

Česká zemědělská univerzita v Praze

Provozně ekonomická fakulta

Katedra informačních technologií



Bakalářská práce

**Hodnocení kvality autobusové dopravy
prostřednictvím IoT technologií**

Jan Novotný

© 2020 ČZU v Praze

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jan Novotný

Systémové inženýrství a informatika
Informatika

Název práce

Hodnocení kvality autobusové dopravy prostřednictvím IoT technologií

Název anglicky

Evaluating the quality of bus transportation using IoT technologies

Cíle práce

Hlavním cílem práce je zhodnotit možnosti měření a vyhodnocování kvality autobusové dopravy prostřednictvím IoT technologií.

Vedlejší cíle práce jsou:

- definovat hodnoty pro kvalitu autobusové dopravy z hlediska přesnosti jízd, průběhu jízd a komfortu cestujících,
- výběr vhodných IoT prostředků pro sběr potřebných dat,
- navrhnout vhodnou kombinaci čidel, aplikací a postupů pro hodnocení kvality autobusové dopravy.

Metodika

Teoretická část bakalářské práce se bude věnovat analýze a rešerši dostupných zdrojů pro získání poznatků pro definici kvality autobusové dopravy a možnosti získávání potřebných dat, jak tuto kvalitu měřit.

V praktické části budou na základě získaných poznatků navrženy možné způsoby měření a vyhodnocování kvality autobusové dopravy.

Závěr bakalářské práce bude, na základě syntézy teoretických a praktických poznatků, vyhodnocením vhodného nasazení prostředků IoT pro hodnocení kvality autobusové dopravy.

Doporučený rozsah práce

30

Klíčová slova

IoT, autobusová doprava, kvalita autobusové dopravy, hodnocení kvality, komfort cestujících, IoT v dopravě

Doporučené zdroje informací

- EBOLI, L., MAZZULLA, G., PUNGILLO G. Studie Measuring Bus Comfort Levels by using Acceleration Instantaneous Values, XII. Conference on Transport Engineering, CIT 2016, 7-9 June 2016, Valencia, Spain
- Standardy kvality PID: Autobusy PID. 2018. Praha: Regionální organizátor Pražské integrované dopravy. Dostupné z: https://pid.cz/wp-content/uploads/2018/04/Standardy_kvality_autobusy_2019.pdf
- SUN, Chao, Xiaohong CHEN, H. Michael ZHANG a Ze HUANG. An Evaluation Method of Urban Public Transport Facilities Resource Supply Based on Accessibility. Journal of Advanced Transportation [online]. 2018, 2018, 1-11 [cit. 2019-08-29]. DOI: 10.1155/2018/3754205. ISSN 0197-6729. Dostupné z: <https://www.hindawi.com/journals/jat/2018/3754205/>
- ŠUBRT, T. *Ekonomicko-matematické metody*. Plzeň: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, s.r.o., 2015. ISBN 978-80-7380-563-0.
- VERMESAN, O., FRIESS, P. Internet of Things: Converging Technologies for Smart Environments and Integrated Ecosystems, River Publishers, 2013. ISBN 978-8-79298-273-5.
- WAHER, P. Learning Internet of Things, Packt Publishing, Limited, 2015. ISBN 978-1-78355-353-2.

Předběžný termín obhajoby

2019/20 LS – PEF

Vedoucí práce

Ing. Michal Stočes, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra informačních technologií

Elektronicky schváleno dne 3. 9. 2019

Ing. Jiří Vaněk, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 14. 10. 2019

Ing. Martin Pelikán, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 04. 02. 2020

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci "Hodnocení kvality autobusové dopravy prostřednictvím IoT technologií" vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské 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 bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 11. března 2020

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Michalu Stočesovi, Ph.D. za cenné rady a pomoc při psaní a dále pak Ing. Jakubu Jeřábkovi, vedoucímu oddělení dopravní obslužnosti Odboru dopravy a silničního hospodářství Krajského úřadu Ústeckého kraje za pomoc s ohodnocením jednotlivých kritérií v hodnocení kvality autobusové dopravy.

Hodnocení kvality autobusové dopravy prostřednictvím IoT technologií

Abstrakt

Bakalářská práce si klade za cíl zhodnotit možnosti měření kvality autobusové dopravy prostřednictvím IoT technologií. V první části práce je definována kvalita autobusové dopravy z pohledu legislativních předpisů a obecně závazných norem.

Představením IoT technologií je vytvořen rámec pro možnost uvažování o nasazení těchto prostředků pro stanovení kvality autobusové dopravy.

Celková kvalita dopravy se skládá z mnoha dílčích částí. Proto je dekomponována na jednotlivé měřitelné elementy. Z dostupných zdrojů jsou definovány kvalitativní požadavky na tyto jednotlivé elementy, dále pak za použití IoT technologií navržen způsob jejich měření a v neposlední řadě uvedena i možnost jejich vyhodnocování.

V závěru práce je provedeno sloučení jednotlivých měřených a ohodnocených elementů kvality a jejich celkové vyhodnocení pomocí vhodných matematických metod včetně návrhu prezentační logiky. Úplný závěr práce obsahuje návrh na další možná vylepšení a vyladění systému měření kvality autobusové dopravy.

Klíčová slova: kvalita autobusové dopravy, IoT, měření a vyhodnocování kvality, autobusová doprava, komfort v dopravě, hodnocení kvality, IoT v dopravě.

Evaluating the quality of bus transportation using IoT technologies

Abstract

Bachelor thesis aims to evaluate the possibilities of measuring the quality of bus transportation through IoT technologies. The first part of the thesis defines the quality of bus transportation from the point of view of legislative regulations and general standards.

By introducing IoT technologies, a framework is created for the possibility of thinking about the deployment of these ones for determining the quality of bus transportation.

The overall quality of transport consists of many sub-parts. Therefore, it is decomposed into individual measurable elements. The available sources define qualitative requirements for these individual elements, as well as using IoT technologies designed how to measure them and, last but not least, the possibility of their evaluation.

At the end of the work, the merger of individual measured and evaluated quality elements and their overall evaluation are carried out using appropriate mathematical methods, including the design of presentation logic. The full conclusion of the work includes a proposal for further possible improvements and debugging the bus quality measurement system.

Keywords: quality of bus transportation, IoT, measurement and evaluating the quality, bus transportation, comfort in transport, evaluating the quality, IoT in transportation.

Obsah

1. Úvod.....	10
2. Cíl práce a metodika	11
3. Teoretická východiska	13
3.1. IoT.....	13
3.1.1. Definice IoT.....	13
3.1.2. Skladba IoT.....	16
3.2. Kvalita autobusové dopravy.....	20
3.2.1. Právní rámec	20
3.2.1. Normy	22
3.2.2. Měřitelné oblasti kvality autobusové dopravy.....	25
4. Vlastní práce	26
4.1. Přesnost a spolehlivost.....	26
4.2. Obsazenost	28
4.3. Styl jízdy řidičů.....	29
4.4. Hlučnost	30
4.5. Vibrace	31
4.6. Mikroklima.....	31
4.7. Návrh IoT technologií.....	34
4.8. Doplnková měření.....	36
5. Zhodnocení a doporučení	38
6. Závěr.....	42
Seznam použitých zdrojů	43

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Definice IoT podle IERC [4]	15
Obrázek 2 - Čidla IoT	17
Obrázek 3 - Nejjednodušší schéma IoT	17
Obrázek 4 - Seznam bezdrátových sítí pro použití IoT	18
Obrázek 5 - Smyčka kvality	23
Obrázek 6 - Schéma navrženého IoT řešení	35
Obrázek 7 - Náhled možné dotazovací obrazovky	36
Obrázek 8 - Váhy jednotlivých kritérií	40
Obrázek 9 - Ukázka hvězdičkového hodnocení	41

Seznam tabulek

Tabulka 1- Hodnocení dle přesnosti jízdy	27
Tabulka 2 - Hodnocení dle obsazenosti vozu	29
Tabulka 3 - Hodnocení dle hlučnosti	30
Tabulka 4 - Hodnocení mikroklima pro zimu	33
Tabulka 5 - Hodnocení mikroklima pro léto	33
Tabulka 6 - Hodnocení mikroklima pro ostatní období	34
Tabulka 7 - Váha jednotlivých kritérií celkového hodnocení kvality	39

1. Úvod

Žijeme v době, kdy se slova ekologie, ochrana životního prostředí, uhlíková stopa, udržitelnost rozvoje a mnohá další ekologická témata vyskytují téměř na každé stránce novin a časopisů. Abychom zvrátili trend, kdy většina lidí preferuje jízdu osobním automobilem před využíváním služeb hromadné dopravy, musíme nabídnout její vyšší kvalitu.

Komfort na palubě autobusové dopravy hraje zásadní roli v úrovni spokojenosti vnímané cestujícími, proto zvýšení jejich pohodlí může být vhodnou strategií pro přilákání více zákazníků.

Jak můžeme tvrdit, že je nabízena vyšší kvalita, když ji neumíme přesně definovat, natož pak měřit a vyhodnocovat?

Právě o tomto pojednává tato bakalářská práce.

Pokouší se v základních obrysech ukázat, že definovat kvalitu autobusové dopravy možné je a nastavuje určitá kvalitativní kritéria pro tato tvrzení.

Dále pak nastiňuje možnosti jak tato jednotlivá kritéria za použití IoT technologií měřit a v neposlední řadě ukazuje, že z naměřených (případně dopočítaných) hodnot je možné stanovit celkovou kvalitu služeb v oblasti autobusové dopravy.

Jak už to v oblasti informatiky bývá, povětšinou se názvy jednotlivých částí/komponent/apod. uvádějí anglicky. Všude tam, kde to bude možné a zároveň tak, aby čtenář neztratil souvislosti, se budou v této práci používat pojmy české.

2. Cíl práce a metodika

Hlavním cílem práce je zhodnotit možnosti měření a vyhodnocování kvality autobusové dopravy prostřednictvím IoT technologií.

Vedlejší cíle práce jsou:

- definovat hodnoty pro kvalitu autobusové dopravy z hlediska přesnosti jízd, průběhu jízd a komfortu cestujících,
- výběr vhodných IoT prostředků pro sběr potřebných dat,
- navrhnout vhodnou kombinaci čidel, aplikací a postupů pro hodnocení kvality autobusové dopravy.

Teoretická část bakalářské práce se bude věnovat analýze a rešerši dostupných zdrojů pro získání poznatků pro definici kvality autobusové dopravy a možnosti získávání potřebných dat, jak tuto kvalitu měřit.

V praktické části budou na základě získaných poznatků navrženy možné způsoby měření a vyhodnocování kvality autobusové dopravy.

Závěr bakalářské práce bude, na základě syntézy teoretických a praktických poznatků, vyhodnocením vhodného nasazení prostředků IoT pro hodnocení kvality autobusové dopravy.

Z metodického pohledu se bude teoretická část zabývat zejména analýzou a rešerší aktuálních informací o nejnovějších trendech v oblasti IoT technologií, o možném a vhodném způsobu nasazení pro potřeby této práce a o možnostech dalšího rozvoje.

Obdobným způsobem bude zjišťován stav v oblasti kvality autobusové dopravy, zejména v oblasti právních předpisů a technických norem, ale i v různých studiích, které v této oblasti byly uskutečněny.

V praktické části bude na základě získaných informací navržen způsob, jak dekomponovat kvalitu autobusové dopravy na jednotlivé měřitelné elementy, jaké by tyto

jednotlivé části měly mít kvalitativní parametry, jak je měřit a v neposlední řadě, jak je vyhodnocovat.

Závěr bakalářské práce bude syntézou předchozích dvou částí, ze kterých vyplyne návrh jak jednotlivé naměřené a zhodnocené elementy kvality opět sloučit do celkové kvality autobusové dopravy a prezentovat je. Dále i návrh procesu na trvalé udržování systému v aktuálních podmínkách.

Závěrem této práce by nemělo být pouze konstatování, zda je možné či nikoliv využít IoT technologie pro měření a vyhodnocování kvality autobusové dopravy, ale i praktická aplikace IoT technologií v této oblasti a návrh na vyhodnocování kvality autobusové dopravy.

3. Teoretická východiska

Pokud by bylo postupováno čistě logicky, v pořadí, v jakém se jednotlivá slova objevují v zadání bakalářské práce, měla by se tato práce v této chvíli začít rovnou zabývat kvalitou autobusové dopravy. Dovolte udělat drobnou odbočku a začít od IoT technologie, abychom byli schopni identifikovat oblasti ve kterých nám IoT technologie může pomoci hodnotit kvalitu autobusové dopravy.

3.1. IoT

Co to vlastně IoT je? Z čeho se skládá? Než budou popsány jednotlivé části IoT, podívejme se trochu na začátek.

3.1.1. Definice IoT

Tato tří písmenná anglická zkratka znamená „Internet of Things“, česky „Internet věcí“. Asi jsme se moc dál nedostali.

Nalézt jednoznačnou a přesnou definici této zkratky je poměrně obtížné. 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. [1]

Jak uvádějí jiní autoři, je to sice pěkné, ale více než o definici se jedná o vizi. [2, s. 18] Wahler sám navrhuje tuto definici: „IoT je to, co dostaneme, když připojíme věci, které nejsou řízeny lidmi, do Internetu.“¹ [2, s. 19]

¹ The IoT is what we get when we connect Things, which are not operated by humans, to the Internet. (překlad autor)

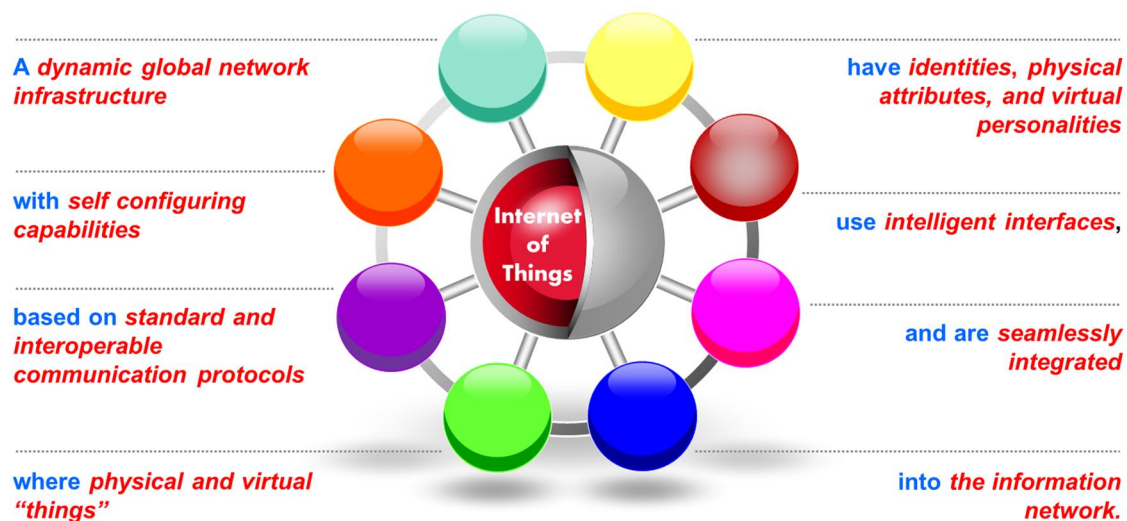
Další autoři se pokoušeli o přesnější definice:

„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.“² [3, s. 25]

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 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.“ – překlad autor, obrázek č.1.

² Internet of Things (IoT) is a concept and a paradigm that considers pervasive presence in the environment of a variety of things/objects that through wireless and wired connections and unique addressing schemes are able to interact with each other and cooperate with other things/objects to create new applications/services and reach common goals. (překlad autor)

Obrázek 1 - Definice IoT podle IERC [4]



Ať již bude přijata kterákoli z výše uvedených definic, všude se opakují stejné výrazy: věci, předměty, síť, připojení, automaticky. Toto jsou důležité poznatky do dalších částí.

Když tento článek začal Kevinem Ashtonem, nechme jej jeho citací i ukončit:

„IoT má potenciál změnit svět stejně jako jej změnil Internet. Dokonce možná ještě víc.“³ [1]

³ The Internet of Things has the potential to change the world, just as the Internet did. Maybe even more so. (překlad autor)

3.1.2. Skladba IoT

Jak vyplývá z výše uvedených definic, tak se IoT skládá z věcí/předmětů a jejich propojení/připojení.

V předchozím bodu bylo mnohokrát zmíněno slovo „věci“; případně „předměty“. Co to může být?

Jedná se o základní, v jistém slova smyslu koncové, součásti IoT. Jsou to **zařízení**, která poskytují snímací, ovládací, kontrolní či případně monitorovací činnosti. [5, s. 294]

Musí být upřesněno, o jakých zařízeních se bude v této práci hovořit.

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 o těch hovořit nebudeme. 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. [6, s. 2]

Pro potřeby této bakalářské práce bude učiněno toto zjednodušení: zařízení = sensory či asi lépe česky - čidla.

Čidla

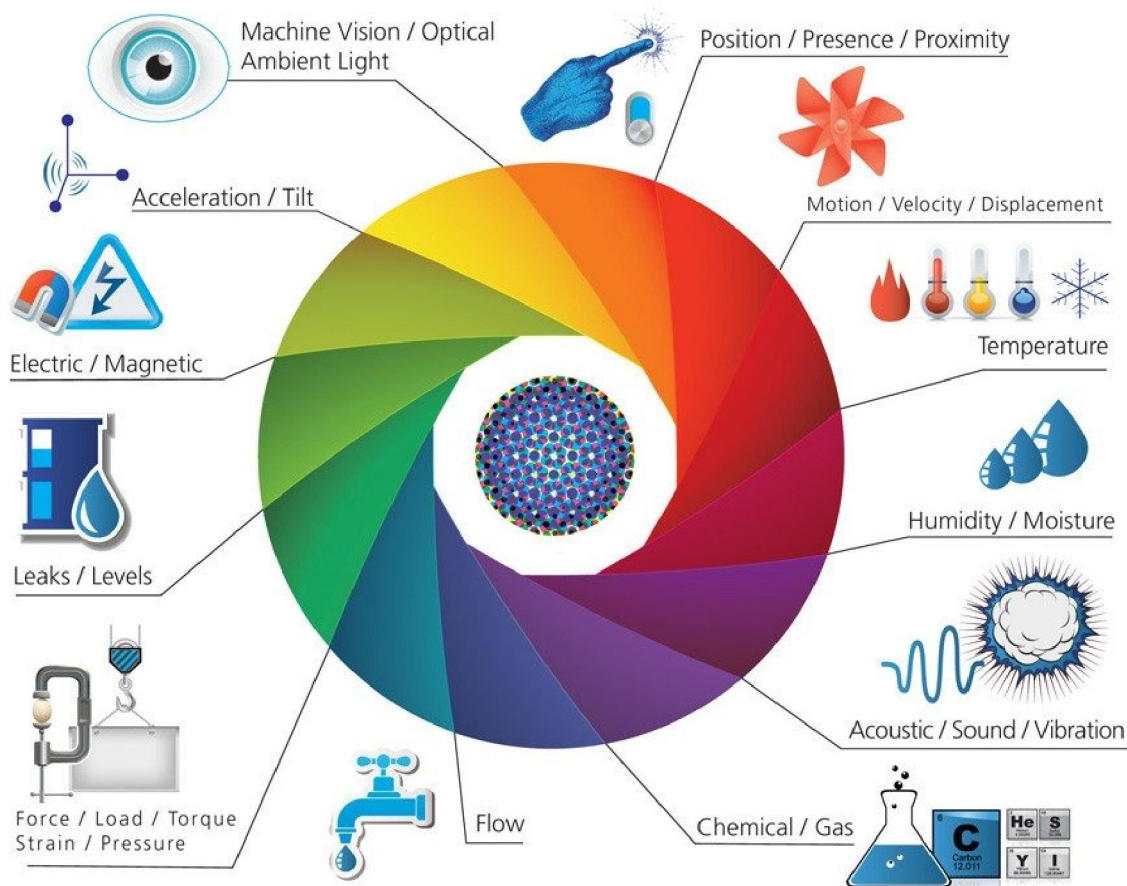
Existují tedy čidla, která umí zachycovat určené měřené veličiny a odesílat získané informace podle nadefinovaných postupů.

Čidla pro IoT mohou být rozdělována podle mnoha různých hledisek. Např. podle použité technologie pro přenos dat, podle výrobce, podle typu napájení nebo podle měřených veličin.

V tuto chvíli bude pravděpodobně nejzajímavější dělení podle měřených veličin.

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

Obrázek 2 - Čidla IoT⁴



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

Co dál je součástí IoT?

Na následujícím obrázku je nejjednodušší možné IoT schéma.

Obrázek 3 - Nejjednodušší schéma IoT⁵



⁴ Obrázek z <https://www.postscapes.com/>

⁵ Vlastní tvorba autora

Sítě pro přenos dat

Sítě pro přenos dat může být poměrně široké množství. Od různých fyzických (drátových) propojení až k bezdrátový přenosům.

Obrázek 4 - Seznam bezdrátových sítí pro použití IoT⁶

Technology	Frequency	Data Rate	Range	Power Usage	Cost
2G/3G	Cellular Bands	10 Mbps	Several Miles	High	High
Bluetooth/BLE	2.4Ghz	1, 2, 3 Mbps	~300 feet	Low	Low
802.15.4	subGhz, 2.4GHz	40, 250 kbps	> 100 square miles	Low	Low
LoRa	subGhz	< 50 kbps	1-3 miles	Low	Medium
LTE Cat 0/1	Cellular Bands	1-10 Mbps	Several Miles	Medium	High
NB-IoT	Cellular Bands	0.1-1 Mbps	Several Miles	Medium	High
SigFox	subGhz	< 1 kbps	Several Miles	Low	Medium
Weightless	subGhz	0.1-24 Mbps	Several Miles	Low	Low
Wi-Fi	subGhz, 2.4Ghz, 5Ghz	0.1-54 Mbps	< 300 feet	Medium	Low
WirelessHART	2.4Ghz	250 kbps	~300 feet	Medium	Medium
ZigBee	2.4Ghz	250 kbps	~300 feet	Low	Medium
Z-Wave	subGhz	40 kbps	~100 feet	Low	Medium

Mezi nejrozšířenější bezdrátové sítě pro potřeby IoT v České republice patří:

1. **SigFox**, kterou buduje společnost SimpleCell na infrastrukturu společnosti T-Mobile,
2. **LoRa** od Českých Radiokominikací a
3. **NB-IoT** (Narrow Band IoT), kterou provozují operátoři O₂ a Vodafone v rámci sítí LTE a 5G. [6]

⁶ Seznam z <https://www.postscapes.com/>

Jak je patrné z předcházející tabulky, každá síť má své výhody (větší dosah, větší přenosová kapacita) a nevýhody (vyšší spotřeba energie, vyšší cena). Z toho důvodu pro jednotlivá zapojení IoT bude každá síť vhodná k jinému účelu.

Úložiště aneb místo pro zpracování a vyhodnocování dat

Úložiště je pak nejčastěji cloud⁷ od poskytovatele síťového připojení. Data ze senzorů jsou odesílána do tohoto cloudu a jsou následně dostupná pro další zpracování a vyhodnocování, případně jen pro prohlížení. Přístup k těmto datům je často realizován prostřednictvím aplikací, ale je možný i přímý přístup přes web.

Touto částí je vytvořen rámeček, co si představit pod pojmem IoT a jak je možné na něj nahlížet, aby bylo možno v následujících částech rozhodnout, ve kterých oblastech může IoT technologie pomoci s měřením a hodnocením kvality autobusové dopravy.

⁷ Cloud je v podstatě vzdálený server s velkým úložištěm (diskem).

3.2. Kvalita autobusové dopravy

Vraťme se zpátky k názvu bakalářské práce: Hodnocení kvality autobusové dopravy. Co si pod pojmem kvalita v případě autobusové dopravy představít, co by šlo nějakým způsobem měřit a tedy i hodnotit?

3.2.1. Právní rámec

Pro zorientování se v terminologii, začněme od legislativy.

Nejlépe bude, vyjdeme-li ze zákona č. 194 /2010 Sb. ze dne 20. května 2010. Jedná se o zákon o **veřejných službách v přepravě cestujících** a o změně dalších zákonů.

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 (dále jen „zajišťování dopravní obslužnosti“).

Definuje nám některé základní termíny, např.:

Dopravní obslužnost

Dopravní obslužností se rozumí zabezpečení dopravy po všechny dny v týdnu především do škol a školských zařízení, k orgánům veřejné moci, do zaměstnání, do zdravotnických zařízení poskytujících základní zdravotní péči a k uspokojení kulturních, rekreačních a společenských potřeb, včetně dopravy zpět, přispívající k trvale udržitelnému rozvoji územního obvodu.

Ale také se tady poprvé objevuje slovo kvalita:

Standard kvality a bezpečnosti

V § 8 odstavce 2 tohoto se píše, že: "Dopravce 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“).

Poměrně důležitý bod se pak objevuje v článku (4) uvedeného paragrafu:

„Standardy kvality a bezpečnosti jsou uvedeny v příloze k tomuto zákonu. Minimální hodnoty a ukazatele standardů kvality a bezpečnosti a způsob jejich prokazování stanoví prováděcí právní předpis. **Objednatel může stanovit přísnější hodnoty a ukazatele standardů kvality a bezpečnosti** nebo požadovat splnění dalších standardů.“ [7]

Výše uvedený „Standard kvality a bezpečnosti“ v příloze uvedeného zákona je rozdělen do 3 oblastí:

Informační zařízení pro cestující.

Přeprava osob s omezenou schopností pohybu a orientace.

Technické parametry vozidel.

Pro potřeby této práce z něj žádný parametr kvality měřitelný prostředky IoT, tj. pomocí čidel, nelze nalézt.

Tím je obsah tohoto zákona pro potřeby této bakalářské práce zcela vyčerpán.

Ani výše zmiňovaný prováděcí právní předpis, v tomto případě v nařízení vlády č. 63/2011 Sb. - **Nařízení vlády o stanovení minimálních hodnot a ukazatelů standardů kvality a bezpečnosti a o způsobu jejich prokazování v souvislosti s poskytováním veřejných služeb v přepravě cestujících** - se nedostáváme v definici kvality dále.

Toto nařízení sice trochu detailněji definuje standardy kvality a bezpečnosti, ale spíše se jedná o technický stav využívaného vozového parku a stáří vozidel, než o nějakým jednoznačným způsobem uvedené měřitelné hodnoty, které by umožnily přesné vyhodnocení. [8]

Takže jako nejzásadnější poznatek 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.

3.2.1. 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 vodítko pro výběr metod měření. [9]

Kvalitu poskytované služby je možno popsat kritérii, která musí dosahovat určitou úroveň, to je kvalitativní hranice, v jejíchž rozmezí by se tato veřejná služba zabezpečovala.

Norma je založena na konceptu smyčky jakosti⁸ 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.

⁸ Norma hovoří o „jakosti“, ale v celé práci i jejím názvu je používán termín „kvalita“.

Obrázek 5 - Smyčka kvality⁹



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.

⁹ Podle normy EN (ČSN) 13816 nakreslil autor

Návrh systému měření by měl nastolit rovnováhu mezi pohledem zákazníka a použitým měřením jako nástroje managementu pro dosažení chtěné kvality. [10]

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 practises“ 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: [11, 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 přímo k tomuto účelu nabízejí.

Rozdělení zmíněných bodů do 2 oblastí:

- nevhodné pro měření pomocí IoT technologií,
- vhodné pro měření pomocí IoT technologií.

Dostupnost, přístupnost, technický stav vozidel, poskytování informací, ekologické a environmentální parametry vozidel, parametry související s odbavováním cestujících spadají do 1. kategorie, tzn. nevhodné anebo neměřitelné pomocí IoT technologií.

Naopak body „Přesnost a spolehlivost“ a „Pohodlí a komfort přepravy pro cestující“ k využití IoT technologií přímo vybízejí.

Nyní jsou vybrány body, které bude tato práce dále rozebírat a připravovat k měření.

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: [11, s. 64].

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

S výjimkou posledního bodu jsou všechny ostatní měřitelné pomocí IoT technologií.

3.2.2. Měřitelné oblasti kvality autobusové dopravy

Po vyloučení neměřitelných (nebo nevhodných pro měření) hodnot můžu shrnout závěry definice kvalitativních parametrů takto:

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.

4. Vlastní práce

Na základě zjištění z předchozí teoretické části budou nyní u jednotlivých měřitelných kvalitativních parametrů nadefinovány jejich doporučené hodnoty, dále pak způsob měření a v neposlední řadě způsob interpretace naměřených (případně dopočítaných) hodnot.

Některé kvalitativní parametry – nebo také kritéria – mohou být ovlivněna řidičem, jiná konkrétním autobusem, případně konkrétní linkou. Tyto aspekty tato práce pomíjí a jediným klíčem, ke kterému se měřené hodnoty budou vztahovat, je konkrétní spoj.

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

4.1. 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. [12]

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 [13] 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 [11, 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 řádem¹⁰ je provedena kontrola přesnosti; případně spolehlivosti.

Přesnost GPS se v ČR pohybuje do jednotek metrů, a proto při výpočtu dosažení zastávky bude uvažována kružnice o průměru 20 metrů se středem v pozici definované zastávky. [14, 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

¹⁰ Data z jízdního řádu musíme převést do tabulky a přesně určit umístění zastávek (ve formě souřadnic) a plánovaných časů příjezdů/odjezdů.

odpovídajícím způsobem upravit svůj jízdní plán. Tyto informace by proto zkrátily čekací dobu na autobusové zastávce. [15, s. 3]

Výsledná hodnota Body(1) bude nabývat hodnot 0 – 100 bodů.

4.2. Obsazenost

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

Musíme 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. [16, 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. [17]

Takže je potřeba zjistit kolik je v každou chvíli v autobuse pasažérů. Jedním z možných automatických způsobů měření je pomocí čidla, jež se nazývá „Radarové počítadlo průchodu osob“. Toto čidlo měří počet procházejících osob ve dvou směrech průchodu. Údaje o „příchodech a „odchodech“, které budou zaznamenány spolu s přesným časem, nám umožní určit aktuální počet lidí ve voze a v komparaci se zjištěnou kapacitou vozu je poté 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

A opět výsledná hodnota Body(2) nabývá 0 – 100 bodů.

4.3. 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. [11, s. 65]

Doporučené hodnoty pro příčné i podélné přijatelné zrychlení nebo zpomalení se liší. [18, 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. [19]

Zatímco [11] uvádí hodnoty max. $\pm 1,5 \text{ m/s}^2$ při působení maximálně 0,3 sekundy, jiné studie uvádějí tyto hodnoty trochu vyšší, až $\pm 2,0 \text{ m/s}^2$. [20, s. 469]

Držme se vyššího limitu a stanovme jej jako hraniční zrychlení (zpomalení).

Pomocí čidla akcelerace (povětšinou bývá toto čidlo součástí kombinovaného čidla s GPS) 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.

Ukládaná výsledná hodnota hodnotu Body(3) opět může nabývat 0 – 100 bodů.

4.4. 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 84dB [21, s. 234], některé prameny uvádějí hodnotu nižší 82dB. [22]

I tak jsou tyto hodnoty na úrovni mezi „velmi silnou reprodukovanou hudbou“ a „kokrháním kohouta“.¹¹

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 8 hodinové pracovní doby je značně nepříjemná. [23, 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 70dB	70 - 82dB	nad 82 dB
Body	100	50	0

Po ukončení linky bude opět vypočten aritmetický průměr hodnot a zapíše se Body(4).

¹¹ <http://converter.cz/tabulky/hluk.htm>

4.5. Vibrace

Vibrace, které se vyskytují ve vozidlech, způsobují, že cestující cítí nepohodlí, což vede ke snížení jízdního komfortu a celkovému vnímání kvality. [24]

Vibrace jsou v podstatě pravidelně se opakující stejná zrychlení a zpomalení. Zatímco u „Stylu jízdy“ byla měřena pouze podélná a příčná zrychlení¹², zde se musí přidat ještě třetí osa z - vertikální zrychlení. Měřená veličina tedy bude zrychlení ale při vyšších frekvencích.

Intenzita vibrací celého těla (WBV¹³), 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". [25, 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.

$$Body(5) = 100 - \left(\frac{\text{vibrace nad limitem (s)}}{\text{celkový čas jízdy (s)}} * 100 \right)$$

4.6. Mikroklima

Toto kritérium se nám dále dělí na čtyři elementy:

1. Teplota
2. Obsah CO₂
3. Vlhkost
4. Úroveň osvětlení

¹² Zrychlení se zápornou hodnotou je zpomalení.

¹³ Zkratka pro Whole-Body Vibrations

Byť to čtenář této práce ještě netuší, váha tohoto kritéria v celkovém hodnocení kvality jsou necelá 3%. Pokud by byl měřen a vyhodnocován každý element z tohoto kritéria a byla mu přiřazená váha $\frac{1}{4}$ celku, potom by každý jednotlivý element měl hodnotu pod 1%. Toto dělení by bylo již moc jemné, a proto se v tomto kritérii bude hodnotit pouze teplota, ostatní elementy budou pominuty.

Obecná měření pro zjištění příjemné teploty ve vozidlech určila její hodnotu mezi 22,4 °C až 28,9 °C [26, s. 75]. Přesnější hodnoty lze stanovit jednak s přihlédnutím k okolní teplotě, dále pak k vlhkosti vzduchu [27, s. 1091] či proudění vzduchu.

V případě doporučených teplot ve vozidlech platí pro PID: [13, 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 i teplotu venkovní. Čidel na měření teploty je velká řada.

Dovolte malou odbočku. Zejména v této kategorii čidel je snad nejvíce čidel kombinovaných. Tato čidla měří zároveň jak vnitřní teplotu, tak i obsah CO₂, úroveň osvětlení, vlhkost, množství polévatého prachu apod. Takovéto čidlo by nám pokrylo svými měřicími schopnostmi všechny požadované oblasti tohoto kritéria.

Budou použita 2 čidla na měření teploty – vnitřní a vnější. Průběžně (interval měření u tohoto kritéria je navržen 1 x za 5 minut) je měřena teplota uvnitř a vně vozidla a tyto hodnoty jsou ukládány.

Vyhodnocování bude probíhat na základě aktuální venkovní teploty, budou použity hodnoty dle PID [13] 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 mikroklima 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 az 25°C	50	50	50
nad 25°C	0	0	0

Tabulka 5 - Hodnocení mikroklima 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

Po ukončení jízdy bude vypočten aritmetický průměr uložených bodů a celkové ohodnocení tohoto kritéria zaneseno do Body(6).

4.7. Návrh IoT technologií

Předchozí pasáže vydefinovaly 6 typů čidel, pomocí kterých budou získávána data o kvalitě provedení jednotlivých kritérií. Podle možností zjištěných v teoretické části práce se nabízejí různé typy bezdrátového připojení a typy čidel dle způsobu napájení. Vzhledem k umístění čidel v prostoru autobusů, kde není problém s přívodem elektrické energie, jsou navržena čidla s přímým napájením.

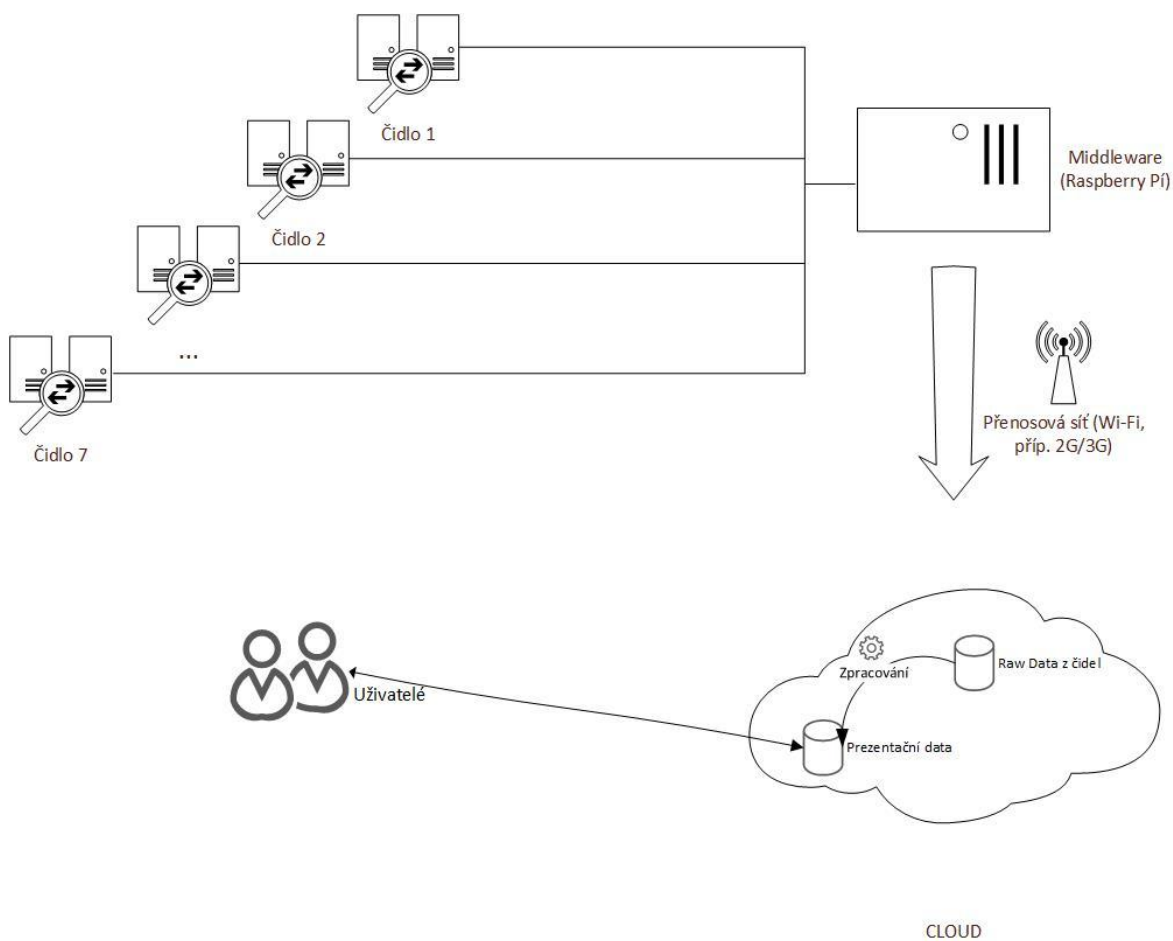
Množství generovaných dat by bylo pro po nejběžněji využívané levné sítě v Čechách (LoRa či SigFox) pravděpodobně příliš objemné, naopak sítě 2G/3G pro každé čidlo samostatně by byly zbytečně nákladné.

Připojení jednotlivých čidel přímo do Internetu je sice prakticky možné, ale v tomto případě nepotřebné a ekonomicky nevýhodné. Je proto navrženo připojení všech čidel do middleware postaveného na platformě Raspberry Pi.

Vestavěné počítače, jako je Raspberry Pi, získávají na trhu, protože nabízejí značný výpočetní výkon na flexibilní platformě, která může spouštět různé operační systémy a knihovny na úrovni uživatelů. Existuje celá řada příspěvků na budování middleware pro připojení zařízení založených na vestavěných počítačích různými způsoby. [28]

S ohledem na skutečnost, že potřeba dostupnosti dat během jízdy není nutná, ideálním způsobem se nabízí jejich stažení až po uskutečnění jízd po příjezdu do depa či garáží dopravce prostřednictvím Wi-Fi připojení. V případě jeho nedostupnosti je možné celé řešení doplnit o připojení k 2G/3G síti a odesílat získaná data touto cestou. [29]

Obrázek 6 - Schéma navrženého IoT řešení¹⁴



Ekonomická náročnost IoT protředků

Celková ekonomická náročnost daného řešení se sestává z inicializačních (jednorázových) a provozních nákladů.

Inicializační náklady jsou zejména náklady na jednotlivá čidla, mikropočítač Raspberry Pi a instalaci těchto komponent. Řádově je uvažováno o cca 10.000,- Kč.

Provozní náklady jsou náklady na provoz sítě (v případě využití Wi-Fi připojení prakticky nulové), dále pak servisní činnost spojená s údržbou čidel (opět v případě bezbateriových téměř nulová) a platba za úložiště. V tomto případě hovoříme o desítkách korun měsíčně.

¹⁴ Vlastní tvorba autora

4.8. Doplnková měření

Jak již bylo zmíněno v teoretické části, výše uvedená měření jsou zaměřena výlučně na měření provedení služby, jak vychází ze smyčky jakosti služby u uvedené na Obrázek 5 - Smyčka kvality.

Aby bylo možné provést celkové hodnocení služby, musejí být zjišťována i hodnocení zákazníků – měření spokojenosti. Pro měření spokojenosti se službou z pohledu zákazníků jsou možné dva způsoby realizace:

1. Konzervativní, klasický způsob zjišťování spokojenosti – anketa, papírový dotazník

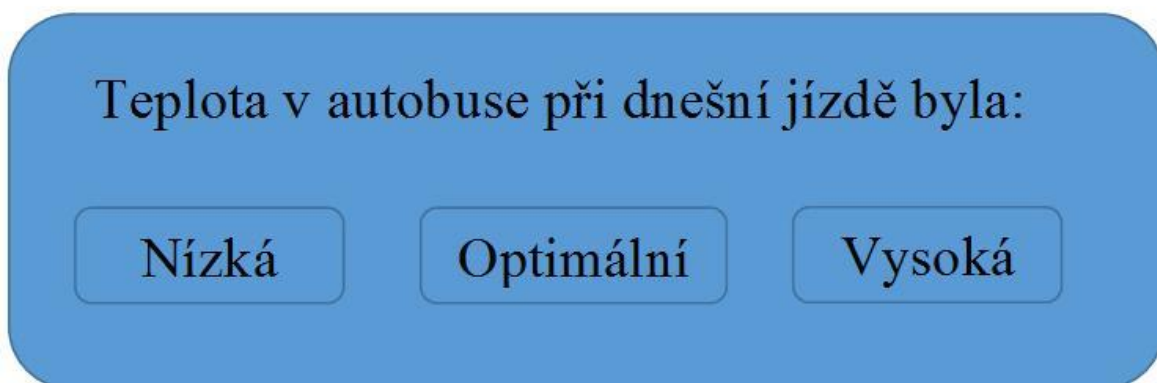
Po uskutečnění cesty dotazníkové šetření - anketa

Výhodou je kompletní sběr informací o všech jednotlivých kvalitativních kritériích služby. Nevýhodou je časová náročnost, tím pádem i finanční, a možná neochota pasažérů na spolupráci.

2. Moderní, elektronický – zpětná vazba

Dotyková obrazovka s náhodně generovanými otázkami zaměřenými na provedení vždy jedné oblasti služby.

Obrázek 7 - Náhled možné dotazovací obrazovky



Výhodou toho způsobu bude téměř beznákladový sběr informací, nevýhodou potom zpětná vazba jen na konkrétní jednotlivé kritérium.

Vyhodnocení odpovědí, ať už z papírové ankety nebo elektronického dotazování, v komparaci s výsledkem bodového ohodnocení provedení služby jednotlivých kritérií, bude indikátorem nutnosti přenastavení doporučených kvalitativních kritérií (hodnot) pro jednotlivé služby. Teprve po nastavení tohoto procesu zpětnovazebního hodnocení bude možné mluvit o skutečném měření kvality služeb v autobusové dopravě.

Tato měření jdou nad rámec této práce a jsou uvedena jen jako připomenutí toho, že všechny měření a vyhodnocování, která byla v předchozích bodech zmíněna, jsou jen částí měření provedení služby a pokud jsou kritéria služby nevhodně nastavena, může se stát, že ačkoli nám v bodovém hodnocení bude vycházet služba jako velmi kvalitní, vnímání pasažérů může být opačné.

5. Zhodnocení a doporučení

Pro celkové vyhodnocování kvality autobusové dopravy je navrženo výsledky měření jednotlivých naměřených (nebo dopočítaných) „kvalitativních“ veličin sloučit a zobrazit jako „Celkovou kvalitu“.

Po vyplnění hodnotící tabulky kritérií expertem na dopravu, Ing. Jakubem Jeřábkem, vedoucím oddělení dopravní obslužnosti Odboru dopravy a silničního hospodářství Krajského úřadu Ústeckého kraje, je totiž možné použít Saatyho metodu pro stanovení vah jednotlivých kritérií a určit celkové hodnocení. [30, s. 160] Pro potřeby této práce je navržené hodnocení dostatečné. V případě reálného nasazení tohoto hodnocení by bylo vhodnější využít jiné stanovení vah (více expertů, dotazníkové šetření) a podle toho využít i jinou matematickou metodu, aby byla případná chyba, či špatný předpoklad jednoho experta, eliminována.

Tabulka 7 - Váha jednotlivých kritérií celkového hodnocení kvality

Kritérium	Obsazenost	Hlučnost	Vibrace	Styl jízdy	Přesnost	Mikroklima ¹	b_i	v_i
Obsazenost	1	7	7	5	1/5	7	2,6458	26,90%
Hlučnost	1/7	1	5	1/3	1/7	3	0,6836	6,95%
Vibrace	1/7	1/5	1	1/3	1/7	3	0,3998	4,07%
Styl jízdy	1/5	3	3	1	1/7	5	1,0428	10,60%
Přesnost	5	7	7	7	1	7	4,7851	48,66%
Mikroklima ¹	1/7	1/3	1/3	1/5	1/7	1	0,2772	2,82%

9,8342

100,00%

1 - Obsahuje parametry: teplota, obsah CO₂, vlhkost, úroveň osvětlení

Lépe jsou váhy jednotlivých kritérií viditelné v grafu:

Obrázek 8 - Váhy jednotlivých kritérií



Parametr „Spolehlivost“, jak již bylo uvedeno výše, je v tuto chvíli KO kritériem. Pokud autobus vůbec jízdu neuskuteční, tak není co hodnotit, hodnota nabývá 0 a výsledná známka musí být 0, v opačném případě je spolehlivost vždy 1.

Celkové hodnocení kvality se tedy jednoduše vypočte vynásobením výsledných bodů jednotlivých elementů kvality jejich váhou a poté jako součet.

$$\text{Celková kvalita} = \text{Spolehlivost} * \sum_{i=1}^6 \text{Body}(i) * v(i)$$

S ohledem na skutečnost, že obvyklá praxe v hodnocení kvality zboží, produktů, služeb, ale i hotelů (i když, zde použit metodika je jinak definovaná), je pomocí „hvězdiček“ a koneční uživatelů jsou na toto hodnocení zvyklí a na první pohled schopni rozpoznat výsledné hodnocení, je doporučeno použít právě „hvězdičkové hodnocení“.

Výsledná kvalita je zobrazena množstvím vybarvených hvězdiček, kdy krokování je po polovině hvězdiček při použití standardního matematického zaokrouhlování v rozsahu 0 – 100 bodů.

Obrázek 9 - Ukázka hvězdičkového hodnocení



Na rozdíl od dnešní praxe, kdy dochází jen k namátkovým kontrolním měřením [13], která samozřejmě mohou ovlivnit výsledek měření, kontinuální měření pomocí technologií IoT přinášejí mnohem přesnější výsledky a nakonec budou pravděpodobně i ekonomicky výhodnější.

6. Závěr

Hlavní cíl práce, zhodnocení možnosti měření a vyhodnocování kvality autobusové dopravy prostřednictvím IoT technologií, byl splněn. Předchozí pasáže ukázaly možnosti a způsoby, jak kvalitu autobusové dopravy měřit a vyhodnocovat.

Byly definovány hodnoty pro kvalitu autobusové dopravy z hlediska přesnosti jízd, průběhu jízd a komfortu cestujících. Na základě studia dostupných zdrojů, zejména technických norem a dalších legislativních dokumentů, byla identifikována hlavní a měřitelná kritéria kvality, mezi které patří: přesnost a spolehlivost, obsazenost, styl jízdy, hlučnost, vibrace a mikroklima.

U výběru vhodných IoT prostředků pro sběr potřebných dat bylo u každého definovaného kritéria navrženo vhodné čidlo pro měření potřebných dat. U kritéria přesnost a spolehlivost se jedná o čidlo GPS, u obsazenosti o radarové počítadlo průchodu osob, u stylu jízdy o čidlo akcelerace, u hlučnosti o čidlo na měření hluku, u vibrace o čidlo na měření vibrací a u mikroklima o dvě teplotní čidla na měření vnitřní a venkovní teploty.

Bylo navrženo celé řešení měření kvality postavené na technologiích IoT, konkrétně zapojení čidel pomocí Raspberry Pi a vybrán typ přenosu dat z těchto čidel. Dále pak u každého definovaného kritéria byly zjištěny doporučené hodnoty a navržen způsob hodnocení naměřených nebo vypočítaných veličin. V neposlední řadě byla již jednotlivá zhodnocená kritéria kvality následně sloučena a pomocí Saatyho metody připravena k prezentaci celkové kvality.

Hlavní přínos práce je v definici kvality autobusové dopravy stanovením vhodných kvalitativních ukazatelů, návrh na jejich měření, způsobu připojení jednotlivých IoT čidel k Internetu a návrh způsobu vyhodnocování celkové kvality autobusové dopravy.

Celkový systém hodnocení kvality autobusové dopravy je navržen jako otevřený, umožňující snadno přidávat, případně odebrat, jednotlivé kvalitativní parametry. Prostým přepočtením hodnotící tabulky a jednoduchým přeškálováním jednotlivých parametrů je možné postupně zpřesňovat celkové hodnocení.

Seznam použitých zdrojů

- [1] ASHTON, Kevin. That "Internet of Things" Thing. *RFID Journal*. 2009.
- [2] WAHER, Peter. *Learning Internet of Things*. 1. Birmingham, UK: Packt Publishing Ltd., 2015. ISBN 978-1-78355-353-2.
- [3] 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.
- [4] Internet of Things. *IERC - European Research Cluster on the Internet of Things: Internet of Things* [online]. Norway. Dostupné z: http://www.internet-of-things-research.eu/about_iot.htm
- [5] RAY, P.P. A survey on Internet of Things architectures. *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*. 2018. 2018, **2018**(303), 29. ISSN 1319-1578.
- [6] LOM, Michal a Ondřej PŘIBYL. Síť pro internet věcí v České republice. *Tzbinfo* [online]. 2017. **2017**, 10. Dostupné z: <https://elektro.tzb-info.cz/informacni-a-telekomunikacni-technologie/16519-site-pro-internet-veci-v-ceske-republice>
- [7] ČESKO. Zákon č. 194/2010 Sb.: o veřejných službách v přepravě cestujících a o změně dalších zákonů. In: *2010*. 2010. Praha, 2010, ročník 2010, číslo 194.
- [8] 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*. 2011. Praha, 2011, ročník 2011, číslo 63.
- [9] ČSN EN 13816: *Doprava - Logistika a služby - Veřejná přeprava osob - Definice jakosti služby, cíle a měření*. Český normalizační institut, 2003.
- [10] ČSN EN 15140: *Veřejná přeprava osob - Základní požadavky a doporučení pro systémy hodnocení kvality poskytované služby*. Český normalizační institut, 2006.
- [11] OLIVKOVÁ, Ivana. *Provoz a ekonomika dopravy*. 1. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Univerzita Pardubice, 2013. ISBN 978-80-248-3271-5.

- [12] CATS, Oded a Gerasimos LOUTOS. Real-time bus arrival information system: an empirical evaluation. *Working papers in Transport Economics* [online]. 2013. ISSN edsrep.
- [13] *Standardy kvality PID - Autobusy PID* [online]. Praha: Pražská integrovaná doprava, 2019. Dostupné z: https://pid.cz/wp-content/uploads/2018/04/Standardy_kvality_autobusy_2019.pdf
- [14] 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]. 62. 2017, **62**, 92-97 [cit. 2020-02-29]. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2017.04.012. ISSN 09666923.
- [15] PARMESHWAR, Gaikwad a Raut ANAND. *SMART BUS TRANSPORT SYSTEM USING GSM AND GPS* [online]. 2017. DOI: 10.5281/zenodo.1459040.
- [16] PAVLŮ, Martin. *Možnosti využití dvoukloubových autobusů v systému Pražské integrované dopravy* [online]. Praha, 2016. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/10467/64011>. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze.
- [17] 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]. 70. 2013, **70**, 211-219. DOI: 10.1016/j.enconman.2013.02.019. ISSN 01968904.
- [18] EBOLI, Laura, Gabriella MAZZULLA a Giuseppe PUNGILLO. Measuring Bus Comfort Levels by using Acceleration Instantaneous Values. *Transportation Research Procedia* [online]. vol. 18. 2016, **18**, 27-34 [cit. 2020-02-13]. DOI: 10.1016/j.trpro.2016.12.004. ISSN 23521465. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2352146516307578>
- [19] 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.
- [20] 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]. 41. 2019, **41**, 461-470. DOI: 10.1016/j.trpro.2019.09.077. ISSN 23521465.
- [21] ZANNIN, Paulo. Occupational noise in urban buses. *International Journal of Industrial Ergonomics* [online]. 38. 2008, **38**(2), 232-237. DOI: 10.1016/j.ergon.2006.06.014. ISSN 01698141.
- [22] KONIECZNY, Łukasz, Rafał BURDZIK, Robert JAWORSKI a Sławomir WIERZBICKI. Analysis of noise inside bus of hybrid bus vehicles. *Vibroengineering Procedia* [online]. 19. 2018, **19**, 194-198. DOI: 10.21595/vp.2018.20229. ISSN 23450533.
- [23] BRUNO, Portela, Queiroga MARCOS, Constantini AMANDA a Zannin PAULO. Annoyance evaluation and the effect of noise on the health of bus drivers. *Noise* [online]. 15. 2013, **15**(66), 301-306. DOI: 10.4103/1463-1741.116561. ISSN 14631741.
- [24] 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]. 57. 2017, **57**, 74-79. DOI: 10.1016/j.ergon.2016.12.003. ISSN 01698141.
- [25] SEKULIĆ, Dragan a Dušan MLADENOVIĆ. EVALUATION AND ANALYSIS OF VIBRATION EFFECTS ON BUS USERS. *Horizons Series B* [online]. 3. 2016, **3**, 435-444. DOI: 10.20544/HORIZONS.B.03.1.16.P43. ISSN 18578578.
- [26] VELT, K.B. a H.A.M. DAANEN. Optimal bus temperature for thermal comfort during a cool day. *Applied Ergonomics* [online]. 62. 2017, **62**, 72-76. DOI: 10.1016/j.apergo.2017.02.014. ISSN 00036870.
- [27] ÜNAL, Şaban. AN EXPERIMENTAL STUDY ON A BUS AIR CONDITIONER TO DETERMINE ITS CONFORMITY TO DESIGN AND COMFORT CONDITIONS. *Journal of Thermal Engineering* [online]. 3. 2017, **3**(1), 1089-1101. ISSN 21487847.
- [28] GARCÍA-VALLS, Marisol, Javier AMPUERO-CALLEJA a Luis FERREIRA. *Integration of Data Distribution Service and Raspberry Pi*. In: . Cham: Springer International Publishing, 2017, s. 490-504. ISBN 978-3-319-57186-7.

- [29] RAHMAN, Mahmudur, Amatur RAHMAN, Hua-jun HONG, Li-wen PAN, Md SARWAR UDDIN, Nalini VENKATASUBRAMANIAN a Cheng-hsin HSU. An adaptive IoT platform on budgeted 3G data plans. *Journal of Systems Architecture* [online]. 97. 2019, **97**, 65-76. DOI: 10.1016/j.sysarc.2018.11.002. ISSN 13837621.
- [30] ŠUBRT, Tomáš. *Ekonomicko-matematické metody*. 2. upravené vydání. Plzeň: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, 2015. ISBN 978-80-7380-563-0.