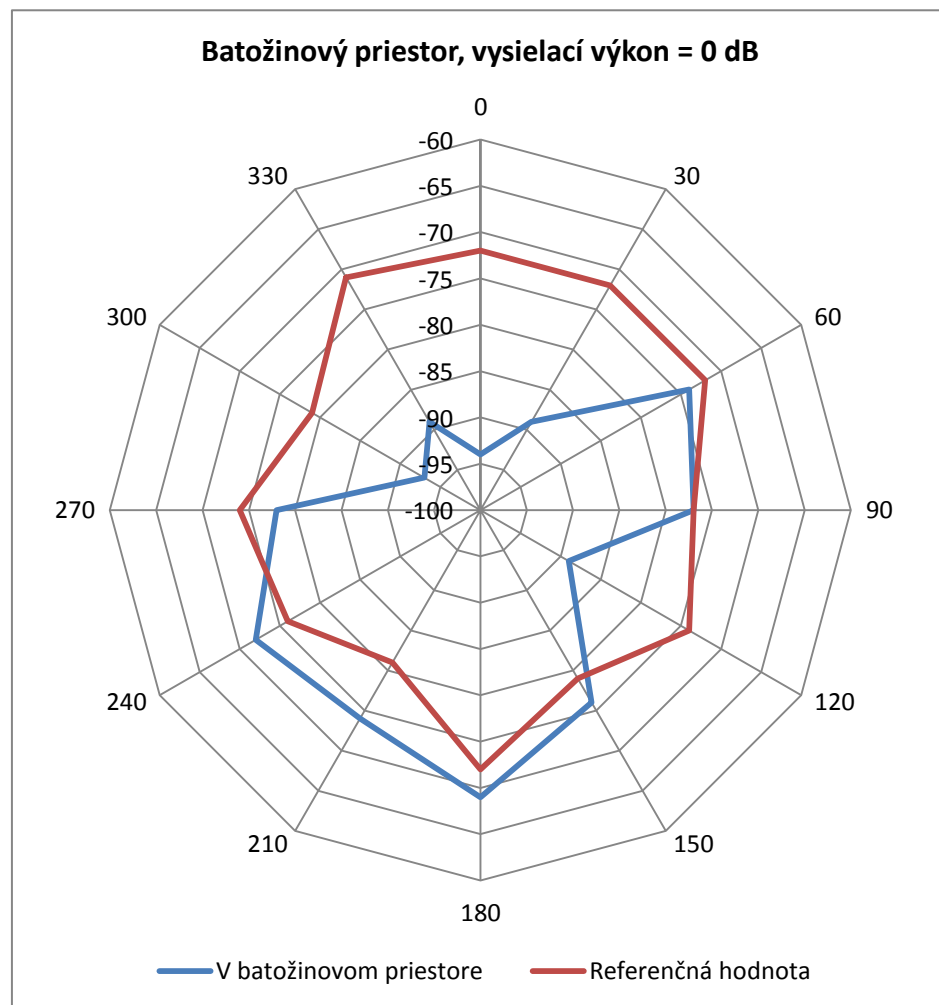
Tab. 5.14 Namerané hodnoty pre meranie v kufri pri výkone -8,8 dB



Obr. 5.23 Meranie v kufri a výkone -8,8 dB

Uhol [°]	Vzdialenosť [m]	Nastavený výkon [dB]	Kvalita signálu [dB]	Prijaté packety	Dobré packety	Zlé packety
0	10	0	-94	100	100	0
30	10	0	-89	100	100	0
60	10	0	-74	100	100	0
90	10	0	-77	100	100	0
120	10	0	-89	100	100	0
150	10	0	-76	100	100	0
180	10	0	-69	100	100	0
210	10	0	-74	100	100	0
240	10	0	-72	100	100	0
270	10	0	-78	100	100	0
300	10	0	-93	100	100	0
330	10	0	-89	100	100	0

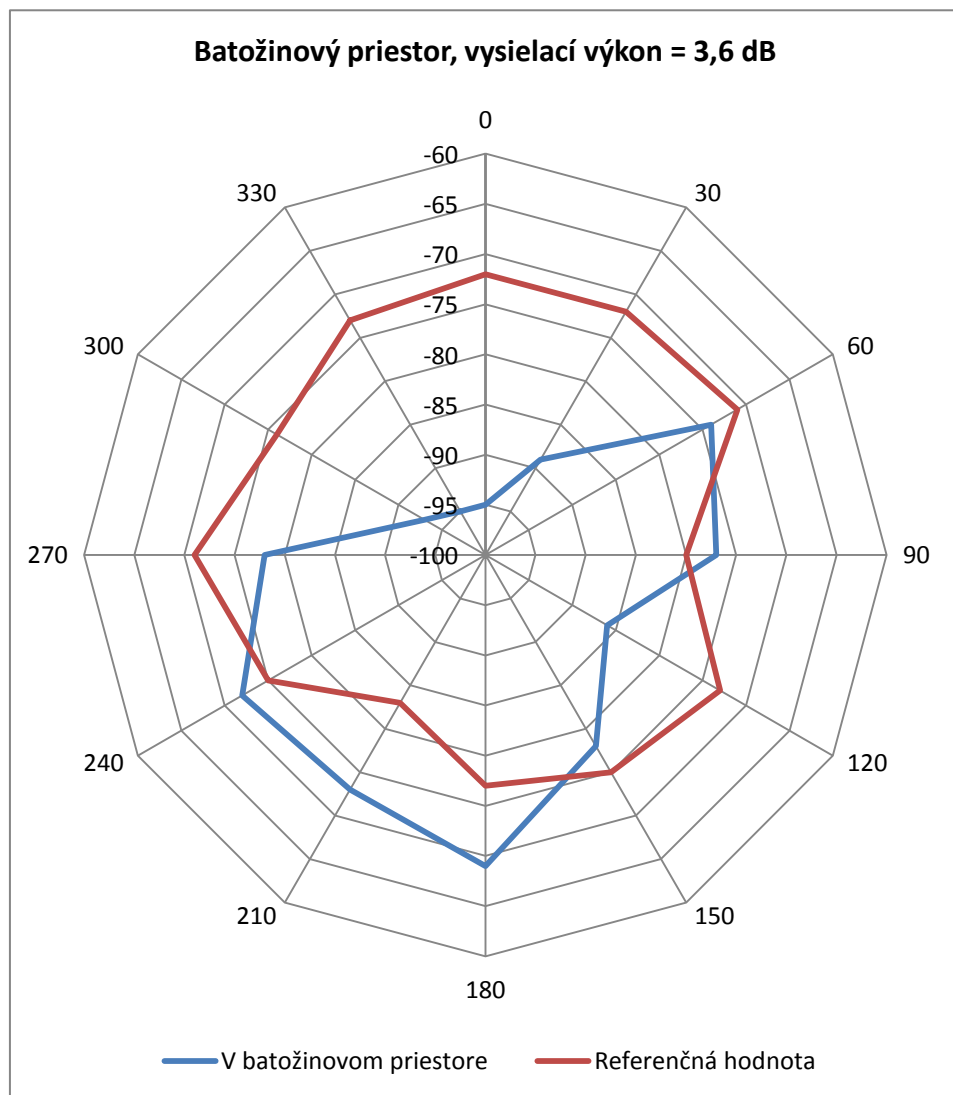
Tab. 5.15 Namerané hodnoty pre meranie v kufri pri výkone 0 dB



Obr. 5.24 Meranie v kufri a výkone 0 dB

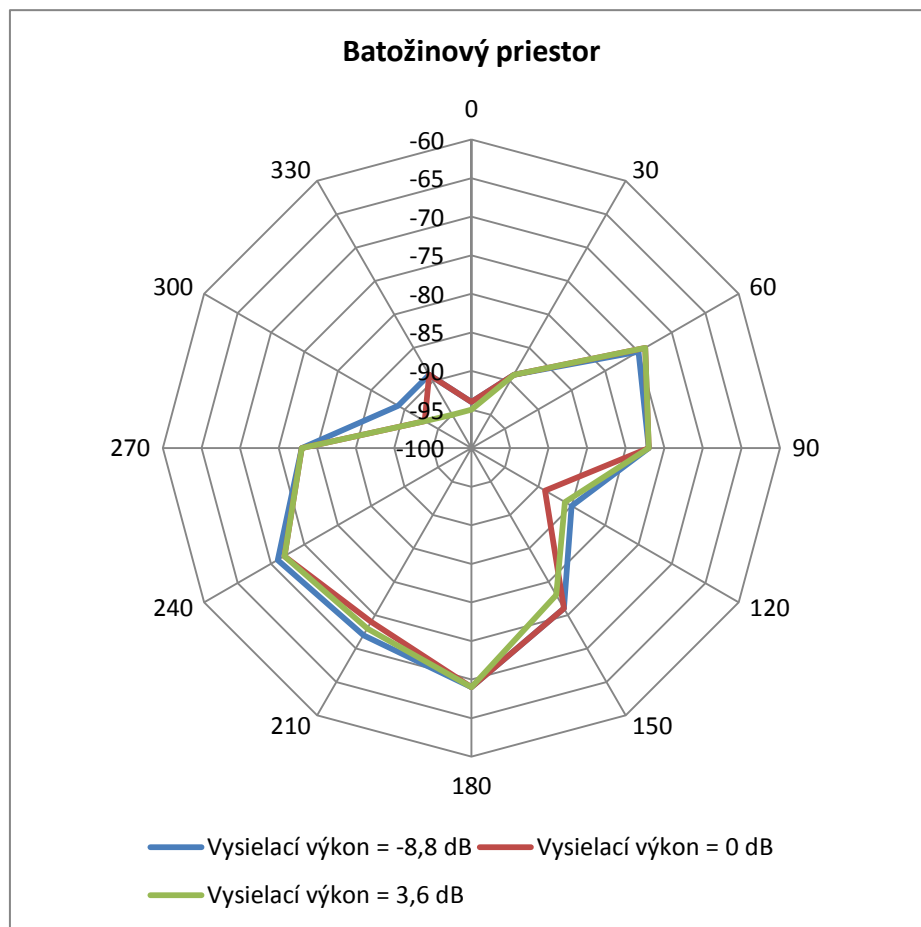
Uhol [°]	Vzdialenosť [m]	Nastavený výkon [dB]	Kvalita signálu [dB]	Prijaté packety	Dobré packety	Zlé packety
0	10	3,6	-95	100	100	0
30	10	3,6	-89	100	100	0
60	10	3,6	-74	100	100	0
90	10	3,6	-77	100	100	0
120	10	3,6	-86	100	100	0
150	10	3,6	-78	100	100	0
180	10	3,6	-69	100	100	0
210	10	3,6	-73	100	100	0
240	10	3,6	-72	100	100	0
270	10	3,6	-78	100	100	0
300	10	3,6	-93	100	100	0
330	10	3,6	-95	100	100	0

Tab. 5.16 Namerané hodnoty pre meranie v kufri pri výkone 3,6 dB



Obr. 5.25 Meranie v kufri a výkone 3,6 dB

Na obrázku Obr. 5.26 sú zobrazené výsledky pre jednotlivé výkony. Je možné pozorovať jemné odchýlky pri uhle 330°, pre zvyšnú časť hodnôt uhla sú hodnoty kvality signálu takmer identické.



Obr. 5.26 Meranie v kufri pre výkony -8,8 dB, 0 dB a 3,6 dB

V tomto meraní nebolo vykonané meranie pre vzdialenosť 15 m, pretože už pri vzdialenosti 10 m a uhle 0° sa hodnoty kvality signálu pohybovali okolo hodnoty -95 dB, čo je pre dané zariadenie takmer hranica udávaná výrobcom, na ktorej je zariadenie ešte schopné komunikovať. Táto hranica je výrobcom stanovená na hodnotu -98 dB.

6. ZÁVER

Táto práca mala za úlohu zmerať a zodpovedať dve otázky. Aký vplyv majú atmosférické podmienky na kvalitu signálu a či a ako má vplyv na komunikáciu ak je jeden modul umiestnený v automobile.

Na prvú otázku bohužiaľ táto práca nedokáže jednoznačne odpovedať, pretože napriek nachyšanému softwaru a metodike merania, sa nepodarilo nájsť miesto, kde by bolo možné toto časovo náročné meranie uskutočniť. Miesto sa hľadalo ťažko hlavne z dôvodu, že existovalo niekoľko špeciálnych požiadaviek, ktoré muselo splňovať. Ako príklad spomeniem, že bolo treba zaistiť aby moduly boli umiestnené tak, aby na seba mali priamu viditeľnosť, vzdialenosť maximálne 15 m a hlavne to, aby medzi modulmi bol otvorený priestor, kde by rôzne počasie pôsobilo ako prekážka pre signál medzi vysielacími modulmi.

Odpoveď na prvú otázku som teda hľadal v literatúre, z čoho som prišiel k záveru, že počasie ako také by nemalo spôsobovať znateľné tlmenie signálu, avšak ak sa postaví do cesty signálu prekážka ako napríklad mokré lístie, môžeme očakávať, že sa komunikácia úplne preruší.

V druhej časti som sa teda venoval testovaniu vplyvu na bezdrôtovú komunikáciu v závislosti na umiestnení modulu v automobile. Modul bol umiestnený v rôznych častiach automobilu, konkrétne na palubnej doske, na sedadle spolujazdca, v priehradke pred spolujazdcom a v batožinovom priestore.

Pri porovnaní výsledkov merania by som usúdil, že najväčší vplyv na signál malo umiestnenie modulu, kde bola hlavná prekážka motor automobilu, čo je možné pozorovať najmä pri porovnaní výsledkov z merania na palubnej doske a pri meraní v priehradke spolujazdca, kedy boli tieto moduly na rovnakom mieste, no v prvom prípade tvorilo prekážku pre signál čelné sklo, a v druhom prípade sa signál snažil dostať cez motorovú časť automobilu. Taktiež bolo možné pozorovať, že nastavené rôzne vysielacie výkony pre komunikáciu, nemali žiadny zásadný vplyv na kvalitu signálu.

LITERATÚRA

- [1] Wikipedia, CSMA. Dostupná z (4.5.2008):
<<http://cs.wikipedia.org/wiki/CSMA>>
- [2] Wikipedia, ZigBee. Dostupná z (4.5.2008):
<<http://cs.wikipedia.org/wiki/ZigBee>>
- [3] Bradáč, Z., Fiedler, P., Hynčica, O., Bradáč, F.: Automatizace 4/2005 –
Bezdrátový komunikační standard ZigBee (str. 261)
- [4] Simple Media Access Controller User's Guide (03/2008)
- [5] Ovanet, Co je to Wi-Fi (volné pásmo 2,4 GHz). Dostupná z (23.4.2008):
<http://www.ovanet.cz/cze/produkty-a-sluzby/data-a-internet/esmo/nejcastejsi-dotazy/art_65/co-je-wi-fi.aspx>
- [6] Katalóg Renault Scénic & Grand Scénic (12/2007)

ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A SYMBOLOV

CSMA/CA	Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance
HW	Hardware
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
ISM	Industrial, Scientific, Medical
MAC	Medium Access Control
PC	Personal Computer
SW	Software

ZOZNAM PRÍLOH

DODATOK A OBSAH PRILOŽENÉHO CD:

- \diplomova praca
Diplomová práca v elektronickej podobe
- \dlhodobe meranie
Zdrojové kódy pre meranie vplyvu atmosférických podmienok na kvalitu bezdrôtového signálu. Nachádzajú sa tu zdrojové kódy pre Prijímač, Vysielač a program pre obsluhu PC.
- \meranie s automobilom
Zdrojové kódy pre meranie vplyvu karosérie automobilu na kvalitu bezdrôtového signálu. Nachádzajú sa tu zdrojové kódy pre Prijímač, Vysielač a program pre obsluhu PC.