



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

**FAKULTA DOPRAVNÍ**

Bc. Georgii Merkulin

**Návrh alternativního způsobu pro určování rychlosti  
dopravního prostředku**

Diplomová práce

**2021**

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

děkan

Konviktská 20, 110 00 Praha 1



**K614..... Ústav aplikované informatiky v dopravě**

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

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

**Bc. Georgii Merkulin**

Studijní program (obor/specializace) studenta:

**navazující magisterský – IS – Inteligentní dopravní systémy**

Název tématu (česky): **Návrh alternativního způsobu pro určování rychlosti dopravního prostředku**

Název tématu (anglicky): Design of an alternative method for determining the speed of a vehicle

### **Zásady pro vypracování**

Při zpracování diplomové práce se řiďte následujícími pokyny:

- Vypracovat analýzu způsobů určování rychlosti vozidla
- Provést analýzu dostupných BLE zařízení, principů jejich fungování a zhodnotit jejich vhodnost pro využití k určování rychlosti vozidla
- Otestovat aktuálně dostupné mobilní aplikace, pracující se signály z BLE zařízení, a vybrat nejvhodnější z nich k následnému použití
- Realizovat praktické měření s BLE zařízeními za účelem pořízení datových záznamů k následné analýze a určení rychlosti vozidla
- Vytvořit model/nástroj, který vyhodnotí rychlost vozidla na základě signálů z blízkých BLE zařízení
- Zhodnotit navržený model/nástroj, výsledky a přesnost realizovaného měření a uvést možnosti dalšího rozvoje



Rozsah grafických prací: 10 - 20

Rozsah průvodní zprávy: minimálně 55 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)

Seznam odborné literatury: E. Sansano: GSPEED - BLE-based gait speed dataset  
J. Larsson: Distance Estimation and Positioning Based on Bluetooth Low Energy Technology  
Odborné texty a články, internet

Vedoucí diplomové práce:

**doc. Zdeněk Lokaj, Ph.D.**  
**Ing. Jiří Brož, MSc.**

Datum zadání diplomové práce: **17. června 2020**  
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání diplomové práce: **1. prosince 2021**  
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia  
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

doc. Ing. Vít Fábera, Ph.D.  
vedoucí

Ústavu aplikované informatiky v dopravě



doc. Ing. Pavel Hrubeš, Ph.D.  
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.

.....  
Bc. Georgii Merkulin  
jméno a podpis studenta

V Praze dne..... 17. června 2020

## **Poděkování**

Na tomto místě bych rád poděkoval všem, kteří mě podporovali nejen při psaní diplomové práce, ale i během studia. Chtěl bych poděkovat Ing. Jiří Brože, MSc. za ochotu a velmi cenné rady, které mi velice pomohly při psaní diplomové práce.

Velké poděkování patří mé rodině, která mi pomohla v těžkých chvílích a podporovala mě během celého studia.

## **Prohlášení**

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou za závěr studia na ČVUT v Praze Fakultě dopravní.

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne .....

.....

Georgii Merkulin

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

Návrh alternativního způsobu pro určování rychlosti dopravního prostředku

Diplomová práce

Prosinec 2021

Georgii Merkulin

### **Abstrakt**

Tato diplomová práce se zabývá návrhem alternativního způsobu pro určování rychlosti dopravního prostředku. V první řadě byla provedena rešerše stávajících způsobu určování rychlosti. Dále pak byl popsán protokol Bluetooth. Následovně byl popsán způsob určení polohy pomocí protokolu Bluetooth Low Energy. Byla navržena metodika pro použití výstupu BLE protokolu za účelem zjištění rychlosti dopravního prostředku. Metodika byla ověřena na testovací lokalitě. Na základě dosažených výsledků pak byly navrženy doporučení pro zlepšení metodiky.

### **Klíčová slova**

Bluetooth Low Energy, Beacon, RSSI

CZECH TECHNICAL UNIVERSITY IN PRAGUE

Faculty of Transportation Sciences

Design of an alternative method for determining the speed of a vehicle

Diploma thesis

December 2021

Georgii Merkulin

### **Abstract**

This diploma thesis deals with the design of an alternative method for determining the speed of a vehicle. First of all, a search was made of existing methods of determining speed. Next, the Bluetooth protocol was described. The following describes how to determine the position using the Bluetooth Low Energy protocol. A methodology was proposed for using the output of the BLE protocol to determine the speed of a vehicle. The methodology was verified at the test site. Based on the achieved results, recommendations for improving the methodology were proposed.

### **Keywords**

Bluetooth Low Energy, Beacon, RSSI

# Obsah

Obsah.....	6
Seznam zkratek.....	8
Úvod.....	10
1. Způsob určování rychlosti vozidla.....	11
1.1. Měření pozorovatelem.....	11
1.1.1. Radar.....	11
1.2. Měření účastníkem provozu.....	12
1.2.1. Rychloměr.....	12
1.2.2. GNSS.....	13
2. Bluetooth.....	15
2.1. Zásobník protokolů Bluetooth.....	15
2.1.1. Transport protocol.....	16
2.1.2. Middleware Protocol.....	17
2.1.3. Application group.....	18
2.2. Spojení.....	18
2.3. Piko buňka.....	19
3. Bluetooth maják.....	22
3.1. Bluetooth vs Bluetooth Low Energy.....	22
3.1.1. Spotřeba energie.....	22
3.1.2. Aplikace.....	22
3.1.3. Simultánní připojení (Simultaneous connections).....	22
3.2. Použití Bluetooth Low Energy.....	22
3.2.1. Marketing.....	23
3.2.2. Hyperlokální odbavení.....	23
3.2.3. Přesměrování reklam.....	23
3.2.4. Sledování majetku.....	23
3.2.5. Vnitřní navigace.....	23
3.2.6. Systém zdravotní péče.....	23
3.3. Bluetooth Low Energy.....	24
3.3.1. BLE a určení polohy.....	24
3.3.2. Rozdíl různých verzí Bluetooth Low Energy.....	25
4. Zařízení.....	28
4.1. Beacon Pro BP16-3.....	28
4.2. H1 Beacon.....	28
4.3. BC011-MultiBeacon.....	29
4.4. K1 Beacon.....	29

4.5.	Porovnání zařízení.....	29
5.	Aplikace.....	31
5.1.	BLE Beacon Scanner and Logger.....	31
5.2.	Bluetooth 4.0 Scanner .....	32
5.3.	BLE Scanner .....	32
5.4.	nRF Connect for Mobile.....	33
5.5.	LightBlue .....	34
5.6.	BLE Device Scanner.....	34
5.7.	iBeacon & Eddystone Scanner .....	35
5.8.	Přehled aplikací .....	36
6.	Praktické měření.....	38
6.1.	Příprava.....	38
6.2.	Měření .....	40
7.	Analýza naměřených dat.....	41
7.1.	Analýza dat pro jednotlivá měření.....	42
7.1.1.	Rychlost 5 km/h.....	42
7.1.2.	Rychlost 10 km/h.....	43
7.1.3.	Rychlost 15 km/h.....	43
7.1.4.	Rychlost 20 km/h.....	44
7.1.5.	Rychlost 25 km/h.....	45
7.1.6.	Rychlost 30 km/h.....	45
7.1.7.	Rychlost 35 km/h.....	46
7.1.8.	Rychlost 40 km/h.....	46
7.1.9.	Rychlost 45 km/h.....	47
7.1.10.	Rychlost 50 km/h.....	48
7.2.	Výsledky analýzy .....	48
8.	Vytvoření modelu .....	51
9.	Hodnocení .....	54
9.1.	Testovací měření.....	54
9.2.	Výsledky testovacího měření .....	60
9.3.	Možnosti dalšího rozvoje .....	60
9.4.	Zhodnocení.....	61
10.	Závěr.....	63
	Seznam literatury.....	65
	Seznam obrázků.....	67
	Seznam tabulek.....	68



## Seznam zkratek

Zkratka	Anglický název	Český název
ACL	Asynchronous Connection-Less	
AES	Advanced Encryption Standard	Standard pokročilého šifrování
AFH	Adaptive Frequency-Hopping	Adaptivní frekvenční skákání
BLE	Bluetooth Low Energy	Nízkoenergetický Bluetooth
BR	Basic Data Rate	Základní rychlost přenosu dat
EDR	Enhanced Data Rate	Vylepšená rychlost přenosu dat
EHK		Evropská hospodářská komise
EHS		Evropské hospodářské společenství
FCC	Federal Communications Commission	Federální komise pro komunikaci
FEC	Forward Error Correction	Dopředná oprava chyb
FHSS	Frequency Hopping Spread Spectrum	Rozšířeným spektrum frekvenčního dělení
FMP	Find Me Profile	
GFSK	Gaussian Frequency Shift Keying	Klíčování frekvenčním posuvem
GNSS	Global Navigation Satellite System	Globální družicový polohový systém
GPS	Global Positioning System	globální polohový systém
HCI	Host Controller Interface	Rozhraní hostitelského ovladače
IoT	Internet of things	Internet věcí
IP	Internet Protocol	
IrDA	Infrared Data Association	Infračervený komunikační port
ISM	Industrial, Scientific, Medical	pásma pro rádiové vysílání
L2CAP	Logical Link Control and Adaptation	Bluetooth protokol
LMP	Link Manager Protocol	Bluetooth protokol
MAC	Media Access Control	Identifikátor síťového zařízení
MANET	Mobile Area Network	Síť mobilní oblastí
OBEX	OBject Exchange	Protokoly pro výměnu objektů
OSI	Open Systems Interconnection Reference Model	Referenční model OSI
OSN		Organizace spojených národů
PAN	Personal area networks	Osobní síť
PDU	Protocol data unit	Protokolová datová jednotka
PPP	Point-to-Point Protocol	Bluetooth protokol
PXP	Proximity Profile	
RFComm	Radio Frequency Communication	Bluetooth protokol
RSSI	Received Signal Strength Indicator	Indikátor síly přijímaného signálu
RX	Receiver	Příjmač
SCO	Synchronous Connection-Oriented	
SDP	Session Description Protocol	Bluetooth protokol
SIG	Special Interest Group	Standardizační organizace
TCP	Transmission Control Protocol	
TCS	Telephony Control protocol Specification	Protokol řízení telefonního signálu

TDD	Time division duplex	Duplexu s časovým dělením
TDMA	Time Division Multiple Access	Vícenásobný přístup s časovým dělením
UUID	Universally unique identifier	Univerzální unikátní identifikátor
WAP	Wireless Application Protocol	Bezdrátový aplikační protokol

## Úvod

V dnešní době existuje velké množství bezdrátových způsobů komunikace. Mezi nejstarší z nich patří Bluetooth. V roce 2009 byla schválena verze Bluetooth s nízkou spotřebou energií jako charakteristickým rysem. První zařízení, které podporovalo daný standard bylo vyrobeno v roce 2011.

Na rozdíl od starších verzí, kromě snížené spotřeby energií, Bluetooth Low Energy má nižší propustnost, latence a určen hlavním způsobem k přenosu menších zpráv z vyšší četnosti. Na základě výše uvedeného, daná technologie může být použita v aplikacích pro dálkové ovládání, lékařském dohledu, sportovních senzorech a další zařízení.

S ohledem na prudký rozvoj telekomunikačního sektoru, na trhu vyskytuje velké množství Bluetooth Low Energy zařízení v moderním světě.

Jedním možným způsobem použití zařízení, které podporuje standard Bluetooth Low Energy, je instalace majáků v místech s omezeným připojením k jakékoliv elektrické síti. Zdrojem energie může sloužit baterie s malou kapacitou. Vzhledem k malé spotřebě, kapacita baterie by měla být dostatečná na dobu využití několika měsíců až let. Frekvence a výkon vysílaných zpráv mají bezprostřední vliv na životnost použitého zdroje energie.

Bluetooth Low Energy maják vysílá v pravidelných intervalech do okolního prostředí signál. Zařízení, které může takový signál přijímat, dokáže na základě hodnoty RSSI vypočítat vzdálenost do vysílače.

Při přibližování ke zdroji signálu hodnoty RSSI budou narůstat a při vzdalování naopak klesat. Takový princip by mohl sloužit základem pro výpočet rychlosti pohybu vozidla.

## 1. Způsob určování rychlosti vozidla

Měření rychlosti obecně lze rozdělit na úsekové a bodové. Účelem bodového měření je získávání rychlosti v přesném místě, zatímco u úsekového měření cílem je nalezení dat o průměrné rychlosti v definované lokalitě.

Další rozdíl nastává v tom, že v případě úsekového měření potřebujeme nějakým způsobem definovat jednotlivá vozidla (protože úsekové měření založeno na zaznamenání času průjezdu počátku a konce známého úseku).

Zmíněné rozdělení odpovídá účelům pozorovatele provozu a probíhá mimo dopravního prostředku. Zatímco účastník provozu také potřebuje sledovat svou rychlost. Daný požadavek lze naplnit použitím jiných způsobu určení rychlosti.

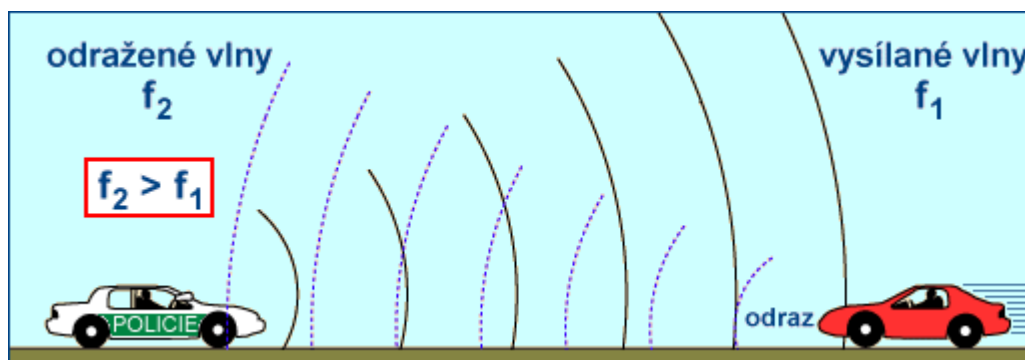
### 1.1. Měření pozorovatelem

Obvyklým cílem takového měření je určení rychlosti pohybu nějakého objektu. Z hlediska pozorovatele nejčastějším způsobem měření rychlosti v dnešní době je použití různých typů radarů.

#### 1.1.1. Radar

Měření rychlosti probíhá s využitím Dopplerova jevu – porovnávají se frekvence vysílaného a odraženého signálu (Obrázek 1). Čím rychleji auto jede, tím větší je rozdíl obou frekvencí.

Radar pro měření rychlosti má nepatrný výkon kolem 1 mW a vysílá signály na frekvenci 34 GHz (jejich vlnová délka je 8,8 mm). Z vysílací antény směřuje signál k měřenému vozidlu, odrazí se od něho a přijímací anténa zachycuje odražený signál. Elektronika radaru z rozdílu frekvencí původního a odraženého signálu vypočítá rychlost auta. [1]



Obrázek 1. Princip radaru [1]

#### 1.1.1.1. Přesnost radarů

Každý radar, který Policie ČR, vojenská policie nebo obecní policie k měření rychlosti vozidel, musí odpovídat zákonu č. 505/1990 Sb., o metrologii, a jeho prováděcím vyhláškám. Radary musí mít platné typové schválení a každý jednotlivý kus musí být pravidelně kalibrován.

Radary jsou v ČR schvalovány s jednotnou odchylkou  $\pm 3$  km/h, pokud je zjištěná rychlost do 100 km/h, respektive  $\pm 3$  procenta při rychlostech nad 100 km/h. Tato odchylka není promítnuta do zobrazené rychlosti na radaru, zohlednit ji musí sám policista nebo strážník. Teoreticky může u řádně fungujících radarů nastat situace, že vozidlu, které objektivně jede rychlostí 50 km/h, ukáže jeden radar rychlost 47 km/h a jiný 53 km/h. Překročení rychlosti 50 km/h lze tedy považovat za spolehlivě prokázané až tehdy, zobrazí-li se na radaru rychlost 54 km/h a vyšší. Podobně to platí i pro ostatní překročení rychlostních limitů. Proto je například překročení rychlosti 70 km/h prokázané až tehdy, zobrazí-li radar rychlost nejméně 74 km/h a podobně. [1]

Jestliže vyjde najevo, že uvedená minimální tolerance nebyla v jednotlivých případech dodržena a obecní policie pokutovala v blokovém řízení i překročení nižší, bude ministerstvo dopravy okamžitě iniciovat uplatnění mimořádných opravných prostředků pro porušení zákona, ke kterému jsou příslušné krajské úřady a v hlavním městě Praze ministerstvo dopravy. V tomto duchu byly osloveny jednotlivé krajské úřady. [1]

## 1.2. Měření účastníkem provozu

Měření rychlosti za účelem poskytování okamžitých dat samotnému účastníku provozu probíhá jinými metodami, protože v takovém případě disponujeme přístupem k vnitřním systémům vozidla.

### 1.2.1. Rychloměr

Klasické rychloměry jsou založeny na měření či počítání otáček za jednotku času. Otáčení kol se přenáší ohebným hřídelem do vlastního rychloměru. Nejstarší rychloměry pracovaly na principu odstředivé síly, která je úměrná rychlosti otáčení (takovým způsobem snímá otáčky stroje Wattův odstředivý regulátor). Vynález profesora Belušiče spočíval v tom, že k měřenému hřídeli je připojen permanentní magnet, který se otáčí v hliníkovém kalíšku. Otáčející se magnet v něm budí vířivé proudy, které kalíšek unášejí silou, úměrnou rychlosti otáčení. Na kalíšku je upevněna ručka a do nulové polohy jej vrací jemná pružina.

Moderní elektronické rychloměry obvykle počítají elektrické pulzy, které vznikají otáčením měřeného hřídele a přenášejí se do měřicího zařízení. Počet pulzů za jednotku času je přímo úměrný rychlosti otáčení hřídele, a pokud se převody ani průměry kol (resp. pneumatik) nemění, lze z rychlosti otáčení vypočítat obvodovou rychlost kol. Indikace může být analogová, ručkou na kruhové stupnici, může být sloupcová anebo číselná na displeji. [2]

### 1.2.1.1. Přesnost rychloměru vozidla

Právní řád ČR odkazuje v případě přesnosti rychloměrů na mezinárodní předpisy, a to konkrétně na předpis EHK/OSN č. 39 a evropskou směrnici 75/443/EHS, ve znění pozdějších směrnic.

Z uvedených norem jednoznačně vyplývá, že:

- Rychlost udávaná rychloměrem nesmí být nikdy nižší než skutečná rychlost. Je stanovena i maximální odchylka, která určuje, že např. při údajích rychloměru 50 km/h je minimální skutečná rychlost 41 km/h.
- Je přesně stanoven vzorec, podle kterého se přípustná odchylka rychloměru určuje

$$(0 \leq V1 - V2 \leq V2/10 + 4 \text{ km/h})$$

kde:  $V1$  – údaj rychloměru

$V2$  – skutečná rychlost

Z výše uvedeného vyplývá, že pokud nejsou na vozidle provedeny nepovolené úpravy (např. montáž pneumatik nepovoleného (většího rozměru)), nelze při dodržování rychlosti dle rychloměru překročit zákonem stanovenou maximální rychlost vozidla. [3]

### 1.2.2. GNSS

Pro výpočet rychlosti GPS používá jednoduchý vzorec.

$$V = S/T$$

kde:  $S$  – ujetá vzdálenost

$T$  – čas

Pomocí dvou GPS bodů (míst) můžeme vypočítat ujetou vzdálenost. Lze použít hodiny uvnitř zařízení GPS (velmi přesné hodiny, které se pravidelně synchronizují s atomovými hodinami na GPS satelitech), abychom změřili, jak dlouho trvalo vozidlu cesta mezi těmito dvěma body.

V níže uvedeném příkladu zařízení GPS v kamionu zaznamenává svou polohu (zeměpisná šířka a délka) v bodě A. Rovněž zaznamenává čas. O chvíli později znovu zaznamená svou polohu (bod B). GPS satelity odesílají své polohy přijímačům na zemi každou sekundu. Přijímač GPS pak může pomocí těchto čísel provést výpočet a určit rychlost vozidla.

Za zlomek vteřiny GPS tracker obvykle provede následující úkoly k určení rychlosti:

1. Převod rozdílu mezi dvěma zeměpisnými šířkami / délkami pozic na měrnou jednotku.
2. Určit rozdíl mezi dvěma časovými stopami a vypočítá, jak dlouho trvalo, než jste se dostali z bodu A do bodu B.

3. Na základě těchto výsledků vypočítá průměrnou rychlost.

Obecně platí, že čím delší je cesta a čím více provedených měření vede k přesnějšimu celkovému čtení rychlosti.

I když někteří mohou tvrdit, že rychlost vrácená přijímačem GPS je vyšší než rychloměr ve vozidle, většina moderních přijímačů GPS může sbírat údaje rychloměru pomocí portu OBDII. Tím je zajištěna metoda ověřování rychlosti vozidla. [4]

## 2. Bluetooth

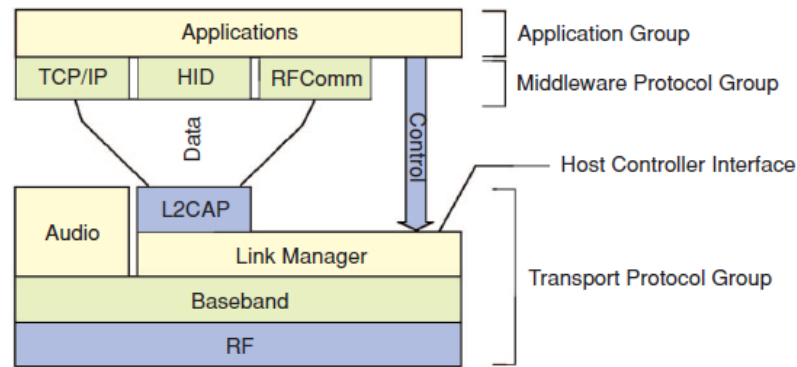
Bluetooth je bezdrátový technologický standard pro výměnu dat na krátké vzdálenosti (pomocí krátkých vlnových rádiových přenosů v pásmu ISM od 2400–2480 MHz) z pevných i mobilních zařízení a vytváří personal area networks (PAN) s vysokou úrovní zabezpečení. Byl vytvořen prodejcem telekomunikací Ericssonem v roce 1994 a původně byl koncipován jako bezdrátová alternativa k datovým kabelům RS-232. Může připojit několik zařízení a překonat problémy se synchronizací. Bluetooth používá rádiovou technologii, která se nazývá rozšířené spektrum přeskokování frekvencí. Přenášená data jsou rozdělena do paketů a každý paket je přenášen na jednom ze 79 určených kanálů Bluetooth. Každý kanál má šířku pásma 1 MHz. Bluetooth 4.0 využívá jinou šířku pásma 2 MHz, která umožňuje 40 kanálů. První kanál začíná na 2402 MHz a pokračuje až do 2480 MHz v krocích po 1 MHz. Obvykle provádí 1600 skoků za sekundu, přičemž je povoleno Adaptive Frequency-Hopping (AFH). Hlavní zařízení Bluetooth může komunikovat s maximálně sedmi zařízeními v piconetu (počítačová síť ad-hoc využívající technologii Bluetooth), i když ne všechna zařízení dosahují tohoto maxima. Zařízení mohou po dohodě měnit role a podřízený se může stát hlavním (například náhlavní souprava inicializující připojení k telefonu bude nutně začínat jako hlavní, jako iniciátor připojení; ale následně může být upřednostňována jako podřízená). Aby zařízení mohlo používat bezdrátovou technologii Bluetooth, musí být schopné interpretovat určité profily Bluetooth, což jsou definice možných aplikací a specifikovat obecné chování, které zařízení s technologií Bluetooth používají ke komunikaci s jinými zařízeními Bluetooth. Tyto profily obsahují nastavení pro parametrizaci a ovládání komunikace od začátku. Dodržování profilů šetří čas pro přenos parametrů znovu, než začne fungovat obousměrné spojení. Existuje široká škála profilů Bluetooth, které popisují mnoho různých typů aplikací nebo případů použití pro zařízení. [5]

Bezdrátová osobní bezdrátová síť Bluetooth (PAN) se skládá z piconetu. Jedno zařízení je označeno jako hlavní a ostatní jsou podřízená. Pomocí společného zařízení Bluetooth (brány nebo mostu) lze propojit dva piconety a vytvořit tak scatternet. Tyto propojené piconety v rámci scatternetu tvoří páteř sítě Mobile Area Network (MANET) a umožňují zařízením, která spolu přímo nekomunikují nebo která jsou mimo dosah jiného zařízení, výměnu dat prostřednictvím několika skoků ve scatternetu. [6]

### 2.1. Zásobník protokolů Bluetooth

Specifikace Bluetooth rozděluje zásobník protokolů Bluetooth do tří logických skupin. Jsou to skupina Transport Protocol, skupina Middleware Protocol a skupina Application (Obrázek 2).





Obrázek 2. Skupiny základních protokolů Bluetooth [6]

### 2.1.1. Transport protocol

Protokoly skupiny Transport umožňují zařízením Bluetooth vzájemnou lokalizaci a správu fyzických a logických spojení s protokoly a aplikacemi vyšší vrstvy. Použití slova „transport“ ve skupině transportních protokolů neznamená, že se shoduje s transportní vrstvou modelu OSI (Open Systems Interconnection Reference Model). Tyto protokoly spíše odpovídají vrstvám Data-Link a Physical modelu OSI. Ve skupině Transport Protocol jsou zahrnuty vrstvy Radio, Baseband, Link Manager, Logical Link Control and Adaptation (L2CAP) a Host Controller Interface (HCI). Tyto protokoly podporují asynchronní i synchronní přenos. Všechny protokoly v této skupině jsou vyžadovány pro podporu komunikace mezi zařízeními Bluetooth. [6]

#### 2.1.1.1. Vrstvy ve skupině Transport

**Rádiová vrstva.** Specifikace rádiové vrstvy se primárně týká designu transceiverů Bluetooth.

**Vrstva základního pásma.** Tato vrstva definuje, jak zařízení Bluetooth vyhledávají a připojují se k jiným zařízením. Zde jsou definovány hlavní a podřízené role, které může zařízení převzít, stejně jako sekvence přeskokování frekvence používané zařízeními. Zařízení ke sdílení vzdušného rozhraní používají duplexování s časovým dělením (TDD), paketové schéma dotazování. Master a slave komunikují pouze ve svých předem určených časových intervalech. Rovněž jsou zde definovány typy paketů, postupy zpracování paketů a strategie detekce a opravy chyb, kódování signálu (bělení), šifrování, přenos paketů a opakované přenosy. Vrstva Baseband podporuje dva typy odkazů: Synchronous Connection-Oriented (SCO) a Asynchronous Connection-Less (ACL). Spojení SCO se vyznačují pravidelným přiřazováním paketů s jedním slotem a primárně se používají pro hlasové přenosy, které vyžadují rychlý a konzistentní přenos dat. Zařízení, které navázalo propojení SCO, má v podstatě vyhrazeno určité časové intervaly pro jeho použití. Jeho datové pakety jsou považovány za prioritní pakety a budou obsluhovány před všemi pakety ACL. Zařízení s propojením ACL může odesílat pakety s proměnnou délkou o délce 1, 3 nebo 5 časových slotů. Nemá však vyhrazeny žádné časové intervaly. [6]

Vrstva Link Manager. Tato vrstva implementuje protokol Link Manager Protocol (LMP), který spravuje vlastnosti rozhraní mezi zařízeními. LMP spravuje přidělování šířky pásma pro obecná data, rezervaci šířky pásma pro hlasová data, ověřování pomocí metod Challenger Response, vztahy důvěryhodnosti mezi zařízeními, šifrování dat a kontrolu spotřeby energie. Řízení spotřeby energie zahrnuje vyjednávání režimů aktivity s nízkou spotřebou energie a stanovení úrovně přenosového výkonu. [6]

Vrstva L2CAP. Vrstva L2CAP (Logical Link Control and Adaptation Protocol) poskytuje rozhraní mezi protokoly vyšší vrstvy a transportními protokoly nižší vrstvy. L2CAP podporuje multiplexování několika protokolů vyšších vrstev, jako jsou RFCOMM a SDP. To umožňuje více protokolům a aplikacím sdílet vzduchové rozhraní. L2CAP je také zodpovědný za segmentaci a opětovné sestavování paketů a za udržování vyjednané úrovně služeb mezi zařízeními. [6]

HCI vrstva. Vrstva Host Controller Interface (HCI) definuje standardní rozhraní pro aplikace vyšší úrovně pro přístup k nižším vrstvám zásobníku. Tato vrstva není požadovanou součástí specifikace. Její účelem je umožnit interoperabilitu mezi zařízeními a používání stávajících protokolů a aplikací vyšší úrovně. [6]

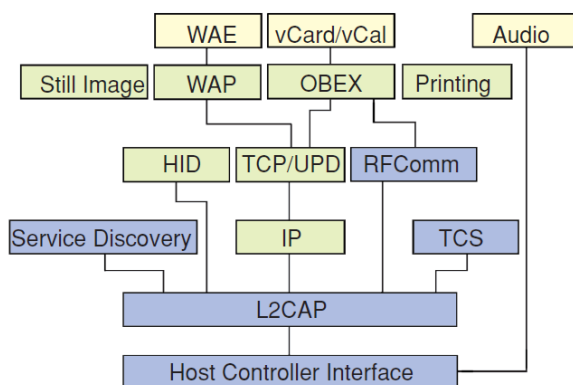
### 2.1.2. Middleware Protocol

Skupina Middleware Protocol zahrnuje protokoly třetích stran a průmyslové standardy a také protokoly vyvinuté pomocí Bluetooth SIG. Tyto protokoly umožňují, aby stávající i nové aplikace fungovaly přes Bluetooth spojení. Mezi průmyslově standardní protokoly patří Point-to-Point Protocol (PPP), Internet Protocol (IP), Transmission Control Protocol (TCP), bezdrátové aplikační protokoly (WAP) a protokoly pro výměnu objektů (OBEX), převzaté od Infrared Data Association (IrDA). [6]

Mezi protokoly vyvinuté pomocí Bluetooth SIG patří (Obrázek 3):

- 1) emulátor sériového portu (RFCOMM), který umožňuje starším aplikacím bezproblémově fungovat přes přenosové protokoly Bluetooth
- 2) paketový protokol řízení telefonního signálu (TCS) pro správu telefonních operací
- 3) protokol zjišťování služeb (SDP), který umožňuje zařízením získávat informace o sobě navzájem dostupné služby

Opětovné použití stávajících protokolů a bezproblémové propojení se stávajícími aplikacemi bylo při vývoji specifikací Bluetooth vysokou prioritou.



Obrázek 3. Interoperabilita se stávajícími protokoly a aplikacemi [6]

### 2.1.3. Application group

Skupina aplikací se skládá ze skutečných aplikací, které používají odkazy Bluetooth. Mohou zahrnovat starší aplikace i aplikace podporující technologii Bluetooth.

## 2.2. Spojení

Transceiver Bluetooth je zařízení s rozšířeným spektrem frekvenčního dělení (FHSS), které využívá nelicencované (celosvětové) 2,4 GHz ISM (průmyslové, vědecké, lékařské) frekvenční pásmo. Ve většině zemí je k dispozici 79 kanálů; některé země však umožňují použití pouze 23 kanálů. Nominální šířka pásma pro každý kanál je 1 MHz. [6]

Předpisy FCC část 15.247 omezují maximální povolený špičkový výkon na 1 watt a vyžadují, aby bylo alespoň 75 ze 79 kanálů používáno pseudonáhodným způsobem. Zařízení nemůže na daném kanálu pracovat déle než 0,4 sekundy během 30 sekund. Tato omezení (nebo omezení) byla zavedena, aby se minimalizovalo množství rušení v pásmu ISM, které také používají zařízení 802.11 b/g, zařízení HomeRF, mobilní telefony a mikrovlnné trouby. [6]

Když je zařízení Bluetooth připojeno k jiným zařízením Bluetooth, běžném použití přeskakuje (mění frekvence) rychlostí 1600krát za sekundu s dobou zdržení 625  $\mu$  s. Když je v režimu dotazu (inquiry) nebo stránky (page), skáče rychlostí 3200 skoků za sekundu s dobou zdržení 312,5  $\mu$  s. [6]

Vysílač Bluetooth využívá všech 79 kanálů a pro standardní přenosy skáče pseudonáhodně napříč všemi kanály rychlostí 1600 skoků za sekundu. Má dosah přibližně 10 metrů, ačkoli se zesilovači lze dosáhnout dosahů až 100 metrů. Protože má vysílač extrémně malou stopu, lze jej snadno integrovat do fyzických zařízení, což z něj činí skutečně všudypřítomné rádiové spojení. [6]

Specifikace Bluetooth používá pro komunikaci zařízení duplexování s časovým dělením (TDD) a vícenásobný přístup s časovým dělením (TDMA). Jeden časový úsek má délku 625  $\mu$  s, což

představuje délku paketu s jedním slotem. Ve vrstvě Baseband se paket skládá z přístupového kódu, hlavičky a užitečného zatížení. [6]

Přístupový kód obsahuje adresu piconetu (k odfiltrování zpráv z jiných piconetů) a je obvykle dlouhý 72 bitů. Hlavička obsahuje řídicí data linky, kódovaná dopředným kódem pro opravu chyb (FEC) s rychlostí 1/3 pro vysokou spolehlivost. Takový kód je opakovací kód, a proto je každý bit v hlavičce vysílán třikrát. Záhlaví má obvykle délku 18 bitů a obsahuje adresu aktivního člena pro aktuálně aktivní slave. Užitečné zatížení může obsahovat 0 až 2745 bitů dat a může být chráněno 1/3 rychlostním FEC (jednoduché bitové opakování, pouze pro SCO pakety), 2/3 rychlostním FEC (zkrácený Hammingův kód schopný opravit všechny jednobitové chyby a detekovat všechny dvoubitové chyby) nebo 3/3 (bez FEC). [6]

Pro připojení SCO musí mít pakety přesně jeden časový slot. U ACL spojení mohou být pakety dlouhé 1, 3 nebo 5 časových slotů.

Bluetooth využívá paketový přenos založený na hlasování. Veškerá komunikace mezi zařízeními probíhá mezi masterem a slave, pomocí duplexu s časovým dělením (TDD), bez přímé komunikace slave-slave. Master bude dotazovat každého aktivního otroka, aby určil, zda má data k přenosu. Otroek může přenášet data pouze tehdy, když obdrží dotaz. Rovněž musí odeslat svá data v časovém úseku bezprostředně následujícím po tom, ve kterém byl dotazován. [6]

Master vysílá pouze v sudých časových intervalech, zatímco slave vysílá pouze v lichých časových intervalech. V každém časovém slotu je použit jiný frekvenční kanál  $f$  (skok v přeskokovací sekvenci). [6]

### 2.3. Piko buňka

Specifikace Bluetooth definuje piconet jako ad-hoc, spontánní seskupování zařízení Bluetooth. V něm jedno zařízení zastává roli nadřazeného, zatímco ostatní zařízení jsou podřízená. Přestože celkový počet podřízených zařízení v piconetu není omezen, v libovolném daném časovém okamžiku může být na piconetu aktivních maximálně sedm podřízených zařízení. Pokud je více než sedm otroků, zbytek otroků musí být „zaparkován“. Maximální počet „zaparkovaných“ podřízených zařízení je 255 na piconet s přímým adresováním prostřednictvím adresy zaparkovaného slave, jak je definována SIG; je však také povoleno nepřímé adresování zaparkovaných podřízených podle jejich konkrétní adresy zařízení Bluetooth, což ve skutečnosti umožňuje libovolný počet zaparkovaných podřízených. K opětovné aktivaci zaparkovaného otroka musí master nejprve umístit aktuálně aktivního otroka do zaparkovaného stavu. [6]

Když dvě zařízení Bluetooth vstoupí do komunikačního dosahu, pokusí se spolu komunikovat. Pokud v té době není k dispozici žádný piconet, bude následovat proces vyjednávání. Jedno zařízení se stane masterem (obvykle zařízení, které zahájilo komunikaci) a druhé se stane otrokem. [6]

Jakékoli zařízení Bluetooth může fungovat v rámci piconetu jako master, slave nebo můstek. Tyto role jsou dočasné a existují pouze tak dlouho, dokud existuje samotná piconet. Hlavní zařízení vybírá frekvenci, sekvenci přeskokování frekvence, načasování (kdy ke skoku skutečně dojde) a pořadí dotazování podřízených. Master je také zodpovědný za instrukce podřízených zařízení, aby se po dobu nečinnosti přepnuly do různých stavů. [6]

Master a slave si musí vyměňovat informace o adrese a hodinách, aby se slave mohl připojit k piconetu mastera. Každé zařízení Bluetooth má jedinečné globální ID, které se používá k vytvoření přeskokovacího vzoru. Master prostřednictvím rádia sdílí své globální ID a časový posun s každým podřízeným v jeho piconetu a poskytuje posun do přeskokovacího vzoru. Otok musí být schopen znovu vytvořit frekvenční skokovou sekvenci piconetu, ke kterému se připojil, musí vědět, jakou frekvenci, v kterou dobu použít, a musí se synchronizovat s hodinami masteru. Podřízené zařízení ve skutečnosti nenastavuje vlastní hodiny. Sleduje spíše časový posun mezi svými hodinami a hodinami nadřízeného a podle toho upravuje svůj plán přenosu. [6]

Bluetooth most zařízení (nebo brána) propojuje dva nebo více piconetů pro komunikaci přeskokováním. Most komunikuje se všemi k němu připojenými piconety tím, že se vyrovná s taktováním každého piconetu, když je připraven komunikovat. Současně však může komunikovat pouze s jedním piconetem. Protože můstek přenáší další režijní přesouvání z jednoho taktování do druhého, aby komunikoval s každým připojeným piconetem, má potenciál se stát úzkým hrdlem. [6]

Mostní zařízení může být slave ve všech piconetech, ke kterým je připojeno, nebo to může být master v jednom piconetu a slave v ostatních. Propojení dvou nebo více piconetů přes můstková zařízení má za následek vytvoření bluetooth scatternetu. [6]

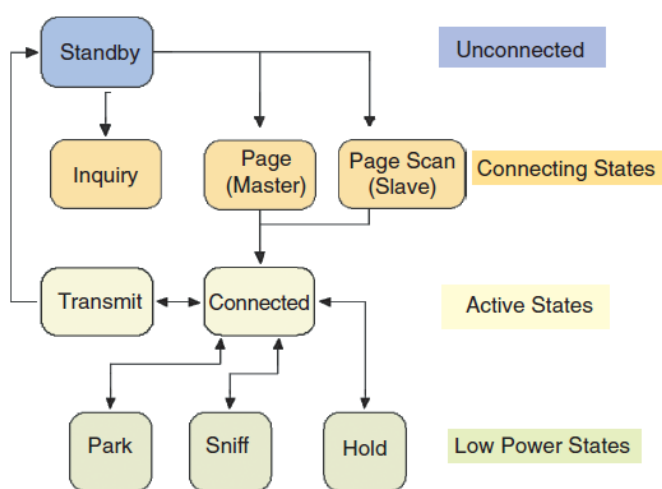
Zařízení Bluetooth může být v jednom z následujících stavů (Obrázek 4): pohotovostní režim (standby), dotaz (inquiry), stránka (page), připojeno (connected), přenášet (transmit), podržet (hold), zaparkovat (park) nebo čichat (sniff). [6]

Zařízení je v pohotovostním režimu, když je zapnuto, ale dosud se nebylo připojeno k piconetu. Vstupuje do stavu dotazu, když odesílá požadavky na nalezení dalších zařízení, ke kterým se může připojit. Master existující piconet může být také ve stavu page a odesílat zprávy hledající zařízení, která může požádat o připojení ke svému piconetu. [6]

Po úspěšné komunikaci mezi hlavním a novým zařízením převezme nové zařízení podřízenou roli, přejde do stavu připojeno a obdrží aktivní adresu. Když je slave připojen po dotazu mastera může přenášet data. Během přenosu svých dat je slave ve stavu transmit. Na konci přenosu se vrátí do připojeného stavu. [6]

Stav sniff je stav s nízkou spotřebou energie, ve kterém podřízený „spí“ po předem stanovený počet časových slotů. Probouzí se ve stanoveném časovém slotu pro přenos dat. Poté se vrátí do neaktivního stavu, dokud nenastane jeho další určený časový slot sniff. Stav hold je další stav s nízkou spotřebou, ve kterém podřízená jednotka není aktivní po předem stanovenou dobu. Ve stavu hold však nedochází k žádnému přenosu dat. [6]

Pokud podřízené zařízení nemá žádná data k odesílání nebo přijímání, může nadřízený dát podřízenému pokyn, aby vstoupil do stavu parkování. Když vstoupí do stavu park, otrok se vzdá své aktivní adresy v piconetu. Adresa pak bude dána jinému otrokovi, kterého master znovu aktivuje ze stavu park. [6]



Obrázek 4. Stavů připojení zařízení [6]

### 3. Bluetooth maják

Bluetooth majáky jsou hardwarové vysílače – třída zařízení Bluetooth s nízkou spotřebou energie (Low Energy), která vysílají datové rámce do blízkých přenosných elektronických zařízení. Tato technologie umožňuje chytrým telefonům a dalším zařízením provádět akce v blízkosti majáku.

Majáky používají Bluetooth Low Energy k přenosu datového rámce. Rámec obsahuje unikátní identifikátor majáku a několik bajtů informací, které lze použít k určení fyzické polohy zařízení, sledování zákazníků nebo ke spuštění akce založené na poloze na zařízení, jako je check-in na sociálních médiích nebo push oznámení.

#### 3.1. Bluetooth vs Bluetooth Low Energy

Ve specifikaci jádra Bluetooth existují dvě hlavní technologie – Bluetooth classic a Bluetooth Smart (Bluetooth Low Energy). Hlavní rozdíl mezi technologiemi dvou majáků spočívá ve spotřebě energie. Existují však i další faktory, proč je Bluetooth Smart vhodnější pro technologické aplikace. [7]

##### 3.1.1. Spotřeba energie

Díky malé spotřebě energii, napájení majákových zařízení BLE po dobu několika měsíců nebo let může zajišťovat pouze baterie. U klasického Bluetooth však může být při vyšší propustnosti dat za cenu vysoké spotřeby energie. [7]

##### 3.1.2. Aplikace

Klasický Bluetooth je vhodný pro aplikace, které vyžadují nepřetržité streamování dat, například sluchátka. Bluetooth LE je však vhodný pro aplikace, které dobře fungují s periodickým přenosem dat a snižují značné využití baterie. Díky tomu je BLE vhodný pro aplikace související s IoT a proximity marketingem. [7]

##### 3.1.3. Simultánní připojení (Simultaneous connections)

BLE nebo Bluetooth s nízkou spotřebou energie může navázat až 20 připojení současně. Podporuje více současných připojení, protože přenáší malé datové pakety a navazuje rychlé připojení. Klasické rozhraní Bluetooth na druhou stranu může zahájit pouze 7 současných připojení. [7]

#### 3.2. Použití Bluetooth Low Energy

V dnešní době můžeme pozorovat použití Bluetooth Low Energy v různých oblastech společenského života.

### 3.2.1. Marketing

Propagační a marketingové zprávy mohou být cíleny k uživatelům, různým způsobem. Ke zvýšení efektivity musí být marketingové kampaně personalizované a relevantní. Právě relevantnost zpráv může být založena na principu BLE. To nejen zvyšuje prodej, ale také zvyšuje věrnost značce. Společnosti jako Macy's, McDonald's, Walmart a Lord & Taylor dělají své kampaně pro své návštěvníky extrémně relevantními, tedy užitečnými. [8]

### 3.2.2. Hyperlokální odbavení

Ohlášení na základě BLE na rozdíl od Facebooku nebo Foursquare je vysoce cílené a umožňuje návštěvníkům přesně ukázat, kde se v zařízení nacházejí. Tuto funkci lze použít ve spojení s konkrétními propagacemi založenými na poloze nebo hrami založenými na odměnách. [8]

### 3.2.3. Přesměrování reklam

Řešení BLE beacon, jako je Beaconstac, umožňují podnikům oslovit návštěvníky i po odhlášení z obchodu / nemovitosti. Jakmile se návštěvník zapojí do jakékoli kampaně v obchodě, je vystaven stejné značce, když se připojí online – Facebook nebo Google. [8]

### 3.2.4. Sledování majetku

Toto je další populární případ použití majáku Bluetooth LE. Namísto vysílání ID do mobilních zařízení maják BLE „naslouchá“ jedinečným ID značek BLE připojených k objektům. Protože tyto štítky mohou být vybaveny senzory – pro věci, jako je světlo, zvuk, pohyb a teplota – aplikací je hodně, od sledování invalidních vozíků a infuzních pump v nemocnicích až po sledování pohybu, rychlosti a vibrací dopravníku letištních zavazadel. [8]

### 3.2.5. Vnitřní navigace

GPS funguje skvěle pro venkovní použití – ale v případě použití v prostorech s omezeným dosahem signálu (budovy, tunely, okolní prostředí atd.), pozorujeme náhlý pokles přesnosti. Infrastruktura BLE funguje skvěle uvnitř i venku. Kombinace tří vnitřních majáků postačuje k nalezení přesné polohy smartphonu. Vnitřní navigace využívající technologii majáků nabízí podrobné pokyny, označuje důležitá místa a označuje doporučenou trasu. To je užitečné zejména pro vícepodlažní obchody, nákupní centra a muzea. [8]

### 3.2.6. Systém zdravotní péče

Odhad rychlosti chůze uživatele může být zásadní v mnoha tématech, jako jsou systémy zdravotní péče, protože přítomnost potíží s chůzí je základním ukazatelem zdraví a funkce při stárnutí a nemoci. Klíčem k umožnění včasného odhalení kognitivních onemocnění, jako je demence nebo Alzheimerova choroba, mohou být metody neinvazivního a průběžného hodnocení rychlosti chůze. Nositelné technologie mohou poskytnout inovativní řešení



problémů zdravotní péče. Technologie Bluetooth Low Energy (BLE) je vynikající pro nositelná zařízení, protože je velmi energeticky účinná, bezpečná a levná. [9]

### 3.3. Bluetooth Low Energy

Představený ve standardu Bluetooth 4.0, BLE je rádiový standard s nízkou spotřebou energií od společnosti Bluetooth Special Interests Group. I když si Bluetooth ponechává jako součást svého názvu, není plně zpětně kompatibilní s Bluetooth 3 a staršími. U Bluetooth 4.0 standard specifikuje dvě různá rádiová rozhraní, jedno kompatibilní se starším standardem, známé také jako Basic Data Rate (BR) nebo Enhanced Data Rate (EDR). Druhé rádiové rozhraní se používá pro BLE. Specifikace umožňuje, aby zařízení Bluetooth 4.0 byla v duálním režimu, stejně jako v jednom režimu s podporou buď BR / EDR nebo BLE. [10]

Jednou z největších rozdílů od starého standardu Bluetooth je rádiové rozhraní. BLE je stále v pásmu 2,4 GHz ISM, ale místo toho, aby bylo rozděleno na 79 kanálů o šířce 1 MHz, používá BLE 40 kanálů, každý o šířce 2 MHz. Pro zkrácení doby skenování se povolené vysílací kanály sníží na tři. [10]

Použitým modulačním schématem je Gaussian Frequency Shift Keying (GFSK), stejně jako se používá v režimu dat s nízkou rychlostí Bluetooth. Šířka pásma kanálu se však liší, což znemožňuje interoperabilitu na fyzické vrstvě. [10]

BLE je také schopen probudit se z režimu spánku, odeslat paket a poté se vrátit spát rychleji než Bluetooth s vyšší rychlostí. Tam, kde BLE potřebuje zhruba 6 ms, by starším standardům trvá více než 100 ms. To nejen ovlivňuje čas skenování, ale také slouží jako optimalizace pro výdrž baterie při odesílání malého množství dat. [10]

#### 3.3.1. BLE a určení polohy

Způsob, jakým jsou služby vystaveny na zařízeních BLE, je nový a několik profilů služeb je zahrnuto v samotné normě. To zahrnuje dva servisní profily týkající se určování polohy, Find Me Profile (FMP) a Proximity Profile (PXP). [10]

FMP je „Find Me Profile“, jehož cílem je usnadnit vyhledání zařízení v případě ztráty. Funguje to tak, že máte dvě zařízení, jedno je lokátor a druhé je cíl, který se má najít. Cíl bere roli jako server, což znamená, že naslouchá požadavkům z lokátoru. Když přijde požadavek, na cílovém zařízení se aktivuje upozornění jakéhokoli druhu. Výstraha je ve většině případů vizuálním nebo zvukovým signálem, který usnadňuje nalezení zařízení. Mohlo by to být také použito ke spuštění vysílání nebo pokusu o umístění zařízení a hlášení zpět s odhadovanou polohou. Tím se otevírá možnost použít jej způsoby, které nejsou přesně podle plánu, ale jako součást pozičního systému. [10]

PXP nebo Proximity Profile je další služba založená na poloze zahrnutá ve standardu. Definuje chování zařízení, když ztratí nebo naváže spojení s jiným zařízením. Tato služba je zajímavější pro poziční systém, ale spoléhá se na zařízení navazující spojení. To znamená, že PXP i FMP trpí stejným problémem, zařízení, které má být nalezeno, musí neustále naslouchat, aby bylo funkční součástí systému. Oba profily mohou být užitečné v aplikacích, kde životnost baterie není tak důležitá nebo lze očekávat pravidelné dobíjení baterií. [10]

K dispozici je také komerční produkt / systém zvaný iBeacon z počítače Apple, jehož cílem je poskytovat službu určování polohy s kompatibilními zařízeními. Nejedná se o standardní profil, ale očekává se, že jej bude podporovat mnoho mobilních telefonů a počítačů. Jedná se o obousměrný systém, v některých ohledech velmi podobný PXP. Očekává se, že majáky budou schopny reagovat a poskytovat určitá data místní aplikaci v umístěném zařízení. Díky této funkčnosti dodávky dat a požadavkům speciálního softwaru na zařízení je tento systém širšího rozsahu než nízkoenergetický poziční systém. Cílový trh byl specifikován jako komerční služby lepší zážitek z nakupování. Jako takový je to poziční systém, i když příliš velký na to, aby zvažil čistě poziční službu s nízkou spotřebou. Pokud však získá trakci, pravděpodobně to sníží ceny modulů BLE, což nepřímo zvýhodní i jiné systémy. [10]

Jedním z aspektů prakticky u všech zařízení s integrováním BLE je směrovost antény. Malá zařízení využívají čipové antény a vykazují vzory neizotropního záření. Připojení externí antény k těmto zařízením pravděpodobně nebude ve většině situačních scénářů z důvodu omezení velikosti možné. Část problémů vyplývajících ze směrovosti antény by mohla být kompenzována použitím relativních sil signálu namísto absolutních při použití více sil signálu k určení polohy. [10]

### 3.3.2. Rozdíl různých verzí Bluetooth Low Energy *Bluetooth 4.1 vs Bluetooth 4.0*

#### 1. Zvýšení rychlosti přenosu dat

Ve srovnání s Bluetooth 4.0 se maximální přenos jednoho paketu dat Bluetooth 4.1 zvyšuje z 20 bytů na 23 bytů, což zvyšuje rychlost přenosu dat o 15 %. Podle tohoto pravidla se můžete pokusit upravit hodnotu datové části jednoho datového paketu. Pokud čip podporuje pouze BT 4.0, pak úprava přenosu 23 bajtů buď zkomplikuje chybu, nebo zahodí paket během přenosu. [11]

#### 2. Soužití master a slave

Topologie linkové vrstvy odkazové vrstvy byla aktualizována, aby umožňovala souběžnou souběžnost master-slave (otáčení časových úseků) a topologii připojení master-to-multip slave. [11]

### 3. Podpora 32bitového UUID

32bitový UUID označuje UUID přenášený paketem vysílání, nikoli 16bitový a 128bitový UUID, na který odkazujeme pro seznam atributů. Plného 128bitového UUID lze získat vysláním 32bitového mapování UUID, takže efektivní délka dat vysílání v paketu vysílání je větší. [11]

#### *Bluetooth 4.2 vs Bluetooth 4.1*

##### 1. Zabezpečení připojení

Párovací šifrovací odkazy Bluetooth 4.0 a 4.1 jsou založeny na šifrování AES-CCM, ale protože Bluetooth 4.1 sdílí stejný klíč, dochází k prolomení rizik a zranitelností. Spojení párování Bluetooth 4.2 je šifrováno algoritmem pro výměnu klíčů Diffie-Hellman Key Exchange. Každé zařízení má dvojici párů klíčů, veřejný klíč a soukromý klíč. Soukromý klíč je uložen sám a veřejný klíč je zpřístupněn druhé straně. Při výměně dat jedna strana posílá šifrovaný soubor (šifrovaný soukromým klíčem a veřejným klíčem druhé strany) a příjemce dešifruje soukromým klíčem přijímací strany a veřejným klíčem vysílající strany, čímž účinně brání zprostředkovateli v rozluštění klíčové události. [11]

##### 2. Ochrana soukromí

Bluetooth vysílá vlastní BD adresu (adresu zařízení bluetooth), což je jedinečná MAC adresa Bluetooth. Je velmi užitečný v některých aplikacích, například v aplikacích pro sledování logistiky. Může opravit logistické zařízení podle adresy BD. [11]

##### 3. Přenos velkých dat

Bluetooth 4.1 podporuje až 23 bytů přenosu jednoho paketu a Bluetooth 4.2 podporuje až 255 bytů přenosu jednoho paketu, což výrazně zlepšuje rychlost přenosu dat. [11]

#### *Bluetooth 5.0 vs Bluetooth 4.2*

##### 1. Vyšší dosah

Díky dopřednímu kódování chyb a mapování režimů má konec RX různé vylepšení v dekódování a schopnosti korekce chyb celého datového paketu během procesu přenosu (zjednodušeně řečeno, pro zlepšení citlivosti příjmu terminálu RX) a přenosové vzdálenosti. [11]

##### 2. Balíček dlouhého vysílání (Long broadcast package)

Protokol Bluetooth 4.x stanoví, že přenosové datové pakety Bluetooth podporují maximálně 31 bytů přenosu dat na jeden paket a vysílací kanál je omezen na tři kanály 37, 38 a 39. Na základě původních PDU pro přenos vysílání data (ADV\_IND, ADV\_DIRECT\_IND,

ADV\_NONCONN\_IND a ADV\_SCAN\_IND, nazývané starší PDU), Bluetooth 5 přidává rozšířené PDU (ADV\_EXT\_IND, AUX\_ADV\_IND, AUX\_SYNC\_IND a AUX\_CHAIN\_IND). To také umožňuje Bluetooth odesílat data o délce 0-255 bytů na 37 kanálech jiných než tři kanály 37, 38, 39. [11]

### 3. Přenos velkých dat

Ve srovnání s Bluetooth 4.2 podporuje Bluetooth 5 dva PHY, 1MPHY a 2MPHY. Rychlost přenosu dat 2M PHY je novou funkcí Bluetooth 5.0. Dřív u Bluetooth 4.2 je podporována pouze rychlost 1 Mbps PHY. Stejně jako Bluetooth 4.2 podporuje Bluetooth 5 také pakety o velikosti 255 bytů, takže rychlost Bluetooth je ve srovnání s 4,2 dvojnásobná. [11]

## 4. Zařízení

Maják je malý vysílač, který je připevněn k objektu a produkuje signál. Maják vysílá jednoduché ID, které je poté identifikováno čtečkou. Čtečka, kterou může být smartphone, pak vytáhne související data z cloudu. Signál vysílaný majákem obsahuje jeho ID, firmware, úroveň baterie a případně další data. Nezahrnuje údaje o poloze, které jsou určeny silou signálu v přijímači.

Cílem dané práce je ověření možnosti použití BLE beaconu za účelem zjištění rychlosti vozidla. Předpokladem bylo to, že během projetí auta v oblasti dosahu majáku se bude měnit síla signálu přijímaného smartphonem. Na základě změny pak bude vypočtena rychlost vozidla. Čím silnější signál vysílá maják, tím přehlednější rozdíl v datech můžeme pozorovat. Co klade určité požadavky na vysílací výkon použitého zařízení.

### 4.1. Beacon Pro BP16-3

V rámci dané práce bylo použito zařízení Beacon Pro BP16-3. Maják má následující technické údaje:

- Konektivita: Bluetooth 4.2, Bluetooth 5.0.
- Dosah: do 70 metrů.
- Dostupné úrovně přenosového výkonu: 1 (-20 dBm), 2 (-16 dBm), 3 (-12 dBm), 4 (-8 dBm), 5 (-4 dBm), 6 (0 dBm), 7 (4 dBm).
- Citlivost: -96dBm.
- Výdrž baterie: do 75 měsíců při vysílacím výkonu -12 dBm
- Kompatibilita se standardy majáku: iBeacon, Eddystone.
- Do zařízení implementovány senzory: teploty, zrychlení, okolního světla. [12]

### 4.2. H1 Beacon

H1 Beacon je přenosný maják s čipovými sadami NORDIC nRF52 s extrémně nízkým výkonem ARM. Má tvar kompaktního pouzdra, vodotěsný design, spolehlivý hardware, výkonný firmware a vnější tlačítko. Byl navržen pro propagační marketing a služby zaměřené na vnitřní prostory. Maják je vhodný pro zařízení Apple a Android.

Má následující technické údaje:

- Konektivita: Bluetooth 4.2, Bluetooth 5.0.
- Dosah: do 60 metrů.
- Dostupné úrovně přenosového výkonu: od -60 dBm do 4 dBm.
- Výdrž baterie: 16 měsíců.
- Kompatibilita se standardy majáku: iBeacon, Eddystone.
- Do zařízení implementovány senzory: pohybu. [13]

### 4.3. BC011-MultiBeacon

BC011-MultiBeacon používá technologii BLE 5.0, ale také zpětně kompatibilní s BLE 4.0.

Umožní vysílání zpráv různého formátů: iBeacon, Eddystone TLM, Eddystone URL a/nebo Eddystone UID. Eddystone TLM vysílá údaje o stavu baterie, teplotě a počtu dat každé desáté vysílání.

Zařízení má následující technické údaje:

- Konektivita: Bluetooth 4.0 až Bluetooth 5.0.
- Dosah: 0.2-90 metrů (BLE 5.0), 0.2-50 metrů (BLE 4.0).
- Dostupné úrovně přenosového výkonu: od -40 dBm do 4 dBm.
- Výdrž baterie: 16 měsíců.
- Kompatibilita se standardy majáku: iBeacon, Eddystone.
- Do zařízení implementovány senzory: teploty. [14]

### 4.4. K1 Beacon

K1 Beacon je malý a lehký maják s čipovou sadou Ultra Low řady Nordic nRF52 a technologií BLE 5.0.

Beacon lze snadno připevnit k jiným objektům, je určen pro komerční reklamu a služby založené na umístění v interiéru.

K1 Beacon vysílá rádiové signály 2,4 GHz v pravidelných a nastavitelných intervalech. K1 Beacon lze monitorovat na zařízeních s iOS a Android BLE, která jsou vybavena různými mobilními aplikacemi.

Technické údaje zařízení:

- Konektivita: Bluetooth 4.0 až Bluetooth 5.0.
- Dosah: do 100 metrů.
- Dostupné úrovně přenosového výkonu: od -40 dBm do 4 dBm.
- Výdrž baterie: do 12 měsíců při vysílacím výkonu 0 dBm.
- Kompatibilita se standardy majáku: iBeacon, Eddystone. [15]

### 4.5. Porovnání zařízení

Na základě analýzy jednotlivých zařízení byla vytvořena přehledová tabulka (Tabulka 1), která je znázorněna níže.

Tabulka 1. Srovnání beaconů

Parametr	Beacon Pro BP16-3	H1 Beacon	BC011-MultiBeacon	K1 Beacon
Konektivita	BLE 4.2 a BLE 5.0	BLE 4.2 a BLE 5.0	BLE 4.0 až BLE 5.0	BLE 4.0 až BLE 5.0
Dosah (m)	70	60	90 (BLE 5.0), 50 (BLE 4.0)	100
Přenosový výkon (dBm)	-20 až 4	-60 až 4	-40 až 4	-40 až 4
Citlivost (dBm)	-96	-	-	-
Výdrž baterie (měsíc)	75	16	16	12
Kompatibilita	iBeacon, Eddystone	iBeacon, Eddystone	iBeacon, Eddystone	iBeacon, Eddystone
Senzory	teploty, zrychlení, okolního světla	pohybu	teploty	-

Zařízení, které bylo použito v rámci dané práce, má srovnatelné vlastnosti s podobnými exempláři.

Velký rozdíl pozorujeme u přenosového výkonu. Zejména v nižších hodnotách (-20 dBm oproti -60 a -40 dBm u jiných zařízení). Pro účely dané práce to nemá význam, protože beacon byl nastaven na maximální přenosový výkon za účelem pravidelného vysílání zpráv na velké vzdálenosti. Při minimální hodnotě přenosového výkonu možnost příjmu zpráv z beaconu byla omezena na velmi malou vzdálenost.

Další velkou odchylku pozorujeme u výdrži baterie. Údaje nelze považovat za objektivní, protože každý výrobce uvádí pracovní dobu zařízení při různých vysílacích výkonech.

Největší různorodost pozorujeme u senzoru. Použitý beacon může monitorovat okolní světlo, teplotu a zrychlení. Z největší pravděpodobnosti v případě řešení problému této práce bude použit senzor okolního světla. Důvod je takový, že pomocí tohoto senzoru lze identifikovat povětrnostní podmínky, zejména srážky, co by mělo mít vliv na následovnou analýzu pořízených dat.

Z výše uvedeného plyne, že Beacon Pro BP16-3, který jsem měl k dispozici na fakultě, má vhodné parametry pro účel dané práce.

## 5. Aplikace

Software hraje stejně důležitou roli jako i fyzické zařízení. Proto k jeho výběru musíme přestupovat objektivně a s pochopením toho, jaká data z beaconu chceme získat.

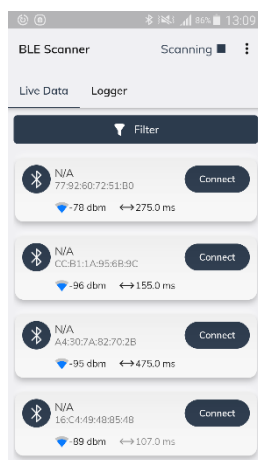
Původní myšlenka byla taková, že potřebujeme v co nejmenších časových rozestupech obdržet informace o hodnotách RSSI. To klade na aplikaci požadavek na zaznamenávání zpráv v co nejmenších intervalech (pro použitý beacon 100 ms). [12]

Dalším požadavkem je možnost exportování dat ve formátu TXT, CSV nebo XML. Důvod je následovná analýza získaných dat za účelem pořízení datových sad.

### 5.1. BLE Beacon Scanner and Logger

Thingsup BLE Beacon Scanner and Logger byl vyvinut s vizí pomoci komunitě Bluetooth, vývojářům, kteří chtějí vytvářet BLE majáky a aplikace.

Thingsup BLE Beacon Scanner využívají nejen vývojáři, ale i uživatelé se senzorovými majáky Bluetooth BLE od společnosti Thingsup. Lze přímo konfigurovat data majáku, nastavovat hesla, intervaly vysílání zpráv, stejně jako čistit uložená data a exportovat ve formátu CSV a heslem chráněném formátu Excel (Obrázek 5).



Obrázek 5. Uživatelské rozhraní BLE Beacon Scanner and Logger [16]

Hlavní vlastnosti aplikace:

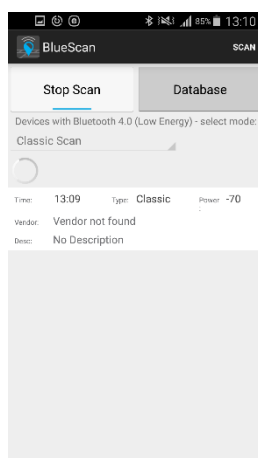
- Skenovat v okolí zařízení Bluetooth Low Energy, iBeacon a Eddystone.
- Zaznamenávat data z blízkých BLE zařízení.
- Zobrazení okamžitých hodnot RSSI.
- Filtrovat zařízení podle jména, adresy MAC, RSSI.
- Export dat ve formátech CSV a Excel XLSX. [16]



## 5.2. Bluetooth 4.0 Scanner

Skener Bluetooth 4.0 (nízkoenergetický a klasický režim). BlueScan vyhledá zařízení Bluetooth, vyhledá dodavatele a umožní zaslat výsledky e – mailem. Zaznamenávané informace obsahují: název zařízení, umístění, sílu signálu RSSI, adresu MAC (Obrázek 6).

Data skenování lze stáhnout e – mailem ve formátu JSON a CSV. Tato verze také nahraje nalezená zařízení do webové databáze, kterou lze vypnout. Zařízení Bluetooth 4.0 budou moci skenovat v klasickém nebo nízkoenergetickém režimu. Zařízení bez Bluetooth 4.0 mohou skenovat pouze v klasickém režimu.



Obrázek 6. Uživatelské rozhraní Bluetooth 4.0 Scanner [17]

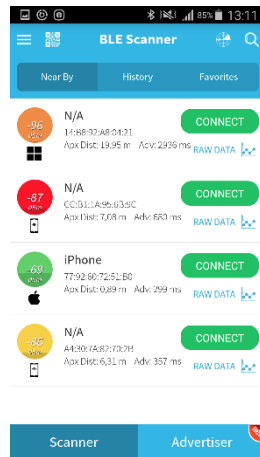
Hlavní vlastnosti aplikace:

- Skenovat v okolí zařízení Bluetooth Low Energy nebo klasickým Bluetooth.
- Zaznamenávat pakety a data z blízkých BLE zařízení.
- Zobrazení okamžitých hodnot RSSI.
- Filtrovat zařízení podle jména, adresy MAC, RSSI.
- Export dat ve formátech CSV a JSON.
- Export dat do databází a následný import těchto dat. [17]

## 5.3. BLE Scanner

BLE Scanner byl vyvinut s vizí pomoci komunitě Bluetooth, vývojářům, kteří chtějí vytvářet produkty a aplikace BLE.

BLE Scanner používají nejen vývojáři, ale také uživatelé jej používají k nalezení ztracených fitness trackerů a dalších chytrých zařízení Bluetooth (Obrázek 7).



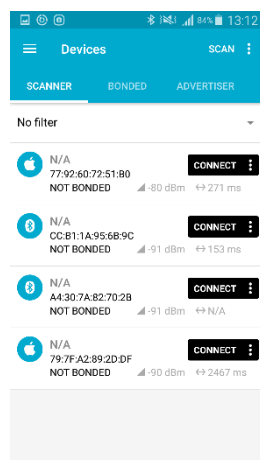
Obrázek 7. Uživatelské rozhraní BLE Scanner [18]

Hlavní vlastnosti aplikace:

- Skenovat v blízkosti zařízení Bluetooth Low Energy, iBeacon a Eddystone.
- Přizpůsobovat konfiguraci Eddystone pro UID, URI a TLM.
- Grafické rozhraní zobrazuje BLE zařízení v blízkosti.
- Filtrovat zařízení podle jména, adresy MAC, RSSI a UUID služby.
- Exportovat data historie ve formátu CSV na sdcard.
- Zobrazovat RSSI na grafu a exportovat RSSI hodnotu do souboru CSV. [18]

#### 5.4. nRF Connect for Mobile

nRF Connect for Mobile je výkonný generický nástroj, který umožňuje skenování, inzerování a prozkoumávání zařízení Bluetooth s nízkou spotřebou energie (BLE) a komunikace s nimi. nRF Connect podporuje několik přijatých profilů Bluetooth SIG spolu s profilem aktualizace firmwaru zařízení (DFU) od společností Nordic Semiconductors a Mcu Manager na Zephyr a Mynewt (Obrázek 8).



Obrázek 8. Uživatelské rozhraní nRF Connect for Mobile [19]

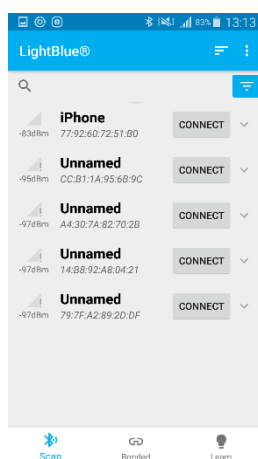
Hlavní vlastnosti aplikace:

- Vyhledává zařízení Bluetooth s nízkou spotřebou energie (BLE).
- Zobrazuje graf RSSI.
- Zobrazení okamžitých hodnot RSSI.
- Umožňuje export do formátů CSV a Excel.
- Filtrovat zařízení podle jména, adresy MAC, RSSI. [19]

## 5.5. LightBlue

LightBlue se může připojit ke všem zařízením, která využívají technologii Bluetooth Low Energy (známá také jako Bluetooth Smart nebo Bluetooth Light).

Plná podpora čtení, zápisu a upozornění je zahrnuta, aby se usnadnilo úsilí o vývoj firmwaru BLE. Můžete také zobrazit sílu signálu (RSSI) v reálném čase, pro představu o tom, jak blízko je zařízení BLE, což je užitečné při hledání ztracených zařízení BLE (Obrázek 9).



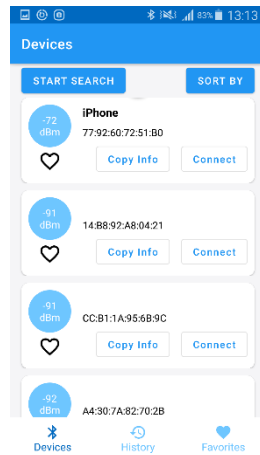
Obrázek 9. Uživatelské rozhraní LightBlue [20]

Hlavní vlastnosti aplikace:

- Vyhledává zařízení BLE.
- Filtruje zařízení podle jména, MAC a RSSI.
- Exportování dat v TXT formátu. [20]

## 5.6. BLE Device Scanner

BLE Device Scanner umožňuje skenování a připojení k zařízením za účelem zaznamenávání dat (Obrázek 10).



Obrázek 10. Uživatelské rozhrání BLE Device Scanner [21]

Hlavní vlastnosti aplikace:

- Skenování v blízkosti zařízení Bluetooth Low Energy nebo iBeacon.
- Přizpůsobení konfiguraci pro UID, URI nebo TLM.
- Filtrování zařízení podle názvu, adresy MAC nebo RSSI.
- Určení vzdálenost jako blízko, daleko nebo bezprostředně.
- Export dat ve formátu Excel. [21]

## 5.7. iBeacon & Eddystone Scanner

Skener iBeacon, Eddystone a AltBeacon.

Skenuje a zobrazuje podrobnosti o každém iBeacon, Eddystone (rámce UID, URL, TLM) a AltBeacon v okolí (Obrázek 11).



Obrázek 11. Uživatelské rozhrání iBeacon & Eddystone Scanner [22]

Hlavní vlastnosti aplikace:

- Skenování v blízkosti zařízení Bluetooth Low Energy nebo iBeacon.
- Určení vzdálenost jako blízko, daleko nebo bezprostředně.
- Zobrazuje graf RSSI.








- Filtrování zařízení podle názvu, adresy MAC nebo RSSI.
- Export dat v JSON formátu. [22]

## 5.8. Přehled aplikací

Na základě analýzy jednotlivých aplikací byla vytvořena přehledová tabulka (Tabulka 2), která je znázorněna níže.

Tabulka 2. Srovnání různých aplikací

Aplikace	BLE Beacon Scanner and Logger	Bluetooth 4.0 Scanner	BLE Scanner	nRF Connect	LightBlue	BLE Device Scanner	iBeacon & Eddystone Scanner
Skenovat okolí							
Záznam dat							
Graf RSSI							
Okamžité RSSI							
Filtrování podle	jména, MAC, RSSI	jména, MAC, RSSI	jména, MAC, RSSI, UUID	jména, MAC, RSSI	jména, MAC, RSSI	jména, MAC, RSSI	jména, MAC, RSSI
Export dat	CSV, XLSX	CSV, JSON	CSV	CSV, XLSX	TXT	XLSX	JSON
Změna konfigurace							

Určení vzdálenosti							
--------------------	---	---	---	---	---	---	---

Všechny aplikace umožňují export zaznamenaných dat ve formátech vhodných pro následovné zpracování. Při výběru použité aplikace velkou roli hrála možnost zaznamenání zpráv v krátkých časových intervalech (100 ms). Pouze BLE Beacon Scanner and Logger poskytuje takovou možnost. Proto bylo rozhodnuto použít tuto aplikaci.

## 6. Praktické měření

Po definování prvků systému nutného k určení rychlosti vozidla následovala příprava k samotným měřením. Pak následovalo praktické měření za účelem pořízení datových záznamů pro další analýzu a vytvoření modelu a ověření jeho funkčnosti.

Celkový systém byl založen na tom, že během přibližování k místu umístění beaconu hodnoty síly signálu budou postupně narůstat a při vzdalování klesat.

### 6.1. Příprava

Příprava spočívala v tom, že byly provedeno laboratorní a outdoor měření při malé rychlosti.

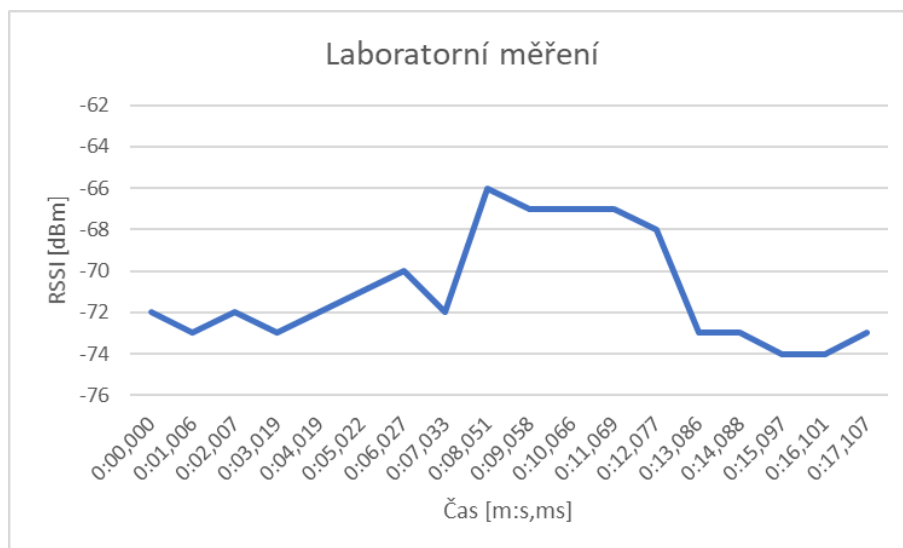
Účelem laboratorního měření bylo testování toho, jestli zvolená aplikace správně komunikuje s beaconem a získává data pro následnou analýzu.

Výsledkem laboratorního měření byla sada původních dat (Obrázek 12).

Sr No	Timestamp	Device Name	MAC Address	RSSI	Raw Data
1	23-08-2021 14:28:41	996	Kontakt2,FE:F9:63:03:1E:81,-72	020009094b6f6e74616b7432	
2	23-08-2021 14:28:43	002	Kontakt2,FE:F9:63:03:1E:81,-73	020009094b6f6e74616b7432	
3	23-08-2021 14:28:44	003	Kontakt2,FE:F9:63:03:1E:81,-72	020009094b6f6e74616b7432	
4	23-08-2021 14:28:45	015	Kontakt2,FE:F9:63:03:1E:81,-73	020009094b6f6e74616b7432	
5	23-08-2021 14:28:46	015	Kontakt2,FE:F9:63:03:1E:81,-72	020009094b6f6e74616b7432	
6	23-08-2021 14:28:47	018	Kontakt2,FE:F9:63:03:1E:81,-71	020009094b6f6e74616b7432	
7	23-08-2021 14:28:48	023	Kontakt2,FE:F9:63:03:1E:81,-70	020009094b6f6e74616b7432	
8	23-08-2021 14:28:49	029	Kontakt2,FE:F9:63:03:1E:81,-72	020009094b6f6e74616b7432	
9	23-08-2021 14:28:50	047	Kontakt2,FE:F9:63:03:1E:81,-66	020009094b6f6e74616b7432	
10	23-08-2021 14:28:51	054	Kontakt2,FE:F9:63:03:1E:81,-67	020009094b6f6e74616b7432	
11	23-08-2021 14:28:52	062	Kontakt2,FE:F9:63:03:1E:81,-67	020009094b6f6e74616b7432	
12	23-08-2021 14:28:53	065	Kontakt2,FE:F9:63:03:1E:81,-67	020009094b6f6e74616b7432	
13	23-08-2021 14:28:54	073	Kontakt2,FE:F9:63:03:1E:81,-68	020009094b6f6e74616b7432	
14	23-08-2021 14:28:55	082	Kontakt2,FE:F9:63:03:1E:81,-73	020009094b6f6e74616b7432	
15	23-08-2021 14:28:56	084	Kontakt2,FE:F9:63:03:1E:81,-73	020009094b6f6e74616b7432	
16	23-08-2021 14:28:57	093	Kontakt2,FE:F9:63:03:1E:81,-74	020009094b6f6e74616b7432	
17	23-08-2021 14:28:58	097	Kontakt2,FE:F9:63:03:1E:81,-74	020009094b6f6e74616b7432	
18	23-08-2021 14:28:59	103	Kontakt2,FE:F9:63:03:1E:81,-73	020009094b6f6e74616b7432	
19					

Obrázek 12. Původní data

Následně tato data byla upravena do vhodného formátu pro grafické zobrazení. Byly stanoveny hodnoty síly signálu a odpovídající jim časy.

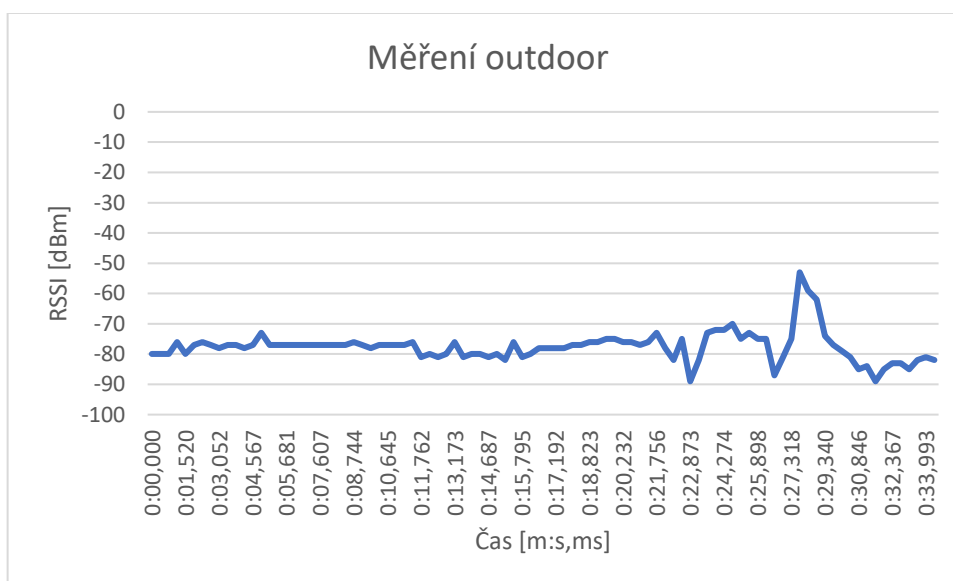


Obrázek 13. Grafický výstup laboratorního měření

Výstupem laboratorního měření byl graf (Obrázek 13), u kterého můžeme pozorovat nárůst hodnot síly přijímaného signálu v čase od 0:08,051 do 0:12,077. Co odpovídá časovému intervalu kdy mobil byl přemístěn ze vzdálenosti 2 m od beaconu do 1 m a následně vrácen do původního místa.

Závěrem laboratorního měření bylo to, že praktická data odpovídají teoretickým a takový systém lze použít pro následná měření.

Další etapou přípravy bylo provedení outdoor měření. Cílem takového měření bylo určení toho, jestli změřený průběh signálu nebude příliš zkreslen a bude odpovídat teoretickému, resp. hodnotám naměřeným v průběhu laboratorních měření.



Obrázek 14. Grafický výstup outdoor měření



Během měření v otevřeném prostoru byla zachována rychlost 10 km/h. Zařízení se pohybovalo kolem beaconu v čase 0:28,5. Co můžeme pozorovat prudkým nárůstem a následným poklesem hodnoty síly signálu v okolních časech (Obrázek 14).

Závěrem prvního venkovního měření bylo to, že praktické výstupy odpovídají teoretickým a navržený systém lze použít v otevřeném prostoru.

## 6.2. Měření

Praktické měření za účelem pořízení datových záznamu pro vytvoření nástroje a následné jeho testování bylo provedeno v ulici Dopplerova (Obrázek 15). Tato lokalita byla vybrána z důvodů prostorového uspořádání (široká přímá ulice), dopravního zatížení (slepá ulice s nízkou intenzitou provozu) a přístupnosti. Testování za účelem snížení rizika omezení nebo ohrožení provozu na komunikaci proběhlo v sobotu ráno 23.08.2021.



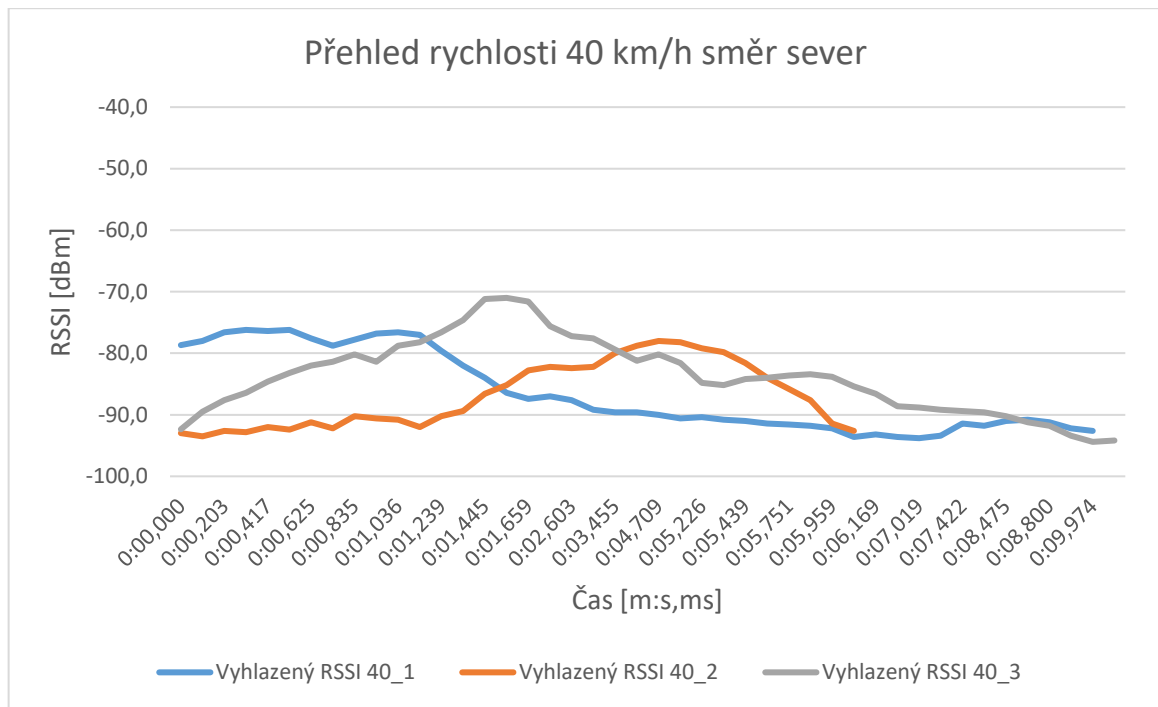
Obrázek 15. Poloha beaconu a oblast příjmu zpráv

Beacon byl umístěn uprostřed testovacího úseku zhruba 10 cm nad zemí. Pro přehlednější identifikaci polohy beaconu z pohybujícího vozidla, maják byl umístěn na barevně odlišný od okolního prostředí objekt. To by mělo přispět k přesnějšímu určení času průjezdu kolem beaconu.

Během testování vozidlo projelo testovací úsek dvakrát (z jihu na sever (dále jen „sever“) a ze severu na jih (dále jen „jih“)) pro každý pokus. Testování probíhalo v různých rychlostech. Tyto rychlosti byly zvoleny v rozsahu od 5 km/h do 50 km/h s odstupem 5 km/h. Pro každou rychlost byla provedena tři měření, celkem tedy bylo pořízeno 30 datových sad pro každý směr. Tato měření a pořízení datových vzorků sloužila především jako základ pro vytvoření modelu a další analýzu možností pro určení rychlosti.

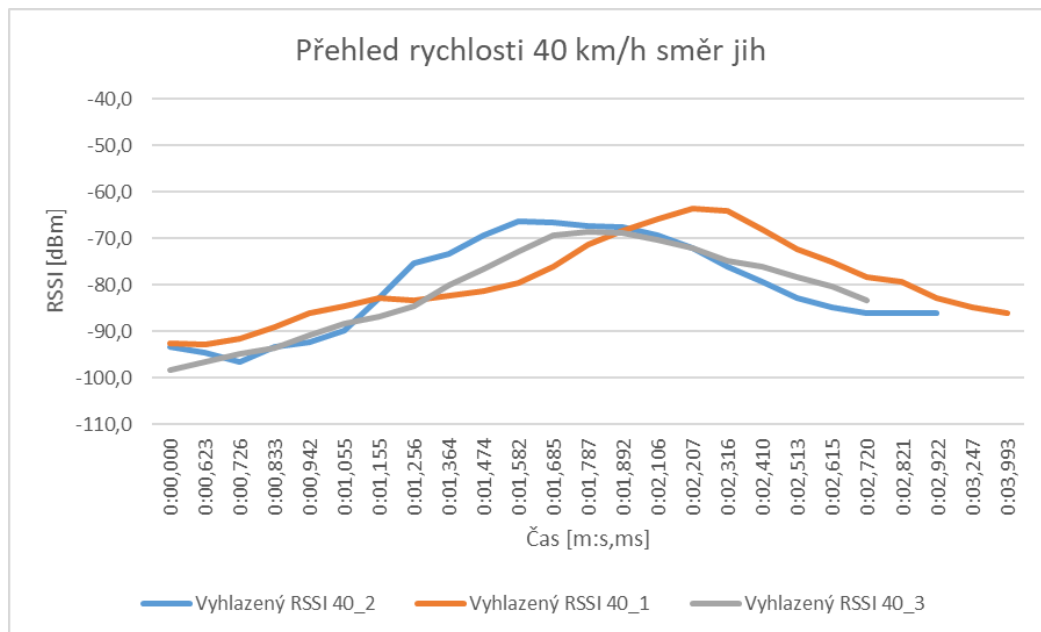
## 7. Analýza naměřených dat

Po sběru datových vzorků pro vytvoření modelu bylo rozhodnuto použít směr jih. Důvodem bylo to, že v tomto směru data různých pokusů pro stejnou rychlost mají největší shodu mezi sebou. Pro lepší grafické znázornění průběhu signálu RSSI byl vyhlazen pomocí plovoucího okénka o velikosti 5. Náhodné hodnoty signálů, které měly příliš velký časový odstup od ostatních (časový rozdíl od ostatních 2 vteřiny a víc), byly vymazány a neměly vliv na výsledek testování.



Obrázek 16. Průběh signálu při rychlosti 40 km/h pro směr sever

V případě prvního měření první hodnota síly signálu skoro maximální a pak následuje jenom pokles (Obrázek 16). Takový průběh neodpovídá teoretickému předpokladu, že se hodnota síly signálu bude nejprve zvyšovat a po průjezdu kolem beaconu bude síla signálu klesat, což může mít vliv na hodnocení rychlosti. U druhého a třetího měření takový problém nebyl identifikován, ale vzhledem k tomu že ostatní rychlosti mají podobný problém se směrem sever (špatný průběh signálu u jednoho měření), předpokládám drobný problém s šířením signálu pro směr sever.



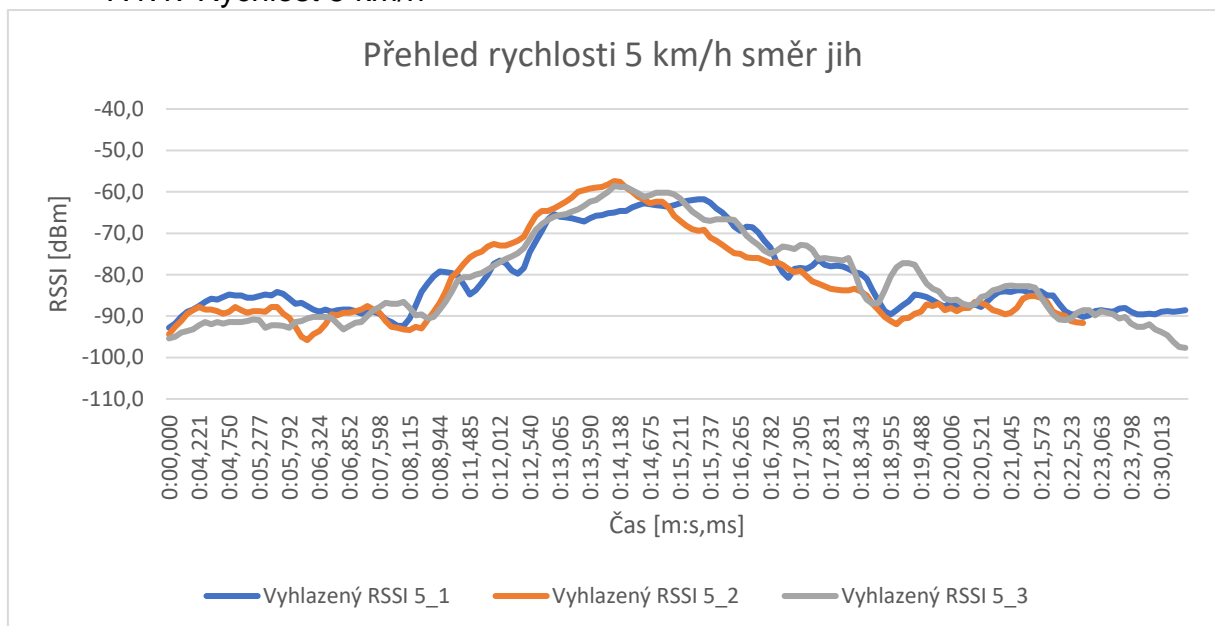
Obrázek 17. Průběh signálu při rychlosti 40 km/h pro směr jih

Pro směr jih takový problém nebyl nalezen (Obrázek 17). Všechny grafy mají konkávní průběh. U všech měření pozorujeme oblast, kde hodnoty síly signálu stoupají a pak klesají. Proto bylo rozhodnuto pro vytvoření modelu použít směr jih.

### 7.1. Analýza dat pro jednotlivá měření

Za účelem vytvoření modelu byly pořízeny několik vzorku pro každou rychlost. Pak z nich byl vybrán nejlepší pro výsledný model. Daný vzorek byl vybrán na základě vykreslené křivky síly signálu. Kritériem sloužila shoda praktického a teoretického průběhu.

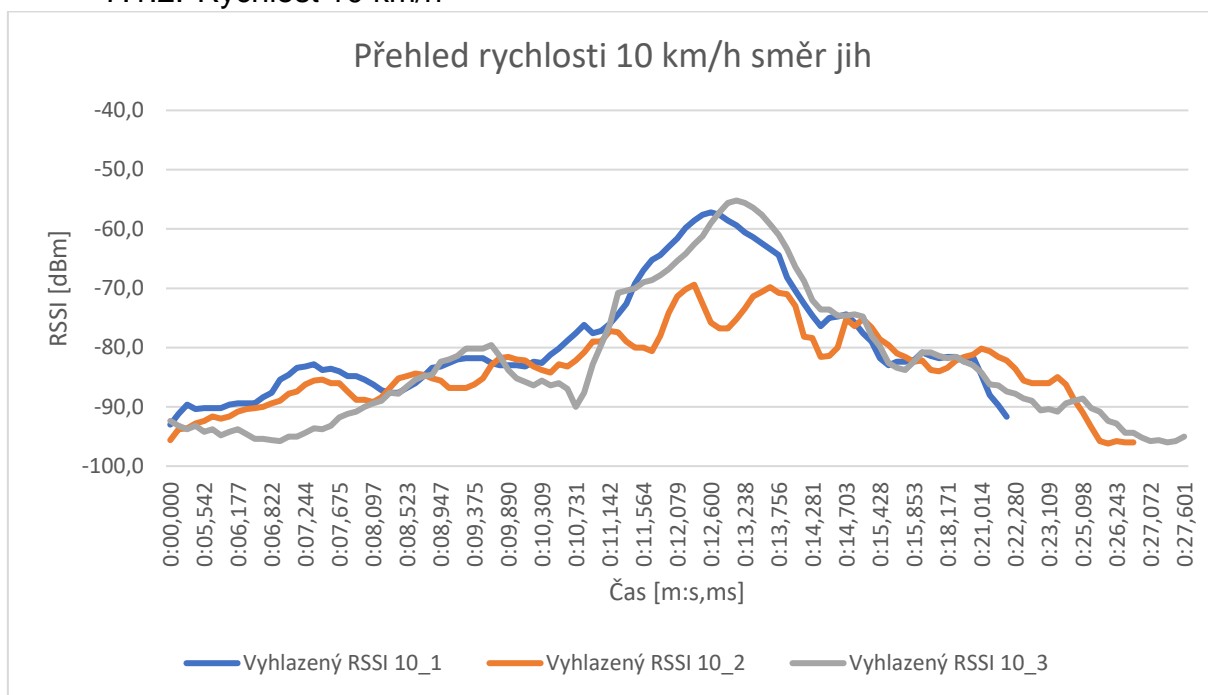
#### 7.1.1. Rychlost 5 km/h



Obrázek 18. Průběh signálu při 5 km/h směr jih

Průběh signálu při rychlosti 5 km/h pro směr jih (Obrázek 18) ve všech případech velice podobný. Co má za následek přesné určení takové rychlosti v konečném modelu.

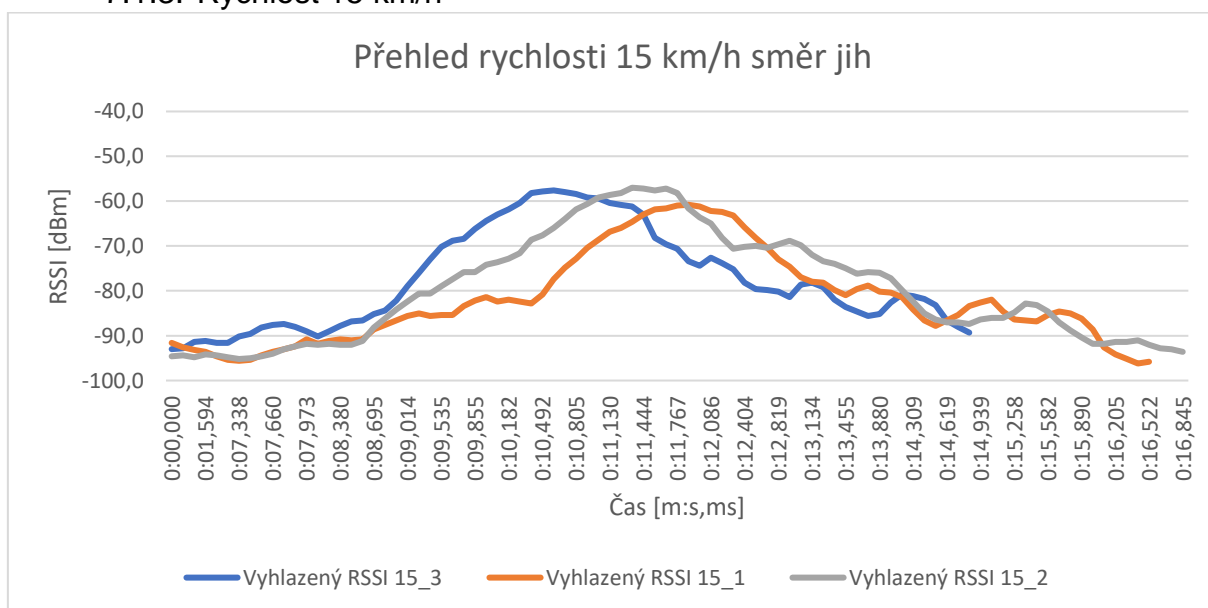
### 7.1.2. Rychlost 10 km/h



Obrázek 19. Průběh signálu při 10 km/h směr jih

Průběh signálu při rychlosti 10 km/h pro směr jih (Obrázek 19) v případě prvního a třetího měření velice podobné. U druhého měření nemůžeme pozorovat přesně definovanou maximální hodnotu, ale oblast maximálních hodnot odpovídá oblastem maximálních hodnot u ostatních měření.

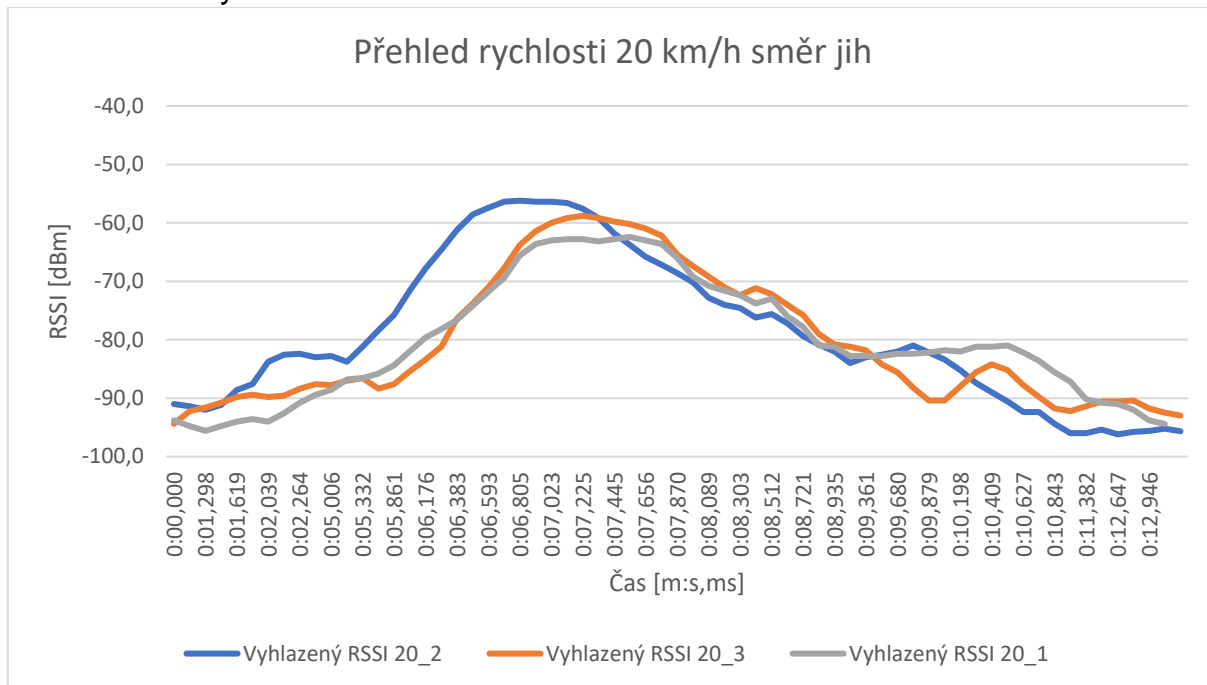
### 7.1.3. Rychlost 15 km/h



Obrázek 20. Průběh signálu při 15 km/h směr jih

Průběh signálu při rychlosti 15 km/h (Obrázek 20) u všech měření shodný. Ale v případě dané rychlosti (a u všech větších) pozorujeme malé rozdíly v časech objevení maximálních hodnot signálu. To bude mít vliv na výsledný model.

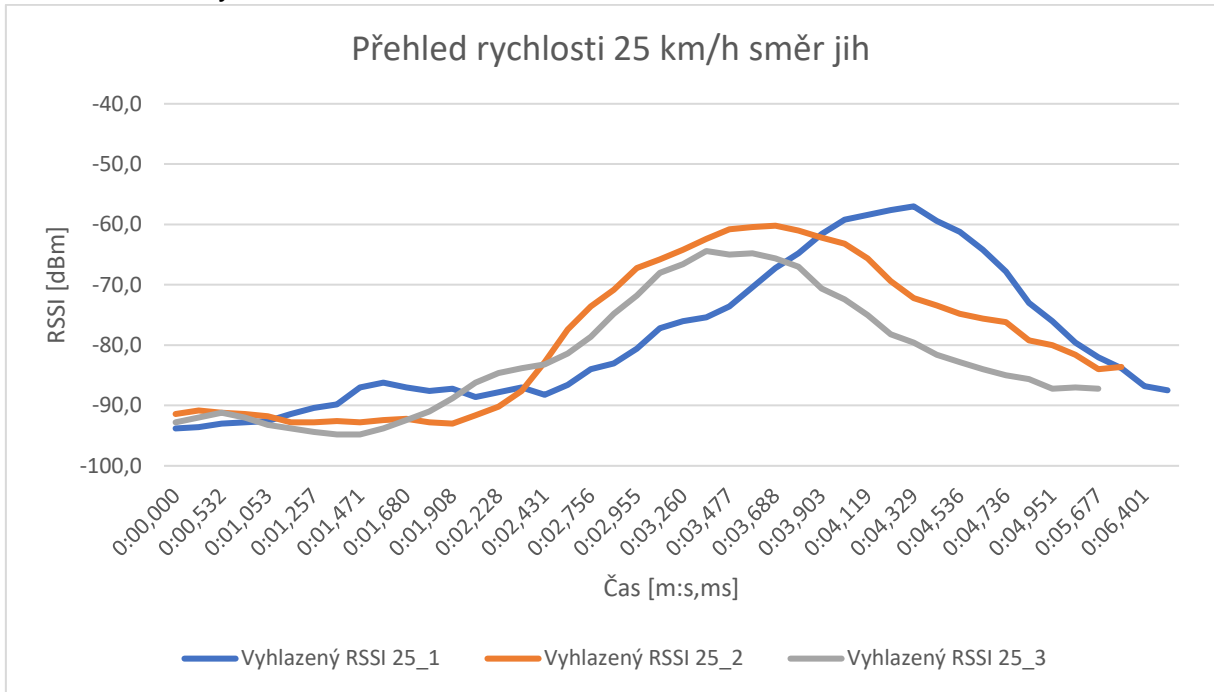
#### 7.1.4. Rychlost 20 km/h



Obrázek 21. Průběh signálu při 20 km/h směr jih

Průběh signálu při rychlosti 20 km/h (Obrázek 21) stejný u všech měření. Dokonce u třetího a prvního měření došlo k vyskytnutí maximálních hodnot ve stejný čas.

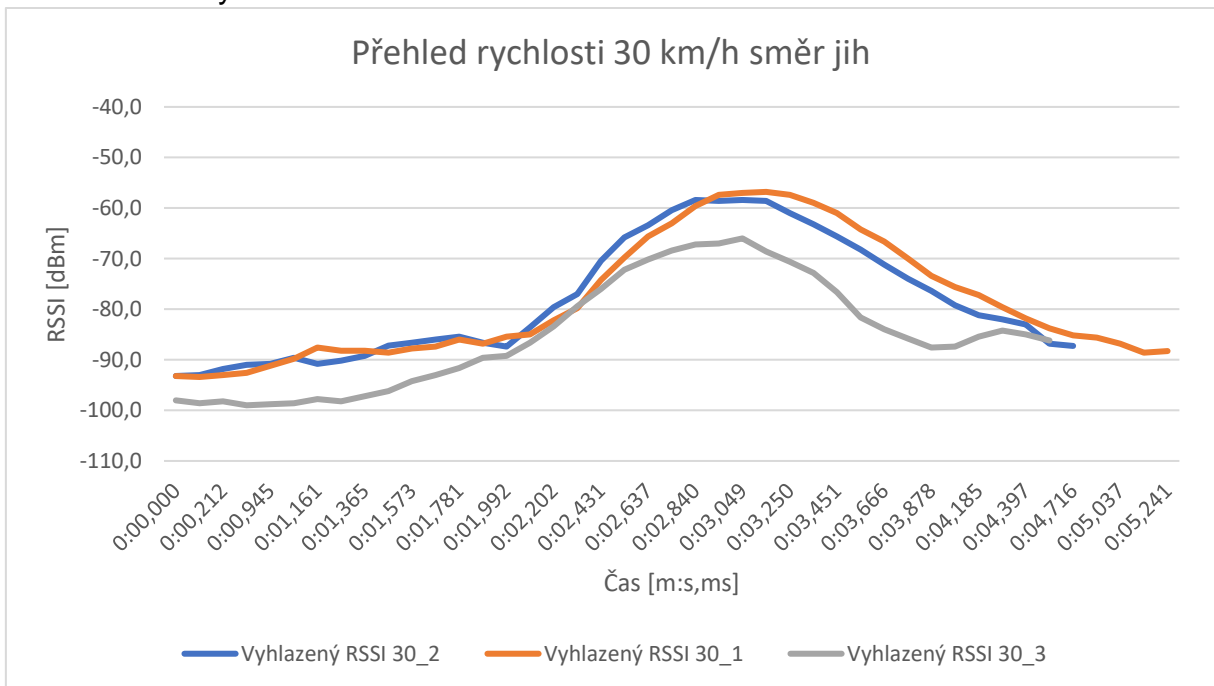
### 7.1.5. Rychlost 25 km/h



Obrázek 22. Průběh signálu při 25 km/h směr jih

Průběh signálu při rychlosti 25 km/h (Obrázek 22) podobný u všech měření. Rozdíl pozorujeme u prvního měření, kde maximální hodnota RSSI nabývá o vteřinu později. Odlišnost této rychlosti od předcházejících v tom, že maximální hodnoty signálu nabývají ve druhé polovině grafu. Zatímco u ostatních maximum byl většinou uprostřed.

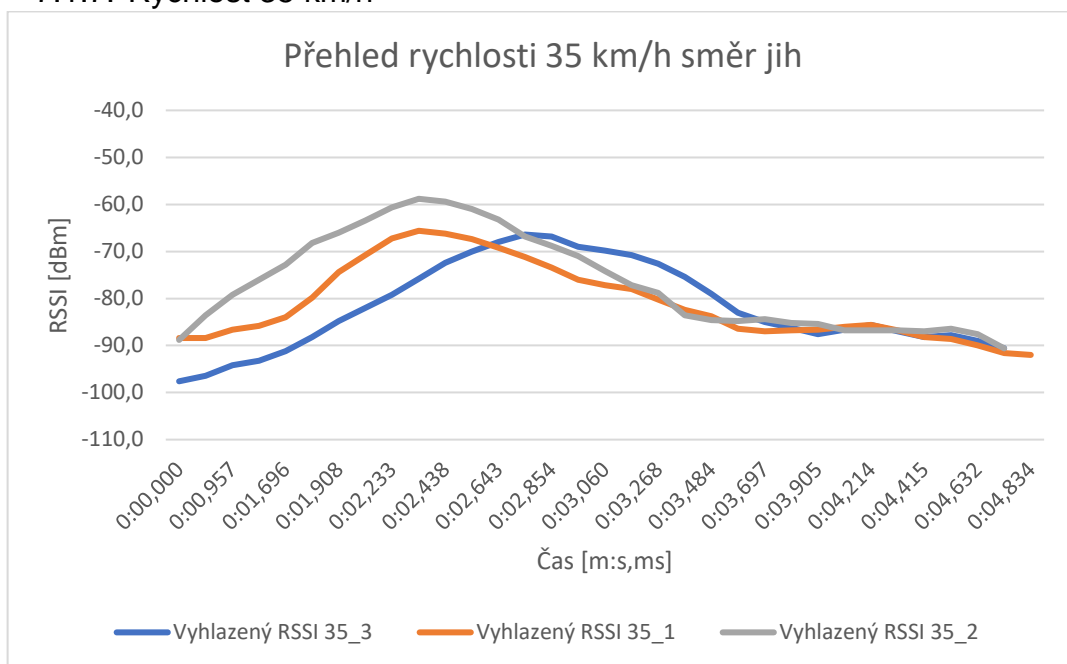
### 7.1.6. Rychlost 30 km/h



Obrázek 23. Průběh signálu při 30 km/h směr jih

Průběh signálu při rychlosti 30 km/h (Obrázek 23) stejný u všech měření. Jenom u třetího měření maximální hodnota menší než u ostatních.

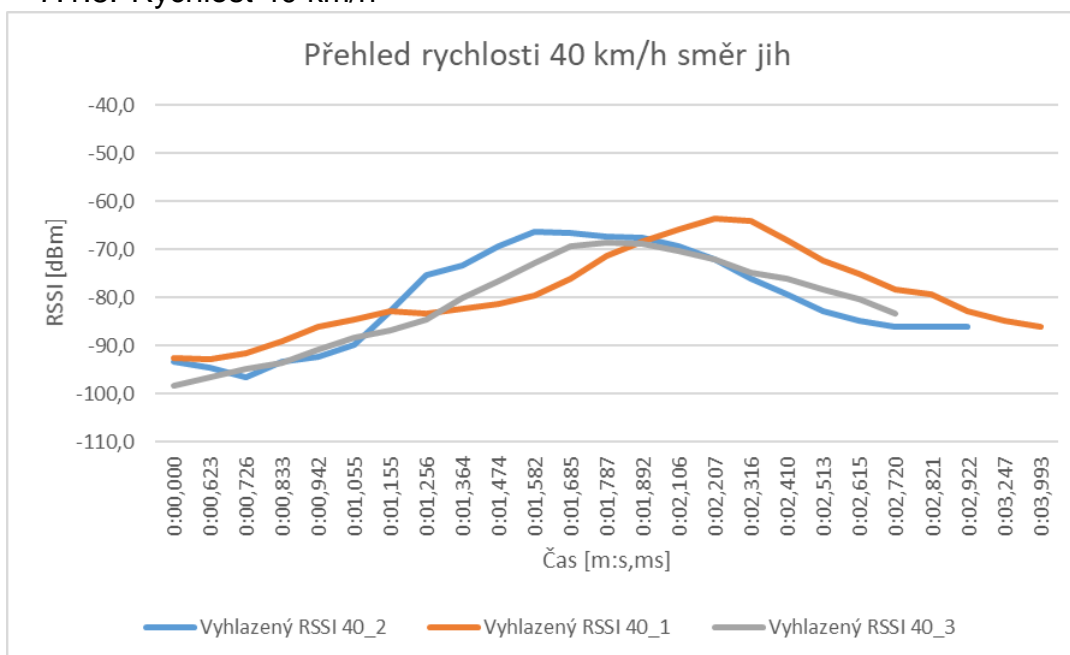
### 7.1.7. Rychlost 35 km/h



Obrázek 24. Průběh signálu při 35 km/h směr jih

Průběh signálu při rychlosti 35 km/h (Obrázek 24) odpovídá teoretickému. Oproti rychlosti 30 km/h můžeme pozorovat rychlejší nárůst hodnot síly signálu.

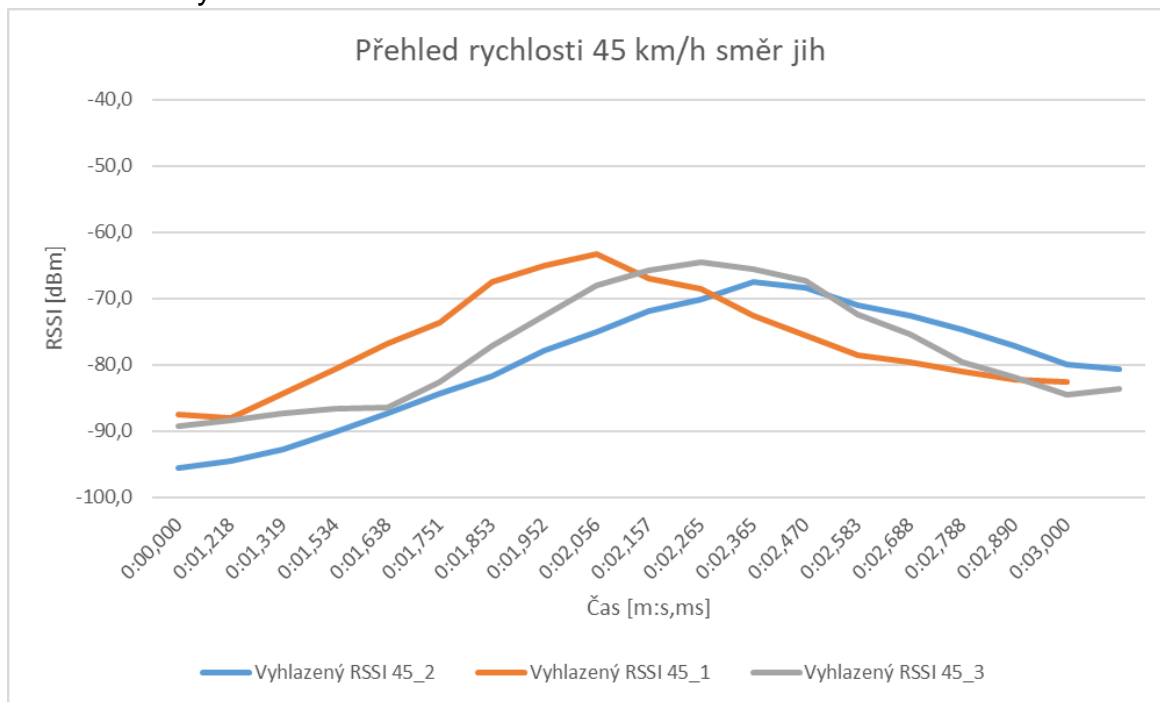
### 7.1.8. Rychlost 40 km/h



Obrázek 25. Průběh signálu při 40 km/h směr jih

Průběh signálu při rychlosti 40 km/h (Obrázek 25) odpovídá teoretickému. U prvního a třetího měření pozorujeme výskyt maximálních hodnot síly signálu ve druhé polovině grafu. Důvodem takového posunu může sloužit příliš rychle opuštění oblasti dosahu beaconu přijímacím zařízením v autě.

### 7.1.9. Rychlost 45 km/h

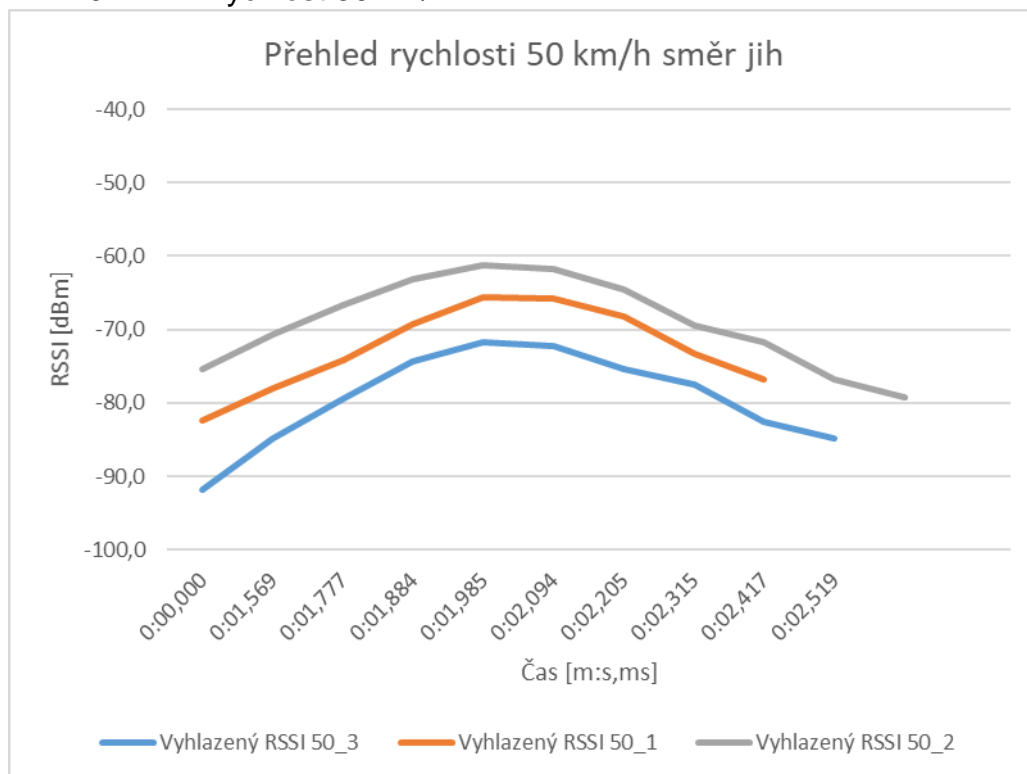


Obrázek 26. Průběh síly signálu při 45 km/h směr jih

Průběh signálu při rychlosti 45 km/h (Obrázek 26) odpovídá teoretickému. Minimální časový rozdíl mezi maximálními hodnoty RSSI.



### 7.1.10. Rychlost 50 km/h

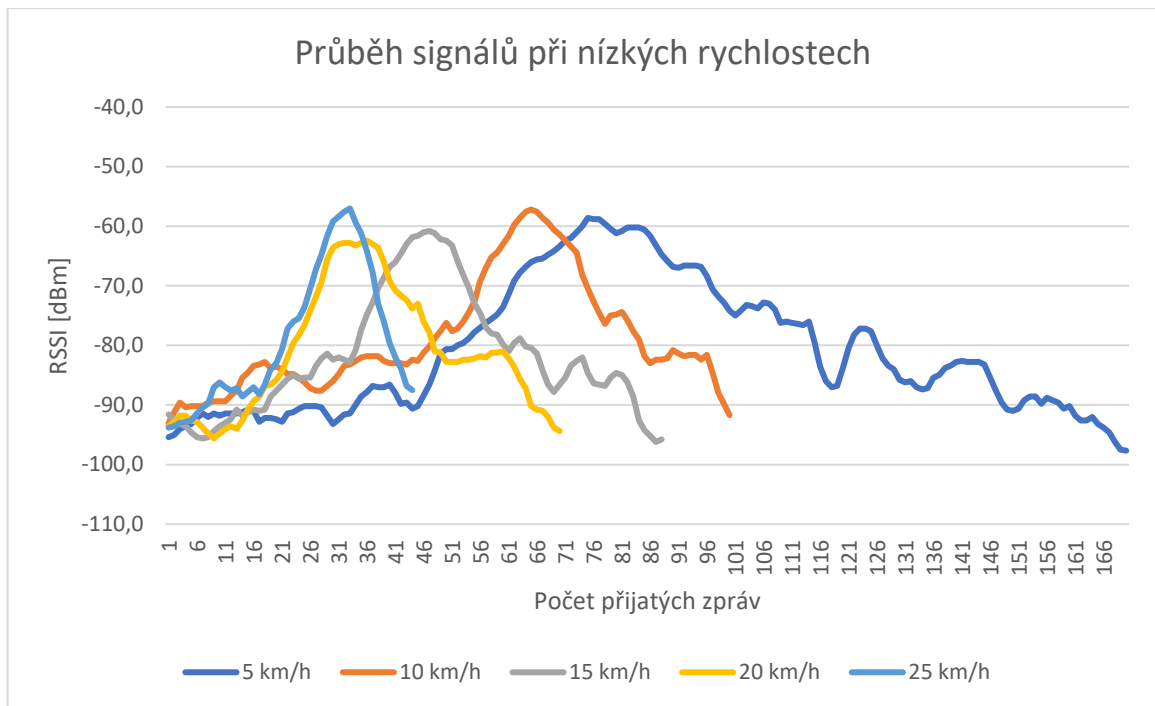


Obrázek 27. Průběh síly signálu při 50 km/h směr jih

Průběh síly signálu při rychlosti 50 km/h (Obrázek 27) signálu odpovídající teoretickému. U všech měření pozorujeme výskyt maximálních hodnot RSSI ve stejný čas. Ale tato hodnota u všech měření odlišná.

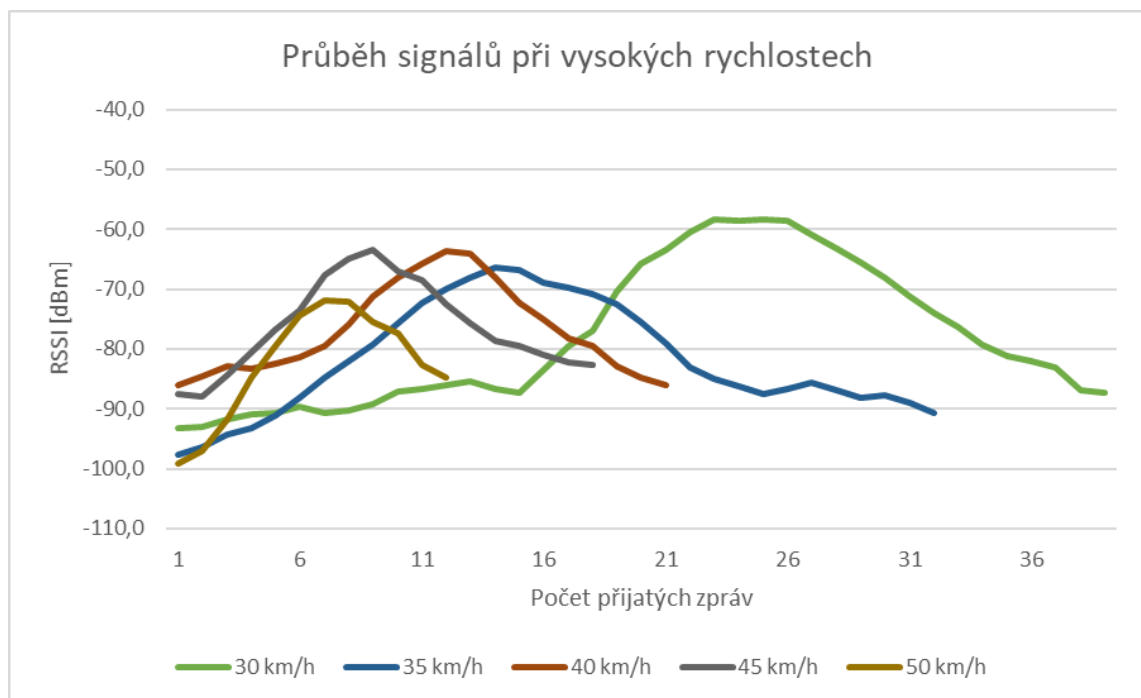
### 7.2. Výsledky analýzy

Způsobem provedení analýzy může sloužit grafické znázornění průběhu RSSI neznámé rychlosti. Ale taková metoda slouží pouze pro orientační představu jakých hodnot nabývá neznámá rychlost.



Obrázek 28. Průběh RSSI při nízkých rychlostech

V případě nízké rychlosti (do 20 km/h) lze snadno odlišit každou rychlost pomocí grafu (Obrázek 28). Přesto jsou průběhy rychlosti 25 km/h a 20 km/h velice podobné. Pravděpodobně to způsobeno tím, že rychloměr uvnitř vozidla má určitou chybu a řidič jel skoro stejnou rychlostí v obou případech. Jediný zřejmý rozdíl na grafech mezi 20 km/h a 25 km/h je to že při vyšší rychlosti bylo zaznamenán menší počet přijatých zpráv.



Obrázek 29. Průběh RSSI při vysokých rychlostech

Při vysokých rychlostech grafy umístěny s větší hustotou, proto grafické rozlišení jednotlivých rychlostí není tak jednoduché jako v případě nižších rychlostí (Obrázek 29).

Ale můžeme pozorovat dodržení už známého principu. Čím větší rychlost, tím rychleji RSSI nabývá maximálních hodnot. Proto byly definovány následující časy, jako kritérium, které může sloužit k praktickému porovnání různých rychlostí:

- Čas X (od počátku do prostředku úseku) shoduje s teoretickými předpoklady. Postupně zmenšuje od vyšších hodnot rychlosti k nižším.
- Čas Y (od prostředku úseku do konce) shoduje s teoretickým u všech rychlostí. Podobně jako čas X postupně zmenšuje od vyšších hodnot rychlosti k nižším.

Dále je porovnáván počet přijímaných zpráv, kde z logiky věci vyplývá, že při vyšší rychlosti by měl klesat počet přijatých zpráv.

Na základě počtu přijímaných zpráv a hodnot X a Y byla vytvořena referenční tabulka (Tabulka 3).

*Tabulka 3. Referenční tabulka*

Rychlost (km/h)	Počet zpráv	X (m:s,ms)	Y (m:s,ms)
5	170	0:14,031	0:22,811
10	100	0:08,541	0:14,954
15	88	0:07,680	0:08,182
20	70	0:07,562	0:05,488
25	44	0:04,329	0:02,173
30	39	0:03,765	0:02,031
35	32	0:02,746	0:01,989
40	25	0:02,615	0:01,378
45	18	0:02,056	0:00,944
50	12	0:01,985	0:00,534

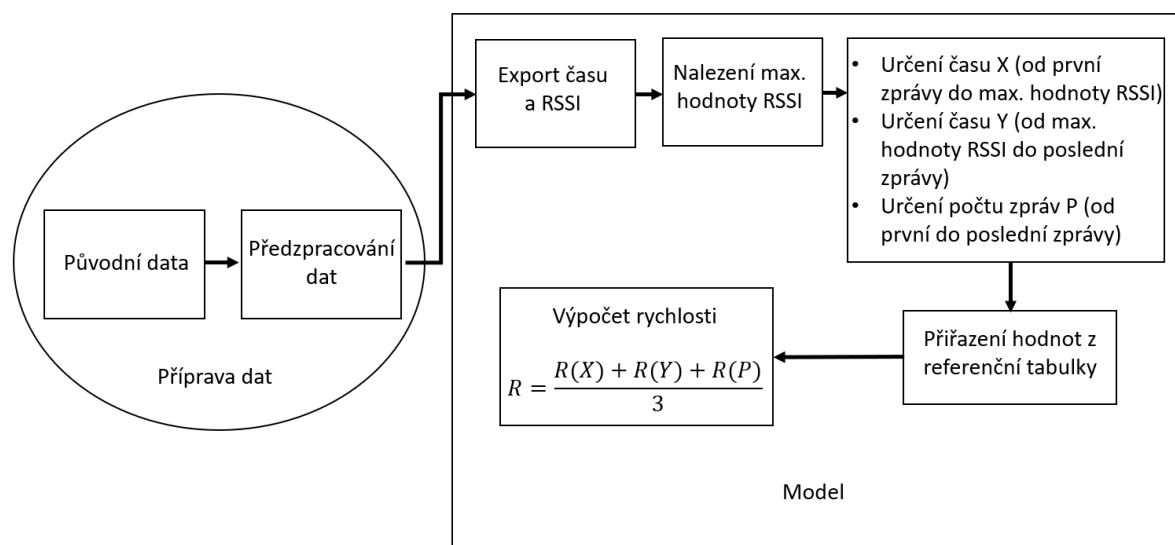
U všech rychlostí údaje o počtu přijímaných zpráv odpovídají teoretickým hodnotám. Čím větší rychlost bude mít vozidlo při průjezdu testovacím úsekem, tím menší počet zpráv obdrží.

Korelace mezi časy X a Y není úplně jasná. Při rychlostech 5, 10 a 15 km/h větší čas pozorujeme u Y. Při vyšších rychlostech 20 až 50 km/h Y nabývá větších hodnot.

## 8. Vytvoření modelu

Za účelem vytvoření výsledného modelu, podle kterého by se dala určovat rychlost vozidla, z každé rychlosti byl vybrán nejvhodnější průběh signálu. Čím větší rychlosti projede vozidlo testovací úsek, tím rychleji síla signálu nabývá maximální hodnoty. Mělo by to fungovat i v opačném směru. Čím rychleji vozidlo přestane přijímat signál po obdržení maximální hodnoty, tím větší rychlosti opouští testovací úsek. Na základě takového principu byla posuzována vhodnost dat jednotlivých měření k použití ve výsledném modelu.

Tento model a jeho princip fungování je popsán na níže uvedeném obrázku (Obrázek 30).



Obrázek 30. Návrh metodiky

Na základě času od počátku příjmu (minimální hodnota RSSI) signálu do průjezdu vozidla v blízkosti beaconu (v takový okamžik RSSI nabývá maximální hodnoty) byl zaveden čas X. Jedná se tedy o časový rozdíl mezi okamžikem příjmu první zprávy po dobu příjmu zprávy s maximální hodnotou RSSI.

Pro čas od průjezdu vozidla v blízkosti beaconu (nalezení času spojeno s maximální hodnotou RSSI) do konce příjmu zpráv byl zaveden čas Y. Jedná se tedy o časový rozdíl mezi okamžikem příjmu zprávy s maximální hodnotou RSSI po dobu, kdy byla přijata poslední zpráva.

Další hodnotou, podle které lze odlišit jednotlivé rychlosti, je počet přijatých zpráv.

Podle následujícího vzorce bude vypočtena rychlost:

$$R = \frac{R(X) + R(Y) + R(P)}{3}$$

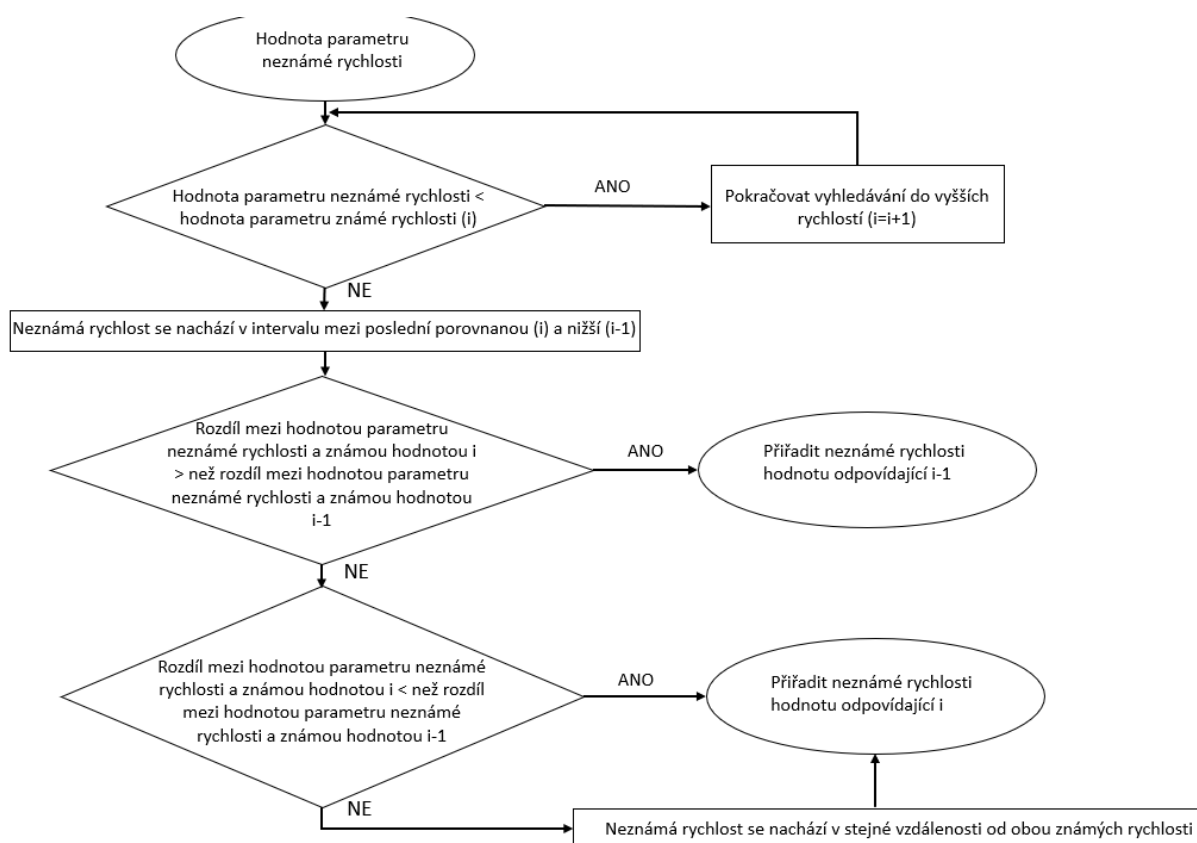
kde:  $R(X)$  – přiřazená hodnota rychlosti podle času X

$R(Y)$  – přiřazená hodnota rychlosti podle času  $Y$

$R(P)$  – přiřazená hodnota rychlosti podle celkového počtu přijatých zpráv

$R$  – neznámá rychlost

Princip, jakým způsobem je přiřazována hodnota rychlosti z referenční tabulky, je znázorněn na následujícím obrázku (Obrázek 31).



Obrázek 31. Pravidla přiřazení rychlosti

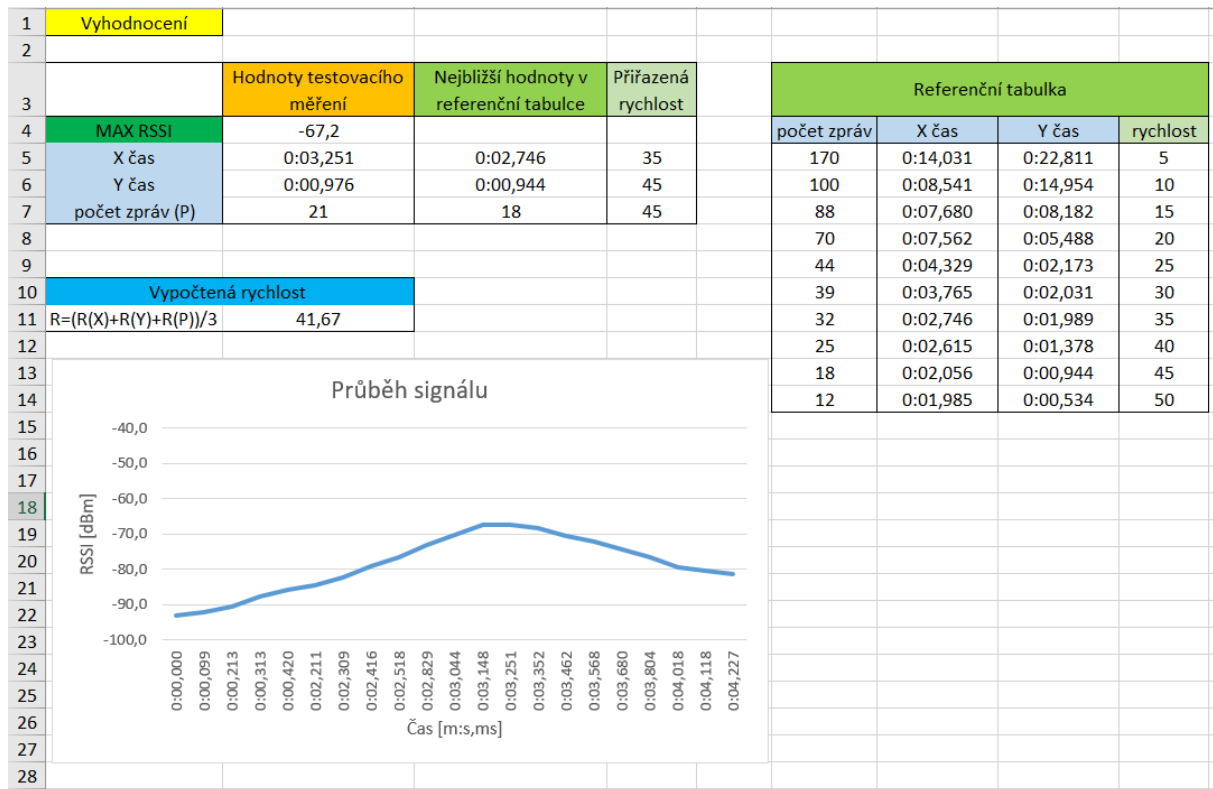
Podle každého parametru, neznámé rychlosti bude přiřazena jedna z předdefinovaných hodnot z referenční tabulky, která byla vytvořena na základě dat z měření. Výběr z předem známých hodnot bude na základě nejmenšího rozdílu od pořízeného parametru. V případě, že neznámý parametr bude mít hodnotu přesně uprostřed intervalu mezi dvěma referenčními hodnotami, bude mu přiřazena hodnota odpovídající větší rychlosti.

Vytvořený model se skládá ze dvou rozhrání. Do prvního rozhrání vkládáme předzpracovaná data. Už tady můžeme přehledně pozorovat, jak se mění hodnota síly signálu (Obrázek 32).

1	Předzpracovaná data	
2	Čas [m:s,ms]	RSSI [dBm]
3	0:00,000	-93,0
4	0:00,099	-92,2
5	0:00,213	-90,4
6	0:00,313	-87,6
7	0:00,420	-85,8
8	0:02,211	-84,4
9	0:02,309	-82,4
10	0:02,416	-79,0
11	0:02,518	-76,4
12	0:02,829	-73,0
13	0:03,044	-70,2
14	0:03,148	-67,4
15	0:03,251	-67,2
16	0:03,352	-68,4
17	0:03,462	-70,4
18	0:03,568	-72,2
19	0:03,680	-74,4
20	0:03,804	-76,6
21	0:04,018	-79,4
22	0:04,118	-80,5
23	0:04,227	-81,3
24		

Obrázek 32. Model rozhraní 1

Ve druhém rozhraní pozorujeme vyhodnocení původních dat, výsledky přiřazení hodnot rychlosti podle jednotlivých parametrů a průběh signálu (Obrázek 33).



Obrázek 33. Model rozhraní 2

## 9. Hodnocení

Pro testování výsledného modelu byly použity tři datové sady. První sada odpovídá nízké rychlosti, druhá vysoké, třetí průměrné.

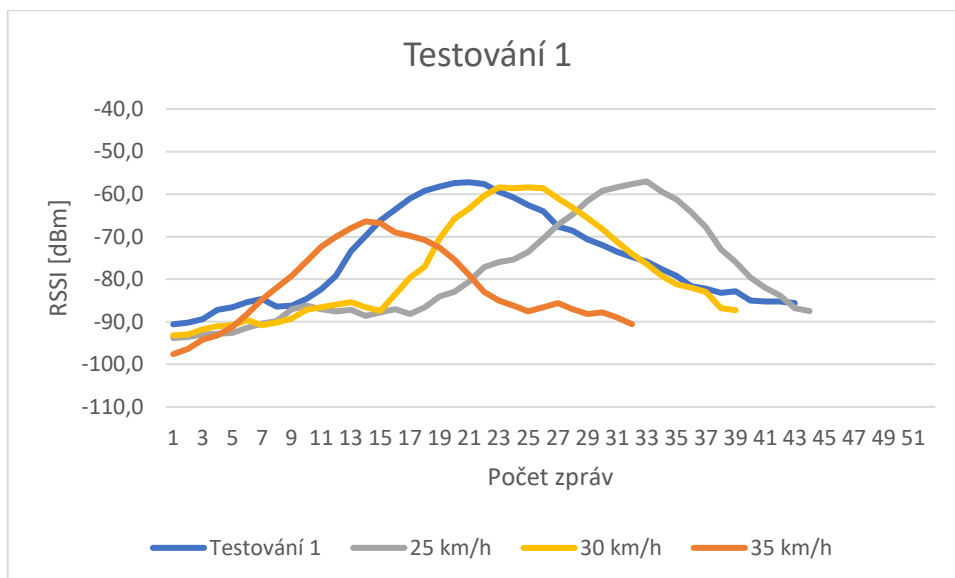
### 9.1. Testovací měření

První měření odpovídá nižší rychlosti. Z původní datové sady byly získány hodnoty síly signálu a odpovídající jim časy. Výstupem prvního měření byla datová sada, která po úpravě vypadala následovně (Obrázek 34).

2	čas [m:s,ms]	RSSI [dBm]
3	0:00,000	-90,6
4	0:00,424	-90,2
5	0:01,382	-89,4
6	0:01,793	-87,2
7	0:02,001	-86,6
8	0:02,101	-85,4
9	0:02,203	-84,6
10	0:02,306	-86,4
11	0:02,412	-86,2
12	0:02,516	-84,6
13	0:02,620	-82,4
14	0:02,718	-79,2
15	0:02,817	-73,4
16	0:02,924	-69,8
17	0:03,027	-66,2
18	0:03,137	-63,6
19	0:03,242	-61,0
20	0:03,348	-59,2
21	0:03,446	-58,2
22	0:03,555	-57,4
23	0:03,663	-57,2
24	0:03,773	-57,6
25	0:03,879	-59,4
26	0:03,980	-60,8
27	0:04,088	-62,6
28	0:04,192	-64,0

Obrázek 34. Upravená data prvního měření

Po zpracování původních dat, byl vytvořen takový graf. Do grafu byly manuálně přidány průběhy známých rychlostí, které, podle autorského hlediska, měly největší shodu s neznámým průběhem (Obrázek 35).



Obrázek 35. První testovací měření

Na výsledném grafu můžeme pozorovat, že průběh hodnot pro neznámou rychlost se nachází mezi známými rychlostmi 30 a 35 km/h. Podle zobrazení by šlo posoudit, že neznámá rychlost je něco kolem 32 km/h.

Dalším krokem je použití části referenční tabulky (Tabulka 4).

Tabulka 4. Hodnoty parametrů pro neznámou rychlost 1

Rychlost (km/h)	Počet zpráv	X (m:s,ms)	Y (m:s,ms)
Testování 1	43	0:03,663	0:02,395
25	44	0:04,329	0:02,173
30	39	0:03,765	0:02,031
35	32	0:02,746	0:01,989

Za použitím předem definovaných pravidel podle každého parametrů byla jednoznačně přiřazena rychlost (Tabulka 5).

Tabulka 5. Přiřazení hodnot pro neznámou rychlost 1

	Hodnoty testovacího měření	Nejbližší hodnoty v referenční tabulce	Přiřazena rychlost
MAX RSSI	-57,2		
X čas	0:03,663	0:03,765	30
Y čas	0:02,395	0:02,173	25
Počet zpráv (P)	43	44	25



Podle hodnoty X neznámé rychlosti byla přiřazena hodnota 30 km/h.

Podle hodnoty Y neznámá rychlost byla přiřazena hodnota 25 km/h.

Podle počtu přijatých zpráv neznámé rychlosti byla přiřazena hodnota 25 km/h.

Výstup je takový že podle dvou parametru neznámý rychlost by měla být 25 km/h (čas Y a P) a podle jednoho 30 km/h (čas X).

Po dosazování hodnot do vzorku:

$$R = \frac{30 + 25 + 25}{3} = 26,67 \text{ km/h}$$

Ve skutečnosti to byla hodnota 27 km/h.

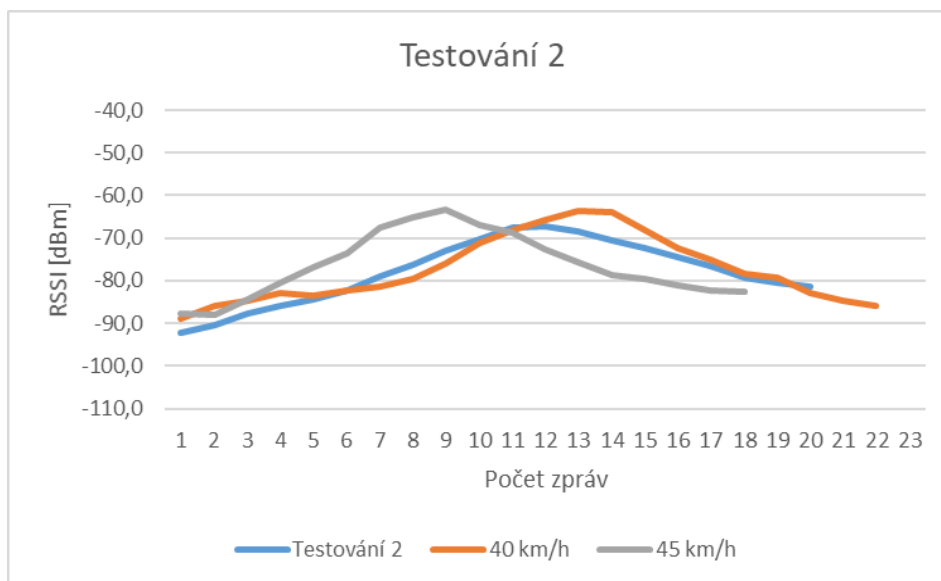
V případě prvního měření pozorujeme výpočet neznámé rychlost s vysokou přesností.

Druhé měření odpovídá vyšší rychlosti. Z původní datové sady byly získány hodnoty síly signálu a odpovídající jim časy. Výstupem druhého měření byla datová sada, která po úpravě vypadala následovně (Obrázek 36).

2	čas [m:s,ms]	RSSI [dBm]
3	0:00,000	-93,0
4	0:00,099	-92,2
5	0:00,213	-90,4
6	0:00,313	-87,6
7	0:00,420	-85,8
8	0:02,211	-84,4
9	0:02,309	-82,4
10	0:02,416	-79,0
11	0:02,518	-76,4
12	0:02,829	-73,0
13	0:03,044	-70,2
14	0:03,148	-67,4
15	0:03,251	-67,2
16	0:03,352	-68,4
17	0:03,462	-70,4
18	0:03,568	-72,2
19	0:03,680	-74,4
20	0:03,804	-76,6
21	0:04,018	-79,4
22	0:04,118	-80,5
23	0:04,227	-81,3

Obrázek 36. Upravená data druhého měření

Po zpracování původních dat, byl vytvořen takový graf. Do grafu byly manuálně přidány průběhy známých rychlostí, které, podle autorského hlediska, měly největší shodu s neznámým průběhem (Obrázek 37).



Obrázek 37. Druhé testovací měření

Na výsledném grafu můžeme pozorovat, že průběh hodnot RSSI má velkou shodu s průběhem při známé rychlosti 40 km/h. Podle grafického zobrazení by šlo říct, že neznámá rychlost je 40 km/h.

Dalším krokem v určení neznámé rychlosti je použití části referenční tabulky (Tabulka 6).

Tabulka 6. Hodnoty parametrů pro neznámou rychlost 2

Rychlost (km/h)	Počet zpráv	X (m:s,ms)	Y (m:s,ms)
Testování 2	21	0:03,251	0:00,976
35	32	0:02,746	0:01,989
40	25	0:02,615	0:01,378
45	18	0:02,056	0:00,944

Za použitím předem definovaných pravidel podle každého parametrů byla jednoznačně přiřazena rychlost (Tabulka 7).

Tabulka 7. Přiřazení hodnot pro neznámou rychlost 2

	Hodnoty testovacího měření	Nejbližší hodnoty v referenční tabulce	Přiřazena rychlost
MAX RSSI	-67,2		
X čas	0:03,251	0:02,746	35
Y čas	0:00,976	0:00,944	45
Počet zpráv (P)	21	18	45

Pro parametr X byla přiřazena rychlost 35 km/h.

Podle parametru Y byla přiřazena rychlost 45 km/h.

Podle počtu přijatých zpráv neznáme rychlosti byla přiřazena hodnota 45 km/h.

Po dosazování hodnot do vzorku:

$$R = \frac{35 + 45 + 45}{3} = 41,67 \text{ km/h}$$

Ve skutečnosti to byla rychlost 43 km/h.

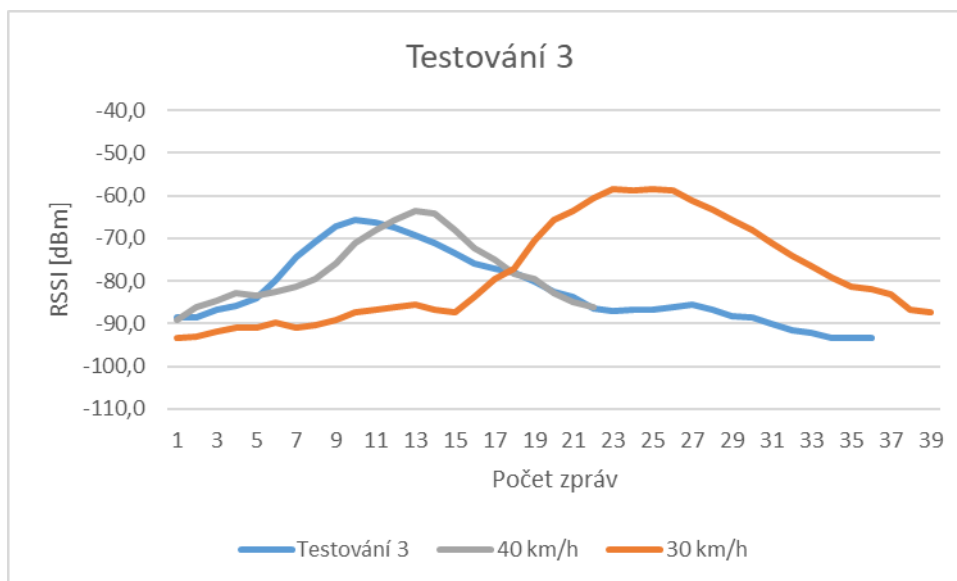
V případě druhého testovacího měření výsledek výpočtu odpovídá praktický změřenému.

Třetí měření bylo provedeno při „střední“ rychlosti. Z původní datové sady byly získány hodnoty síly signálu a odpovídající jim časy. Výstupem třetího měření byla datová sada, která po úpravě vypadala následovně (Obrázek 38).

2	čas [m:s,ms]	RSSI [dBm]
3	0:00,000	-88,4
4	0:00,107	-88,4
5	0:00,535	-86,6
6	0:00,636	-85,8
7	0:00,746	-84,0
8	0:00,845	-79,8
9	0:00,955	-74,4
10	0:01,169	-70,8
11	0:01,274	-67,2
12	0:01,376	-65,6
13	0:01,480	-66,2
14	0:01,591	-67,4
15	0:01,698	-69,2
16	0:01,808	-71,2
17	0:01,908	-73,4
18	0:02,031	-76,0
19	0:02,129	-77,2
20	0:02,224	-78,0
21	0:02,327	-80,2
22	0:02,426	-82,4
23	0:02,529	-83,8
24	0:02,630	-86,4
25	0:02,843	-87,0
26	0:02,957	-86,8
27	0:03,056	-86,6
28	0:03,160	-86,0
29	0:03,361	-85,6

Obrázek 38. Upravená data třetího měření

Po zpracování původních dat, byl vytvořen takový graf. Do grafu byly manuálně přidány průběhy známých rychlostí, které, podle autorského hlediska, měly největší shodu s neznámým průběhem (Obrázek 39).



Obrázek 39. Třetí testovací měření

Na začátku výsledného grafu můžeme pozorovat prudký nárůst hodnot RSSI. Pak následuje pomalý pokles hodnot síly signálu. Z hlediska max. RSSI neznámá rychlost odpovídá 40 km/h. Ale podle celkového počtu přijatých zpráv, nejbližší rychlost ze známých je 30 km/h. Podle zobrazení by šlo posoudit, že neznámá rychlost je mezi 30 a 40 km/h.

Dalším krokem v určení neznámé rychlosti je použití části referenční tabulky (Tabulka 8).

Tabulka 8. Hodnoty parametrů pro neznámou rychlost 3

Rychlost (km/h)	Počet zpráv	X (m:s,ms)	Y (m:s,ms)
Testování 3	36	0:01,985	0:08,182
30	39	0:03,765	0:02,031
35	32	0:02,746	0:01,989
40	25	0:02,615	0:01,378

Za použitím předem definovaných pravidel podle každého parametrů byla jednoznačně přiřazena rychlost (Tabulka 9).

Tabulka 9. Přiřazení hodnot pro neznámou rychlost 3

	Hodnoty testovacího měření	Nejbližší hodnoty v referenční tabulce	Přiřazena rychlost
MAX RSSI	-65,6		
X čas	0:01,376	0:01,985	50
Y čas	0:08,542	0:08,182	15
počet zpráv (P)	36	39	30

Podle hodnoty X neznámé rychlosti byla přiřazena hodnota 50 km/h.

Podle hodnoty Y neznámá rychlost byla přiřazena hodnota 15 km/h.

Podle počtu přijatých zpráv neznámé rychlosti byla přiřazena hodnota 30 km/h.

Výstup je takový že podle každého parametru vychází jiná rychlost.

Po dosazování hodnot do vzorku:

$$R = \frac{50 + 15 + 30}{3} = 31,67 \text{ km/h}$$

Ve skutečnosti to byla hodnota 37 km/h.

V případě třetího měření podle každého parametru byla přiřazena různá rychlost. Dokonce vidíme velký rozdíl mezi zvolenými rychlostmi. Přesto celkový výsledek nemá tak velkou chybu, jak by šlo očekávat na počátku analýzy (pouze 5,33 km/h). Ale vzhledem k ostatním měřením tato odchylka je násobně větší.

## 9.2. Výsledky testovacího měření

Výsledky testování ukazují na relativně velkou odchylku vypočtených hodnot rychlosti od reálných.

V případě prvního testování pozorujeme odchylku pouze o 0,33 km/h.

Pro druhé testování odchylka vypočtené hodnoty od faktické činí 1,33 km/h.

Třetí měření mělo odchylku 5,33 km/h.

Vzhledem k tomu, že v referenční tabulce rychlosti odlišný o 5 km/h takové chyby u prvních dvou měření by šlo očekávat.

V třetím případě rozdíl mezi reálnou a vypočtenou rychlostí větší, než tolerance zařízení určování rychlosti v ČR (3 km/h). Z toho plyne, že takový systém by šlo použít ve skutečném provozu pouze pro orientační odhad rychlosti.

## 9.3. Možnosti dalšího rozvoje

Přesto že navržený systém spolehlivé výsledky, však existuje hodně možnosti jeho vylepšení.

Jako první, může být použiti několika majáku. S použitím většího počtu majáků průběhy signálů budou přesnější, ale nemůžeme zvětšovat množství beaconu do nekonečna. Optimální počet majáků je 3 (princip trilaterace jako u GPS) [9]. Následovné zvětšení počtu použitého zařízení by nemělo zásadní vliv na průběh výsledného signálu.

Další možnosti je správné umístění majáku a přijímače. Maják by měl být umístěn ve výšce několika metrů nad zemí. Aby okolní prostředí se nejméně ovlivňovalo šíření signálu. Anténa

přijímače by měl být upěněná někde venku vozidla. Takové umístění prvků systému by mělo přispět k nepřetržitému příjmu zpráv a tím pořízení úplných dat pro vytvoření modelu a následné použití.

Následné může být vytvoření aplikace, která automaticky vypočítá potřebné k určení rychlosti hodnoty. Hlavní výhodou takové aplikace by bylo okamžitě poskytování hodnoty rychlosti po průjezdu úseku.

Samozřejmě, pro vylepšení modelu by mělo být použito větší množství trénovačích dat. Ideálně nějaký systém umělé inteligence, který bude trvale aktualizovat údaje v referenční tabulce hodnot.

Ještě jeden způsob, jak zlepšit systém je použití jiného parametru na který jsme během řešení diplomky nenarazili. Takovým příkladem může sloužit například průběh (nikoliv max. hodnota) RSSI.

Použití pokročilých matematických modelů jako například fuzzy množiny by také mohlo přispět ke zlepšení výsledků. Hlavním způsobem použití fuzzy modelu by mohlo nahradit použité v daném systému matematicky vzorek.

Zvětšení počtů vzorků v referenční tabulce by také mělo přispět ke zlepšení přesnosti modelu. Přiřazení rychlosti podle jednotlivých parametrů bude přesnější. Díky tomu celkový výsledek bude spolehlivější.

#### 9.4. Zhodnocení

Teoretické výsledky ukazují na to, že takový systém by šlo použít pouze pro orientační měření rychlosti. Navíc k tomu, v případě pořizování dat pro vytvoření modelu a testovacích dat byly ideální podmínky. Použití takového systému v reálném provozu by potkalo s určitým omezením.

Prvním důvodem slouží povětrnostní podmínky. Hlavním „nepřítelem“ šíření signálu jsou různé srážky. Určitým problémem může být sněh. Pokud pokryje anténu, sněhová přikrývka výrazně ovlivní příjem a odesílání zpráv. Ale takový problém by šlo vyřešit použitím různých referenčních hodnot parametru pro různé povětrnostní podmínky. Přesto, přesnost určení rychlosti bude nižší.

Další důvod, proč takové řešení nelze implementovat je to, že referenční tabulka poskytuje hodnoty parametrů pouze v případě použití v jedné lokalitě. Protože šíření signálu v jiné lokalitě může být ovlivněno různými faktory.

Do takových faktorů patří: hustě olistěné stromy, okolní zástavba, ostatní vozidla v provozu.

Ale největší omezení daného systému je to, že určení rychlosti probíhá až po projíždění úseku. To klade výrazné omezení na použití systému pouze pro měření úsekové rychlosti.

Nicméně použití navrženého systému za účelem zjištění orientační rychlosti v definované lokalitě po pořízení dostatečného množství dat pro vytvoření modelu a použití za normálních povětrnostních podmínek dává smysl.

## 10. Závěr

Technologie Bluetooth je 27 let stará (byla vyvinuta v roce 1994 jako bezdrátová náhrada za sériové drátové rozhraní RS-232), která má uplatnění v různých oblastech dnešního společenského života. Přesto stále můžeme použít danou technologii při řešení problému v neočekávaných oblastech. Takovým příkladem slouží problematika dané práce totiž určení rychlosti.

Na začátku teoretické části práce uveden popis stávajících metod určení rychlosti. Dál následuje popis technologie Bluetooth. Poté zmíněny rozdíly mezi Bluetooth a Bluetooth Low Energy. Později popsány oblasti použití Bluetooth Low Energy v dnešní době. Potom následuje přehled zařízení a jejich parametrů, které jsou k dispozici na trhu. Na závěr teoretické části uveden přehled aplikací a jejich vlastností.

Praktická část obsahuje přípravu k měření, analýzu dat jednotlivých měření, vytvoření modelu a hodnocení tohoto modelu.

Příprava obsahuje popis aktivit, které předcházel samotným měřením. Tyto aktivity jsou laboratorní měření a první outdoor měření. Účelem těchto měření bylo ověření toho, jestli systém správně, resp. v souladu s teoretickými předpoklady, reaguje na změnu vzdálenosti mezi vysílačem a přijímačem. Výsledky přípravných měření ukazují na správnou funkčnost systému a možnost použití daného návrhu v následujícím kroku.

Dalším krokem bylo provedení několika měření za účelem pořízení dat pro vytvoření modelu a provedení testovacích měření pro ověření funkčnosti celkového modelu. Analýza měření jednotlivých rychlostí obsahuje popis průběhů křivek jednotlivých signálů a případné rozdíly mezi nimi.

V následujícím bodě byla provedená analýza průběhu signálů různých rychlostí a vytvořena tzv. referenční tabulka. Tato tabulka je základním prvkem pro přiřazení neznámé rychlosti jedné z předdefinovaných hodnot.

Následný krok obsahuje popis algoritmu přiřazení hodnot neznámým rychlostem.

Poslední kapitola se věnuje testovacím měřením. Zejména popisem jednotlivých kroků procesu přiřazení rychlosti.

V případě testovacích měření systém neukázal spolehlivé výsledky pro přesné určení rychlosti. V případě prvního měření odchylka vypočtené rychlosti od praktické činí 0,33 km/h. V případě druhého měření odchylka skutečné rychlosti od vypočtené je 1,33 km/h. Ale v případě třetího měření pozorujeme odchylku 5,33 km/h.



Rozdíly mezi reálnými a vypočtenými daty větší, než tolerance zařízení určování rychlosti v ČR (3 km/h). Proto můžeme konstatovat, že navržený systém by nešlo použít v reálném provozu za účelem přesného měření rychlosti. Jediným možným způsobem použití je orientační odhad rychlosti.

Ale k tomu existují určitá omezení. Hlavním z nich je šíření signálu okolním prostředím beaconu a přijímače. Resp. faktory, které to ovlivňují. Do takových faktorů spadá hustě olistěné stromy, okolní zástavba, ostatní vozidla v provozu. Dalším viníkem nepřesnosti systému mohou sloužit nehomogenní povětrnostní podmínky. Vzhledem k použitému algoritmu, daný systém lze použít pouze pro měření úsekové rychlosti.

Na základě výše uvedeného, navržený systém může sloužit pouze pro orientační odhad rychlosti v přesně dané lokalitě za homogenních povětrnostních podmínek.

## Seznam literatury

- [1] Policejní radary [online]. [cit. 2021-10-9]. Dostupné z: [https://www.army.cz/images/id\\_8001\\_9000/8753/radar/k33.htm](https://www.army.cz/images/id_8001_9000/8753/radar/k33.htm)
- [2] Rychloměr [online]. [cit. 2021-10-9]. Dostupné z: <https://czwiki.cz/Lexikon/Rychloměr>
- [3] Přesnost při měření rychlosti vozidel [online]. [cit. 2021-10-9]. Dostupné z: [https://www.dlprofi.cz/33/presnost-pri-mereni-rychlosti-vozidel-uniqueidgOkE4NvrWuMEMvw3uZDmFth9i\\_Y51xCXi1eMHGUagh0/](https://www.dlprofi.cz/33/presnost-pri-mereni-rychlosti-vozidel-uniqueidgOkE4NvrWuMEMvw3uZDmFth9i_Y51xCXi1eMHGUagh0/)
- [4] Měření rychlosti pomocí GPS [online]. [cit. 2021-10-9]. Dostupné z: <https://www.verizonconnect.com/resources/article/gps-tracking-report-speeding/>
- [5] IEEE 802.15.1 (bluetooth) [online]. [cit. 2021-10-9]. Dostupné z: [https://ec.europa.eu/eip/ageing/standards/home/indoor-localization/ieee-802151\\_en.html](https://ec.europa.eu/eip/ageing/standards/home/indoor-localization/ieee-802151_en.html)
- [6] MCDERMOTT-WELLS, Patricia. What is Bluetooth? IEEE Potentials [online]. [cit. 2021-10-9]. Dostupné z: doi:10.1109/MP.2005.1368913
- [7] Bluetooth vs Bluetooth Low Energy [online]. [cit. 2021-10-9]. Dostupné z: <https://blog.beaconstac.com/2018/08/ble-made-simple-a-complete-guide-to-ble-bluetooth-beacons/>
- [8] Použití Bluetooth Low Energy [online]. [cit. 2021-10-9]. Dostupné z: <https://blog.beaconstac.com/2018/08/ble-made-simple-a-complete-guide-to-ble-bluetooth-beacons/>
- [9] SANSANO, Emilio, Fernando J. ARANDA, Raúl MONTOLIU a Fernando J. ÁLVAREZ. BLE-GSpeed: A New BLE-Based Dataset to Estimate User Gait Speed [online]. [cit. 2021-10-9]. Dostupné z: doi:10.3390/data5040115
- [10] LARSSON, Johan. Distance Estimation and Positioning Based on Bluetooth Low Energy Technology [online]. [cit. 2021-10-9]. Dostupné z: doi:diva2:859549
- [11] Rozdíl různých verzí Bluetooth Low Energy [online]. [cit. 2021-10-9]. Dostupné z: <https://www.linkedin.com/pulse/difference-analysis-bluetooth-40-vs-41-42-50-anne-ma-bluetooth-module#:~:text=Compared%20to%20Bluetooth%204.0%2C%20the,the%20chip%20only%20supports%20BT4.>
- [12] Beacon Pro BP16-3 [online]. [cit. 2021-10-9]. Dostupné z: <https://store.kontakt.io/product/beacon-pro/>
- [13] H1 Beacon [online]. [cit. 2021-10-9]. Dostupné z: <https://www.mokosmart.com/mokosmart-h1-proximity-beacon-ip65-waterproof-item-finding-indoor-positioningnavigation/>
- [14] BC011-MultiBeacon [online]. [cit. 2021-10-9]. Dostupné z: <https://bluecharmbeacons.com/product/bluetooth-ble-multi-beacon-bc011/>
- [15] K1 Beacon [online]. [cit. 2021-10-9]. Dostupné z: <https://www.kkmcn.com/keychain-beacon-k1>
- [16] BLE Beacon Scanner and Logger [online]. [cit. 2021-10-23]. Dostupné z: <https://play.google.com/store/apps/details?id=io.thingsup.blescanner&hl=ru&gl=US>
- [17] Bluetooth 4.0 Scanner [online]. [cit. 2021-10-23]. Dostupné z: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.bluemotionlabs.bluescan&hl=en>
- [18] BLE Scanner [online]. [cit. 2021-10-23]. Dostupné z: [https://play.google.com/store/apps/details?id=com.macdom.ble.blescanner&hl=en\\_GB](https://play.google.com/store/apps/details?id=com.macdom.ble.blescanner&hl=en_GB)
- [19] NRF Connect for Mobile [online]. [cit. 2021-10-23]. Dostupné z: <https://play.google.com/store/apps/details?id=no.nordicsemi.android.mcp&hl=ru&gl=US>
- [20] LightBlue [online]. [cit. 2021-10-23]. Dostupné z: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.punchthrough.lightblueexplorer&hl=ru&gl=US>

- [21] BLE Device Scanner [online]. [cit. 2021-10-23]. Dostupné z:  
<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.akademiteknoji.bledevices&hl=cs&gl=US>
- [22] IBeacon & Eddystone Scanner [online]. [cit. 2021-10-23]. Dostupné z:  
<https://play.google.com/store/apps/details?id=de.flurp.beaconscanner.app&hl=cs&gl=US>

## Seznam obrázků

- Obrázek 1. Princip radaru [1]
- Obrázek 2. Skupiny základních protokolů Bluetooth [6]
- Obrázek 3. Interoperabilita se stávajícími protokoly a aplikacemi [6]
- Obrázek 4. Stav připojení zařízení [6]
- Obrázek 5. Uživatelské rozhraní BLE Beacon Scanner and Logger [16]
- Obrázek 6. Uživatelské rozhraní Bluetooth 4.0 Scanner [17]
- Obrázek 7. Uživatelské rozhraní BLE Scanner [18]
- Obrázek 8. Uživatelské rozhraní nRF Connect for Mobile [19]
- Obrázek 9. Uživatelské rozhraní LightBlue [20]
- Obrázek 10. Uživatelské rozhraní BLE Device Scanner [21]
- Obrázek 11. Uživatelské rozhraní iBeacon & Eddystone Scanner [22]
- Obrázek 12. Původní data
- Obrázek 13. Grafický výstup laboratorního měření
- Obrázek 14. Grafický výstup outdoor měření
- Obrázek 15. Poloha beaconu a oblast příjmu zpráv
- Obrázek 16. Průběh signálu při rychlosti 40 km/h pro směr sever
- Obrázek 17. Průběh signálu při rychlosti 40 km/h pro směr jih
- Obrázek 18. Průběh signálu při 5 km/h směr jih
- Obrázek 19. Průběh signálu při 10 km/h směr jih
- Obrázek 20. Průběh signálu při 15 km/h směr jih
- Obrázek 21. Průběh signálu při 20 km/h směr jih
- Obrázek 22. Průběh signálu při 25 km/h směr jih
- Obrázek 23. Průběh signálu při 30 km/h směr jih
- Obrázek 24. Průběh signálu při 35 km/h směr jih
- Obrázek 25. Průběh signálu při 40 km/h směr jih
- Obrázek 26. Průběh síly signálu při 45 km/h směr jih
- Obrázek 27. Průběh síly signálu při 50 km/h směr jih
- Obrázek 28. Průběh RSSI při nízkých rychlostech
- Obrázek 29. Průběh RSSI při vysokých rychlostech
- Obrázek 30. Návrh metodiky
- Obrázek 31. Pravidla přiřazení rychlosti
- Obrázek 32. Model rozhraní 1
- Obrázek 33. Model rozhraní 2
- Obrázek 34. Upravená data prvního měření
- Obrázek 35. První testovací měření
- Obrázek 36. Upravená data druhého měření
- Obrázek 37. Druhé testovací měření
- Obrázek 38. Upravená data třetího měření
- Obrázek 39. Třetí testovací měření

## Seznam tabulek

Tabulka 1. Srovnání beaconů

Tabulka 2. Srovnání různých aplikací

Tabulka 3. Referenční tabulka

Tabulka 4. Hodnoty parametrů pro neznámou rychlost 1

Tabulka 5. Přiřazení hodnot pro neznámou rychlost 1

Tabulka 6. Hodnoty parametrů pro neznámou rychlost 2

Tabulka 7. Přiřazení hodnot pro neznámou rychlost 2

Tabulka 8. Hodnoty parametrů pro neznámou rychlost 3

Tabulka 9. Přiřazení hodnot pro neznámou rychlost 3