

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická
Katedra materiálů a technologií

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Technologie chytrého parkování

Autor práce: **Bc. Robert Kubíček**
Vedoucí práce: **Ing. et Ing. Petr Kašpar, Ph.D.**

Plzeň 2022

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2021/2022

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Robert KUBÍČEK**
Osobní číslo: **E20N0013P**
Studijní program: **N0713A060011 Materiály a technologie pro elektrotechniku**
Téma práce: **Technologie chytrého parkování**
Zadávací katedra: **Katedra materiálů a technologií**

Zásady pro vypracování

1. Popište historický vývoj systémů pro chytrá parkování.
2. Zmapujte současný trh s technologiemi pro chytrá parkování.
3. Analyzujte existující systém chytrého parkování z hlediska funkčnosti a použitelnosti pro dané prostředí.
4. Vyhodnoťte získané informace a navrhněte případné vylepšení.

Rozsah diplomové práce: **40 – 60**
Rozsah grafických prací: **dle doporučení vedoucího**
Forma zpracování diplomové práce: **elektronická**

Seznam doporučené literatury:

Olivier Hersent, David Boswarthick, Omar Elloumi: The Internet of Things: Key Applications and Protocols, 2nd Edition ISBN: 978-1-119-99435-0

Svítek M., Postránecký M.: Města budoucnosti. NADATUR 2018.

Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. et Ing. Petr Kašpar, Ph.D.**
Katedra materiálů a technologií

Datum zadání diplomové práce: **8. října 2021**
Termín odevzdání diplomové práce: **26. května 2022**



Prof. Ing. Zdeněk Peroutka, Ph.D.
děkan

Doc. Ing. Aleš Hamáček, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 8. října 2021

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně a výhradně s použitím citovaných pramenů.

V Plzni dne 26. května 2022

Bc. Robert Kubíček

Abstrakt

Práce obsahuje teoretickou a praktickou část. Teoretická část je zaměřená na problematiku chytrého parkování z pohledu historie, tak i z pohledu dnešní doby. Dále práce obsahuje průzkum trhu z pohledu chytrých měst. Dále je zde rozebrán Internet věcí a potřebné technologie, také je zde rozebrán řetězec toku dat a informací. V další části se práce zabývá smart city a jeho aplikacemi. Byl zde zmapován trh se senzory pro chytré parkování, byly zmíněny i konkrétní senzory a technologie detekce. V praktické části byl rozebrán současný stav parkovišť a vytvořen systém pro sběr, uchování a vizualizaci dat. V předposlední části jsou analyzována získaná data. V poslední části jsou pak navržena možná řešení problému, které vznikají na parkovišti.

Klíčová slova

Parkování, IoT, Senzory, SmartCity, Nette, Plotly

Abstract

The thesis contains theoretical and practical part. The theoretical part focuses on the issue of smart parking from the perspective of history and today. Furthermore, the thesis contains a market research from the perspective of smart cities. Furthermore, the Internet of Things and the necessary technologies are discussed, also the chain of data and information flow is discussed. In the next section, the thesis deals with smart city and its applications. The market for smart parking sensors has been mapped, specific sensors and detection technologies have also been mentioned. In the practical part, the current status of parking lots was analyzed and a system for data collection, storage and visualization was developed. In the penultimate section, the collected data is discussed. Then, in the last part, possible solutions to the problems encountered in the parking lot are proposed.

Key words

Parking, IoT, Sensors, SmartCity, Nette, Plotly

Poděkování

Rád bych poděkoval svému vedoucímu diplomové práce Ing. et Ing. Petr Kašparovi, Ph.D., za poskytnuté konzultace, výborné vedení práce, přínosné rady a pomoc při jejím zpracování. Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Karlu Šimovi, za poskytnuté konzultace.

Obsah

1 Úvod	14
2 Historický vývoj parkování	15
2.1 Minulost parkování ve světě	15
2.2 Minulost parkování v ČR	16
3 Chytré parkování	19
3.1 Příklady řešení v České republice	19
3.1.1 Písek	19
3.1.2 Pardubice	19
3.1.3 Liberec	20
3.1.4 Kolín	21
3.1.5 Plzeň	21
3.1.6 Praha	22
3.1.7 Brno	22
3.2 Příklady řešení ze zahraničí	23
3.2.1 Amsterdam	23
3.2.2 Barcelona	23
3.2.3 Detroit	24
3.2.4 Krakov	24
3.2.5 Londýn	25
4 Internet of Things	26
4.1 Koncept	26
4.2 Zařízení	27
4.3 Brány	27
4.4 Cloud a Server	27
4.5 Aplikace	28
4.6 Bezdrátové komunikační technologie v IoT	29
4.6.1 LoRa	29
4.6.2 Mobilní sítě	29

4.6.3	Sigfox	30
4.6.4	Wi-Fi	30
4.6.5	ZigBee	30
4.6.6	RFID a NFC	31
4.7	Podpůrné technologie v IoT	31
4.7.1	HTTP	31
4.7.2	JSON	32
5	Smart city	33
5.1	Definice	33
5.2	Přehled oblastí aplikací chytrého města	33
5.2.1	Chytré bydlení	33
5.2.2	Inteligentní správa městských oblastí	34
5.2.3	Chytré životní prostředí	34
5.2.4	Inteligentní infrastruktura	34
5.2.5	Chytrá ekonomika	35
5.2.6	Chytrá městská mobilita	35
5.3	Jak fungují chytrá města	35
5.4	Bezpečnost	36
6	Zmapování trhu	37
6.1	České firmy	37
6.1.1	ELKO EP, s.r.o.	37
6.1.2	SPEL a.s.	38
6.1.3	ČD – Telematika a.s.	38
6.1.4	CROSS Zlín, a.s.	39
6.1.5	GREEN Center s.r.o.	39
6.1.6	Smartiple, s.r.o.	40
6.1.7	CITIQ s.r.o.	41
6.2	Zahraníční firmy	41
6.2.1	Dahua parking	41
6.2.2	Robert Bosch GmbH	42
6.2.3	Siemens AG	42

6.2.4	Urbiotica	43
6.2.5	Cleverciti Global HQ	43
6.2.6	Smart Parking Ltd.	44
6.2.7	Libelium	44
6.3	Technologie detekce	45
6.3.1	Magnetické senzory	45
6.3.2	Ultrazvukové senzory	45
6.3.3	Infračervené snímače vzdálenosti	46
6.3.4	Radarové senzory	46
6.3.5	RFID senzory	47
6.3.6	Kamery	47
6.3.7	Senzory viditelného světla	47
6.3.8	Kontaktní senzory	48
6.3.9	Porovnání senzorů	48
6.4	Senzory	48
6.4.1	Parkovací senzor od BOSCH GmbH	49
6.4.2	Parkovací senzor od TinyNode	49
6.4.3	Parkovací senzory od CITIQ s.r.o.	50
6.4.4	Parkovací senzor od Nwave Sensors	50
6.4.5	Parkovací senzor od Libelium	51
7	Současný stav parkovišť	52
7.1	Parkoviště	52
7.1.1	FEL	52
7.1.2	FDU	53
7.2	Senzory	54
7.2.1	Průjezdové senzory	54
7.2.2	Parkovací senzory	54
7.2.3	JIS snímače	55
8	Systém na vizualizaci	56
8.1	Server	56
8.1.1	Linux Debian	56

8.1.2	Apache HTTP Server	57
8.1.3	Postgresql+TimescaleDB	57
8.1.4	Plotly	57
8.1.5	PHP	57
8.1.6	Nette	58
8.1.7	Python	58
8.2	Nastavení serveru	58
8.3	Databáze	61
8.4	Zdroje dat a přenos do vizualizačního systému	61
8.4.1	Průjezdové senzory - RVTECH	61
8.4.2	Parkovací senzory - AWS	62
8.4.3	OracleDB JIS	63
8.4.4	Zařízení na snímání brány	63
8.5	Vizualizační systém	63
8.6	Části systému	64
8.6.1	Dashboard	64
8.6.2	Telemetrie	64
8.6.3	API	65
8.6.4	Stav průjezdových senzorů	66
8.6.5	Stav parkovacích senzorů	66
8.6.6	Test parseru	67
8.6.7	Alokace míst	67
9	Analýza dat	68
9.1	Data z JIS	68
9.1.1	Parkoviště FEL	68
9.1.2	Parkoviště FDU	70
9.2	Data z průjezdových senzorů	72
9.3	Data z parkovacích senzorů	73
9.4	Návrhy na zlepšení	75
9.4.1	Rozšíření současných senzorů	75
9.4.2	Odklonění zátěže do více parkovišť	75
9.4.3	Nový parkovací systém s rozpoznáváním SPZ	76

10 Závěr	77
Literatura	80

1 Úvod

Tato práce je zaměřená na rozbor a vizualizaci obsazení univerzitního parkoviště a je rozdělena do několika částí. Část první se bude věnovat historickému vývoji parkovišť a integraci Internetu věcí do parkovacích ploch. Další část bude věnována Internetu věcí, kde se dozvíme informace o tom jak se přenáší data od zařízení až po výslednou prezentaci spotřebiteli. V další části práce si rozebereme jednotlivé části konceptu chytrého města, po této kapitole bude následovat průzkum trhu. V této části si přiblížíme jednotlivé výrobce, kteří budou nalezeni na základě rešerše. Následuje analýza samotného parkoviště a prozkoumání jeho současného stavu. V další části bude vytvořen systém na příjem telemetrie z parkoviště, její zpracování a výsledné vizualizace. V poslední části prozkoumáme sebraná data a na základě získaných informací navrhne možná vylepšení současného stavu.

2 Historický vývoj parkování

V této kapitole se budeme zabývat historickým vznikem prvních parkovišť, postupně se dostaneme až k dnešním parkovištím s moderními technologiemi.

2.1 Minulost parkování ve světě

První motorové vozidlo bylo vyrobeno v Evropě v druhé polovině 19. století. Na americkém kontinentu se začala objevovat až na počátku 20. století. V této době bylo v zemi registrováno pouze 8 000 soukromých motorových vozidel, některá byla stále ještě poháněna párou. V letech 1900 až 1929 bylo představeno 1 200 nových automobilových konstrukcí s různým typem pohonu. V roce 1910 vyrobily americké továrny 181 000 osobních automobilů a 6 000 nákladních vozidel. Až do roku 1900 dopravní předpisy ve městech téměř neexistovaly. Za otce pravidel parkování, ačkoliv sám se nikdy nenaučil řídit, je jistý William Phelps Eno (1858-1945). Byl to průkopník v oblasti regulace a řízení dopravy. Společnost Eno Transportation Foundation byla známá tím, že vyvíjela dopravní plány pro velká města jako je New York, Londýn, Paříž a je jí připisována pomoc při vymýšlení a popularizaci zastávkových značek, stanovišť a dalších dopravních prvků používaných po celém světě. Automobily ponechané bez dozoru v ulicích nebo na veřejných místech začaly být na přelomu 20. století velkým problémem mnoho měst. To přimělo zákonodárce v oblasti dopravy omezit parkování na chodnících na vozidla pouze s řidičem a přidělit místa mimo ulice pro vozidla bez řidiče. Teprve v roce 1903 došlo k serióznímu pokusu uplatnit povinná pravidla pro řízení pouličního provozu ve městech po celých Spojených státech, přičemž New York převzal vedoucí úlohu. Eno předpovídá využití a vytvoření parkovišť. Ve 20. letech 20. století začala města v celé Americe přidělovat prostor pro parkoviště, která byla buď vlastněna a spravována soukromě komerčními a maloobchodními asociacemi anebo vlastněna veřejnými subjekty a udržována soukromými provozovateli. Některé z těchto pozemků byly v centru města, jiné se nacházely na okraji města. Většina parkovišť ve 20. letech 20. století byla střežena a kontrolována. Skutečné parkování řešili obsluhující pracovníci. Některá z prvních povrchových parkovišť ve Spojených státech byla navržena a postavena vedle nákupních center. V roce 1923 společnost JC Nichols postavila dvě

parkoviště o kapacitě 150 vozů viz Obr. 2.1 vedle nového nákupního centra Country Club Plaza v Kansas City v Missouri. [1, 2]



Obr. 2.1: Parkoviště s kapacitou 150 aut vedle nového nákupního centra Country Club Plaza (převzato z [1]).

Mezitím v Evropě začaly vznikat velkokapacitní garáže. Jako jsou například Perretovy garáže v Rue de Ponthieu v letech 1905-1906 viz Obr. 2.2. Parkoviště bylo později v letech 1970 zdemolováno [3].

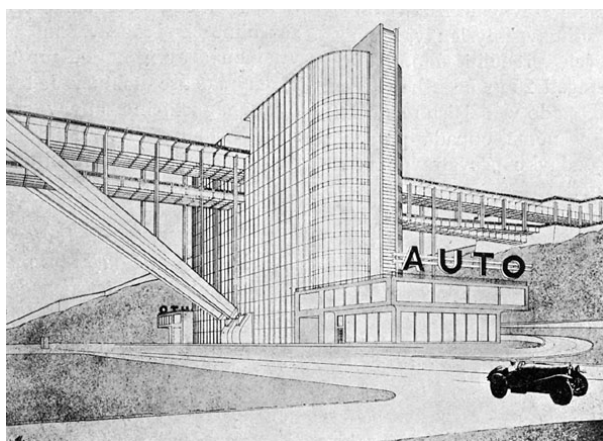


Obr. 2.2: Perretovy garáže v Rue de Ponthieu z let 1905-1906 (převzato z [3]).

2.2 Minulost parkování v ČR

Nyní se přesuneme do Československé první republiky. V tu dobu ještě nebyla zaplavena automobily jak je tomu dnes. V třicátých letech jich bylo registrováno něco kolem 5,5 tisíce. Najít tak místo pro zaparkování na ulici nebyl tehdy žádný problém. Nicméně i v tu dobu v některých místech tomu tak nebylo. Velkou roli v prosazování myšlenky

izolovaných samostatných garáží také sehrál i fakt, že náklady na pořízení auta byly veliké a tak majitelé byli opatrnější a obezřetnější. Nejjednodušším řešením v tehdejší době bylo odstavení vozů na jednom ze sítí hlídaných parkovišť. V té době se jim říkalo „auto-šatny“. V husté zástavbě pak bylo využito úschovy vozů v individuálních nebo sdružených přízemních objektech anebo také v podobě vybudovaných dřevěných či kovových přístřešků. Garážové stání patřilo k běžnému standardu komfortnějšího bydlení. Jako příklad lze uvést kolonii v Praze na Babě, kde bylo garážemi vybaveno 20 ze 33 rodinných domů. Jeden ze soutěžních návrhů na přemostění Nuselského údolí z roku 1926, kde autoři navrhli překlenout údolí železným mostem, pod mostem by se pak skrývaly čtrnácti patrové garáže s obchody, hotely viz Obr. 2.3, garáže však nikdy nebyly realizovány [3].



Obr. 2.3: Návrh na přemostění Nuselského údolí z roku 1926 od autorů (S. Demel, J. A. Holman, Z. Pešánek) (převzato z [3]).

Jako „první patrové garáže“ v Praze byly označovány Garáže Na Maninách z roku 1928, který představuje nový typ patrových nadzemních garáží. Autoři díla jsou Bedřich Adámek a František Čelichovský. Jak garáže resp. parkoviště vypadalo se můžeme podívat na Obr. 2.4a a 2.4b. Postupně bychom mohli jmenovat další vznikající objekty. Za zmínku pak stojí například parkovací garáže v Hradci Králové od Josefa Fňouka vybudované v roce 1931 [3].



(a) interiér



(b) exteriér

Obr. 2.4: Garáže Na Maninách z roku 1927-28 (převzato z [3]).

3 Chytré parkování

Jako chytré parkování si můžeme představit například mobilní aplikaci, která navede řidiče, kam má jet a kde můžeme rychle zaparkovat. První zmínky o „chytrém parkovišti“, se vyskytují v knižních zdrojích, kterými disponuje Google Books a to zhruba od roku 2000 viz Obr. 3.1.



Obr. 3.1: Graf četnosti použití klíčového slova „smart parking“ (převzato z Google Books Ngram Viewer).

3.1 Příklady řešení v České republice

V této části se podíváme na vybraná česká města která využívají koncept smart city a smart parking.

3.1.1 Písek

První u nás představený systém „chytrého parkování“ byl v roce 2017 v Písku, které bylo tak jedním z prvních kdo s takovouto technologií experimentoval. Parkoviště má kapacitu na 140 aut. Celý systém funguje tak, že parkovací plochy jsou osazeny detektory, které získávají data na základě měření intenzity magnetického pole. Data se poté odesílají díky bezdrátovým technologiím do cloudového úložiště. Aby takto celý systém fungoval bylo potřeba využít i pokročilých systému a big data úložišť pro ukládání a vyhodnocení dat. S těmito daty se pak dále pracuje. Informace o obsazenosti se pak odesílá do chytrého značení, které navede řidiče na volné místo [4].

3.1.2 Pardubice

Město Pardubice v září roku 2021 osadilo všechna parkovací místa senzory, jejich počet je zhruba 3300. Funkčnost senzorů testovali minulý rok, kde bylo osazeno 53 parkova-

cích míst. Zkušební doba jim ukázala, že senzory splňují jejich požadavky a parametry. Tato technologická novinka umožňuje městu sledovat, která místa jsou obsazená a navíc jak intenzivně je místo využíváno. Hlavní předností této technologie je získání dat v reálném čase. Tyto data budou moci sloužit jako další podklady pro plánování. Bude umožněno vyhodnocení placených zón, což bude šetřit peníze za drahé analýzy. Dále bude umožněno zjistit, která místa využívají obyvatelé města a která návštěvníci. Také bude možno zjistit kolik aut během určité doby místo obsazovalo a kolik se jich na místě vystřídalo. Tyto data o obsazenosti by se pak měla přenášet do aplikace, která navede řidiče na volné místo [5].

3.1.3 Liberec

V roce 2018 odstartovalo město Liberec projekt chytrého parkování, které si kladlo za cíl zlepšení řízení dopravního provozu a zvýšení bezpečnosti. To bylo docíleno zavedením jednotného parkovacího informačního a navigačního systému v centru statutárního města Liberce. To vše bylo dosaženo za pomoci moderních informačních technologií, které optimalizovali dopravu. Výhodou tohoto systému bylo také zaparkování bez nadbytečných popojíždění, které by jinak bylo potřeba, když by řidič hledal volné místo. Využité senzory jsou založené na monitorování magnetického pole nad nimi a tím vyhodnocují zda je místo obsazené či nikoliv. Řidiče navede na volná místa skupina vhodně umístěných ukazatelů, které můžete vidět na Obr. 3.2, ty pak poskytují i informaci o počtu volných míst [6, 7].



Obr. 3.2: Ukazatelé volných míst (převzato z [6]).

3.1.4 Kolín

Město Kolín také přistoupilo k implementaci chytrých technologií „chytrého města“. Byli zde implementovány technologie pro smart parkování. Zde šli opět cestou chytrých senzorů, které se zavrtávají do vozovky ve formě uzavřených kapslí. Sensory byly dodány firmou TinyNode založené na mikrovlnné technologii. U jednoho parkoviště je využitou pouhé počítání vjezdů a výjezdů. Mají zde i chytrou aplikaci, která navede řidiče na místo. Aplikace navíc poskytuje možnost zaplatit za parkovné, což je úspora času při hledání automatu a vložení lístku zpět na palubní desku vozu. Radnici tyto senzory poskytují data o vytíženosti. Ta následně s těmito daty může pracovat a plánovat další rozvoj města nebo se tyto data dají taky využít pro městskou policii. Ta disponuje podobnou aplikací, která nabízí detailní pohled na to, kde se vozy nachází a zdali majitel automobilu zaplatil či nikoliv. To poté ulehčuje práci při hledání neplatičů [8].

3.1.5 Plzeň

Město Plzeň jako první započalo stavbu vlastní IoT sítě v roce 2017. Ta umožnila připojení různých senzorů tam, kde nebyla přístupná metalická síť či napájení. Na

pokrytí celé Plzně bylo potřeba něco kolem 10 přístupových bodů. Jedná se o brány, které slouží pro připojení bezdrátových senzorů a příjem dat. Například dopravník podnik města Plzně by mohl v budoucnu využít tuto síť pro zjištění počtu obsazených míst na veřejných parkovištích. Nyní však funguje ve městě aplikace ParkSimply Plzeň, kde je možno zakoupit parkovací lístek. Díky této aplikaci tak město získá přehled o zakoupeném parkovním a vytíženosti jednotlivých míst. Taktéž je možnost zaplatit klasickým automatem, kde je nutnost zadat statní poznávací značku (*SPZ*) a to z důvodu možné kontroly [9, 10]. Plzeň se také zapojila do projektu Podpora 5G sítí. Ve světě začalo spouštění 5G sítí již v roce 2019. Česko je tak za ostatními zeměmi opožděno. Ministerstvo pro místní rozvoj společně s ministerstvem průmyslu a obchodu vytvořilo projekt pro podporu 5G, čímž se snaží dostat tyto sítě do měst dříve a využít je pro smart cities [11].

3.1.6 Praha

Město Praha využívá síť svých parkovišť, kde nabízí mnoho parkovacích míst, přibližně asi 3500. Uvedené číslo se ale stále navyšuje. Praha je členěná na zóny: modrá pro rezidenty, fialová, kde mohou parkovat bez omezení držitelé parkovacího lístku, oranžové zóny pro návštěvníky s platným parkovacím lístkem a to však na omezený čas. Dále pak je tu síť již zmíněných parkovišť P+R, kde mohou parkovat všichni s platným parkovacím lístkem. Pro provoz těchto parkovišť využívá město Praha aplikaci parkujvklidu.cz nebo aplikaci pro telefony Parkování Praha. Data z těchto parkovacích míst se dají využít a jsou stažitelná pomocí API. To poskytuje městu Praha informace o jednotlivých vytížení těchto parkovišť a data pro jejich další rozšiřování či úpravy [12, 13].

3.1.7 Brno

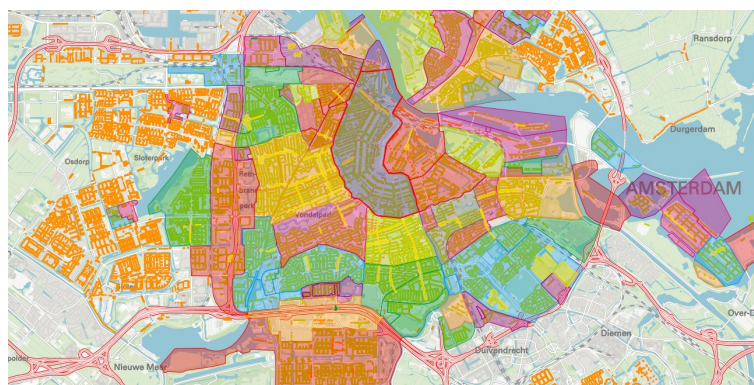
Město Brno má podobnou strategii jako město Praha. Je zde aplikace parkovaniv-brne.cz, kde si jednotlivý občané mohou koupit parkovací lístek. V Brně je přibližně 9 parkovacích domů a podle počtu prodaných lístků se pak dá zjistit, kolik volných a obsazených míst parkoviště ještě má. Město Brno poskytuje OpenData, kde si může kdokoliv zjistit kolik je volných a obsazených míst. To může pomoci při analyzování dopravní situace a také pro vznik nových aplikací [14].

3.2 Příklady řešení ze Zahraničí

V této části se podíváme na řešení problematiky smart city resp. smart parking pro vybrané zahraniční města.

3.2.1 Amsterdam

Parkování na ulici v Amsterdamu je dostupné pro řidiče, kteří buď platí hodinové sazby nebo pro rezidenty, kteří využívají povolení k pobytu v blízkosti jejich domova. Přibližně jedna třetina motoristů využívá komerční parkovací domy mimo ulici. Tyto garáže však poskytují převážně soukromí provozovatelé a účtují si o něco vyšší ceny než nedaleké parkování na ulici. V květnu 2018 se město Amsterdam zavázalo k plánu mobility, které spíše upřednostní cyklistickou a pěší dopravu a zároveň omezí používání automobilů ve městě. Na Obr. 3.3 můžeme vidět rozdělení města na zóny a jednotlivé parkovací místa. Kde jejich obsazenost je zjišťována na základě nájmu či koupi parkovacího lístku [15].



Obr. 3.3: Členění města na zóny (převzato z [16]).

3.2.2 Barcelona

Zavedení IoT technologií začalo v Barceloně roku 2012, město zavedlo technologie napříč celým městem, dotkly se veřejné dopravy, parkování, pouličního osvětlení a nakládání s odpady. Tyto inovace přinesly značné úspory nákladů, zlepšily kvalitu života obyvatel a udělaly z města centrum pro mladé odvětví internetu věcí. Pro zahájení programu IoT měla Barcelona pevný základ, pro projekty využila 500 kilometrů již instalovaných optických kabelů ve městě. Pro řidiče Barcelona implementovala senzorový systém, který je navede na dostupná parkovací místa. Senzory zapuštěné do asfaltu

dokážou snímat, zda na je dané místo obsazené či nikoliv. Nasměrování probíhá prostřednictvím aplikace (AppparkB), která pomáhá snížit emise možným popojížděním a hledáním volného místa. Za rok realizace město vydávalo prostřednictvím aplikace přes 4000 parkovacích lístků denně [17].

3.2.3 Detroit

V Detroitu jsou parkoviště, která spadají do vlastnictví města řešená pomocí parkovacích automatů či webové aplikace (parkdetroit.us). Webová aplikace navede řidiče na volné místo na základě zjištěné jeho polohy. Detroit nabízí jak parkoviště tak i garáže. Nově v Detroitu vzniká živá testovací laboratoř, které umožňuje inovátorům mobility a inteligentní infrastruktury, technologie nabíjení elektromobilů a mnoho dalších věcí. Laboratoř byla vytvořena na základě dohody mezi lídry v mobilitě Ford, Bedrock a Bosch. Jejich vize jsou automatické parkování, které by umožnilo vozidlům Ford řídit a zaparkovat samostatně. Detroit chce docílit zlepšení způsobu, jakým se lidé pohybují a efektivně využít prostředí. V testovací laboratoři je tak možné získat nové poznatky [18].

3.2.4 Krakov

Město Krakov začalo IoT technologie zavádět zhruba v roce 2017. Jednalo se o pilotní projekty a jedním z nich byl i systém chytrého parkování. Na několika vybraných ulicích v centru města funguje tento systém, který pomáhá při správě zóny placeného stání. Jde tak o nástroj, který bude sbírat informace o dostupnosti parkovacích míst 24 hodin a 7 dní v týdnu. Tyto získané informace dále budou následně použity na chytré značení umístěné při vjezdu do ulic pokrytých tímto systémem. Tento nástroj umožní v reálném čase řídit tuto zónu efektivněji a také pomůže zlepšit kvalitu ovzduší a života ve městě. Toto řešení je základem pro městskou otevřenou platformu Krakov poskytující informace o dostupnosti parkovacích míst a to nejen v zóně placeného parkování, ale i v několika dalších lokalitách a to i v podzemních, P+R nebo soukromých parkovištích. V Krakově se také můžeme setkat s bezplatnou parkovací aplikací InfoParking, které tyto komplexní informace o zónách stání a další. Také je zde přehledná mapa parkovacích automatů, dostupné způsoby platby a provozní doba [19].

3.2.5 Londýn

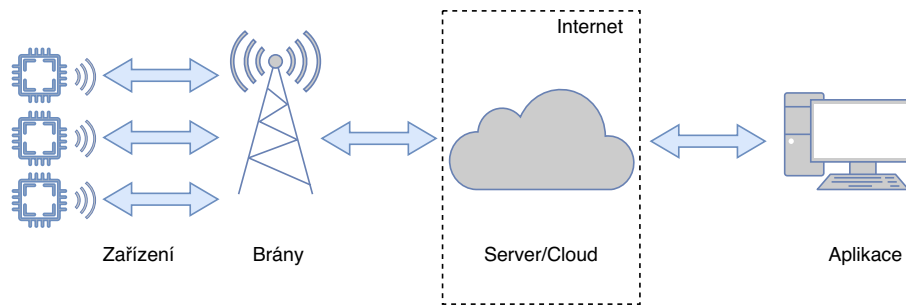
V roce 2012 se městská část v Westminster rozhodla změnit stav parkování. Bylo investováno přibližně 890 000 liber do implementace systému chytrého parkování v oblasti West End. Pilotní projekt byl proveden v roce 2012 a nainstaloval počáteční sadu 189 bezdrátových senzorů do parkovacích míst umístěných v pěti ulicích. Na základě úspěšného pilotního projektu bylo do července 2014 ve West Endu rozmístěno dalších 3 000 senzorů. Tyto senzory shromažďují data v reálném čase a poskytují informaci o stavu obsazenosti každého parkovacího místa. Mobilní aplikace s názvem „ParkRide“ byla vytvořena tak, aby umožnila řidičům vidět všechna dostupná neobsazená místa a pomáhat v dalších činnostech související s parkováním, a to například placení za parkovné, či informace o provozní době. Londýn je tak prvním městem ve Spojeném království, které vyzkoušelo technologie chytrého parkování na ulicích. Jde o zdaleka největší projekt svého druhu v zemi [20].

4 Internet of Things

IoT neboli Internet of Things (*Internet věcí*) je termín označující kolektivní síť propojených zařízení a technologií, které usnadňuje komunikaci mezi zařízeními a cloudem i mezi zařazeními samotnými. Díky nástupu levných počítačů a čipů, mohou vznikat nové zařízení s minimální spotřebou a výdrží několik let. Nyní máme miliardy zařízení, které jsou připojené k internetu. To znamená, že každodenní zařízení jakou jsou zubní kartáčky, vysavače, automobily a stroje, tak mohou využívat senzory ke sběru dat a inteligentně reagovat. Internet věcí tak plní myšlenku kde všechno bude komunikovat se vším. Internet věcí tak integruje každodenní věci s internetem. Inženýři přidávají senzory a procesory ke každodenním věcem již od 90. let. Internet věcí motivoval celé komerční odvětví se zaměřením na vytváření zařízení pro domácnosti, podniky a kanceláře. Tyto chytré objekty mohou automaticky přenášet data do a z internetu. Všechny tyto technologie a s nimi spojené můžeme označit jako Internet of Things [21, 22].

4.1 Koncept

Celý koncept je založen na základních stavebních blocích. Ty můžeme vidět na Obr. 4.1 nachází se zde zařízení, brány, cloudy nebo servery a v neposlední řadě zákazníka jako konečného spotřebitele, pro kterého mají získané informace přínos. Internet of Things můžeme vidět ve dvou velkých skupinách spotřebitelský pro běžné věci jako kávovary, lampy, nositelné zařízení. Další skupinou je internet věcí pro průmysl (IIoT), zde se můžeme setkat se senzory, na podzemní stavby, například kontrola stavu statiky budovy, monitorování hladiny sněhu na horách, zemědělství jako například senzory vlhkosti či stavu půdy. V průmyslu jako senzory pro monitoring výroby. IoT tak ovlivní naše životy, neustále hledáme způsoby, jak si usnadnit život a zlepšit životní pohodu a úroveň. Jde o odvětví, které se stále rozvíjí a neustále se nachází jeho další využití. To je zapříčiněno novými technologiemi, které umožňují dělat zařízení více a více chytřejší [23].



Obr. 4.1: Základní komunikační řetězec (překresleno z [23]).

4.2 Zařízení

Zařízením se rozumí věc, která může přenášet data z jednoho objektu do druhého nebo k lidem pomocí internetu. Mezi tyto chytré věci můžeme zařadit bezdrátové senzory, které měří určité fyzikální veličiny. Jsou přiřazeny ke konkrétnímu objektu nebo lidem či společnosti. Například IoT systémy ve vašem autě identifikují provoz před Vámi a automaticky odešlou zprávu o Vašem hrozícím zpoždění osobě, se kterou máte naplánovanou schůzku. Dalším příkladem může být kardiostimulátor, který může monitorovat Váš zdravotní stav, za účelem prevence, predikční algoritmy mohou předpovědět možný problém a včas přivolat pomoc [23].

4.3 Brány

Dalším důležitým blokem v celém řetězu komunikace je brána. Je zde umožněna komunikace, obvykle mezi zařízeními nebo komunikace mezi zařízeními a cloudem. Brána je obvykle hardwarové zařízení obsahující aplikační software, který vykonává úkony spojené s přenosem. Na své nejzákladnější úrovni brána usnadňuje spojení mezi různými zdroji. Jednoduchý způsob jak si ji přestavit je porovnat ji s Wi-Fi routerem v domácnosti. Taková brána usnadňuje komunikaci mezi vašimi zařízeními, udržuje zabezpečení a poskytuje rozhraní pro správu [24].

4.4 Cloud a Server

V tomto bloku si přiblížíme funkcionalitu jak budeme blok Cloudu/Server provozovat. Zde se nachází hlavní místo celého řetězce, probíhá zde příjem dat z bran pro zařízení

IoT, data jsou zde přijaty, uloženy a vyhodnoceny. K celé této infrastruktuře můžeme přistupovat ve dvou typech. Jednou variantou je vlastní hardware a vlastní infrastruktura, což nám zahrnuje software pro správu bran, software pro příjem telemetrie z bran a jejich vyhodnocení, velké databáze pro ukládání dat až po webový portál pro prezentaci dat zákazníkovi. Když jdeme cestou Cloudu, tak některé věci odpadají, jako je vlastnit hardware, brány, databáze a příslušné softwary. Cloud nám ale dovoluje variabilitu a můžeme různě kombinovat viz body níže [25].

- **Infrastruktura jako služba (IaaS)**

Dodavatel poskytuje klientům přístup k úložišti, sítím, serverům a dalším výpočetním zdrojům.

- **Platforma jako služba (PaaS)**

Poskytovatel služeb nabízí přístup ke cloudovému prostředí, ve kterém mohou uživatelé vytvářet a dodávat aplikace. Poskytovatel dodává podkladovou infrastrukturu.

- **Software jako služba (SaaS)**

Poskytovatel služeb dodává software a aplikace přes internet. Uživatelé si předplatí software a přistupují k němu prostřednictvím webu nebo rozhraní API dodavatele. Ostatní infrastrukturu si musí zřídit sami [25].

4.5 Aplikace

Tato část se stará o prezentaci výsledků měření (telemetrie) koncovému uživateli. Nejčastěji jsou využity nástroje (platforma), kterou poskytuje cloud v kterém jsou data ukládány a zpracovávány. Zde je především výhoda rychlého přístupu k datům, která jsou na jednom místě. Data jsou ve většině time-series a tudíž je zde využito tabulek a různých grafů. Můžeme také použít vlastní řešení napojené pouze na databázi. U tohoto řešení je ale nutná znalost mnoho technologií a vývoje, tudíž je tak pro obvyčejné uživatele lepší využití hotového řešení.

4.6 Bezdrátové komunikační technologie v IoT

V této části se dozvíme informace o bezdrátových technologiích, jejich využití a výhody. Tyto technologie zapříčinily rozmach v IoT a rozvoj bezdrátových zařízení.

4.6.1 LoRa

Jedná se o bezdrátovou modulační techniku využívající technologii Chirp Spread Spectrum zkráceně CSS. Modulovaný přenos LoRa je odolný vůči rušení a lze jej přijímat na velké vzdálenosti. LoRa je ideální volba pro aplikace, které přenáší malé množství dat a to s nízkou přenosovou rychlostí. Data lze přenášet na velké vzdálenosti ve srovnání s technologiemi jako je Wi-Fi, či Bluetooth. Díky svým vlastnostem se hodí pro senzory a akční členy, na které je kladena nízká spotřeba. LoRa lze provozovat v bezlicenčních pásmech ISM (Industry Scientific Medical), například u nás na frekvencích 433 a 868 MHz [26].

4.6.2 Mobilní sítě

Mobilní sítě zažily již několik technologických skoků od svého stvoření. Jejich historie však není dlouhá. Datuje se někdy k začátkům 80. let minulého století, kdy si lidé mohli začít pořizovat první mobily. Tehdy se jednalo o první generaci sítě 1G. Poté přišla druhé generace 2G a standard GSM, tato událost odstartovala mobilní svět. Mobily byly cenově dostupnější a menší. Třetí generace mobilních sítí označována 3G přinášela video hovory a více přeorientovala síť a uživatele na využívání mobilních dat. Síť 3G už přestala dostačovat a mobilní operátoři tak předsedly na síť 4G. Současná síť je 4G, ve větších městech již modernější síť 5G. Síť páté generace jsou nezbytné pro rozvoj ve všech oblastech. Tyto sítě najdou uplatnění díky nízké latenci, ale i datové kapacitě a rychlosti. Mohou být využity v průmyslu 4.0 a IoT. Za zmínku stojí technologie NB-IoT (Narrow-Band), která přináší obrovský potenciál pro praktické aplikace internetu věcí. Tato technologie přináší rozsáhlé pokrytí signálem i problematických míst, obousměrnou komunikaci a nízkou energetickou náročnost.

4.6.3 Sigfox

Jedná se o úzkopásmovou bezdrátovou technologii. Využívá modulaci typu BPSK (Binary Phase Shift Keying) a vyžaduje tedy velmi úzké části spektra. Toto umožňuje přijímači poslouchat pouze v malém úseku spektra, což zmírňuje vliv šumu. Sigfox má levnější komunikační moduly ale sofistikovanější základové stanice pro správu sítě. Sigfox disponuje obousměrnou komunikací. Operuje na frekvenci 868 MHz. Maximální velikost zprávy je několik bajtů (24 bytes). Dalším omezením je, že data můžeme vyslat maximálně 140x za den s nejvyšší dovolenou velikostí „paketu“. To je oproti LoRa největší nevýhoda. Další nevýhodou je, že technologie Sigfox není zadarmo [27].

4.6.4 Wi-Fi

Jedná se o technologii bezdrátového přenosu pracující na bezlicenčních pásmech 2,4 a 5 GHz. Dnes již je v prodeji a funguje 6 generace. Wi-Fi během několika let prošla dlouhým vývojem od standardu 802.11b až po standard 802.11ax (Wi-Fi 6). V dnešní době teoretická přenosová rychlost dosahuje 9,6 Gb/s (802.11ax) to je skoro dvakrát více než předchozí verze. Z pohledu IoT je důležitý standard 802.11ah, tato technologie se nazývá Wi-Fi HaLow. Přenosová rychlost až 15 Mbit/s, počet připojitelných zařízení na přístupový bod je až 8191. Na rozdíl od obvyklých standardů Wi-Fi HaLow využívá nelicencované pásmo 900 MHz. Díky tomu patří do rodiny LPWAN (Low-Power Wide-Area Networking) spolu s LoRa a SigFox. Použití nižšího frekvenčního pásma znamená, že se zvýší dosah až na 1500 m, což je téměř dvojnásobek oproti standardům založeným na 2,4 a 5 GHz. Tato technologie může být využita pro chytré domácnosti, ale i pro průmyslové podniky, zemědělství a chytrá města [28].

4.6.5 ZigBee

Zigbee je bezdrátová technologie vyvinutá jako globální otevřený standard pro řešení levných a nízkoenergetických bezdrátových sítí IoT. Technologie je provozována v nelicencovaných pásmech 2,4 GHz tak i 868 MHz. Protokol umožňuje komunikovat v různých topologiích sítě a je navržen tak, aby odolával více rušení v RF prostředí, která jsou v běžných komerčních i průmyslových aplikacích. Výhody technologie jsou podpora více síťových topologií jako je point-to-point, mesh, nebo point-to-multipoint.

Technologie je navržena tak, aby byla zajištěna dlouhá životnost instalované baterii. Pro přenos je použita modulace DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum). Kapacita sítě je pak cca 65 000 uzlů sítě. Připojení pomocí technologie ZigBee může být použito pro monitorování a ovládání nejrůznějších zařízení [29].

4.6.6 RFID a NFC

Jedná se o bezdrátovou identifikační technologii, která využívá energie z antény v případě pasivní RFID (Radio Frequency Identification). Pokud se jedná o aktivní RFID, tak je součástí i malá baterie. S technologií se můžeme setkat ve formě malých zařízení a tagů. Tyto zařízení se provozují na několika frekvenčních rozsazích, od nízké frekvence 125 kHz nebo střední frekvence 13,56 MHz až po ultra vysoké s frekvencí 433 nebo 860 MHz. Nejčastější aplikace těchto tagů je sledování zvířat, evidence knih, různé přístupové a platební karty, sledování vozidel, stavebnictví, sledování majetku či zboží v obchodě [30]. Další technologie je NFC (Near Field Communication), tato technologie umožňuje komunikaci dvěma zařízeními komunikovat na malou vzdálenost, můžeme tak říci že NFC je podmožinou RFID, nejčastější využití je v mobilní telefonech, díky tomu můžeme v obchodech platit mobilem. Další využití může být v podobě chytrého klíče. Na trhu se dnes již vyskytují chytré zámky dveří a telefon s NFC tak může nahradit fyzický klíč. Technologie umí také komunikovat v několika frekvenčních pásmech, od toho se pak odvíjí i vzdálenost na kterou se můžeme spojit [31].

4.7 Podpůrné technologie v IoT

V této části zmíníme technologie, které se využívají ve světě IoT a některé budou použity v aplikaci vizualizace parkoviště.

4.7.1 HTTP

Jedná se o Hypertext Transfer Protokol (HTTP), je základem pro World Wide Web a je používán k načítání webových stránek. HTTP je protokol aplikační vrstvy TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol). Typicky funguje tak, že klient zadá požadavek na server, který pak obratem pošle zprávu s odpovědí. HTTP protokolu se

využívá při tvorbě různých API (Application Programming Interface), na které pak klienti volají a stahují požadovaná data [32].

4.7.2 JSON

JavaScript Object Notation jedná se o textovou reprezentaci strukturovaných dat bez schématu, která je založena na párech klíč-hodnota a uspořádaných seznamech. Přestože je JSON odvozen z JavaScriptu, je podporován buď nativně, nebo prostřednictvím knihoven ve většině hlavních programovacích jazycích. JSON se běžně, ale ne výhradně, používá k výměně informací mezi webovým klientem a webovým serverem. Hojně zastoupení je pak při tvorbě API, kde jsou poskytována data právě v této struktuře [33].

5 Smart city

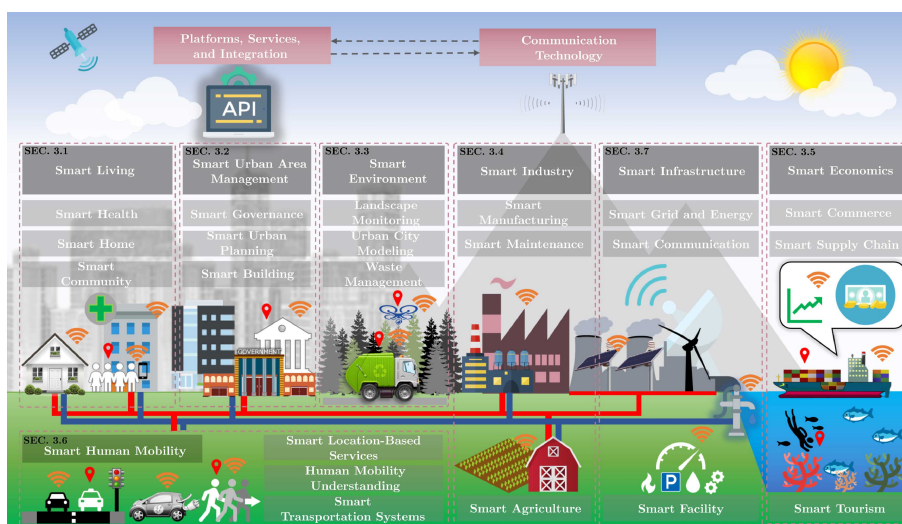
V této části práce bychom si přiblížili, jak „chytré město“ vypadá, jaké jsou jeho vlastnosti, dále se budeme zabývat oblastmi, kde se prvky „chytrého města“ dají využít.

5.1 Definice

Existuje několik pohledů, jak se díváme na chytrá města. Jedna z definic říká, že se jedná o inteligentní prostředí se zabudovanými prvky ICT (*Information and communications technology*), zaměřené na vytváření interaktivního prostoru, který vnáší techniku do fyzického světa. Z tohoto pohledu se „inteligentní“ města anebo prostory vzta-hují k fyzickému prostředí v nichž se ICT a sensorové systémy mísí, protože se stávají součástí fyzických objektů a okolí, v němž žijeme, cestujeme a pracujeme [34].

5.2 Přehled oblastí aplikací chytrého města

V této části bychom si přiblížili některé oblasti ve kterých se uplatňují „smart city“.



Obr. 5.1: Ilustrace sedmi oblastí chytrého města (převzato z [35]).

5.2.1 Chytré bydlení

Pod pojmem chytré bydlení si můžeme představit nejrůznější aplikace. Jednou z takových aplikací, která do této kategorie spadá, může být vzdálené monitorování životních

funkcí člověka. Další příklad, který můžeme do této skupiny zahrnout jsou chytré odečty spotřebované vody a elektřiny, což ulehčuje práci při odečtech a šetří čas jak nájemníkům tak distributorům. Další aplikace, které stojí za zmínku jsou také různé senzory, či například chytré zámky dveří, vypínače světel, ovládání topení či senzory detekující unik vody [35].

5.2.2 Inteligentní správa městských oblastí

Do této kategorie můžeme zařadit systémy detekce požárů, pomocí kterých jsme schopni rychleji reagovat na vzniklé nebezpečí. Další možností je detekce rušivých vlivů městského prostředí, například pomocí hlukoměrů či různých počítadel osob. Města také zavádí chytré systémy na hlášení poruch, nápadů a změn. Aplikace je zpřístupněná jako webová či mobilní, kde je možné vyfotit místo s problémem. Ten je poté zaveden do systému a město na základě jeho závažnosti vyhodnotí a navrhne opatření či řešení s nápravou [35].

5.2.3 Chytré životní prostředí

Jako monitoring životního prostředí ve městě si můžeme představit chytré senzory, které monitorují stav ovzduší, například podle počtu rozptýlených částic a jejich množství. Další možností je tvorba městských map, které monitorují jednotlivé druhy zeleně a jejich množství, což pomůže při budoucím plánování a rozvoji samotného města. Jako další aplikaci si můžeme představit chytré popelnice, které dokáží ohlásit svůj stav, z kolika procent jsou naplněné. To opět pomůže optimalizovat plán vyvážení a šetřit čas, protože v některých méně frekventovaných místech nedochází k tak rychlému zaplnění popelnic [35].

5.2.4 Inteligentní infrastruktura

Do této kategorie můžeme zejména zařadit chytré parkování. Tyto sofistikované systémy nám dokáží určovat, kolik je parkovacích míst obsazeno a kolik ne. To nám pomůže předpovědět jaký provoz bude nastávat podle predikce obsazených míst. Další aplikací může být monitorování mostních konstrukcí. Na základě těchto dat můžeme poté předpovídat v jaké stavu konkrétní konstrukce je a plánovat opravy. Poslední

příklad aplikace je systém rozvodu vody, pomocí kterého můžeme detekovat uniky a poruchy a také monitorovat, kolik vody se spotřebuje a lépe s ní hospodařit [35].

5.2.5 Chytrá ekonomika

Do této části patří například chytré monitorování zákazníků. Existují různé senzory, které slouží k počítání zákazníku, kolik jich projde v obchodním centru, či vybraném obchodu vytyčenou zónou. Na základě těchto dat pak můžeme predikovat chování zákazníka či zaplnění daného obchodu [35].

5.2.6 Chytrá městská mobilita

Tyto systémy jsou založeny na poloze a monitorujeme polohu návštěvníka. Jako příklad lze uvést monitorování provozu na vstupu u budovy a z těchto dat pak můžeme vytvářet analýzy a reporty o počtu návštěv. Stejná technologie je pak využita na monitorování provozu v městské dopravě, kde analyzujeme počty nastoupení a vystoupení v prostředcích hromadné dopravy. Tyto data pak mohou sloužit k lepšímu a efektivnějšímu plánování městských tras [35].

5.3 Jak fungují chytrá města

Chytrá města sledují čtyři kory ke zlepšení kvality života a umožnění ekonomického růstu prostřednictvím propojených zařízení IoT a dalších možných technologií. Tyto kroky můžeme shrnout do následujících bodů.

- Sběr - Inteligentní senzory shromažďují data v reálném čase.
- Data - Ze senzorů jsme získaly data, které jsou následně analyzovány za účelem získání co možná nejpřesnějšího náhledu na fungování celého města, přesněji městských služeb, životního prostředí a provozu.
- Komunikace - Výsledkem analýzy dat jsou informace které jsou sdělovány anebo prezentovány osobám s rozhodovací pravomocí, zejména vedení města.
- Opatření - Jsou přijímána opatření ke zlepšení provozu, správy majetku a zlepšení kvality života obyvatel ve městě.

Technologie shromažďují data v reálném čase z připojených zařízení, objektů nebo strojů za účelem zlepšení rozhodování. Krom toho je také možno zapojit a interagovat s ekosystémy inteligentních měst prostřednictvím svých mobilních zařízení, propojených vozidel a budov. Spojením těchto zařízení s infrastrukturou města je možné snížit náklady a zlepšit tak udržitelnost a zefektivnit využívání zdrojů [36].

5.4 Bezpečnost

Chytrá města nabízí mnoho výhod pro zlepšení bezpečnosti svých občanů. Shlukují všechny možné systémy jako jsou inteligentní silnice či monitorování veřejné bezpečnosti. V tomto velkém shluku systémů je potřeba zajistit zejména kybernetickou bezpečnost chytrých měst. Tedy ochranu před kybernetickými útoky, odcizením a neoprávněnému zneužití dat. Aby bylo možné bezpečnost chytrých měst řídit je potřeba implementovat opatření, jako jsou fyzické datové trezory a odolná zabezpečení správy databázových systémů pomocí autentizace. Občan musí bezpečnosti chytrého města důvěřovat. Můžeme základě toho můžeme nadefinovat několik bezpečnostních cílů [36].

- Dostupnost - Data musí být dostupná v reálném čase se spolehlivým přístupem, musí být také zajištěno že plní správnou funkci při monitorování infrastruktury města.
- Neporušenost - Data musí být přesná, to znamená zabezpečení proti manipulaci či změně.
- Důvěrnost - Citlivá data musí být důvěrná a chráněná před neoprávněným přístupem, v praxi zašifrována nebo anonymizována.
- Odpovědnost - Uživatelé systému musí nést zodpovědnost při manipulaci s citlivými datovými systémy. Systém by měl být logován, aby byla možnost dohledat interakci uživatele se systémem.

V různých zemích se již zavádí legislativa, jako je zákon který zlepšuje kybernetickou bezpečnost.

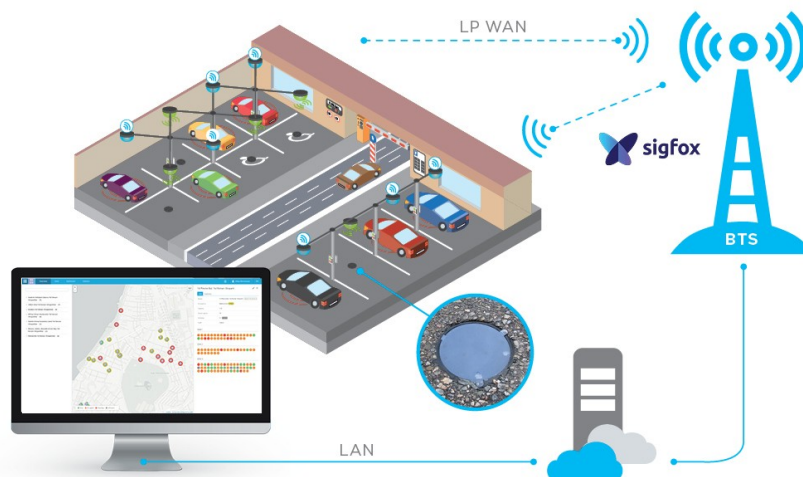
6 Zmapování trhu

V této části práce se podíváme na české a zahraniční firmy, jaké produkty nabízí v oblasti chytrého parkování.

6.1 České firmy

6.1.1 ELKO EP, s.r.o.

Firma ELKO EP, s.r.o., která podniká ve světě IoT, nabízí několik řešení pro smart city koncept. Jením z nich jsou i parkoviště. Jejich řešení je postavené na IoT sítích Sigfox a Lora (LPWAN). Mají tři typy přístupů jak řešit obsazenost na parkovišti. Jedním z nich jsou senzory na vjezdu, které přičítají a odčítají od počtu celkových míst a zobrazují tak obsazenost. Další možností jsou senzory „puky“, které jsou zavrtané pod vozovkou u jednotlivých míst, tyto senzory pak poskytují stav obsazeno/volno u jednotlivého místa. Poslední možností je chytrý kamerový systém, který je umístěn nad celým parkovištěm. Zde pomocí umělé inteligence jsou jednotlivá místa vyhodnocována, zda se na nich nachází automobil či nikoliv. Celý koncept můžeme vidět na vizualizaci viz Obr. 6.1 [37].



Obr. 6.1: Ukázka realizace (převzato z [37]).

6.1.2 SPEL a.s.

Firma SPEL a.s. původem z Kolína, která se zabývá vývojem elektrotechniky a působí v mnoho oblastech. Firma nabízí několik produktů, z kterých je možno zdigitalizovat parkoviště a povýšit ho na smart parkoviště. Firma využívá různé technologie. Jednou z technologií jsou indukční smyčky, které se ukládají do připravené drážky ve vozovce na vjezdu a výjezdu z parkoviště, jejichž funkčnost můžeme přirovnat k detektoru kovu. Další technologií kterou nabízí jsou senzory, které se umísťují do vozovky a měří magnetické pole. To se mění v závislosti přítomnosti automobilu nad senzorem. Ten poté provádí vyhodnocení, zda se nad ním nachází či nikoliv. Senzory dále tuto informaci bezdrátově přenášejí pomocí některé LPWAN technologie. Další z nabídky technologií je radar, který počítá auta na vjezdu a výjezdu z parkoviště. Jedná se o spolehlivé zařízení, které pracuje za každého počasí. Technologie je vhodná jak pro osobní tak i nákladní auta. Zařízení má malou spotřebu, takže k napájení stačí solární panel. Komunikace je zajištěna pomocí GSM modemu. Jako další produkt, který si představíme je Lidar, jedná se o 2D senzor od firmy LeddarTech, který snímá odražený laserový paprsek 16-ti snímači. Je možné definovat různé oblasti pokrytého prostoru a tím zajistit počítání i složitých vjezdových a výjezdových prostorů parkoviště. Komunikace je opět zajištěna GSM modemem. Jako poslední produkt firma nabízí kamerový systém s možností analýzy snímaného obrazu, kde pomocí kamer na vjezdu a výjezdu jsme schopni počítat auta které vjedou a vyjedou [38].

6.1.3 ČD – Telematika a.s.

Firma ČD – Telematika a.s. je dceřiná společnost České dráhy, a.s. Telematika, a.s., poskytuje produkty v oblastech ICT mimo jiné i technologie pro smart parking. Firma nabízí dvojici technologií založenou na senzorech a kamerových systémech. U první možnosti se jedná o senzory, které se zavrtají pod vozovku. Ty poté provádí kontinuální měření magnetické pole. Na základě měření vyhodnocují, zdali se nad ním nachází automobil či nikoliv. Tyto informace poté odesílá pomocí LPWAN sítě do cloudu, kde jsou dále distribuovány zákazníkovi. Další technologií z portfolia této společnosti je zpracování obrazu z kamerového systému. Může být využito buď stávajících kamer či nové instalace. Kamery odesílají obraz do cloudu, kde pomocí hlubokých neuronových sítí je vyhodnoceno, zdali na předdefinovaných stáních je auto či nikoliv. Tuto informaci

opět zobrazí zákazníkovi pomocí vizualizace [39].

6.1.4 CROSS Zlín, a.s.

Firma CROSS Zlín a.s., nabízí kompletní řešení pro správu parkoviště. Mezi jejich produkty se řadí chytré informační tabule, které zobrazují počet parkovacích míst a počet míst volných, čímž zjednodušují navigaci po parkovišti. Jako další produkt dodává firma software pro správu parkoviště, kde je možné vidět přesný stav obsazenosti parkoviště. Software také ukazuje reálné statistiky a reporty. Další možností v softwaru je rezervovat či pokročile spravovat abonenty. Software dále disponuje vlastní API, díky které je možno větší flexibility v propojení s ostatními systémy. Firma se také zabývá zpracováním obrazových dat a rozpoznáním SPZ. Firma CROSS Zlín, a.s. tak nabízí velmi mohutnou škálu produktů z kterých je možné vytvořit chytré parkoviště [40].



Obr. 6.2: Ukázka obrazovky správy parkoviště (převzato z [40]).

6.1.5 GREEN Center s.r.o.

Firma GREEN Center s.r.o. se zabývá kompletním vývojem hardware a software v oblasti parkování a dopravy. Firma má za sebou více než 180 instalací rozmístěných různě po světě, a více než 20-ti letou praxi v oboru. Firma se konkrétně zabývá vývojem parkovacího systému a automatických závor, parkovacích systémů a automatů pro výběr poplatků za parkování. Firma dokáže navrhnout řešení na míru uživatele. Další

možností může být přístupový systém provázaný s docházkovým systémem, toto řešení tak bude šetřit čas zaměstnancům. Další výhodou jsou snímače bezdotykových karet, které je možné provázat s existujícím vstupním systémem [41].

6.1.6 Smartiple, s.r.o.

Další zajímavou startupovou firmou je Smartiple, s.r.o., které nabízí řešení v podobě zpracování obrazu v reálném čase pomocí strojového učení. Aplikace vyhodnocuje obraz z kamery a detekuje obsazenost parkovacích míst. To nám poskytuje statistiky o využívání parkoviště. Aplikace také umí číst SPZ a díky tomu můžeme jednotlivá auta identifikovat. Tento systém se dá propojit s mobilní aplikací, která může jednoduše navigovat řidiče na volné parkovací místo. Aplikace nabízí REST API rozhraní pomocí kterého se můžeme napojit na stávající software parkoviště. Výhoda tohoto řešení je, že není třeba narušovat povrch parkoviště a instalovat čidla do každého parkovacího místa. Typické příklady použití jsou městské parkovací plochy, hotelová parkoviště, obchodní centra, firemní parkoviště či lodní přístavy. Náhled aplikace můžeme vidět na Obr. 6.3 [42].



Obr. 6.3: Ukázka práce systému (převzato z [42]).

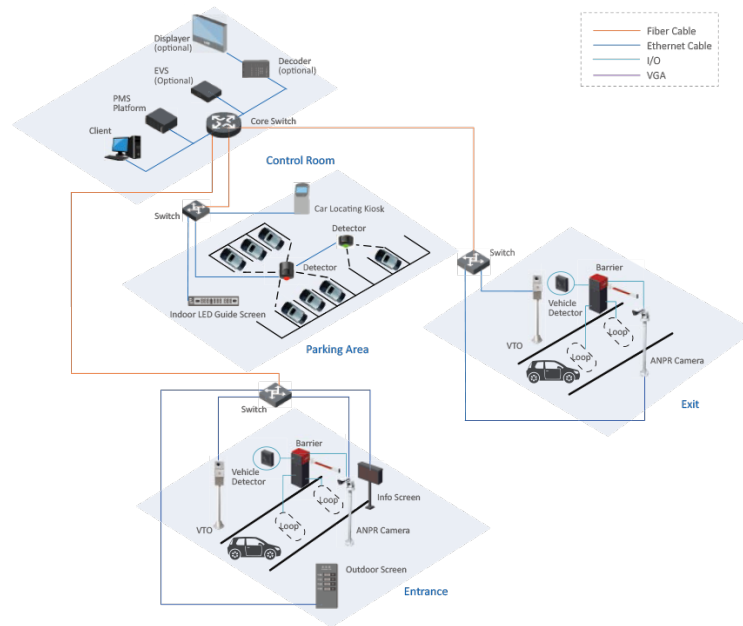
6.1.7 CITIQ s.r.o.

Firma CITIQ s.r.o. se zabývá vývojem IoT zařízení pro smart city a v nabídce disponuje několika senzory. Jením z nich je tzv. dopravní klasifikátor, což je senzor, který umí počítat a rozpoznávat délku automobilu. Další je dopravní čítač, který je vlastně takový odlehčený dopravní klasifikátor. Jako další firma nabízí parkovací senzor, pro prosté zjišťování obsazenosti místa. Dále jsou nabízeny senzory, které měří například teplotu vozovky. Firma tak nabízí kompletní řešení od senzoru až po zpracování v cloudu. Do toho je možné se připojit pomocí dostupné API, čímž dojde k zpřístupnění dat uživateli [43].

6.2 Zahraniční firmy

6.2.1 Dahua parking

Jedná se o firmu, které patří mezi světové přední výrobce kamerových systémů. Firma vyrábí pokročile dohledové systémy a software. Dále pak různé přístupové systémy, zabezpečovací systémy, inteligentní řízení budov, ale i dopravní kamerové systémy se čtením SPZ a parkovací systémy. Nicméně jedna divize se zabývá Parking Managementem a nabízí kompletní systém. Součástí tohoto systému jsou kamery na vstupu parkoviště, přečtou SPZ a uloží do systému. Jedná se o profesionální platformu pro správu parkoviště, kde můžeme vidět vizuální ztvárnění parkoviště v interaktivní mapě, nabízí se zde funkce pro VIP parkování či rezervace, analytické nástroje pro vytváření statistik či hledání v záznamu obrazu podle SPZ. Součástí systému jsou i vizuální detektory, které ulehčí řidiči najít volné místo. Systém je vymyšlený tak, že máme kompletní přehled o dění na parkovišti, jak o autech co přijedou tak i co odjedou, což nám poskytuje výhodu v případě krádeží či poškození vozu. Celý koncept systému můžeme vidět na Obr. 6.4, kde je vidět vstup a výstup z parkoviště, logické propojení a samotné parkoviště [44].



Obr. 6.4: Ukázka práce systému (převzato z [44]).

6.2.2 Robert Bosch GmbH

Jedná se o německou firmu s letitou historií. Firma se zabývá několika odvětvími, mezi které patří zejména automobilový průmysl, elektrotechnický průmysl nebo spotřební elektronika. Mimo jiné se zabývá vývojem senzorů pro IoT, přesněji parkovacími senzory. Dále se firma zabývá inovacemi a jako příklad lze uvést vznik živé laboratoře v Detroitu, na které chce firma demonstrovat budoucí vývoj chytré automobility. V budoucnu chce firma Bosch kombinovat propojení automatizovaných parkovacích řešení pro vytvoření pohodlného „full-service“ parkování. To si můžeme představit jako automatizované parkování s obsluhou, kde vozidlo jezdí samo bez řidiče a autonomně zaparkuje na své parkovací místo či volné místo v garáži. Řidič jednoduše v aplikaci přetáhne vozidlo na určenou oblast v blízkosti vjezdu do garáže a vozidlo se dá do činnosti. Započne parkovací proces. Při odjezdu řidič jednoduše v aplikaci vyvolá proces odjezdu a vozidlo samo přijede zpět na určené místo k vyzvednutí [18, 45].

6.2.3 Siemens AG

Firma Siemens patří mezi největší elektrotechnické firmy na světě. Zabývá se mnoha odvětvími od strojího průmyslu přes elektrotechnické zařízení až pro medicínské přístroje. Řešení pro inteligentní parkování od společnosti Siemens využívá senzory par-

kovacích míst k mapování dostupných parkovacích míst a kombinuje funkci s cloudem a řidičem. Aplikace může řidiči poradit s blízkými prázdnými parkovacími místy na základě zamýšlené trasy. V systému je také určitá inteligence pro prediktivní dostupnost pomocí historických dat chování parkoviště. Pokud není možné zaparkovat z důvodu zaplnění parkoviště, aplikace doporučí řidičům, aby zaparkovali dále od svého cíle a použili veřejnou dopravu. Parkovací senzory mohou také detekovat vozidla parkující příliš dlouho nebo vozidla parkují na místech, kde by neměla. Tímto konceptem chce společnost Siemens přispět k lepšímu fungování dopravy a smart cities [46].

6.2.4 Urbiotica

Jedná se o firmu která vytváří kompletní portfolio řešení pro digitalizaci parkování a zlepšení mobility. Řešení jsou založena na různých sensorových systémech, které se přizpůsobují přání zákazníka, spolu s variabilními informačními tabulemi využívajícími dynamické parkovací panely. Dalším jsou aplikace řešící zácpy v nejnavštěvovanějších částech města. To přispívá k udržitelnosti životního prostředí, kvalitě života občanů a exponenciálně zlepšuje zážitek turistů, kteří je navštíví. Řešení sběru dat spočívá v instalaci U-Flow magnetických senzorů v jakémkoliv jízdním pruhu, které detekují průjezd vozidel. Tímto řešením je možné získat informace o počtu vozidel, které projely za časové období, vytíženost silniční komunikace, průměrnou rychlost, klasifikaci podle rychlosti a velikost nebo hustota provozu. Urbiotica ke svým řešením dodává svoji platformu U-Admin. V té je možné agregovat, analyzovat a poskytovat třetím stranám data skrze API. Tato platforma shromažďuje data z dodaných magnetometrů v reálném čase. Data se odesílají od senzorů do bran U-Box, který je dále přepoše do této platformy [47].

6.2.5 Cleverciti Global HQ

Jedná se o německou společnost, která vyvíjí řešení pro chytrého parkování. Řešení Cleverciti jsou založena na chytré lampě se senzorem, který dokáže snímat až 100 parkovacích míst. Je zde využito umělé inteligence, která dokáže určovat zda je místo obsazené či nikoliv. Sensory jsou navrženy tak, že se dokáží od sebe učit a tak lépe klasifikovat mobilní automobil, čímž poskytují co možná nejlepší výsledek. Instalace senzoru je velice jednoduchá, jelikož stačí senzor umístit na stávající veřejné osvětlení

(lampu). Senzor komunikuje pomocí několika IoT sítí a může být připojen i pomocí Ethernetové technologie. Společnost vyvíjí i chytré ukazatele, na kterých je možno vidět aktuální přehled volných/obsazených míst. Ukazatele jsou umísťovány na sloupy a zlepšují navigaci na volná místa. Tento systém tak nabízí zajímavé možnosti [48].

6.2.6 Smart Parking Ltd.

V tomto případě jde o společnost Smart Parking Limited, která má několik dceřiných společností, ale jejich záměr je stejný a to jsou technologie chytrého parkování. Systém SmartPark se skládá z několika součástí, které plně integrují parkování, navádění, platby a analýzy. Jako první představená část systému je Smart Cloud, jedná se o cloud vyvinutý speciálně pro potřeby smart parking. Jeho úkol je shromažďovat a zpracovávat informace. Další částí je Service Pack, který obstarává webové stránky s informacemi v reálném čase. Další součástí je aplikace Tesera, které slouží k vymáhání parkovaného v podobě oznámení bezpečnostní složkám (policii) a slouží i k lepšímu řízení parkoviště. Vedle toho je další aplikace, která je určena zejména pro řidiče a ukazuje volná místa. Díky tomu je možné tak lépe naplánovat cestu a parkování. Smart Spots je další částí, která se stará o skupinu bran přenášející data od senzoru do cloudu. Další už jsou skupiny senzorů a detektorů. Firma poskytuje různorodou škálu senzorů založených na magnetickém poli až po umělou inteligenci s rozpoznáváním objektů a SPZ. V případě, kdy není možno použít tyto technologie, využije se chytrých automatů do kterých se zadá SPZ a příslušné místo. Firma tak poskytuje kompletní řešení [49].

6.2.7 Libelium

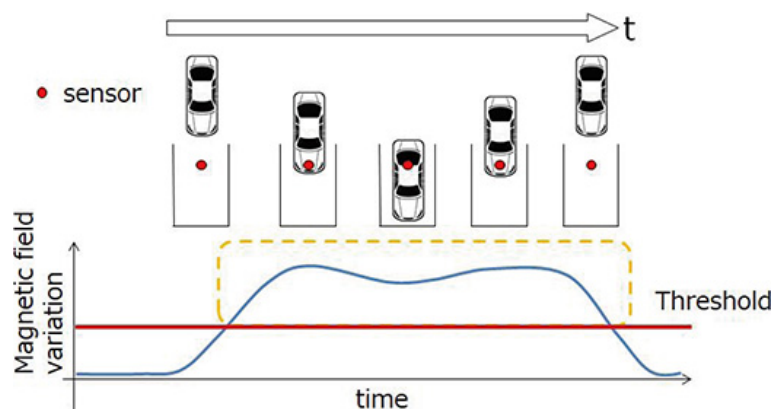
Jedná se o španělskou firmu, která se zabývá vývojem IoT zařízení pro několik smart odvětví mezi které spadá zemědělství, správa vodního hospodářství a prostředí. Mimo jiné i oblast smart city a smart parkování. Společnost nabízí kompletní řešení v této oblasti od senzoru až po aplikaci na vizualizaci dat. Nabízí několik typů parkovacích senzorů. Firma má rozsáhle zkušenosti a několik příkladových řešení v různých částech světa. Firma je také jeden ze silných partnerů při vytváření chytrého parkoviště a může se podělit o mnoho zkušeností [50].

6.3 Technologie detekce

Pro detekci existuje široká škála senzorů, které mohou být použity pro určování obsazenosti parkoviště. Tyto technologie jsou popsány v následujících podkapitolách.

6.3.1 Magnetické senzory

Jedná se o pasivní senzory, které měří zemské magnetické pole podél tří ortogonálních os. Magnetický senzor dokáže detekovat přítomnost vozidla na základě měření zkreslení magnetického pole způsobeného vozidlem. Detekční algoritmus jde tak založit na magnetických měření, kde porovnáme naměřenou hodnotu s referenční hodnotou (volné parkovací místo bez auta). V praxi se však zkreslení magnetického pole u různých vozidel liší. Můžeme také u identického vozidla naměřit jiné magnetické pole, každé auto může nad senzorem zaparkovat v jiném místě. Magnetické senzory lze použít jak pro vnitřní i vnější použití. Instalace do země či na povrch jsou běžnější pro magnetické senzory. Tyto senzory mají menší dosah a mohou detekovat vozidlo pouze na krátkou vzdálenost. Krátký dosah měření, obvykle 1 metr znamená, že vozidla s vysokou světlou výškou od země (nákladní auta, dodávky, SUV) se budou hůře detekovat. Jedním z dalších ovlivňujících vlivů může být způsobeno nadzemním elektrickým vedením či jinými projíždějícími vozidly [51].

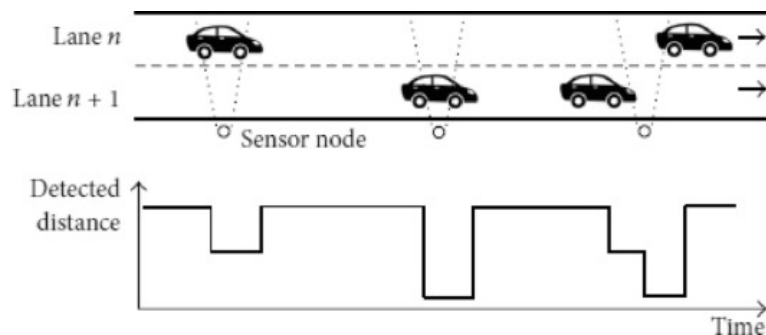


Obr. 6.5: Průběh magnetického pole u senzoru při parkování (převzato z [52]).

6.3.2 Ultrazvukové senzory

Jedná se o aktivní senzory, které jsou založeny na zvukových vlnách. Na základě těchto vln se měří vzdálenost od objektu. Ultrazvukový senzor (měnič) vysílá vysokofrekvenční

vlny (nad 20 kHz), které se odrazí od objektu na základě času a šíření zvuku v daném mediu (vzduchu). Měření poté spočívá v přesném přepočtu časové odezvy signálu na vzdálenost. Ultrazvukový senzor tak dokáže detekovat vozidlo na základě pouhého výpočtu vzdálenosti. Detekční algoritmus je založen na porovnávání naměřené hodnoty s referenční (prázdné parkovací místo), z níž pak vyhodnotí, zda je místo volné či nikoliv. Ultrazvukové senzory se obvykle instalují v krytých parkovištích, kde nejsou vystaveny vnějším vlivům (vítr, déšť, sníh), které by mohli negativně ovlivnit měření. Ultrazvukové senzory se tak nehodí na všechny aplikace [51].



Obr. 6.6: Využití ultrazvukového senzoru na monitoring provozu (převzato z [53]).

6.3.3 Infračervené snímače vzdálenosti

Infračervené senzory používají podobný princip jako senzory ultrazvukové, s tím rozdílem že místo zvuku se využije infračervené světlo (IR spektrum). Senzor vysílá pulsy infračerveného světla a měří světlo odražené od povrchu. Měření je založeno na intenzitě odraženého světla. Jeho přesnost závisí na odrazivosti povrchu, což může způsobovat nižší spolehlivost naměřených dat. Druhý přístup je založený na době letu světla, kde speciální senzor měří čas od vyslání pulzu do příchodu jeho odrazu. Z tohoto pak dokáže spočítat vzdálenost, podobně jako u ultrazvukových senzorů. Infračervené senzory lze instalovat na strop nebo na zem parkoviště. Obecně jsou však tyto senzory náchylné k rušení okolním světlem, proto se spíše používají pro krytá parkoviště. Senzor je také náchylný na vlivy prostředí (déšť, sníh, překážky) [51].

6.3.4 Radarové senzory

Radarový senzor je založen na nízkofrekvenčních radiových vlnách, kde na základě odražených pulzů se měří vzdálenost. Senzor vysílá krátké pulsy radiových vln, na

typické frekvenci mezi 15-20 GHz. Tyto pulsy se odrazí od povrchu objektu. Měření vzdálenosti je pak založeno na době letu tohoto pulzu. Přítomnost vozidla je detekována porovnáním naměřené vzdálenosti s referencí (vzdálenost představující volné místo). Senzory odolávají povětrnostním podmínkám (vítr, mlha, vlhkost). Radarový senzor je tak poměrně spolehlivým, jak na vnitřních tak vnějších parkovištích [51].

6.3.5 RFID senzory

RFID (Radio Frequency Identification), jedná se o technologie pro přenos malých informací pomocí radiových vln. Skládá se ze čtečky a malých tagů. Pro detekci obsazenosti parkoviště je na vozidle instalován malý RFID tag, v kterém jsou uloženy informace o vozidle. Když je vozidlo v dosahu čtečky nainstalované na parkovacím místě, čtečka štítek detekuje, přečte údaje, identifikuje vozidlo a označí místo za obsazené [51].

6.3.6 Kamery

Snímky pořízené kamerami s výhledem na parkoviště lze využít na detekci vozidel a určení obsazenosti parkovacích míst. Toto se běžně provede natrénováním modelu strojového učení pomocí sady cvičných snímků a aplikací trénovaného modelu na pořízené snímky k detekci vozidel a parkovacích míst v reálném čase. Určení obsazenosti parkovacích míst je více přesné u stacionárních kamer, kde lze přesně parkovací místa segmentovat a tím tak zredukujeme úlohu detekce vozidel na jednodušší úlohu klasifikace snímků. Trénovaný model je poté aplikován na každý dílčí obrázek odpovídající parkovacímu segmentu. Model poté vyhodnotí místo jako vozidlo či volné místo viz Obr. 6.3 [51].

6.3.7 Senzory viditelného světla

Senzory viditelného světla měří intenzitu okolního osvětlení. Pro zjištění obsazenosti parkovacího místa musí být senzor instalován v místě, kde ho bude zakrývat stín způsobený zaparkovaným vozidlem. Tato situace bude mít za následek sníženou intenzitu osvětlení měřenou senzorem. Senzor viditelného světla lze nainstalovat na zemi ve vnitřních i vnějších parkovištích. Detekce pomocí tohoto senzoru jsou však snadno ovlivnitelné světelnými podmínkami a mohou vést k chybám. Zdroje jako jsou světla, či

světlomety jiných vozidel či vrhané stíny mohou také narušit správnou funkci senzorů. Tyto senzory se obecně považují za méně spolehlivé [51].

6.3.8 Kontaktní senzory

Kontaktní senzory zahrnují pneumatické silniční trubky, indukční smyčkové detektory a piezoelektrické senzory. Senzory generují signál, když se dostanou do kontaktu s pneumatikami vozidla. Pneumatické trubice generují signál, když je stlačen vzduch uvnitř. Stlačeným vzduchem je pak vytvořen elektrický signál. Indukční smyčka obsahuje indukční prvek a elektronickou jednotku, která dokáže měřit pokles indukčnosti smyčky způsobený přítomností projíždějícího vozidla. Piezoelektrický snímač generuje signál při mechanickém namáhání, které je způsobeno hmotností vozidla. Kontaktní snímače jsou povětšinou určeny spíše pro jedoucí vozidla a používají se ke sledování dopravního provozu. Lze je ale použít i pro detekci obsazenosti parkovacích míst. Kontaktní senzory jsou instalovány na zemi a jsou běžnější pro venkovní užití. Tyto snímače jsou obecně považovány za spolehlivé [51].

6.3.9 Porovnání senzorů

V tab. 6.1, můžeme vidět porovnání několika typů senzorů.

Tab. 6.1: Porovnání senzorů (převzato z [51])

Senzor typ	Přesnost	Spolehlivost	Náklady na instalaci	Náklady na údržbu
Magnetický	průměrná	malá	malé	malé
Ultra-sonický	velká	průměrná	velké	velké
Infračervený	průměrný	malá	velké	průměrné
Radar	velká	velká	velká	velká
RFID	velká	velká	velká	velká
Kamera	velká	průměrná	malá	malá
Viditelné světlo	malá	malá	malé	malé
Kontaktní senzor	velká	velká	velká	průměrná

6.4 Senzory

V této části práce se podíváme na několik výrobců senzorů.

6.4.1 Parkovací senzor od BOSCH GmbH

Jedná se o parkovací senzor od firmy Bosch GmbH. Tento senzor může být založena na dvou rozpoznávacích technologiích magnetometru a radaru. Senzor je do provozních podmínek -20°C až 65°C a to v prostředí s RH 0% až 95%. Komunikaci zajišťuje LoRa modul. Baterie Li-SoCl₂ (3.6V, 1200mAh, výdrž cca 5 let). Senzor odešle změnu stavu typicky do 35 s. Instalace probíhá na povrch vozovky. Krytí senzoru zajišťuje pevný obal s výdrží až 5,5t statického zatížení, dále také senzor disponuje krytím standardu IP67. Celý senzor můžeme vidět na Obr. 6.7 [54].



Obr. 6.7: Pohled na senzor (převzato z [54]).

6.4.2 Parkovací senzor od TinyNode

Senzor TinyNode je určený na povrchovou montáž (Tinynode A4). Fixace je prováděna lepením nebo přišroubováním. Další možností je vyvrtání šachty pro senzor a připevnění do vozovky (Tinynode B4). Je napájen z baterie s výdrží až 10 let. Spolehlivost v rozpoznání obsazenosti až 98%. Provozní teplota -40°C až 85°C . Senzor je také kryt dle standardu IP68. Montáž senzoru můžeme vidět na Obr. 6.8 [55].



Obr. 6.8: Pohled na A4 a B4 senzory (převzato z [55]).

6.4.3 Parkovací senzory od CITIQ s.r.o.

Firma nabízí několik senzorů. Jedním z nich je dopravní klasifikátor, který umí vozidla roztrždit na základě přjetí vozidla přes senzor. Třídění probíhá na základě délky vozidla, rychlosti a směru jízdy. K senzoru může být přidáno i čidlo teploty, což nám poskytne informaci o teplotě vozovky. Další senzor je dopravní čítač, který slouží k prostému sčítání bez klasifikace. Jeho obvyklé použití jsou právě vjezdy a výjezdy z parkoviště. Jako další si představíme parkovací senzor, kde se jedná o standardní magnetometr, který poskytne informaci zaplněno či prázdný. Do všech senzorů je instalovaný komunikační modul na základě potřeby zákazníka. Je zde výběr z několika technologií (Lora, Sigfox, IQRF) [43].



Obr. 6.9: Pohled na parkovací senzor (převzato z [43]).

6.4.4 Parkovací senzor od Nwave Sensors

Firma nabízí několik provedení parkovacího senzoru s instalací na povrch vozovky či jeho zapuštěním. Podle technického listu by měl senzor odolávat přjetí automobilu až o hmotnosti 5t. Rozměr je cca 19 cm v průměru a o výšce 2 cm. Tělo je vyrobeno z UV stabilního polykarbonátu s krytím dle IP68. Provozní teplota se pohybuje od -40°C do 85°C , ve vlhkosti 0-100%RH. Komunikační modul zde může být s technologií LoRa či SigFox. Senzor navíc nabízí Bluetooth přijímač, který může přijímat informace z Bluetooth tagu a tím třeba rozpoznat auto konkrétního člověka. Kapacita baterie je 13 500 mAh (Li-SOCl₂), výdrž by se měla pohybovat okolo 10 let [56].

6.4.5 Parkovací senzor od Libelium

Společnost Libelium nabízí 3 typy instalace parkovacího senzoru podle jeho fyzického umístění. Mezi tyto možnosti patří povrch vozovky, zapuštění do vozovky či úplné umístění senzoru pod povrch. Senzor je asi 4 cm vysoký a v průměru má 20 cm. Senzor disponuje dvěma technologiemi detekce. Je rozdělena na hlavní radarovou a záložní, která využívá magnetického senzoru. Baterie LiSOC12 poskytuje dostatek energie na provoz cca po dobu 4-10 let. Bezdrátovou komunikaci obstarává LoRa modul. Konfigurace probíhá přes desktopovou aplikaci. Provozní podmínky teploty jsou od -20°C do 65°C , senzor má dále krytí IP68 a certifikaci na mechanické nároky dle IK10. Jedná se tak o robustní senzor [50].



Obr. 6.10: Pohled na parkovací senzor (převzato z [50]).

7 Současný stav parkovišť

Tato část se již bude zabývat řešenými parkovišti dislokovanými u fakulty Elektrotechnické. Budou zde blíže popsána jejich vybavenost, funkce a možnosti.

7.1 Parkoviště

7.1.1 FEL

Parkoviště č. 4, které se nachází před budovou FEL je určené k vjezdu a výjezdu motorových jednostopých a dvoustopých vozidel o max. hmotnosti 3,5 t. Je určené pouze pro zaměstnance, dopravní obsluhy, pozvané hosty provozovatele a imobilní občany. Parkoviště není určeno pro studenty a ostatní veřejnost. Je provozované jako samoobslužné, nehlídané, neplacené stání s celoročním provozem. Parkoviště je také opatřeno vjezdovou a výjezdovou závorou. Kapacita parkoviště je celkem 234 míst, z toho 218 je parkovacích pro os. automobil, 8 pro motocykly a 10 pro držitele ZTP. Provozovatel je také oprávněn kdykoliv omezit kapacitu nebo provozní dobu či parkoviště zcela uzavřít. Provozní doba pro uživatele parkoviště je od 5:30 do 22:30 hod, mimo tuto dobu je povolen pouze výjezd z parkoviště. Uživatel se musí prokázat kartou JIS na snímači u vstupní závory [57].



Obr. 7.1: Pohled na parkoviště před budovou FEL (převzato z Google Earth).

7.1.2 FDU

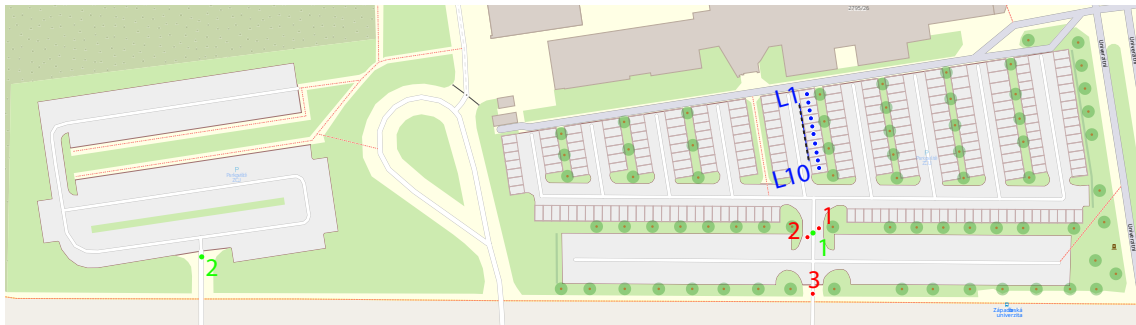
Parkoviště č. 5 se nachází v blízkosti budovy RICE a FDU. Parkoviště je také určeno k vjezdu a výjezdu motorových jednostopých a dvoustopých vozidel o max. hmotnosti 3,5 t. Je určeno pro zaměstnance, studenty, dopravní obsluhu a pozvané hosty provozovatele. Parkoviště je provozované jako nehlídané, neplacené stání s celoročním provozem, opatřené závorou na vjezdu a výjezdu. Kde je také každý uživatel povinen se prokázat JIS kartou na vjezdu. Kapacita parkoviště je 99 parkovacích míst, z toho je určeno 93 míst pro osobní automobil a 6 pro držitele ZTP. Provozní doba je od 6:00 do 22:30 hod. V jiný čas je umožněn pouze výjezd z parkoviště [58].



Obr. 7.2: Pohled na parkoviště u budovy RICE (převzato z Google Earth).

7.2 Senzory

V této části práce se podíváme na osazené senzory na výše popsaných parkovištích.



Obr. 7.3: Pohled na rozmístěné senzory na ZČU (převzato [59]).

7.2.1 Průjezdové senzory

Jedná se o průjezdové senzory od výrobce CITIQ s.r.o., senzor je založen na technologii kontinuálního snímání magnetického pole. V zařízení se nachází dva magnetometry, které snímají magnetické pole a v závislosti na časové diferenci obou signálů dokáže vyhodnocovat délku vozu a rychlost. Senzor dělí délku vozu na tyto kategorie: osobní automobil, dodávka nebo nákladní auto. Rychlost je pak dělena na kategorie <40 km/h, $40-60$ km/h a více než 60 km/h. Senzor má danou orientaci, tudíž dokáže detekovat jak jízdu po směru, tak i v protisměru. Dále poskytuje údaje jako je teplota, tlak, napětí a relativní vlhkost. Tyto senzory jsou umístěny na parkovišti č. 4 (červená barva) na vjezdu (1) a výjezdu (2). Další je pak umístěn uprostřed příjezdové komunikace (3) viz Obr. 7.3. Data ze senzorů jsou odesílána pomocí technologie LoRa. V Plzni funguje lokální poskytovatel RVTECH, který zde provozuje několik LoRa bran. Data jsou pomocí těchto bran přenášena k aplikačnímu serveru RVTECHU a v rozhraní poskytovatele se dá nastavit callback, který může data dále přenášet k systémům zákazníka.

7.2.2 Parkovací senzory

Jedná se o parkovací senzory opět od výrobce CITIQ s.r.o., senzor je založen na stejné technologii jako průjezdový a to na kontinuálním snímání magnetického pole. Tyto senzory komunikují po síti Sigfox, kde následná data jsou zpracovávána v cloudu. Společnost CITIQ s.r.o. svá data spravuje v cloudu od společnosti Amazon (Amazon Web Services) a odtud jsou data pomocí endpointu distribuovány do dalších systému svých

zákazníků a to pomocí služby Amazonu (Amazon notifications). Jak vypadá takový senzor můžeme vidět na Obr. 7.4.



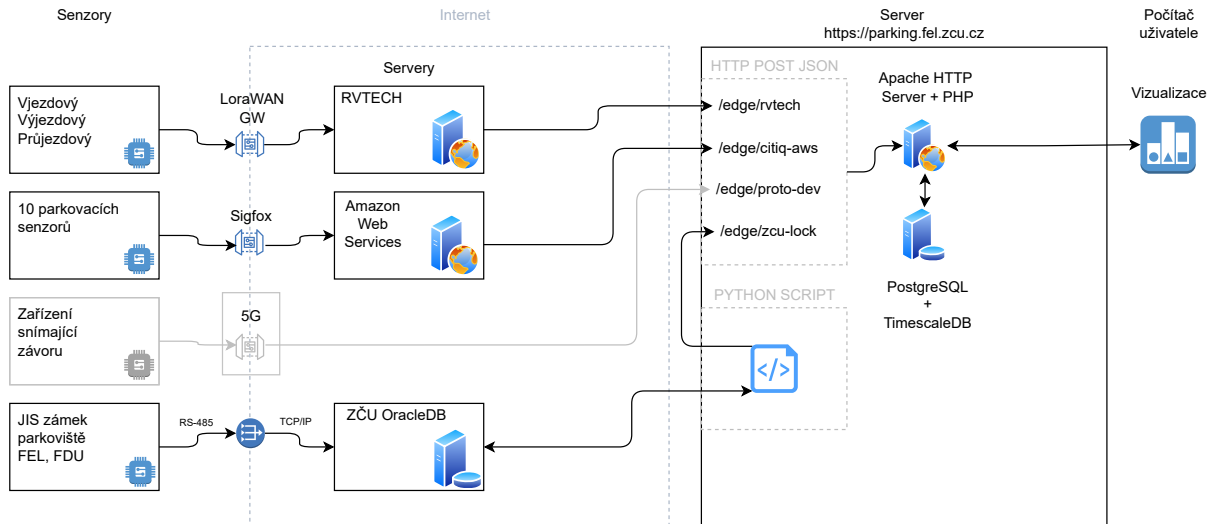
Obr. 7.4: Ukázka zapouzdření senzoru, spodní část a horní část (vlastní foto).

7.2.3 JIS snímače

JIS neboli Jednotný Identifikační Systém je systém, který se využívá na Západočeská univerzita v Plzni pro zabezpečení dveří. Systém se skládá z identifikační karty (vlastní každý uživatel s orion kontem), dveřního snímače (čtečky) a zámku. Data jsou přenášena do podpůrných systémů přes RS-485. Z tohoto systému jsou dále data přenesena pomocí Ethernetu do Oracle databáze. V našem případě jsou takového snímače osazeny u vstupních závor na obou parkovištích. Systém je škálovatelný tudíž není omezen počet zámků ani karet. Zámky po přiložení karty identifikují vlastníka v databázi školy a na základě aktivního konta otevřou závoru. Tyto přístupy jsou zaznamenávány do Oracle databáze CIVu. Do této databáze byl získán omezený přístup. Na databázi je periodicky (5 minutový interval) dotazováno a stahovány data z posledních 5-ti minut. Data díky omezenému přístupu jsou zbaveny identifikačních údajů, které by mohli vést k identifikaci vlastníka karty, čímž jsou data plně anonymní [60].

8 Systém na vizualizaci

V této části práce bychom si přiblížili fungování celého systému na vizualizaci dat ze senzorů a zámků JIS. Dále bychom se podívali na funkčnosti celého systému.



Obr. 8.1: Koncept systému na sběr a vizualizaci dat.

V konceptu viz výše můžeme vidět celý řetězec toku dat od jejich vzniku až po jejich výslednou vizualizaci.

8.1 Server

Pro tuto práci bylo potřeba zajistit server. Na serveru je provozována distribuce operačního systému Linux Debian. Spolu s dalším open-source softwarem, který je potřeba pro vizualizační systém.

8.1.1 Linux Debian

Jedná se o svobodný operační systém určený pro provoz na mnoha různých typech počítačů. Operační systém se skládá ze základního nástrojového vybavení, případně doplňujících nástrojů. Vlastním základem systému je jádro. Debian používá jádro Linux a většina základních systémových programů byla vytvořena v rámci projektu GNU, a nese tedy označení GNU/Linux. Debian GNU/Linux není jen samotný operační systém. Obsahuje několik tisíc softwarových balíčků s programy a dokumentací, které jsou připraveny pro snadnou instalaci [61].

8.1.2 Apache HTTP Server

Apache HTTP Server je obecně uznáván jako nejpopulárnější HTTP webový server. Je rychlý, bezpečný a provozuje více jak polovinu všech webových serverů na celém světě. Apache je také bezplatný software, který distribuuje Apache Software Foundation, propagující různé bezplatné a open-source pokročilé technologie. Webový server Apache nabízí nespočet funkcí, jako je virtuální doména, podpora šifrování TLS/SSL, podpora PHP a různé moduly. Ačkoliv Apache byl navržen pro Linux, tak jeho distribuce je možná i pro operační systém Windows [62].

8.1.3 Postgresql+TimescaleDB

Jedná se o dva různé software, které společně vytváří velice funkční celek. PostgreSQL (nebo zkráceně Postgres) je plnohodnotný relační databázový systém s otevřeným zdrojovým kódem. Má za sebou více než dvacet let aktivního vývoje, vynikající pověst pro svou spolehlivost, bezpečnost a výkonost. Běží na všech různých operačních systémech. TimescaleDB je rozšíření pro PostgreSQL databázi, které zajišťuje lepší interakci s daty časových řad. Například umožňuje používat SQL dotazy k analýze nahromaděných dat, optimalizuje ukládání dat díky tvorbě hyper tabulek. Jednou z předností tohoto rozšíření je rychlost vkládání a vybírání dat pomocí SQL dotazů [63, 64].

8.1.4 Plotly

Jedná se o javascript knihovnu, která slouží k tvorbě grafů pomocí webových technologií. Knihovna Plotly má obsáhlou databázi grafů, které je pomocí jednoduchého návodu možno použít. Plotly můžeme provozovat pomocí CDN (Content Delivery Network) či stáhnout knihovnu rovnou do svého webového projektu. Další obsluha již probíhá za pomoci interakce s HTML.

8.1.5 PHP

PHP je skriptovací jazyk, které svou práci provádí na straně serveru. PHP je serverově závislé a pro svůj běh potřebuje interpreter, který v reálném čase skripty překládá a provádí. Samotný zdrojový kód PHP skriptu je uložen na serveru, k němuž nemá

základní uživatel přístup, ale vidí jen to, co mu skript odešle jako výsledek. Toto je celý princip dynamického generování HTML stránek [65].

8.1.6 Nette

Nette Framework je napsaný v PHP s plným využitím objektů (OOP). Nette je open-source projekt, do kterého veřejnost (komunita) přispívá. Nette má jednu z nejaktivnějších českých komunit PHP vývojářů. Využívá se v mnoho tuzemských společnostech. Jeho výhodou je rychlost a bezpečnost. Obsahuje také řadu nástrojů pro práci s databázovou vrstvou. Na webu nette.org je rozsáhlá dokumentace v českém a anglickém jazyce, díky ní je snadné tento framework pochopit a používat [66].

8.1.7 Python

Python je interpretovaný, objektově orientovaný programovací jazyk na vysoké úrovni. Jeho vysokoúrovňové datové struktury v kombinaci s dynamickým typováním jej činí velmi atraktivním pro rychlý vývoj aplikací. Jednoduchá a snadno naučitelná syntaxe jazyka Python klade důraz na čitelnost. Python podporuje moduly a balíčky, což podporuje modularitu programu a opakované použití kódu. Interpret jazyka Python jsou k dispozici ve zdrojové nebo binární podobě zdarma pro všechny hlavní platformy a lze je volně šířit [67].

8.2 Nastavení serveru

Na serveru byl nainstalovaná základní verze OS Debian. Dále bylo potřeba doinstalovat podporu Apache ve standardní konfiguraci.

```
1 root@parking.fel.zcu.cz:~> apt-get install php7.4-bcmath php7.4-bz2
  php7.4-cli php7.4-common php7.4-curl php7.4-dba php7.4-dev php7.4-
  enchant php7.4-fpm php7.4-gd php7.4-intl php7.4-mysql php7.4-odbc
  php7.4-pgsql php7.4-sqlite3 php7.4-tidy php7.4-xml php7.4-zip
  apache2 libapache2-mod-php
```

Další nastavení Apache provedeme v adresáři serveru `/etc/apache2/sites-available`, pomocí souboru `parking.fel.zcu.cz.conf`, který je přiložen k této práci, kde zkopírujeme obsah souboru `parking.fel.zcu.cz.conf` a vložíme do textového editoru nano.

```

1 root@parking.fel.zcu.cz:~> touch /etc/apache2/sites-available/parking.
  fel.zcu.cz.conf
2 root@parking.fel.zcu.cz:~> nano /etc/apache2/sites-available/parking.
  fel.zcu.cz.conf

```

Nahrání aplikace provedeme tak, že si vytvoříme WWW adresář, aplikace bude provozována jako izolovaná, bude přístupná pouze přes zaváděcí adresář `www` se zaváděcím souborem, tím zamezíme útokům na aplikaci jako takovou.

```

1 root@parking.fel.zcu.cz:~> mkdir /var/www/parking.fel.zcu.cz
2 root@parking.fel.zcu.cz:~> mkdir /var/www/parking.fel.zcu.cz/www

```

Do příslušného adresáře `/var/www/parking.fel.zcu.cz` přehrajeme zdrojové soubory aplikace, například pomocí programu WinSCP. Nyní zbývá už jen aktivovat HTTPS zabezpečení a restartovat Apache Web Server.

```

1 root@parking.fel.zcu.cz:~> a2ensite parking.fel.zcu.cz && service
  apache2 restart
2 root@parking.fel.zcu.cz:~> chmod -R 0777 /var/www/parking.fel.zcu.cz/
3 root@parking.fel.zcu.cz:~> apt-get install certbot
4 root@parking.fel.zcu.cz:~> certbot certificates -d parking.fel.zcu.cz
5 root@parking.fel.zcu.cz:~> service apache2 reload

```

Tímto máme Apache nastavený. Případné chybějící balíčky PHP se dají doinstalovat následujícím příkazem.

```

1 root@parking.fel.zcu.cz:~> apt install php7.4-xxx
2 root@parking.fel.zcu.cz:~> service apache2 restart

```

Následuje instalace databáze PostgreSQL s implementací TimescaleDB. Zde budeme vyzváni k vytvoření nového hesla. Toto nastavení databáze, uživatele a hesla je také nutné zapsat do konfiguračního souboru aplikace, který nalezneme `/var/www/parking.fel.zcu.cz/app/Config/local.neon`.

```

1 root@parking.fel.zcu.cz:~> sudo sh -c 'echo "deb http://apt.postgresql
  .org/pub/repos/apt $(lsb_release -cs)-pgdg main" > /etc/apt/
  sources.list.d/pgdg.list'
2 root@parking.fel.zcu.cz:~> wget --quiet -O - https://www.postgresql.
  org/media/keys/ACCC4CF8.asc | sudo apt-key add -
3 root@parking.fel.zcu.cz:~> apt-get -y install postgresql postgresql-
  client-12
4 root@parking.fel.zcu.cz:~> su - postgres

```

```

5 psql
6 \password
7 \q
8 root@parking.fel.zcu.cz:~> psql -U postgres -d postgres -h 127.0.0.1 -
  W
9 CREATE DATABASE ketParking;
10 \q

```

Zbývá doinstalovat implementaci TimescaleDB

```

1 root@parking.fel.zcu.cz:~> apt install gnupg postgresql-common apt-
  transport-https lsb-release wget
2 root@parking.fel.zcu.cz:~> curl -L https://packagecloud.io/timescale/
  timescaledb/gpgkey | sudo apt-key add -
3 root@parking.fel.zcu.cz:~> sh -c "echo 'deb https://packagecloud.io/
  timescale/timescaledb/debian/ $(lsb_release -c -s) main' > /etc/
  apt/sources.list.d/timescaledb.list"
4 root@parking.fel.zcu.cz:~> wget --quiet -O - https://packagecloud.io/
  timescale/timescaledb/gpgkey | apt-key add -
5 root@parking.fel.zcu.cz:~> apt install timescaledb-2-postgresql-12
6 root@parking.fel.zcu.cz:~> psql -U postgres -h 127.0.0.1 -W
7 \c ketParking
8 root@parking.fel.zcu.cz:~> CREATE EXTENSION IF NOT EXISTS timescaledb;

```

Nyní máme aktivované TimescaleDB rozšíření.

Dále ještě budeme potřebovat skript (`lock_jis_logger.py`), který se bude připojovat k databázi a stahovat data ze zámek JIS. Ten nalezneme v příložených souborech k této práci. Ten nakopírujeme do adresáře `/var/www/oracle/`. Aby skript mohl správně pracovat potřebuje knihovnu `cx-Oracle`. Tu nainstalujeme příkazem níže.

```

1 root@parking.fel.zcu.cz:~> pip install cx-Oracle

```

Nyní je potřeba nastavit plánovač úloh alias CRON. Zde vložíme jak periodické spouštění našeho skriptu, tak obnovování SSL certifikátu pro webový server. Do skriptu musíme samozřejmě dopsat údaje pro připojení k databázi.

```

1 root@parking.fel.zcu.cz:~> nano /etc/crontab
2 45 2 * * 6 cd /etc/letsencrypt/ && certbot renew && service apache2
  restart &> /dev/null #CRON LETSENCRYPT
3 0,5,10,15,20,25,30,35,40,45,50,55 * * * * python3 /var/www/oracle/
  lock_jis_logger.py > /dev/null #JIS_LOCK_FEL

```

8.3 Databáze

Dále je potřeba naimportovat základ databáze, ten se nachází v příloze této práce. Databázi naimportujeme například pomocí programu DBeaver, kde se připojíme k databázi a spustíme import dotazu, a nebo překopírujeme obsah souboru a spustíme dotaz.

Pro uchování dat byla zřízena na serveru databáze, která je provozována na databázovém systému PostgreSQL s implementací TimescaleDB pro lepší optimalizaci ukládání časových řad. Databáze má několik tabulek, kdy každá tabulka se vztahuje k jednomu druhu senzoru. V databázi se také ukládají všechna surová data z průjezdových senzorů. Dále je zde taky vedena jedna tabulka obsahující seznam senzorů a jejich jednoznačné ID. Pro API je zde zavedená logovací tabulka a tabulka s vydanými API klíči.

8.4 Zdroje dat a přenos do vizualizačního systému

Pro příjem dat bylo ve webové aplikaci vytvořeno vstupní API (Application Interface), kde voláním HTTP POST v JSON podobě se data přijímají. Toto API je zabezpečeno API klíčem, díky němuž je zaručena bezpečnost aplikace a přijímaných dat. K bezpečnosti také přispívá to, že se data přenáší přes zabezpečený kanál šifrovaný protokolem TLS s certifikátem vydaným svobodnou autoritou Let's encrypt.

8.4.1 Průjezdové senzory - RVTECH

RVTECH je společnost, která vlastní a provozuje LoRa brány ve městě Plzeň a dalších městech. Průjezdové senzory osazené na parkovišti č.5, komunikují právě přes tyto brány a přenáší data k aplikačnímu serveru. Na aplikačním serveru bylo zřízeno konto, kde jsou senzory zaregistrovány. Na tomto aplikačním serveru můžeme nastavit callbacky, pomocí nich pak můžeme data dále distribuovat do dalších systému. V našem případě se jedná o API v naší aplikaci (<https://parking.fel.zcu.cz/edge/rvtech>). Na toto API přichází data z bran (RSSI a SNR) a data ze senzorů zakódovaná do base64. Pro dekódování těchto dat musel být vytvořen skript v naší aplikaci, který umožní přiřadit jednotlivé proměně k jednotlivým bajtům ze zprávy a správně je interpretovat. Tyto data se poté uloží do databáze. Zpráva ze senzorů však není stále stejná, má několik typů délek. V záležitosti na délce, kde se jedná o část paketu číslo 1 nebo 2. Kde část

1 nese informace o provozu aut a část 2 enviromentální data jako je například teplota nebo vlhkost. Problém nastává také u dat z průjezdů, kde jsou 12bitové čítače. Z toho vyplývá, že čítače přetékají při hodnotě 4096, což muselo být ošetřeno aby nedocházelo k chybám při jejich ukládání. Příklad odeslané zprávy na API do naší aplikace.

```

1 HTTP POST https://parking.fel.zcu.cz/edge/rvtech/
2 {
3   "time": "1650018617",
4   "rssi": "-89",
5   "deveui": "0004a30b00f4b04b",
6   "snr": "5.2",
7   "data": "B+mSVQMAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAIOUH+wow+A==",
8   "apikey": "--key--"
9 }

```

8.4.2 Parkovací senzory - AWS

V případě parkovacích senzorů jsou data přenášena přes globální síť Sigfox, kde z jejich aplikačního serveru jsou data dále přeposílány do Amazon Cloudu, zde má výrobce zřízeny servery. Data do naší aplikace dorazí pomocí API. V naší aplikaci bylo zřízeno API (<https://parking.fel.zcu.cz/edge/aws>), které přijímá data přeposlána z AWS. Aby bylo možné data přijímat musel se zaregistrovat „endpoint“. U kterého probíhal postup popsany níže. Celý tento proces probíhal v těchto krocích.

1. Vytvoření přijímacího API dle dokumentace AWS viz <https://docs.aws.amazon.com/sns/latest/dg/SendMessageToHttp.prepare.html>.
2. Odeslat URL API aby společnost CITIQ v AWS nastavila náš nový endpoint.
3. Po nastavení endpointu CITIQem, AWS odešle „SubscriptionConfirmation“ jako HTTP JSON požadavek na náš server.
4. Náš server zpracuje tento požadavek a odešle odpověď „ConfirmSubscription“.
5. Po tomto kroku začnou chodit data ve formě zpráv ze senzorů s příznakem „Notification“.
6. Tímto je nastaveno Amazon SNS Endpoint na náš server.

Tyto senzory poskytují data o magnetickém poli ve všech osách které naměřily. Napětí dvou baterií a teplotu. Jako poslední odesílají stav místa obsazeno/volno.

8.4.3 OracleDB JIS

U těchto snímačů bylo potřeba vyjednat přístup do logovací databáze školy. Tento přístup byl přidělen CIVem (Centrum informatizace a výpočetní techniky). CIV nám vytvořil pohled na databázi, na kterou jsou periodicky vykonávány dotazy v intervalu 5-ti minut. Skript byl vytvořen v jazyce Python, protože má lepší implementaci pro práci s Oracle databází. Skript data stahuje v těchto intervalech a přes API (<https://parking.fel.zcu.cz/edge/fel-lock>) naší aplikace je vkládá do databáze. Tímto jsme získali data ze zámků a můžeme vidět jednotlivé časy přiložení karty ke snímači, nikoliv kdo jej provedl. Do databáze se zaznamenávají data ze snímačů, které jsou na parkovišti číslo 4 a 5.

8.4.4 Zařízení na snímání brány

Toto zařízení je v plánu implementovat, a to tak, aby zařízení snímalo logické hodnoty z relátek, které má v sobě PLC (Programmable Logic Controller) ovládající závory. Zařízení by mělo být připojeno pomocí sítě LTE. Periodicky bude odesílat data o počtu zdvihnutí výjezdové a vjezdové závory. Tyto data bude poté pomocí LTE sítě odesílat na API (<https://parking.fel.zcu.cz/edge/proto-dev>) v naší aplikaci. Data budou zabalena do struktury JSON.

```
1 HTTP POST https://parking.fel.zcu.cz/edge/proto-dev
2 {
3   "apikey": "--key--",
4   "car_in": "-integer-",
5   "car_out": "-integer-"
6 }
```

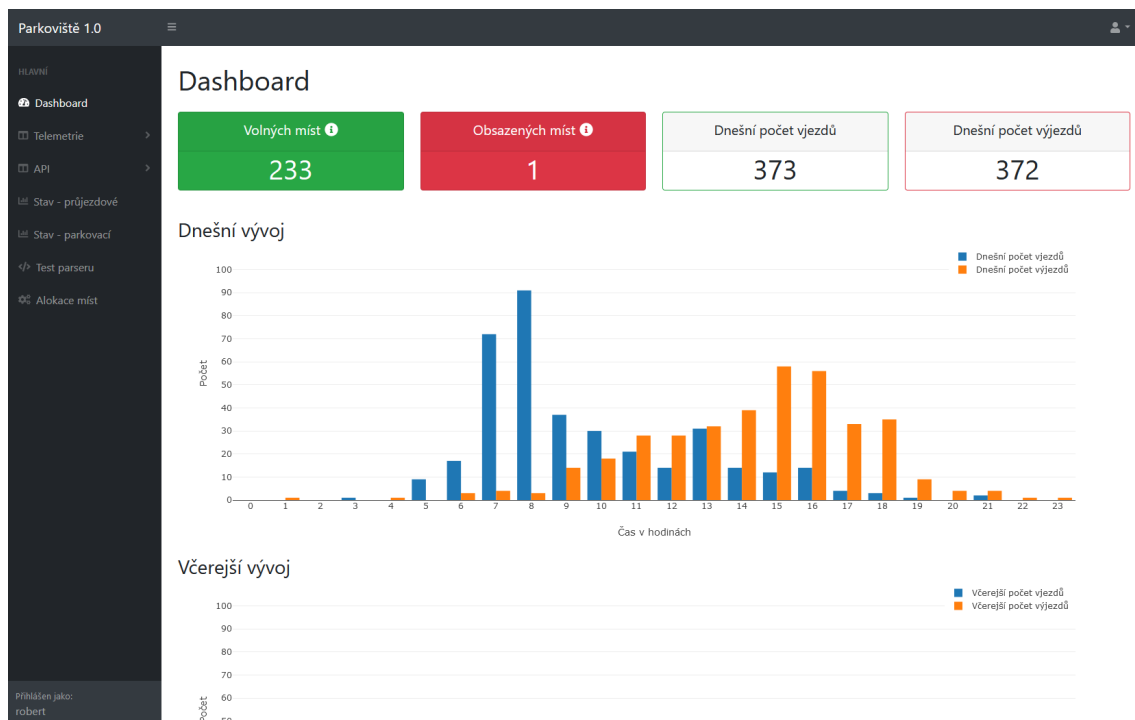
8.5 Vizualizační systém

V této části bychom si představili jednotlivé části uživatelského prostředí vizualizační aplikace.

8.6 Části systému

8.6.1 Dashboard

Na této stránce najdeme přehled o počtu vjezdů a výjezdů v daném a minulém dni. Je zde i informace o teoretickém počtu volných a zabraných míst. Ty se vypočítávají z celkové kapacity parkoviště (234 míst). Počítadla se vynulují o půlnoci. Je zde možná nepřesnost, kdy na parkovišti přes noc zůstanou nějaká auta.



Obr. 8.2: Ukázka titulní obrazovky aplikace z data 14. 03. 2022 (vlastní foto).

8.6.2 Telemetrie

- Parkovací senzory - zde se nachází přehledná mapa s pozicemi zabráno volno označené barevně (červená/zelená). Dále můžeme vidět graf, který zobrazuje jednotlivá místa a dobu po kterou byla zabrána v minutách.
- Průjezdové senzory - zde se nachází měsíční přehled vjezdů a výjezdů aut z parkoviště. Dále zde můžeme vidět tepelnou mapu daného měsíce, jako osa x jsou označeny hodiny a jako osa y dny v daném měsíci. Osa z pak tvoří počet vjezdů či výjezdů. Jako poslední nalezneme graf o počtu vjezdů a výjezdů v daném měsíci agregované podle dnu v týdnu.

- Snímače JIS - zde jako první můžeme vidět rychlou statistiku o počtu přiložení karty na snímač JIS na parkoviště před budovou FEL a parkovišti u budovy RICE. Dále je zde vidět přehledný graf o počtu přiložených karet agregovaných v jednotlivé hodiny jako suma. Jako další zde můžeme vidět tepelné mapy o počtu přiložení v jednotlivou hodinu podle dne. V poslední řadě je zde k vidění přehled dnů v týdnu a počet přiložených karet.
- Historická data - v této sekci je možné si vyexportovat surová data. Pomocí formuláře si vybereme časový interval z kterého chcete získat data. Systém tyto data nalezne v databázi a vyexportuje do souboru CSV (Comma Separated Values). Data je pak možno použít, či zpracovat programy jako je např. MS Excel. Dotaz je systémově omezen na 10000 záznamů. Tuto hodnotu je možné změnit v konfiguraci aplikace.

8.6.3 API

Toto API bylo vytvořeno, aby se data dala přenést i do podpůrných systémů či jiného statistické programu. API vyžaduje jednoduchou registraci, aby byl nějaký základní log o vydaných API klíčích. Po registraci se API klíč odešle do vyplněného mailu. V sekci je ještě kompletní manuál jak k API přistupovat. Autorizace probíhá pomocí HTTP hlavičky s názvem „Authorization“, kde vyplníme obdrženy klíč z e-mailu.

- Aktuální den parkoviště - na API je možné se dotázat. To vrátí dnešní provoz směrem do parkoviště a z parkoviště. Dále pak vrátí vypočítaný počet volných a obsazených míst.
- Aktuální stav 10-ti parkovacích senzorů - API vrací aktuální informace o parkovacích senzorech, konkrétně stav obsazeno/volno. Dále informace o jejich umístění pomocí GPS polohy, což umožní implementaci i do vlastních map. Další informace je o stavu poslední odpovědi senzoru, kde je uveden čas, kdy senzor naposledy odpověděl.
- Aktuální stav snímačů JIS - vrátí aktuální stav počítadla snímače, jak pro parkoviště před FEL, tak i parkoviště před budovou RICE.

- Parsování LoRa paketu z průjezdových senzorů - zde obdržíme rozparsované data z paketu v base64, který zašleme do API.
- Načtení historických dat - zde ze zadaných parametrů časového intervalu a vybraného zařízení systém vygeneruje data set, který vrátí.
- Načtení dat z prototypového zařízení - API vrátí data podle zadaného časového intervalu a agregační funkce.

8.6.4 Stav průjezdových senzorů

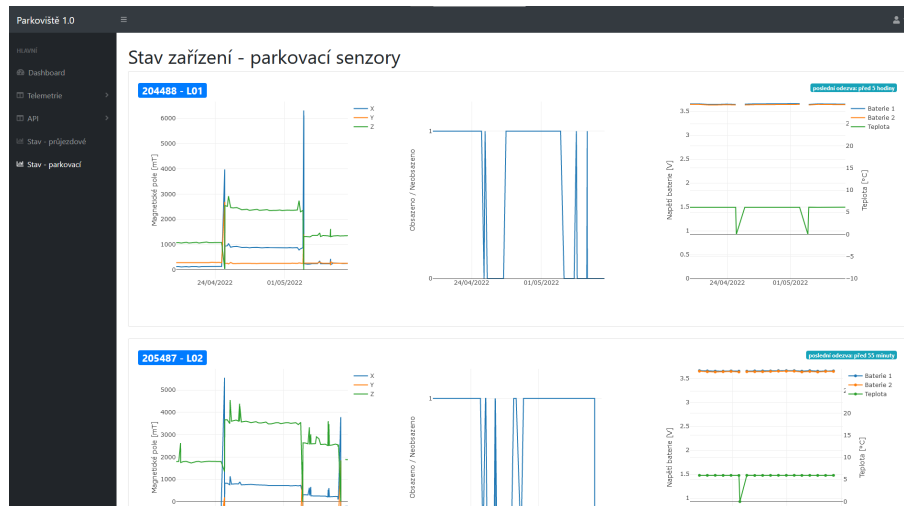
V této sekci jsou přehledné grafy o průjezdových senzorech viz Obr. 8.3. Konkrétně RSSI (Received Signal Strength Indication), což je indikátor kvality příjmu. Další je SNR což je poměr signálu/šum. Dalšími parametry je pak hodnota napětí baterie.



Obr. 8.3: Ukázka stavu průjezdových senzorů (vlastní foto).

8.6.5 Stav parkovacích senzorů

V této části se nachází grafická informace o magnetickém poli, které je získaná z 3-osého magnetometru. Dále graf obsazeno/volno, který indikuje obsazení. Následně pak informace o napětí instalované baterie či teploty pod povrchem vozovky v senzoru, což jsou také zajímavá environmentální data. Náhled aplikace můžeme vidět viz Obr. 8.4.



Obr. 8.4: Ukázka stavu parkovacích senzorů (vlastní foto).

8.6.6 Test parseru

Zde pro potřeby testování správné funkčnosti parseru si můžeme zkusit ověřit správné rozbalení paketu, který přichází z průjezdových senzorů zabalený v kódování base64. Parser nám poskytne zpět rozbalená data v JSON tvaru.

8.6.7 Alokace míst

Tato sekce slouží k dočasné alokaci míst. Pro případ konání nějaké akce, kdy budeme potřebovat změnit celkovou zobrazovanou kapacitu parkoviště.

9 Analýza dat

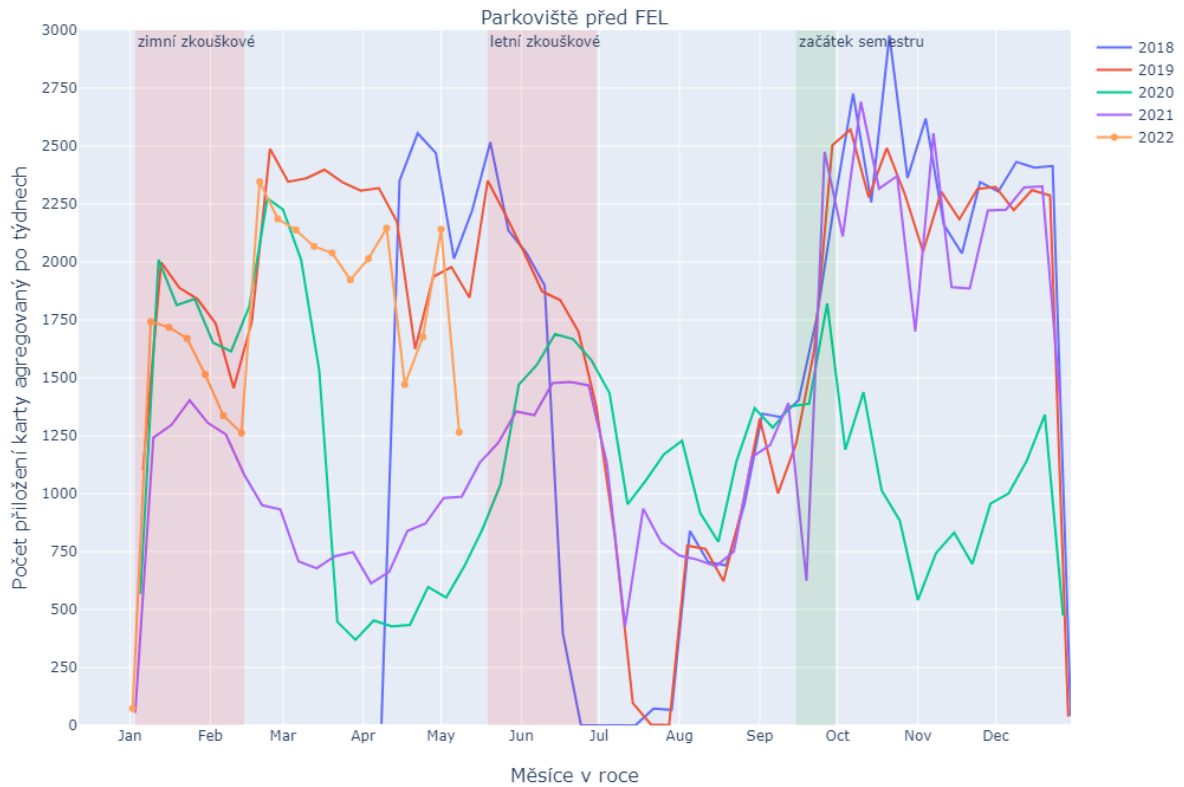
V této části práce bude provedena analýza dat ze senzorů. Velikost analýzy bude odvozena od počtu zaznamenaných dat. V případě průjezdových senzorů máme sesbíraná data od měsíce prosinec 2021 až do půlky března 2022, poté senzory přestaly fungovat. Dále budeme analyzovat data ze senzorů parkovacích, kde máme data sesbíraná v podobném čase jako senzory průjezdové. Senzory, některé byly také vyměněny, konkrétně 4 kusy. Dále se podíváme na data ze zámků JIS, tyto data můžeme více analyzovat, díky přístupu k Oracle databázi zámků jsem si mohli stáhnout data za posledních 5 let. Tyto data, ale nebudou součástí aplikace, v té se budou vyskytovat data od cca prosince 2021 do současnosti.

9.1 Data z JIS

Na grafech níže je vidět průběh vývoje aktivity na parkovištích, dále jsou označeny významné oblasti z hlediska vyšší aktivity vzhledem k aktivitám školy.

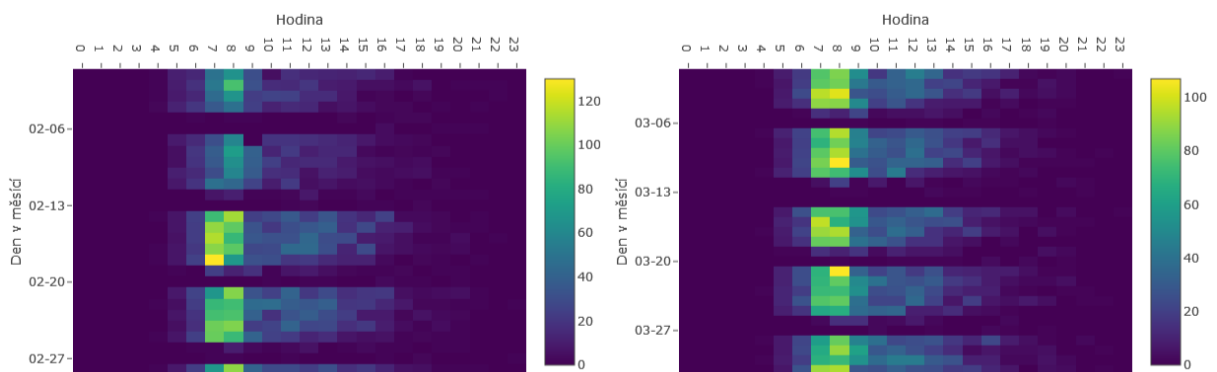
9.1.1 Parkoviště FEL

Při pohledu na Obr. 9.1, je vidět že v roce 2018 se začaly zaznamenávat data do školní databáze. Od července 2018 až do zimy vykazují data stejný trend jako v roce 2019. Roky 2020 a 2021 byly omezení, kvůli pandemii Covidu, což se nám podepsalo do grafů v podobě poklesu oproti rokům 2018, 2019, 2022. Začátek semestru 2021 již pak vykazuje podobný trend jako rok 2019, který byl bez pandemického omezení. Při pohledu na Obr. 7.2, můžeme říci že parkoviště FEL je 2,5x více používané než parkoviště FDU a to hlavně po začátku semestru. Největší zátěž přichází v začátku semestru, kde můžeme vidět maximální hodnoty až cca 2600 přiložení karet ke snímači JIS a to v jednom týdnu. Minimální hodnoty jsou pak k vidění o prázdninách, kdy nejsou přítomni studenti na výuce. Tento trend vykazují všechny roky. Největší nápor musí parkoviště zvládat v začátku semestru a na konci zimního zkouškového. Týdenní průměr ze všech let je něco kolem 1500 přiložení karet za týden.



Obr. 9.1: Data ze zámků JIS FEL (vlastní foto).

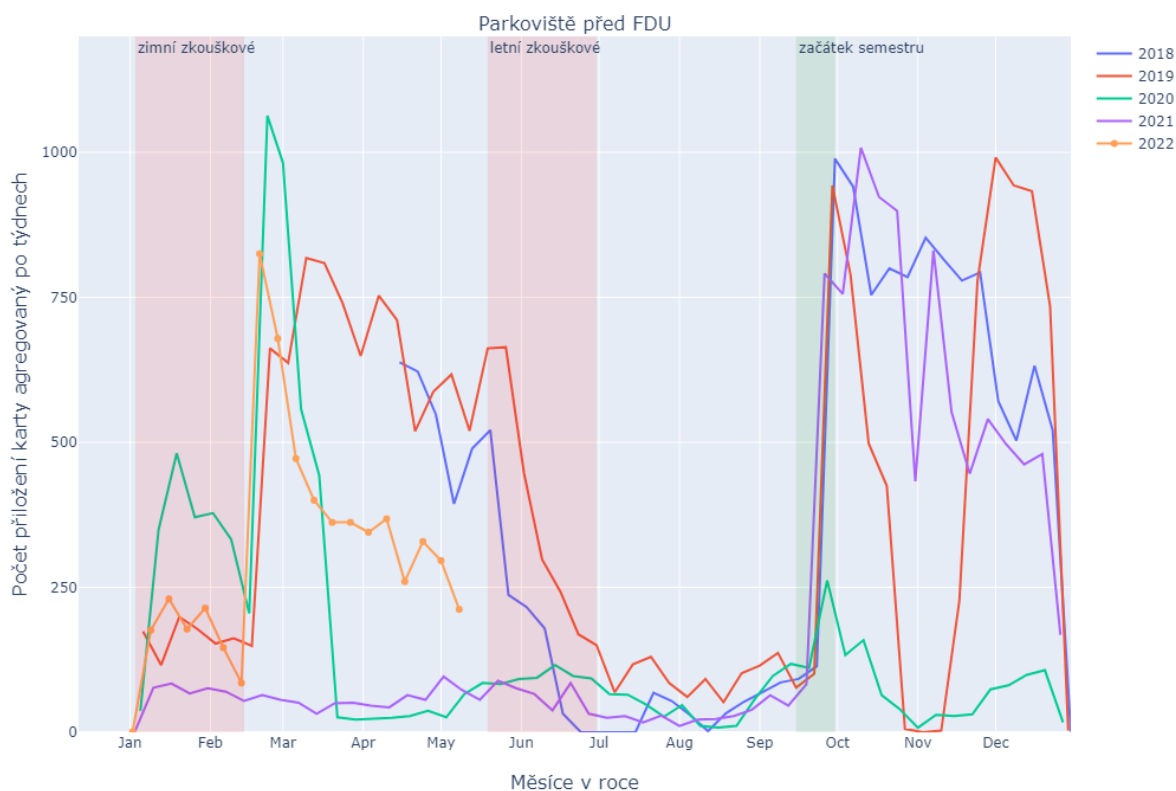
Na Obr. 9.2 konkrétně v měsíci únor (levá strana) nástup studentů do školy resp. začátek semestru. Na obou grafech pak můžeme vidět rozložení časů, kdy auta přijíždějí.



Obr. 9.2: Heatmapa počtu přiložení karty v měsíci únor (vlevo) a březen (vpravo) v roce 2022 (vlastní foto).

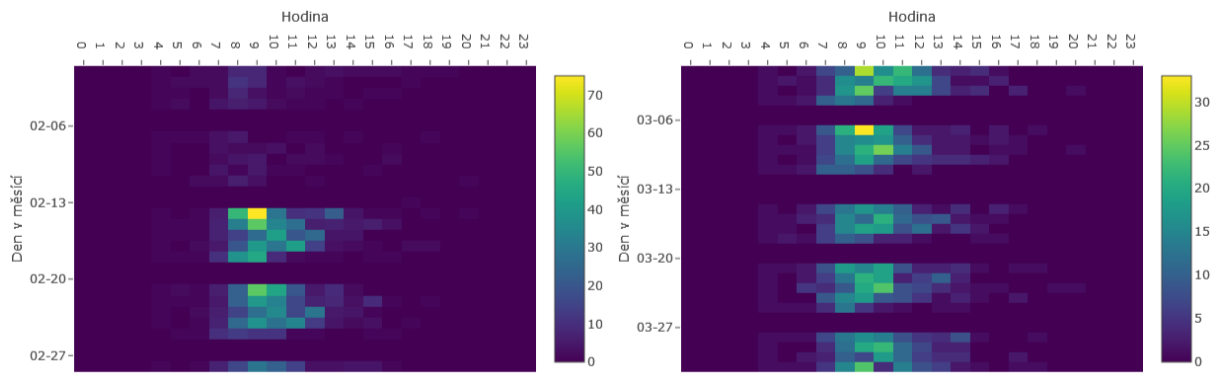
9.1.2 Parkoviště FDU

Nyní se přesuneme k parkovišti viz Obr. 9.3. V roce 2018 se začala zaznamenávat data jako v případě předchozího parkoviště. V roce 2019 můžeme vidět po začátku semestru velký propad a zase nárůst, nedohledali jsme událost, která by mohla tento výkyv způsobit. V roce 2020 můžeme vidět po zimním zkouškovém veliký extrém, kde počet příložených karet sahal až k číslu cca 1063 a následný pokles. Ten se nese až do začátku semestru, kde je mírný vzestup. V roce 2021 je prakticky celý rok až do začátku semestru hodnota menší než 100 a to nejspíše kvůli omezením díky pandemii Covidu. Data z roku 2022 rostou po zimním zkouškovém a to až na hodnotu cca 825 příložených karet k snímači týdně.



Obr. 9.3: Data ze zámků JIS FDU (vlastní foto).

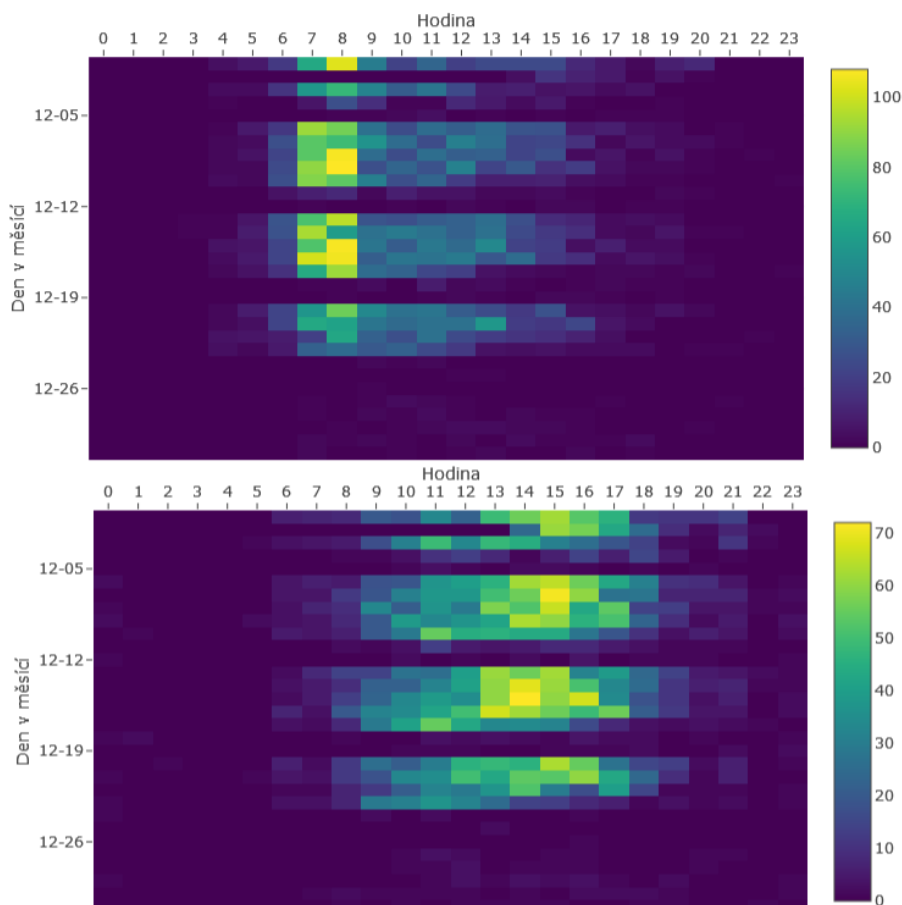
Na Obr. 9.4, můžeme vidět stejně jako v případě Obr. 9.2 nástup studentů do školy, kde je vidět významný extrém z 14. února v 9 hodin ráno.



Obr. 9.4: Heatmapa počtu přiložení karty v měsíci únor (vlevo) a březen (vpravo) v roce 2022 (vlastní foto).

9.2 Data z průjezdových senzorů

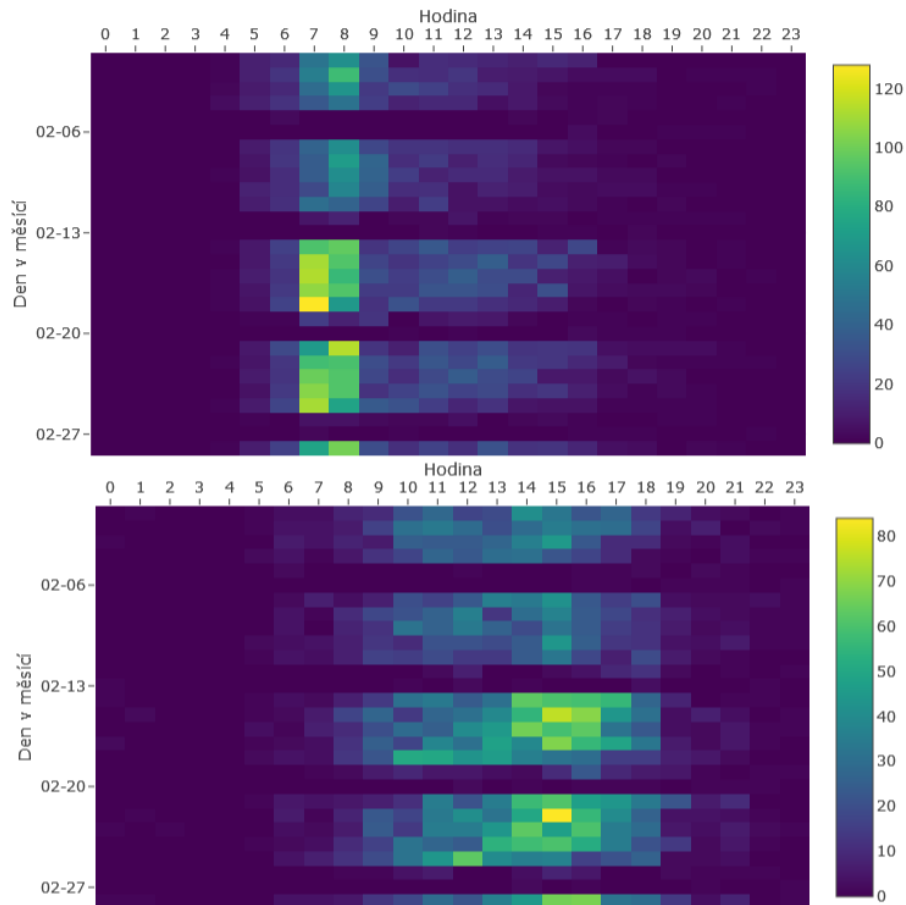
Jak již bylo řečeno, ze senzorů se sbírají data od cca prosince 2021 do půlky března 2022, kdy senzory z nenadání přestaly fungovat. Pro ukázkou funkčnosti tak použijeme data které jsme sesbírali, když senzory byly ještě funkční. Podíváme se na několik vybraných měsíců. Zbytek měsíců je možný vidět v aplikace (<https://parking.fel.zcu.cz>) v záložce Telemetrie/Průjezdové senzory a vybrat příslušný měsíc.



Obr. 9.5: Heatmapa počtu vjezdů (nahore) a výjezdů (dole) podle hodin v měsíci prosinec 2021 (vlastní foto).

Při pohledu na Obr. 9.5 (horní), je možné vidět průběh měsíce prosinec 2021 z pohledu příjezdějících vozidel a odjíždějících vozidel z parkoviště. První auta začínají jezdit už kolem 4:00 hodiny ránní. Největší provoz pak můžeme zaznamenat mezi 7:00-8:00 hodinou ránní, kde během hodiny je schopno přijet až cca 100 aut. To je cca každou půlminutu jedno příjezdějící auto. V ostatní hodiny již takový provoz už není. Při pohledu na Obr. 9.5 (dolní), můžeme vidět odjíždějící auta. Tyto počty nejvíce sílí v hodinách od 13:00 do 17:00 hodin. Nejvíce však kolem 15:00, to je spojeno se

zaměstnanci, kterým končí pracovní doba. Zbytek grafu je pak od 24. 12. je pak prázdný, kvůli vánočním svátkům.

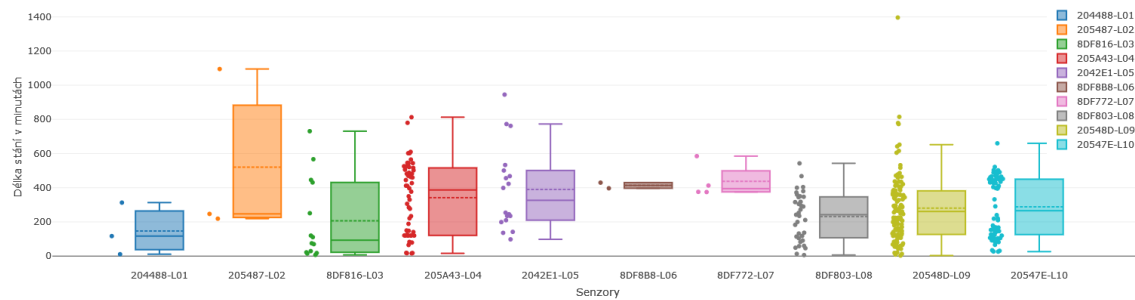


Obr. 9.6: Heatmapa počtu vjezdů (nahore) a výjezdů (dole) podle hodin v měsíci únor 2022 (vlastní foto).

Nyní se podíváme na měsíc Únor viz Obr. 9.5 (horní), zde můžeme vidět začátek nového semestru, konkrétně datum (14. 02.). Od tohoto data můžeme pozorovat zvýšenou aktivitu. Při pohledu na čísla můžeme vidět, že aktivita je skoro dvojnásobná než v předchozím týdnu. To samé můžeme říci i v případě druhého parkoviště viz Obr. 9.5 (dolní).

9.3 Data z parkovacích senzorů

Zde se podíváme na data z parkovacích senzorů. Kvůli výměně některých senzorů nemáme kompletní a přesná data ze všech parkovacích míst. Místa jsou označena L1 až L10, počítají se směrem od budovy FEL do středu parkoviště.



Obr. 9.7: Graf délky stání jednotlivých parkovacích míst (07. 05. 2022) (vlastní foto).

Z grafu na Obr. 9.7 můžeme vidět, že senzory L01, L02, L06, L07 jsou krátce nově osazeny po výměně. Zatím nemáme tolik nasbíraných dat, protože byly několikrát kalibrovány magnetem, aby se správně nastavil vnitřní senzor (magnetometr) a vnímal správně rozhodovací úroveň mezi stavem obsazeno a volno. Nicméně u některých senzorů, které nebyly měněny máme dat dost. Dotaz který obstarává data do Obr. 9.7, je omezen na 1000 posledních záznamu.

- místo L01 - nedostatek dat.
- místo L02 - nedostatek dat.
- místo L03 - na tomto místě auto stojí v průměru 206 minut což je přibližně cca pod 3,5 hodiny.
- místo L04 - zde už je dat dostatek, v průměru zde stojí auto 387 minut.
- místo L05 - na tomto místě je průměrný čas stání 389 minut.
- místo L06 - nedostatek dat.
- místo L07 - nedostatek dat.
- místo L08 - na tomto místě je 231 minut průměrný čas strávený na místě v minutách.
- místo L09 - na tomto místě už auta trávila 280 minut v průměru.
- místo L10 - hodnota 288 minut v průměru, je skoro stejná jako na místě L09.

Při vypočítání průměru ze všech hodnot, vychází průměrná doba stání na parkovacích místech 336 minut, což je v přepočtu 5 hodin 35 minut. Senzory také mohou vykazovat nepřesnost vlivem rozmanitosti vozidel, a tak nemusí magnetometr správně vyhodnotit obsazenost, z toho důvodu mohou být data mírně zkreslená. Další pozorovaný problém nastává, když auto parkuje „pozadu“ na parkovací místo, senzor se nenachází přesně ve středu parkovacího místa na vozovce, ale je spíše umístěný více k pozici motoru auta. Protože není motor umístěn přímo nad senzorem, nedojde k takovému zkreslení magnetické indukce, kterou by senzor zaznamenal či vyhodnotil jako obsazené.

9.4 Návrhy na zlepšení

Současný systém na parkování je nasazen na dvou parkovištích, kde dostáváme statistiky od počtu vjezdu a výjezdů u parkoviště č.4 a parkoviště č.5 pouze vjezdy. Naše aplikace agreguje data ze současných senzorů. Tyto senzory by chtělo ale rozšířit, abychom dostali přesnější data a tudíž i reálnější obraz o stavu parkovišť. Zde bychom si uvedli několik nápadů jak situaci na parkovišti řešit.

9.4.1 Rozšíření současných senzorů

Nabízí se možnost osadit i zbylé parkovací místa senzory, znamenalo by tedy osadit 224 míst senzory, na 10 místech již máme senzory osazené. Pokud bychom dále chtěli zahrnout i parkoviště druhé, bylo by to o dalších 99 senzorů více. To by znamenalo nákup 323 nových senzorů. Bohužel nikde se nepovedlo dohledat aktuální cenu, tudíž není možné stanovit celkovou cenu za senzory. Pokud bychom uvažovali, že cena jednoho senzoru se pohybuje okolo 5 000 Kč, tak by nás případné řešení vyšlo na 1 615 000 Kč, do toho nemáme ještě započítanou instalaci. Případné řešení tohoto typu by tak bylo velice nákladné.

9.4.2 Odklonění zátěže do více parkovišť

V okolí Západočeské univerzity je umístěno několik parkovišť. Je potřeba více informovat studenty o možnostech dopravy na univerzitu a také to, kde mohou jejich dopravní prostředky odložit. Na Obr. 9.8 viz níže můžeme vidět vyznačené parkovací plochy, kde je možné automobil odstavit. Mimo naše dvě řešené parkoviště tu máme také ještě

několik parkovišť vedlejších. Jedno z dalších parkovišť se nachází před FAV (Fakultou aplikovaných věd). Pro použití parkoviště je nutnost vlastnit kartu JIS. Další parkoviště, které je možné potenciálně využít se nachází před obchodem Decathlon, odtud je to nedaleko ke kampusu ZČU. Další nové parkoviště (P+R Bory) se nachází nedaleko tramvajové zastávky Bory. Odtud je možné přijít pěšky přes most do kampusu ZČU. Cena stání za celý den činí 60 Kč, v ceně je zahrnuto i celodenní lístek na MHD čili toto parkoviště se tak hodí spíše pro ojedinelé návštěvy. Jako další možnost je využití parkovišť u obchodních domů TESCO a BAUHAUS, tyto parkoviště jsou ale už více vzdálené.



Obr. 9.8: Zobrazení umístění parkovišť kolem komplexu ZČU (převzato z Google Earth).

9.4.3 Nový parkovací systém s rozpoznáváním SPZ

Další možností je instalace nového vstupního systému. Tento systém by měl zahrnovat nové závory spolu se systémem rozpoznávání SPZ. Dále pak systém karet JIS by měl být stále k dispozici i v novém systému. S novým systémem by se zjednodušil příjezd na parkoviště, protože systém rozpoznávání SPZ by automaticky zvedal závoru, pokud by u vstupní závory stálo auto se známou SPZ, která by se získávala z databáze školy či jiného systému. Tím by se snížil čas pro vstup na parkoviště a činnosti s tím související (nalezení JIS, stáhnutí okénka, přiložení JIS, vysunutí okénka a jízda vpřed). Tento systém by tak ušetřil mnoho času řidičům. Dále by se dalo evidovat kolik přesně aut se nachází na parkovišti, protože s odjezdem by se opět nasnímala SPZ a ze systému odečetla jako auto opouštějící parkoviště. Stejně řešení by bylo potřeba aplikovat i na druhé parkoviště.

10 Závěr

Tato práce se v první části zabývá historickým vývojem parkovišť jak ve světě tak i u nás, kde vznikaly první návrhy těchto staveb. První návrhy projektantů, kteří si pohrávali s myšlenkou parkovacích garáží a parkovacích domů. Dále se práce zabývá chytrým parkováním, kde jsme se podívali na první zmínky o chytrém parkování. Dále jsou zde uvedeny příklady jak jednotlivá města přistupují k řešení smart city. Bylo zde zmíněno několik příkladových měst, z čehož si můžeme vzít několik příkladů. Některá města šli cestou chytrých aplikací kde stačí zadat SPZ, jiné systémy spoléhají na senzory obsazenosti či celé sensorové sítě. V práci jsme se neomezili pouze na Českou republiku, ale podívali jsme se i do zahraničí, kde jsme mohli vidět, jak tuto otázku chytrých měst řeší i velké metropole o mnoho obyvatelích. Smart city je koncept, který se neustále rozvíjí. Tyto technologie nám také poskytnou data do budoucna, kde na základě těchto dat budeme moci lépe plánovat fungování města, a tak zpříjemnit obyvatelům jejich pobyt a život. V další části jsme se zabývali pojmem Internet of Things, kde jsme si probrali jeho koncept a fungování. Technologie tohoto typu se neustále vyvíjí, jejich aplikací získáme další přidanou hodnotu, která nám může zpříjemnit život, ušetřit peníze a lépe pochopit fungování věcí okolo nás. V této části bylo také rozepsáno, jak se z dat stanou informace, a jak se takovéto data přenáší od zařízení až ke koncovému zákazníkovi. Nedílnou součástí tohoto celku tvoří bezdrátové technologie, které dokáží komunikovat na velké vzdálenosti s minimem energie. V další části jsme provedli mapování trhu s těmito technologiemi pro chytré parkování, jako jsou senzory založené na různých technologiích či pokročilé algoritmy ve smyslu hlubokých neuronových sítí aplikovaných na rozpoznání a klasifikaci objektu v obrazu. Byla zde provedena rešerše několika firem jak tuzemských tak zahraničních. Poté jsme si prošli technologie, jak vlastně tyto senzory fungují a pracují, jaké jsou jejich výhody a nevýhody z pohledu použitelnosti. Dále jsme více přiblížili a ukázali senzory od konkrétních firem. Nyní se přesuneme na část která je praktičtější, v té se budeme zabývat konkrétními parkovišti, které se na Západočeské univerzitě nachází. Byli zde popsány dvě parkoviště, kde je nasazeno několik senzorů. Postupně jsme si tyto senzory prošli a stanovili si, která data nám poskytují.

V této práci byl vytvořen a naprogramován systém, který dokáže tyto data agrego-

vat a vizualizovat. Bylo zde potřeba vytvořit několik aplikačních rozhraní pro příjem dat. Dále bylo potřeba zajistit a nakonfigurovat server a na něm aplikaci spustit a nastavit. Bylo také potřeba nastavit databázi a optimalizovat ji pro příjem time-series dat. Po těchto krocích jsme přeměrovali data z externích systému RVTECHu a AWS. Plánované je i prototypové zařízení pro snímání brány, které by mělo být nasazeno v průběhu prázdnin. To by nám poté poskytlo další data o stavu parkoviště. Zatím je pro něj vytvořené jen aplikační rozhraní a systém je tak připraven na příjem. Samotný vizualizační systém má několik částí, do kterých uživatelé mohou veřejně, a uzavřené části, které jsou dostupné po přihlášení. Je zde vytvořené i aplikační rozhraní, kde i uživatelé v rámci univerzity mohou tyto data používat, zejména využití ve statistice. V další části jsme se zaměřili na data, která systém sesbíral během několika měsíců. Sběr dat nám zkomplikovalo několik nefunkčních senzorů, kde nemáme dostatek dat pro adekvátní vyhodnocení. V současné době nemáme data z průjezdových senzorů, protože všechny přestaly poskytovat data s odstupem pár dní, a výměnu jsme řešili s dodavatelem. Nyní jsou již osazeny nové senzory. Tyto senzory ale mohou být zastoupena daty ze zámků JIS, které poskytují stejné informace o vjezdu na parkoviště. V analýze dat jsme si pak rozebrali počty aut které denně parkoviště navštíví. V průměru se tato hodnota pohybuje okolo 380 vjezdů (průměr z měsíce březen) v pracovní dny. Také došlo k výpisu dní, kdy probíhá největší provoz. Ten můžeme zaznamenat kolem 7-8 hodiny ránní, kdy se tyto hodnoty pohybují okolo 70-90 vjezdů, v ojedinělých případech pak může hodnota dosáhnout až cca 140 vjezdů za hodinu. Provoz směrem ven z parkoviště je pak časově rozložen od 10:00 do 17:00. Vrchol pak můžeme nalézt ve 16:00 hodiny odpoledne, kde je možné vidět čísla od 50-80 výjezdů za hodinu. Co se týče správnosti dat ze senzorů průjezdů, data se shodují s daty ze zámků JIS s odchýlením o maximálně jednotky aut. Chyba nastává až při naplnění parkoviště, řidiči se snaží přikládáním karty ke zámku JIS zvednout závoru, to však již nedovolí jednotka závory, ale zámek JIS započítá každé správné ověření karty. Z toho důvodů se může stát že nebudou sedět hodnoty počítadel počtu přiložení karty JIS a počet vjezdů u průjezdových senzorů. U senzorů parkování jsme si pak ukázali jaká je průměrná doba stání na několika vybraných parkovacích místech. Tyto průměrné doby můžeme vidět na Obr. 9.7. Byli zde vybrané senzory, které nebyly měněny a to z důvodu dostatečného množství dat. Průměrná doba stání na všech místech vychází cca 300 minut data k 24.

5. 2022.

V poslední části jsme se podívali na to co zlepšit, či jakou cestou se ubírat pro zlepšení stavu. Tato práce tak poskytuje ucelený pohled na problematiku smart city, parkoviště senzory, a podpůrné technologie.

Literatura

- [1] BEN-JOSEPH, E. *From Chaos to Order: A Brief Cultural History of the Parking Lot* [online]. mitpress.mit.edu, 2020. [cit. 2021/10/16]. Dostupné z: <https://thereader.mitpress.mit.edu/brief-cultural-history-of-the-parking-lot/>.
- [2] GAUTAM, S. *History of Automated Parking System* [online]. getmyparking.com, 2017. [cit. 2021/10/12]. Dostupné z: <https://blog.getmyparking.com/2017/07/12/history-of-automated-parking-system/>.
- [3] VORLÍK, P. *Vznik velkokapacitních garáží v období první republiky a jejich architektura* [online]. casopisstavebnictvi.cz, 2007. [cit. 2021/10/22]. Dostupné z: <https://bit.ly/3waGzJT>.
- [4] VOLNÝ, M. *Písek bude mít první „smart“ parkoviště s chytrým navigačním systémem* [online]. mupisek.cz, 2017. [cit. 2021/11/21]. Dostupné z: <https://www.mupisek.cz/pisek-bude-mit-prvni-smart-parkoviste-s-chytrym-navigacnim-systemem/d-16008>.
- [5] *Projekt Smart Parking se blíží do finise* [online]. pardubice.eu, 2021. [cit. 2021/11/21]. Dostupné z: <https://www.pardubice.eu/urad/radnice/pro-media/tiskove-zpravy/projekt-smart-parking-se-blizi-do-finise/>.
- [6] KODYMOVÁ, J. *Místo k zaparkování hledat nemusíte* [online]. liberec.cz, 2020. [cit. 2021/12/25]. Dostupné z: <https://www.liberec.cz/cz/obcan/aktuality/zpravy-z-mesta/misto-k-zaparkovani-nemusite-hledat>.
- [7] *Parkovací informační a navigační systém v Liberci* [online]. opd.cz, 2018. [cit. 2021/12/25]. Dostupné z: <https://www.opd.cz/projekt/Parkovaci-informacni-a-navigacni-system-v-Liberci>.
- [8] MÍKA, P. *Kolín - nejchytřejší město České republiky* [online]. energyglobe.cz, 2017. [cit. 2021/12/25]. Dostupné z: <https://www.energyglobe.cz/temata-a-novinky/na-navsteve-v-koline-v-nejchytrejsim-meste-ceske-republiky>.
- [9] *Plzeň jako první město v ČR s vlastní sítí internetu věcí* [online]. technickytydenik.cz, 2017. [cit. 2021/12/27]. Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv/plzen-jako-prvni-mesto-v-cr-s-vlastni-siti-internetu-veci_42571.html.

- [10] OSVALDOVÁ, M. *Parkovné v centru zaplatíte nově i na dálku přes mobilní aplikaci* [online]. plzen.cz, 2020. [cit. 2021/12/27]. Dostupné z: <https://www.plzen.cz/parkovne-v-centru-zaplatite-nove-i-na-dalku-pres-mobilni-aplikaci>.
- [11] GOVERNMENT, E. *Plzeň představila inovativní projekty pro budoucnost města* [online]. egov-nn.com, 2020. [cit. 2021/12/27]. Dostupné z: <https://www.egov-nn.com/plzen-predstavila-inovativni-projekty-pro-budoucnost-mesta/>.
- [12] ČTK. *Do Prahy přijede každý den přes 300 tisíc vozů. Parkovací místo P+R připadá na jedno procento z nich* [online]. aktualne.cz, 2018. [cit. 2021/12/27]. Dostupné z: <https://zpravy.aktualne.cz/ekonomika/do-prahy-prijede-kazdy-den-pres-300-tisic-vozu-parkovaci-mis/r~35b7495c583511e8b8efac1f6b220ee8/>.
- [13] *Parkování P+R* [online]. parkujvklidu.cz, 2021. [cit. 2021/12/27]. Dostupné z: <https://www.parkujvklidu.cz/cs/parkovani-pr/>.
- [14] *Obsazenost parkovacích domů a parkovišť* [online]. data.brno.cz, 2021. [cit. 2021/12/27]. Dostupné z: <https://data.brno.cz/datasets/mestobrno::obsazenost-parkovac%C3%ADch-dom%C5%AF-a-parkovi%C5%A1%C5%A5-car-parks-capacity-data-live/about>.
- [15] OSTERMEIJER, F. et al. *Citywide parking policy and traffic: Evidence from Amsterdam* [online]. sciencedirect.com, 2021. [cit. 2021/12/28]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jue.2021.103418>.
- [16] *Het data startpunt van de Gemeente Amsterdam* [online]. data.amsterdam.nl, 2021. [cit. 2021/12/28]. Dostupné z: <https://data.amsterdam.nl/data/geozoek/?center=52.4022902%2C4.8729438&lagen=parkrn-pv&locatie=52.4085672%2C4.9005236&zoom=7>.
- [17] ADLER, L. *How Smart City Barcelona Brought the Internet of Things to Life* [online]. harvard.edu, 2021. [cit. 2021/12/28]. Dostupné z: <https://datasmart.ash.harvard.edu/news/article/how-smart-city-barcelona-brought-the-internet-of-things-to-life-789>.
- [18] KISNER, K. *The Detroit Smart Parking Lab: Mobility Meets Infrastructure* [online]. detroitisit.com, 2021. [cit. 2021/12/28]. Dostupné z: <https://detroitisit.com/the-detroit-smart-parking-lab-mobility-meets-infrastructure/>.

- [19] *Krakow Smart City Strategy* [online]. cityone.cz, 2017. [cit. 2021/12/28]. Dostupné z: <https://www.cityone.cz/en/krakow-smart-city-strategy/t6743>.
- [20] CHAO ALEX PENG, L. Z. M. B. N. *Impacts of low citizen awareness and usage in smart city services: the case of London's smart parking system* [online]. springer.com, 2017. [cit. 2021/12/28]. Dostupné z: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10257-016-0333-8>.
- [21] *What is IoT?* [online]. amazon.com, 2021. [cit. 2021/12/28]. Dostupné z: <https://aws.amazon.com/what-is/iot/>.
- [22] GREENGARD, S. *Internet of Things*. MIT Press, 2015. ISBN 978026252773.
- [23] *What is IoT in simple words?* [online]. smartrek.io, 2021. [cit. 2021/12/29]. Dostupné z: <https://www.smartrek.io/breaking-down-the-iot/>.
- [24] *IoT Gateways – Powering the Industrial Internet of Things* [online]. openautomationsoftware.com, 2021. [cit. 2021/12/30]. Dostupné z: <https://www.openautomationsoftware.com/open-automation-systems-blog/what-is-an-iot-gateway/>.
- [25] EDUCATION, I. C. *IaaS vs. PaaS vs. SaaS* [online]. ibm.com, 2018. [cit. 2021/12/30]. Dostupné z: <https://www.ibm.com/cz-en/cloud/learn/iaas-paas-saas>.
- [26] *What are LoRa and LoRaWAN?* [online]. thethingsnetwork.org, 2021. [cit. 2022/01/30]. Dostupné z: <https://www.thethingsnetwork.org/docs/lorawan/what-is-lorawan/>.
- [27] POLESNÝ, D. *Zkusili jsme Sigfox, síť pro internet věcí* [online]. zive.cz, 2016. [cit. 2022/02/03]. Dostupné z: <https://mobilmania.zive.cz/clanky/zkusili-jsme-sigfox-sit-pro-internet-veci/sc-3-a-1334151/default.aspx>.
- [28] *IEEE 802.11ah alias WiFi HaLow - The best of WiFi and LPWAN* [online]. rutronik.com, 2021. [cit. 2022/02/01]. Dostupné z: <https://www.rutronik.com/article/ieee-80211ah-alia-wifi-halow-the-best-of-wifi-and-lpwan/>.
- [29] *What Is Zigbee?* [online]. digi.com, 2021. [cit. 2022/02/04]. Dostupné z: <https://www.digi.com/solutions/by-technology/zigbee-wireless-standard>.

- [30] *What is RFID? | The Beginner's Guide to How RFID Systems Work* [online]. atlasrfidstore.com, 2021. [cit. 2022/02/04]. Dostupné z: <https://www.atlasrfidstore.com/rfid-beginners-guide/>.
- [31] *NFC Technical Information* [online]. nfcdirect.co.uk, 2021. [cit. 2022/02/04]. Dostupné z: <https://www.nfcdirect.co.uk/nfc-information/technical-information/>.
- [32] *What is HTTP?* [online]. cloudflare.com, 2021. [cit. 2022/02/04]. Dostupné z: <https://www.cloudflare.com/learning/ddos/glossary/hypertext-transfer-protocol-http/>.
- [33] FREEMANA, J. *What is JSON? A better format for data exchange* [online]. infoworld.com, 2019. [cit. 2022/02/04]. Dostupné z: <https://www.infoworld.com/article/3222851/what-is-json-a-better-format-for-data-exchange.html>.
- [34] STRATIGEA, A. *The concept of smart cities. Towards community development?* [online]. journals.openedition.org, 2012. [cit. 2022/02/18]. Dostupné z: <https://journals.openedition.org/netcom/1105>.
- [35] BILLY PIK LIK LAU, SUMUDU HASALA MARAKKALAGE, YUREN ZHOU, NAVEED UL HASSAN, CHAU YUEN, MENG ZHANG, U-XUAN TAN. *A survey of data fusion in smart city applications* [online]. twi-global.com, 2019. [cit. 2022/02/22]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1566253519300326#sec0002>.
- [36] *What is a Smart City? – Definition and Examples* [online]. twi-global.com, 2022. [cit. 2022/02/20]. Dostupné z: <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/what-is-a-smart-city#HowSmartCitiesWork>.
- [37] *Parkování* [online]. elkoep.cz, 2022. [cit. 2022/03/02]. Dostupné z: <https://www.elkoep.cz/sc-parkovani>.
- [38] *SMART CITY* [online]. spel.cz, 2022. [cit. 2022/03/10]. Dostupné z: <https://smart4city.spel.cz/>.
- [39] *Silniční telematika a internet věcí* [online]. cdt.cz, 2022. [cit. 2022/03/10]. Dostupné z: <https://www.cdt.cz/cs/produkty-sluzby/internet-veci/>.

- [40] *Parkovací závory a systémy Crosspark* [online]. cross-traffic.com, 2022. [cit. 2022/03/10]. Dostupné z: <https://www.cross-traffic.com/cz/crosspark/>.
- [41] *O společnosti GREEN Center* [online]. green.cz, 2022. [cit. 2022/03/10]. Dostupné z: <https://www.green.cz/o-nas-52>.
- [42] *Parkinto* [online]. smartiple.com, 2022. [cit. 2022/03/10]. Dostupné z: <https://smartiple.com/reference/ref10#ref>.
- [43] *Parkovací senzor* [online]. 2022. [cit. 2022/04/12]. Dostupné z: <https://www.citiq.cz/parkovaci-senzor>.
- [44] *Smart Parking Management* [online]. dahuasecurity.com, 2022. [cit. 2022/03/11]. Dostupné z: <https://www.dahuasecurity.com/solutions/Solutions-by-Industry/Transportation/Parking/Smart-Parking-Management>.
- [45] *A new parking experience with connected and automated parking solutions* [online]. bosch-mobility-solutions.com, 2022. [cit. 2022/03/11]. Dostupné z: <https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/mobility-topics/connected-and-automated-parking/>.
- [46] SAMPSON, M. *Intelligent Parking with Siemens* [online]. michaelssampson.net, 2008. [cit. 2022/03/11]. Dostupné z: <https://michaelssampson.net/2018/05/02/intelligent-parking-with-siemens/#respond>.
- [47] *Wireless magnetometer sensor for traffic management* [online]. urbiotica.com, 2022. [cit. 2022/03/11]. Dostupné z: <https://www.urbiotica.com/en/traffic-monitoring/wireless-magnetometer-sensor-for-traffic-management>.
- [48] *Smart Parking* [online]. cleverciti.com, 2022. [cit. 2022/03/12]. Dostupné z: <https://www.cleverciti.com/en/smart-parking>.
- [49] *SmartPark System* [online]. smartparking.com, 2022. [cit. 2022/03/12]. Dostupné z: <https://www.smartparking.com/smartpark-system>.
- [50] *Smart Parking node* [online]. 2022. [cit. 2022/04/12]. Dostupné z: <https://development.libelium.com/smart-parking-technical-guide/smartparkingnode>.
- [51] STEPHAN WINTER, S. G. *Smart Parking in Fast-Growing Cities. Challenges and Solutions*. TU Wien Academic Press, 2021. ISBN 978-3-85448-045-7.

- [52] YOSHINO KOTARO, K. S. W. M. *Parking Sensor based on geomagnetic variations of vehicle* [online]. omron.com, 2019. [cit. 2022/03/18]. Dostupné z: <https://www.omron.com/global/en/technology/omrontechnics/vol150/007.html>.
- [53] OBED APPIAH, E. O. E. Q. *Ultrasonic sensor based traffic information acquisition system; a cheaper alternative for ITS application in developing countries* [online]. 2020. [cit. 2022/03/18]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468227620302258>.
- [54] *SMART Parking BOSCH LoRaWAN 868* [online]. 2022. [cit. 2022/04/11]. Dostupné z: <https://market.thingpark.com/smart-parking-bosch-lorawan-868.html>.
- [55] *Tinynode A4 and B4 sensors* [online]. 2022. [cit. 2022/04/11]. Dostupné z: https://www.pdxeng.ch/wp-content/uploads/2020/09/Tinynode_A4-and-B4-product-brochure_2020.pdf.
- [56] *Nwave Surface Mount Base Model Sensor* [online]. 2022. [cit. 2022/04/12]. Dostupné z: <https://www.nwave.io/nwave-parking-sensor-datasheet.pdf>.
- [57] *PROVOZNÍ ŘÁD PARKOVIŠTĚ ZČU V PLZNI PARKOVIŠTĚ č. 4* [online]. 2022. [cit. 2022/04/12]. Dostupné z: https://ps.zcu.cz/export/sites/ps/dokumenty/provozni-rady-parkovist/2021_PROVOZNI-RAD-PARKOVISTE-c.-4-U26-1.pdf.
- [58] *PROVOZNÍ ŘÁD PARKOVIŠTĚ ZČU V PLZNI PARKOVIŠTĚ č. 5* [online]. 2022. [cit. 2022/04/12]. Dostupné z: https://ps.zcu.cz/export/sites/ps/dokumenty/provozni-rady-parkovist/2021_PROVOZNI-RAD-PARKOVISTE-c.-5.pdf.
- [59] OPENSTREETMAP CONTRIBUTORS. *Planet dump retrieved from https://planet.osm.org* [online]. 2017. [cit. 2022/04/22]. Dostupné z: <https://www.openstreetmap.org>.
- [60] *JIS - Jednotný Identifikační Systém* [online]. 2022. [cit. 2022/04/12]. Dostupné z: <http://www.ekotip.cz/index.php?n=Systemy.JIS>.
- [61] *Co je Debian?* [online]. 2022. [cit. 2022/04/12]. Dostupné z: <https://www.debian-linux.cz/co-je-debian/>.
- [62] MITCHELL, B. *Apache Web Server* [online]. 2022. [cit. 2022/04/12]. Dostupné z: <https://cs.eyewated.com/apache-web-server/>.
- [63] DARKCRIZT. *TimescaleDB, open source databáze pro ukládání dat časových řad* [online]. 2022. [cit. 2022/04/24]. Dostupné z: <https://bit.ly/3MU7LmQ>.

- [64] STĚHULE, P. *PostgreSQL* [online]. 2022. [cit. 2022/04/24]. Dostupné z:
<https://postgres.cz/wiki/PostgreSQL>.
- [65] *PHP* [online]. 2000. [cit. 2022/04/24]. Dostupné z:
<https://www.builder.cz/rubriky/php/php-cast-i-uvod-do-jazyka-155594cz>.
- [66] GRUDL, D. *Nette Framework: zvýšte svoji produktivitu* [online]. 2009. [cit. 2022/04/24].
Dostupné z:
<https://zdrojak.cz/clanky/nette-framework-zvyste-svoji-produktivitu/>.
- [67] *What is Python? Executive Summary* [online]. 2022. [cit. 2022/04/25]. Dostupné z:
<https://www.python.org/doc/essays/blurb/>.

Seznam obrázků

2.1	Parkoviště s kapacitou 150 aut vedle nového nákupního centra Country Club Plaza (převzato z [1]).	16
2.2	Perretovy garáže v Rue de Ponthieu z let 1905-1906 (převzato z [3]). . .	16
2.3	Návrh na přemostění Nuselského údolí z roku 1926 od autorů (S. Demel, J. A. Holman, Z. Pešánek) (převzato z [3]).	17
2.4	Garáže Na Maninách z roku 1927-28 (převzato z [3]).	18
3.1	Graf četnosti použití klíčového slova „smart parking“ (převzato z Google Books Ngram Viewer).	19
3.2	Ukazatelé volných míst (převzato z [6]).	21
3.3	Členění města na zóny (převzato z [16]).	23
4.1	Základní komunikační řetězec (překresleno z [23]).	27
5.1	Ilustrace sedmi oblastí chytrého města (převzato z [35]).	33
6.1	Ukázka realizace (převzato z [37]).	37
6.2	Ukázka obrazovky správy parkoviště (převzato z [40]).	39
6.3	Ukázka práce systému (převzato z [42]).	40
6.4	Ukázka práce systému (převzato z [44]).	42
6.5	Průběh magnetického pole u senzoru při parkování (převzato z [52]). . .	45
6.6	Využití ultrazvukového senzoru na monitoring provozu (převzato z [53]).	46
6.7	Pohled na senzor (převzato z [54]).	49
6.8	Pohled na A4 a B4 senzory (převzato z [55]).	49
6.9	Pohled na parkovací senzor (převzato z [43]).	50
6.10	Pohled na parkovací senzor (převzato z [50]).	51
7.1	Pohled na parkoviště před budovou FEL (převzato z Google Earth). . .	52
7.2	Pohled na parkoviště u budovy RICE (převzato z Google Earth). . . .	53
7.3	Pohled na rozmístěné senzory na ZČU (převzato [59]).	54
7.4	Ukázka zapouzdření senzoru, spodní část a horní část (vlastní foto). . .	55
8.1	Koncept systému na sběr a vizualizaci dat.	56

8.2	Ukázka titulní obrazovky aplikace z data 14. 03. 2022 (vlastní foto). . .	64
8.3	Ukázka stavu průjezdových senzorů (vlastní foto).	66
8.4	Ukázka stavu parkovacích senzorů (vlastní foto).	67
9.1	Data ze zámků JIS FEL (vlastní foto).	69
9.2	Heatmapa počtu přiložení karty v měsíci únor (vlevo) a březen (vpravo) v roce 2022 (vlastní foto).	69
9.3	Data ze zámků JIS FDU (vlastní foto).	70
9.4	Heatmapa počtu přiložení karty v měsíci únor (vlevo) a březen (vpravo) v roce 2022 (vlastní foto).	71
9.5	Heatmapa počtu vjezdů (nahore) a výjezdů (dole) podle hodin v měsíci prosinec 2021 (vlastní foto).	72
9.6	Heatmapa počtu vjezdů (nahore) a výjezdů (dole) podle hodin v měsíci únor 2022 (vlastní foto).	73
9.7	Graf délky stání jednotlivých parkovacích míst (07. 05. 2022) (vlastní foto).	74
9.8	Zobrazení umístění parkovišť kolem komplexu ZČU (převzato z Google Earth).	76

Seznam tabulek

6.1	Porovnání senzorů (převzato z [51])	48
-----	---	----