

Česká zemědělská univerzita v Praze

Provozně ekonomická fakulta

Katedra informačních technologií



Diplomová práce

**Hodnocení kvality městské autobusové dopravy
prostřednictvím IoT technologií**

Jan Novotný

© 2022 ČZU v Praze

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Jan Novotný

Systémové inženýrství a informatika
Informatika

Název práce

Hodnocení kvality městské autobusové dopravy prostřednictvím IoT technologií

Název anglicky

Evaluating the quality of bus public transportation using IoT technologies

Cíle práce

Hlavním cílem práce je navrhnout, implementovat a vyhodnotit systém měření kvality MHD prostřednictvím IoT technologií.

Dílní cíle jsou:

1. Určení základních parametrů kvality v přepravě osob.
2. Návrh způsobů měření jednotlivých kvalitativních parametrů v MHD.
3. Implementace navrženého řešení.
4. Vyhodnocování získaných dat.
5. Celkové zhodnocení navrženého řešení a návrh dalšího možného rozvoje.

Metodika

Teoretická část práce bude založena na studiu a analýze odborných a vědeckých informačních zdrojů. Práce bude řešit problematiku hodnocení kvality přepravy osob v městské hromadné dopravě s důrazem na využití IoT technologií. V teoretické části budou definovány jednotlivé kvalitativní parametry vhodné pro hodnocení kvality přepravy, nalezeny možnosti jejich získávání a vybrán způsob nasazení kompletního řešení pro sběr a analýzu dat.

V praktické části budou získané poznatky realizovány a následně ověřeny v provozu. Bude charakterizován způsob nasazení nalezeného řešení a jeho následný provoz. Dále bude vyhodnocen průběh sběru dat a jejich následné zpracování a využití.

Budou formulovány závěry práce, ve kterých bude celé navržené řešení následně zhodnoceno a případně budou navrženy další možné směry jeho úprav či rozšíření.

Doporučený rozsah práce

50 – 60 stran

Klíčová slova

IoT, kvalita přepravy osob, hodnocení kvality, autobusová doprava, komfort cestujících, IoT v dopravě

Doporučené zdroje informací

OLIVKOVÁ, Ivana. Provoz a ekonomika dopravy. 1. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Univerzita Pardubice, 2013. ISBN 978-80-248-3271-5.

PAUL, J. John, Amir Anton JONE, Martin SAGAYAM, I. Sybiya VASANTHA PACKIAVATHY, Jesintha E., Jemimah Rinsy J., Hien DANG a Marc POMPLUN. IoT based remote transit vehicle monitoring and seat display system. Przeglad Elektrotechniczny [online]. 2021, 97(5), 140-145. ISSN 00332097. Dostupné z: doi:10.15199/48.2021.05.25

PRADHAN, Alok a Bhuvan UNHELKAR. Security and Privacy Issues in IoT Devices and Sensor Networks. 2021, 285-307. ISBN 9780128212554. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-12-821255-4.00013-4

VERMESAN, Ovidiu a Peter FRIESS. Internet of Things Applications: From Research and Innovation to Market Deployment. 1. Denmark: River Publishers, 2014. ISBN 978-87-93102-95-8.

WAHER, Peter. Learning Internet of Things. 1. Birmingham, UK: Packt Publishing, 2015. ISBN 978-1-78355-353-2.

Předběžný termín obhajoby

2021/22 LS – PEF

Vedoucí práce

doc. Ing. Jiří Vaněk, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra informačních technologií

Elektronicky schváleno dne 29. 6. 2021

doc. Ing. Jiří Vaněk, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 19. 10. 2021

Ing. Martin Pelikán, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 07. 03. 2022

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Hodnocení kvality městské autobusové dopravy prostřednictvím IoT technologií" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 15. března 2022

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval doc. Ing. Jiřímu Vaňkovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky při psaní této práce.

Hodnocení kvality MHD prostřednictvím IoT technologií

Abstrakt

Práce se zabývá praktickou aplikací systému měření a hodnocení kvality MHD s využitím moderních technologií.

V úvodní části práce jsou definovány požadavky na kvalitu přepravy osob a nalezena možná využití IoT technologií v této oblasti. Celková kvalita je následně dekomponována na jednotlivé dílčí, a pomocí prostředků IT také měřitelné elementy. Těmito jednotlivými elementy kvality jsou především přesnost a spolehlivost, styl jízdy řidiče, obsazenost, hluk, vibrace a mikroklima. U každého jednotlivého elementu kvality jsou následně vydefinovány jeho optimální hodnoty a navržen způsob jejich měření.

V praktické části je navržené kompletní řešení měření a vyhodnocování kvality. Toto řešení je následně i zrealizováno, implementováno a odzkoušeno v reálném provozu MHD v Litoměřicích. Získaná data z tohoto pilotního nasazení jsou vyhodnocena pomocí navržené aplikace a zároveň i zobrazena jako celková kvalita u jednotlivých jízd.

Poslední část práce se zaměřuje na zhodnocení celého řešení a nabízí několik možných způsobů dalšího rozvoje.

Klíčová slova: IoT, kvalita přepravy osob, hodnocení kvality, autobusová doprava, komfort cestujících, IoT v dopravě, MHD

Evaluation of the quality of urban bus transport through IoT technologies

Abstract

The diploma thesis deals with the practical application of the system of measurement and evaluation of the quality of public transport using modern technologies.

In the introductory part of the thesis, requirements for the quality of passenger transport are defined and possible uses of IoT technologies in this area are found. The overall quality is then decomposed into individual by IT measurable elements. These individual elements of quality are - precision and reliability, driving style, occupancy, noise, vibration and microclimate. There are defined optimal values for each individual quality element and the way of measuring them is proposed.

In the practical part, a complete solution for measuring and evaluating quality is proposed. This solution is developed, implemented, and tested in real public transport operation in public transport of city Litoměřice. The obtained data from this pilot deployment are evaluated using the proposed application and at the same time displayed as the overall quality of individual rides.

The last part of the thesis focuses on the evaluation of the entire solution and offers several possible ways of further development.

Keywords: IoT, quality of passenger transport, quality assessment, bus transport, passenger comfort, IoT in transport, public transport

Obsah

1	Úvod	12
2	Cíl práce a metodika	14
2.1	Cíl práce	14
2.2	Metodika	14
3	Teoretická východiska	15
3.1	IoT	15
3.1.1	Definice	15
3.1.2	Skladba	16
3.1.3	Čidla	17
3.1.4	Přenos dat	18
3.1.5	Zapojení čidel	22
3.2	Kvalita dopravy	24
3.2.1	Právní úprava	24
3.2.2	Normy	24
3.2.3	Měřitelné hodnoty	27
4	Vlastní práce	34
4.1	Platforma	34
4.2	Přenosová síť	37
4.3	Výběr ostatních komponent	39
4.3.1	Přesnost a spolehlivost	39
4.3.2	Styl jízdy	39
4.3.3	Hlučnost	41
4.3.4	Vibrace	41
4.3.5	Mikroklima	42
4.3.6	Ostatní	44
4.4	Zapojení čidel	46
4.5	Celkové přehledové schéma řešení	50
4.6	Aplikace na vyhodnocování celkové kvality	51
4.6.1	Přesnost a spolehlivost	56
4.6.2	Styl jízdy	59
4.6.3	Vnitřní prostředí	60
4.7	Celkové hodnocení	60
4.8	Ekonomické zhodnocení	62
4.8.1	Náklady	62
4.8.2	Přínosy	63
4.8.3	Výsledek	64

5	Vyhodnocení.....	65
5.1	IoT zařízení	65
5.1.1	Občasné výpadky ve měření jednotlivých parametrů	65
5.1.2	Redukce dat.....	65
5.1.3	Výpadek signálu sítě NB-IoT	65
5.2	Aplikace	66
6	Závěr	67
7	Seznam použitých zdrojů.....	68

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Definice IoT podle IERC [7].....	16
Obrázek 2 - Čidla IoT	17
Obrázek 3- Schéma sítě LTE a NB-IoT [12].....	21
Obrázek 4- Raspberry Pi	22
Obrázek 5 – ESP WROOM 32	23
Obrázek 6 - Smyčka kvality	25
Obrázek 7 - GSM modul Waveshare SIM 7020E.....	38
Obrázek 8 - Vývoj velikostí SIM karet	38
Obrázek 9 – Akcelerometr	40
Obrázek 10 - Groove senzor hlasitosti	41
Obrázek 11 - Kombinovaný senzor kvality ovzduší	42
Obrázek 12 - Optický senzor množství prachu	43
Obrázek 13 - RTC DS3231	44
Obrázek 14 - Jednotlivé komponenty v krabičce.....	46
Obrázek 15 - "Prodrátované" komponenty	47
Obrázek 16 - Výsledné IoT zařízení s externí GPS anténou.....	49
Obrázek 17 - Schématické znázornění celkového řešení	50
Obrázek 18 - Úvodní obrazovka aplikace.....	51
Obrázek 19 - Konkrétní autobusová linka a její jízdy	53
Obrázek 20 – Mapka jízdy konkrétní linky MHD	54
Obrázek 21 - Část aplikace pro přiřazování dat k jízdě	55
Obrázek 22 - Jízdní řád "papírový"	56
Obrázek 23 - Jízdní řád v databázi	57
Obrázek 24 - Výsledné spárování jízdy s jízdním řádem	58
Obrázek 25 - Průběh stylu jízdy u konkrétního spoje.....	59

Seznam tabulek

Tabulka 1- Hodnocení dle přesnosti jízdy	28
Tabulka 2 - Hodnocení dle obsazenosti vozu	30
Tabulka 3 - Hodnocení dle hlučnosti	31
Tabulka 4 - Hodnocení mikroklíma pro zimu	33
Tabulka 5 - Hodnocení mikroklíma pro léto	33
Tabulka 6 - Hodnocení mikroklíma pro ostatní období	33
Tabulka 7- Orientační ceny komponent Raspberry Pi	35
Tabulka 8 - Orientační ceny komponent ESB WROOM 32	36
Tabulka 9 - Shromážděná data u konkrétního IoT zařízení	52
Tabulka 10 - Celkové hodnocení kvality konkrétní jízdy	60
Tabulka 11 - Celkový přehled kvality jízd	61
Tabulka 12- Seznam a výše investičních nákladů	62
Tabulka 13 - Seznam a výše provozních nákladů	63

1 Úvod

Jak motivovat lidi, aby více preferovali využívání veřejné hromadné dopravy před jinými, méně ekologickými a často i méně ekonomickými, způsoby?

Přístup ke zvýšení této motivace je u většiny měst často omezen pouze na dvě části, pozitivní a ve většině případů i negativní ekonomickou motivaci.

Do negativní motivace často zařazujeme zákaz vjezdu osobních vozidel do center měst či jejich zpoplatnění, předražená cena parkovacích poplatků v těchto oblastech a podobně.

V pozitivní motivaci se města předhánějí ve snižování cen jízdného, leckde až na nulu. Ekonomická teorie pracuje s takzvaným pravidlem Simpsona a Curtina, podle kterého v případě tříprocentního zdražení jízdného dojde k poklesu cestujících o jedno procento. Z toho analýzy vyvozují, že odstranění jízdného by znamenalo navýšení cestujících o 30 procent. [1]

Dalším, často opomíjeným, faktorem je vlastní vnímaná kvalita přepravy v městské hromadné dopravě. Skutečně dobře vnímaná kvality veřejné dopravy (zejména ve smyslu bezpečí a komfortu) by mohla zvýšit zájem o tento způsob dopravy a omezit tak využívání osobní automobilové dopravy. To by vedlo ke snížení zátěže na životní prostředí.

Otázkou kvality veřejné přepravy se za posledních 10 let zabývalo více než 85 studií. Společným jmenovatelem všech studií je tento společný závěr: „Provozovatelé veřejné dopravy by měli tvrdě pracovat na udržování a zlepšování dobře vnímané kvality ze všech hledisek“.¹ [2]

A právě část tohoto úkolu si tato práce klade za cíl – navrhnout systém pro hodnocení kvality městské autobusové dopravy s využitím moderních IoT technologií. Využití IoT technologií není náhodné. Umožní totiž omezit nebo úplně eliminovat nutnost lidské práce či úsudku a tím pádem zajistí nastavení skutečně objektivního hodnocení kvality založeného na prostředcích IT.

¹ The public transport operators should work hard to maintain and improve on the good perceived quality posed by other dimensions and attributes – překlad autor

Ačkoli se tato práce zaměřuje na hodnocení kvality v městské autobusové dopravě, lze navržené metody, po drobných potřebných úpravách, implementovat i do jiných dopravních prostředků či mimo území měst, do meziměstské či dokonce mezinárodní dopravy.

Rovněž tak navržené řešení je modulární, umožňuje doplňovat, či ubírat, jednotlivé elementy kvality, tak jak se bude posouvat jejich důležitost nebo s příchodem nových technologických možností jednotlivých čidel. Například pokud bude analyzátor ovzduší schopen detekovat přítomnost virů, či přímo jejich sekvenování, určitě by v dnešní době o komerčním úspěchu obdobného řešení rychle rozhodnuto.

2 Cíl práce a metodika

2.1 Cíl práce

Hlavním cílem práce je navrhnout, implementovat a vyhodnotit systém měření kvality autobusové MHD prostřednictvím IoT technologií.

Dílčí cíle jsou:

1. Určení základních parametrů kvality v přepravě osob, to znamená provést dekompozici kvality na jednotlivé měřitelné a vyhodnotitelné elementy.
2. Návrh způsobů měření jednotlivých kvalitativních parametrů v autobusové MHD za pomoci IoT technologií.
3. Implementace navrženého řešení včetně pilotního ověřovacího provozu.
4. Vyhodnocování získaných dat a jejich transformace do uživatelsky přívětivé podoby.
5. Celkové zhodnocení navrženého řešení včetně návrhů jeho dalšího možného rozvoje.

2.2 Metodika

Práce bude řešit problematiku hodnocení kvality přepravy osob v městské hromadné dopravě s důrazem na co nejširší možné využití IoT technologií. Práce navazuje na bakalářskou práci autora [3], která se zabývala stejnou tematikou pouze na teoretické úrovni. Teoretická část práce bude založena především na studiu a analýze odborných a vědeckých informačních zdrojů. V teoretické části budou na základě znalostí IoT technologií a jejich možností vydefinovány jednotlivé kvalitativní parametry vhodné pro hodnocení kvality přepravy osob, nalezeny možnosti jejich získávání a vybrán způsob nasazení kompletního řešení pro sběr a následnou analýzu dat.

V praktické části budou získané poznatky realizovány a následně ověřeny v provozu. Bude charakterizován způsob nasazení nalezeného řešení a jeho následný provoz. Dále bude vyhodnocen průběh sběru dat a jejich následné zpracování a využití.

Budou formulovány závěry práce, ve kterých bude celé navržené řešení následně zhodnoceno a případně budou navrženy další možné směry jeho úprav či rozšíření.

3 Teoretická východiska

Aby bylo možné měřit a vyhodnocovat kvalitu městské autobusové dopravy, musí být nejprve kvalita definována a dále pak dekomponována na jednotlivé měřitelné elementy. Na otázku, které jednotlivé elementy kvality je či není možné měřit, odpoví znalost možností a schopností IoT technologií.

3.1 IoT

V následujících odstavcích bude charakterizováno IoT, zejména jeho jednotlivé části, způsoby využití, zajištění přenosu dat, zapojení a podobně.

3.1.1 Definice

„Internet of Things“, česky „Internet věcí“. Jednoznačná či přesná definice této zkratky pravděpodobně neexistuje. Můžeme se vrátit do roku 1999, kdy toto spojení, pravděpodobně poprvé, použil Kevin Ashton jako název své prezentace pro společnost Procter & Gamble. Sám Ashton vysvětluje tento pojem jako snahu o vytvoření „Internetu“ do kterého data nebudou vstupovat prostřednictvím lidí, jak se dělo doposud, ale automatizovaně a bez přispění lidské faktoru. [4]

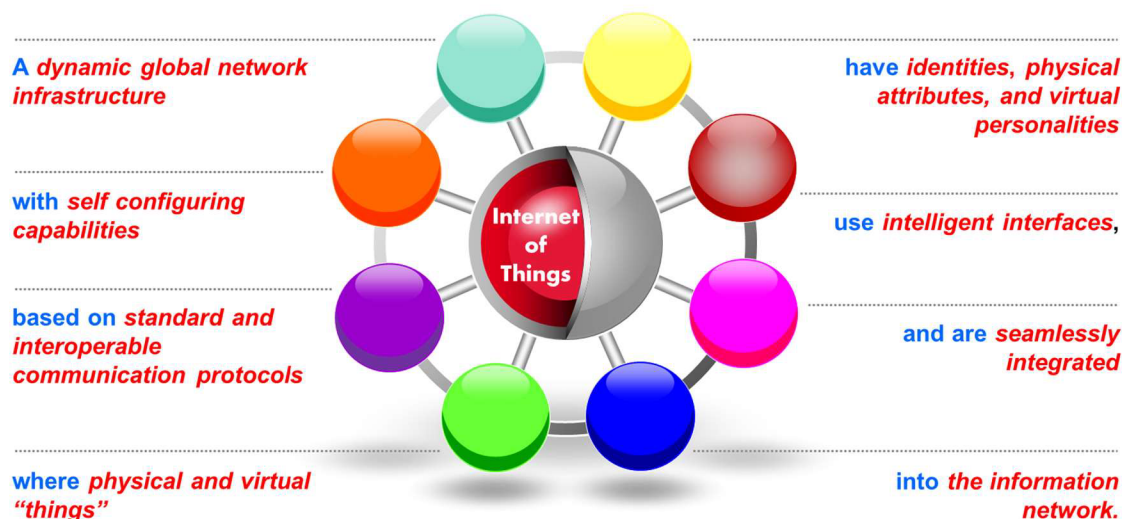
Mnozí jiní autoři uvádějí, že více než o definici se jedná o vizi. Wahler sám navrhuje tuto definici: „IoT je to, co dostaneme, když připojíme Věci, které nejsou řízeny lidmi, do Internetu.“² [5]

Další možné definice: „IoT je koncept a paradigma, kde je považována za přetrvávající přítomnost různých věcí/předmětů v prostředí (prostřednictvím bezdrátového a pevného připojení s jednoznačným způsobem adresování), které jsou schopny vzájemně komunikovat a spolupracovat s jinými věcmi/předměty a vytvářet nové aplikace nebo služby a dosáhnout tak společných cílů.“ [6] Nebo například sdružení IERC - European Research Cluster on the Internet of Things definuje IoT jako: „dynamickou globální síťovou infrastrukturu s možnostmi vlastní konfigurace založené na standardních a interoperabilních

² The IoT is what we get when we connect Things, which are not operated by humans, to the Internet
- překlad autor

komunikačních protokolech, kde fyzické a virtuální "věci" mají identitu, fyzické atributy a virtuální vlastnosti a používají inteligentní rozhraní a jsou bezproblémově integrovány do informační sítě.“

Obrázek 1 - Definice IoT podle IERC [7]



Většina definic má společné tyto výrazy: věci nebo předměty, síť, připojení, automaticky.

3.1.2 Skladba

Jak vyplynulo z předchozí části IoT se skládá zejména z věcí/předmětů a jejich propojení/připojení.

Jedná se o základní, v jistém slova smyslu koncové, součásti IoT. Jsou to zařízení, která poskytují snímací, ovládací, kontrolní či případně monitorovací činnosti. [7]

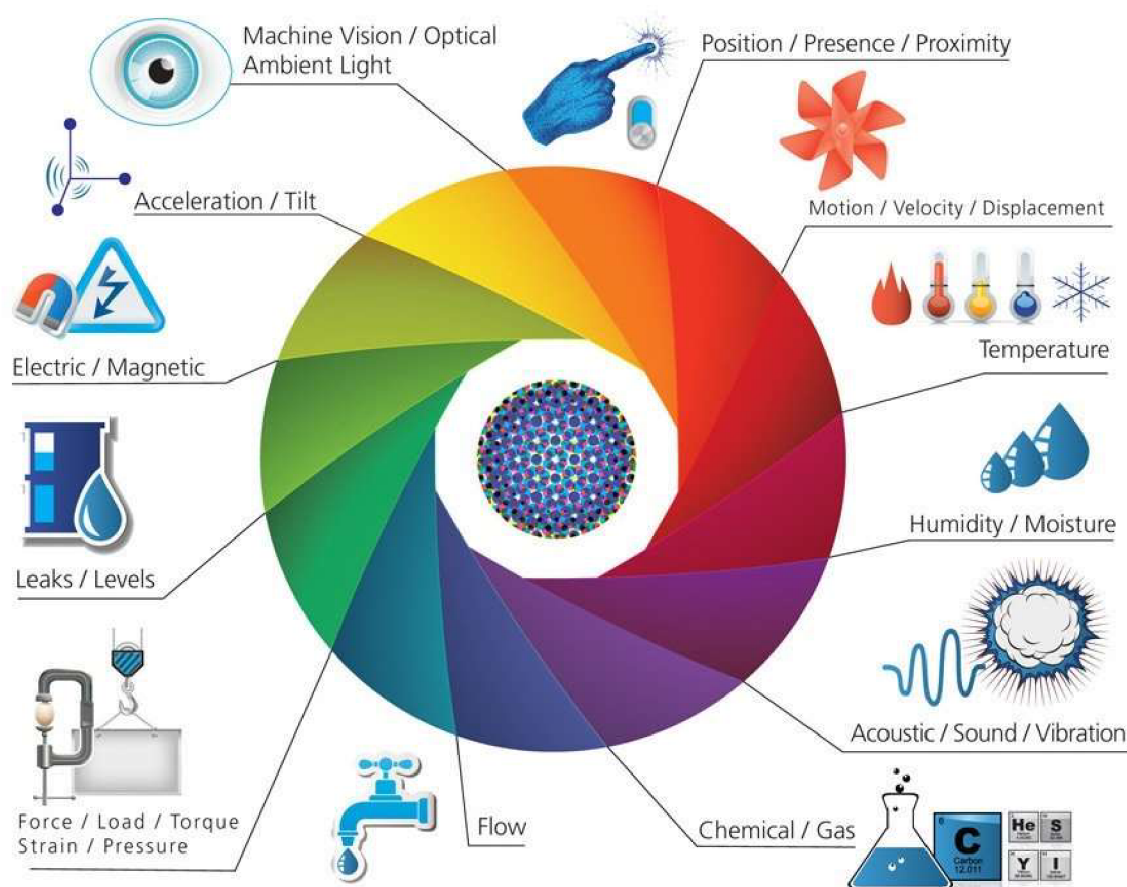
Existuje velké množství „internetových“ zařízení, která jsou „skutečně“ připojena do Internetu, což znamená, že mají přidělenou vlastní IP adresu a jsou adresovatelná a vzdáleně přístupná, můžeme si zde představit různé web kamery či termostaty. Ačkoli tato zařízení lze asi také zařadit do množiny IoT technologií, o těchto tato práce nebude. Skutečný IoT je primárně určen pro vytvoření speciálních datových sítí ze senzorů a čidel, které budou snímat požadovanou veličinu nebo provádět danou akci. Jedná se o zařízení, která posílají někdy i přijímají jen krátké zprávy jednou za čas. [8]

3.1.3 Čidla

Základním stavebním kamenem všech IoT řešení jsou čidla. Čidla pro IoT mohou být rozdělována různými způsoby a podle různých hledisek. Pro potřeby této práce budou čidla rozdělena podle typů měřených veličin.

Na následujícím obrázku jsou zobrazeny skupiny čidel rozdělené podle snímaných veličin – je patrné, že množství pokrytí je velmi široké.

Obrázek 2 - Čidla IoT³



Existují jak čidla jednoúčelová, tzn. měřící pouze jednu veličinu, tak i čidla kombinovaná, která vyhodnocují dvě i více veličin najednou.

³ Obrázek z <https://www.postscapes.com>

3.1.4 Přenos dat

Přenosové sítě pro IoT prostředky se nijak zásadně neliší od sítí pro běžné využití v IT světě. Jedná se často o naprosto stejné datové sítě. Základní rozdělení datových sítí můžeme udělat na úrovni od různých fyzických (drátových) propojení až k bezdrátovým sítím. Pro potřeby této práce se budeme zabývat výlučně bezdrátovými spojeními.

Můžeme je rozdělit do těchto 3 skupin: [8]

1. Krátkého dosahu – někdy také označované LAN
2. Střední dosahu – LPWAN
3. Velkého dosahu

LAN – síť krátkého dosahu

Sítě krátkého dosahu jsou určeny pro lokální přenosy dat do vzdálenosti desítek až jednotek stovek metrů. Tyto sítě umožňují přenášet data mezi zařízeními bez nutnosti velkých investic do budování infrastruktury. IoT zařízení v těchto sítích by měla fungovat po celém světě, jelikož jsou využívány celosvětové standardy.

LAN sítě obsahují technologie jako WIFI, Bluetooth nebo Zigbee. Tyto technologie nabízejí vysoký přenos dat, ale jen na krátkou vzdálenost. Rovněž tak energetická náročnost je poměrně vysoká.

LPWAN – síť středního dosahu

Bezdrátové sítě LPWAN (Low Power Wide Area Network) jsou specializované sítě pro IoT prostředky s minimalizovanými energetickými nároky, ale s dostatečným dosahem. Dosahuje se toho přenosem malých objemů dat v delších časových intervalech. Jednotlivé zprávy mají obvykle velikost nižších desítek bajtů, ve kterých jsou nejen vlastní odesílaná data, ale hlavičkou zprávy určenou ke správnému doručení. Tyto zprávy mohou obsahovat stavové informace typu teplota, stav spotřeby elektrické energie, vody či aktuální souřadnice senzoru. U těchto typů sítí je obvykle využívána hvězdicová topologie sítě s jádrem připojeném k síti operátora.

Sigfox je francouzská společnost založená v roce 2009, která prostřednictvím svých partnerských operátorů v jednotlivých státech buduje globální síť. V České republice je jejím partnerem firma SimpleCell pokrývající 94 % území v lednu 2019. Sigfox umožňuje snadný mezinárodní roaming, zařízení fungující v jedné zemi bude komunikovat se sítěmi ve všech

dalších státech se Sigfox pokrytím bez jakýchkoliv poplatků za roaming. Síť Sigfox slouží pro přenos malého množství dat na velké vzdálenosti. [9]

LoRaWAN je síť, kterou využívá technologie LoRa. Vznikla v roce 2012 ve Francii a operuje také v pásmu ISM. Využívá rozprostřené spektrum s vysíláním krátkých kmitočtově rozlitaných impulsů. Lora používá technologii CDMA pro multiplexování signálu z více zařízení na jedné frekvenci. Tím je docíleno vyšší kapacity kanálu a dynamické úpravě přenosových rychlostí v závislosti na vzdálenosti od vysílače, šumu, překážkách atd. Maximální rychlost přenosu se tedy pohybuje v rozsahu 0,3 - 11 kb/s, což je znatelně více než Sigfox. [10]

Mobilní síť – síť velkého dosahu

Poslední část se již zabývá licencovanými sítěmi pro IoT, především jejich rozdíly ve srovnání se sítěmi LPWAN z předchozí části.

Licencované sítě využívají frekvence, které může využívat pouze ten, kdo si jejich používání zaplatil. Státem prováděné aukce kmitočtů (v České republice tyto aukce provádí Český telekomunikační úřad) nabízejí mobilním operátorům jednotlivé části frekvenčního spektra na dobu určitou k pronájmu. Podmínky těchto aukcí často vyžadují určité závazky ze strany účastníků - např. vybudování dostatečného pokrytí sítě i v odloučených lokalitách či poskytnutí své sítě pro využití některými státními službami. Zavázání se k plnění podmínek aukce a vysoké ceny kmitočtového spektra motivují operátory k značným investicím do vytvoření sítě, udržování její kvality a pravidelné údržbě. Potencionální zákazníci IoT sítí se spíše přiklání k využití licencovaným sítím z důvodu větší důvěry v její dlouhodobou funkčnost a spolehlivost, a to i za cenu vyšších nákladů.

NB-IoT a LTE-M jsou v současné době dvě nejrozšířenější technologie pro licencované IoT sítě.

NB-IoT (Narrow Band Internet of Things) je úzkopásmová LPWAN síť definovaná společností 3GPP, která pracuje v sítích mobilních operátorů a podporuje obousměrnou komunikaci. Pracuje v licencovaných frekvenčních pásmech, které jsou v Evropě 1800 MHz s 2 kanály o šířce 75 MHz, 900 MHz s 2 kanály o šířce 35 MHz a 800 MHz s 2 kanály o šířce 30 MHz. V daném frekvenčním pásmu se používá jeden kanál pouze pro uplink a druhý pro downlink. Pro uplink i downlink je v daném kanále zabrána šířka frekvenčního pásma 200 kHz. Maximální velikost užitečných dat je 1600 bajtů a počet přijatých a vyslaných zpráv za den je neomezený. Přenosová rychlost je 250 kbit/s. Každé připojené IoT zařízení se musí

autorizovat pomocí SIM či eSIM karty. Ke každé základnové stanici se z technologických důvodů může připojit maximálně 52547 zařízení. Komunikace je zabezpečená pomocí symetrických a asymetrických klíčů generovaných ze SIM karty. Dosah této sítě je v řádech několika kilometrů v závislosti na překážkách. Mezi výhody této sítě patří dosažitelnost signálu i v těžko dostupných místech (např. budovy, podzemí). V rámci této sítě se mohou připojená zařízení pohybovat. Pokrytí je v České republice od operátora Vodafone po celém území. [11]

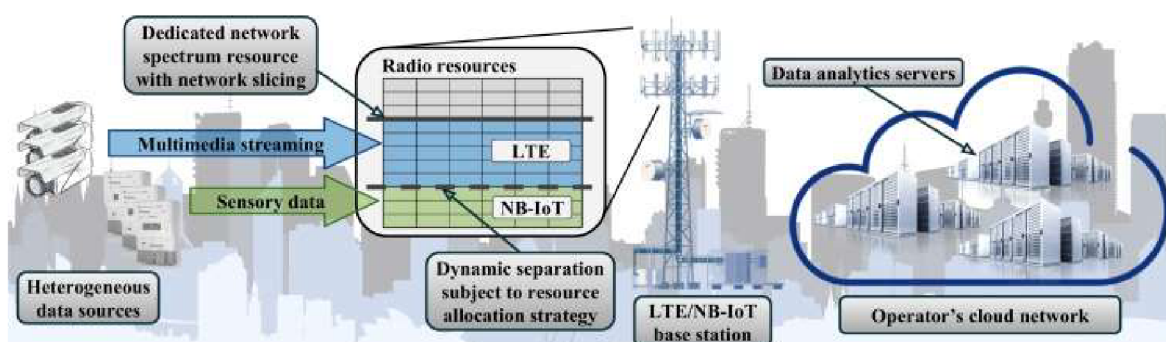
LTE-M je síť, kterou kromě NB-IoT v roce 2016 schválila organizace 3GPP. Ta je někdy označována také jako eMTC (enhanced Machine Type Communication) nebo LTE Cat-M1. Síť LTE-M dynamicky operuje v licencovaném LTE pásmu pro IoT zařízení. Oproti NB-IoT využívá větší šířku pásma, nejčastěji 1,08 MHz, což přináší výhody vyšší přenosové rychlosti a nižší latenci.

LTE-M se snaží o udržení nízké ceny koncových zařízení, velkého dosahu a dlouhé výdrže baterie. Zároveň si uchovává velkou kapacitu sítě s výkonem a funkcemi, které jsou vhodné jak pro jednoduché, tak i pro středně náročné aplikace, kde jsou již možnosti NB-IoT sítě nedostatečné. Jak NB-IoT, tak i LTE-M fungují na podobných principech a rovněž tak nabízejí i mnoho společných funkcí.

Hlavní výhoda LTE-M je ve využívání stejné frekvence operátora, které slouží pro běžné LTE. Je tak možné dynamicky měnit využívání zdrojů LTE vs. LTE-M. Pokud to situace dovoluje je možné plánovat přenos dat v rámci sítě LTE-M na dobu, kdy je dostatek volné kapacity v LTE pásmu (např. v noci). Tato možnost má za cíl snižovat zátěž generovanou IoT zařízeními na běžnou LTE síť, a tedy i náklady operátora na síť dedikované pouze pro IoT. LTE-M, podobně jako NB-IoT, pro zlepšení dosahu využívá opakované odeslání zpráv za cenu snížení latence a přenosové rychlosti. V síti jsou běžně podporovány dva CE režimy: CE mód A, který podporuje až 32 opakování zprávy, a CE mód B podporující až 2048 opakování. Především díky repetici zpráv je umožněno značné zlepšení dosahu proti GPRS, který by měl u LTE-M docílit téměř stejných hodnot pokrytí jako NB-IoT.

Jelikož má LTE-M oproti NB-IoT šestinásobnou šířku pásma, LTE-M podporuje vyšší rychlost přenosu a nižší latenci. Díky latenci srovnatelné s běžnou sítí LTE je v LTE-M podporována technologie VoIP, což mohou využít například zabezpečovací systémy, komunikátor ve výtahu či chytré hodinky. Standard VoIP vyžaduje nepřetržité přenosové rychlosti minimálně 12 kb/s (pro základní kvalitu) a 24 kb/s (pro HD kvalitu) a pochopitelně nízkou latenci pro příjemnou komunikaci, což NB-IoT neposkytuje. VoIP je v LTE-M volitelná funkce, ale očekává se, že pro umožnění více typů aplikací bude operátory podporována. [10]

Obrázek 3- Schéma sítě LTE a NB-IoT [12]



Předpokládá se, že propojené senzory a inteligentní měřiče budou komunikovat prostřednictvím NB-IoT jako jedné z nejvýznamnějších technologií pro aplikace IoT s dlouhým dosahem, které dostává podpory globální standardizace. [12]

5G – síť páté generace. Právě probíhá nasazování technologie této celulární sítě, která je propagována v mnoha zemích po celém světě. Je to zejména kvůli jejím velkým výhodám oproti předchozím generacím (1G – 4G) v rychlosti přenosu, spolehlivosti, zabezpečení, spotřebě energie a počtu možných připojení. Frekvenční spektrum elektromagnetických vln 5G může dosáhnout stovek GHz, což je mnohem vyšší než současné frekvenční spektrum pro 1G–4G. Proto je 5G vlnová délka kratší, ale s větší šířkou pásma a může snáze přenášet větší množství dat. Použití 5G sítě lze shrnout jako vyskytující se ve třech typických scénářích, tj. vylepšené mobilní zařízení širokopásmové připojení, velmi spolehlivá komunikace s nízkou latencí a masivní komunikace typu stroj-stroj (M2M). Pro výše uvedené důvody je 5G technologie považována za nejdůležitější hnací sílu pro vznikající globální internet věcí (IoT). 5G síť budou schopny poskytnout lepší infrastrukturu pro reakce na vzrůstající poptávku po IoT technologiích. [13]

3.1.5 Zapojení čidel

Připojení jednotlivých čidel přímo do Internetu je sice prakticky možné, ale z ekonomických důvodů nevýhodné. Při využívání více čidel se jako optimální jeví jejich zapojení do serveru a teprve ten je potom připojen do Internetu a zajišťuje obousměrnou komunikaci čidlo x Internet. Výhodou takového řešení je i to, že je možné sebraná data částečně vytěžit a snížit tak celkový datový objem přenesených dat a tím i potřebnou přenosovou kapacitu.

Mezi nejrozšířenější platformy pro využití v IoT řešeních se v současné době řadí Raspberry Pi nebo ESP-WROOM-32.

Raspberry Pi je nejoblíbenější jednodeskový počítač na světě. První model přišel v roce 2012 se skromným cílem – posílit technické vzdělávání dětí – a odstartoval malou průmyslovou revoluci. Raspberry Pi 4B je dosud nejvýkonnější model a první plnohodnotná náhrada PC! Základním stavebním kamenem Raspberry Pi 4B je jeho 1.5GHz čtyřjádrový procesor ARM Cortex-A72. Přejít na modernější 28nm technologii umožnil Raspberry Pi 4B dosáhnout významného zvýšení výkonu procesoru, multimédií a I/O, díky čemuž je nyní plnohodnotným osobním počítačem.

Obrázek 4- Raspberry Pi⁴

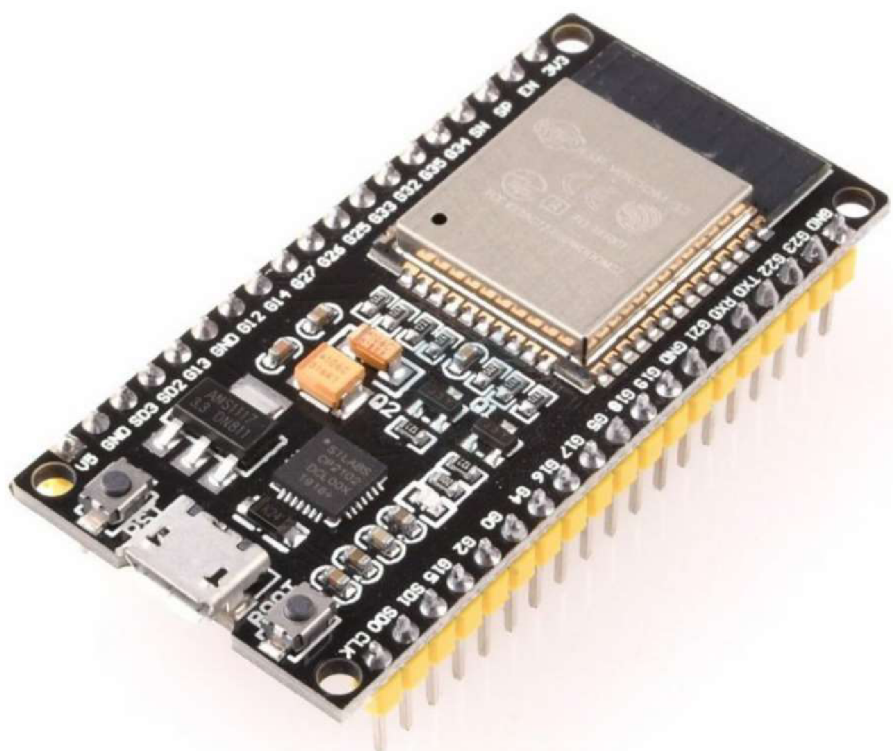


⁴ Obrázek a popis z <https://rpishop.cz/>

ESP-WROOM-32 je výkonný modul, který se zaměřuje na širokou škálu aplikací, od sensorových sítí s nízkou spotřebou až po nejnáročnější úkoly jako je kódování hlasu, streamování hudby a dekodování MP3 nebo komunikačních zařízení IoT s webovým rozhraním.

Vývojová deska je založená na dostatečně výkonném dvoujádrovém procesoru Tensilica LX6 které lze individuálně ovládat, jeho taktovací frekvence je nastavitelná od 80 MHz do 240 MHz, součástí je 520kB paměti RAM, vnitřní paměť 4MB SPI Flash je dostatečně veliká také pro vlastní složitější aplikace. Modul dokáže bezdrátově komunikovat po rozhraní WiFi 2,4GHz a Bluetooth 4.0 díky integrované anténě. Z rozhraní USB řadiče CP2102 lze modul napájet i programovat.

Obrázek 5 – ESP WROOM 32⁵



⁵ Obrázek a popis z <https://www.laskarduino.cz/>

3.2 Kvalita dopravy

Tato kapitola se bude zabývat tím, co se rozumí pod pojmem kvalita dopravy. Provede dekompozici celkově vnímané kvality na jednotlivé měřitelné elementy a vydefiniuje jejich optimální hodnoty.

3.2.1 Právní úprava

Základní právní rámec týkající se přepravy osob definuje zákon č. 194 / 2010 Sb. ze dne 20. května 2010 **o veřejných službách v přepravě cestujících**. Tento zákon upravuje postup státu, krajů a obcí při zajišťování dopravní obslužnosti veřejnými službami v přepravě cestujících veřejnou drážní osobní dopravou a veřejnou linkovou dopravou. Definuje některé základní termíny, mimo jiné i například standard kvality a bezpečnosti.

V § 8 odstavce 2 tohoto se píše, že: „Doprovce musí nejpozději ke dni nabytí účinnosti smlouvy o veřejných službách v přepravě cestujících

e) splňovat standardy kvality a bezpečnosti dopravy, včetně standardů pro přepravu osob s omezenou schopností pohybu a orientace (dále jen „standardy kvality a bezpečnosti“).

[14]

Dále se v článku (4) uvedeného paragrafu říká, že „...**objednatel může stanovit přísnější hodnoty a ukazatele standardů kvality** a bezpečnosti nebo požadovat splnění dalších standardů.“.

Bohužel tento zákon, ani doplňující prováděcí předpis [15] nijak přesněji a detailněji nedefinují požadovanou kvalitu služeb. Nejzásadnějším poznatkem z těchto právních norem se jeví ustanovení, které umožňuje objednatelům stanovit přísnější hodnoty a ukazatele kvality nebo požadovat splnění dalších standardů i nad rámec zákonné úpravy.

3.2.2 Normy

V nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1370/2007 ze dne 23. října 2007 o veřejných službách v přepravě cestujících po železnici a silnici a o zrušení nařízení Rady (EHS) č. 1191/69 a č. 1107/70 se odkazuje v preambuli (4) na bílou knihu.

„Hlavními cíli bílé knihy Komise ze dne 12. září 2001, „Evropská dopravní politika do roku 2010: čas rozhodnout“ je zaručit bezpečné, účinné a **vysoce kvalitní služby** v přepravě cestujících prostřednictvím regulované hospodářské soutěže, která rovněž zajistí

transparentnost a fungování veřejných služeb v přepravě cestujících, a to s ohledem na sociální a environmentální faktory a faktory regionálního rozvoje, nebo s cílem nabídnout zvláštní tarifní podmínky určitým kategoriím cestujících, například důchodcům, a odstranit nerovnosti mezi dopravními podniky z různých členských států, které mohou vést k podstatnému narušení hospodářské soutěže.“

Evropská norma EN (ČSN) 13816

Tato evropská norma specifikuje požadavky na definování cíle a měření služeb ve veřejné přepravě a zavádí vodítka pro výběr metod měření. [16]

Kvalitu poskytované služby je možno popsat kritérii, ve kterých musí dosahovat určitou úroveň, to je kvalitativní hranice, v jejichž rozmezí by se tato veřejní služba zabezpečovala.

Norma je založena na konceptu smyčky jakosti⁶ služby, kdy by mělo docházet k měření provedení služby a zároveň k měření spokojenosti zákazníka. To znamená, že očekávaná jakost služby z pohledu zákazníka by měla být nastavena jako cílová jakost služby z pohledu dodavatele služeb.

Obrázek 6 - Smyčka kvality⁷



⁶ Norma hovoří o „jakosti“, ale v celé práci i jejím názvu je používán termín „kvalita“.

⁷ Podle normy EN (ČSN) 13816 nakreslil autor

Vzhledem k tomu, že celková jakost veřejné přepravy osob obsahuje velký počet kritérií, dělí tato norma tato kritéria do 8 kategorií.

1. Dosažitelnost
2. Přístupnost
3. Informace
4. Čas
5. Péče o zákazníka
6. Pohodlí
7. Bezpečnost
8. Dopad na životní prostředí

Evropská norma EN (ČSN) 15140

Tato evropská norma stanovuje základní požadavky a doporučení pro systémy, které hodnotí kvalitu poskytované služby veřejné přepravy osob a které jsou používány v rámci EN 13816. Každé kritérium hodnocení kvality, které má být hodnoceno, se musí vztahovat k seznamu osmi kategorií uvedených v EN 13816. Návrh systému měření by měl nastolit rovnováhu mezi pohledem zákazníka a použitým měřením jako nástroje managementu pro dosažení chtěné kvality. [17]

Tato práce se zabývá měřením provedení služby, což je jen jednou z částí celkového hodnocení kvality služeb. Proto i v další části navržené kvalitativní (v tomto případě měřitelné) parametry jednotlivých elementů služby vycházejí z určitých „best practices“ anebo obecně doporučených hodnot a podle výše uvedených norem by měly být průběžně porovnávány a nastavovány v souladu s očekáváním zákazníků.

K základním složkám kvalitních služeb v přepravě cestujících tedy patří: [18, s. 56]

- dostupnost,
- přístupnost,
- technický stav vozidel,
- přesnost a spolehlivost,
- poskytování informací,
- ekologické a environmentální parametry vozidel,
- parametry související s odbavováním cestujících,
- pohodlí a komfort přepravy pro cestující.

Pokud bude pátrání po tom, co se rozumí kvalitou v oblasti autobusové dopravy, uzavřeno s tím, že výše uvedených 8 bodů obsahuje vše podstatné, je možné přikročit k měření těchto bodů pomocí IoT technologií.

Některé body jsou na první pohled nevhodné pro měření a hodnocení pomocí IoT technologií, zatímco jiné se - „Přesnost a spolehlivost“ a „Pohodlí a komfort přepravy pro cestující“ - přímo k tomuto účelu nabízejí.

Pojem „Přesnost a spolehlivost“

Přesnost hodnotí úroveň naplnění jízdního řádu porovnáním skutečného průběhu spoje z hlediska času v porovnání s údaji uvedenými v jízdním řádu.

Spolehlivost hodnotí úroveň naplnění jízdního řádu v tom, že jsou plánované spoje provedeny ve stanoveném počtu a kompletní.

Ačkoliv pojem „**Pohodlí a komfort přepravy pro cestující**“ není objektivně kvantifikovatelný a pojmově jednoznačný, můžeme jej dále rozdělit na 5 sub kritérií, z nich některá již určitým způsobem můžeme hodnotit: [18, s. 64].

- obsazenost,
- hlučnost a vibrace,
- mikroklima,
- styl jízdy řidičů,
- řešení interiéru.

3.2.3 Měřitelné hodnoty

Mezi hodnoty, které definují kvalitu autobusové dopravy a které lze určitým způsobem měřit za použití IoT technologií a tím pádem i vyhodnocovat, náleží: přesnost a spolehlivost, obsazenost, styl jízdy řidičů, hlučnost, vibrace, mikroklima.

Pro každý z výše uvedených měřitelných kvalitativních parametrů budou nyní nadefinovány jejich doporučené hodnoty, dále pak způsob měření a v neposlední řadě způsob interpretace naměřených (případně dopočítaných) hodnot.

Každý jednotlivý parametr bude hodnocen na škále 0 až 100 bodů. Vyšší počet bodů odpovídá lépe splněnému kritériu.

Přesnost a spolehlivost

Nejistota čekací doby je jedním z hlavních faktorů spolehlivosti veřejné dopravy a celkové úrovně služeb. Šíření informací o příjezdech vozidel v reálném čase je často považováno za důležité opatření ke snížení nespolehlivosti. [19]

Jak již bylo zmíněno v předchozí části, pojem spolehlivost znamená, zda spoj byl vůbec realizován – jestli autobus daný spoj absolvoval. Takže hodnota „spolehlivosti“ může nabývat buď 1 a můžeme vyhodnocovat ostatní kvalitativní kritéria nebo 0 (nebyl realizován – nejel) a potom není co vyhodnocovat a **celkové** hodnocení bude 0.

Přesnost je míra souladu jízdních časů s jízdním řádem daného spoje.

Doporučené stanovené časy se drobně liší. PID [20] uvádí, že spoj musí jezdit v rozmezí od - 59 sekund do + 179 sekund oproti jízdnímu řádu, s výjimkou počáteční stanice, kde je tolerance snížena na - 59 sekund a + 59 sekund.

Zatímco [18, s. 62] definuje tyto časy od 0 do 3 minut v případě, že je čas zjišťován digitálně, pokud je čas zjišťován podle osobních hodinek řidiče potom + - 2 minuty.

S ohledem na to, že čas bude zjišťován automaticky, bude nastavení limitů pro přesnost v rozmezí od - 1 minuty do + 3 minut. Dosažením této přesnosti obdrží kritérium plný počet bodů (100 bodů), zpoždění spoje do hodnoty trojnásobku povoleného zpoždění bude penalizováno ztrátou 20 % bodů, další zpoždění (až šestinásobné) již penalizací 50 %, delší zpoždění již bude penalizováno 100 %. Oproti tomu předjetí spoje až do trojnásobku povoleného času bude penalizováno přísněji – 50 %, předjetí o více než tuto hodnotu potom bude penalizováno 100 %.

Tabulka 1- Hodnocení dle přesnosti jízdy

Nepřesnost	Body
> -3 minuty	0
-3 až -1 minuta	50
-1 minuta až + 3 minuty	100
+3 minuty až 9 minut	80
+9 minut až 18 minut	50
více než 18 minut	0

U první zastávky na lince bude zapisován čas odjezdu, na ostatních zastávkách bude zapisován čas příjezdu. Každá zastávka bude obodována podle výše uvedené tabulky. Po ukončení celé linky se vypočte aritmetický průměr z těchto hodnot. Přesnost a spolehlivost je měřena pomocí GPS čidel. GPS čidlo ukládá informace o přesné lokaci ve formě souřadnic a přesný čas. Komparací těchto hodnot s platným jízdním řádem je provedena kontrola přesnosti; případně spolehlivosti.

Přesnost GPS se v ČR pohybuje v řádu jednotek metrů, a proto při výpočtu dosažení zastávky bude uvažována kružnice o průměru 20 metrů se středem v pozici definované zastávky. [21, s. 3, obr.1]

Výsledky měření tohoto kritéria by zároveň mohly uživateli poskytovat aktuální informace o poloze konkrétního spoje (autobusu), na jejichž základě by mohl uživatel odpovídajícím způsobem upravit svůj jízdní plán. Tyto informace by proto zkrátily čekací dobu na autobusové zastávce. [22, s. 3]

Obsazenost

Každý autobus má definovaný počet míst k sezení, případně i ke stání. Jejich součet je označen jako maximální kapacita obsazenosti spoje.

Je nutné si uvědomit, že vozidlo obsazené dle maximální kapacity standardů obsazenosti se subjektivně jeví již jako naplněné, stojící cestující kolem sebe nemají příliš volného prostoru a cestování je nekomfortní. Je tedy potřeba hodnotu maximální obsazenosti dle standardů kvality vnímat také jako reálnou maximální obsaditelnost vozidla. Průměrná hodnota obsazenosti by měla být nižší tak, aby byl vůz schopen pojmout zvýšený počet cestujících v důsledku výkyvů v poptávce, způsobených například nepravidelnostmi v provozu nebo stochastickým charakterem počtu cestujících. To znamená průměrnou obsazenost okolo 60 % v mimošpičkových obdobích a 70–80 % v obdobích přepravních špiček. [23, s. 24-25] Naopak extrémně nevytížené autobusy představují zbytečnou ekonomickou i ekologickou zátěž, a mohly by být nahrazeny vozidly o menší přepravní kapacitě a tím pádem ekologičtějšími. [24]

Možných automatických způsobů měření počtu osob je několik. Buď pomocí průchozí brány, jež se nazývá „Radarové počítadlo průchodu osob“, nebo pomocí kamer s nadstavbovým SW pro počítání osob. Tato čidla umožní určit aktuální počet lidí ve voze a v komparaci se zjištěnou kapacitou vozu je poté bude možné vyhodnocovat. Údaj o aktuálním počtu pasažérů bude zaznamenán po každé zastávce a nakonec, stejně jako

u předchozího bodu, bude po ukončení celé linky vypočten aritmetický průměr za celý spoj a přiděleny body podle následující tabulky.

Tabulka 2 - Hodnocení dle obsazenosti vozu

Obsazenost	(0-60 %>	(60-80 %>	(80-100 %>	(100 %-více)
Body	100	80	50	0

Styl jízdy řidičů

Styl jízdy řidičů je hodnocen z hlediska akcelerace, decelerace a jejich změny. Pro zvyšování cestovní rychlosti jsou vysoké hodnoty zrychlení a zpomalení žádoucí, protože prodlužují dobu, po kterou může jet vozidlo požadovanou nebo povolenou rychlostí. Vysoké hodnoty zrychlení a zpomalení však snižují pohodlí pro cestující při jízdě, zvláště pak pro stojící. [18, s. 65] Doporučené hodnoty pro příčné i podélné přijatelné zrychlení nebo zpomalení se liší. [25, s. 6] Je třeba zabránit zrychlení více než $2,5 \text{ m/s}^2$ a zpomalení $2,0 \text{ m/s}^2$, protože pro většinu účastníků jsou nekomfortní. Pro skutečně inkluzivní a přístupný autobusový systém by měl být limit zrychlení nastaven na $1,0 \text{ m/s}^2$, protože při zrychlení $1,5 \text{ m/s}^2$ si svou přirozenou chůzi udrží pouze většina mladých cestujících. [26] Zatímco [18] uvádí hodnoty $\max. \pm 1,5 \text{ m/s}^2$ při působení maximálně 0,3 sekundy, jiné studie uvádějí tyto hodnoty trochu vyšší, až $\pm 2,0 \text{ m/s}^2$. [27, s. 469] Pro zjišťování tohoto kvalitativního parametru bude vyšší hodnota.

Pomocí čidla akcelerace budeme měřit s periodicitou 3 Hz tyto hodnoty. Pokud překročí dvě přímo následující měření limitní hodnoty, bude to považováno za překročení limitů.

Na konci každé jízdy bude vyhodnocen styl jízdy tak, že se za každé jednotlivé překročení limitů bude odečítat 5 bodů od maximálního počtu 100 bodů, až do nulového zůstatku. Toto nastavení bude jen zkušební a po několika vyhodnoceních se případně bude moci upravit, jak s ohledem na výsledné body, tak podle zpětné vazby pasažérů.

Hlučnost

Hlučnost je hodnocena hladinou vnitřního hluku ve vozidle. Dlouhotrvající vystavování se hluku může permanentně poškodit sluch. Obecná hodnota pro maximální přijatelnou hladinu hluku je 84 dB [28, s. 234], některé prameny uvádějí hodnotu nižší 82 dB. [29] Výše uvedené hodnoty jsou určeny pro pasažéry hromadné dopravy. Limity pro

řidiče by měly být stanoveny ještě níže. Ergonomie prostředí uvádí, že úroveň expozice vyšší než 65 dB během 8hodinové pracovní doby je značně nepříjemná. [30, s. 302]

Hladina hluku bude měřena pomocí čidla na měření hluku, frekvence měření, vzhledem k tomu, že je důležitější hlučnost autobusu, než ruchu z okolí, bude jen jedenkrát za 5 minut. Jednotlivým měřením budou přiděleny body podle následující tabulky.

Tabulka 3 - Hodnocení dle hlučnosti

Vnitřní hlučnost	pod 70 dB	70 - 82 dB	nad 82 dB
Body	100	50	0

Vibrace

Vibrace, které se vyskytují ve vozidlech, způsobují, že cestující cítí nepohodlí, což vede ke snížení jízdního komfortu a celkovému vnímání kvality. [31]

Vibrace jsou v podstatě pravidelně se opakující stejná zrychlení a zpomalení. Zatímco u „Stylu jízdy“ byla měřena pouze podélná a příčná zrychlení⁸, zde se musí přidat ještě třetí osa z – vertikální zrychlení. Měřená veličina tedy bude zrychlení ale při vyšších frekvencích. Intenzita vibrací celého těla (WBV⁹), která přesahuje denní hodnotu expozice nad 0,5 m/s² je již škodlivá. K WBV dochází, když tělo přijde do styku s vibračním povrchem. WBV jsou nejdůležitější ve frekvenčním rozsahu od 1 Hz ÷ 80 Hz, protože hlavní rezonanční body některých orgánů a částí lidského těla (např. hlavy, žaludku a páteře) jsou umístěny v tomto frekvenčním rozsahu. Naopak WBV o extrémně nízké frekvenci (do 0,5 Hz) může způsobit "mořskou nemoc". [32, s. 436]

Je navrženo použít čidlo vibrací se snímací frekvencí 10 Hz. Podíl nadlimitních hodnot (přesahující 0,5 m/s²) v celkovém čase jízdy budou brány jako podíl doby jízdy v tomto režimu k celkovému času jízdy.

$$Body(vibrace) = 100 - \left(\frac{vibrace\ nad\ limitem\ (s)}{celkový\ čas\ jízdy\ (s)} * 100 \right)$$

⁸ Zrychlení se zápornou hodnotou je zpomalení.

⁹ Zkratka pro Whole-Body Vibrations

Mikroklima

Byť se toto kritérium se nám dále dělí na čtyři elementy (teplota, obsah CO₂, vlhkost, úroveň osvětlení), bude počet jednotlivých elementů zredukován pouze na jeden a to na teplotu.

Obecná měření pro zjištění příjemné teploty ve vozidlech určila její hodnotu mezi 22,4 °C až 28,9 °C [33, s. 75]. Přesnější hodnoty lze stanovit jednak s přihlédnutím k okolní teplotě, dále pak k vlhkosti [34, s. 1091] či proudění vzduchu.

V případě doporučených teplot ve vozidlech platí pro PID: [20, s. 17-18]

Venkovní teploty nad 22 °C

Vozidlo musí být vybaveno funkční klimatizací a při venkovní teplotě v rozmezí 22–25 °C musí být zajištěno, aby uvnitř vozidla byla teplota v rozmezí 20 – 25 °C. Při venkovních teplotách vyšších než 25°C musí být teplota uvnitř vozidla vždy o 1 – 6 °C nižší než teplota venkovní.

Venkovní teploty pod 8 °C

Vozidlo musí být vybaveno funkčním systémem vytápění prostoru pro cestující a při poklesu venkovní teploty pod 8 °C musí být zajištěno vytápění vozidla tak, aby uvnitř vozidla byla teplota v rozmezí 15–20 °C nebo s ohledem na venkovní teplotu i nižší než 15 °C, avšak v takovém případě vždy alespoň o 15 °C vyšší než teplota venkovní. Absolutní minimální teplota ve vozidle za všech okolností je 5 °C.

Z výše uvedeného vyplývá, že je potřeba měřit teplotu nejen ve vozidle, ale zjišťovat i teplotu venkovní. Vyhodnocování bude probíhat na základě aktuální venkovní teploty, budou použity hodnoty dle PID [20] s tím že mohou nastat 3 případy, jmenovitě:

- zima (venkovní teplota pod 8 °C),
- léto (venkovní teplota nad 25 °C),
- ostatní období.

Tabulka 4 - Hodnocení mikroklíma pro zimu

Teplota uvnitř autobusu / venku	+8 °C až -5 °C	-5 °C až -8 °C	více než -10 °C
pod 5 °C	0	0	0
od 5 °C do 10 °C	0	50	100
od 10 °C do 15 °C	50	100	100
rozsah 15 °C-20 °C	100	100	100
nad 20 °C až 25 °C	50	50	50
nad 25 °C	0	0	0

Tabulka 5 - Hodnocení mikroklíma pro léto

	Hodnoty	Body
Vnitřní teplota vyšší	o více než 4 °C	0
Vnitřní teplota stejná	nebo vyšší až o 4 °C	50
Vnitřní teplota nižší	o 1 °C - 6 °C	100
	o 6 °C - 11 °C	50
	o více než 11 °C	0

Tabulka 6 - Hodnocení mikroklíma pro ostatní období

Teplota uvnitř autobusu	Body
Pod 15 °C	0
nad 15 °C - pod 20 °C	50
20 °C - 25 °C	100
nad 25 °C - pod 30 °C	50

4 Vlastní práce

Tato část práce se bude zabývat konkrétní aplikací navržených řešení v předchozích částech této práce – od výběru vhodné platformy, přes výběr čidel a přenosové datové sítě, jejich zapojení, sběru a přenosu dat až do jejich celkového vyhodnocení z pohledu kvality jízd. Celé navržené řešení bude otestováno v rámci pilotního nasazení v MHD města Litoměřice na všech 4 provozovaných linkách.

Ačkoli je v teoretické části práce zahrnován do celkové kvality přepravy i faktor obsazenosti, provozovatel MHD neumožnil jakýkoliv invazivní zásah do vozidla. Z tohoto důvodu nebude možné měřit a vyhodnocovat tento faktor a výsledné hodnocení kvality nebude tento element kvality obsahovat.

4.1 Platforma

V teoretické části práce byly představeny pouze dvě, v současné době nejrozšířenější, platformy pro stavbu složitějších IoT řešení. Výběr vhodné platformy byl tedy zúžen na řešení postavená na platformě Raspberry Pi a ESB WROOM 32. Výkonnostně je platforma Raspberry Pi mnohem výše, ovšem cena vlastního počítače a všech souvisejících komponent je také mnohem vyšší.

S ohledem na skutečnost, že ve vybraném městě jsou provozovány čtyři autobusové linky, a pro pilotní nasazení je žádoucí měřit kvalitu ve všech spojích, je nutné sestavit, oživit a zprovoznit čtyři IoT zařízení.

V následující tabulkách je uvedeno orientační cenové srovnání pro řešení postavená na obou uvažovaných platformách. Ke konkrétním počítačům jsou vybrána typově správná čidla a ostatní potřebné komponenty, aby výsledné ceny byly porovnatelné a obsahově podobné. Ceny jsou platné k lednu až březnu 2021.

Tabulka 7- Orientační ceny komponent Raspberry Pi

Komponenta	Potřebný počet ks	Cena za kus	Cena celkem
Raspberry PI 4 (4GB)	4	1 600	6 400
Sense Hat	4	989	3 956
Senzor hlasitosti	4	165	660
Grove modul	4	249	996
Kabely ke Grove	4	83	332
IoT HAT Modem (2 oper)	4	549	2 196
Grove GPS Poloha navigační modul	4	419	1 676
Grove Prachový senzor	4	319	1 276
CO2 senzor	4	1 199	4 796
Hliník. krabicka	4	688	2 752
StromPI 3	4	999	3 996
LiFePO4 2000mAh baterie	4	1 149	4 596
SD Card 32 GB	4	429	1 716
Celková cena v Kč			35 348

Tabulka 8 - Orientační ceny komponent ESB WROOM 32

A jako další je tabulka Komponenta	Potřebný počet ks	Cena za kus	Cena celkem
ESP-WROOM-32	4	228	912
GPRS GSM Module SIM800L	4	168	672
GPS Modul	4	198	792
3-osý gyroskop a akcelerometr	4	48	192
Senzor kvality ovzduší, teploty, tlaku	4	618	2 472
Sharp GP2Y1010AU0F Optický senzor	4	198	792
microSD Card modul SPI	4	28	112
Nabíječka pro USB Powerbank 5V	4	18	72
EHAO LiPol Baterie 1500mAh 3.7V	4	158	632
RTC Hodiny reálného času	4	58	232
Keyes KY-016 RGB LED Modul	4	18	72
Grove - Senzor hlasitosti	4	165	660
Kingston 32GB micSDHC	4	189	756
Celková cena v Kč			8 368

Platforma ESB WROOM 32 je oproti Raspberry Pi sice výkonově slabší, ale pro navrhované řešení stále výkonově dostatečná a s ohledem na skutečnost, že cena všech potřebných komponent je na úrovni 25% ceny oproti řešení na platformě Raspberry Pi, bude pro celkové řešení využita právě platforma ESB WROOM 32.

4.2 Přenosová síť

Potřebná data k hodnocení kvality přepravy budou měřena v intervalech nastavených u jednotlivých měřených parametrů. Budou průběžně ukládána na SD kartu IoT zařízení a jednou za 10 minut bude docházet k odeslání prostřednictvím bezdrátové sítě k jejich dalšímu zpracování a vyhodnocení.

Pro výběr vhodné bezdrátové sítě musí být znám alespoň řádový objem přenášených dat a jejich počet. Pro orientační výpočet budeme uvažovat přenos potřebných dat s frekvencí 1 x za 10 sekund. Už u této hodnoty narážíme na limity sítí Sigfox a LoraWAN. Minimální potřebná data, které bude nutné přenášet, budou: id zařízení, datum, čas, GPS souřadnice, teplota, přetížení ve 2 osách, otřesy a hluk. Deset údajů po minimálně 8 B znamená minimálně 80 B/10 s, za den potom, při optimistickém odhadu a při nezahrnutí servisních příkazů a hlaviček zpráv, více než 1,5 MB.

Vhodná IoT síť pro přenos uvedeného odhadnutého množství dat se zúžila pouze využití licencovaných sítí. Byla vybrána síť NB-IoT, kterou v ČR v současnosti nabízí a provozuje společnost Vodafone.

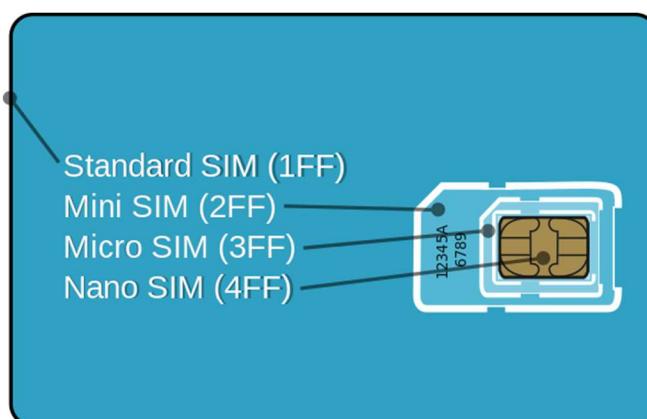
Pro tuto síť musí být vybrán i vhodný GSM modul, který tuto síť podporuje. Po analýze a porovnání dostupných modulů byl vybrán GSM modul Waveshare SIM 7020E. Výhoda tohoto modulu je možnost využít mimo interní antény také externí anténu, a tak je i v místech s horším pokrytím signálem umožnit snadné a bezproblémové připojení k NB-IoT síti. Společnost Vodafone nabízí využití testovacích karet SIM pro NB-IoT na 6 měsíců s plnou funkcionalitou, ale omezeným objemem přenesených dat, max. 50 MB za měsíc.

Obrázek 7 - GSM modul Waveshare SIM 7020E¹⁰



Vybraný GSM modul podporuje rozměr karty obchodně označované jako microSIM karta, odborně je to velikost 3FF.

Obrázek 8 - Vývoj velikostí SIM karet¹¹



¹⁰ Obrázek z <https://www.laskarduino.cz/>

¹¹ Obrázek z https://cs.m.wikipedia.org/wiki/Soubor:GSM_SIM_card_evolution.svg

4.3 Výběr ostatních komponent

V této části práce bude pro každý měřitelný element kvality vybráno potřebné a vhodné čidlo. Dále bude definováno, která data a jakým způsobem měřit, sbírat a dále pak vyhodnocovat pro zjištění kvality poskytované služby.

4.3.1 Přesnost a spolehlivost

Pro měření kvalitativního parametru přesnost a spolehlivost je zapotřebí znát přesnou polohu autobusu, resp. IoT zařízení, současně s přesným časem. Tyto informace budou získány pomocí GPS modulu, který bude v intervalu 10 sekund zaznamenávat přesnou lokaci. Bude použito GPS čidlo, které je již součástí GSM modulu Waveshare SIM 7020E. Tento modul disponuje interní anténou, ale pro jistotu dostatečně kvalitního příjmu signálu družic bude použita anténa externí. Toto bude jediná externím věc, mimo napájecího kabelu, použitá u vytvořeného IoT zařízení.

Mimo požadovaných informací jako je přesný čas (dd.mm.yyyy hh:mm:ss) a poloha (latitude a longitude nn,nnnn) poskytuje i informace o nadmořské výšce, rychlosti pohybu a počtu viditelných satelitů. I tyto informace budou v průběhu pilotního nasazení sbírány a odesílány, byť se v prvotním nasazení s jejich vyhodnocováním pro potřeby této práce nepočítá.

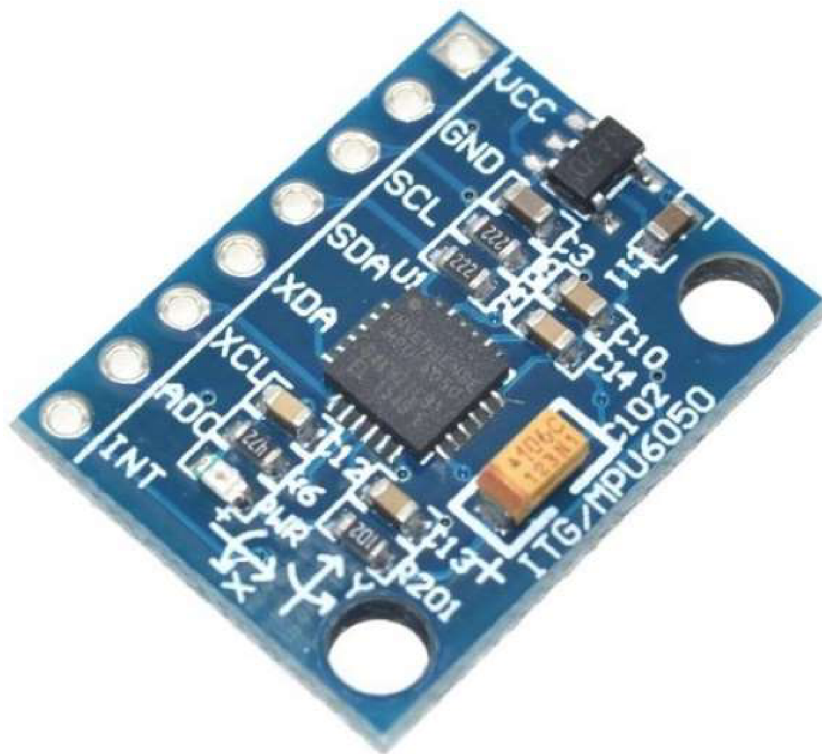
Ze znalosti přesné polohy společně s přesným časem bude možné následně vypočítat splnění kvalitativního kritéria přesnost jízdy, tedy komparace skutečně provedené jízdy s údaji uvedenými v jízdním řádu.

4.3.2 Styl jízdy

Pro měření stylu jízdy řidiče bude vyhodnocováno podélné a příčné přetížení. Jako vhodné čidlo se ukazuje 3osý gyroskop a akcelerometr GY-521, MPU6050. Umožňuje měření ve 3 osách (x, y, z). Po spuštění se automaticky kalibruje, takže jeho přesné uvedení do horizontální polohy není nutné. Důležité při zapojení bude jeho přesné umístění v měřícím IoT zařízení a stejně tak umístění zařízení ve vozidle. To je důvod uvedené šipky s informací o umístění ve směru jízdy patrné na Obrázek 16 - Výsledné IoT zařízení s externí GPS anténou. Čidlo měří hodnoty a každých 30 ms ukládá hodnoty na SD kartu. Před jejich

odesláním (v 10 s intervalech) poté dojde k výpočtu průměru, minima, maxima a počtu hodnot překračujících dovolený limit. Takto zpracovaná data jsou následně odeslána k dalšímu použití v aplikaci.

Obrázek 9 – Akcelerometr



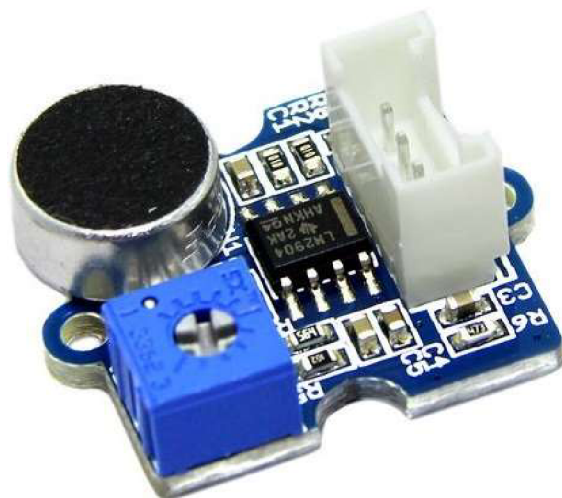
MPU-60X0 je první integrované 6osé zařízení MotionTracking na světě, které kombinuje 3osé gyroskop, 3osý akcelerometr a Digital Motion Processor™ (DMP), to vše v malém 4 x 4 x 0,9 mm balíčku. Díky své vyhrazené sběrnici snímačů I2C přímo přijímá vstupy z externího 3osého kompasu poskytující kompletní 9osý výstup MotionFusion™. Zařízení MPU-60X0 MotionTracking s 6 osami integrace, vestavěný MotionFusion™ a runtime kalibrační firmware umožňují výrobcům eliminovat nákladný a komplexní výběr, kvalifikace a integrace diskretních zařízení na systémové úrovni, zaručující optimální pohybový výkon pro spotřebitele. MPU-60X0 je také navržen pro propojení s více neinerciálními digitálními senzory, jako jsou tlakové senzory, na pomocném I2C port.¹²

¹² Obrázek a popis z https://www.laskarduino.cz/user/related_files/mpu-6050_datasheet_v3_4.pdf

4.3.3 Hlučnost

Grove - Senzor hlasitosti je určen k detekci hlasitosti okolního zvuku. Na základě zesilovače LM2904 a vestavěného mikrofonu zesiluje a filtruje vysokofrekvenční signál přijímaný z mikrofonu. Výstupní hodnota závisí na úrovni zvukového vstupu. Aby se předešlo zbytečným poruchám signálu, tak vstupní signál dvakrát prochází filtrováním uvnitř modulu a pomocí potenciometru je možné manuálně doladit výstup.

Obrázek 10 - Grove senzor hlasitosti¹³



Obdobně jako u akcelerometru budou údaje o hlučnosti snímány každých 30 ms na SD kartu a následně před každým odesláním dat dojde k jejich zpracování, tzn. výpočtu průměru, minima, maxima a počtu hodnot překračujících dovolený limit.

4.3.4 Vibrace

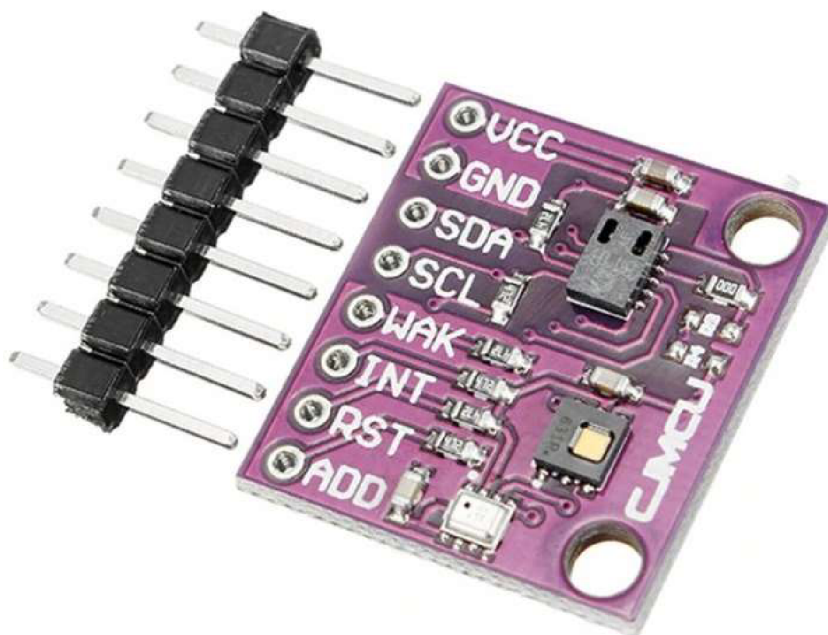
Pro měření vibrací a otřesů bude využito čidlo, které je již vybráno pro měření stylu jízdy. V tomto případě bude využita jeho třetí osa z, která bude měřit velikost otřesů. Zpracování dat na úrovni IoT zařízení bude probíhat totožně se zpracováním dat z jízdního stylu.

¹³ Obrázek a popis z <https://rpishop.cz/senzory/2276-grove-senzor-hlasitosti.html>

4.3.5 Mikroklima

Faktor mikroklima se skládá z několika elementů – teplota, obsah CO₂, vlhkost, úroveň osvětlení. Přestože byl v teoretické části tento kvalitativní faktor omezen pouze na kvalitativní element „teplota“, pro pilotní nasazení a testování bude použit kombinovaný senzor CCS811 +SI7021+BMP280, který měří mnohem více veličin.

Obrázek 11 - Kombinovaný senzor kvality ovzduší¹⁴



Senzor kvality ovzduší CCS811 měří mimo teploty i tlak, vlhkost a kvalitu ovzduší. CCS811 je nízkonapěťový digitální senzor plynů, který v sobě obsahuje MOX detektor plynů, který dokáže detekovat široké rozpětí látek VOC pro detekci kvality vzduchu v místnosti.

Měření uvedených hodnot probíhá každou sekundu, data se opět ukládají na SD kartu v IoT zařízení a následně před každým odesláním dat dojde k jejich zpracování, tzn. výpočtu průměru, minima, maxima a počtu hodnot překračujících dovolený limit.

Nad rámec požadovaných kvalitativních hodnot uvedených v teoretické části práce byl do IoT zařízení přiřazen i další senzor – senzor prašnosti. GP2Y1010AU0F je optický

¹⁴ Obrázek a popis z <https://www.laskarduino.cz/senzor-kvality-ovzdusi--teploty--tlaku-a-vlhkosti-ccs811-si7021-bmp280-i2c/>

snímač množství prachu ve vzduchu. Modul detekuje odražené světlo prachu ve vzduchu pomocí infračervené diody a fototranzistoru. Výstupem snímače je analogové napětí úměrné měřené hustotě prachu s citlivostí 0.5V / 0.1mg / m³.

Obrázek 12 - Optický senzor množství prachu¹⁵



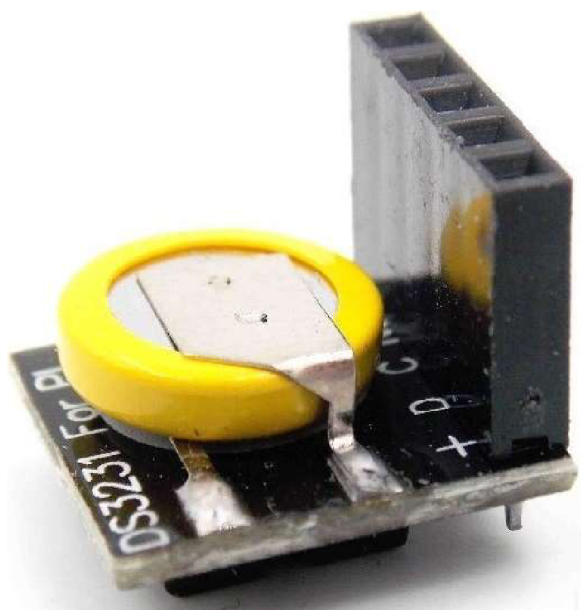
Data z tohoto čidla se ukládají každých 10 s na SD kartu a následně dochází k jejich odeslání k dalšímu vyhodnocení.

¹⁵ Obrázek a popis z <https://www.laskarduino.cz/sharp-gp2y1010au0f-opticky-senzor-kvality-ovzdusi/>

4.3.6 Ostatní

Protože přesný čas je pro následné vyhodnocování naměřených hodnot velmi důležitý a žádná komponenta v IoT zařízení nedisponuje přesnými hodinami, je celé zařízení doplněno o RTC¹⁶. Budou použity RTC hodiny reálného času DS3231 s integrovanou baterií.

Obrázek 13 - RTC DS3231¹⁷



DS3231 je low-cost, extrémně přesný I2C modul reálného času (RTC) s integrovaným teplotně kompenzovaným krystalovým oscilátorem (TCXO) a krystalem. Hodiny budou „seřizeny“ vždy při první připojení k NB-IoT síti přesným časem sítí operátora.

Jako další komponenta, o kterou bude řešení doplněno, je i záložní zdroj energie – baterie. Ač je předpokládáno trvalé napojení celého IoT zařízení na elektrický zdroj pomocí USB, v případě krátkodobého výpadku elektrické energie bude žádoucí pokračovat v měření

¹⁶ Real Time Clock - hodiny reálného času

¹⁷ Popis a obrázek z <https://www.laskarduino.cz/rtc-hodiny-realneho-casu-ds3231--integrovana-baterie/>

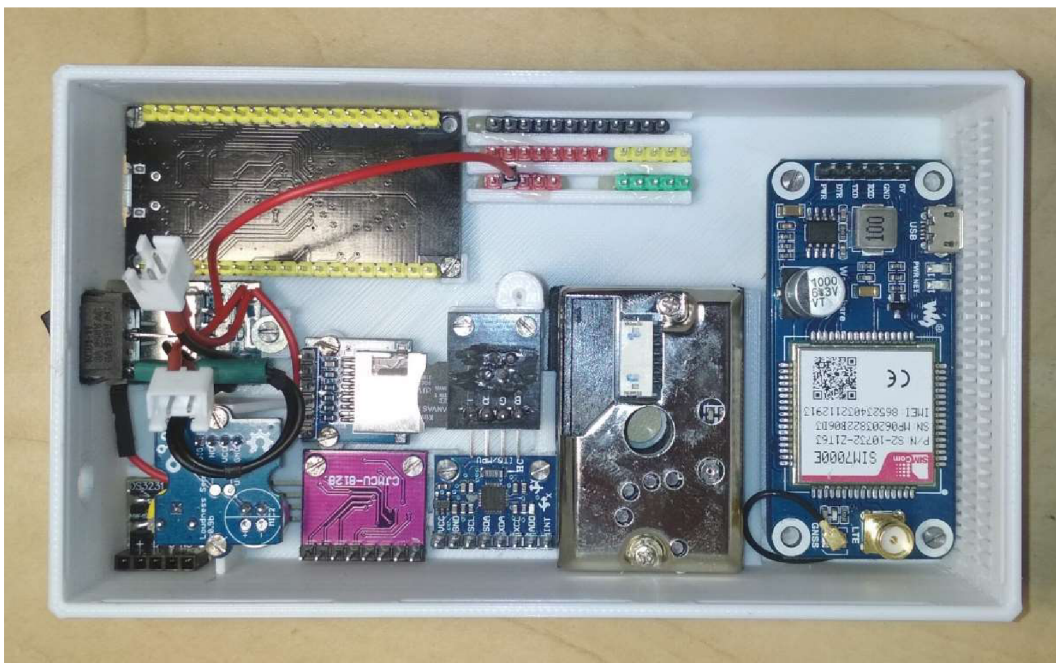
a odesílání nasbíraných dat. Vybraná baterie by měla udržet celý systém v chodu po dobu desítek minut.

Jak již bylo zmíněno v předchozích pasážích, některá vybraná čidla jsou schopna poskytovat více informací, než jsou potřebná pro tuto práci a pro která byla do systému nasazena. Rovněž tak některá čidla jsou přidána i nad rámec skutečných potřeb měření. Jedná se záměrný úmysl s cílem pilotně ověřit i možnosti měření dalších veličin. Teprve po tomto ověření, odzkoušení a vyhodnocení jednotlivých výstupů (z pohledu jejich relevance a celkových výsledků) bude rozhodnuto o definitivní podobě koncového IoT zařízení.

4.4 Zapojení čidel

Počítač, všechna čidla, ostatní komponenty a SIM karta již byly vybrány a bylo možné přistoupit ke kompletaci IOT zařízení. Protože se bude jednat pouze o prototyp zařízení, budou jednotlivé komponenty pouze „prodrátovány“, jednoduchá krabička pro toto řešení bude vytištěna na 3D tiskárně. V případě komerčního nasazení tohoto systému by bylo potřeba provést preciznější a více líbivou variantu.

Obrázek 14 - Jednotlivé komponenty v krabičce



Postup a jednotlivé fáze fyzické montáže celého IoT zařízení se skládají z těchto kroků:

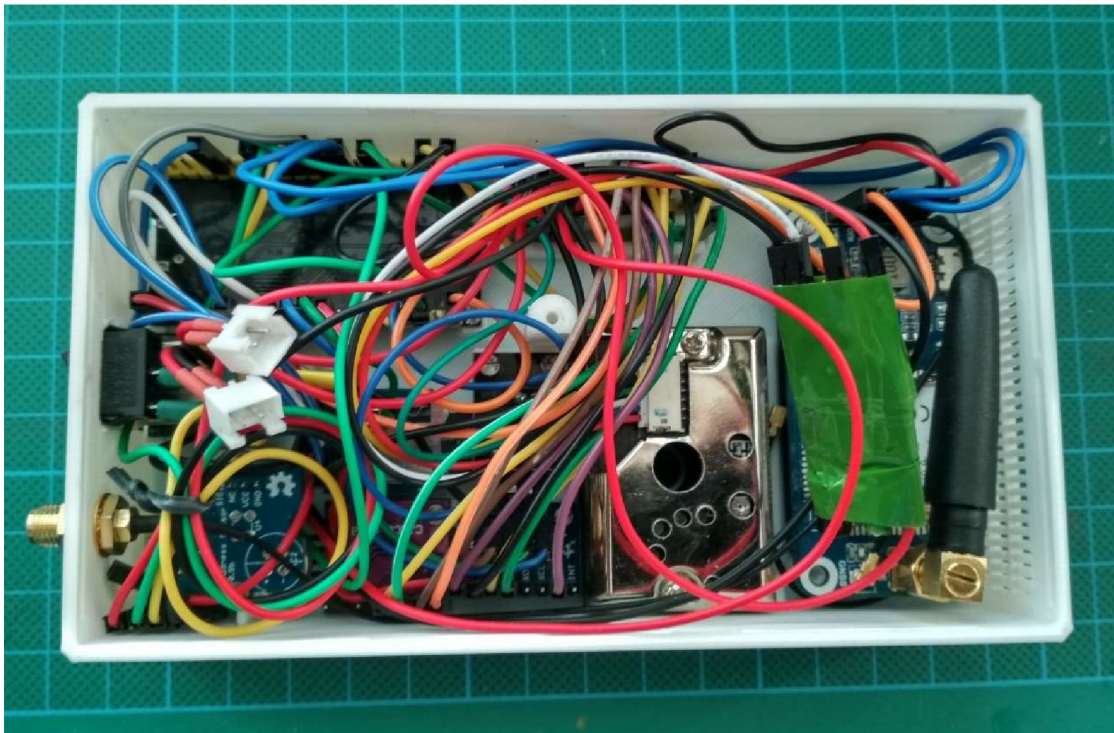
1. Sběrnice I2C (2 drátová sběrnice + napájení):
 - Multisenzor CCS811+SI7021+BMP280,
 - 3-osý gyroskop a akcelerometr GY-521,
 - Hodiny reálného času DS3231.
2. Sběrnice SPI (4 drátová sběrnice + napájení):
 - MicroSD Card modul SPI 3.3V.

3. Sběrnice RS232 (2 drátová sběrnice + napájení):
 - LTE/GPS Modul SIM7000E s anténami GSM a GPS

4. Přímé napojení signálového vodiče do řídicího čipu:
 - Grove - Senzor hlasitosti.
 - Sharp GP2Y1010AU0F Optický senzor kvality ovzduší.
 - Výstupní 4barevná dioda pro detekci funkce.

5. Napájecí vodiče:
 - Modul pro napájení z USB + dobíjení záložní LIPo baterie + přepnutí na baterii v případě ztráty napětí,
 - Vypínač.

Obrázek 15 - "Prodrátované" komponenty



Tím je celá hardwarová výroba ukončena a je možné postoupit k SW vybavení zařízení.

Pro řídicí čip ESP32 bude naprogramován vlastní řídicí program v Arduino IDE v jazyce C s použitím již hotových knihoven pro ovládání jednotlivých komponent IoT zařízení.

Obsah a funkce SW/Firmware:

Inicializace

Gyrosenzor kalibruje naklonění krabičky od vodorovné polohy (krabička umí pracovat i v nakloněné stabilní poloze) a zapamatuje si opravné koeficienty pro úpravu měřených hodnot (po inicializaci už by se nemělo se zařízením hýbat). Zde se detekují speciální režimy, viz dále. LTE SIM7000E – proběhne reset a inicializace GSM modemu pomocí AT příkazů, napojení na síť operátora v datové NB-IoT síti. Na GPS polohu se nečeká, první měření mohou proběhnout bez ní. Inicializace SD karty zjišťuje, zda jsou na kartě nějaká odložená data k odeslání. Inicializace ostatních senzorů jen otestuje, zda jsou dostupné a odpovídají. Hodiny reálného času se označí jako nesynchronizované, po spojení s GSM sítí jsou seřizeny dle sítě operátora.

Vlastní běh aplikace

Základní nekonečná smyčka s čítači času. Každých 30ms změření hodnot z akceleračních čidel a čidla hluku. Každých 1000ms změření teploty, vlhkosti, tlaku, CO₂, TVOC. Každých 10 sekund změření GPS polohy, rychlosti, směru a prašnosti prostředí, výpočet průměru, minima, maxima a počtu hodnot překračujících dovolený limit z pole předchozích 30ms a 1000ms měření. Vytvoření balíčku s daty (JSON formát cca 500 bytů, vložen čas měření z RTC a identifikace zařízení číslem používané SIM karty).

Pokus o odeslání dat na server přes mobilní datovou NB-IoT síť.

V případě úspěšného odeslání dochází ke smazání uložených dat, pokus o odeslání několika starších balíčků dat (pokud jsou na SD kartě odložené) a další cyklus měření.

V případě neúspěchu odložení na SD kartu a další cyklus měření.

Pokud se data nepodaří odeslat vícekrát za sebou, dochází k restartu a opětovné inicializaci GSM modemu.

Zobrazení stavu zařízení

Indikace funkce pomocí LED:

Inicializace: svítí bíle.

Odesílání dat: svítí modře.

Měření: bliká zeleně.

Měření s nedostupnými GPS souřadnicemi: bliká fialově.

Měření s nedostupnou GSM sítí: bliká červeně

Měření s odloženými neodeslanými daty na SD kartě: bliká žlutě.

Pokud platí více stavů, bliká LED střídavě více barvami po sobě.

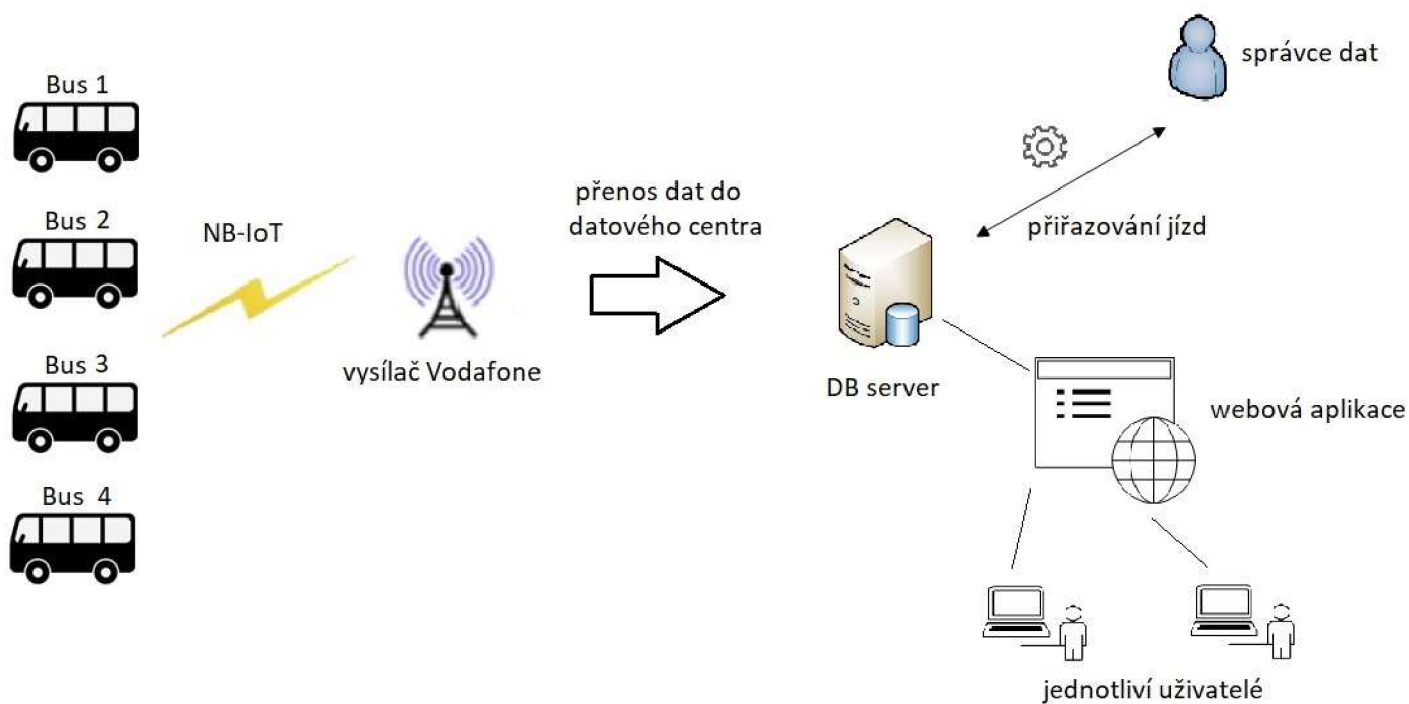
Obrázek 16 - Výsledné IoT zařízení s externí GPS anténou



4.5 Celkové přehledové schéma řešení

Na následujícím schématu jsou zobrazeny jednotlivé části celkového řešení a vztah mezi nimi. Každý autobus obsahuje měřicí IoT zařízení, které pomocí sítě NB-IoT přenáší naměřená data do datového centra. Tato data jsou následně přiřazena k jednotlivým jízdám podle platného jízdního řádu. Poté dochází k vyhodnocení jednotlivých dílčích kvalitativních parametrů a následně k výpočtu celkové kvality jízdy. Tyto údaje jsou následně automaticky zpřístupněny přes aplikační server koncovým uživatelům.

Obrázek 17 - Schématické znázornění celkového řešení ¹⁸



¹⁸ Zdroj: autor

4.6 Aplikace na vyhodnocování celkové kvality

Navržená aplikace bude spravovat a vyhodnocovat data, přiřazovat vyhodnocená data k jednotlivým jízdám a vyhodnocovat tak i celkovou kvalitu přepravy. Aplikace bude napsaná v Reactu¹⁹ a její provoz bude optimalizován pouze pro prohlížeč Google Chrome. Funkcionalita aplikace bude pro pilotní nasazení naprogramovaná v minimalistické verzi, automaticky aplikovatelné postupy, možnosti nastavení úrovně jednotlivých kvalitativních parametrů (jejich hodnot) a také celkové hodnocení (váhy mezi kritérii) nebudou zatím aplikovány.

Jednotlivé kvalitativní parametry budou vyhodnoceny samostatně, potom ve skupině pomocí aritmetického průměru a teprve poté jednotlivé skupiny opět pomocí aritmetického průměru zobrazí celkovou kvalitu přepravy.

Obrázek 18 - Úvodní obrazovka aplikace



Copyright © www.multima.cz 2021. Author MULTIMA a.s.

¹⁹ React je bezplatná open-source front-end knihovna JavaScript pro vytváření UI rozhraní na základě komponent. React lze použít jako základ při vývoji jednostránkových nebo mobilních aplikací.



V části „Zařízení“ je seznam všech přiřazených IoT zařízení s jejich jednoznačným identifikátorem (SN), názvem, datem a časem poslední aktivity (odeslání dat) a poslední známou polohou. U konkrétního zařízení potom jsou vidět všechna odeslaná data. Vzhledem k velkému množství dat je umožněno jejich filtrování pomocí data a času.


Tabulka 9 - Shromážděná data u konkrétního IoT zařízení

IoT - Hodnocení kvality autobusové dopravy														
Zařízení		Linky			Kvalita					Admin				
← Zpět na seznam zařízení														
Zařízení 901288003953425														
Počáteční datum		Koncové datum			Limit									
13.08.2021 10:30		14.08.2021 02:00			100									
Naměřená data					Grafy					Projatá trasa				
ID	Čas měření	Lat	Lon	Výška	Směr	Rychlost	Satelity	Teplota	Vlhkost	CO2	Prašnost	Hluk	Zrychl. X	Zrychl. Y
192319	18.03.2022 22:00:40	50.53418	14.139	157	82	27	16	24.8	50	1047	350	1371	0.09	-0.32
192325	18.03.2022 22:00:40	50.53503	14.14545	172	25	0	16	24.9	46	887	547	1359	0.2	-0.17
192327	18.03.2022 22:00:40	50.53503	14.14544	172	25	0	15	24.8	45	920	401	1377	0.05	-0.06
192329	18.03.2022 22:00:40	50.53503	14.14544	172	25	0	14	24.8	46	1200	417	1435	0.05	-0.07
192331	18.03.2022 22:00:40	50.53504	14.14544	172	31	4	14	24.7	46	1263	447	1414	0.2	-0.2
192333	18.03.2022 22:00:40	50.53541	14.14606	175	46	25	15	24.6	46	1459	333	1366	0.2	-0.15
192334	18.03.2022 22:00:40	50.53577	14.14661	177	340	14	15	24.6	45	1393	362	1437	0.18	0.28
192335	18.03.2022 22:00:40	50.53544	14.14611	174	228	20	16	24.5	45	1243	483	1325	-0.26	0.21
192336	18.03.2022 22:00:40	50.53496	14.14524	173	234	32	16	24.4	45	1370	403	1299	0.08	-0.13
192337	18.03.2022 22:00:40	50.53468	14.1439	167	292	21	16	24.4	44	1445	387	1418	-0.2	-0.32
192338	18.03.2022 22:00:40	50.53524	14.14297	171	315	29	16	24.4	44	1117	393	1386	0.23	-0.34
192342	18.03.2022 22:00:40	50.53596	14.14288	177	18	31	15	24.3	43	1364	402	1343	0.29	-0.36
192348	18.03.2022 22:00:40	50.53835	14.14335	186	327	16	16	24.1	43	1476	390	1358	0.17	-0.24
192351	18.03.2022 22:00:40	50.53853	14.14229	184	280	22	16	24	43	1564	395	1356	-0.07	-0.17
192356	18.03.2022 22:00:40	50.53899	14.13973	181	9	12	16	23.9	42	1475	398	1271	0.16	-0.39
192360	18.03.2022 22:00:40	50.54124	14.14105	194	8	25	16	23.7	44	1655	280	1346	0.09	0.17
192362	18.03.2022 22:00:40	50.54131	14.14196	194	110	25	16	23.6	45	1537	341	1372	-0.19	0.44
192364	18.03.2022 22:00:40	50.54091	14.14246	194	154	0	15	23.6	46	1618	428	1388	-0.19	-0.34
192367	18.03.2022 22:00:40	50.54088	14.14248	191	153	0	14	23.7	47	1444	293	1477	-0.04	-0.08
192369	18.03.2022 22:00:40	50.54078	14.14258	192	155	14	16	23.7	48	1491	378	1379	0.16	-0.17

V části „Linky“ jsou definovány parametry jednotlivých linek. Z platných jízdních řádů jsou vygenerovány jednotlivé jízdy, ke kterým jsou později sebraná data přiřazena, jak je patrné z následujícího obrázku.

Obrázek 19 - Konkrétní autobusová linka a její jízdy


IoT - Hodnocení kvality autobusové dopravy





 Zařízení
Linky
Kvalita
Admin

[← Zpět na seznam linek](#)

Linka Litoměřice A

Seznam plánovaných jízd
Jízdní řád (pracovní den)
Jízdní řád (sobota a neděle)
Mapa trasy

Seznam plánovaných jízd (dle jízdního řádu)

Počáteční datum
13. 08. 2021 
Koncové datum
14. 08. 2021 
Limit
100 

ID	Kód	Datum jízdy	Čas začátku jízdy	Čas konce jízdy	Výjimky	Přiřazená data	Kvalita jízdy
1	1	13. 8. 2021	04:25	04:41	P		
2	3	13. 8. 2021	04:50	05:18	P		
3	5	13. 8. 2021	05:20	05:48	P	05:25:23 - 05:48:59 (29 záznamů)	94% (100%, 99%, 81%)
4	7	13. 8. 2021	05:50	06:16	P	05:50:08 - 06:17:10 (31 záznamů)	94% (100%, 99%, 80%)
5	9	13. 8. 2021	06:20	06:43	P	06:24:08 - 06:47:45 (35 záznamů)	71% (43%, 99%, 81%)
6	11	13. 8. 2021	06:43	07:21	P	06:48:20 - 07:21:26 (39 záznamů)	90% (90%, 100%, 81%)
7	13	13. 8. 2021	07:25	07:59	P	07:28:48 - 08:03:30 (64 záznamů)	64% (30%, 95%, 80%)
8	15	13. 8. 2021	08:05	08:38	P	08:04:08 - 08:39:37 (85 záznamů)	87% (84%, 98%, 80%)
9	17	13. 8. 2021	09:20	10:01	P	09:21:36 - 10:16:13 (157 záznamů)	77% (62%, 96%, 79%)
10	19	13. 8. 2021	10:20	11:01	P	10:19:54 - 11:11:06 (143 záznamů)	62% (24%, 97%, 79%)
11	21	13. 8. 2021	11:20	12:01	P		
12	23	13. 8. 2021	12:20	13:01	P		
13	25	13. 8. 2021	13:20	13:53	P		
14	27	13. 8. 2021	13:55	14:24	P		
15	29	13. 8. 2021	14:30	14:58	P	14:31:09 - 14:59:32 (92 záznamů)	74% (73%, 95%, 56%)
16	31	13. 8. 2021	15:00	15:29	P		
17	33	13. 8. 2021	15:35	16:00	P		
18	35	13. 8. 2021	16:00	16:36	P		
19	39	13. 8. 2021	16:40	17:03	P		
20	41	13. 8. 2021	17:40	18:21	P		

Zároveň tato část zobrazuje i mapu konkrétní linky pro lepší orientaci.

Obrázek 20 – Mapa jízdy konkrétní linky MHD

IoT - Hodnocení kvality autobusové dopavy


🏠 Zařízení Linky Kvalita Admin

← Zpět na seznam linek

Linka Litoměřice A

Seznam plánovaných jízd Jízdní řád (pracovní den) Jízdní řád (sobota a neděle) Mapa trasy

Trasa linky



Pod částí „Kvalita“ bude možné zobrazit výsledné celkové hodnocení jednotlivých jízd, jak je patné v Tabulka 11 - Celkový přehled kvality jízd.

V poslední sekci aplikace s názvem „Admin“ se budou přiřazovat jednotlivé vyhodnocené údaje ke konkrétním jízdám.

Obrázek 21 - Část aplikace pro přiřazování dat k jízdě

IoT - Hodnocení kvality autobusové dopravy

🏠ZařízeníLinkyKvalitaAdmin

Administrace dat

Spárování jízdy s datyZpracování kvality jízdy

Spárování jízdy s daty

<small>Počáteční datum</small> 13. 08. 2021 <input type="text"/>	<small>Koncové datum</small> 14. 08. 2021 <input type="text"/>	<small>Limit</small> 100 <input type="text"/>
<small>Linka</small> Všechny linky <input type="text"/>	<small>Nespárované jízdy</small> <input type="text"/>	<small>Zařízení</small> <input type="text"/>
<small>Skutečný čas začátku jízdy</small> 13. 08. 2021 00:00 <input type="text"/>	<small>Skutečný čas ukončení jízdy</small> 14. 08. 2021 00:00 <input type="text"/>	<input type="button" value="Spárovat"/>

4.6.1 Přesnost a spolehlivost

Pro měření přesnosti a spolehlivosti musí být systém schopen posuzovat splnění těchto parametrů. Je proto nezbytné, aby byl čas jednotlivých jízd a konkrétních zastávek (včetně jejich přesného umístění) v systému uložen.

Obrázek 22 - Jízdní řád "papírový"

557540 Městská autobusová doprava Litoměřice LINKA A																				
		Platí od 13.12.2020 do 11.12.2021																		
Přpravu zajišťuje : Autobusy Karlovy Vary, a.s., Sportovní 4, Karlovy Vary, Most, tel.353613613																				
Tč		1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	31	33	35	
1 od	Terezín, křiž.	6:43	16:00
2	Litoměřice, obchodní centrum	6:46	7:25	16:03
3	Litoměřice, aut.nadr.	4:25	4:50	5:20	5:50	6:20	6:50	7:30	8:05	16:07
4	Litoměřice, u stadionu	5:52	...	6:52	7:32	16:09
5	Litoměřice, výstaviště	5:53	...	6:53	7:33	16:10
6	Litoměřice, Tímo	5:56	...	6:56	7:35	16:12
7	Litoměřice, výstaviště	5:56	...	6:56	7:36	16:13
8	Litoměřice, u stadionu	5:58	...	6:58	16:17
9	Litoměřice, ŠZS	7:40	...	9:31	10:31	11:31	12:31	16:17
10	Litoměřice, nem.hi.vstup	7:40	...	9:34	10:34	11:34	12:34	16:19
11	Litoměřice, Daliborova	7:42	...	9:36	10:36	11:36	12:36	...	14:07	16:19
12	Litoměřice, u pošty	4:27	4:54	5:24	6:01	6:22	7:01	7:44	8:09	9:38	10:38	11:38	12:38	13:29	14:09	14:34	15:14	15:39	16:21	
13	Litoměřice, Palachova	4:28	4:55	5:25	6:02	6:23	7:02	7:45	8:10	9:39	10:39	11:39	12:39	13:30	14:10	14:35	15:15	15:40	16:22	
14	Litoměřice, žel.st.hor.	4:29	4:56	5:26	6:03	6:24	7:03	7:46	8:11	9:40	10:40	11:40	12:40	13:31	14:11	14:36	15:16	15:41	16:23	
15	Litoměřice, u závor	4:30	4:57	5:27	6:04	6:25	7:04	7:47	8:12	9:41	10:41	11:41	12:41	13:32	14:12	14:37	15:17	15:42	16:24	
16	Litoměřice, Pokratická	4:31	4:58	5:28	6:05	6:26	7:05	7:48	8:13	9:42	10:42	11:42	12:42	13:33	14:13	14:38	15:18	15:43	16:25	
17	Litoměřice, Pokratice kaplička	4:33	5:00	5:30	6:07	6:28	7:07	7:50	8:15	9:44	10:44	11:44	12:44	13:35	14:15	14:40	15:20	15:45	16:27	
18	Litoměřice, Pokratická	4:34	5:01	5:31	6:08	6:29	7:08	7:51	8:16	9:45	10:45	11:45	12:45	13:36	14:16	14:41	15:21	15:46	16:28	
19	Litoměřice, u závor	4:35	5:02	5:32	6:09	6:30	7:09	7:52	8:17	9:46	10:46	11:46	12:46	13:37	14:17	14:42	15:22	15:47	16:29	
20	Litoměřice, žel.st.hor.	4:37	5:04	5:34	6:11	6:32	7:11	7:54	8:19	9:48	10:48	11:48	12:48	13:39	14:19	14:44	15:24	15:49	16:31	
21	Litoměřice, Palachova	4:38	5:05	5:35	6:12	6:33	7:12	7:55	8:20	9:49	10:49	11:49	12:49	13:40	14:20	14:45	15:25	15:50	16:32	
22	Litoměřice, u pošty	4:39	5:06	5:36	6:13	6:34	7:13	7:56	8:21	9:50	10:50	11:50	12:50	13:41	14:21	14:46	15:26	15:51	16:33	
23	Litoměřice, u stadionu	...	5:09	5:39	...	...	...	...	8:24	9:53	10:53	11:53	12:53	13:44	...	14:49	...	...	...
24	Litoměřice, výstaviště	...	5:11	5:41	...	...	...	...	8:26	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
25	Litoměřice, Tímo	...	5:13	5:43	...	...	...	...	8:28	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
26	Litoměřice, výstaviště	...	5:14	5:44	...	...	...	...	8:29	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
27	Litoměřice, u stadionu	...	5:18	5:48	...	...	...	...	8:31	9:54	10:54	11:54	12:54	13:51	...	14:56	...	...	...
28	Litoměřice, aut.nadr.	4:41	5:18	5:48	6:18	6:36	7:16	7:59	8:33	9:56	10:56	11:56	12:56	13:53	14:24	14:58	15:29	15:53	16:36	
29	Litoměřice, obchodní centrum	...	...	...	...	...	7:21	...	8:38	10:01	11:01	12:01	13:01	...	...	...	...	...	...
30 př	Terezín, křiž.	6:43	16:00

V systému proto budou jednotlivé jízdní řády uloženy v databázi. Oproti datům z „papírového“ jízdního řádu musí přibýt i informace o přesném umístění zastávky včetně jejich souřadnic. Systém tak bude znát přesnou polohu jednotlivých zastávek, z jízdních řádů přesný čas příjezdu a pomocí dat získaných z IoT zařízení je bude schopen spárovat a vyhodnotit.

Obrázek 23 - Jízdní řád v databázi

Linka Litoměřice A

Seznam plánovaných jízd Jízdní řád (pracovní den) Jízdní řád (sobota a neděle) Mapa trasy

Jízdní řád (pracovní den)

Pořadí	Zastávka	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29
1	Terezín, křiž.	-	-	-	-	-	06:43	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	Obchodní centrum	-	-	-	-	-	06:46	07:25	-	09:20	10:20	11:20	12:20	13:20	-	-
3	Autobusové nádraží	04:25	04:50	05:20	05:50	06:20	06:50	07:30	08:05	09:25	10:25	11:25	12:25	13:25	13:55	14:30
4	U stadionu Z	-	-	-	05:52	-	06:52	07:32	-	09:27	10:27	11:27	12:27	-	13:57	-
5	Výstaviště J	-	-	-	05:53	-	06:53	07:33	-	-	-	-	-	-	13:58	-
6	Tímo	-	-	-	05:55	-	06:55	07:35	-	-	-	-	-	-	14:00	-
7	Výstaviště S	-	-	-	05:56	-	06:56	07:36	-	-	-	-	-	-	14:01	-
8	U stadionu V	-	-	-	05:58	-	06:58	-	-	-	-	-	-	-	14:03	-
9	6. ZŠ V	-	-	-	-	-	-	07:40	-	09:31	10:31	11:31	12:31	-	14:05	-
10	Nemocnice	-	-	-	-	-	-	-	-	09:34	10:34	11:34	12:34	-	-	-
11	Daliborova Z	-	-	-	-	-	-	07:42	-	09:36	10:36	11:36	12:36	-	14:07	-
12	U pošty S	04:27	04:54	05:24	06:01	06:22	07:01	07:44	08:09	09:38	10:38	11:38	12:38	13:29	14:09	14:34
13	Palachova V	04:28	04:55	05:25	06:02	06:23	07:02	07:45	08:10	09:39	10:39	11:39	12:39	13:30	14:10	14:35
14	Žel. st. hor. V	04:29	04:56	05:26	06:03	06:24	07:03	07:46	08:11	09:40	10:40	11:40	12:40	13:31	14:11	14:36

Přiřazování jednotlivých jízd ke konkrétnímu spoji zatím bude probíhat ručně. Administrátor či dispečer vybere v administrační sekci příslušná data a přiřadí je ke správné lince a konkrétní jízdě z jízdního řádu. Spárováním těchto údajů dojde k automatickému vyhodnocení přesnosti a spolehlivosti a zároveň se zbylé údaje přiřazené k těmto záznamům vyhodnotí z pohledu ostatních kvalitativních parametrů.

Po spárování dat s konkrétním spojem aplikace vypočte přesné časy splnění tohoto parametru po jednotlivých zastávkách, aby mohla určit celkovou hodnotu splnění kritéria přesnosti.

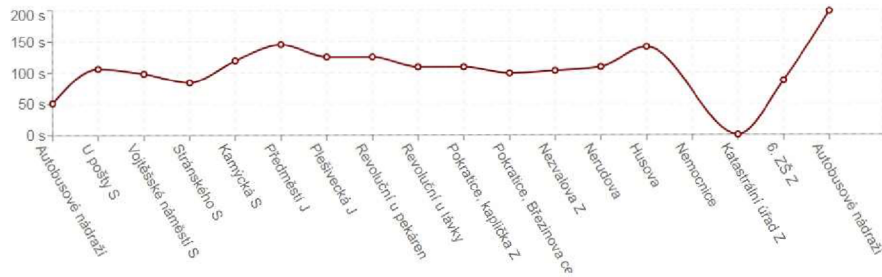
Obrázek 24 - Výsledné spárování jízdy s jízdním řádem

Hodnocení přesnosti po jednotlivých zastávkách

Pořadí	Název zastávky	Plánovaný čas	Čas příjezdu	Čas odjezdu	Odchylna [s]
1	Autobusové nádraží	10.08.2021 07:10	07:10:51	07:11:35	+51
2	U pošty S	10.08.2021 07:13	07:14:46	07:15:12	+106
3	Vojtěšská náměstí S	10.08.2021 07:15	07:16:38	07:17:16	+98
4	Stránského S	10.08.2021 07:17	07:18:24	07:18:50	+84
5	Kamýčká S	10.08.2021 07:18	07:19:59	07:20:42	+119
6	Předměstí J	10.08.2021 07:20	07:22:25	07:22:39	+145
7	Plešivecká J	10.08.2021 07:21	07:23:05	07:23:47	+125
8	Revoluční u pekárny	10.08.2021 07:23	07:25:05	07:25:19	+125
9	Revoluční u lávky	10.08.2021 07:24	07:25:49	07:26:16	+109
10	Pokratice, kaplička Z	10.08.2021 07:26	07:27:49	07:28:33	+109
11	Pokratice, Březinova cesta J	10.08.2021 07:28	07:29:39	07:30:06	+99
12	Nezvalova Z	10.08.2021 07:29	07:30:43	07:30:56	+103
13	Nerudova	10.08.2021 07:30	07:31:49	07:32:09	+109
14	Husova	10.08.2021 07:31	07:33:21	07:33:21	+141
15	Nemocnice	10.08.2021 07:33	-	-	0
16	Katastrální úřad Z	10.08.2021 07:35	07:34:16	07:36:56	0
18	6. ZŠ Z	10.08.2021 07:37	07:38:27	07:38:27	+87
19	Autobusové nádraží	10.08.2021 07:40	07:43:18	07:43:44	+198

Rows per page: 25 1-18 of 18 < >

Průběh zpoždění v čase

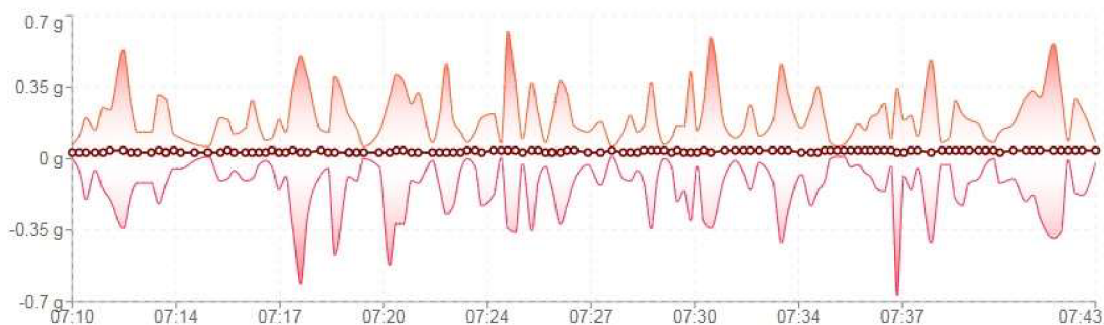


4.6.2 Styl jízdy

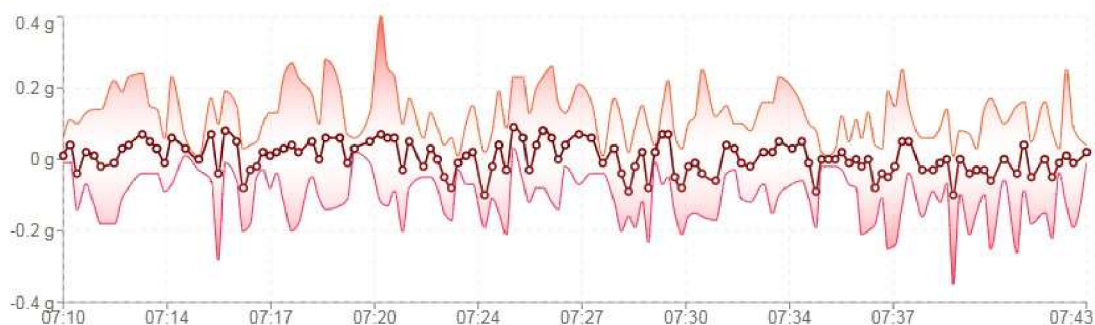
Z obsahu dat již přiřazených k jednotlivým jízdám systém vypočítá i splnění dalších kvalitativních parametrů. Z hodnot zrychlení, jak příčného, tak i podélného, určí překročení limitních hodnot pro styl jízdy, pomocí třetí osy z potom úroveň otřesů pro konkrétní spoj.

Obrázek 25 - Průběh stylu jízdy u konkrétního spoje

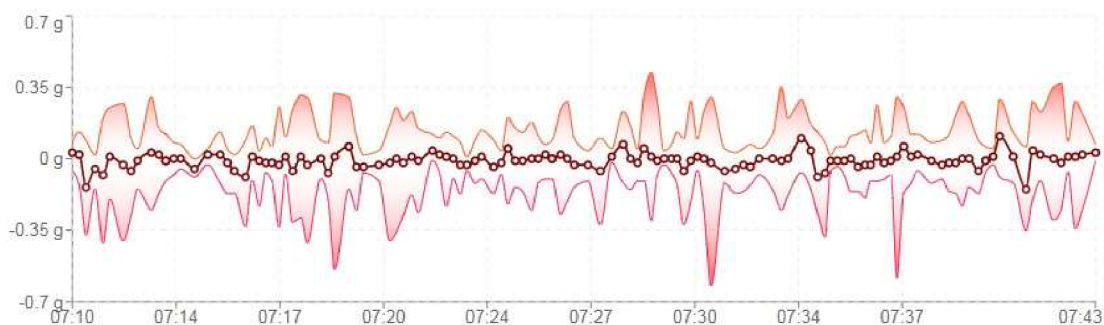
Průběh otřesů během jízdy



Průběh zrychlování a brzdění během jízdy



Průběh zatáčení během jízdy



4.6.3 Vnitřní prostředí

Jako poslední část celkového hodnocení proběhne vyhodnocení vnitřního prostředí. Opět z přiřazených hodnot ke konkrétní jízdě systém vypočte splnění jednotlivých kvalitativních parametrů a přiřadí odpovídající body.

4.7 Celkové hodnocení

Po vyhodnocení jednotlivých dílčích kvalitativních parametrů v předchozí části je již možné zhodnotit celkovou kvalitu konkrétní jízdy.

Tabulka 10 - Celkové hodnocení kvality konkrétní jízdy

Hodnocení kvality jízdy a zdrojová data

Linka: **Litoměřice B** Jízda: **13** Datum: **10:08:2021** Čas: **07:10 - 07:40**

Výsledné hodnoty	Přesnost po zastávkách	Ořesy, zatáčení, brzdění	Vnitřní prostředí
------------------	------------------------	--------------------------	-------------------

Souhrnné hodnoty pro výpočet hodnocení

Název	Hodnota	Název	Hodnota
Celkové hodnocení	92 %	Hodnocení kvality prostředí	82 %
Hodnocení přesnosti	94 %	Průměrná teplota	17,2261 °C
Průměrné zpoždění	100 sekund	Maximální teplota	17,9000 °C
Nadměrné zpoždění	6 zastávek	Doba nadměrné teploty	0,0000 %
Maximální zpoždění	198 sekund	Průměrná vlhkost	64,8409 %
Hodnocení ořesů, brzdění a zatáčení	98 %	Maximální vlhkost	66,0000 %
Doba nadměrných ořesů	1,1469 %	Doba nadměrné vlhkosti	0,0000 %
Maximální hodnota ořesů	0,6200 g	Průměrná hlučnost	1282,1465
Doba nadměrného brzdění	0,0000 %	Maximální hlučnost	4095,0000
Maximální hodnota brzdění	0,4000 g	Doba nadměrné hlučnosti	68,0323 %
Doba nadměrného zatáčení	0,6931 %	Průměrná prašnost	576,6204 ppm
Maximální hodnota zatáčení	0,4200 g	Maximální prašnost	1539,0000 ppm
		Doba nadměrné prašnosti	0,0017 %

A v následující tabulce je vidět vyhodnocení všech jízd.

Tabulka 11 - Celkový přehled kvality jízdy

Celkový přehled kvality jízdy

Linka	Počáteční datum	Koncové datum
Všechny linky	10.08.2021	12.08.2021

Linka	Datum jízdy	Čas jízdy	Celkové hodnocení [%]	Hodnocení přesnosti [%]	Hodnocení stylu jízdy [%]	Hodnocení prostředí [%]
Litoměřice B	10.08.2021	04:15 - 04:45	95	100	99	83
Litoměřice A	10.08.2021	04:25 - 04:41	82	69	100	83
Litoměřice A	10.08.2021	04:50 - 05:18	95	100	99	84
Litoměřice B	10.08.2021	04:50 - 05:20	95	100	99	84
Litoměřice A	10.08.2021	05:20 - 05:48	92	94	100	80
Litoměřice B	10.08.2021	05:25 - 05:55	94	100	97	82
Litoměřice A	10.08.2021	05:50 - 06:16	94	100	98	81
Litoměřice C	10.08.2021	06:00 - 06:40	95	100	99	84
Litoměřice B	10.08.2021	06:05 - 06:35	93	100	96	82
Litoměřice A	10.08.2021	06:20 - 06:43	71	50	91	80
Litoměřice B	10.08.2021	06:40 - 07:10	93	100	94	82
Litoměřice A	10.08.2021	06:43 - 07:21	84	86	85	82
Litoměřice C	10.08.2021	07:00 - 07:40	95	100	99	85
Litoměřice B	10.08.2021	07:10 - 07:40	92	94	98	82
Litoměřice A	10.08.2021	07:25 - 07:59	94	100	99	81

Celkové vyhodnocení kvality je v aplikaci realizováno prostřednictvím prostého aritmetického průměru tří výše uvedených kvalitativních parametrů (přesnost, styl jízdy a vnitřní prostředí). Pro přesnější a jemnější stanovení celkové kvality přepravy by pro komerční nasazení bylo potřeba umožnit hodnotiteli nastavovat váhu jednotlivých kvalitativních parametrů.

4.8 Ekonomické zhodnocení

Tato část práce se bude zabývat pouze ekonomickým zhodnocením možného nasazení IoT prostředků pro měření kvality autobusové přepravy, protože některé části přínosů není možné jednoduchým způsobem kvantifikovat, a tudíž vyjádřit jejich ekonomické přínosy. Například snížení spotřeby paliva vlivem stylu jízdy je sice ekonomicky vyčíslitelná hodnota, ale snížení emisí CO₂ se již ekonomicky obtížně vyčísluje.

Veškeré uváděné ceny jsou v Kč bez DPH.

4.8.1 Náklady

Náklady na zavedení služby měření kvality může nést jak zadavatel, tak i poskytovatel. Vzhledem k tomu, že ze získaných dat mohou profitovat obě skupiny, měly by být náklady rozloženy mezi ně.

Celkové náklady na pořízení řešení lze rozdělit do dvou základních oblastí. Jsou to inicializační (investiční) a provozní náklady.

V oblasti investičních nákladů jsou to především vlastní IoT zařízení, jeho instalace a vývoj aplikace na vyhodnocování získaných dat a jejich prezentaci.

Tabulka 12- Seznam a výše investičních nákladů

Položka	Cena celková	Cena měsíc	Poznámka
IoT zařízení	3.000,-	83,-	Odpis 36 měsíců, včetně instalace.
Aplikace	300.000,-	166,-	Kompletní vývoj aplikace bez následné podpory, uvažováno využití pro 50 autobusů, odpis 36 měsíců.
Celkem		249,-	

Provozní oblast zahrnuje potřebné datové připojení IoT zařízení, hosting aplikace a správu aplikace. Servis jednotlivých IoT zařízení by neměl být po dobu 3 let zapotřebí a poté se počítá s jejich obměnou.

Tabulka 13 - Seznam a výše provozních nákladů

Položka	Cena měsíc	Poznámka
Připojení NB-IoT	80,-	
Hosting aplikace	60,-	Počítáno 3.000,- na 50 autobusů
Správa aplikace	176,-	8 hod. á 1.100,- pro 50 autobusů
Celkem	316,-	

Celkové náklady při uvažování měření a nákladů na 50 linek vycházejí na úrovni **565,- Kč na měsíc a autobus.**

4.8.2 Přínosy

Zcela úmyslně není tato podkapitola nazvána termínem výnosy, ale přínosy. Ty v sobě zahrnují nejen výnosy v ekonomickém chápání, ale i výnosy ve formě kvalitněji poskytnuté služby, lépe hodnocené poskytnuté služby a čistě teoreticky i úspory v ceně ve formě slevy za nekvalitně poskytnuté služby²⁰. V neposlední řadě má styl jízdy vliv na četnost a nákladnost oprav běžných spotřebních částí. Vlivem eko-jízdy bude opotřebení nižší a tím se zlevní servis a jeho četnost.

Výše uvedené aspekty možných přínosů jsou zde pouze zmíněny, nebudou v celkovém zhodnocení uvedeny.

Zaměříme se pouze na část spotřeby PHM. Projekty s nasazením IoT prostředků ukázaly, že na základě tipů pro ekologickou jízdu se průměrná hodnota spotřeby paliva pro všechny řidiče snížila o 5,8 % a byly pozorovány změny v chování při řízení. [35]

²⁰ Bude-li měřena kvalita poskytovaných služeb a bude-li úroveň této kvality dopředu zaslavněná, tak pomocí vhodně nastavených KPI může dojít i zlevnění této služby.

Celkový počet ujetých kilometrů všemi 4 autobusy MHD v Litoměřicích je dle platných jízdních řádů zhruba 375.000 za rok. Při průměrné ceně nafty 25,- Kč / litr a spotřebě autobusů cca 25 l / 100 km vycházejí celkové náklady za palivo na

$$375\ 000 * 25 * 25 / 100 = 2.343.750,- \text{ Kč.}$$

Pokud by bylo nasazením IoT řešením pro hodnocení kvality dosaženo výše zmiňovaných úspor paliva ve výši 5,8 %, znamenalo by to v penězích dosažení úspory 135.938,- Kč ročně, což činí **2.832,-Kč na měsíc a autobus.**

4.8.3 Výsledek

Jak je patrné z předchozích výpočtů, nasazení IoT řešení pro měření a hodnocení kvality dopravy dává smysl. Byla použita pouze jedna část možných úspor, konkrétně úspora paliva, a již se řešení jeví jako ekonomicky rentabilní.

I kdyby snížení spotřeby bylo jen na úrovni 20 % uvažované a studií [35] zdokumentované hodnotě, nasazení výše popisovaného IoT řešení by bylo zcela zaplacené a zároveň by bylo možné začít počítat i ostatní přínosy tohoto řešení.

Někteří zadavatelé dnes provádějí kontrolu kvality poskytovaných služeb v oblasti přepravy osob pomocí tzv. „mystery shoppers“ či „fiktivních zákazníků“ [20, s. 5], tedy zaměstnanců zadavatele či objednatele, kteří se stopkami v ruce a teploměrem kontrolují splnění alespoň některých základních kvalitativních parametrů.

Rychlá rekapitulace vybraných ekonomických přínosů:

- nižší náklady na servis autobusů,
- nižší spotřeba pohonných hmot,
- odstranění nákladů na „mystery shoppers“,
- úspory na straně zadavatele snížením ceny za nekvalitně poskytnutou službu,
- důkazní materiál při vymáhání domnělých škod (zpoždění, styl jízdy apod.).

5 Vyhodnocení

V rámci pilotním nasazení měření kvality autobusové přepravy se vyskytly některé problémy anebo byly nalezeny jisté nedostatky. V této části budou jednotlivá zjištění blíže specifikována i s případnými návrhy na jejich odstranění. Jednotlivé nalezené problémy jsou rozděleny do dvou skupin. První část souvisí přímo s vyrobeným IoT zařízením, druhá potom s vlastní aplikací na zpracování a vyhodnocení získaných dat.

5.1 IoT zařízení

5.1.1 Občasné výpadky ve měření jednotlivých parametrů

Tyto výpadky byly pravděpodobně způsobovány dvěma aspekty.

1. Chybným úsudkem při programování řídicího SW IoT zařízení. Je naprogramováno synchronně, tzn. krabíčka, buď měří, nebo sbírá data. V případě problémů s odesláním dat však nedochází k měření dat.
2. Druhým důvodem byly chybně naměřená data. Pravděpodobně se jednalo o zarušení některých senzorů, resp. jejich výstupů.

Návrh na odstranění:

1. Přeprogramovat řídicí SW na asynchronní odesílání dat. Odesílání dat tak nebude ovlivňovat jednotlivá měření a ty budou mít pravidelný průběh.
2. Lepší návrh HW resp. jeho integrace. Eliminace drátovaných propojení jednotlivých prvků IoT zařízení. To bude mít za následek i zmenšení celého IoT zařízení.

5.1.2 Redukce dat

Redukce počtu sbíraných hodnot a změna balíčku na binární formát (daleko menší velikost dat jednoho měření (cca 10x), bude možno vložit více měření do jednoho balíčku a odesílat data méně často.

5.1.3 Výpadek signálu sítě NB-IoT

Současná interní anténa má v některých místech se slabým signálem problém s připojením k 800MHz síti operátora vyhrazené pro NB-IoT. Bude žádoucí rozšířit řešení o externí GSM anténu.

5.2 Aplikace

Celá aplikace byla programována technikou MVP.²¹ MVP je vývojová technika, při které je nový produkt nebo webová stránka vyvinuta s dostatečnými funkcemi, aby uspokojila první uživatele. Konečná kompletní sada funkcí je navržena a vyvinuta pouze po zvážení zpětné vazby od prvních uživatelů produktu. [36]

Z výše uvedeného důvodu nebylo mnoho funkcionalit naprogramováno jak by bylo žádoucí a ke skutečně komerčnímu nasazení potřebné. Jedná se zejména o tyto funkcionality:

1. Možnost nastavování kvalitativních hodnot jednotlivých parametrů
2. Nastavování váhy mezi jednotlivými parametry
3. Zpětnovazební hodnocení zákazníky
4. Integrace obsazenosti (pokladní systém, brány nebo vlastní řešení)
5. Možnost integrace dalších kvalitativních parametrů

²¹ MVP – Minimum Viable Product (Minimální životaschopný produkt)

6 Závěr

Měření kvality poskytovaných služeb v přepravě osob je dobré nejen pro cestující, ale především pro zadavatele, velmi často obce či kraje, které by se o kvalitu nakupovaných služeb měli rozhodně zajímat. Poskytovatelům má ale tato služba také co přinést.

Zadavatelé by měli kontrolovat kvalitu poskytovaných služeb v přepravě osob. Jde o veřejnou službu, která je nakupovaná od jednotlivých poskytovatelů. Tyto služby samospráva poměrně štědře dotuje, někdy až ve 100 % výši, jako je to například v Litoměřicích, kde je MHD pro občany zdarma. Těžko se spoléhat jen na to, že poskytovatel bude dávat přesné a pravdivé informace o provedení služby.

Jde i o ekologii. Pokud řidič ví, že je monitorován, je jeho jízda plynulejší a více ekologická. Studie potvrdily, že za běžných a volných dopravních podmínek ekologická jízda snižuje emise CO₂ o 10–15 %. [35]

I poskytovatelé těchto služeb mohou těžit z měření poskytovaných služeb. Jak již bylo zmíněno výše např. ekologickou jízdou řidiče, která má vliv nejen na spotřebu paliva, ale i na opotřebení jednotlivých součástí autobusu a tím výrazně snížit celkové náklady na údržbu. Tyto prostředky se velmi často používají i pro preemptivní údržbu s velmi slušnými výsledky. [37] V neposlední řadě mohou sami poskytovatelé prokazatelným způsobem dokladovat splnění kvalitativních parametrů každé jízdy.

Celková kvalita v přepravě osob byla dekomponována na jednotlivé měřitelné elementy, kterými jsou **přesnost a spolehlivost, styl jízdy řidiče, obsazenost, hluk, vibrace a mikroklima**. U každého jednotlivého elementu byly vydefinovány **optimální hodnoty** a navržen **způsob jejich měření**. Bylo **navržené celé řešení** měření a vyhodnocování kvality a toto bylo následně **implementováno** a odzkoušeno v reálném provozu MHD v Litoměřicích. Získaná **data byla vyhodnocena** a zobrazena jako celková kvalita u jednotlivých jízd. Poslední část práce se zaměřila na **vyhodnocení celého řešení** a nabízí několik možných způsobů dalšího rozvoje.

7 Seznam použitých zdrojů

- [1] TOMEŠ, Michal. Analýza: MHD zdarma města stále láká, dopady jsou však nejednoznačné. *E15* [online]. Praha, 2019. Dostupné také z: <https://www.e15.cz/byznys/doprava-a-logistika/analyza-mhd-zdarma-mesta-stale-laka-dopady-jsou-vsak-nejednoznacne-1359397#>
- [2] OJO, Thomas Kolawole. Quality of public transport service: an integrative review and research agenda. *Transportation Letters* [online]. 2019, 11(2), 104-116 [cit. 2021-08-09]. ISSN 19427867. Dostupné z: doi:10.1080/19427867.2017.1283835
- [3] NOVOTNÝ, Jan. *Hodnocení kvality autobusové dopravy prostřednictvím IoT technologií*. Praha, 2020. Bakalářská. ČZU. Vedoucí práce Ing. Michal Stočes, Ph.D.
- [4] ASHTON, Kevin. That "Internet of Things" Thing. *RFID Journal*. 2009.
- [5] WAHER, Peter. *Learning Internet of Things*. 1. Birmingham, UK: Packt Publishing Ltd., 2015. ISBN 978-1-78355-353-2.
- [6] VERMESAN, Ovidiu a Peter FRIESS. *Internet of Things Applications: From Research and Innovation to Market Deployment*. 1. Denmark: River Publishers, 2014. ISBN 978-87-93102-95-8.
- [7] RAY, P.P. A survey on Internet of Things architectures. *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*. 2018, 2018(303), 29. ISSN 1319-1578.
- [8] LOM, Michal a Ondřej PŘIBYL. Síť pro internet věcí v České republice. *Tzbinfo* [online]. 2017, 10. Dostupné také z: <https://elektro.tzb-info.cz/informacni-a-telekomunikacni-technologie/16519-site-pro-internet-veci-v-ceske-republice>
- [9] GREGORA, Lukáš. *Plánování a provoz sítí LPWAN/LPN pro aplikace v IoT*. Praha, 2016. ČVUT.
- [10] JARRAH, Lukáš. *Využití licencované sítě NB-IoT pro bezpečnostně citlivé aplikace*. Praha, 2019. ČVUT.
- [11] ZÁRUBA, Vít. *Komunikační prostředky pro IoT*. Plzeň, 2019. ZČU.
- [12] BEGISHEV, Vyacheslav, Vitaly PETROV, Andrey SAMUYLOV, Dmitri MOLTCHANOV, Sergey ANDREEV, Yevgeni KOUCHERYAVY a Konstantin

- SAMOUYLOV. Resource allocation and sharing for heterogeneous data collection over conventional 3GPP LTE and emerging NB-IoT technologies. *Computer Communications* [online]. 2018, **120**, 93-101. ISSN 01403664. Dostupné z: doi:10.1016/j.comcom.2018.01.009
- [13] HUI, Hongxun, Yi DING, Qingxin SHI, Fangxing LI, Yonghua SONG a Jinyue YAN. 5G network-based Internet of Things for demand response in smart grid: A survey on application potential. *Applied Energy* [online]. 2020, **257**. ISSN 03062619. Dostupné z: doi:10.1016/j.apenergy.2019.113972
- [14] ČESKO. Zákon č. 194/2010 Sb.: o veřejných službách v přepravě cestujících a o změně dalších zákonů. In: *2010*. Praha, 2010b, ročník 2010, číslo 194.
- [15] ČESKO. Nařízení vlády č. 63/2011 Sb.: o stanovení minimálních hodnot a ukazatelů standardů kvality a bezpečnosti a o způsobu jejich prokazování v souvislosti s poskytováním veřejných služeb v přepravě cestujících. In: *2011*. Praha, 2011, ročník 2011, číslo 63.
- [16] ČSN EN 13816: *Doprava - Logistika a služby - Veřejná přeprava osob - Definice jakosti služby, cíle a měření*. Český normalizační institut, 2003.
- [17] ČSN EN 15140: *Veřejná přeprava osob - Základní požadavky a doporučení pro systémy hodnocení kvality poskytované služby*. Český normalizační institut, 2006.
- [18] OLIVKOVÁ, Ivana. *Provoz a ekonomika dopravy*. 1. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Univerzita Pardubice, 2013. ISBN 978-80-248-3271-5.
- [19] CATS, Oded a Gerasimos LOUTOS. Real-time bus arrival information system: an empirical evaluation. *Working papers in Transport Economics* [online]. 2013. ISSN edsrep.
- [20] *Standardy kvality PID - Autobusy PID* [online]. Praha: Pražská integrovaná doprava, 2019. Dostupné také z: https://pid.cz/wp-content/uploads/2018/04/Standardy_kvality_autobusy_2019.pdf
- [21] WESSEL, Nate, Jeff ALLEN a Steven FARBER. Constructing a routable retrospective transit timetable from a real-time vehicle location feed and GTFS. *Journal of Transport Geography* [online]. 2017, **62**, 92-97 [cit. 2020-02-29]. ISSN 09666923. Dostupné z: doi:10.1016/j.jtrangeo.2017.04.012

- [22] PARMESHWAR, Gaikwad a Raut ANAND. *SMART BUS TRANSPORT SYSTEM USING GSM AND GPS* [online]. 2017. Dostupné z: doi:10.5281/zenodo.1459040
- [23] PAVLŮ, Martin. *Možnosti využití dvoukloubových autobusů v systému Pražské integrované dopravy* [online]. Praha, 2016. Dostupné také z: <http://hdl.handle.net/10467/64011>. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze.
- [24] SILVA, Carla. At what extent the benefits of introducing alternative light-duty vehicles offset those of increasing the buses average occupancy?. *Energy Conversion and Management* [online]. 2013, **70**, 211-219. ISSN 01968904. Dostupné z: doi:10.1016/j.enconman.2013.02.019
- [25] EBOLI, Laura, Gabriella MAZZULLA a Giuseppe PUNGILLO. Measuring Bus Comfort Levels by using Acceleration Instantaneous Values. *Transportation Research Procedia* [online]. 2016, **18**, 27-34 [cit. 2020-02-13]. ISSN 23521465. Dostupné z: doi:10.1016/j.trpro.2016.12.004
- [26] KAREKLA, X. a N. TYLER. *Improving accessibility of public transport systems: the influence of double-decker bus acceleration on passenger movement* [online]. 2016. ISSN edsble.
- [27] BARABINO, Benedetto, Laura EBOLI, Gabriella MAZZULLA, Sara MOZZONI, Roberto MURRU a Giuseppe PUNGILLO. An innovative methodology to define the bus comfort level. *Transportation Research Procedia* [online]. 2019, **41**, 461-470. ISSN 23521465. Dostupné z: doi:10.1016/j.trpro.2019.09.077
- [28] ZANNIN, Paulo. Occupational noise in urban buses. *International Journal of Industrial Ergonomics* [online]. 2008, **38**(2), 232-237. ISSN 01698141. Dostupné z: doi:10.1016/j.ergon.2006.06.014
- [29] KONIECZNY, Łukasz, Rafał BURDZIK, Robert JAWORSKI a Sławomir WIERZBICKI. Analysis of noise inside bus of hybrid bus vehicles. *Vibroengineering Procedia* [online]. 2018, **19**, 194-198. ISSN 23450533. Dostupné z: doi:10.21595/vp.2018.20229
- [30] BRUNO, Portela, Queiroga MARCOS, Constantini AMANDA a Zannin PAULO. Annoyance evaluation and the effect of noise on the health of bus drivers. *Noise*

- [online]. 2013, **15**(66), 301-306. ISSN 14631741. Dostupné z: doi:10.4103/1463-1741.116561
- [31] PARK, Jinhan, Junwoo LEE, Sejin AHN a Weuibong JEONG. Reduced ride comfort caused by beating idle vibrations in passenger vehicles. *International Journal of Industrial Ergonomics* [online]. 2017, **57**, 74-79. ISSN 01698141. Dostupné z: doi:10.1016/j.ergon.2016.12.003
- [32] SEKULIĆ, Dragan a Dušan MLADENOVIĆ. EVALUATION AND ANALYSIS OF VIBRATION EFFECTS ON BUS USERS. *Horizons Series B* [online]. 2016, **3**, 435-444. ISSN 18578578. Dostupné z: doi:10.20544/HORIZONS.B.03.1.16.P43
- [33] VELT, K.B. a H.A.M. DAANEN. Optimal bus temperature for thermal comfort during a cool day. *Applied Ergonomics* [online]. 2017, **62**, 72-76. ISSN 00036870. Dostupné z: doi:10.1016/j.apergo.2017.02.014
- [34] ÜNAL, Şaban. AN EXPERIMENTAL STUDY ON A BUS AIR CONDITIONER TO DETERMINE ITS CONFORMITY TO DESIGN AND COMFORT CONDITIONS. *Journal of Thermal Engineering* [online]. 2017, **3**(1), 1089-1101. ISSN 21487847.
- [35] JACHIMCZYK, Bartosz, Damian DZIAK, Jacek CZAPLA, Pawel DAMPS a Wlodek KULESZA. IoT On-Board System for Driving Style Assessment. *Sensors (14248220)* [online]. 2018, **18**(4), 1233-1254. ISSN 14248220. Dostupné z: doi:10.3390/s18041233
- [36] BECKER, Richard. *Minimum Viable Product* [online]. Dostupné také z: <https://www.techopedia.com/definition/27809/minimum-viable-product-mvp>
- [37] KILLEEN, Patrick, Bo DING, Iluju KIRINGA a Tet YEAP. IoT-based predictive maintenance for fleet management. *Procedia Computer Science* [online]. 2020, **171**, 607-613. ISSN 18770509. Dostupné z: doi:10.1016/j.procs.2019.04.184