



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI  
Fakulta mechatroniky, informatiky  
a mezioborových studií ■

# Analýza konektivity zařízení bluetooth s infotainmentem automobilu

## Bakalářská práce

*Studijní program:* B2612 – Elektrotechnika a informatika

*Studijní obor:* 1802R022 – Informatika a logistika

*Autor práce:* **Patrik Mlacki**

*Vedoucí práce:* Ing. Jan Kamenický, Ph.D.





TECHNICAL UNIVERSITY OF LIBEREC  
Faculty of Mechatronics, Informatics  
and Interdisciplinary Studies ■

# Analysis of Connectivity Between Bluetooth Devices and Vehicle Infotainment Systems

## Bachelor thesis

*Study programme:* B2612 – Electrical Engineering and Informatics

*Study branch:* 1802R022 – Informatics and Logistics

*Author:* **Patrik Mlacki**

*Supervisor:* Ing. Jan Kamenický, Ph.D.



## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Patrik Mlacki**  
Osobní číslo: **M15000073**  
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Informatika a logistika**  
Název tématu: **Analýza konektivity zařízení bluetooth s infotainmentem automobilu**  
Zadávací katedra: **Ústav mechatroniky a technické informatiky**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Popište princip komunikace externího zařízení s infotainmentem osobního automobilu na bázi bluetooth.
2. Vytvořte databázi chyb/poruch komunikace a vhodně ji rozdělte do kategorií.
3. Pokuste se rozdělit poruchy na bezpečné/nebezpečné a zjevné/skryté.
4. Pomocí vhodného nástroje, např. Paretova diagramu, vyhodnoťte poruchovost komunikace a určete kritická místa procesu.
5. Diskutujte možnosti zlepšení procesu komunikace pomocí odstranění vybraných chyb/poruch.



Rozsah grafických prací: dle potřeby dokumentace

Rozsah pracovní zprávy: 30–40 stran

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

- [1] Fuchs P., Využití spolehlivosti v provozní praxi, TUL, Liberec, 2004
- [2] KAMENICKÝ, Jan a Jaroslav ZAJÍČEK. Comparison of economic impacts of safe and dangerous failure of safety system. In: Electric Power Engineering (EPE) 2014. Brno, s. 705-708. ISBN 978-1-4799-3806-3.

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Jan Kamenický, Ph.D.**

Ústav mechatroniky a technické informatiky

Konzultant bakalářské práce:

**Ing. David Panýr**

Škoda Auto, a.s.

Datum zadání bakalářské práce: 10. října 2016

Termín odevzdání bakalářské práce: 15. května 2017

prof. Ing. Zdeněk Plíva, Ph.D.

děkan



doc. Ing. Milan Kolář, CSc.

vedoucí ústavu

V Liberci dne 10. října 2016

## Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.


Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum: 11.5.2017

Podpis: 

## Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat Ing. Janu Kamenickému, Ph.D., z Ústavu mechatroniky a technické informatiky, za odbornou pomoc při vypracování této bakalářské práce.

Zároveň bych rád poděkoval Ing. Davidu Panýrovi ze společnosti ŠKODA AUTO a.s., za odborné konzultace a poskytnuté informace při vypracování práce.



## **Abstrakt**

Cílem této práce je analyzovat spolehlivost komunikace mezi dvěma zařízeními, vybavenými bezdrátovou technologií Bluetooth. Konkrétně jsem se zaměřil na komunikaci mezi infotainmentem vozidla a mobilním telefonem. Zvolený problém jsem vyřešil pomocí opakovaného měření, které simulovalo různé rušivé vlivy na Bluetooth komunikaci. Data jsem získával pomocí Bluetooth protokolového analyzátoru a příslušného softwaru. Provedeným výzkumem jsem zjistil, že spolehlivost Bluetooth komunikace je uvnitř vozu na vysoké úrovni a největší překážkou pro Bluetooth signál je v automobilu lidské tělo.

## **Klíčová slova**

Bluetooth, bezdrátová technologie, přenos dat, piconet

## **Abstract**

The purpose of this thesis is to analyze the reliability of communication between two devices equipped with Bluetooth wireless technology. Specifically, I focused on communication between a vehicle's infotainment system and a cellular phone. I have solved the defined problem by carrying out multiple measurements which simulated various interference influences on Bluetooth communication. I obtained the data using a Bluetooth protocol analyzer and respective software. By undertaking this research, I have found that the reliability of Bluetooth communication inside the vehicle is at a high grade and that the human body is the major obstacle for Bluetooth signal in the vehicle.

## **Keywords**

Bluetooth, Wireless Technology, Data Transfer, Piconet



# Obsah

Seznam obrázků .....	7
Seznam tabulek .....	8
Seznam zkratk .....	9
Úvod.....	10
1. Bezdrátová technologie Bluetooth .....	11
1.1. Vznik Bluetooth .....	11
1.2. Vývoj verzí Bluetooth .....	13
1.3. Rozdělení Bluetooth do tříd dle výstupního výkonu.....	16
1.4. Topologie sítě.....	17
1.5. Architektura Bluetooth.....	19
1.5.1. Bluetooth Radio .....	19
1.5.2. Baseband .....	19
1.5.3. Link Manager (LMP) .....	21
1.5.4. Host controller interface (HCI) .....	21
1.5.5. Logical Link Control and Adaptation Protocol (L2CAP) .....	22
1.5.6. Telephony Control Specification (TCS) .....	22
1.5.7. Radio Frequency Communications Port (RFCOMM) .....	23
1.5.8. Service Discovery Protocol (SDP).....	23
1.5.9. Protokoly vyšších vrstev .....	24
1.6. Profily v Bluetooth.....	25
1.7. Stavy Bluetooth jednotky .....	28
1.7.1. Režimy jednotky ve stavu připojení.....	30
2. Příčiny rušení Bluetooth signálu .....	31
2.1. Mechanické překážky.....	31
2.2. Koexistence s Wi-Fi.....	32
3. Poruchy komunikace .....	35
4. Třídění poruch.....	39
5. Měření .....	40
5.1. Use case 1.....	42





5.2.	Use case 2.....	43
5.3.	Use case 3.....	44
5.4.	Use case 4.....	45
5.5.	Use case 5.....	46
5.6.	Use case 6.....	47
5.7.	Use case 7.....	48
5.8.	Závěr z měření .....	49
6.	Semikvantitativní hodnocení rizika.....	50
6.1.	Vymezení zkoumaného systému.....	50
6.2.	Vyhledání (identifikace) nebezpečí.....	50
6.3.	Stanovení závažnosti rušení .....	50
6.4.	Stanovení pravděpodobnosti výskytu .....	51
6.5.	Matice rizik .....	53
7.	Možná zlepšení Bluetooth komunikace .....	55
	Závěr .....	56
	Seznam použité literatury.....	57
	Seznam příloh .....	61
	Příloha A – Obsah přiloženého CD.....	62



## Seznam obrázků

Obrázek 1 - Logo Bluetooth [35].....	12
Obrázek 2 - Topologie buňky Piconet (M - Master, S - Slave) [36].....	17
Obrázek 3 - Scatternet topologie - Master v pikostii A je zároveň slave v pikositi B [37].....	18
Obrázek 4 - Hierarchie jednotlivých vrstev [38].....	19
Obrázek 5 - TDM se zapojením přes 2 a přes 3 dráty [31] .....	34
Obrázek 6 - Zástavba jednotky infotainmentu ve voze Škoda Octavia .....	36
Obrázek 7 - Zástavba jednotky infotainmentu ve voze Škoda Fabia.....	36
Obrázek 8 - ComProbe BPA600 Dual Mode Bluetooth Protocol Analyzer [39] .....	41
Obrázek 9 - Schéma pro Use case 1.....	42
Obrázek 10 - Schéma pro Use case 2.....	43
Obrázek 11 - Schéma pro Use case 3.....	44
Obrázek 12 - Schéma pro Use case 4.....	45
Obrázek 13 - Schéma pro Use case 5.....	46
Obrázek 14 - Schéma pro Use case 6.....	47
Obrázek 15 - Schéma pro Use case 7.....	48



## Seznam tabulek

Tabulka 1 - Výkonové třídy Bluetooth zařízení.....	17
Tabulka 2 - Míra rušení způsobená průchodem signálu daným materiálem.....	32
Tabulka 3 - Souhrnná tabulka výsledků měření.....	49
Tabulka 4 - Stupnice pro závažnost rušení .....	51
Tabulka 5 - Ohodnocení jednotlivých materiálů dle míry rušení.....	51
Tabulka 6 - Stupnice pro pravděpodobnost výskytu daného materiálu .....	52
Tabulka 7 - Ohodnocení daného materiálu dle pravděpodobnosti výskytu .....	52
Tabulka 8 - Matice rizik.....	53
Tabulka 9 - Ohodnocení daného materiálu dle míry rizika.....	54



## Seznam zkratek

- BT – Bluetooth
- BLE – Bluetooth Low Energy.
- CD – Compact Disk
- DVD – Digital Video Disk
- FHSS - Frequency Hopping Spread Spektrum
- GSM – Groupe Spécial Mobile
- HMI – Human Machine Interface
- IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers
- IoT – Internet of Thing
- LTE – Long Term Evolution
- PAN - Personal Area Network
- SD – Secure Digital
- SMS – Short Message Service
- USB – Universal Serial Bus
- Wi-Fi – Wireless Fidelity
- WLAN – Wireless Local Area Network



## Úvod

Tématem bakalářské práce je Bluetooth komunikace mezi mobilním telefonem a infotainmentem vozu. Důvodem výběru tohoto tématu je vysoká obliba využití technologie Bluetooth pro streamování hudby z mobilního telefonu do reproduktorů vozidla, čímž odpadá nutnost nošení dalšího média nebo kabelu do vozidla (USB paměti, CD, DVD).

Bluetooth je bezdrátová technologie umožňující přenos dat na krátké vzdálenosti, která se začala vyvíjet v 90. letech minulého století. Základním požadavkem pro tuto technologii byla jednoduchost, malé rozměry Bluetooth modulu a nízká energetická náročnost. Bluetooth vysílá v okolí frekvence 2,4 GHz, což je bezlicenční pásmo ISM (Industrial Scientific Medical Band), které využívají i jiné bezdrátové technologie. Právě z důvodu sdílení tohoto pásma s dalšími technologiemi může dojít k rušení Bluetooth signálu a tím snížení spolehlivosti Bluetooth komunikace.

Cílem bakalářské práce je analyzovat spolehlivost Bluetooth komunikace mezi mobilním telefonem umístěným ve vozidle a infotainmentem vozidla. K tomu je nutné popsat princip fungování technologie Bluetooth. Následně analyzovat možné příčiny rušení a rozdělit je do příslušných kategorií. Součástí práce je měření chybovosti Bluetooth komunikace ve vozidle během streamování hudby z mobilního telefonu do infotainmentu vozu, které má za cíl odhalit největší zdroje rušení Bluetooth komunikace. Spolehlivostním výstupem je semikvantitativní analýza pomocí matice rizik. V závěru práce jsou popsána možná řešení pro zvýšení spolehlivosti Bluetooth komunikace mezi mobilním telefonem a infotainmentem vozu.



# 1. Bezdrátová technologie Bluetooth

Bezdrátová technologie Bluetooth je v dnešní době standard pro přenos dat a zvuku na krátkou vzdálenost mezi různými zařízeními. Technologie pracuje v bezlicenčním pásmu ISM (Industrial Scientific Medical Band) v okolí 2,4 GHz, které je určeno pro vědecké a lékařské účely. Bluetooth nám umožňuje například připojit bezdrátově periferie (počítačová myš, klávesnice, či tiskárna) k počítači. Nyní jsou jím vybavené v podstatě veškeré mobilní telefony.

Bluetooth je definován standardem IEEE 802.15.1 a zařazuje se do kategorie osobních počítačových sítí neboli PAN (Personal Area Network). Mezi základní možnosti a funkce bezdrátové technologie Bluetooth patří:

- Ultimate Headset – Usnadní práci s telefonem v kanceláři, v domácnosti, či během řízení vozu.
- Internet Bridge – Umožní uživateli připojení k internetu prostřednictvím bodu připojení.
- 3-in-1 Phone – Poskytují síťové telefonní funkce pro tři mobilní zařízení skrze základní stanici (pevná linka).
- Synchronizace – Umožní jednoduchým způsobem synchronizovat práci, kontakty, či termíny v kalendáři mezi počítačem a mobilním telefonem.



## 1.1. Vznik Bluetooth

Bylo zapotřebí vyvinout levnou technologii, která by umožňovala rádiové rozhraní na krátký dosah, bez nutnosti přídavných konektorů, či kabelů, čímž by odpadlo velké množství různých konektorů od různých výrobců. Budoucí technologie musela také splňovat nízké nároky na spotřebu energie a její modul musel mít minimální rozměry, aby šel zabudovat například do mobilního telefonu.

Vývoj započal již v roce 1994 ve švédské telekomunikační firmě Ericsson, kde vznikla studie pojednávající o náhradě standardu RS-232 za bezdrátovou technologii. Za vším stáli pánové Jaap Haartsen a Sven Mattisson, kteří pracovali pro zmíněnou společnost Ericsson. I ostatní společnosti (například Intel a Nokia) měly podobnou myšlenku bezdrátového připojení telefonu a počítačů. Ale uvědomovaly si, že je nutné tuto technologii standardizovat, aby mohla různá zařízení spolu správně komunikovat. Proto se významní představitelé těchto společností sešli v prosinci roku 1996, aby projednali budoucí formování zájmové skupiny. K vytvoření této zájmové skupiny SIG (Special Interest Group) došlo nakonec v květnu roku 1998. Oficiálně byla tvořena pěti společnostmi (Ericsson, Nokia, Intel, Toshiba a IBM). O rok později, v červenci roku



1999, došlo k vydání první specifikace Bluetooth 1.0. První výrobky s technologií Bluetooth se dostaly na trh v roce 2000. Později se do zájmové skupiny přidaly další čtyři velké společnosti (3Com, Lucent Technologies, Microsoft, Motorola). Postupem let byly uvolňovány další verze Bluetooth, které jsou detailně popsány v kapitole *1.2 Vývoj verzí Bluetooth*.

Samotné pojmenování této bezdrátové technologie pochází z historie. Název Bluetooth vychází z přezdívky vikingského krále Haralda Blåtand (vládnul v letech 958 – 986), který christianizoval a spojil dva zneprátelené skandinávské kmeny, ze kterých v budoucnu vzniklo Dánsko a Norsko. Svou přezdívku prý získal díky své oblibě v jezení borůvek, které mu obarvovaly zuby. A stejně jako král Harald Blåtand dokázal spojit dva kmeny, tak i Bluetooth dokáže spojit dříve nekompatibilní zařízení. Logo Bluetooth vzniklo spojením Hagalaz  (devátá runa germánského furtharku prostého) a Berkana  (osmnáctá runa germánského furtharku prostého), Haraldovy iniciály.



*Obrázek 1 - Logo Bluetooth [35]*

[1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10]



## 1.2. Vývoj verzí Bluetooth

Jednotlivé verze Bluetooth jsou formovány a vydávány nezávislou skupinou Bluetooth SIG. Důležitou vlastností každé verze Bluetooth je její zpětná kompatibilita. I nejnovější verze BT 5 je schopna komunikovat s verzí 1.0.

- Bluetooth 1.0a
  - Uvolněn v červenci roku 1999.
- Bluetooth 1.0b
  - Uvolněn v prosinci roku 1999.
  - Obě dosavadní verze měly mnoho problémů a výrobci měli velice těžké podmínky pro vytvoření kompatibilních produktů.
  - U těchto verzí byla součástí povinného přenosu Bluetooth hardwarová adresa zařízení (BD\_ADDR) ve spojovacím procesu. To neumožňovalo anonymitu na úrovni protokolu, což byla hlavní překážka pro některé plánované služby využívající prostředí Bluetooth.
  - Objevovaly se problémy s nejednoznačným rozdělení rolí Master a Slave.
- Bluetooth 1.1
  - Uvolněn v únoru roku 2001.
  - Bylo opraveno mnoho chyb z Bluetooth 1.0b
  - První doopravdy použitelná verze (touto verzí byly vybaveny mobily, tiskárny a laptopy)
  - Dodána podpora pro nešifrované kanály.
  - Přidán indikátor o síle přijímaného signálu RSSI (Received Signal Strength Indicator).
  - Největší změna byla v autentizaci, při které si dvě zařízení vymění klíč, který potvrdí jejich identitu. Jestli se klíče neshodují, spojení není navázáno.
  - Bluetooth podporuje až pět slotů na jeden paket. Avšak ne všechny Bluetooth zařízení podporují pětislotové pakety. Ve verzi 1.0b nemohlo zařízení typu Slave sdělit, kolik slotů může být použito pro komunikaci. Od verze 1.1 je zařízení typu Slave schopno sdělit, kolik může být maximálně použito slotů během komunikace.
  - Ještě ve verzi 1.0b nebylo ve všech zemích umožněno rozdělit pásmo 2.4 GHz do 79 kanálů z důvodu využití tohoto pásma pro vojenské účely. To způsobovalo nekompatibilitu mezi zařízeními prodávající se v těchto zemích (Francie, Španělsko,





Japonsko a další) a zbytkem světa. Po vyjednávání s těmito zeměmi byl problém odstraněn a ve verzi 1.1 jsou již všechna zařízení kompatibilní.

- Bluetooth 1.2
  - Uvolněn v listopadu roku 2003.
  - Zpětně kompatibilní s verzí Bluetooth 1.1
  - Rychlejší spojení a nalezení zařízení.
  - Dodáno AFH (Adaptive Frequency-hopping Spread Spectrum), což zlepšovalo odolnost vůči elektromagnetickému rušení. Bluetooth se vyhýbal skokům do zaplněných frekvencí.
  - Zvýšila se rychlost přenosu na 721 kbits/s.
  - Vybaveno eSCO (Extended Synchronous Connections), což zlepšovalo kvalitu přenášeného zvuku, díky možnosti opětovnému zaslání zničených paketů.
- Bluetooth 2.0 + EDR
  - Uvolněn v listopadu roku 2004.
  - Zpětně kompatibilní s verzí Bluetooth 1.2
  - Hlavním rozdílem bylo představení technologie EDR (Enhanced Data Rate) pro rychlejší přenos dat. Přenosová rychlost se zvýšila na až 2,1 Mbit/s.
  - Snížení spotřeby energie díky zredukování pracovních cyklů.
  - Některé zařízení nejsou vybavena technologií EDR. Poté se jedná v podstatě o verzi 1.2 vylepšenou o opravu chyb.
- Bluetooth 2.1 + EDR
  - Uvolněn v červenci roku 2007.
  - Mezi hlavní rys této verze patří SSP (Secure Simple Pairing). Zlepšuje párování mezi Bluetooth zařízeními a sílu zabezpečení.
  - Dále vybaven EIR (Extended Inquiry Response). Zařízení poskytuje více informací během dotazovací procedury, aby umožnilo lepší filtrování zařízení před spojením. Mezi tyto informace patří jméno zařízení, výčet služeb, které zařízení podporuje a informace o párování.
  - Další snížení spotřeby energie ve stavu nízké potřeby energie.
  - Podpora NFC (Near Field Communications).
- Bluetooth 3.0 HS
  - Uvolněn v dubnu roku 2009.
  - Hlavní změnou je dramatické zvýšení přenosové rychlosti zásluhou HS (High Speed). Rychlost se zvýšila na až 24 Mbit/s. Toho nebylo docíleno technologií



Bluetooth, nýbrž zásluhou protokolu 802.11 PAL, jenž vychází z bezdrátové technologie Wi-Fi. Bluetooth je v tomto případě využit jen na párování zařízení. Samotný přenos je pak prováděn přes technologii Wi-Fi.

- HS část specifikace není povinnou a pouze zařízení mající přídomek + HS jsou jí vybavené. Kompatibilita mezi zařízení s HS a bez HS je dále zajištěna přes Bluetooth.
- Bluetooth 4.0 + LE
  - Uvolněn v dubnu roku 2010.
  - Zahrnuje klasický Bluetooth, Bluetooth High Speed (HS) a Bluetooth Low Energy (BLE).
  - Hlavním přínosem je zvýšený dosah na až 100 metrů a snížení energetické náročnosti. Zařízení, které bude odesílat pouze informace prostřednictvím BLE, by mělo teoreticky vydržet na jednu malou knoflíkovou baterii až několik let.
  - BLE komunikace probíhá ve velmi krátkých datových paketech a dosahuje maximální přenosové rychlosti 1 Mbit/s.
  - Tato verze je bezpečnější z důvodu šifrování AES-128.
  - Je možné jej implementovat v duálním módu, což znamená, že na již existující klasický Bluetooth (například 2.1 nebo 3.0) lze integrovat nízkooenergetickou funkci (BLE) Bluetooth 4.0. To pro výrobce znamená snížení nákladů, protože mohou dále používat starší čipy s Bluetooth 2.1 nebo 3.0.
  - BLE by se měl uplatnit například v domácnostech, automobilech, či zdravotnictví.
- Bluetooth 4.1
  - Uvolněn v prosinci roku 2013.
  - Jedná se o softwarový, nikoli hardwarový upgrade verze 4.0.
  - Přináší podporu pro síťovou komunikaci prostřednictvím síťového protokolu IPv6.
  - Snížení rušení příjmu LTE.
- Bluetooth 4.2
  - Uvolněn v prosinci roku 2014.
  - Umožňuje zařízením se připojit k internetu, což je zásadní krok pro IoT (pro BLE).
  - Zvýšila se rychlost a navýšila se kapacita paketů u BLE.
- Bluetooth 5
  - Představen v červnu roku 2016.
  - Obchodně označován pouze 5 nikoli 5.0.



- Dosahuje dvojnásobné rychlosti přenosu, čtyřnásobného dosahu a osminásobného objemu dat u BLE oproti verzím 4.X.
- Dodána možnost posílání lokalizačních údajů přes BLE.
- Dále se ubírá směrem k IoT.

[3], [4], [11], [12], [13], [14], [15], [16]

### 1.3. Rozdělení Bluetooth do tříd dle výstupního výkonu

Bluetooth je rozdělen do tří tříd (Class) dle vysílacího výkonu, jenž se měří na konektoru Bluetooth antény zařízení. Platí zde úměra, že čím vyšší je výstupní výkon, tím větší je dosah. Jedná se zde pouze o teoretický dosah, který může být ovlivněn prostředím a materiály, jimiž musí signál projít. Vysílací výkon může být také ovlivněn stavem baterie v přístroji. Rozdělení jednotlivých tříd je v *tabulce 1*.

- **Class 1**
  - Tato třída má povinně implementováno řízení výkonové úrovně pro vysílací úrovně, které jsou vyšší než +4 dBm. V případě nižších úrovní je řízení výkonu nepovinné a využívá se pro snížení spotřeby energie zařízení a z důvodu omezení rušení okolí. Výkonová úroveň se mění po krocích v rozmezí od 2 dB až 8 dB.
  - O řízení výkonové úrovně se stará protokol správy spoje LPM na základě vyhodnocení síly přijímaného signálu RSSI.
  - Jelikož spotřebovává více energie, je tato třída využívána pro USB adaptéry do PC, či pro budování Bluetooth lokální sítě.
- **Class 2**
  - Nejrozšířenější třída.
  - Maximální vysílací výkon je omezen na +4 dBm.
  - Na rozdíl od Class 1 nevyžaduje tato třída řízení výkonové úrovně.
- **Class 3**
  - Z důvodu maximálního vysílacího výkonu pouze 0 dBm nemusí být implementováno řízení výkonové úrovně.



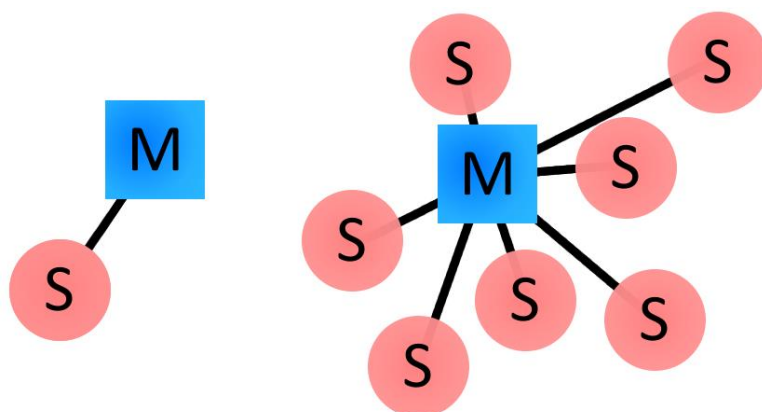
Tabulka 1 - Výkonové třídy Bluetooth zařízení

Výkonová třída	Výstupní výkon			Přibližný dosah
	Maximální	Nominální	Minimální	
1	100 mW (20 dBm)	Nespecifikováno	1 mW (0 dBm)	100 m
2	2,5 mW (4 dBm)	1 mW (0 dBm)	0,25 mW (-6 dBm)	50 m
3	1 mW (0 dBm)	Nespecifikováno	Nespecifikováno	10 m

[2], [3], [17]

## 1.4. Topologie sítě

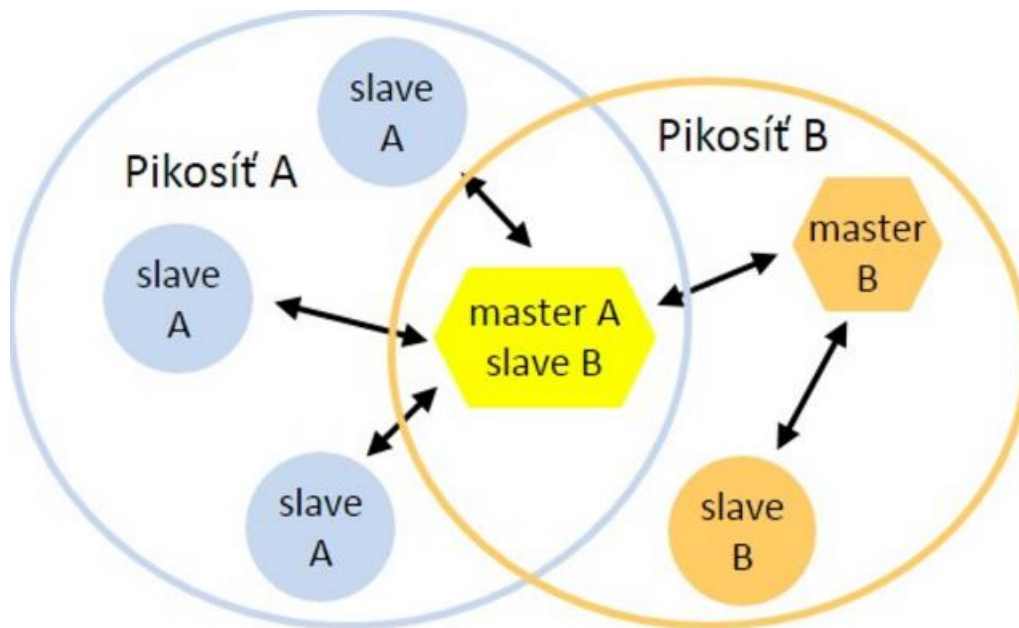
Bluetooth funguje na principu hvězdicové topologie sítě. Zařízení, jež se nacházejí v dosahu, mohou mezi sebou vytvořit spojení bod-bod (Point-to-Point) nebo v případě připojení více zařízení spojení bod-více bodů (Point-to-Multipoint). Soustava dvou a více zařízení, která sdílejí stejný fyzický kanál, tvoří buňku piconet (pikosít'). Tato buňka může obsahovat až 8 zařízení Bluetooth. Při vzniku buňky piconet se jedno zařízení stane vedoucím zařízením, tzv. Master, a ostatní zařízení se nazývají Slave. Jedna pikosít' může obsahovat jedno zařízení typu Master a až sedm zařízení typu Slave. Aby správně fungovala komunikace v buňce piconet, je nutné, aby se všechna zařízení typu Slave synchronizovala na konkrétní schéma kmitočtových skoků, které určuje zařízení typu Master. Master dále přiděluje časové úseky pro komunikaci jednotlivých zařízení a řídí přístup ke komunikačnímu kanálu v rámci jedné pikosítě. V některých případech se může stát, že Slave zažádá Master o jeho práva a stane se tím Masterem.



Obrázek 2 - Topologie buňky Piconet (M - Master, S - Slave) [36]



Pikosítě se mohou dále sloučit a vytvořit tzv. rozprostřenou síť, která se nazývá scatternet. Scatternet umožňuje přenos dat na delší vzdálenosti pomocí přeposílání přes několik jednotek. Každá buňka piconet v uskupení scatternet využívá jiný komunikační kanál. Pro jednotlivé piconety stále platí, že mají pouze jedno zařízení typu Master a zbylá zařízení figurují jako Slave. Může se ale stát, že v jedné pikosíti je zařízení vedeno jako typ Master a jiné pikosíti figuruje to samé zařízení jako typ Slave.



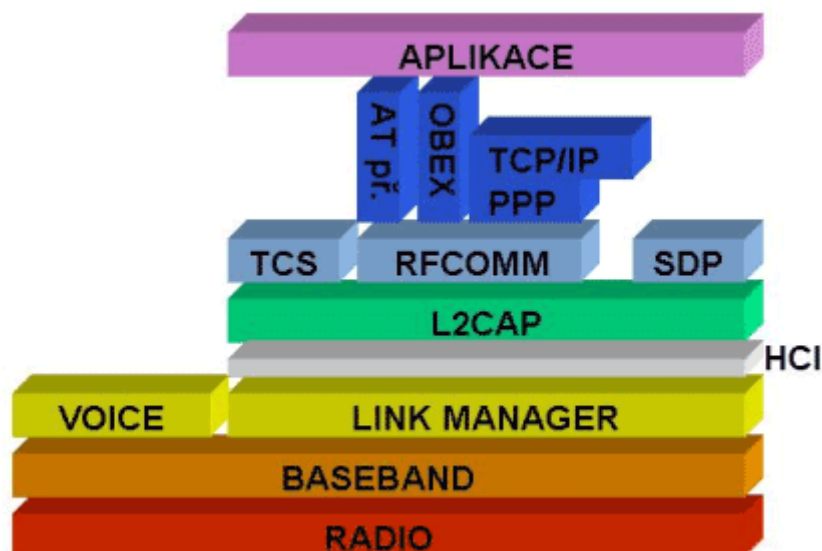
Obrázek 3 - Scatternet topologie - Master v pikosíti A je zároveň slave v pikosíti B [37]

[1], [3], [17]



## 1.5. Architektura Bluetooth

V této kapitole se budu zabývat popisem jednotlivých vrstev komunikačního protokolu Bluetooth. Protokol je rozčleněn na několik vrstev, proto se označuje jako vrstvý model, či vrstvá architektura. Struktura protokolu je vidět na obrázku 4.



Obrázek 4 - Hierarchie jednotlivých vrstev [38]

### 1.5.1. Bluetooth Radio

Vrstva Bluetooth Radio je nejnižší vrstvou v architektuře Bluetooth. Technologie Bluetooth musí splňovat celosvětovou kompatibilitu pásma, proto využívá bezlicenční kmitočtové pásmo ISM (Industrial Scientific Medical band) pro průmyslové, vědecké a lékařské účely. Pásmo ISM využívá frekvenci 2,4 GHz, konkrétně od 2,400 do 2,4835 GHz. Jak již bylo zmíněno v kapitole 1.2 *Vývoj verzí Bluetooth* je v některých zemích pásmo ISM využíváno pro vojenské účely. Z tohoto důvodu je v některých zemích toto pásmo omezeno, například ve Francii na 2,4465 – 2,4835 GHz, v Japonsku na 2,471 – 2,497 GHz. Frekvenční pásmo je rozděleno na 79 komunikačních kanálů, které mají mezi sebou odstup 1 MHz. Vysílací pásmo je dále ohraničeno dolní ochranným pásmem, které má šířku 2 MHz a zároveň ohraničeno i ze shora, horním ochranným pásmem o šířce 3,5 MHz. V této vrstvě je také implementováno řízení vysílacího výkonu (viz kapitola 1.3 *Rozdělení Bluetooth do tříd dle výstupního výkonu*).

### 1.5.2. Baseband

Vzhledem k tomu, že pásmo ISM je možno volně využívat, docházelo by k velmi pravděpodobnému obsazení kanálu. Proto využívá Bluetooth metodu kmitočtových skoků



rozprostřeného spektra FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum). V praxi to znamená, že signál přeskakuje 1600 krát za sekundu mezi všemi 79 komunikačními kanály (tzn. každou 1/1600 sekundy se vysílá na jiné frekvenci). Každý interval na jednotlivé frekvenci trvá 625  $\mu$ s.

Bluetooth definuje 4 různé typy fyzických kanálů, které jsou charakterizovány kombinací sekvencí frekvencí, mezi kterými dochází k přeskoku, časováním kanálových intervalů, přístupovým kódem a jejich způsobem kódování záhlaví paketu. Mezi tyto kanály patří:

- Základní kanál pikosítě (Basic Piconet Channel)
- Adaptovaný kanál pikosítě (Adapted Piconet Channel)
- Kanál určený pro prohledávání a skenování okolí (Inquiry Scan Channel)
- Připojovací kanál (Page Scan Channel)

Aby bylo možné provádět tyto činnosti současně a navzájem nezávisle, je využíván časový multiplex TDM (Time Division Multiplex) mezi jednotlivými kanály.

Vrstva Baseband dále spravuje dva typy spojení, které mohou být navázány mezi zařízením typu Master a typu Slave. Synchronní spojení SCO (Synchronous Connection Oriented link) a asynchronní ACL (Asynchronous Connection-less link).

- SCO
  - Symetrická komunikace typu bod-bod, a to mezi zařízením typu Master a právě jedním zařízením typu Slave.
  - Dimenzováno na hlasové (zvukové) přenosy, kde je zanedbatelná malá datová ztráta, ale mnohem kritičtější je zpoždění informací. Z tohoto důvodu se neprovádí žádná kontrola integrity dat. Jestliže při přenosu dojde ke ztrátě určitých dat, nedochází k jejich opětovnému zaslání (mohlo by to vést ke zpoždění následujících hlasových informací).
  - Přenos informací dochází v přesně stanovených časových intervalech.
  - Přenosová rychlost je shodná v obou směrech komunikace.
- ACL
  - Asynchronní nespojová komunikace.
  - Spojení mezi Master a jedním, či více zařízením typu Slave, jestliže kanál není rezervován pro SCO.
  - V případě, že Master nezadá adresu příjemce, může vysílat pakety na všechny zařízením typu Slave ve své pikosíti. Tomuto způsobu rozesílání paketů se říká Broadcast. Tuto funkci však nemůže využít pro vysílání Slave.



- V této komunikaci je zpoždění informace již vedlejší a hlavní důraz se klade na integritu dat. Z toho důvodu se data, která nedorazila vůbec, či dorazila poškozená, znovu odesílají.

### 1.5.3.Link Manager (LMP)

Protokol správy spoje LMP je řídicím protokolem pro vrstvu základního pásma a pro fyzickou vrstvu v architektuře Bluetooth. Link Manager se stará o řízení a sestavení komunikace a určení délky paketů, které budou použity pro komunikaci. Dále zajišťuje řízení napájecích módů a s tím související řízení spotřeby zařízení. V LMP je implementován bezpečnostní management, který se stará o výměnu šifrovacích klíčů pro autentifikaci a šifrování.

Pro přenos protokolu LMP se využívá ACL-C (Asynchronous Connection Oriented – Control), což je asynchronní spojově orientovaný logický spoj, který se přenáší prostřednictvím logického přenosu ACL. Spoj ACL je vytvořen automaticky pro nově připojené zařízení v pikosíti.

### 1.5.4.Host controller interface (HCI)

Vrstva HCI zajišťuje jednotné rozhraní a jednotnou metodu přístupu, jak může softwarová část zásobníku využívat fyzické (hardware) části zařízení Bluetooth. Obsahuje příkazové rozhraní k Baseband Controller, Link Manager, registrům příkazů a příkazům pro stav hardwaru zařízení.

Mezi řídicí částí Bluetooth Controller a částí Bluetooth Host se přenáší 4 druhy paketů:

- HCI příkazový paket
  - Slouží pro komunikaci ve směru Bluetooth Host k části Bluetooth Controller. Pakety mohou dosahovat maximální délky 255 bajtů, a to bez záhlaví.
- HCI ACL datový paket
  - Slouží pro komunikaci v opačném směru, a sice od Bluetooth Controller k Bluetooth Host. Pakety mohou dosahovat maximální délky 65 535 bajtů bez záhlaví.
- HCI synchronní datový paket
  - Slouží pro přenos synchronních dat SCO mezi Bluetooth Controller a Bluetooth Host, a to v obou směrech. Pakety mohou dosahovat maximální délky 255 bajtů bez záhlaví.
- HCI paket událostí





- Tento paket vysílá Bluetooth Controller a informuje tím Bluetooth Host o událostech, ke kterým během komunikace došlo. Pakety mohou dosahovat maximální délky 255 bajtů, a to bez záhlaví.

### 1.5.5. Logical Link Control and Adaptation Protocol (L2CAP)

Protokol L2CAP zajišťuje propojení protokolů vyšších vrstev s operacemi, které jsou prováděny na základní vrstvě Baseband. Poskytuje služby pro spojované (Connection-oriented) i nespojované (connectionless-oriented) datové přenosy. Sám však přistupuje pouze k ACL přenosů vrstvy Baseband.

Mezi další funkce L2CAP patří:

- Multiplexing
  - Zajišťuje multiplexování různých druhů protokolů, které jsou definovány vyššími vrstvami architektury Bluetooth (například protokoly SDP, RFCOMM a TCS).
- Segmentation and reassembly
  - L2CAP zajišťuje rozdělení a znovu složení datových paketů, které jsou příliš dlouhé a přesahují maximální přípustnou délku MTU (Maximum Transmission Unit). Takové pakety jsou před odesláním rozloženy na více paketů a druhá strana, která tyto pakety přijímá, musí být schopna je zpět složit.
- Quality of Services
  - Stará se o předem definované parametry, mezi které patří například přenosová rychlost nebo zpoždění. Tyto parametry se definují v průběhu procesu navazování spojení.
- Groups
  - Poslední úlohou L2CAP je implementace práv, která je využita pro mapování skupin jednotek do buňky piconet.

### 1.5.6. Telephony Control Specification (TCS)

Jedná se o bitově orientovaný protokol, který je založen na standardu Q.931, který byl vyvinut pro veřejnou telefonní síť (ISDN). Definiuje zprávy a formát kontrolních zpráv, které jsou tvořeny konečnými zařízeními, jakými jsou například telefony. Protokol TCS má následující funkce:

- Protokol TCS definuje řízení, sestavení přenosové linky a přenos dat mezi zařízeními Bluetooth.



- Pracuje ve dvou režimech, a to v režimu telefonního terminálu pro PTSN nebo GSM sítě.
- Při připojení Headset zajišťuje hlasitost, generování vyzváněcího tónu, vyzvednutí a zavěšení hovoru.
- Spravuje management skupinových hovorů.

### 1.5.7. Radio Frequency Communications Port (RFCOMM)

RFCOMM je vrstva nahrazující kabel a slouží pro generování virtuálního sériového portu. Zajišťuje binární datový přenos, emulaci portu RS-232 a ovládání kontrolních signálů přes fyzickou vrstvu Bluetooth. Je využíván pro služby vyšších vrstev Bluetooth, které používají pro přenos dat sériovou linku. RFCOMM podporuje až 60 simultánních spojení mezi dvěma Bluetooth zařízeními, avšak tento počet je omezen dle specifikace jednotlivých zařízení.

### 1.5.8. Service Discovery Protocol (SDP)

Vrstva SDP zajišťuje vyhledávání dalších zařízení a služeb Bluetooth, o kterých doposud neměla jednotka žádné prvotní informace. Poskytuje informace o tom, jakým způsobem má dojít k vyhledávání a jak se má ukončit spojení. Informuje o charakteristice a dostupnosti služeb, ke kterým se jednotka Bluetooth může připojit.

SDP je jednoduchý protokol s minimálními požadavky na nižší vrstvy transportního protokolu. Využívá modelu požadavek/odpověď, kde se každá transakce skládá z jednoho požadavku PDU (Protocol Data Unit) a z jedné odpovědi PDU. Každá služba je identifikována pomocí unikátního UUID (Universal Unique Identifier).

Základní pointou SDP je vyhledávání služeb ostatních zařízení. Z toho důvodu pracuje ve dvou stavech.

- Hledání služeb
  - SDP hledá konkrétní služby (podle jejich UUID), které jsou jednotkou vyžadovány.
- Prohlížení služeb
  - Mechanismus pro prohlížení služeb je založen na atributu BrowseGroupList. Hodnota tohoto atributu je výčet všech UUID. Prohlížení znamená nahlížení, jaké služby jsou nabízeny od ostatních jednotek.

[1], [3], [17], [18], [19], [20], [21], [22]



## 1.5.9. Protokoly vyšších vrstev

Protokoly vyšších vrstev, které jsou nezávislé na architektuře přenosových protokolů Bluetooth.

### AT Commands

Tzv. AT (od slova Attention) příkazy jsou servisními příkazy, které jsou obvykle využívány pro řízení a konfiguraci sériových telefonních modemů. Tato služba využívá vrstvu RFCOMM, která emuluje služby sériového portu a díky tomu umožňuje komunikaci s jednotkou Bluetooth přes textové příkazy.

AT příkazy jsou textovými příkazy a po připojení k modulu může být využit terminálový program (například Putty), kterým se dají zasílat textové příkazy. Tyto textové příkazy mají plně definovanou svou syntaxi a všechny musí začít písmeny AT. Výrobci finálních zařízení většinou neimplementují všechny AT příkazy, či jejich parametry.

Existují dva typy AT příkazů

- Základní příkazy
  - AT příkazy, které nezačínají „+“.
  - Například D (Dial), A (Answer)
- Rozšířené příkazy
  - AT příkazy, které začínají „+“.
  - Jedná se o všechny GSM příkazy. Například +CMGS (Pro zaslání SMS zprávy), +CMGR (Čti SMS zprávu).

Ukázka AT příkazu:

```
AT+CGMI <-- Command line entered - AT příkaz pro vypsání jména výrobce
Nokia <-- Information response - Odpověď modemu na AT příkaz
OK <-- Final result code - Konec odpovědi modemu na AT příkaz - značí konec
vykonávání příkazu modemem.
```

### Point-to-Point (PPP)

Jedná se o protokol, který je paketově orientovaný. PPP využívá k přenosu paketů služby vrstvy RFCOMM. Jelikož se přenos paketů odehrává přes sériové rozhraní RS-232, je nutné konvertovat paketový datový tok na sériový datový tok.

### TCP/IP



Tento protokol je vytvořen, aby umožnil jednotce Bluetooth komunikovat s jinými jednotkami přes služby internetu.

## **Wireless application protocol (WAP)**

WAP je protokol pro bezdrátovou komunikaci, který má zpřístupnit internetové služby v rámci různých bezdrátových komunikačních síťových řešení. Tento protokol byl primárně vytvořen pro mobilní zařízení.

## **Object Exchange (OBEX)**

Protokol OBEX je nutný pro výměnu dat a řídicích informací. OBEX byl původně vyvinut pro rychlý přenos datových objektů vCard a vCalendar. To mělo probíhat přes infračervený paprsek. Ale jelikož je OBEX nezávislý na transportním mechanismu a na přenosovém programovém rozhraní, tak byl implementován i v technologii Bluetooth. RFCOMM je využíván jako hlavní transportní vrstva pro OBEX. Používá architekturu klient-server a je využit například pro synchronizaci událostí v kalendáři, či pro přenos vizitek.

[18], [20], [23], [24]

## **1.6.Profil v Bluetooth**

Možnosti využití modulů Bluetooth v zařízeních jsou definovány pomocí profilů. Definují konkrétní protokoly, způsoby komunikace a výměnu zpráv pro určitou aplikaci. Profily nelze vnímat jako definice nových funkcí, či vlastností Bluetooth, ale pouze o určení, které části z celé specifikace Bluetooth se v daném případě využijí. Profily dále zajišťují kompatibilitu zařízení na softwarové úrovni. Pomocí profilů má Bluetooth modul pevně určeno, jaký druh dat a jakým způsobem se bude přenášet.

Aby mezi sebou mohla zařízení Bluetooth komunikovat, musí obě zařízení podporovat stejný profil. Jestliže zařízení typu Master zjistí, že Slave nepodporuje požadovaný profil, neumožní komunikaci.

Každý profil musí obsahovat tři důležité informace:

- Jaká je jeho závislost na jiných profilech.
- Jaký je doporučený formát uživatelských rozhraní.
- Jaká je specifikace využívaných částí protokolové sady z celé specifikace Bluetooth.



V první verzi Bluetooth 1.1 bylo definováno celkem 13 základních profilů. Základním profilem technologie Bluetooth je obecný přístupový profil GAP (Generic Access Profile). Mezi tyto první profily patří:

- Profil GAP
  - Obecný přístupový profil, který je základním profilem pro všechny ostatní Bluetooth profily. Většina dalších Bluetooth profilů vychází z profilu GAP a využívá jeho vlastnosti, operace a procedury.
  - Každé zařízení musí z důvodu kompatibility podporovat tento profil.
  - Zajišťuje vzájemnou spolupráci a výměnu informací mezi zařízeními od různých výrobců. Definuje metodiku sestavení spoje mezi dvěma Bluetooth zařízeními.
  - Definuje všeobecné procedury, které se využívají během vyhledávání ostatních Bluetooth zařízení.
  - Definuje správu spoje připojovaného zařízení.
  - Formuluje procedury, které jsou spojeny se zabezpečením BT komunikace.
  - V GAP je určeno chování BT zařízení, které je ve stavu spojení.
- SDAP (Service Discovery Application Profile)
  - Tento profil definuje znaky a procedury pro vyhledávání služeb poskytovaných ostatními dostupnými Bluetooth zařízeními a zajišťuje jejich vzájemnou výměnu.
- CTP (Cordless Telephony Profile)
  - Profil CTP definuje procedury, které jsou vyžadovány pro interoperabilitu mezi různými aktivními jednotkami v případě 3-in-1 Phone.
  - Definuje, jakým způsobem se má telefon chovat, jestliže ve svém okolí nalezne základovou stanici s Bluetooth.
- IP (Intercom Profile)
  - Definuje nutné požadavky pro BT zařízení na podporu funkce interkomu v případě 3-in-1 Phone.
  - Umožňuje komunikaci dvou bezdrátových telefonů skrze technologii Bluetooth (bez nutnosti využívat telefonní síť).
  - Doplněk profilu CTP.
- SPP (Serial Port Profile)
  - Umožňuje vytvořit virtuální obdobu sériového spojení s využitím vrstvy RFCOMM.



- Definuje protokoly a procedury, kterou by mělo BT zařízení využívat pro emulaci RS-232 sériového spojení.
- HP (Headset Profile)
  - Definuje podmínky, které musí být v zařízení implementovány, aby mohlo být zařízení využito v modelu Ultimate Headset.
- DUN (Dial-up Network Profile)
  - Umožňuje využít Bluetooth pro spojení např. notebooku k internetu nebo jiné síti (používání ve stavu Internet Bridge).
- FP (Fax Profile)
  - Obdobný DUN profilu.
  - Umožňuje bezdrátový přenos faxových zpráv.
- LAP (LAN Access Profile)
  - Definuje, jak se zařízení BT může připojit k lokální LAN síti prostřednictvím protokolu PPP.
- GOEP (Generic Object Exchange Profile)
  - Definuje protokoly a procedury, které jsou nutné pro výměnu datových objektů mezi zařízeními Bluetooth.
  - Umožňuje synchronizaci a přenos souborů.
  - Přímou spolupracuje s profilem GAP.
  - Obecný profil pro všechny aplikační profily, které využívají protokol OBEX.
- OPP (Object Push Profile)
  - Umožňuje zasílání malých objektů, jako například elektronických vizitek, které nevyžadují párování ani složitější zabezpečovací procedury.
- FTP (File Transfer Profile)
  - Zajišťuje přenos souborů mezi BT zařízeními.
  - Staví na profilu GOEP.
  - Zahrnuje browsing (prohlížení), posílání a manipulaci se soubory.
- SP (Synchronization Profile)
  - Umožňuje synchronizaci například dat v kalendáři nebo kontakty, které jsou uloženy na jednom zařízení, s údaji stejného typu, které jsou na jiném zařízení.
  - Využívá profilu GOEP pro splnění interoperability mezi zařízeními.
  - Příkladem může být synchronizace dat z kalendáře mezi notebookem a mobilním telefonem.
  - K synchronizaci může dojít automaticky, jestliže jsou obě zařízení BT v dosahu.



Těchto 13 profilů představuje pouze základ, který byl představen s verzí Bluetooth 1.1. Od té doby s každou novou verzí Bluetooth přibývá mnoho dalších profilů. Samotné profily jsou již v několikáté verzi. V posledním Bluetooth 5 je již implementováno přes 80 profilů.

[17], [20], [25], [26]

## 1.7.Stavy Bluetooth jednotky

Jednotka Bluetooth nacházející se ve stavu pohotovosti (Standby), může přejít do následujících stavů: průzkum (Inquiry), příjem průzkumu (Inquiry Scan), kontaktování (Page) a příjem kontaktování (Page Scan). Výchozím stavem jednotky BT je stav pohotovosti, při kterém fungují pouze vnitřní hodiny. To má za následek minimální spotřebu energie.

- Pohotovost (Standby)
  - Než je vytvořeno spojení v rámci pikosítě, tak jsou všechny jednotky ve stavu pohotovosti.
  - V tomto módu naslouchá nepřipojená jednotka zprávy každých 1,28 sekundy.
- Průzkum (Inquiry)
  - Slouží k prohledávání okolí, aby jednotka našla další zařízení Bluetooth. Zařízení, které vyhledává další zařízení, vysílá vyhledávací dotazy (Inquiry Request) prostřednictvím paketu ID.
  - Paket ID se zasílá dvakrát v jednom časovém úseku a každý se zasílá na jiné frekvenci. To znamená, že dochází k dvojnásobné četnosti přeskoků kmitočtů, čemu odpovídá 3200 přeskoků za sekundu.
  - Pakety, které jsou určeny všem jednotkám, obsahují obecný přístupový kód GIAC (General Inquiry Access Code). Pakety, které jsou určeny pouze vybraným jednotkám, obsahují specializovaný přístupový kód DIAC (Dedicated Inquiry Access Code).
  - Pro průzkum není nutné využívat žádné vyšší vrstvy protokolu. Je využíván pouze speciální fyzický kanál.
  - V době vyhledávání nejsou známy role jednotky (Master nebo Slave) v rámci pikosítě a tak se jako Master bere vyhledávající zařízení.
- Příjem průzkumu (Inquiry Response)
  - Jestliže zařízení, které je ve stavu příjmu, přijme průzkumnou zprávu, musí odeslat jakožto odpověď svou adresu a hodnotu vnitřních hodin.
  - Aby se zabránilo kolizi s ostatními jednotkami, které přijímaly průzkumnou zprávu na stejné frekvenci, je odpověď odeslána až za náhodný počet časových



úseků. Poté je vyslán FHS-paket, který obsahuje veškeré informace nutné k potencionálnímu kontaktování.

- Kontaktování (Page)
  - Připojovací procedura následuje po vyhledávání a je započata v případě, že má zařízení zájem o připojení k nalezenému zařízení.
  - Opět se zde vyskytuje ID paket, který obsahuje přístupový kód k zařízení DAC (Device Access Code), který se vypočítá z adresy kontaktovaného zařízení. Podle této adresy se řídicí jednotka snaží odvodit frekvenci, na které kontaktovaná jednotka přijímá. V případě, že je známa hodnota vnitřních hodin kontaktované jednotky, tak je proces odhadnutí frekvence rychlejší a přesnější. Tuto informaci by měla jednotka získat během procesu průzkumu.
  - Dochází k rozdělení rolí v pikosíti a je přidělen přístupový kód kanálu CAC (Channel Access Code), který slouží pro identifikaci a rozlišení fyzických kanálů.
  - Pakety, které se posílají během této procedury, jsou velmi krátké a tak opět dochází k přeskokům na jiné frekvence 3200 krát za sekundu.
- Příjem kontaktování (Page Scan)
  - Do stavu Page Scan může přejít jednotka buď ze stavu připojení, nebo ze stavu pohotovosti.
  - Jednotka očekává příjem ID paketu s odpovídajícím přístupovým kódem zařízení DAC.
- Odpověď na kontaktování (Page Response)
  - Jestliže podřízená jednotka přijme kontaktní ID paket, přejde do stavu Page Response. Následně odešle podřízená jednotka další ID paket, obsahující její kód DAC na stejné frekvenci. Pošle jej v následujícím časovém úseku a přesně 625  $\mu$ s od obdržení kontaktního ID paketu. Po příjmu této odpovědi přejde i řídicí jednotka do stavu Page Response. Od této chvíle již řídicí jednotka zná frekvenci, na které podřízená jednotka přijímala.
  - Následně řídicí jednotka zašle informaci o svých hodinách pomocí FHS paketu.
  - Dalším paketem, který odesílá řídicí jednotka, je paket POLL, který je opatřen přístupovým kódem k dané pikosíti. Aby tato operace proběhla správně, musí podřízená jednotka odpovědět na tento paket jakýmkoli paketem.





- Jestliže všechny zmíněné pakety dorazí správně, jednotky přejdou do stavu připojení, ve kterém si začnou vyměňovat informace pomocí protokolu pro správu spojení LMP.

[17], [27], [28]

### 1.7.1. Režimy jednotky ve stavu připojení

- Aktivní režim (Active Mode)
  - V aktivním režimu se BT jednotka aktivně účastní komunikace v kanálu.
  - Aktivní jednotky typu Slave poslouchají, zda pro ně není určen paket od řídicí jednotky.
  - Jestliže aktivní Slave není adresován, může se „uspat“ do dalšího časového úseku.
- Režim Sniff (Sniff Mode)
  - Zařízení typu Slave naslouchá v piconetu v omezené míře.
  - Sniff interval naslouchání je programovatelný a závisí na jeho aplikaci.
  - Toto opatření snižuje spotřebu energie.
- Režim přidržení (Hold Mode)
  - Jednotka Slave může přejít do režimu přidržení, při kterém nejsou podporovány pakety v ACL kanálu. Kanál SCO je ale nadále podporován.
  - Před přejítím do režimu přidržení se jednotka Master a Slave dohodnou o době trvání tohoto stavu. Po uplynutí časového intervalu přejde jednotka Slave do aktivního stavu a začne se synchronizovat.
  - Nižší spotřeba energie.
- Režim parkování (Park Mode)
  - Nejmenší spotřeba energie.
  - Jednotka v režimu parkování se vzdá své MAC adresy (aby mohlo být k Masteru připojeno víc než 7 zařízení).
  - V pravidelných časových intervalech naslouchá Slave (v režimu parkování) za účelem synchronizace a sledování případných žádostí o změnu jeho stavu.

[27], [28]



## 2. Příčiny rušení Bluetooth signálu

V případě většího počtu bezdrátových zařízení v okolí se zhoršuje stabilita a celková výkonnost připojení Bluetooth. Příčinou jsou bezdrátové technologie, které využívají také pásmo kolem frekvence 2,4 GHz.

Možné rušení můžeme zjistit za pomoci různých diagnostických zařízení (viz kapitola 5), ale určité příznaky může odhalit i prostý uživatel. Mezi tyto příznaky lze zahrnout:

- Přerušovaná Bluetooth komunikace
  - Projevem mohou být například krátkodobé výpadky při přehrávání hudby s využitím BT profilu A2DP (Advanced Audio Distribution Profile).
- Nemožnost správného spárování Bluetooth zařízení
  - Bluetooth zařízení se nespárují. Řešením je opětovný pokus o spárování.
- Snížení rychlosti stahování a nahrávání souborů
  - Příkladem může být stahování kontaktů z mobilního telefonu do infotainmentu vozu. Jelikož kontakty mohou obsahovat fotografie a adresy, jedná se o velký objem dat.

Rušení Bluetooth signálu způsobují zařízení jako například mikrovlnné trouby, či elektrické rozvaděče. Mezi zařízení, která způsobují rušení a setkáme se s nimi v automobilech, patří:

- Další bezdrátové telefony, které nemusí být připojeny k infotainmentu vozu. Například telefon připojený k BT sluchátkům.
- Tablety
- Přímé satelitní služby
  - Rušení mohou způsobovat koaxiální kabely, které vedou automobilem.
- Některé druhy LCD displejů
- Kabely, které jsou špatně odstíněné
- Rádiové vysílačky

### 2.1. Mechanické překážky

Důležitým faktorem, který ovlivňuje spolehlivost Bluetooth přenosu, je umístění Bluetooth zařízení ve voze. Pro správnou komunikaci je zapotřebí co nejčistší průchod Bluetooth signálu. To znamená, aby na dráze signálu bylo málo pevných překážek, kterými musí signál projít. Mezi tyto překážky, které absorbují, či odrážejí Bluetooth signál, a tím způsobují rušení, patří:



Tabulka 2 - Míra rušení způsobená průchodem signálu daným materiálem

<b>Materiál</b>	<b>Kvalitativní ohodnocení rušení</b>
Dřevo / Dřevěné obložení	Nízké
Syntetický materiál	Nízké
Sklo	Nízké
Nábytek	Nízké
Člověk	Střední
Cihly	Střední
Zrcadla	Vysoké
Voda	Vysoké
Kov	Velmi vysoké

[29], [30]

## 2.2. Koexistence s Wi-Fi

Mezi nejvýznamnější zdroj rušení patří bezdrátová technologie Wi-Fi. Wi-Fi, stejně jako Bluetooth, používá frekvenční pásmo ISM 2,4 GHz. Některé standardy Wi-Fi IEEE 802.11 využívají kromě frekvence 2,4 GHz také frekvencí 5 GHz. Toto řešení má za následek snížení rušení s technologií Bluetooth.

Obě technologie jsou založeny na struktuře rozprostřeného spektra signálu. Tato rádiová vysílací technika umožňuje rozprostřít vysílací signál (úzkopásmový signál - Narrowband) do širokého pásma vysokých kmitočtů. Původně byla tato technika vyvinuta pro vojenské účely. Principem rozprostřeného spektra je použití modulace pseudonáhodným kódem, jenž je nezávislý na přenášených datech. To umožní rozprostření energie signálu do širšího pásma, než je pásmo původní, které nese informaci. Na straně přijímače se odstraní rozprostření pásma pomocí synchronní repliky pseudonáhodného kódu. Tato technika přináší své benefity. Širokopásmový signál podléhá mnohem menšímu rušení (jak úmyslnému, tak neúmyslnému) oproti úzkopásmovému.

Dvě neznámější techniky rozprostřeného pásma jsou FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum – Rozprostření frekvenčním přeskokováním) a DSSS (Direct Sequence Spread



Spectrum – Rozprostření přímou posloupností). FHSS využívá technologie Bluetooth, kdežto DSSS využívá technologie Wi-Fi.

- **FHSS**

FHSS rozprostře úzkopásmový signál přeskakováním mezi dané frekvence pásma. Bluetooth je přenášen na 1 ze 79 kanálů (každý kanál je široký 1 MHz) v pásmu 2,4 GHz. Ke změně kanálu dochází 1600 krát za sekundu. Vysílač a přijímač dodržují zvolené schéma přeskakování. Díky tomu Bluetooth využije celé pásmo 2,4 GHz.

- **DSSS**

Úzkopásmový signál je rozdělen a následně zkombinován se sekvencí, která se nazývá čipový kód. Čipový kód rozprostře několik kopií originálního signálu napříč širším pásmem. Přijímací stanice dekoduje originální úzkopásmový signál za pomoci stejného čipového kódu, který použila vysílací stanice.

K rušení mezi zařízením Bluetooth a zařízením Wi-Fi, které jsou v blízkosti, dochází zhruba  $\frac{1}{4}$  jejich vysílacího času. Dochází k tomu tehdy, kdy Bluetooth „skočí“ do frekvence, kterou aktivně využívá Wi-Fi. Výpočet vychází z faktu, že v pásmu 2,4 GHz existují pouze tři nepřekrývající se kanály (kanál 1, 6 a 11) pro Wi-Fi, kde každý má šířku 22 MHz. Kanálů pro Bluetooth je 79 o šířce 1 MHz. Bluetooth neustále kanály mění a může se pokusit skočit do kanálu obsazeného Wi-Fi.

$$\frac{22 \text{ MHz široké pásmo Wi-Fi}}{79 \text{ dostupných frekvencí Bluetooth}} = \text{kolize zhruba 28\% času} \quad [31]$$

- **AFH (Adaptive Frequency Hopping)**

Od roku 2003 (pro Bluetooth od verze 1.2) bylo zavedeno k FHSS technika AFH. AFH umožňuje technologii Bluetooth skenovat všech 79 kanálů a sestavit zprávu o tom, který kanál je obsazený a který je volný. Tento report je poslán všem Bluetooth zařízením, se kterými je skenované zařízení spárováno. Ty následně upraví své schéma přeskoků, aby se vyhnuly obsazeným kanálům.

Jelikož skenování kanálů trvá několik vteřin, může po tuto dobu dojít k významnému rušení. Kanály, které byly vyjmuty z Bluetooth komunikace, jsou po 30 sekundách znovu testovány a v případě neobsazenosti jsou použity. Jinými slovy jestliže nedojde k žádnému provozu na Wi-Fi po dobu 30 sekund, jsou kanály obsazeny komunikací Bluetooth. Ale jestliže



dojde k obnovení provozu na Wi-Fi, může to mít za následek rušení. Technika AFH je použita pouze u aktivní Bluetooth komunikace, ale není aplikovaná na dotazy a pokusy o spojení, které mohou způsobovat rušení.

- **TDM (Time Division Multiplexing)**

Metoda TDM je využita u zařízení, která vysílají Bluetooth a zároveň Wi-Fi. Oba čipy jsou navzájem spojeny. Z výstupu jednoho zařízení, které chce vysílat, jde informace na vstup druhému, aby se v tento čas vyhnul vysílání.

TDM může být implementováno přes dva nebo tři drátky. Při spojení dvěma drátky:

- WLAN\_ACTIVE – Výstupní pin Wi-Fi rádiu zašle signál na vstup Bluetooth, že BT rádio nemá vysílat, protože Wi-Fi rádio bude vysílat.
- BT\_ACTIVE – Výstupní pin na Bluetooth rádiu zašle signál Wi-Fi rádiu, že Wi-Fi rádio nemá vysílat, protože Bluetooth rádio bude vysílat.

Při spojení třemi drátky je schéma doplněno o signál BT\_PRIORITY. Bluetooth rádio pošle signál Wi-Fi rádiu, aby přestalo vysílat, protože Bluetooth rádio bude zasílat hlasové pakety SCO, u kterých nesmí docházet ke zpoždění.



Obrázek 5 - TDM se zapojením přes 2 a přes 3 dráty [31]

[31], [32], [33], [34], [35]



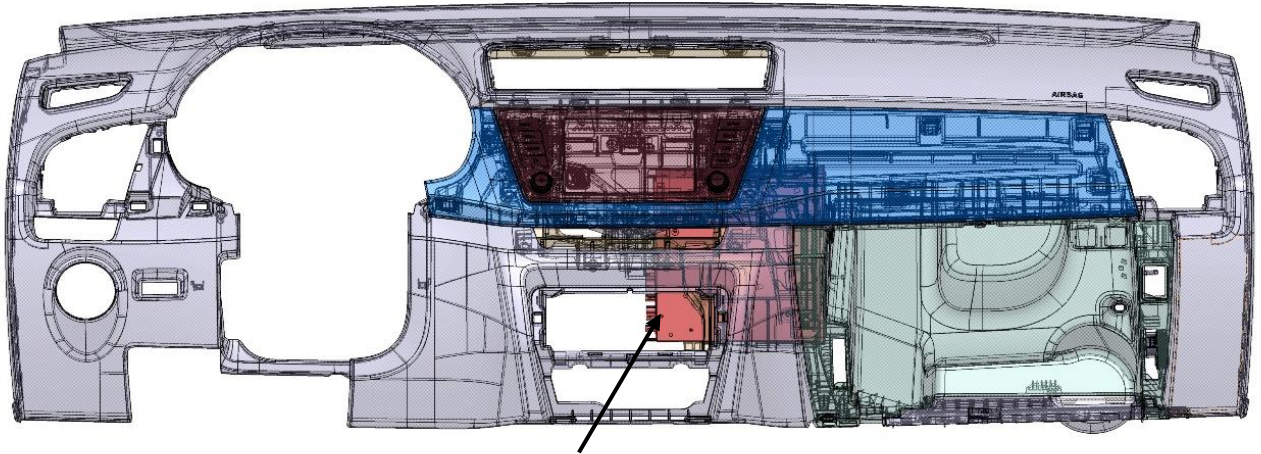
### 3. Poruchy komunikace

Většina poruch či chyb Bluetooth komunikace se odvíjí od rušení signálu, které bylo popsáno v kapitole 2 *Příčiny rušení Bluetooth signálu*. Tyto poruchy jsem rozdělil do následujících kategorií.

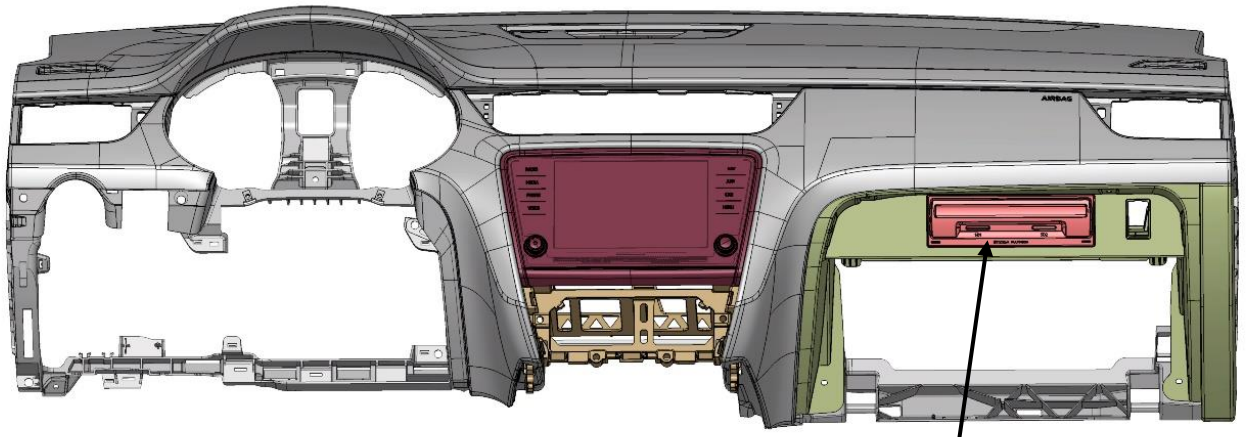
- Umístění
  - Vzdálenost
    - S narůstající vzdáleností mezi dvěma Bluetooth zařízeními se zvyšuje pravděpodobnost chybové komunikace (nedoručení všech paketů, nutnost preposílání paketů). Při limitní vzdálenosti (závisí na výkonové třídě BT zařízení) dojde ke kompletní ztrátě paketů a následnému rozpojení zařízení.
    - V případě využití v automobilu není tato porucha příliš pravděpodobná. Muselo by dojít zároveň k jinému druhu poruchy.
  - Překážky
    - Umístění Bluetooth zařízení velmi ovlivňuje chybovost komunikace. Platí zde úměra, že čím „čistší“ dráha Bluetooth signálu, tím je spolehlivější komunikace (viz kapitola 2.1 *Mechanické překážky*).
    - V případě automobilu může být spojení ovlivněno při nevhodného umístění telefonu v zadní části vozu (zavazadlový prostor). Poté musí signál projít různými materiály a lidskou tkání, jelikož je umístění infotainmentu ve voze (a zároveň Bluetooth čipu) vždy v přední části vozu.
  - Poloha Bluetooth čipu a antény
    - Poloha Bluetooth čipu v infotainmentu vozu se liší podle modelu infotainmentu, ale i podle modelu vozidla.
    - Konkrétně ve vozech Škoda Auto je u základního infotainmentu (označovaného jako Entry) jednotka infotainmentu umístěna za obrazovkou infotainmentu. Bluetooth signál musí projít skrz kovový obal jednotky a zároveň obrazovkou infotainmentu. U vyšší řady infotainmentu (označované jako Standard a High) je jednotka oddělena od obrazovky. Jednotka s BT čipem je tak umístěna v odkládací schránce před spolujezdcem. Bluetooth signál tak musí projít opět kovovým obalem jednotky a dále přes plast víka odkládací schránky.



- Dále je zde rozdíl v závislosti na konkrétním voze. Například u vozidla Škoda Fabia je jednotka infotainmentu (řady Standard) umístěna vertikálně a BT antény směřují mimo vozidlo (viz obrázek 6). Kdežto u vozu Škoda Octavia je stejná jednotka umístěna horizontálně a BT antény směřují do interiéru vozu (viz obrázek 7). To má dopady na polohu Bluetooth čipu a může tak ovlivnit chybovost komunikace.



Obrázek 7 - Zástavba jednotky infotainmentu ve voze Škoda Fabia



Obrázek 6 - Zástavba jednotky infotainmentu ve voze Škoda Octavia





- Interference
  - S WLAN
    - Moderní vozy jsou vybaveny vlastní lokální sítí WLAN. O jejím negativním vlivu na signál Bluetooth pojednává kapitola 2.2 *Koexistence s Wi-Fi*.
    - V případě, že vůz není vybaven touto funkcí, může být WLAN vytvořena například mobilním telefonem.
  - S dalšími Bluetooth zařízeními
    - Aby nedocházelo k tomuto druhu poruchy, je ve vozech (konkrétně značky Škoda Auto) omezen počet aktivních Bluetooth komunikací s infotainmentem vozu. Maximální počet aktivních HFP (Hands-Free Profile – Profil, díky němuž se připojí mobilní telefon k handsfree sadě infotainmentu. Umožňuje vyřizování telefonních hovorů a vzdálené ovládání telefonu) je dva. K tomu lze dále připojit jeden aktivní A2DP (Advanced Audio Distribution Profile – Umožňuje přehrávání a ovládání přehrávání hudby z telefonu skrze infotainment vozu) profil.
    - Omezení na dva HFP a jeden A2DP profil se ale omezí pouze aktivní komunikace mezi konkrétními telefony a infotainmentem vozu, nikoli ale veškerá komunikace, která může probíhat ve vozidle. Dále mohou být kanály obsazeny například Bluetooth komunikací mezi tabletem a bezdrátovými sluchátky.
  - S jinými technologiemi v pásmu ISM
    - Například rádiové vysílačky.
- Chyby koncového zařízení
  - V implementaci
    - Jedná se o chyby v konkrétní implementaci Bluetooth profilů a protokolů.
    - I přes použití stejné verze Bluetooth může dojít k chybám v implementaci jednotlivých výrobců mobilních zařízení.
    - Použitím analyzátoru, například BPA 600 Bluetooth Protocol Analyzer, jsme schopni rozpoznat chyby, které jsou způsobeny mobilním telefonem, pokud se zjistí, že Bluetooth modul infotainmentu pouze správně interpretuje chybný požadavek od mobilního zařízení.
  - Chyba rozpoznání





- Procesor Bluetooth modulu špatně rozpozná příkaz.
- Úroveň stavu akumulátoru
  - Nízký stav baterie v mobilním zařízení nepříznivě ovlivňuje vysílací výkon Bluetooth čipu. To může způsobit vyšší ztrátovost paketů, vedoucí k chybné komunikaci, a zároveň snížení maximální přípustné vzdálenosti mezi oběma Bluetooth zařízeními.



## 4. Třídění poruch

Roztřídit poruchy dle jejich následků lze na bezpečnostně významné a nevýznamné. V případě bezpečnostně významných poruch se jedná ve většině případů o poruchy komunikace Bluetooth Low Energy, nikoli klasického Bluetooth (využívaného pro komunikaci mezi mobilním telefonem a infotainmentem vozu).

- Bezpečnostně nevýznamné poruchy
  - Do kategorie bezpečnostně nevýznamných poruch Bluetooth komunikace spadají poruchy, které nemají žádný vliv na bezpečnost provozu. Pokud tyto poruchy nastanou, má to vliv pouze na snížení uživatelského komfortu.
  - Mezi tyto poruchy bych zařadil veškeré poruchy, které se pojí s běžným užíváním Bluetooth pro propojení mobilního telefonu a infotainmentu. Například přerušování přehrávání hudby, či nenadálé přerušování probíhajícího telefonního hovoru.
  - Samozřejmě i tento druh poruch dokáže odvést pozornost řidiče.
- Bezpečnostně významné poruchy
  - Do této kategorie spadají poruchy Bluetooth komunikace, které mají zásadní vliv na bezpečnost silničního provozu.
  - Nedají se sem zařadit chyby komunikace běžného (klasického) Bluetooth, nýbrž chyby komunikace u Bluetooth Low Energy.
  - Bluetooth Low Energy je u některých dnešních vozů využit například pro monitorování tlaku v pneumatikách. Děje se tak skrze Smart ventily v pneumatikách, které posílají vozu informace (přes Bluetooth Low Energy) o tlaku v pneumatikách. Pokud by tato komunikace byla chybná a vůz by měl příliš nízký tlak v pneumatikách (o kterém by uživatel nevěděl, kvůli chybné komunikaci), mohlo by to v krajních případech vést až k dopravní nehodě.
  - V budoucnu se uvažuje využití Bluetooth Low Energy u tlačítek na volantu, čímž by se snížil počet kabelů vedoucích do volantu. Kdyby se takto řešil například tempomat (zařízení pro udržování nastavené rychlosti vozidla) a došlo by k selhání komunikace, mohlo by to mít vliv na bezpečnost provozu.
  - S Bluetooth Low Energy se do budoucna počítá pro komunikace mezi vozy a mezi vozem a infrastrukturou (tzv. Car2X komunikace). V případě napadení této komunikace, či odesílání špatných informací by mohlo dojít k ohrožení bezpečnosti provozu.



## 5. Měření

Měření má za cíl zjistit, jaký má vliv různé umístění mobilního telefonu ve voze na Bluetooth komunikaci mezi mobilním telefonem a infotainmentem vozu. Dále simulovat rušení BT signálu jinými bezdrátovými technologiemi, či bezdrátovými překážkami. Následně za pomoci vhodného softwaru pozorovat změny v úspěšnosti odesílání neporušených paketů v závislosti na změněných podmínkách. Očekáváním je viditelné zhoršení procenta úspěšně odeslaných paketů při zhoršení podmínek.

Měření probíhalo ve voze Škoda Octavia vybaveném střední úrovni infotainmentu (tzv. Standard). Jednotka infotainmentu, ve které se nachází Bluetooth čip a antény, je umístěna v odkládací schránce před spolujezdcem. Měření bylo nutné udělat s tzv. vývojovou jednotkou (nikoli sériovou), aby mohla být přepnuta do Debug módu. V tomto módu není Bluetooth komunikace šifrovaná. V jiném případě by byla komunikace šifrovaná a pakety, které by byly šifrované a příslušný software by je nedokázal přeložit, by spadaly do chybných paketů. Tím by byly výsledky značně ovlivněné a zavádějící.

K testu jsem použil čtyři mobilní telefony. Některé jsem využil na vytvoření WLAN sítě, jiné pro simulaci další Bluetooth komunikace a poslední pro spojení s infotainmentem vozu.

Seznam použitých mobilních telefonů:

- OnePlus 3 – Vybavený Bluetooth 4.2
- Apple iPhone 6S – Vybavený Bluetooth 4.0
- Asus Zenfone 2 – Vybavený Bluetooth 4.0
- Samsung Galaxy A5 2016 – Vybavený Bluetooth 4.1

Pro „odchytávání“ Bluetooth komunikace jsem použil Bluetooth protokolový analyzátor ComProbe BPA600 Dual Mode Bluetooth Protocol Analyzer od společnosti Frontline. Tento přístroj umožňuje snímat a analyzovat bezdrátovou komunikaci Bluetooth ze vzduchu (tzv. ještě než odeslané pakety dorazí do cíle), to včetně přenosů Bluetooth Low Energy. To vše v reálném čase. Na interpretaci výsledků jsem použil software Frontline ComProbe Protocol Analysis System.





Obrázek 8 - ComProbe BPA600 Dual Mode Bluetooth Protocol Analyzer [39]

Pro vytížení Bluetooth čipů a dostatečný datový tok jsem streamoval hudbu z mobilního telefonu do infotainmentu přes Bluetooth s využitím profilu A2DP.

Jednotlivé případy měření budu označovat slovy Use case. Jedná se o seznam kroků, akcí a předpokladů. Definiuje interakci mezi tzv. rolí (v tomto případě člověk) a systémem. Definice pochází ze softwarového a systémového inženýrství a toto označení se také používá ve vývoji firmy Škoda Auto a.s. Každý druh měření jsem opakoval třikrát. Výsledné procento úspěšně odeslaných paketů je tudíž průměr z těchto měření. Přiložené schéma je to, které dle mého nejlépe reprezentuje daný stav.

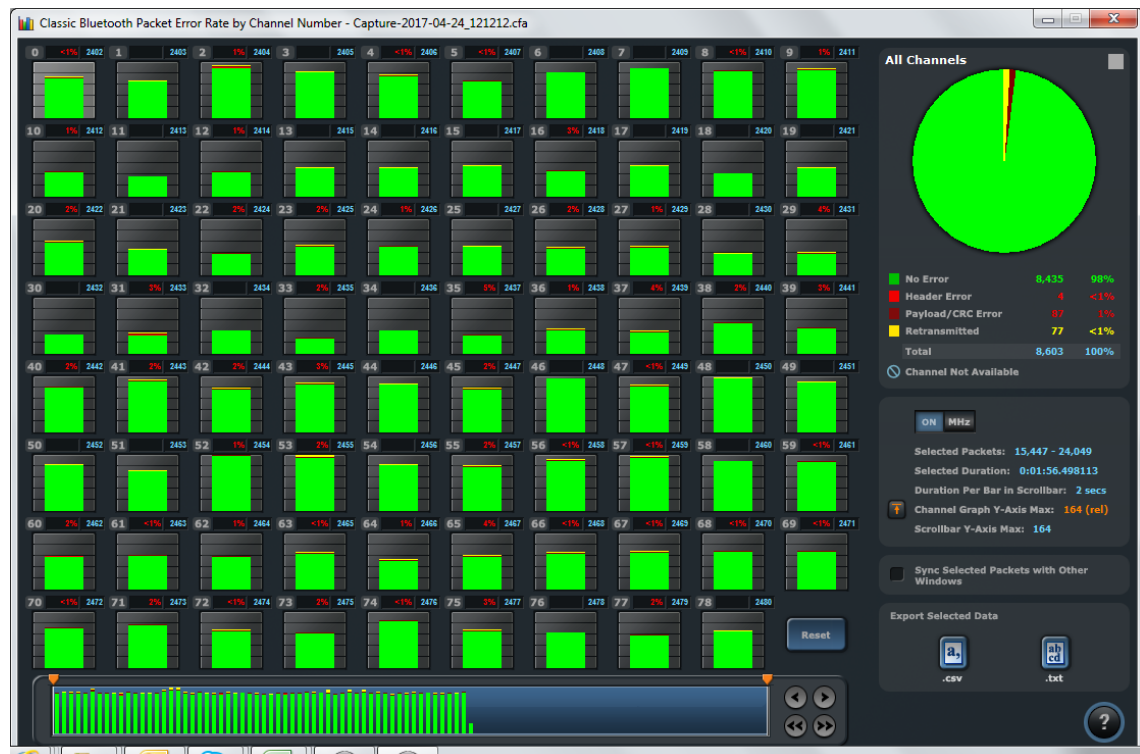
### **Proces párování zařízení**

Jelikož všechna zařízení v tomto měření byla vybavena vyššími verzemi Bluetooth (od Bluetooth 2.1), tak všechna podporovala SSP (Secure Simple Pairing) párování. Tato metoda párování byla zavedena pro zjednodušení a nevyžaduje již od uživatele zadávání PIN kódu (na rozdíl od Legacy Pairing). Jakmile uživatel započne proces párování, je zobrazeno na obou koncových zařízeních šestimístný kód. Uživatel musí zkontrolovat tyto kódy. V případě, že jsou stejné, potvrdí tuto volbu na displeji a zařízení již dokončí párování.



## 5.1. Use case 1

Prvním případem jsem modeloval ideální podmínky pro Bluetooth komunikaci. Ve voze byl pouze jediný telefon, který komunikoval s infotainmentem přes Bluetooth. Komunikace nebyla rušena žádnými dalšími BT zařízeními, ani bezdrátovou sítí Wi-Fi. Mobilní telefon byl umístěn v blízkosti jednotky infotainmentu bez výrazného stínění.



Obrázek 9 - Schéma pro Use case 1

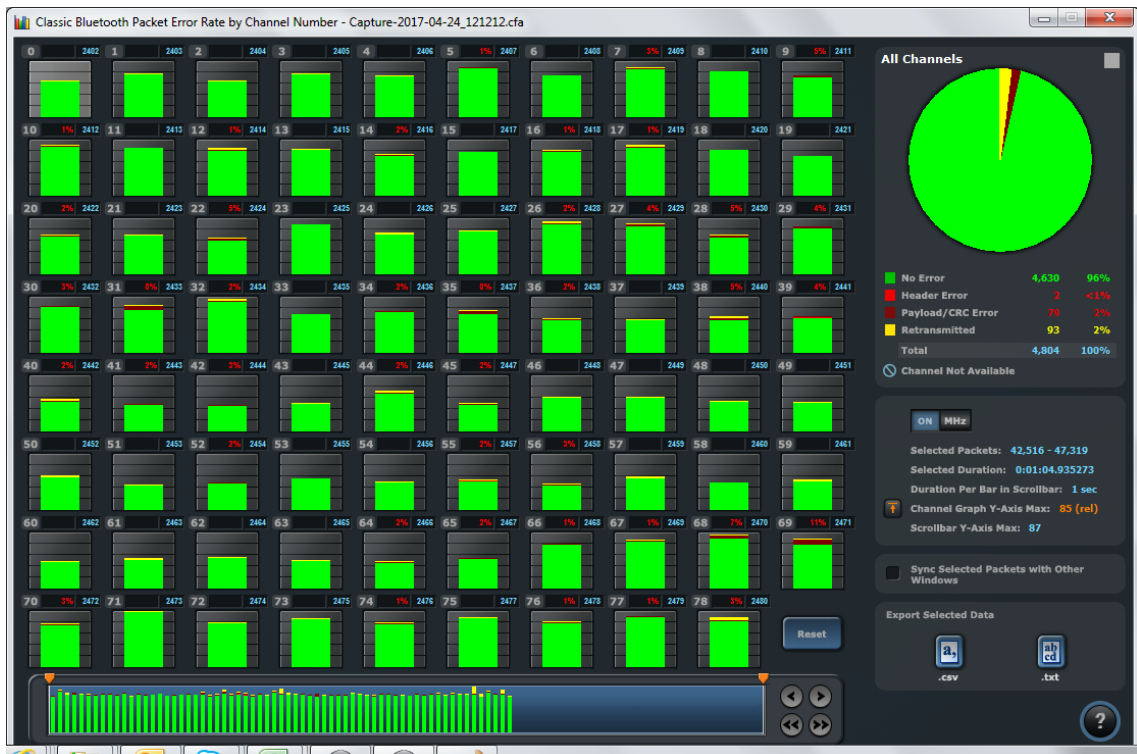
Na přiloženém schématu (vytvořeného softwarem Frontline ComProbe Protocol Analysis System) je vidět, že všech 79 kanálů Bluetooth bylo během měření využito. V každém kanálu je vidět, kolik procent paketů bylo bez chyb (označeno zeleně). V pravém horním rohu schématu je možno vidět celkový graf Bluetooth komunikace. Pouze 1 % procento paketů, které byly odeslány, obsahovalo chyby. Buď se jednalo o chyby v části paketu Payload (obsahuje například přenášený hlas, či jiná uživatelská data), nebo v kontrolním přepočtu CRC (Cyclic Redundancy Check). CRC kód je odesílán spolu s daty a po jejich přijetí je znovu nezávisle vypočítán. Jestliže se vypočítaný CRC kód liší od CRC kódu přijatého, považují se přijatá data za chybná a během přenosu tudíž došlo k chybě. Měření probíhalo zhruba 1 minutu.

- Paketů bez chyb: 98,66 %



## 5.2. Use case 2

Mobilní telefon jsem umístil do zavazadlového prostoru, aby byla simulovaná co možná největší vzdálenost od jednotky infotainmentu. Nebyly zapnuty žádné další Bluetooth zařízení, ani bezdrátová síť Wi-Fi.



Obrázek 10 - Schéma pro Use case 2

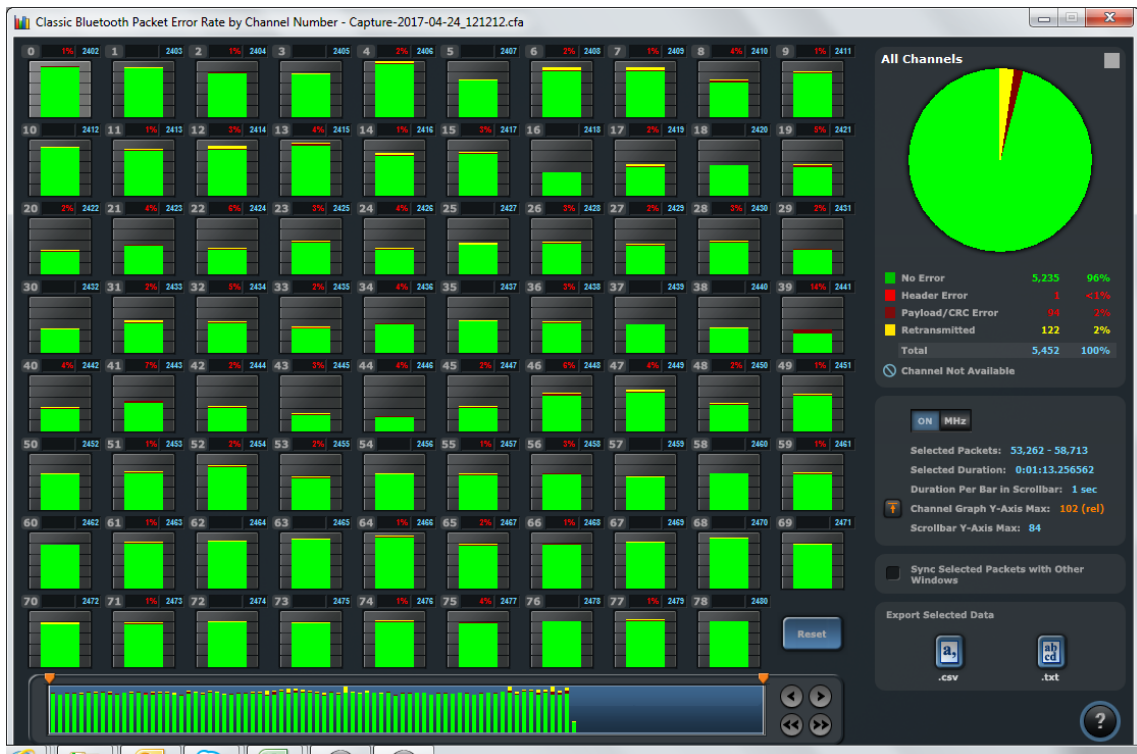
Ze schématu jsem schopen vyčíst, že opět všech 79 kanálů bylo volných a bylo využitých pro přenos přes technologii Bluetooth. Nižší procento paketů bez chyb je způsobeno větší vzdáleností mezi mobilním telefonem a jednotkou infotainmentu, a dále kvůli překážkám, kterým musel signál BT projít (sedačky). Měření probíhalo zhruba 1 minutu.

- Paketů bez chyb: 95,66 %



### 5.3. Use case 3

Mobilní telefon byl opět umístěn v zavazadlovém prostoru, ale pro simulaci ještě většího stínění byl vložen do kovového kufříku. Komunikace nebyla rušena žádnými dalšími Bluetooth zařízeními, ani sítí Wi-Fi.



Obrázek 11 - Schéma pro Use case 3

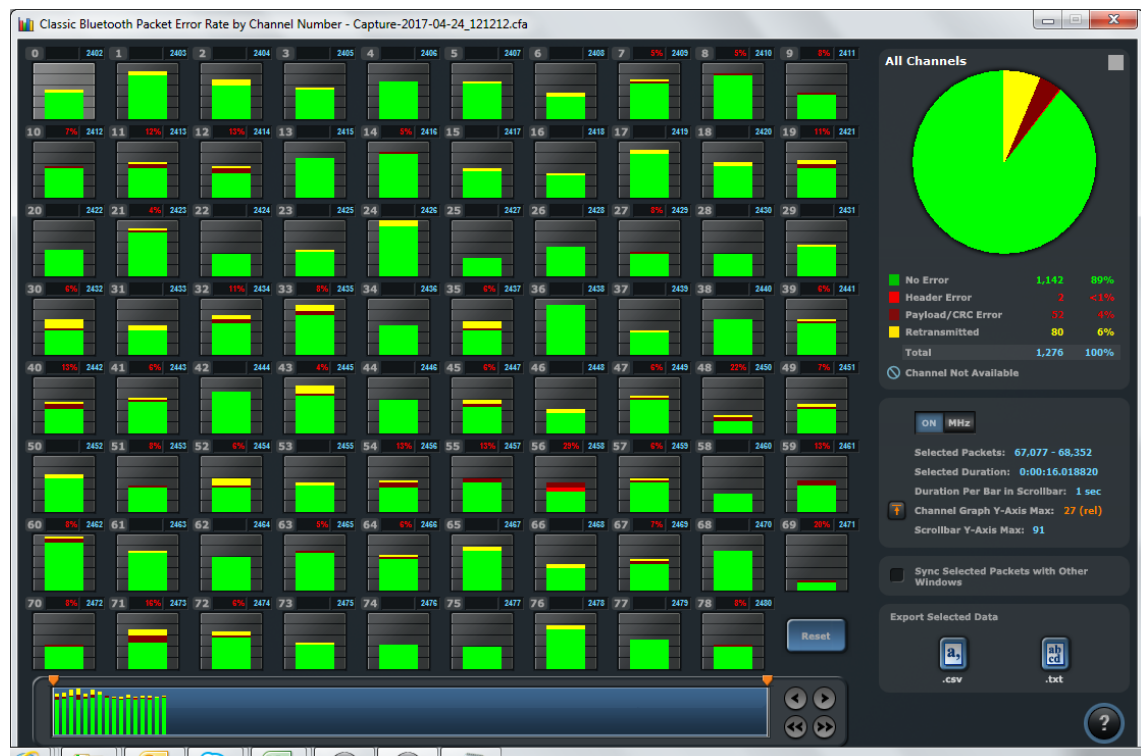
Na přiloženém schématu je vidět, že bylo opět všech 79 kanálů použito pro komunikaci Bluetooth. Zhoršení podmínek, oproti *Use case 2*, přidáním kovového kufříku mělo za následek snížení počtu paketů bez chyb. Způsobeno je to tím, že kov se řadí mezi překážky, které způsobují vysoké rušení signálu (viz kapitola 2.1 *Mechanické překážky*). Důvodem, proč není zhoršení (oproti *Use case 2*) větší, je slabá tloušťka kovového materiálu, ze kterého je vyroben kufřík. Měření probíhalo zhruba 1 minutu.

- Paketů bez chyb: 95,33 %



## 5.4. Use case 4

Mobilní telefon byl umístěn v zadní kapse kalhot na pokusné osobě. Osoba seděla na zadních sedačkách vozu. Tím jsem simuloval stínění signálu lidským tělem. Předpokládal jsem, že bude opět nízké procento odeslaných paketů bez chyb. Komunikace nebyla dále rušena jinou Bluetooth komunikací, ani sítí WLAN.



Obrázek 12 - Schéma pro Use case 4

Předpoklad se splnil, opět bylo nižší procento odeslaných paketů bez chyb. Toto nižší procento bylo zjevné, protože docházelo k chvilkovému výpadku přehrávání hudby. Z toho lze udělat závěr, že v tomto konkrétním případě je tělo pro signál více rušivé než kovový kufřík. Na schématu je vidět využití všech 79 kanálů technologií Bluetooth. Měření probíhalo zhruba 1 minutu.

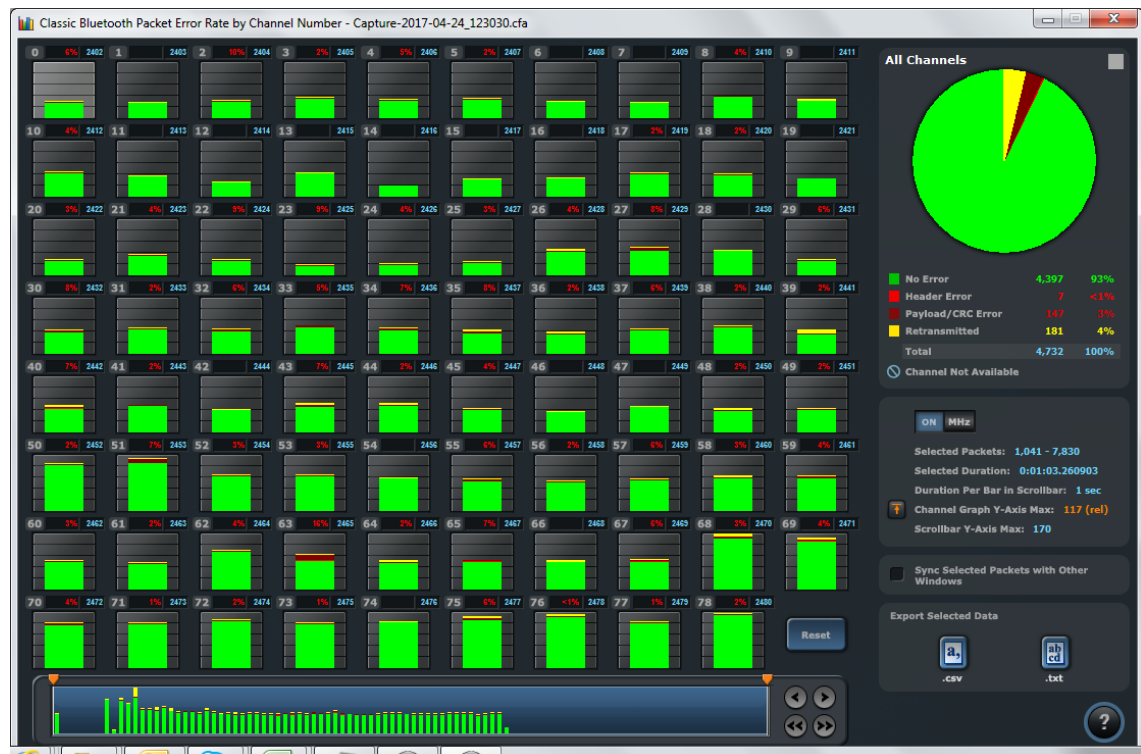
- Paketů bez chyb: 88,33 %





## 5.5. Use case 5

Mobilní telefon byl umístěn v přední části vozu. V tomto případě jsem simuloval větší počet Bluetooth komunikace. První mobilní telefon (ME – Mobile Equipment) byl spárován s infotainmentem vozu přes profily HFP a A2DP. ME2 byl spárován s infotainmentem přes HFP profil. ME3 byl spárován s ME4 a odesílal mu 100 MB soubor přes Bluetooth.



Obrázek 13 - Schéma pro Use case 5

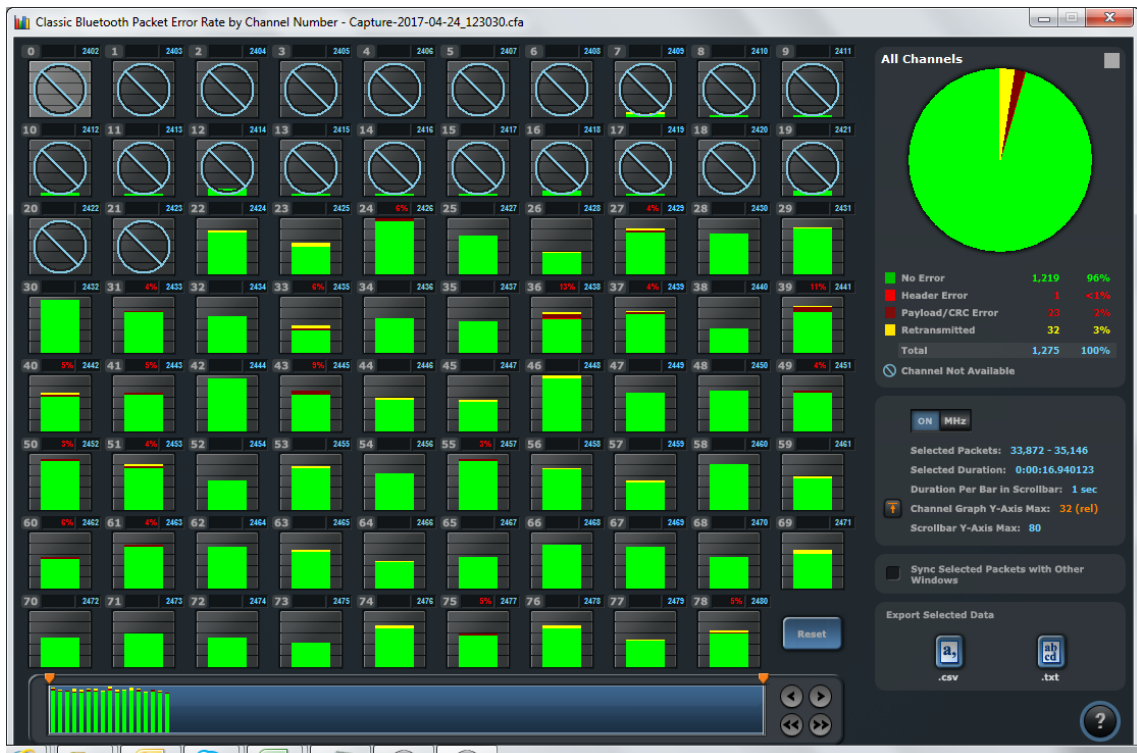
Oproti *Use case 1* došlo ke snížení procenta odeslaných paketů bez chyb. Všechny 79 kanálů bylo využito technologií Bluetooth (pro komunikaci mezi ME1 a infotainmentem vozu). V osobním voze se mi nepodařilo navodit výrazné rušení od jiných Bluetooth zařízení, proto dle mého názoru nepředstavují další BT zařízení ve voze výrazný zdroj rušení. Měření probíhalo zhruba 1 minutu.

- Paketů bez chyb: 93 %



## 5.6. Use case 6

Mobilní telefon spárovaný s infotainmentem byl umístěn v přední části vozu. Tímto Use casem jsem simuloval rušení od bezdrátové technologie Wi-Fi. Proto na ME2 byl zapnut Hotspot, který vytvořil WLAN na frekvenci 2,4 GHz. K této síti se připojil ME3 a začal stahovat data z internetu. ME4 byl také připojen k této síti a aktivně stahoval data z internetu. Předpokladem je obsazenost některých kanálů technologií Wi-Fi.



Obrázek 14 - Schéma pro Use case 6

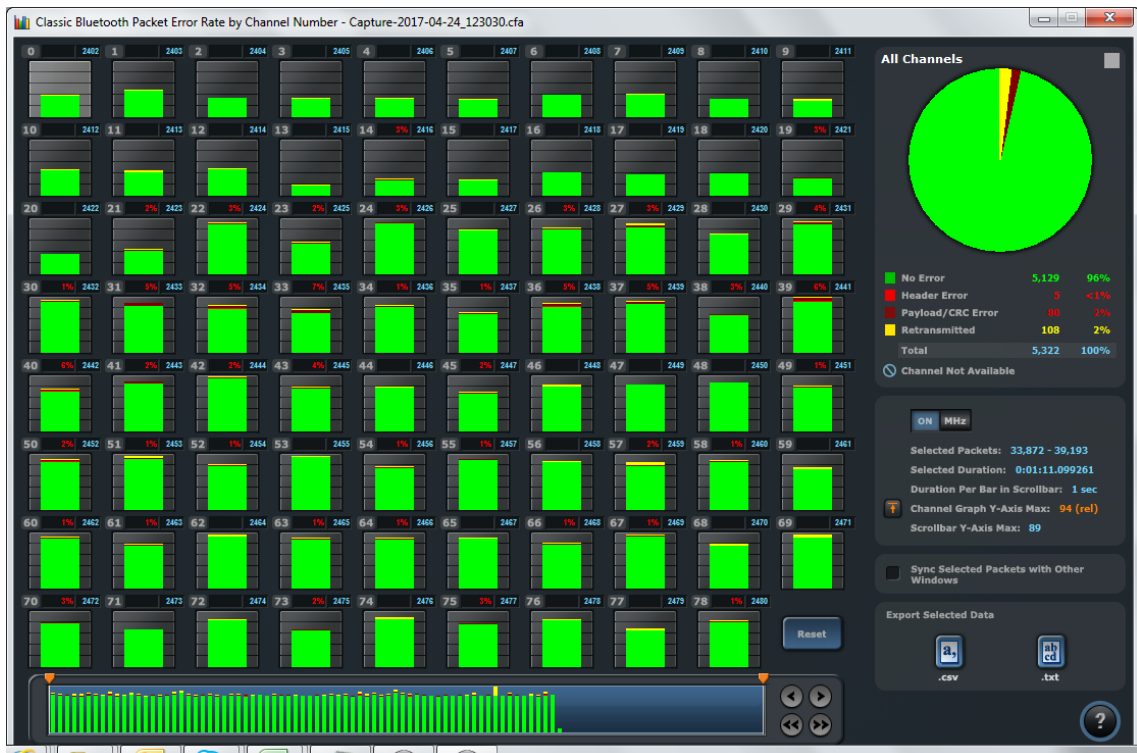
Předpoklad se splnil a na schématu je vidět, že první třetina kanálů je obsazena (v tomto případě technologií Wi-Fi). Jelikož je Bluetooth vybaven technologií AFH, tak nedochází k vysílání na již obsazených kanálech. Měření probíhalo zhruba 1 minutu.

- Paketů bez chyb: 95,66 %



## 5.7. Use case 7

Mobilní telefon spárovaný s infotainmentem byl umístěn v přední části vozu. Tento Use case plynule navazuje na *Use case 6*. V tomto případě byla WLAN vypnuta a dále probíhá jen Bluetooth komunikace mezi infotainmentem a jedním mobilním telefonem. Předpoklad je, že kanály, které byly z komunikace vyřazeny (v *Use case 6*), budou opět navraceny do Bluetooth komunikace.



Obrázek 15 - Schéma pro Use case 7

Předpoklad se splnil a Bluetooth opět začal využívat kanály, které byly předtím z komunikace vyjmuty. Měření probíhalo zhruba 1 minutu.

- Paketů bez chyb: 95,66 %



## 5.8. Závěr z měření

Z přiložených výsledků měření je vidět, že ve voze je nejvýznamnějším materiálem, způsobujícím rušení Bluetooth komunikace, lidské tělo (viz *Use case 4*). Ani kovový kufřík, který měl dle teorii způsobovat vyšší rušení pro Bluetooth signál, nezhoršil o tolik BT komunikaci, aby docházelo ke slyšitelným výpadkům ve streamování hudby (viz *Use case 3*). Způsobené je to zřejmě nedostatečnou tloušťkou kovového materiálu, ze kterého je kufřík vyroben.

Ani při pokusech rušit Bluetooth komunikaci větším vytížením Bluetooth čipu jednotky a simulací většího počtu BT komunikace na palubě vozu nedocházelo k významnému rušení BT signálu (viz *Use case 5*).

Jelikož jsou některé dnešní vozy vybaveny možností vytvořit uvnitř vozu WLAN, zkoumal jsem případný dopad této technologie na Bluetooth komunikaci. Ale ani při tomto pokusu nedocházelo k významnému rušení BT signálu (viz *Use case 6 a 7*).

Na přiložené tabulce je možno vidět výsledky jednotlivých měření.

Tabulka 3 - Souhrnná tabulka výsledků měření

Use case	1. měření	2. měření	3. měření	Průměr
1	98 %	99 %	99 %	98,66 %
2	95 %	96 %	96 %	95,66 %
3	95 %	95 %	96 %	95,33 %
4	89 %	88 %	88 %	88,33 %
5	94 %	92 %	93 %	92 %
6	96 %	95 %	96 %	95,66 %
7	96 %	96 %	95 %	95,66 %



## 6. Semikvantitativní hodnocení rizika

Pro ohodnocení míry rizika, v tomto případě rizika rušení Bluetooth signálu průchodem různými materiály, jsem si vybral semikvantitativní spolehlivostní analýzu pomocí matice rizik. Podstata této metody spočívá v ohodnocení pravděpodobnosti výskytu daného rizika a míry následků, které toto riziko způsobuje. Výsledkem této metody je číselné vyjádření významnosti rizika uvedené v matici rizik.

### 6.1. Vymezení zkoumaného systému

Zkoumaným systémem je jednotka infotainmentu vozu a mobilní telefon umístěný uvnitř vozu. Mezi těmito zařízeními probíhá bezdrátová komunikace přes technologii Bluetooth. Jelikož se jedná o elektromagnetické vlny, může docházet k rušení po průchodu různými materiály (o různých kvalitách a fyzikálních vlastnostech, jako je například tloušťka či hustota), které se vyskytují uvnitř vozidla.

### 6.2. Vyhledání (identifikace) nebezpečí

Pro identifikace nebezpečí (pro Bluetooth signál) vycházím z tabulky uvedené v kapitole 2.1 *Mechanické překážky*. Mezi materiály způsobující rušení Bluetooth signálu, a které se mohou reálně vyskytovat ve vozidle, zařazuji následující materiály:

- Dřevo / Dřevěné obložení
- Syntetický materiál
- Sklo
- Nábytek
- Člověk
- Zrcadlo
- Voda
- Kov

### 6.3. Stanovení závažnosti rušení

Pro vytvoření hodnotící stupnice byla posouzena závažnost možného rušení po průchodu daným materiálem. U ohodnocení rušení způsobené lidským tělem vycházím z měření v kapitole



5. Z toho důvodu má vyšší ohodnocení než kov. Hodnotící stupnici jsem zvolil 1-8, přičemž 8 je velmi vysoká míra rušení. Stupnici volím nelineární, kde ohodnocení každého stupně je dvojnásobkem ohodnocení předchozího stupně.

Tabulka 4 - Stupnice pro závažnost rušení

Hodnota	Slovní ohodnocení míry rušení
1	Nízká
2	Střední
4	Vysoká
8	Velmi vysoká

Tabulka 5 - Ohodnocení jednotlivých materiálů dle míry rušení

Materiál	Míra rušení
Dřevo	1 – Nízká
Syntetický materiál	1 – Nízká
Sklo	1 – Nízká
Nábytek	1 – Nízká
Člověk	8 – Velmi vysoká
Zrcadlo	4 - Vysoká
Voda	4 – Vysoká
Kov	4 – Vysoká

## 6.4. Stanovení pravděpodobnosti výskytu

Pro vytvoření hodnotící stupnice bylo posouzeno, s jakou pravděpodobností se daný materiál vyskytuje v dráze Bluetooth signálu. Hodnotící stupnici jsem zvolil 1-6, kde 6 je největší pravděpodobnost výskytu daného materiálu uvnitř vozu a případného průchodu BT signálu tímto materiálem. Stupnice je v tomto případě lineární.



Tabulka 6 - Stupnice pro pravděpodobnost výskytu daného materiálu

<b>Hodnotící stupnice</b>
1 – Nejnižší pravděpodobnost výskytu
2 – Nepravděpodobný výskyt
3 – Málo pravděpodobný výskyt
4 – Pravděpodobný výskyt
5 – Velmi pravděpodobný výskyt
6 – Nejvyšší pravděpodobnost výskytu

Tabulka 7 - Ohodnocení daného materiálu dle pravděpodobnosti výskytu

<b>Materiál</b>	<b>Pravděpodobnost výskytu</b>	<b>Konkrétní výskyt</b>
Dřevo	4	Dřevěné obložení na palubní desce vozu.
Syntetický materiál	6	Materiál, ze kterého jsou vyrobeny sedačky.
Sklo	3	Okna vozu.
Nábytek	5	Sedačky vozu.
Člověk	5	Pasažér sedící ve vozidle.
Zrcadlo	2	Tzv. make-up zrcátka.
Voda	3	Možné hadičky přivádějící vodu do zadních ostříkovačů vozu.
Kov	6	Převážná část vozu je vyrobena z kovu.



## 6.5. Matice rizik

Výpočet míry rizika R, uvedeného v matici, je podle následujícího vztahu:

$$R = Z \times P \quad (6.5)$$

kde Z je závažnost rušení a P je pravděpodobnost výskytu. Stupeň kritičnosti nežádoucí události jsem rozdělil dle výsledné hodnoty rizika R následovně:

- Nejvýznamnější rizika: 20-R-48
- Středně významná rizika: 10-R-19
- Nejméně významná rizika: 0-R-9

Tabulka 8 - Matice rizik

Pravděpodobnost výskytu	Hodnota závažnost rušení			
	1	2	4	8
6	6	12	24	48
5	5	10	20	40
4	4	8	16	32
3	3	6	12	24
2	2	4	8	16
1	1	2	4	8





V následující tabulce je vidět, jak konkrétní materiál přispívá k celkovému riziku ztráty Bluetooth komunikace. Výsledné riziko R je kombinací hodnoty závažnosti rušení a pravděpodobnosti výskytu daného materiálu ve voze. Nejvyššího rizika dosahuje uvnitř vozu člověk.

Tabulka 9 - Ohodnocení daného materiálu dle míry rizika

<b>Materiál</b>	<b>Hodnota závažnosti rušení</b>	<b>Pravděpodobnost výskytu</b>	<b>Výsledné riziko R</b>
Dřevo	1	4	4
Syntetický materiál	1	6	6
Sklo	1	3	3
Nábytek	1	5	5
Člověk	8	5	40
Zrcadlo	4	2	8
Voda	4	3	12
Kov	4	6	24



## 7. Možná zlepšení Bluetooth komunikace

Dle přiloženého měření jsem zjistil, že ve voze je největším rušitelem Bluetooth signálu lidské tělo, i když dle teorie měl být největším rušitelem kov. Jenže tloušťka kovu, kterým BT signál musí uvnitř vozu projít, není natolik velká, aby způsobovala významné rušení signálu. Proto pro eliminaci vlivu lidského těla na BT komunikaci bych motivoval zákazníky speciálními přihrádkami ve voze, do kterých by si mohly odložit mobilní telefon. Pro zvýšení motivace zákazníka, aby si do této přihrádky odložil mobilní telefon, by byla přihrádka vybavena například bezdrátovým indukčním nabíjením a byla by k této přihrádce přivedena Bluetooth anténa od jednotky infotainmentu. Toto řešení by zajišťovalo minimální rušení Bluetooth signálu.

V kapitole 3. *Poruchy komunikace* jsem se zabýval vlivem bezdrátové technologie Wi-Fi na technologii Bluetooth. V případě, že by se pro vytvoření WLAN uvnitř vozu využila frekvence 5 GHz (namísto 2,4 GHz), došlo by k eliminaci vlivu na Bluetooth vysílající na frekvenci 2,4 GHz (uvolnili by se všechny kanály pro Bluetooth komunikaci). Nevýhodou tohoto řešení je vyšší cena síťových prvků pro 5 GHz pásmo a nižší podpora konečných zařízení (mobilních telefonů).

Pro snížení vlivu rušení po průchodu materiály by šlo zvýšit Bluetooth třídu (na straně jednotky infotainmentu) ze stávající třídy 2 na třídu 1, která má vyšší vysílací výkon. To by ale znamenalo doimplementovat řízení výkonové úrovně, a i toto řešení by přineslo zvýšení ceny Bluetooth jednotky.



## Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo analyzovat spolehlivost Bluetooth komunikace mezi mobilním telefonem a infotainmentem vozu. Dále najít slabá místa procesu Bluetooth komunikace uvnitř vozidla a diskutovat možná zlepšení tohoto procesu.

V bakalářské práci jsem nejprve popsal v kapitole 1. *Bezdrátová technologie Bluetooth* princip fungování této bezdrátové technologie. Vysvětlení principu fungování Bluetooth technologie je stěžejní pro následné kapitoly, ve kterých jsem se zabýval poruchovostí Bluetooth signálu (viz kapitoly 2. *Příčiny rušení Bluetooth signálu* a 3. *Poruchy komunikace*). Dalším úkolem bylo pokusit se roztrždit poruchy komunikace na bezpečné/nebezpečné a zjevné/skryté. Toto roztržení se ukázalo pro komunikaci výhradně mezi mobilním telefonem a infotainmentem vozu jako nevhodné, proto se touto problematikou zabývám krátce. Takové rozdělení by bylo možné například pro komunikaci přes Bluetooth Low Energy, ale tím se tato práce nezabývá.

V kapitole 5. *Měření* přišla na řadu praktická analýza spolehlivosti Bluetooth komunikace mezi mobilním telefonem a infotainmentem vozu. Měření mělo za cíl potvrdit, či vyvrátit teorii o rušení Bluetooth signálu. Výsledkem bylo zjištění, že v osobním vozidle je velice těžké způsobit významné rušení, které by zásadně ovlivnilo spolehlivost Bluetooth komunikace. Největší překážkou pro Bluetooth signál se ukázalo lidské tělo, které způsobovalo slyšitelné výpadky Bluetooth komunikace během streamování hudby z mobilního telefonu do infotainmentu vozidla. Měřicí techniku spolu s potřebným softwarem poskytla společnost Škoda Auto a.s.

V šesté kapitole jsem vytvořil semikvantitativní analýzu o rušení způsobené průchodem různými materiály. Bral jsem zde v úvahu pouze materiály, které se mohou reálně vyskytnout ve vozidle. U každého materiálu jsem ohodnotil, k jak závažnému rušení dochází po průchodu Bluetooth signálu tímto materiálem, a s jakou pravděpodobností se tento materiál nachází uvnitř vozidla. Výsledkem této analýzy je matice rizik, kde lidské tělo dosahuje nejvyšší míry rizika pro chybovost Bluetooth komunikace.

V poslední kapitole 7. *Možná zlepšení Bluetooth komunikace* jsem uvedl tři možná řešení, jak zvýšit spolehlivost Bluetooth komunikace mezi mobilním telefonem a infotainmentem vozidla. Jelikož je již nyní Bluetooth komunikace velmi spolehlivá, je nejlepším řešením přimět uživatele vyjmout mobilní telefon z kapsy na svém oblečení a umístit jej na místo, v jehož okolí by nedocházelo k významnému rušení Bluetooth komunikace způsobené průchodem signálu lidským tělem.



## Seznam použité literatury

- [1] SVOBODA, Jiří: *Principy a perspektivy technologie Bluetooth*, Sdělovací technika 08/2004. Dostupné z: [http://www.jirkasvoboda.com/publikace/publikace\\_1.pdf](http://www.jirkasvoboda.com/publikace/publikace_1.pdf)
- [2] ČÁNSKÝ, Jiří: *Mobilní komunikace Bluetooth* [online]. Praha, 2006. Semestrální práce. České vysoké učení technické v Praze. Fakulta elektrotechnická. Dostupné z: [http://radio.feld.cvut.cz/personal/mikulak/MK/MK06\\_semestralky/Bluetooth\\_CanskyJ.pdf](http://radio.feld.cvut.cz/personal/mikulak/MK/MK06_semestralky/Bluetooth_CanskyJ.pdf)
- [3] Bluetooth. *Wikipedie* [online]. 22. listopad 2016. [Citace: 25. listopad 2016]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Bluetooth#Bluetooth\\_4.0\\_.2B\\_LE](https://en.wikipedia.org/wiki/Bluetooth#Bluetooth_4.0_.2B_LE)
- [4] NOVÁK, Tomáš: *Bezpečnost technologie Bluetooth a její využití v PKB*. Zlín, 2011. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta aplikované informatiky.
- [5] Ericsson. *Wikipedie* [online]. 6. březen 2017. [Citace: 13. březen 2017]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Ericsson>
- [6] Our History. *Bluetooth SIG* [online]. 2017. [Citace: 13. březen 2017]. Dostupné z: <https://www.bluetooth.com/about-us/our-history>
- [7] A short history of Bluetooth. *Nordic Semiconductor* [online]. 14. červenec 2014. [Citace: 13. březen 2017]. Dostupné z: <https://www.nordicsemi.com/eng/News/ULP-Wireless-Update/A-short-history-of-Bluetooth>
- [8] Berkana. *Wikipedie* [online]. 10. březen 2013. [Citace: 13. březen 2017]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Berkana>
- [9] Hagalaz. *Wikipedie* [online]. 10. březen 2013. [Citace: 13. březen 2017]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Hagalaz>
- [10] C. S. R. PRABHU, A. PRATHAP REDDI. *Bluetooth Technology: And Its Applications with JAVA and J2ME*. PHI Learning Pvt. Ltd., 2004. ISBN 8120324439.
- [11] Bluetooth 1.0 and 1.0B. *Blue-tooth* [online]. [Citace: 16. březen 2017]. Dostupné z: [http://blue-tooth.50webs.com/bluetooth1\\_and\\_1.0b.html](http://blue-tooth.50webs.com/bluetooth1_and_1.0b.html)
- [12] The Difference between Bluetooth 1.1 1.2 2.0 2.1 Module. *Ebay Inc.* [online]. 21. září 2008. [Citace: 16. březen 2017]. Dostupné z: <http://www.ebay.com/gds/The-Difference-between-Bluetooth-1-1-1-2-2-0-2-1-Module-/1000000008782539/g.html>
- [13] Bluetooth 3.0. *Blue-tooth* [online]. [Citace: 16. březen 2017]. Dostupné z: [http://blue-tooth.50webs.com/bluetooth\\_3.html](http://blue-tooth.50webs.com/bluetooth_3.html)
- [14] The Difference between Bluetooth 3.0, 4.0, 4.1, 4.2, & 5.0 Explained. *MajorHiFi* [online]. 4. duben 2016. [Citace: 17. březen 2017]. Dostupné z: <http://majorhifi.com/the-difference-between-bluetooth-3-0-4-0-4-1-4-2-explained/>



- [15] Bluetooth 4.0 překvapí dosahem 100 metrů a nízkou spotřebou energie. *iDnes* [online]. Praha: Mafra, 21. prosinec 2009. [Citace: 17. březen 2017]. Dostupné z: [http://technet.idnes.cz/bluetooth-4-0-prekvapi-dosahem-100-metru-a-nizkou-spotrebou-energie-ph2-/hardware.aspx?c=A091221\\_083344\\_hardware\\_NYV](http://technet.idnes.cz/bluetooth-4-0-prekvapi-dosahem-100-metru-a-nizkou-spotrebou-energie-ph2-/hardware.aspx?c=A091221_083344_hardware_NYV)
- [16] Bluetooth 4.0 neznamená konec předchozí verze. *Lupa.cz* [online]. 13. srpen 2010. [Citace: 17. březen 2017]. Dostupné z: <http://www.lupa.cz/clanky/bluetooth-4-0-neznamena-konec-predchozi-verze/>
- [17] PRAVDA, Ivan. *Bluetooth* [online]. Praha. [Citace: 18. březen 2017]. Dostupné z: [http://data.cedupoint.cz/oppa\\_e-learning/2\\_KME/080.pdf](http://data.cedupoint.cz/oppa_e-learning/2_KME/080.pdf)
- [18] Základy technologie Bluetooth: původ a rozsah funkcí. *PCWorld* [online]. 10. únor 2009. [Citace: 19. březen 2017]. Dostupné z: <http://pcworld.cz/hardware/Zaklady-technologie-Bluetooth-puvod-a-rozsah-funkci-6635>
- [19] Základy technologie Bluetooth: komunikace a zabezpečení. *PCWorld* [online] 18. únor 2009. [Citace 19. březen 2017]. Dostupné z: <http://pcworld.cz/hardware/Zaklady-technologie-Bluetooth-komunikace-a-zabezpeceni-6636>
- [20] Bezdrátové komunikace v automatizační praxi II: standard Bluetooth. *AUTOMA časopis pro automatizační techniku* [online]. Červenec 2003. [Citace: 19. březen 2017]. Dostupné z: [http://automa.cz/cz/casopis-clanky/bezdratove-komunikace-vautomatizacni-praxi-ii-standard-bluetooth-2003\\_07\\_28874\\_2251/](http://automa.cz/cz/casopis-clanky/bezdratove-komunikace-vautomatizacni-praxi-ii-standard-bluetooth-2003_07_28874_2251/)
- [21] Service Discovery Protocol. *Universität Rocstock: Fakultät für Informatik und Elektrotechnik* [online]. [Citace 25. březen 2017]. Dostupné z: [http://www.amd.e-technik.uni-rostock.de/ma/gol/lectures/wirlec/bluetooth\\_info/sdp.html](http://www.amd.e-technik.uni-rostock.de/ma/gol/lectures/wirlec/bluetooth_info/sdp.html)
- [22] TKÁČ, Josef. *Jak na Bluetooth v rekordním čase*. Praha: Grada, 2005. V rekordním čase. ISBN 80-247-1081-1.
- [23] KUBIČKA, Matěj. *Použití Bluetooth v robotice (I. díl)* [online]. [Citace: 25. březen 2017]. Dostupné z: <http://www.matejk.cz/zdroje/Dil-I-Bluetooth-a-robotika.pdf>
- [24] Introduction to AT commands and its uses. CODE PROJECT [online]. 4. červen 2010. [Citace: 25. březen 2017]. Dostupné z: <https://www.codeproject.com/Articles/85636/Introduction-to-AT-commands-and-its-uses>
- [25] Bluetooth Profiles. *Universität Rocstock: Fakultät für Informatik und Elektrotechnik* [online]. [Citace 26. březen 2017]. Dostupné z: [http://www.amd.e-technik.uni-rostock.de/ma/gol/lectures/wirlec/bluetooth\\_info/profiles.html](http://www.amd.e-technik.uni-rostock.de/ma/gol/lectures/wirlec/bluetooth_info/profiles.html)
- [26] Adopted Specifications. *Bluetooth SIG* [online]. [Citace: 26. březen 2017]. Dostupné z: <https://www.bluetooth.com/specifications/adopted-specifications>



- [27] SVOBODA: Jiří. *Bluetooth – vrstvy a protokoly*, Sdělovací technika 2004. Dostupné z: [http://www.jirkasvoboda.com/publikace/publikace\\_3.pdf](http://www.jirkasvoboda.com/publikace/publikace_3.pdf)
- [28] The Bluetooth Wireless Technology – An Overview. *Procejt OSCAR* [online]. [Citace: 26. březen 2017]. Dostupné z: <http://oscar.iitb.ac.in/onsiteDocumentsDirectory/Bluetooth/Bluetooth/Help/Technology%20Overview.htm>
- [29] Možné zdroje rušení Wi-Fi a Bluetooth. *Apple Inc.* [online]. 18.4.2016 [Citace: 1. duben 2017]. Dostupné z: <https://support.apple.com/cs-cz/HT201542>
- [30] Jak zjistit a omezit rušení signálu bezdrátové sítě. Dell Česká republika [online]. 23.11.2015 [Citace 1. duben 2017]. Dostupné z: <http://www.dell.com/support/article/cz/cs/czbsdt1/SLN285294/cs>
- [31] Bluetooth and Wi-Fi Coexistence. *Laird TECHNOLOGIES* [online]. 11.2011 [Citace: 8. duben 2017]. Dostupné z: <https://www.rs-online.com/designspark/rel-assets/ds-assets/uploads/knowledge-items/application-notes-for-the-internet-of-things/Bluetooth-wifi-coexistence%20Laird.pdf>
- [32] Wi-Fi: Jak si zajistit velké pokrytí, rychlost a silný signál. *Živě* [online]. 5.2.2014 [Citace: 8. duben 2017]. Dostupné z: <http://www.zive.cz/clanky/wi-fi-jak-si-zajistit-velke-pokryti-a-silny-signal/sc-3-a-172347/default.aspx>
- [33] Bluetooth versus Bluetooth. *Spezial electronic* [online]. [Citace: 8. duben 2017]. Dostupné z: [http://www.spezial.cz/pdf/bluetooth\\_vs\\_bluetooth.pdf](http://www.spezial.cz/pdf/bluetooth_vs_bluetooth.pdf)
- [34] Rozprostřené spektrum. *Wikipedie* [online]. 29.11.2015 [Citace: 8. duben 2017]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Rozprost%C5%99en%C3%A9\\_spektrum](https://cs.wikipedia.org/wiki/Rozprost%C5%99en%C3%A9_spektrum)
- [35] Tips for a peaceful Bluetooth/Wi-Fi coexistence. *EE Times-Asia* [online]. 16.7.2007 [Citace: 8. duben 2017]. Dostupné z: [http://archive.eetasia.com/www.eetasia.com/ART\\_8800472105\\_499488\\_NT\\_b6c16722.HTM](http://archive.eetasia.com/www.eetasia.com/ART_8800472105_499488_NT_b6c16722.HTM)
- [35] Bluetooth. *Mobilmania* [online]. [Citace: 30. duben 2017]. Dostupné z: <http://www.mobilmania.cz/uploadedfiles/507657404.jpg>
- [36] Bluetooth Basics. *Sparkfun* [online]. [Citace: 30. duben 2017]. Dostupné z: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/bluetooth-basics/how-bluetooth-works>
- [37] Personální bezdrátové sítě (WPAN). *Techpedia FEL ČVUT* [online]. [Citace: 30. duben 2017]. Dostupné z: <http://techpedia.fel.cvut.cz/html/frame.php?oid=50&pid=1004&finf=>
- [38] Hierarchie vrstev. *Katedra informatiky a výpočetní techniky ZČU* [online]. [Citace: 30. duben 2017]. Dostupné z: <http://www.kiv.zcu.cz/~simekm/vyuka/pd/zapocty-2004/bluetooth-ticha/vrstvy.htm>



[39] ComProbe BPA 600 Dual Mode Bluetooth Protocol Analyzer. *Teledyne LeCroy* [online].  
[Citace: 30. duben 2017]. Dostupné z: <http://www.fte.com/products/BPA600.aspx>



## Seznam příloh

- Příloha A – Obsah přiloženého CD





## **Příloha A – Obsah přiloženého CD**

Text bakalářské práce

- bakalarska\_prace\_2017\_Patrik\_Mlacki.pdf
- bakalarska\_prace\_2017\_Patrik\_Mlacki.docx
- kopie\_zadani\_bakalarske\_prace\_2017\_Patrik\_Mlacki.pdf

