

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA TECHNOLOGIÍ A MĚŘENÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Modelování prvků smart city infrastruktury v reálných aplikacích

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Hynek MENCL**
Osobní číslo: **E17N0017P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**
Téma práce: **Modelování prvků smart city infrastruktury v reálných aplikacích**
Zadávací katedra: **Katedra technologií a měření**

Zásady pro vypracování

1. Popište na zvolených skutečných aplikacích smart city infrastruktury princip technologie
2. Vytvořte parametrizovatelný model spotřeby elektrické energie uvažovaného území
3. Proveďte zhodnocení rozšíření nabíjecí infrastruktury pro elektromobily včetně výpočtu energetické bilance
4. Posuďte technicky a ekonomicky pravděpodobný rozvoj smart city technologií v příštích letech




Rozsah diplomové práce: **40 – 60 stran**
Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**


Seznam doporučené literatury:


1. MCCLELLAN, Stan, Jesus A. JIMENEZ a George KOUTITAS. Smart Cities: Applications, Technologies, Standards, and Driving Factors 1st Edition. Factors 1st Edition. Standards, and Driving Factors 1st Edition.
2. Odborné časopisy – firma Siemens – Vision
3. IEEE Transaction on Energy Conversion.
4. ČSN 33 2130 ed. 3, ČSN 33 2000, ČSN EN 50174 a ČSN 7308XX

Vedoucí diplomové práce: **Prof. Ing. Zdeněk Vostracký, DrSc., dr. h. c.**
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání diplomové práce: **4. října 2019**
Termín odevzdání diplomové práce: **28. května 2020**


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


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



V Plzni dne 4. října 2019

Abstrakt

Tato diplomová práce řeší použití smart city prvků v praxi. Cílem bylo zjištění aktuálně používaných smart city technologií v infrastruktuře a jejich následný vývoj v budoucnu, zvláště pak v oblasti dopravy, kde je primárně řešena elektromobilita. Druhá polovina diplomové práce řeší aplikaci zařízení dálkového měření spotřeby elektrické energie pro získání vstupních dat parametrizovaného modelu spotřeby, který dokáže simulovat vliv elektromobility na odběrový diagram měřeného objektu. V závěru jsou pak výsledky modelu využity pro výpočty návrhu nabíjecí infrastruktury.

Klíčová slova

Smart city, elektromobilita, nabíjecí stanice, nabíjecí standardy, odběrový diagram, Arduino, SCHR, vývojová deska ESP32, Matlab, modelování, nabíjecí infrastruktura, ekonomická návratnost elektromobilů

Abstract

This diploma thesis deals with the usage of smart city elements in practices. The goal was to find out the smart city technologies which are actually used in infrastructure and their process of development in future especially in the field of transport where the electromobility is primary solved. The second part of this diploma thesis deals with the application of device for remote measurement of electricity consumption to obtain the input data of parameterized consumption pattern which is able to simulate the effect of electromobility to a consumption diagram of the measured object. In conclusion the results of this model are used for calculations of the scheme of the charging infrastructure.

Key words

Smart city, electromobility, charging stations, charging standards, consumption diagram, Arduino, Sjahr, development board ESP32, Matlab, modelling, charging infrastructure, economic effect of electromobility

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

.....
podpis

V Plzni dne 18.6.2020

Bc. Hynek Mencl

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce prof. Ing. Zdeňkovi Vostrackému, DrSc., dr. h. c. a konzultantovi Ing. Václavu Mužíkovi, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce. Dále bych pak rád poděkoval všem členům rodiny za jejich psychickou a finanční podporu po celou dobu studia.

Obsah

ÚVOD	10
ČLENĚNÍ PRÁCE.....	10
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	12
1 POJEM SMART CITY	13
1.1 INTERNET VĚCÍ (IoT)	14
1.2 Síť 5G	16
2 SMART CITY APLIKACE V INFRASTRUKTUŘE	18
2.1 DOPRAVA	18
2.1.1 <i>Inteligentní řízení dopravy</i>	18
2.1.2 <i>Model Intenzity dopravy v Plzni</i>	20
2.1.3 <i>Chytrá parkoviště</i>	20
2.1.4 <i>Hromadná doprava</i>	22
2.2 ELEKTROMOBILITA	23
2.2.1 <i>Popis hlavních částí elektromobilu</i>	25
2.2.2 <i>Nabíjení elektromobilů v ČR</i>	30
2.2.3 <i>Možnosti nabíjení</i>	31
2.2.4 <i>Ztráty při nabíjení</i>	33
2.3 ENERGETIKA	34
2.3.1 <i>Hlavní části inteligentní sítě</i>	35
2.3.2 <i>Aplikace na území ČR</i>	36
2.4 BEZPEČNOST	36
2.4.1 <i>Chytré veřejné osvětlení</i>	37
2.4.2 <i>Přechod pro chodce s inteligentními prvky</i>	38
2.4.3 <i>Inteligentní kamerový systém</i>	38
2.5 EKOLOGIE	40
2.5.1 <i>Výpočet uhlíkové stopy</i>	40
3 EKONOMICKÝ ASPEKT PŘECHODU NA ELEKTROMOBILITU	44
3.1 EKONOMICKÝ MODEL PŘECHODU NA ELEKTROMOBILITU.....	44
3.2 VÝSLEDKY EKONOMICKÉHO MODELU U OSOBNÍCH VOZŮ	47
3.3 VÝSLEDKY EKONOMICKÉHO MODELU U UŽITKOVÝCH VOZŮ.....	50
4 DÁLKOVÉ MĚŘENÍ SPOTŘEBY	54
4.1 ZAŘÍZENÍ PRO ONLINE SLEDOVÁNÍ SPOTŘEBY	54
4.1.1 <i>Požadavky na zařízení</i>	54
4.1.2 <i>Použitá technologie</i>	54
4.1.3 <i>Kompletní zařízení</i>	56
4.2 THINGSPEAK.....	57
4.3 ZÍSKANÁ DATA	58
5 PARAMETRIZOVANÝ MODEL SPOTŘEBY UVAŽOVANÉHO ÚZEMÍ.....	60
5.1 ZADÁVANÉ PARAMETRY	60
5.1.1 <i>Chod programu pro denní model</i>	60
5.1.2 <i>Výsledek pro denní model</i>	62
5.1.3 <i>Chod programu pro týdenní model</i>	62
5.1.4 <i>Výsledek pro týdenní model</i>	63
6 NÁVRH NABÍJECÍ INFRASTRUKTURY	65
6.1 ZHODNOCENÍ MOŽNOSTI PŘIPOJENÍ NA STÁVAJÍCÍ ELEKTROINSTALACI.....	65
6.2 NÁVRH NABÍJECÍ INFRASTRUKTURY	67

6.2.1	Obecné požadavky na nabíjení	67
6.2.2	Návrh kabelových tras a jejich provedení	68
6.2.3	Dimenzování přívodního kabelu pro nabíjecí soustavu.....	68
6.2.4	Návrh jisticích prvků	70
7	PRAVDĚPODOBNÝ ROZVOJ SMART CITY TECHNOLOGIÍ.....	72
	ZÁVĚR.....	75
	ZHODNOCENÍ POSTUPU	75
	DOSAŽENÉ VÝSLEDKY A PŘÍNOSY PRÁCE	75
	SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ.....	77
	PŘÍLOHY	1

Úvod

Města stále více rostou a je čím dál tím těžší, aby zůstala kvalitním místem pro život. S rostoucím počtem obyvatel narůstá spotřeba energií, vznikají větší požadavky na dopravu a bezpečnost. Dalším neblahým důsledkem větší koncentrace lidí je znečištění prostředí v důsledku hustější dopravy nebo větší produkce odpadu. Pro udržení životní úrovně je tedy potřeba, aby města prošla proměnami. K těmto proměnám nám v zásadě poslouží vyspělé technologie a internet. Metropole napříč světem již úspěšně aplikovaly některé smart city prvky, které spolehlivě slouží jejich obyvatelům. Samotný pojem „smart city“ zahrnuje spoustu odvětví, jako například dopravu, bezpečnost, ale i samotnou ekologii, kterou pak pomocí smart technologií vylepšujeme.

Jedním z důvodů, proč jsem si vybral dané téma, bylo to, že jsem měl možnost nahlédnout do útrob Smart City Polygonu postaveného poblíž Plzně. V použitých technologiích jsem viděl potenciál pro komerční využití a zajímá mě, zda tyto technologie lze reálně použít pro Plzeň. Dalším tématem mého zájmu je pak smysl využití a ekonomický aspekt při použití elektromobilů v praxi, neboť kolem elektromobility stále kolují odlišné názory. Prostřednictvím této diplomové práce bych chtěl odpovědět na otázku, zda elektromobilita v českých energetických podmínkách není jen slepou uličkou.

Členění práce

Práce je členěna do 7 kapitol. V úvodní kapitole jsem považoval za nezbytné vysvětlit podrobněji pojem smart city a prolínání technologií smart city jednotlivými úrovněmi, včetně demonstrace na plzeňském konceptu. Dále se podrobněji zabývám Internetem věcí a jeho využitím v praktickém životě. Zmiňuji se i o síti 5G, která je novým telekomunikačním standardem, přičemž rozebírám její přednosti.

Druhá kapitola je věnována smart city aplikaci v infrastruktuře, a to dopravě, kde se podrobně zabývám i projekty realizovanými v Plzni. Velká část této kapitoly je dále věnována elektromobilitě, včetně popisu hlavních částí elektromobilu. Rozebrána je i problematika nabíjení elektromobilů v ČR. Dále pak se věnuji začlenění smart city v energetice, bezpečnosti a ekologii.

Následující kapitola pojednává o ekonomickém aspektu přechodu na elektromobilitu, přičemž jsem pro lepší názornost vytvořil v Microsoft Excelu ekonomický model, který vyhází z dat reálného provozu 3 osobních a 4 užitkových automobilů. Výsledky tohoto modelu prezentuji jednotlivě u osobních a užitkových vozidel.

Čtvrtá kapitola již zahrnuje i praktickou část mé práce, a to konkrétně dálkové měření spotřeby, což bylo nezbytnou podmínkou pro vypracování návrhu parametrického modelu, který bude schopen vykreslit odběrové diagramy v závislosti na požadovaném rozvrhu nabíjení a typu elektromobilu.

Další kapitola je již výstupem dat a informací získaných v předchozí kapitole a je zde vytvořen parametrizovaný model spotřeby uvažovaného území. Podrobně je popsán chod programu, včetně prezentace výsledků.

Šestá kapitola je věnována návrhu nabíjecí infrastruktury, včetně návrhu jisticích prvků.

V sedmé kapitole je nastíněn pravděpodobný rozvoj smart city technologií, tedy kde lze z mého pohledu předpokládat progresivní rozvoj smart city. Zabývám se zde i problematikou financování projektů.

Seznam symbolů a zkratek

IoT	Internet of Things, Internet věcí
LTE.....	Long Term Evolution, vysokorychlostní internet v mobilních sítích
IZS	Integrovaný záchranný systém
OC.....	Obchodní centrum
DC.....	Direct Current, Stejnoseměrný proud
AC.....	Alternating Current, Střídavý proud
PFC	Power Factor Correction, Obvod pro kompenzaci účinníku
NN	Nízké napětí
VN	Vysoké napětí
LED	Light-Emitting Diode, Elektroluminiscenční dioda
OZE	Obnovitelné zdroje energie
DPH	Daň z přidané hodnoty
NEDC	New European Driving Cycle, Stará norma měření spotřeby vozidel
WLTP	Worldwide Harmonised Light-Duty Vehicles Test Procedure, Nová norma měření spotřeby vozidel
VW	Volkswagen
USB	Universal Serial Bus, Univerzální sériová sběrnice
PC	Personal Computer, Počítač
GND	Ground, Uzemnění
GPIO.....	General Purpose Input Output, Uživatelsky konfigurovatelné piny
1-f	Jednofázový
3-f	Třífázový
EU.....	European Union, Evropská unie

1 Pojem smart city

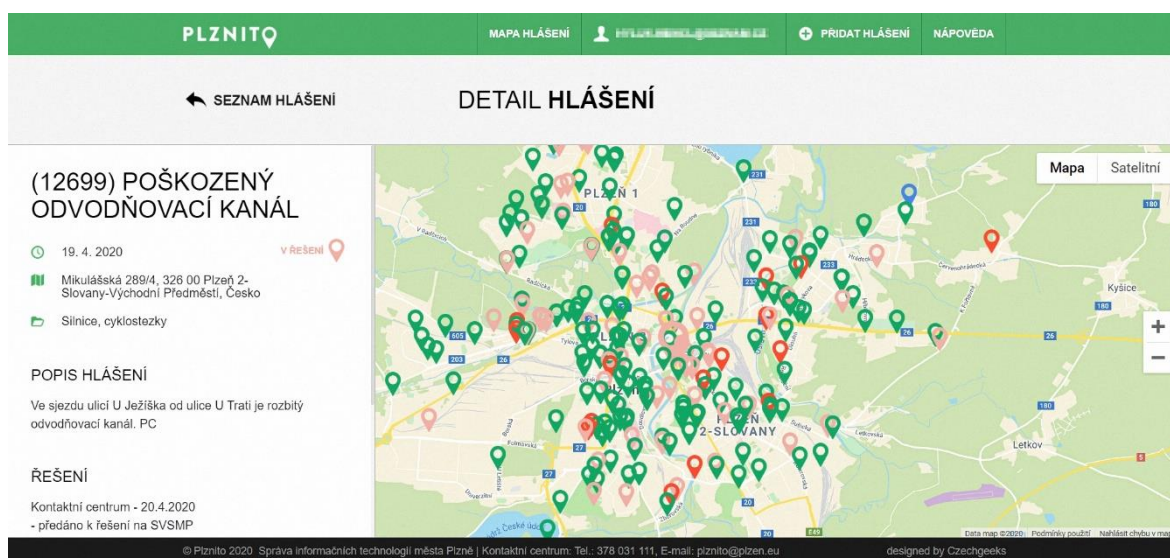
Pojem smart city představuje návrh strategického řízení města, resp. obce či regionu, při němž jsou pro ovlivňování kvality života v dané lokalitě využívány moderní technologie a zároveň je kladen důraz na „tvrdé“ i „měkké“ aspekty řízení života ve městě a na soulad „šedé“ a „zelené“ infrastruktury města. V rámci strategického řízení dochází k součinnosti mezi veřejnými službami a dalšími aktivitami, které jsou stěžejní pro fungování města – zejména energetiky, dopravy, logistiky, bezpečnosti atd. [1]

Smart city je patrný ve čtyřech úrovních:

- **organizace a plánování** – užití informační technologie umožňuje získání a zpracování potřebných dat
- **komunitní život** – elektronické informační systémy zprostředkovávají bezprostřední komunikaci mezi vedením města a občany, což vedení města umožňuje získávat potřebné informace a zpětnou vazbu od občanů
- **infrastruktura** – „inteligentní“ řízení dopravy, energetiky, městských služeb a budov pomocí informačních a komunikačních technologií. S touto úrovní jsou velmi úzce spjaty pojmy IoT a síť 5G
- **výsledná kvalita života a atraktivita města** – jde o konečný cíl zavádění konceptu smart city. Vzhledem k tomu, že je tato úroveň v mnoha ohledech subjektivní, je obtížně měřitelná. [1]

Plzeňský koncept smart city prolíná všechny 4 úrovně, přičemž na úrovni organizace a plánování se jedná o projekt Open data, kde jsou shromažďována data o provozu, chodu a fungování města a jeho organizací. Tato data slouží k dalšímu zpracování za účelem organizace a plánování a jsou dostupná veřejnosti na webové stránce <https://opendata.plzen.eu/>. Podobný projekt nese název Tuta, kde jsou shromažďována data, která slouží jako ukazatele pro porovnání s jinými městy (v oblasti dopravy, sociálního a životního prostředí, územního rozvoje atd.) a jsou dostupná na stránce <https://tuta.plzen.eu/>. Tato data mají pak obdobné využití jako v předchozím projektu. Dalším projektem patřícím do této úrovně je Duet, v rámci kterého bude vytvořen 3D model Plzně, jenž bude sloužit k modelování provozních stavů města, krizových scénářů a dále pak usnadní studie urbanismu a územní plánování. Tento model by měl být dokončen v roce 2020. [24]

V oblasti komunitního života si Plzeň vůbec nevede špatně, neboť bylo již realizováno několik projektů (Plzni To, Elektronický Portál Občana, aplikace Záchranka). Nejzajímavějším a hojně využívaným občany je projekt Plzni To, který je založen na zasílání podnětů občanů k závadám na městském majetku, úklidu nepořádku a černých skládek. Součástí je jak webové rozhraní <http://www.plzni.to/>, tak i mobilní aplikace Plzni.To. V rámci hlášení závady uživatel aplikace napíše stručný popis, udělá fotku a zašle polohu závady (v rámci mobilní aplikace je poloha zaznamenána automaticky). Závada a její proces řešení je pak vidět na mapovém podkladu. [24]



Obrázek 1.1 – Náhled do webového rozhraní Plzni To (ke dni 23.5.2020)

Také v oblasti infrastruktury jsou již na území Plzně implementována zařízení smart city prvků, a to zejména v oblasti dopravy. Tuto oblast, včetně aplikací v Plzni, více rozebírám v kapitole 2.2.

1.1 Internet věcí (IoT)

Internet věcí (IoT – Internet of Everything) je v podstatě soustava fyzických zařízení, která mají schopnost sbírat a vyměňovat si data prostřednictvím internetového rozhraní s malým nebo žádným lidským zásahem. Přístroje využívají vzájemné komunikace a strojového učení pro zjednodušení a zvýšení pohodlnosti lidského života pomocí správné kombinace efektivity a produktivity. Internet věcí může být využit jednak v osobním životě pro denně užívané předměty (kávovary, pračky, zámky dveří atd.), které můžeme vzdáleně

sledovat a ovládat pomocí mobilu, tabletu či počítače a dále pak ve veřejné sféře, kde IoT může být využit například v dopravě, energetice, k zajištění bezpečnosti atd. [2]

V praxi dnes již nalezneme nespočet zařízení pracujících přes internet s možností jejich dálkového ovládní, ale tato nespolutracují pod jednou technologií a společným protokolem, což je pointa internetu věcí.

Princip technologie – stejně jako každý jiný systém má internet věcí předdefinované kroky a komponenty, které jsou nutné pro zajištění funkce. Kompletní systém IoT se skládá ze čtyř odlišných součástí, jenž vzájemně interagují pro dosažení požadovaného výstupu. Jsou to:

- ***Věc nebo zařízení se senzory***

Slouží k získání dat z okolního prostředí, výstupem jsou pak data jako například geografická poloha, teplota, rychlost atd. Zařízení mohou používat více senzorů dohromady pro zajištění získání komplexních dat. Například mobilní telefon při svém provozu využívá nespočet senzorů, jako například luxmetr, gyroskop, akcelerometr atd. [2]


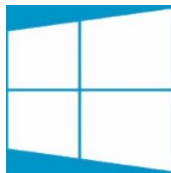

- ***Nástroje zajišťující konektivitu***

Shromážděná data jsou poté odesílána pomocí nástrojů, které umožní spojení s tzv. cloudem. Konektivita může být zajištěna kabelovým nebo bezdrátovým připojením. Kabelové připojení je běžně realizováno ethernetem nebo optickým připojením. Používaná bezdrátová připojení jsou potom zajišťována pomocí Bluetooth, Wi-Fi, LTE, atd. Volba připojení závisí na mobilitě zařízení a požadavku rychlosti přenosu dat. [3]

- ***Hardware pro zpracování dat***

Pod tímto si můžeme představit server, internetové úložiště (cloud), kde se data zpracovávají a analyzují v reálném čase. Tato data jsou poté přenesena do ***platformy (uživatelského rozhraní)***, která je již uživatelsky přívětivá, a díky vizuálnímu zpracování lze snadno analyzovat danou situaci. Na trhu je již mnoho platforem, ve kterých lze uživatelské prostředí vytvořit, kdy každá má své klady a zápory. [4]

Tabulka 1.1 – Přehled vybraných platforem

Platforma	Výhody	Nevýhody
Thingworx 8 IoT 	<ul style="list-style-type: none"> • Snadné návrhy interaktivního rozhraní • Snadná správa zařízení • Jednoduché řešení připojení 	<ul style="list-style-type: none"> • Špatná použitelnost vlastních programů v jazyce C# • Špatná správa složitějších systémů
Microsoft Azure IoT 	<ul style="list-style-type: none"> • Nabízí služby třetích stran • Bezpečnost • Dobrá dostupnost 	<ul style="list-style-type: none"> • Složitější správa • Cena
IoT Google Cloud 	<ul style="list-style-type: none"> • Rychlý vstup/výstup • Integrace s ostatními službami Google 	<ul style="list-style-type: none"> • Spolupracuje jen s Google technologií • Omezená škála programovacích jazyků

Existují samozřejmě i „open source“ platformy nabízené zdarma (Thinger.io, Zetta.js, Thingspeak, atd.). Právě open source platformu jsem využil pro realizaci IoT řešení dálkového měření spotřeby elektrické energie, která je v této diplomové práci stěžejní.

1.2 Síť 5G

Jak je již zmíněno v předchozí kapitole, základem IoT je připojení k internetu. Síť 5G, je novým telekomunikačním standardem, který je následníkem současné sítě 4G. Tato nová síť oproti předchozí síti nabízí spoustu výhod:

- **Zvýšení maximální rychlosti přenosu dat**

Špičkové datové rychlosti v jedné celulární buňce (určité území obsluhováno vysílačem a přijímačem) mohou dosáhnout až 20 Gbit/s při stahování a 10 Gbit/s při nahrávání, což je razantní skok oproti dosahovaným rychlostem u sítě 4G. Pro uživatele je tedy tato rychlost nedosažitelná, pokud nejsou jedinými uživateli v buňce. V praxi uživatel dosáhne rychlosti stahování až 100 Mbit/s a rychlosti nahrávání 50 Mbit/s.

- ***Snížení latence***

Znamená snížení doby potřebné pro přenos dat z jednoho bodu do druhého. U sítě 5G může být dosaženo hodnoty 1 ms.

- ***Úspora energie***

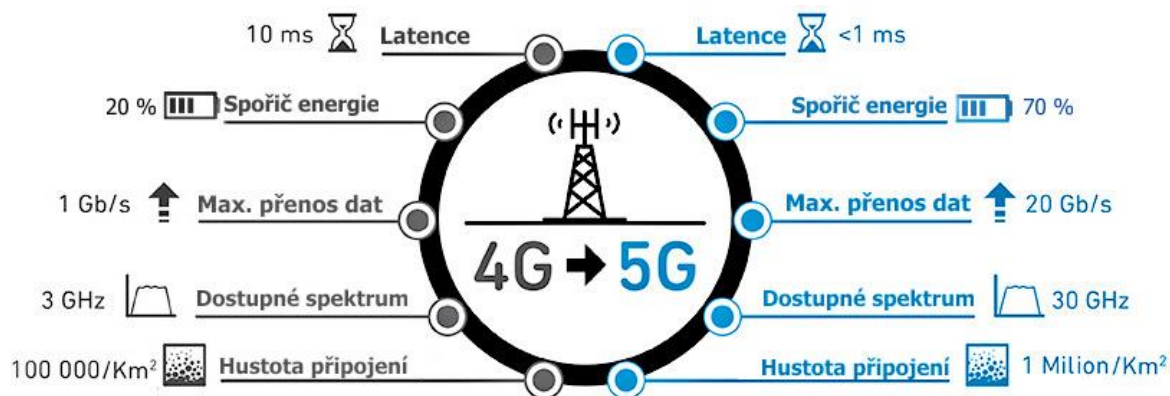
Rádiová rozhraní v případě menšího vytížení rychle přecházejí do nízkoenergetického režimu.

- ***Větší spektrální účinnost***

Je klíčový faktor komunikačních sítí. Jedná se o optimalizované využití šířky pásma pro maximální přenos dat s minimální chybovostí.

- ***Nárůst hustoty připojení***

Počet připojených zařízení na 1 km² může dosáhnout až 1 milion. [5] [6]



Obrázek 1.2 – Porovnání sítí 4G a 5G (převzato z [5] a upraveno)

2 Smart city aplikace v infrastruktuře

2.1 Doprava

Vlivem velké koncentrace lidí ve městech je velká hustota provozu, která je doprovázena zácpami i za normálních okolností. Přidejme k tomu dopravní nehody nebo nutné opravy komunikací a všichni víme, jak nepříjemná cesta skrze město může být. Dalším problémem ve městech je nedostatek parkovacích míst, kdy při hledání místa k zaparkování můžeme strávit i několik desítek minut. Moderní technologie nám mohou na základě získání dat z provozu a následné optimalizace dopravy v reálném čase tyto nepříjemnosti alespoň z části odstranit.

Dalším problémem hustoty dopravy je produkovaný hluk a tvorba lokálních emisí. Tento problém může být vyřešen nahrazením aut se spalovacími motory za elektromobily, které svým provozem tvoří oproti spalovacím automobilům jen zlomek lokálních emisí (víření prachu, ořez pneumatik, vznik prachových částic vlivem brzdění).

2.1.1 Inteligentní řízení dopravy

Pro efektivní řízení dopravy za normálních okolností je nutné znát kritické body v dopravní síti a dále pak přibližně predikovat jejich vytížení v závislosti na čase. Poté pomocí senzorů umístěných ve vozovce a v jejím okolí lze získávat data a díky tomu řídit dopravní tok křižovatky pomocí řízení světelných signálů na samotné křižovatce. Efektivního řízení dopravy pak dosáhneme soustavou po sobě jdoucích světelných křižovatek pracujících s touto technologií.

Druhy senzorů používaných pro chytré křižovatky se na základě jejich umístění rozdělují do dvou skupin, a to intruzivní (umístěné ve vozovce) a neintruzivní (umístěné mimo vozovku).

Intruzivní senzory můžeme dále dělit na základě principu technologie:

- **Induktivní**

Tato čidla jsou tvořena vodivými smyčkami umístěnými ve vozovce. Tyto smyčky jsou napájeny střídavým proudem o frekvencích mezi 10 – 200 kHz. Smyčky generují magnetické pole, které je průjezdem vozidla oslabeno, protože vozidla jsou tvořena z velké

části plechy a železnými odlitky, ve kterých se vytvoří vířivé proudy a v jejich důsledku se magnetické pole oslabí. Oslabení magnetického pole změní hodnotu impedance a tato změna je detekována řídicí elektronikou. [7]

- **Magnetické**

Tyto senzory využívají snímání magnetického pole Země, kdy při průjezdu vozidla je snímané pole narušeno. Elektronika pak toto narušení detekuje a na základě úrovně šumu lze definovat velikost vozidla a dokonce i jeho rychlost. [8]

- **Pneumatické**

Jsou tvořeny trubkami umístěnými na povrchu vozovky. Na rozdíl od předchozích dvou principů je tato technologie kontaktní. Trubky pracují při konstantním tlaku, a když dojde k přejezdu vozidla, tlak v trubce se zvýší a toto zvýšení převede pneumatický senzor na elektrický signál. [8]

Neintruzivní senzory také využívají různých technologií:

- **VIP (video image procesor)**

Jedná se o soustavu videokamer, jejichž obraz je zpracováván počítačem. Počítač je vybavený algoritmy pro interpretaci obrázků do technických dat. Touto technologií jsme schopni získat velké objemy dat o hustotě provozu, avšak nevýhodou této technologie je špatná funkce při nepříznivých podmínkách, kdy je rapidně snížena viditelnost. [8]

- **Radarové**

Skládají se z akčního členu a přijímače, kdy akční člen produkuje nízkenergetické mikrovlnné záření do detekční zóny. Projíždějící vozidlo poté odráží mikrovlny, které jsou zachyceny přijímačem. Nevýhoda této technologie spočívá ve vysoké citlivosti na elektromagnetické rušení. [8]

- **Infračervené**

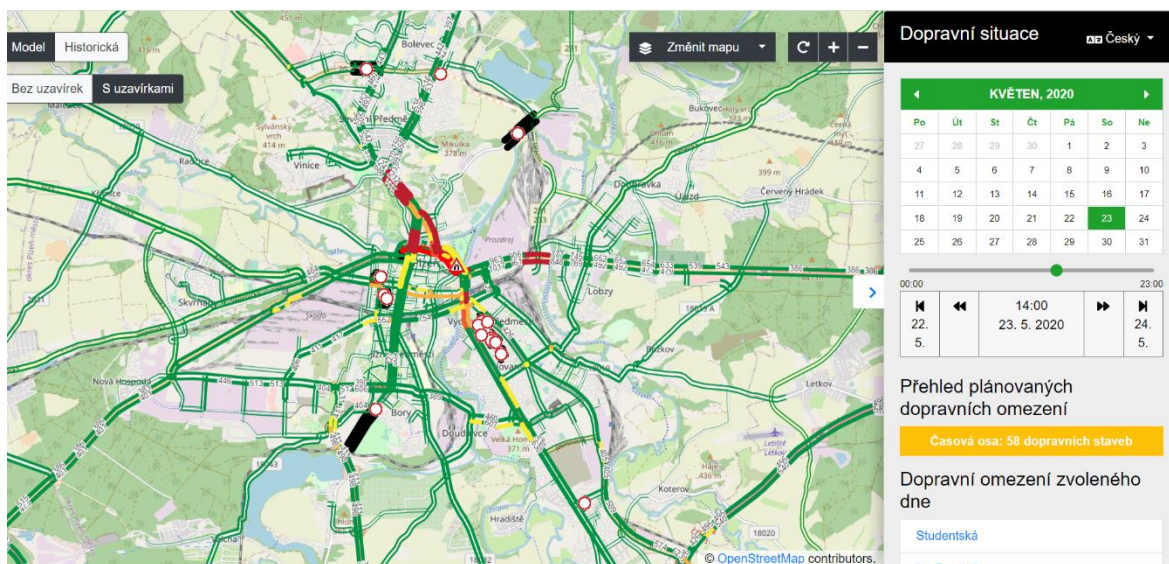
Tyto senzory jsou dále rozděleny do 2 kategorií. **Pasivní (PIR)** detekující infračervené záření ve svém koridoru na základě faktu, že každý objekt s teplotou nad absolutní nulu vyzařuje teplo ve formě záření. **Aktivní (AIR)** využívají světelné nebo laserové diody, které emitují lidským okem neviditelné infračervené záření, které je pak odráženo od objektů pohybujících se v místě, kam je vyzařováno. Tento odraz je pak zachycen přijímačem infračerveného záření a převeden na elektrický signál. [8]

Po zpracování signálů z výše uvedených senzorů jsme schopni získat informace o aktuálním dění v oblasti křižovatek. Tato data jsou pak vyhodnocena algoritmem, který

v závislosti na aktuálním dění nastaví intervaly světelných signálů. Takto vybavené křižovatky mohou dále usnadnit průjezd vozidel IZS, kdy na základě aktuální polohy vozidel jsou světelné signály upraveny pro jejich hladký průjezd. Získaná data mohou být pak dále využita pro model simulující situace v dopravě, kdy je některá z městských komunikací zcela uzavřena nebo je na ní provoz omezen.

2.1.2 Model Intenzity dopravy v Plzni

V Plzni jsou výše uvedené aplikace realizovány v rámci evropského projektu PoliVis, přičemž v dopravní infrastruktuře je umístěno již přes tisíc dopravních detektorů. Zpracovaná data jsou k dispozici na internetových stránkách <https://plzen.trafficmodeller.com/>, kde můžeme vidět zpracované informace o uzavírkách, omezeních a hustotě provozu každou celou hodinu. Výbornou vlastností tohoto modelu je možnost podívat se na předpokládanou hustotu provozu v budoucnosti, a to s ohledem na aktuální uzavírky, a na základě toho si naplánovat vhodnou objízdnu trasu. Tento mapový projekt je v Plzni od roku 2017, kdy navázal na projekt Open Transport Net z roku 2016, takže lze předpokládat dostatečnou přesnost predikce s ohledem na dobu, po kterou jsou data sbírána. [24]



Obrázek 2.1 – Náhled do webového rozhraní plzeňského modelu dopravy

2.1.3 Chytrá parkoviště

Využívají podobné senzory jako tomu je v případě chytrých křižovatek. Dalším nezbytným prvkem chytrých parkovišť jsou informační tabule nebo navigační systém, který

může být doplněn o mobilní aplikaci. Doplňkem pak může být flexibilní platební systém, který má pomáhat ulevit nejvytíženějším lokalitám.

V okolí Plzně můžeme tyto technologie nalézt v Smart City Polygonu u Třemošné nebo v podzemních garážích v nákupním centru Olympia Plzeň. Tato parkoviště pak využívají pro svou funkci odlišných principů.

Chytré parkoviště Smart City Polygonu – detekci obsazenosti místa zde obstarává kombinace kamerového systému a indukčních čidel umístěných pod povrchem parkovacího místa. Po vpuštění do areálu je řidič informován velkou informativní tabulí, která mu řekne, jaké místo je pro něj vyhrazeno. Místa jsou pak na povrchu opatřena „puky“ s LED osvětlením, které mění barvu dle aktuálního stavu.

Podzemní parkoviště OC Olympia Plzeň – obsazenost místa zde hlídá jen kamerový systém, ale je jím opatřeno každé parkovací místo. Nad parkovacími místy je umístěna světelná signalizace, která mění barvu dle aktuálního stavu. Řidič je zde při vjezdu informován o počtu volných parkovacích míst každé řady a při vjezdu do ní se může orientovat světelnými signály, které svítí dle aktuálního stavu obsazenosti (zelená = volno, červená = obsazeno).



Obrázek 2.2 – Navigace řidičů podzemního parkoviště Olympia Plzeň

2.1.4 Hromadná doprava

Velké metropole jako Singapur nebo Barcelona již do své infrastruktury úspěšně aplikovaly inteligentní hromadnou dopravu a podílí se dále na jejím vývoji. Některé smart city prvky jsou používány i v českých městech, včetně Plzně. [9]

Níže budou popsány některé technologie, které jsou v tomto odvětví prezentovány jako „smart“.

- ***Sdílená mobilita***

Sdílená mobilita umožňuje uživatelům získat krátkodobý přístup k různým druhům dopravních prostředků. V praxi se jedná hlavně o sdílené automobily. Existuje také pojem „sdílená mikromobilita“, která zahrnuje sdílení kol, koloběžek, segway. V Plzni je již sdílená mobilita zavedena v podobě sdílených automobilů – Karkulka, které zaštiťují Plzeňské městské dopravní podniky. Dalším sdíleným dopravním prostředkem jsou v Plzni koloběžky, které zaštiťuje Západočeská univerzita. Dalším příkladem sdílené mikromobility aplikované v praxi jsou elektrické koloběžky, kdy nejznámějšími provozovateli jsou společnosti Lime a Bird.

- ***Digitální informační prostředky***

Mohou být v podobě informačních tabulí na zastávkách nebo jako mobilní aplikace, které jsou obyvatelům snadno přístupné a poskytují rychlý přehled o spojích (jízdní řád, aktuální poloha spoje, zpoždění či výskyt problémů na trase).

- ***Elektronické platby jízdného***

Zjednodušují a zrychlují odbavení cestujících. Platby mohou být realizovány prostřednictvím mobilních telefonů, platebních karet nebo přímo kartami poskytovanými dopravními podniky.

- ***Autonomní vozidla***

Jinými slovy vozidla bez řidiče. Tato vozidla získávají kvanta dat ze soustavy senzorů, která jsou následně zpracovávána složitými algoritmy. V některých městech již autonomní soupravy jezdí. V Kodani, Dubaji, Šanghaji atd. se jedná o autonomní metro. Složitější aplikací autonomního provozu jsou pak oblasti, které se potýkají s jinými účastníky provozu, avšak i v tomto směru již bylo dosaženo úspěchů při realizaci mnoha testů v reálných podmínkách. Automobilka Volvo se angažuje ve vývoji autonomních autobusů, které testovala v singapurské dopravě. Mezi další automobilky vyvíjející autonomní autobusy patří Scania a Iveco. Na dobré cestě jsou pak i autonomní minibusy s kapacitou 10 osob.

Tento rok mají být komerčně využity minibusy nazývané se Gacha, a to v ulicích Helsinek. [10]



Obrázek 2.3 – Minibus Gacha (převzato z [11])

2.2 Elektromobilita

Elektromobilitu jako takovou můžeme zařadit do smart city aplikací v oblasti dopravy, ale jelikož je toto téma úzce spjato i s následujícími kapitolami 2, 3 a 4, rozhodl jsem se pro větší přehlednost a lepší uvedení do tématu ji rozvinout ve vlastní podkapitole.

Elektromobilita je definována jako použití elektrických vozidel v dopravě, původně se tato definice týkala všech dopravních prostředků poháněných elektřinou (vlak, trolejbusy, metro, automobily). Dnes se ale slovo „elektromobilita“ pojí hlavně s automobilovým průmyslem.

Automobily, které využívají elektrického pohonu, se rozdělují do více skupin:

- **Hybrid**

Pro svou jízdu využívá hlavně spalovací motor, ale je zde umístěn i elektromotor, který spalovací motor doplňuje.

- **Plug-in hybrid**

Vozidlo pro svůj pohon používá kombinaci elektrického a spalovacího motoru. Elektrický pohon je napájen z baterií, které se primárně dobíjí prostřednictvím elektrické sítě.

- **Bateriové elektrické vozy**

Tyto vozy již neobsahují žádný spalovací motor, tudíž pro napájení pohonného ústrojí jsou odkázány na energii uloženou v bateriích, kterou externě doplňujeme z elektrické sítě.

- **Elektrické vozy s rozšiřovačem dojezdu**

Vozy tohoto typu jsou velmi podobné bateriovým elektrickým vozům. Vozy jsou v tomto případě doplněny o malý spalovací agregát pro pohon generátoru elektrické energie. Vyrobená energie pak může být uložena v bateriích nebo částečně pokrývat aktuální spotřebu pohonného ústrojí.

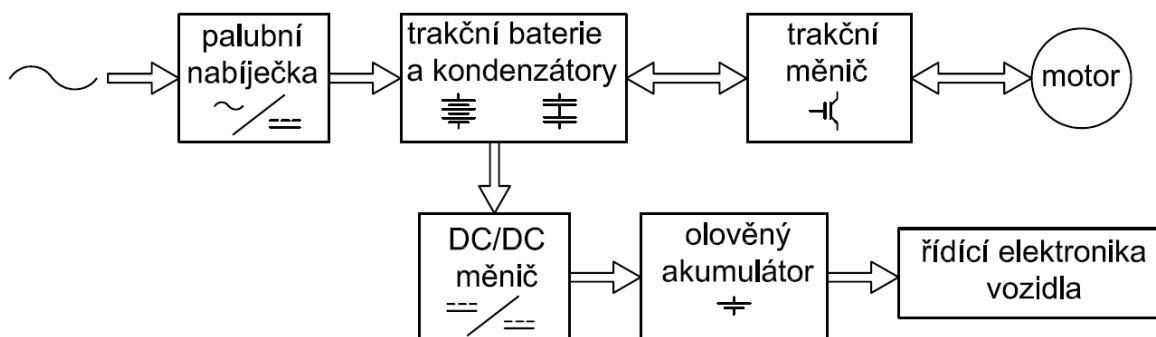
- **Vozidla s palivovým článkem**

Tento typ vozů pracuje na principu elektrolýzy vodíku a kyslíku v palivových článcích, kdy je při této reakci získávána elektrická energie pro baterii.

V rámci této diplomové práce se zaměřím hlavně na bateriové elektrické vozy, které tvoří stále větší část nově prodaných vozů. V roce 2019 to bylo již 2,2% z celkového počtu prodaných vozidel. Důvody, proč se elektromobily těší stále větší popularitě, jsou zejména klesající cena, rostoucí dojezd, za splnění určitých podmínek i velká ekonomičnost provozu, rostoucí síť dobíjecích stanic atd.[12]

Hlavní části bateriových vozidel jsou:

- **Palubní nabíječka**
- **Akumulační ústrojí**
- **DC-DC měnič**
- **Řídící jednotka vozidla**
- **Výkonová elektronika**
- **Elektromotory**



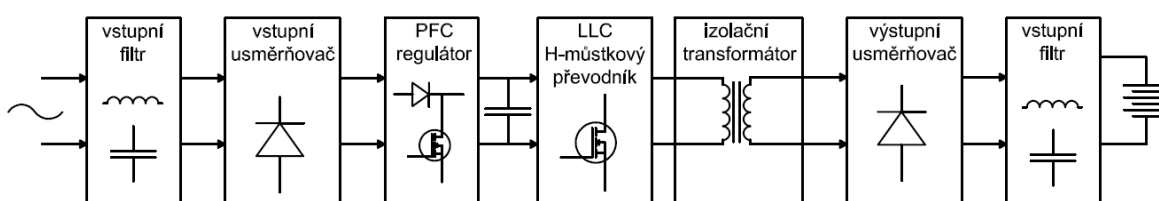
Obrázek 2.4 – Schéma hlavních částí elektromobilu

2.2.1 Popis hlavních částí elektromobilu

Palubní nabíječka OBC (on-board charger)

Palubní nabíječka je ve své podstatě usměrňovač převádějící střídavý proud na stejnosměrný, kterým následně nabíjí trakční baterii. Na tyto nabíječky jsou kladeny vysoké nároky, protože značným způsobem ovlivňují dobu nabíjení vozidla. Palubní nabíječky zpravidla můžeme rozdělit dle výkonové úrovně 3,7 kW, 7,4 kW, 11 kW a 22 kW.

Většina palubních nabíječek je pak navržena koncepcí, jako je uvedeno na obrázku 5. Pokud by se jednalo o varianty 11 a 22 kW, které pracují se 3 fázemi, schéma by se rozšířilo o další 2 paralelní větve skládající se ze stejných bloků. Tyto 3 větve by pak měly společný vstupní a výstupní filtr.



Obrázek 2.5 – Schéma palubní nabíječky

- **Vstupní/výstupní filtr**

Obsahuje tlumivku, která je navržena tak, aby filtrovala všechny interferenční vazby. Dalším komponentem je kondenzátor, který potlačuje šum.

- **Vstupní usměrňovač**

Obsahuje diody v zapojení Graetzovo můstku pro usměrnění vstupního signálu.

- **PFC regulátor**

Je složen z kondenzátorů s vysokou kapacitou pro korekci účinníku. Dalším komponentem je tlumivka, která vyhlazuje kolísání síťového napětí a reguluje odběr proudu. Posledním článkem PFC regulátoru je spínaný článek, který je schopen měnit okamžitou hodnotu proudu podle průběhu napětí.

- **DC-link kondenzátory**

Jsou speciální kondenzátory, které slouží jako výstupní filtr PFC regulátoru.

- **LLC H-můstkový převodník**

Je složen ze spínacích prvků pro vytvoření střídavého napětí, které je přivedeno do tzv. LLC obvodu. LLC obvod je složen z vhodné kombinace cívek a kondenzátorů tak, aby

hodnoty indukčností cívek, kapacity kondenzátorů a magnetizační indukčnost vinutí připojeného transformátoru tvořily jako celek rezonanční obvod. Takto naladěným obvodem lze dosahovat vysoké účinnosti. [20], [21]

Trakční baterie a kondenzátory

Trakční baterie je klíčová součást elektromobilů pro napájení hnacího ústrojí. Bohužel její kapacita a délka nabíjení není jediným limitujícím faktorem elektromobilů. Další neblahý fakt je, že tyto baterie s rostoucím počtem nabíjecích cyklů a průběhem času degradují, což zapříčiní snížení maximálního dojezdu. Životnost baterie je ovšem také značně ovlivněna počínáním uživatele, který může degradaci zpomalit, pokud baterii bude používat hlavně v rozmezí od 20% - 80% nabití a dále pak častějším využíváním pomalého dobíjení.

Druhy trakčních baterií používaných v elektromobilech:

- **Lithium-iontová baterie**

Je nejběžnějším typem baterií používaných v elektrických vozidlech, ale také ve většině přenosné elektroniky jako jsou mobilní telefony, hodinky, notebooky atd. Důvod je prostý – vysoká energetická hustota, která dosahuje až 280 Wh/kg. Právě hmotnost je jedním z faktorů, který se zásadně podílí na celkové spotřebě elektromobilu. Další výhodou je nižší rychlost „samovybíjení“, takže si déle udrží dodanou energii. V neposlední řadě je zde fakt, že tyto baterie jsou recyklovatelné, čímž se snižuje ekologický dopad. [17]

- **Nikl-metal hydridové baterie**

Jsou často používány v hybridních nebo plug-in hybridních vozidlech, protože tato vozidla nejsou odkázána jen na energii uloženou v bateriích. Výhodou těchto baterií je oproti lithiovým jejich delší životnost. Tyto baterie jsou bohužel velmi drahé a neuchovají si dodanou energii tak dlouho jako lithiové baterie. Dále pak generují značné teplo při nabíjení/vybíjení, a proto pro plně elektrická vozidla nejsou zcela vhodnou volbou. [17]

Druhy superkondenzátorů používaných v elektromobilech:

- **EDLC (electrochemichal double layer capacitor) - elektrochemické dvojvrstvé kondenzátory**

Pracují na principu elektrochemické dvojvrstvy, která je schopna uchovávat elektrický náboj.

- **Pseudokondenzátory**

Jsou konstrukčně velmi blízké bateriím a využívají principu vratné chemické reakce. Elektrody jsou pokryty materiály, které jsou schopny vratně přijímat a vydávat ionty vodíku nebo lithia. [18]

Olověný akumulátor

Jedná se o standardní olověný akumulátor používaný v automobilech na fosilní palivo. Tento akumulátor, stejně jako u konvenčních automobilů, napájí řídicí jednotku, zábavný systém, topný/chladicí systém, elektrické stahování oken, světla atd. a je nabíjen z hlavní trakční baterie pomocí **DC/DC** převodníku. Vystává zde otázka, proč je tento akumulátor přítomen, když už je přítomen trakční akumulátor. Hlavním důvodem je oddělení trakčních obvodů od ostatních (pro trakci jsou užívány napěťové hladiny 300 – 400 V a automobilový průmysl je standardizován na 12 V). Z této skutečnosti vyplývá také finanční úspora, protože mohou být použity součástky z již vyráběných konvenčních vozidel. Dalším faktem je, že použití 12 V systému je mnohem bezpečnější.

Druhy olověných baterií používaných v elektromobilech:

- **Technologie AGM**

Baterie obsahuje sestavu kladných a záporných elektrod, které jsou od sebe navzájem odděleny tzv. separátorem (jde o netkanou tkaninu tvořenou ze skelných vláken, která je nasáklá elektrolytem). Tyto baterie jsou více vhodné pro použití v automobilech pro jejich menší vnitřní odpor. [19]

- **Technologie GEL**

Baterie také obsahuje sestavu kladných a záporných elektrod, přičemž rozdíl od předchozí technologie spočívá v tom, že elektrolyt je zde vázán v křemičitém gelu. [19]

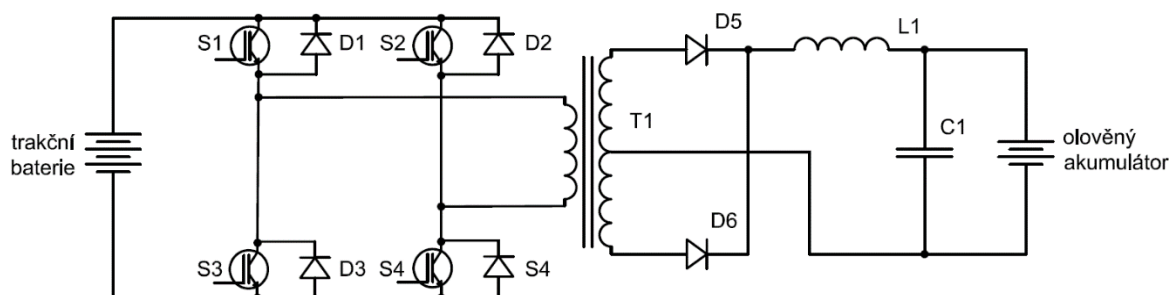
U obou těchto technologií se jedná o VRLA (valve-regulated lead-acid) akumulátor, což je akumulátor řízený ventilem. Tento ventil současně slouží i jako přetlaková pojistka, když se v akumulátoru nahromadí nadlimitní množství plynu. Obě tyto technologie mají společné výhody – nehrozí únik elektrolytu, jsou bezúdržbové a odolné proti otřesům, pracují na principu kyslíkové rekombinace. [19]

	lithium-iontové	nikl-metalové	olověné	superkondenzátory
dostupnost / nízká cena	✓	✗	✓	✗
účinná akumulace	✓	✓	✓	✓
teplotní odolnost	✓	✗	✗	✓
vysoká energetická hustota	✓	✓	✗	✗
dlouhá životnost	✓	✓	✗	✓

Obrázek 2.6 – Porovnání elektrických akumulátorů

DC / DC měnič

Jak jsem zmínil již v předchozí kapitole, DC/DC měnič je v elektromobilu přítomen pro dobíjení olověné baterie místo alternátoru. Existuje více druhů DC/DC měničů uplatnitelných v elektromobilech, jako například rezonanční, dvojčinný s kapacitním děličem a dvojčinný s plným můstkem. Poslední uvedený příklad je v současnosti nejvíce užívaným měničem, protože umožňuje přenos vyšších výkonů. [22]

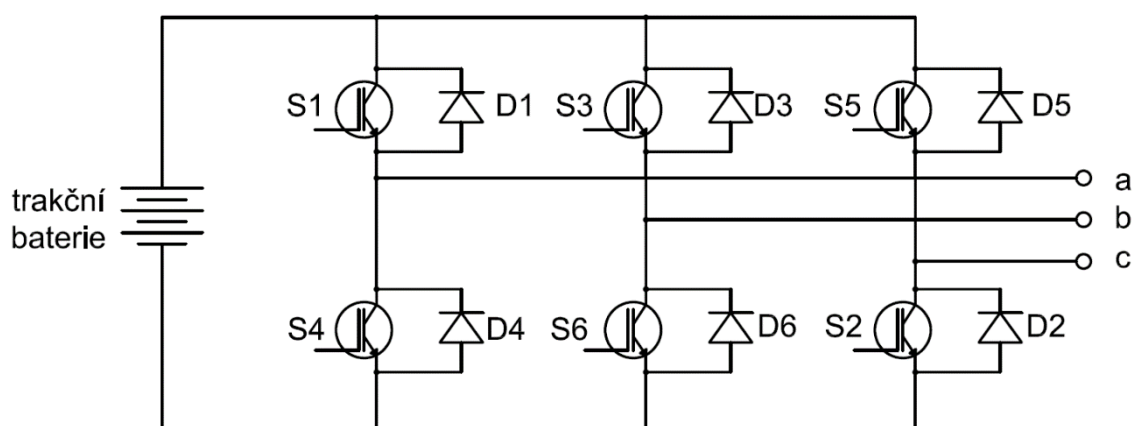


Obrázek 2.7 – Dvojčinný DC/DC měnič s plným můstkem [převzato z 11 a upraveno]

Tento měnič obsahuje 4 výkonové MOSFET tranzistory S1, S2, S3 a S4, jejichž spínání zajišťuje řídicí elektronika elektromobilu. Tyto tranzistory jsou pak antiparalelně zapojeny s diodami D1, D2, D3 a D4, které plní funkci přepětové ochrany. Dalším komponentem je zde transformátor T1 s vyvedeným středem, na jehož sekundární straně se nachází dvoucestný usměrňovač skládající se z usměrňovacích diod D5 a D6, filtrační cívky a kondenzátoru. [22]

Trakční měnič

V současnosti je tento blok nejčastěji tvořen třífázovým střídačem (obr 2.7) s IGBT tranzistory, které jsou řízeny řídicí elektronikou vozidla. K tranzistorům jsou antiparalelně připojeny zpětné diody, které umožňují usměrněný chod a odběr jalového výkonu zátěže. Z tohoto základního zapojení pak vychází vícefázové a víceúrovňové střídače, které vytváří na výstupu hladší průběh sinusoidy. Elektromobily obvykle obsahují jeden takový střídač (nebo jeho modifikace), ale pokud je vůz vybaven více elektromotory, jako je tomu u některých modelů Tesly, obsahuje více střídačů, pro každý motor jeden. [23]



Obrázek 2.8 – Třífázový střídač

Řídicí elektronika vozidla

Obvykle se jedná o síť řídicích jednotek, které jsou koordinovány centrální jednotkou. Každá řídicí jednotka má pak za úkol obsluhovat svůj modul, jako například DC/DC měnič, palubní nabíječku, trakční měnič atd. Centrální jednotka zpravidla zpracovává i povely řidiče (plynový pedál, brzdový pedál, řadicí páka atd.). Dále pak obsluhuje periferie vozu, jako jsou světla a klakson a komunikuje s ostatními systémy, a to klimatizací, zámky dveří, infotainment atd. Další podstatnou částí je pak komunikační sběrnice vozidla založená na standardu CAN (Control Area Network), která zajišťuje společnou komunikaci řídicích jednotek. Řídicí elektronika je svou stavbou podobná jako u vozidel na fosilní paliva, kde je standard CAN také použit. [23]

Elektromotor

Elektromotor pro automobilové aplikace by měl v zásadě splňovat vlastnosti jako je vysoký rozběhový moment, vysoký poměr výkon/velikost a dobrá účinnost. Současné

elektromobily jsou většinou vybaveny synchronním motorem s permanentními magnety (PMSM) nebo asynchronním motorem.

- ***PMSM motor***

Je nejčastěji využíván pro automobilový průmysl v oblasti elektromobility. Rotor obsahuje permanentní magnety, které jsou vyráběny pomocí slitiny kovů (neodym-železo-bóru a samarium-kobaltu) vyznačující se vysokou magnetizací. Stator je složen z plechů s drážkami, kde je uloženo třífázové vinutí, v němž je generováno magnetické pole, které je silově vázáno s magnetickým polem rotoru. Z principu tedy vyplývá, že se rotor otáčí stejnou rychlostí jako otáčivé magnetické pole statoru a otáčky jsou zde řízeny frekvencí na statorovém vinutí. [23]

- ***Asynchronní motor***

Díky skvělým vlastnostem a nízkým výrobním nákladům má v automobilovém průmyslu také své místo. Statorová konstrukce je shodná s předchozím případem. Rozdílná je zde konstrukce rotoru, který je realizován pomocí klecové kotvy vyrobené z mědi. Generováním statorového magnetického pole je v klecové kotvě indukováno napětí. Vzhledem k tomu, že je klecová kotva spojena nakrátko, protékají jí zkratové proudy, které generují magnetické pole, a v důsledku vzniká točivý moment. Podmínkou pro indukci napětí v rotoru je zde rozdílná frekvence statorového a rotorového magnetického pole. [23]

U tohoto typu motoru se složitěji regulují otáčky než v předchozím případě. Nejvýznamnějšími typy řízení jsou vektorové a přímé řízení momentu. [23]

2.2.2 Nabíjení elektromobilů v ČR

Dobíjení elektromobilů je vedle dojezdu elektromobilů velmi diskutabilní téma, a to hlavně co se týče času potřebného k nabití elektromobilů. Výrobci se snaží vyvíjet stále výkonnější nabíjecí stanice, které v ČR dosahují až 350 kW. Prozatím bohužel není na trhu vůz, který by takový výkon dokázal přijmout, a tak je výkon omezen na 175 kW. Zmiňovaný výkon jsou v současné nabídce elektromobilů zatím schopny přijmout jen elektromobily Audi e-tron a Tesla Model 3. Při takovém výkonu lze v přepočtu na kilometry získat až 770 km/h.

U nás je zatím síť veřejně dostupných nabíjecích stanic malá, čítá cca 400 nabíjecích stanic, nicméně společnosti se snaží toto číslo několikanásobně navýšit. Výstavbu nových

stanic bohužel velmi zdržuje současná stavební legislativa, která se má však do budoucna zjednodušit. Navzdory řídké síti veřejných stanic se u elektromobilu nabízí možnost nabíjení doma, a to z klasické zásuvky, průmyslové zásuvky nebo wallboxu.

Zmiňované veřejně dostupné nabíjecí stanice provozují na našem území majoritně společnosti ČEZ, E.ON a PRE, ale jsou zde i dobíjecí stanice provozované společnostmi Ionity, Tesla, Polyfazer atd. [12]



Obrázek 2.9 – Rychlonabíjecí stanice ČEZ v Domažlicích (ABB Terra CJT 54)

2.2.3 Možnosti nabíjení

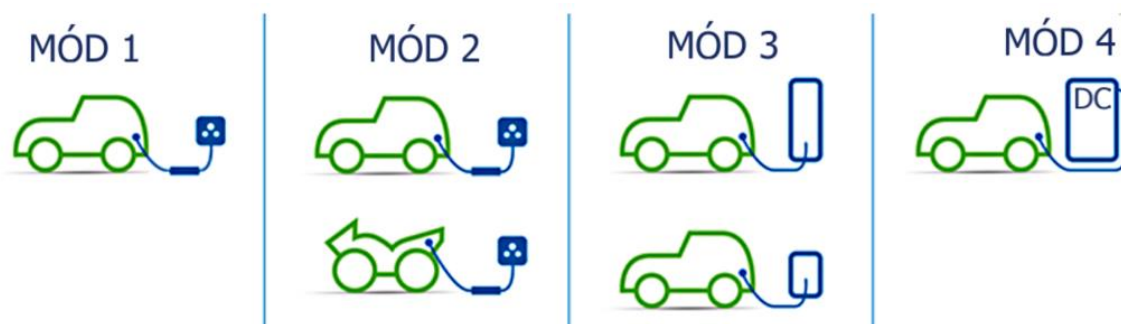
Nabíjet elektromobil lze standardně více způsoby, od obyčejné zásuvky až po rychlonabíjecí stanici. Existují však i pilotní projekty s pantografovým nebo bezdrátovým nabíjením. Vzhledem k tomu, že se v poslední době mění nabíjecí standardy velmi často, pokládám za důležité se v této kapitole jimi zabývat a udělat malý průzkum trhu a v pozdější kapitole přistoupit k návrhu nabíjecí infrastruktury s aktuálními daty.

Rozlišujeme 2 základní druhy nabíjení, a to střídavé (AC) a stejnosměrné (DC). Střídavé dobíjení se dále člení na jednofázové, dvoufázové a třífázové, zpravidla čím více fázový systém máme, tím větší je k dispozici nabíjecí výkon, a to až 22 kW.

Stejnoseměrné dobíjecí stanice se rozdělují dle poskytovaného výkonu, kdy od 25 kW do 50 kW se jedná o tzv. rychlonabíjecí stanice a nad toto rozmezí o ultra-rychlé nabíjecí stanice.

Výrobci elektromobilů obecně doporučují pokud možno nabíjet menším nabíjecím příkonem pro prodloužení životností baterií, protože při rychlém nabíjení se baterie silně zahřívá.



Připojení ke zdroji můžeme realizovat ve 4 módech. **Módem 1** (již se nepoužívá) se rozumí nabíjení ze standardní zásuvky 230 V maximálně proudem 16 A. V tomto režimu je ale přítomen pouze AC/DC převodník bez komunikačního rozhraní mezi vozidlem a nabíjecím kabelem. **Mód 2** je podobný předchozímu s rozdílem, že nabíjecí kabel je vybaven modulem s řídicí elektronikou pro zajištění komunikace, jistíci prvky pro bezpečnost nabíjení a spínacími prvky pro regulaci výkonu. **Mód 3** je již nabíjení pomocí nabíjecí stanice, která zastává funkci řídicího modulu z předchozího módu, samotná stanice zajišťuje komunikaci mezi vozidlem a stanicí. **Mód 4** je obdobný jako mód 3 s rozdílem, že se zde používá nabíjení stejnosměrným proudem. [14] [15]



Obrázek 2.10 – Graficky znázorněné nabíjecí módy (převzato z [15] a upraveno)

S dalšími odlišnostmi se můžeme setkat u použití různých typů konektorů pro AC či DC dobíjení.

Tabulka 2.1 – Konektory pro AC nabíjení (převzato [16] a upraveno)

Typ konektoru	Nabíjecí výkony	Zisk dojezdu/hodina	Charakteristika
 typ 1	3,7 kW 7 kW	20 km 40 km	<ul style="list-style-type: none"> • 5 pinů • Absence zamykání • Pouze jednofázové
 typ2	3,7 kW 7 kW 22 kW (3f)	20 km 40 km 120 km	<ul style="list-style-type: none"> • 7 pinů • zamykací mechanika • možnost využití 3 fází

Typ 1 se nazývá Yazaki konektor, který celkem obsahuje 5 pinů – 2 pro přenos AC napětí, 1 zemnicí, 1 kontrolní a 1 komunikační. **Typ 2** je nazýván Mennekes a obsahuje 7 pinů, kdy 4 slouží pro přenos AC napětí, 1 je zemnicí, 1 kontrolní a 1 komunikační.

Tabulka 2.2 – Konektory pro DC nabíjení (převzato [16] a upraveno)

Typ konektoru	Nabíjecí výkony	Zisk dojezdu/30 min.	Charakteristika
 ChAdeMO	až 50 kW	120 km	<ul style="list-style-type: none"> • 4 piny • Výskyt hlavně u japonských vozidel
 CCS (combined charging system)	50 kW 150 kW 350 kW	120 km 360 km 850 km	<ul style="list-style-type: none"> • 5 pinů • Nejvíce využívaný konektor
 typ 2	130 kW	290 km	<ul style="list-style-type: none"> • 7 pinů • Možnost nabíjení pouze u nabíječek Tesla

2.2.4 Ztráty při nabíjení

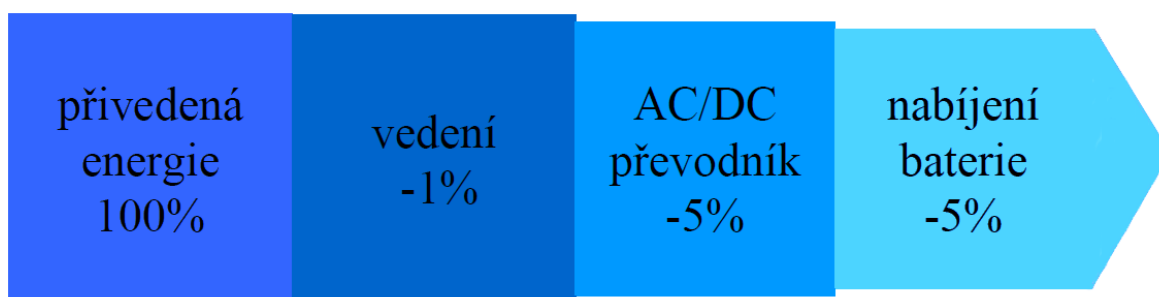
Při nabíjení se přenáší elektrická energie, což je spjato s výskytem ztrát, hlavně vlivem elektrického odporu. Zde hraje roli několik faktorů:

- *provedení elektroinstalace*
- *přenášený příkon*
- *kvalita AC/DC převodníku*
- *stáří a typ nabíjené baterie*

Při návrhu přívodu pro nabíjecí stanice je potřeba vzít v potaz průtoky proudů až 32 A v jedné fázi. Pokud se jedná o vybudování nabíjecí infrastruktury v rámci většího areálu,

stojí za uvážení navrhnout přívod o větším průřezu v blízkosti stanic a odtud připojit jednotlivé stanice předepsanými průřezy kabelů.

Se ztrátami na kabelech elektroinstalace úzce souvisí přenášený výkon, protože odporové ztráty rostou s druhou mocninou procházejícího proudu. Rychlonabíjení bude tedy logicky více ztrátové než pomalejší nabíjení. Dále pak s tímto souvisí ztráty přímo v bateriích, které se vlivem velkých nabíjecích proudů a vnitřního odporu zahřívají a musejí se tedy více chladit (zde můžeme jako ztrátu brát i vlastní spotřebu chladicí soustavy).



Obrázek 2.11 – Grafické znázornění ztrát při nabíjení

2.3 Energetika

V této oblasti se jedná hlavně o vývoj tzv. smart grids (inteligentních sítí). Rozumí se tím elektrická síť založená na digitálních technologiích, které jsou použity k dodávce elektřiny spotřebitelům prostřednictvím obousměrné digitální komunikace. Tento systém umožňuje monitoring, analýzu, řízení a komunikaci v rámci celé elektrické sítě, což pomáhá zlepšit účinnost, snížit spotřebu energie, náklady na provoz a maximalizovat spolehlivost celé soustavy.

Aplikace inteligentní sítě v sobě zahrnuje:

- **Výrobu**

Vzhledem k tomu, že obnovitelné zdroje zastávají stále větší část energetického mixu, bude nezbytné kvůli jejich nestabilitě rychle reagovat na změny výroby elektrické energie. Abychom se vyhnuli budování velkých energetických úložišť, musí být v síti zařízení, aby spotřeba s výrobou byla efektivně řízena. Díky obousměrné komunikaci mezi spotřebou a výrobou lze dosáhnout skvělé součinnosti decentralizovaných malých zdrojů. Tato skutečnost dává příležitost odběratelům vyrábět elektřinu z vlastních zdrojů a její přebytky prodávat do sítě. [25]

- ***Distribuci***

Umělá inteligence umožňuje elektrické sítě vzdáleně monitorovat a koordinovat její provoz (konfigurace přenosového vedení, rozvoden atd.) a provozovat ji v optimálním stavu pomocí automatických ovládacích prvků. Inteligentní síť také poskytuje možnost lokalizace poruch a následné konfigurace pro zajištění elektřiny pro co nejvíce odběrných míst. [25]

- ***Spotřebu***

Na straně spotřebitele se jedná o využívání spotřebičů s možností komunikace se sítí. Distributor by pak zasílal signály v době s volnou výrobní kapacitou, na které by spotřebiče reagovaly. Další výhodou je pak variabilní tvorba cenových tarifů, kdy odběratel má možnost díky inteligentním elektroměrům vidět grafy své spotřeby a na jejich základě přizpůsobit spotřebu tak, aby pro něj byly výdaje za elektřinu co nejvýhodnější. Tyto tarify by pak byly vhodně nastaveny tak, aby nedocházelo ke špičkovým zatížením v síti a výrobní kapacity byly efektivně využívány. [25]

2.3.1 Hlavní části inteligentní sítě

- ***Inteligentní spotřebiče***

Inteligentními spotřebiči se rozumí zařízení, která mohou být nastavena na předdefinovanou úroveň preferencí zákazníka a mají představu o tom, kdy spotřebovat energii a v jaké míře. Tato zařízení pak mohou snižovat faktory špičkového zatížení. V praxi se jedná hlavně o provoz spotřebičů jako je nabíjení elektromobilu, ohřev vody, dobítí baterií v domácnosti, praní prádla atd. [25]

- ***Inteligentní elektroměry***

Inteligentní elektroměry jsou v podstatě obousměrné komunikátory, které pomáhají vytvořit most mezi poskytovateli energie a konečnými spotřebiteli. Detekují výpadky elektrické energie a informují o tom datové centrum, automaticky zasílají fakturační údaje a díky tomu odpadá nutnost manuálního odečtu. Jak jsem již zmínil v předchozí kapitole, další výhodou je možnost vizualizace spotřeby zákazníkovi formou portálu naměřených dat a ten následně může optimalizovat svou spotřebu v době výhodnějšího tarifu. [25]

- ***Chytré elektrické stanice***

Chytré elektrické stanice jsou nedílnou součástí celé inteligentní sítě, protože plní řadu funkcí, jako je přenos energie, transformace napětí, distribuce a řízení toku energie. Vzhledem k tomu, že pro chytré sítě a obecně pro smart city aplikace je důležitá konektivita, byla vytvořena norma IEC 61850 (český ekvivalent je ČSN EN 61850), která stanovuje pravidla pro komunikaci mezi elektrickými přístroji ve stanicích a určuje požadavky, které

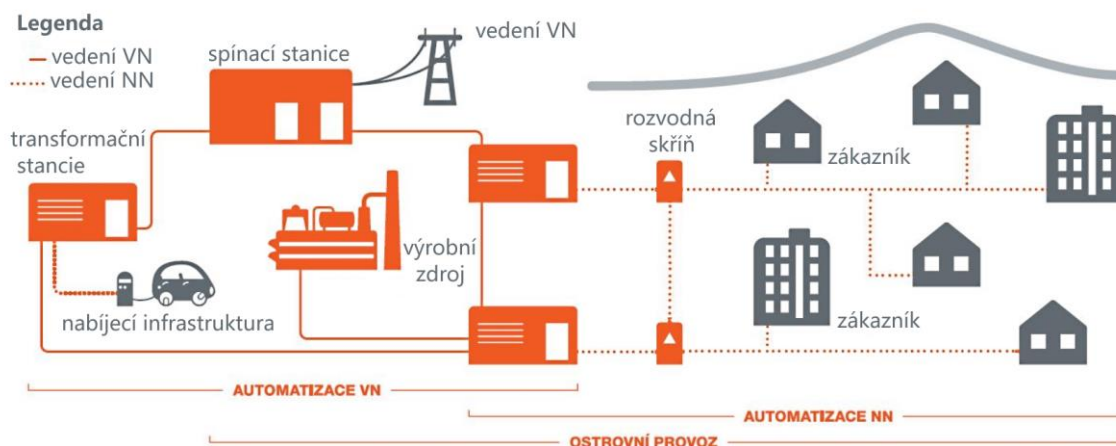
jsou na stanice a jejich zařízení z hlediska komunikace kladeny. [25]

V chytrých stanicích je využita výhradně jen digitální technologie a je zajištěna konektivita elektrických přístrojů od různých výrobců, jejichž konektivita splňuje výše uvedenou normu.

2.3.2 Aplikace na území ČR

První rozsáhlejší aplikace prvků smart grids se objevila v roce 2015 v rámci projektu Smart region Vrchlabí. V tomto projektu je posuzován vliv infrastruktury pro elektromobily na síť nízkého napětí a dále pak implementování technologií do elektrické sítě na hladinách NN a VN pro automatickou lokalizaci poruchy a zajištění co nejmenšího dopadu na odběrná místa v jejím důsledku. Dalším cílem je zajištění ostrovního provozu při výpadku s využitím lokálních zdrojů elektrické energie, kdy ve Vrchlabí jsou pro tento účel využity 3 kogenerační jednotky, které jsou schopny do sítě dodávat až 4 MW elektrické energie. [26]

Další aplikací inteligentní sítě, která byla realizována v rámci projektu Smart region Vrchlabí, byla instalace inteligentních elektroměrů, které jsou podstatnou součástí přeměny stávající sítě na inteligentní. [26]



Obrázek 2.12 – Koncept inteligentní sítě ve Vrchlabí (převzato z [26] a upraveno)

2.4 Bezpečnost

Příchod internetu věcí dává prostor i k vylepšení bezpečnostní úrovně ve městech. Tato oblast je v současnosti při smart city aplikacích podceňována, ale je to jedna z klíčových oblastí, neboť se podílí na celkovém výsledku kvality městského života. Smart city aplikace

v oblasti bezpečnosti nám pomáhají předejít nebezpečným situacím (inteligentní osvětlení, přechod pro chodce) či pomáhají na nebezpečné situace rychle reagovat (kamerový systém s vyhodnocením obrazu).

2.4.1 Chytré veřejné osvětlení

Veřejné osvětlení je nedílnou součástí měst a v souvislosti s aplikací smart city prvků si prochází velkou evolucí. Pomocí vhodně použitých senzorů a světelných technologií lze dosáhnout lepšího osvětlení ulic, ale paradoxně také značné úspory energie. Proti konvenčním pouličním lampám není veřejné osvětlení se smart city prvky ovládáno skupinově, ale jednotlivě a díky tomu lze světla tlumit nebo naopak zesilovat v místech, kde je zrovna potřeba. Dále pak je téměř bezúdržbové díky použití LED technologie a případnou poruchu dokáže samo nahlásit, což spoří nemalé náklady na údržbu.

Dnešní trh nabízí spoustu modifikací sloupů veřejného osvětlení, které jsou osazeny nejrůznějšími technologiemi:

- **čidla pro detekci pohybu** – pro automatické stmívání nebo zesilování světelného toku
- **senzory umožňující monitorování životního prostředí** – měření kvality ovzduší a intenzity hluku
- **kamery poskytující přehled o aktuálním dění v okolí** – mohou být vybaveny softwarem pro automatické upozornění na nestandardní situace (autonehoda, výtržnictví, krádeže atd.), případně pro počítání chodců nebo detekci mokré vozovky
- **Mikrofony** – obohacené o detekci inkriminovaných zvuků spojené s asociálním chováním, jako je například křik, výstřel, autoalarm nebo rozbití skla

Tyto technologie mohou navzájem interagovat a přizpůsobovat světelný tok aktuální situaci, případně nahrávat záznamy nebo dát popud k vyjetí IZS. [27]

Použití pouličních lamp s využitím některé z technologií můžeme v okolí Plzně nalézt v areálu Smart city polygonu u Třemošné a v rámci ČR v Dolních Břežanech, Hrusicích nebo Říčanech.

2.4.2 Přechod pro chodce s inteligentními prvky

V ČR je bohužel spousta přechodů pro chodce nedostatečně osvětlena. Pokud se k tomu přičtou nepříznivé povětrnostní podmínky, je téměř nemožné chodce zahlédnout včas. Dalším neblahým faktem je, že chodci nedbají zvýšené pozornosti při přecházení silnice, a to zejména v případech, kdy při chůzi používají mobil. Správnou kombinací využití vizuálních prvků a algoritmů lze riziku střetu chodců s automobily předejít.

Po světě můžeme aktuálně nalézt mnoho pilotních projektů, kdy jeden z nejsofistikovanějších je v Londýně. Tento přechod využívá vizuální vozovku s kombinací kamerového systému s umělou inteligencí. Systém využívá neuronových sítí pro zdokonalení svého algoritmu, aby co nejvíce splňoval požadavky na provoz v jeho lokaci.

Systém tohoto přechodu funguje tak, že je na chodníku vizualizován bod, kde smí chodec přejít komunikaci a kamerový systém následně vyhodnotí, zda se k přechodu neblíží rychle jedoucí automobil nebo nevzniká jiné pomyslné nebezpečí. Pokud chodec může bezpečně přejít komunikaci, zobrazí se na ní pruhy přechodu. Pro automobily a cyklisty je pak zobrazena čára, kde mají zastavit. Je zde ošetřena i situace, kdy cyklista nemůže přes stojící automobil chodce zahlédnout. V tomto případě jeho pruh jízdy a prostor pro zastavení zčervená. Na přecházení chodců mimo stanovený úsek systém reaguje červeným vyznačením jeho předchozí a následné trajektorie. [28]

V provozu se nejvíce vyskytují přechody, u kterých jsou umístěny dopravní značky, které reagují na přítomnost chodců a vizuálně řidiče na jejich přítomnost upozorní. V ČR jsou těchto přechodů desítky. V Plzeňském kraji se dle dostupných informací nachází pouze jeden, a to v rámci Smart city polygonu, který pro upozornění na přítomnost chodce nepoužívá dopravní značení, ale LED osvětlení umístěné ve vozovce. LED osvětlení svítí zeleně, když není přítomen žádný chodec a bliká červeně, pokud je v okolí přechodu detekován pohyb.

2.4.3 Inteligentní kamerový systém

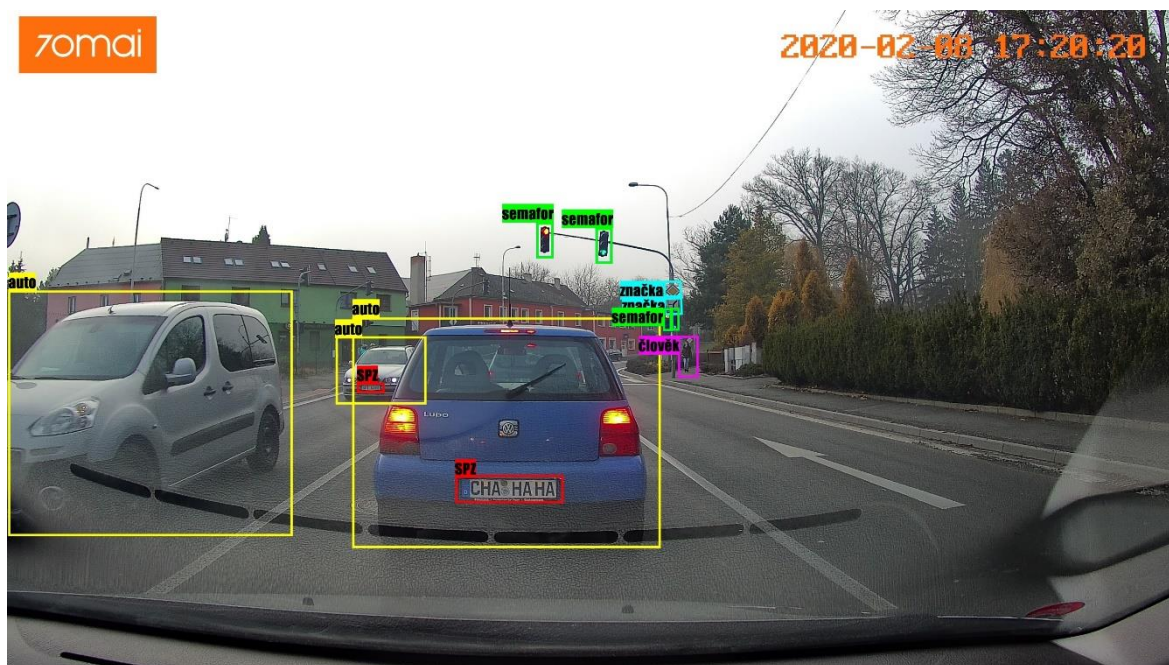
Liší se od běžného kamerového systému schopností automaticky analyzovat sled událostí ve videu, čímž lze například detekovat podezřelé pohyby osob, nedodržování dopravních značek, náhlý výskyt plamenů a kouře, nehody automobilů atd. Tyto systémy

obvykle pracují s daty v reálném čase, kdy jsou detekovány objekty a jejich atributy. Proti konvenčním kamerovým systémům zde odpadá lidské omezení v podobě zpracování velkého množství dat.

Obraz může být zpracováván centrálně na serverech, které jsou obvykle umístěny v monitorovacích stanicích, nebo ho může zpracovat samotná kamera. Použitím kamer s vyhodnocovacím softwarem se méně zatíží servery a kamery lze při jejich větším počtu konfigurovat tak, aby data odesílaly jen při podezřelých událostech. [29]

Základní činnosti pro analýzu obrazu jsou:

- **klasifikace obrazu** – nastavení systému pro rozpoznávání předem definovaných objektů dle příslušné sady kategorií (člověk, auto, kolo, motocykl, semafor, značka)
- **lokalizace** – nalezení objektu v obrazu a vymezení jeho oblasti rámečkem
- **detekce** – porovnávání lokalizovaného objektu se sadou kategorií a jeho definice
- **identifikace objektu** – rozšířená činnost detekce, kde se blíže specifikuje objekt (například přečtení SPZ)
- **sledování objektu** – pozorování pohybu objektu, dokud se neztratí z dohledu [29]



Obrázek 2.13 – Ukázka analýzy obrazu v reálném čase

Na trhu jsou pro zpracování videa licencované softwary jako VI-System, Bosh IVA 4.0 nebo Scannera, ale existují také open source programy jako OpenCV, Luminoth a Detectron.

Dle dostupných informací se inteligentní kamery v Plzeňském kraji objevily již v roce 2018 v rámci Smart city polygonu u Třemošné a dále pak o rok později byla jedna kamera umístěna u pomníku „Díky, Ameriko!“. Právě kamera umístěná na nejexponovanějším prostranství v Plzni je schopna detekovat nežádoucí pohyb, shromažďování více osob, odložené zavazadlo nebo výtržnictví.

2.5 Ekologie

Neodmyslitelný vliv mají smart city aplikace i na oblast ekologie, kde je obecný trend na snižování emisí, efektivního využívání energií a redukci odpadu. O tomto faktu jsem se nepřímo zmínil již v předchozích kapitolách.

Jelikož následující kapitoly budou souviset s elektromobilitou, pokládám za vhodné v této kapitole objasnit, zda jsou elektromobily ekologičtější než konvenční automobily se spalovacími motory. Pro tyto účely se skvěle hodí výpočet uhlíkové stopy.

2.5.1 Výpočet uhlíkové stopy

Pojem uhlíková (ekologická) stopa je nepřímým ukazatelem zátěže životního prostředí. Její hodnota je vyjádřena v množství vyprodukovaného oxidu uhličitého (CO₂). Uhlíková stopa se v praxi počítá na různých úrovních, od výpočtu pro individuální výrobek až po výpočet na národní úrovni. Smart city technologie jsou nepřímo spjaté se snižováním emisí a hlavně v oblasti elektromobility je to ožehavé téma.

Výpočet uhlíkové stopy je náročná disciplína, neboť pro její stanovení je nutné znát velké množství činitelů, které s danou problematikou souvisí. Konkrétní výpočet pro automobily zahrnuje ekologickou náročnost výroby všech komponentů, jejich dopravu, montování, samotný provoz vozidla a jeho likvidaci. Dále se pak mohou do výpočtu zahrnovat nepřímí činitelé související s procesy výroby vozidla jako například vytápění výrobních závodů, spotřeba jídla zaměstnanců, jejich doprava do práce atd.

Pro výpočet uhlíkové stopy v rámci této diplomové práce jsem se rozhodl použít zjednodušený výpočet vycházející z dat automobilky Volkswagen, která vyjadřují přibližnou procentní ekologickou náročnost pro výrobu středního vozu zvlášť s benzínovým a zvlášť s naftovým motorem. Dále pak číselně uvádí množství vyprodukovaného CO₂ pro

výrobu modelu Golf s benzínovým motorem, kde výroba automobilu je vyčíslena na 1,890 tuny CO₂, těžba a zpracování surovin 2,512 tun CO₂, výroba pohonných hmot 1,991 tuny CO₂ a další údaj je o tom, že provoz automobilu za 150 000 km vyprodukuje 23,339 tun CO₂. Pro kontrolu jsem výpočty porovnal s daty, která uvádí automobilka Toyota, kde dle jejich studie je uhlíková stopa složena z 80% provozem vozidla, z 13,5% zpracovanými surovinami, včetně ropy, a pouhých 6,5% připadá na výrobu. [30] [31]

Tabulka 2.3 – Procentní výměra produkce CO₂ dle dat VW

	benzínová	naftová
Provoz vozidla	73,1%	70,0%
Výroba vozidla	8,4%	9,2%
Zpracování surovin	10,8%	12,6%
Zpracování ropy	7,7%	8,2%

Zde může překvapit menší hodnota emisí u diesellového motoru, což je dáno právě jeho menší spotřebou, ale naopak v produkci jedovatého CO a NO_x je na tom hůře.

Dále je potřeba vyčíslit ekologickou náročnost výroby 1 litru benzínu a nafty. Pro rafinaci ropy na výrobu litru benzínu je údajně potřeba 0,21 kWh a pro výrobu nafty 0,23 kWh elektrické energie. Pro přepočítání na produkci CO₂ jsem využil data pro energetický mix v ČR, kde na vyrobenou kWh připadá 0,52 kg CO₂. Výsledkem tedy je 0,109 kg CO₂ na litr benzínu a 0,127 kg CO₂ na litr nafty. [32]

Další emise spjatá s fosilními palivy je samotné spalování, kde spálený litr benzínu vyprodukuje 2,39 kg CO₂ a litr nafty 2,64 kg CO₂. [33]

Následně už stačí zjistit průměrnou spotřebu osobních automobilů s benzínovými a naftovými motory. Tento údaj jsem získal z jízdních testů 50 aut v reálných podmínkách, kde pro benzínové motory připadala průměrná spotřeba 7,5 l/100 km a pro naftové 6,5 l/100 km. Pro výpočet uhlíkové stopy jsem použil celkový nájezd automobilů 150 000 km, se kterým počítají i data samotného koncernu VW. Pro tento nájezd benzínová auta spálila 11 250 l benzínu a naftová 9 750 l nafty. [34]

Pro vyčíslení uhlíkové stopy elektromobilů je navíc potřeba znát ekologickou náročnost pro výrobu baterií. Tato hodnota je ale udávána ve velkém rozpětí, a to od 56 kg CO₂/kWh

pro výrobu v EU až po 200 kg CO₂/kWh pro velmi neekologickou výrobu v Číně. Pro stanovení hodnoty jsem použil hodnotu 110 CO₂/kWh, která byla udávána nejčastěji. [35]

Množství CO₂ pro výrobu elektromobilu jsem stanovil stejnou jako pro výrobu auta s benzínovým motorem s tím, že jsem připočetl ekologickou náročnost výroby baterií průměrné kapacity 40 kWh. Průměrnou spotřebu elektromobilů jsem stanovil na 20 kWh/100 km a uhlíková stopa spotřebované elektřiny je kalkulována pro energetický mix ČR.

Tabulka 2.4 – Výsledné množství vyprodukovaného CO₂

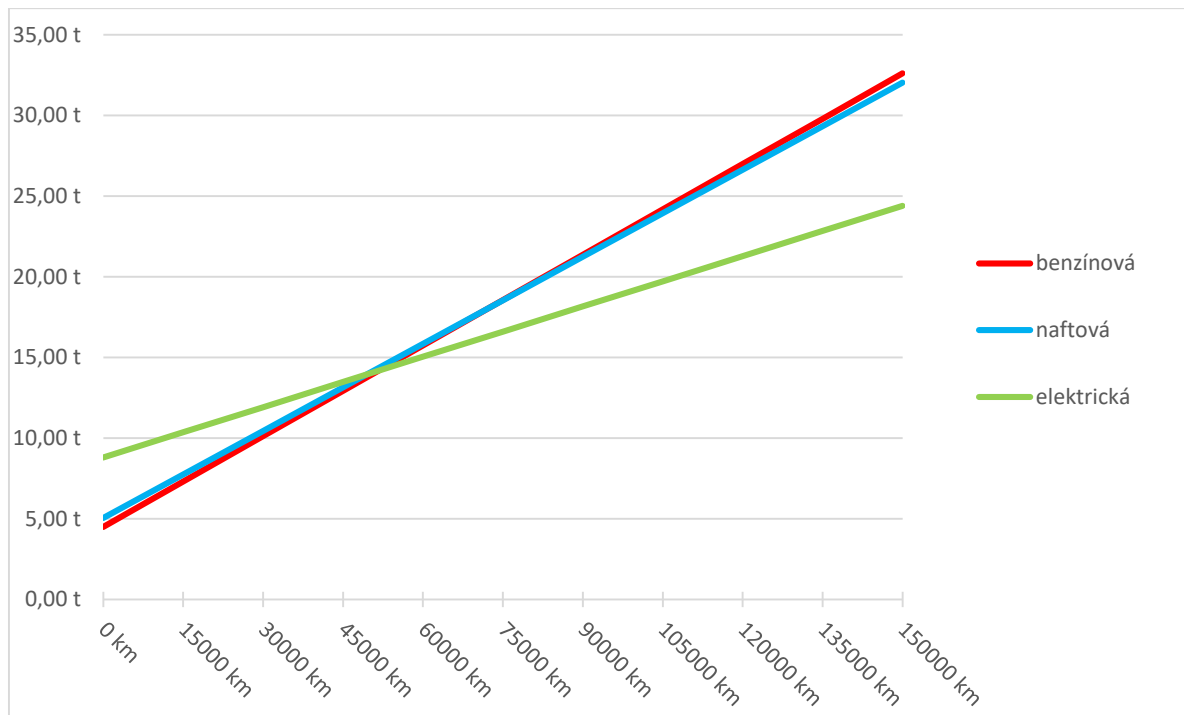
	benzínové	naftové	elektromobily
Provoz vozidla	26888 kg	25740 kg	0 kg
Výroba vozidla	1989 kg	2168 kg	6290 kg
Zpracování surovin	2512 kg	2888 kg	2512 kg
Využitá elektrická energie	1226 kg	1238 kg	15600 kg
Celkem	32615 kg	32034 kg	24402 kg

Výše uvedená tabulka poukazuje, že provoz elektromobilů je ekologičtější i v našich podmínkách o cca 25% po njetí 150 000 km. Ve výsledku ale není zahrnuta recyklace vozidla po konci životnosti, neboť takový údaj je značně individuální.



Obrázek 2.14 – Rozložení uhlíkové stopy na dílčí činitele

Z grafu je patrné, že u spalovacích vozidel je poměr složek celkové uhlíkové stopy téměř identický a největší podíl připadá právě na provoz vozidla. U elektrických vozidel jsou samozřejmě lokální emise nulové a využitá elektrická energie značně závisí na energetickém mixu. Tudíž výšečový graf elektromobilu provozovaného například v Norsku s vysokým podílem OZE v energetice by vypadal jinak.



Obrázek 2.15 – Množství vyprodukovaného CO₂ v závislosti na nájezdu vozidel

Z grafů můžeme vidět, že elektromobil začíná být ekologičtější již po nájezdu 50 000 km. Bod protnutí tedy velmi závisí na kapacitě baterií, kdy pro hrubý odhad tohoto bodu můžeme použít přibližné závislosti 1 kWh kapacity baterií = 1250 km nájezdu.

3 Ekonomický aspekt přechodu na elektromobilitu

Již v úvodu jsem zmínil, že bych rád objasnil, zda jsou elektromobily při svém provozu ekonomičtější než automobily se spalovacími motory. Je nesporné, že elektromobily mají v současné době svá omezení, a to menší dojezd a dobu nutnou k dobití baterií, nicméně rok od roku nabíjecí kapacity vzrůstají a je jen otázkou času, kdy bude doba nabíjení elektromobilu srovnatelná s tankováním paliva.

3.1 Ekonomický model přechodu na elektromobilitu

Pro lepší názornost jsem vytvořil v Microsoft Excelu ekonomický model pro 3 osobní a 4 užitkové automobily. Každý z těchto automobilů má svůj specifický provoz a údržbu, a tak lze model využít pouze pro tyto automobily. Po zadání klíčových parametrů jsou vykresleny grafy, podle kterých lze snadno určit, při jakém nájezdu začne být pro provozovatele elektromobil výhodnější.

V modelu slouží jako parametry:

- **Pořizovací cena**

Elektromobily jsou obecně dvakrát tak dražší než jejich spalovací dvojče. Například Hyundai KONA Electric je na trhu dostupný za 899 990 Kč vč. DPH a jeho spalovací protějšek je dostupný za 461 890 Kč vč. DPH. Je však třeba podotknout, že ve většině případů je výkon elektromobilů značně vyšší a disponují také lepší výbavou než nejlevnější nabízené modely se základní výbavou, které jsem použil pro porovnání.

- **Amortizace**

Jinými slovy ztráta hodnoty vozu. Tento parametr v modelu hraje významnou roli, protože pomáhá upravit průběh grafu tak, aby bylo již od začátku zřetelně vidět, jaký vůz se vyplatí provozovat. Pro stanovení amortizace jsem využil online kalkulačky na stránkách <http://www.eurogap.cz/kalkulace/>, kde na základě značky a modelu vozu lze stanovit amortizaci na 5 let. Vzhledem k tomu, že je model koncipován na 15 let, vycházel jsem z dostupných dat z několika nezávislých zdrojů, abych vyčíslil amortizaci na zbývající léta.

- **Spotřeba**

Spotřeba paliva u spalovacích vozidel se významným způsobem promítá do ročních výdajů. Vyčíslení spotřeby jsem provedl na základě analýzy dat z provozu těchto vozidel v intervalu 1 rok. U osobních elektrovozidel jsem spotřebu elektrické energie stanovoval dle

údajů ze stránky www.ev-database.org, kde lze nalézt skoro všechny osobní elektrovozy na trhu, včetně připravovaných konceptů, a jejich veškeré technické parametry. V databázi jsou udávány spotřeby dle staré evropské normy NEDC (new european driving cycle), dále pak dle nové přísnější normy WLTP (world harmonized light-duty vehicles test procedure), ale také spotřeby naměřené v různých podmínkách (chladné, teplé a mírné počasí).

Výslednou hodnotu spotřeby jsem získával z průměru při provozu v různých podmínkách, tedy dle vzorce

$$S_c = \frac{S_J + S_L + S_P + S_Z}{4} \quad (3.1)$$

kde S_c je celková spotřeba, S_J značí spotřebu na jaře a S_P spotřebu na podzim, kdy obecně panují nejvhodnější podmínky pro provoz elektromobilu. S_L je spotřeba v létě, zde jsem započítal provoz klimatizace. S_Z značí spotřebu v zimě, kdy naopak panují nejméně vhodné podmínky pro provoz elektromobilu (provoz topení, vyšší vnitřní odpor baterií). Takto vypočítaná spotřeba se od naměřené dle normy WLTP lišila jen mírně, takže lze říci, že testování dle WLTP mnohem více odpovídá provozu v reálných podmínkách než testování dle NEDC.

Jelikož na stránkách www.ev-database.org nenalezneme užítkové elektromobily, musel jsem použít spotřebu uváděnou dle normy WLTP, což však nemá na výsledek významný vliv, neboť tato spotřeba je velmi blízká reálné spotřebě. Někteří výrobci stále uvádějí pouze spotřebu dle NEDC, která však již od roku 2017 není platná. Dle technických údajů u mnoha vozidel, kde byly uvedeny obě hodnoty spotřeb, jsem si stanovil převodní činitel, se kterým lze přibližně stanovit ze spotřeby NEDC spotřebu WLTP.

$$S_{WLTP} = 1,31 \cdot S_{NEDC} \quad (3.2)$$

- **Cena elektrické energie za 1 kWh a cena za 1 l benzínu/nafty**

U velkoodběratelů se tato cena pohybuje pod 2 Kč/kWh, zatímco u maloodběratelů se cena výrazně odvíjí od poskytovaného tarifu, který se pohybuje od 4,5-5,5 Kč/kWh. Vzhledem k tomu, že se v mém případě jedná o velkoodběratele, nastavil jsem cenu na 1,3 Kč/kWh.

U cen fosilních paliv došlo vlivem koronavirové krize a obchodní války mezi Ruskem a zeměmi na Blízkém východě ke značnému poklesu. Pro mé výpočty jsem však použil ceny před touto krizí, neboť lze předpokládat, že v blízké době se ceny fosilních paliv vrátí na tuto úroveň – natural 95 25 Kč/l a diesel 24 Kč/l. Tyto ceny jsou stanoveny bez spotřební daně.

- **Roční nájezd automobilů**

Jak se ukázalo, ekonomická výhodnost velmi závisí na průměrném ročním nájezdu, tedy čím je vyšší nájezd auta, tím dříve začne být elektromobil ekonomicky výhodnější.

- **Servisní náklady**

Tento parametr je také velmi důležitý, ale je velice variabilní, protože závisí na mnoha faktorech. Pro můj model jsem využil data ze servisních plánů automobilů, ale ne vždy se mi je podařilo z dostupných zdrojů zjistit. Z tohoto důvodu jsem prošel značné množství fór, kde se majitelé vozidel, která jsou v modelu porovnávána, podělili o poznatky týkající se servisních intervalů a nákladů.

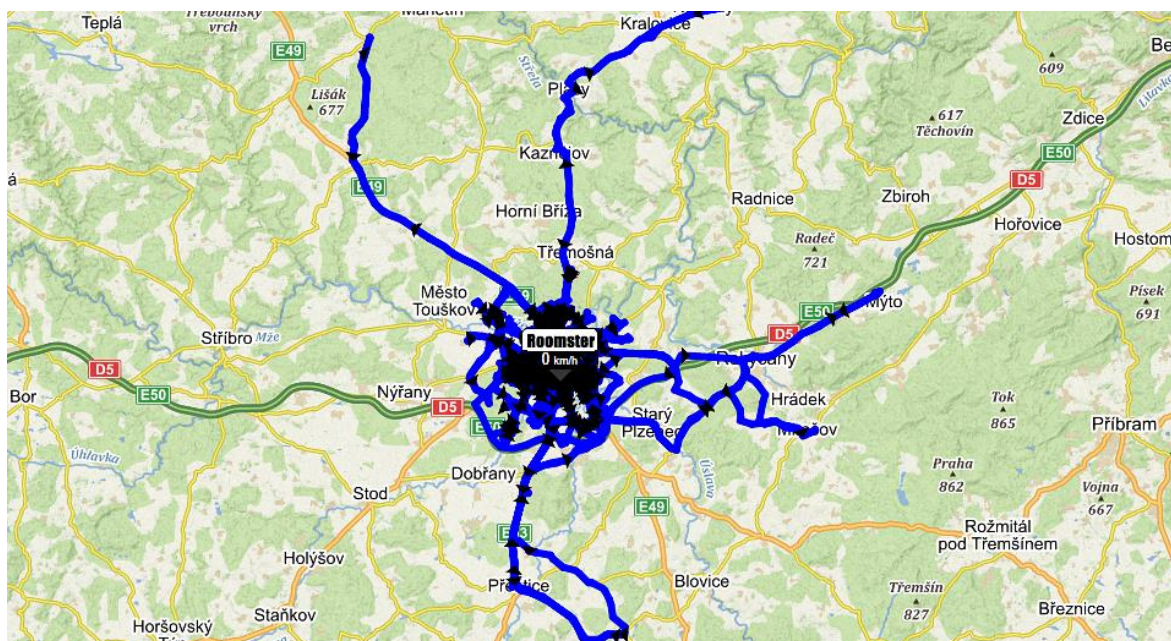
V modelu jsou pak náklady přičítány buď po dosažení určitého nájezdu, nebo po dosažení určité doby provozu. Jako provozní náklady jsem stanovil věci, které má automobil se spalovacím motorem oproti elektromobilu navíc a pro něž jsou stanoveny doby výměn. Mezi tyto patří motorový olej, palivový filtr, vzduchový filtr, klínový řemen, spojka, žhavicí/zážehové svíčky, rozvody a filtr pevných částic. K cenám za díly jsem dle dostupných ceníků stanovil ceny jednotlivých úkonů. Jednotnou cenu pro elektromobily a automobily se spalovacím motorem jsem zavedl za roční servis, kde jsou zahrnuty běžné úkony jako servisní prohlídka, výměna pneumatik, voda do ostřikovačů atd... Tuto jednotnou cenu navyšuji každý rok o určitá procenta (obecně se stářím vozu rostou výdaje), aby servisní náklady odpovídaly co nejvíce realitě.

- **Ztráty při nabíjení elektromobilů**

Jak jsem již nastínil v kapitole 2.2.4 o ztrátách při nabíjení, není všechna energie odebíraná ze sítě vlivem ztrát uložena v bateriích, ale je vyzářena v podobě ztrát. Účinnost nabíjení, která se v modelu promítá v podobě vyšší spotřeby elektrické energie, jsem tedy stanovil na 90%.

3.2 Výsledky ekonomického modelu u osobních vozů

Pro každé vozidlo se spalovacím motorem jsem měl k dispozici měsíční nájezd kilometrů a spotřebované litry paliva. Pro ověření, zda dojezd elektromobilů bude dostačující, i denní nájezd automobilů. Dále pak jsem vycházel z trajektorie elektromobilů, tedy zda se převážně pohybují ve městě nebo mimo něj. Na základě těchto údajů jsem přizpůsobil vstupní data pro elektromobily. Vzhledem k tomu, že bylo potřeba provést porovnání vozidel dle jejich specifického provozního režimu, je v rámci modelu pro každý vůz na fosilní palivo vytvořena samostatná tabulka a graf s možnými elektrickými alternativami.



Obrázek 3.1 – Roční trajektorie porovnávaného osobního automobilu

U osobních vozidel je již široká nabídka elektromobilů, proto jsem udělal průzkum trhu a vybral jsem vozidla, která jsou již nějakou dobu v nabídce. Tato jsem rozdělil do 3 skupin. Hlavní parametry vozidel jsem pak zpracoval do grafů, na jejichž základě jsem zúžil výběr na ta vozidla, které vycházejí z grafů dle parametrů nejlépe. Tyto elektromobily jsem poté implementoval do modelu. Grafy parametrů jsem nahrál na CD, které je přílohou této diplomové práce.

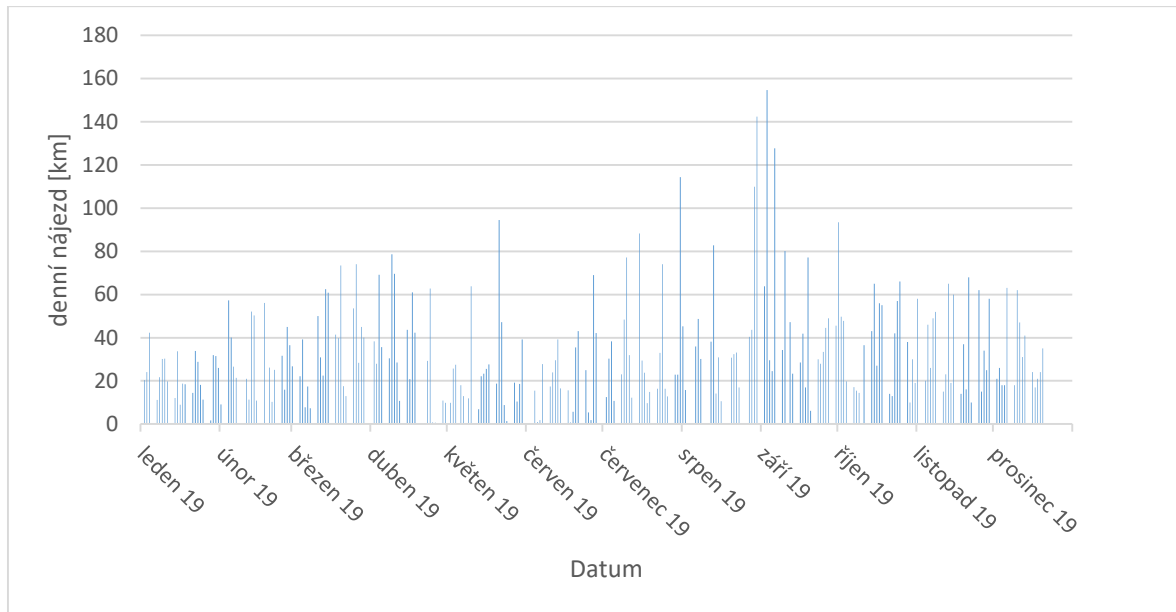
Tabulka 3.1 – Výběr osobních elektromobilů

	výkon [kW]	kap. baterií [kWh]	průměrná spotřeba [kWh/100 km]	průměrný dojezd [km]	cena [Kč]
Citroen C-Zero	47	14,5	19,3	125	488 000
Smart EQ forfour	60	16,7	23,3	130	579 000
Škoda CITIGOE iV	61	32,3	19,0	260	480 000
Peugeot e-208	100	50,0	19,0	340	811 000
Renault Zoe	80	55,0	19,3	395	835 000
Hyundai KONA Electric	150	64,0	19,1	449	900 000
Nissan Leaf	110	36,0	19,5	270	950 000
Volkswagen e-Golf	100	32,0	20,0	230	883 000
Audi e-tron 50 quattro	230	71,0	26,4	300	2 961 000
Tesla model 3 Long Range	330	75,0	18,8	560	1 426 000

Ve žlutých řádcích nalezneme malé vozy, v zelených střední vozy a modré řádky obsahují luxusní vozidla. Z malých vozů nejlépe vychází Škoda CITIGOE iV, ze středních vozů jsou to Hyundai KONA Electric a Renault Zoe a z luxusních vozů vyčnívá Tesla model 3 Long Range.

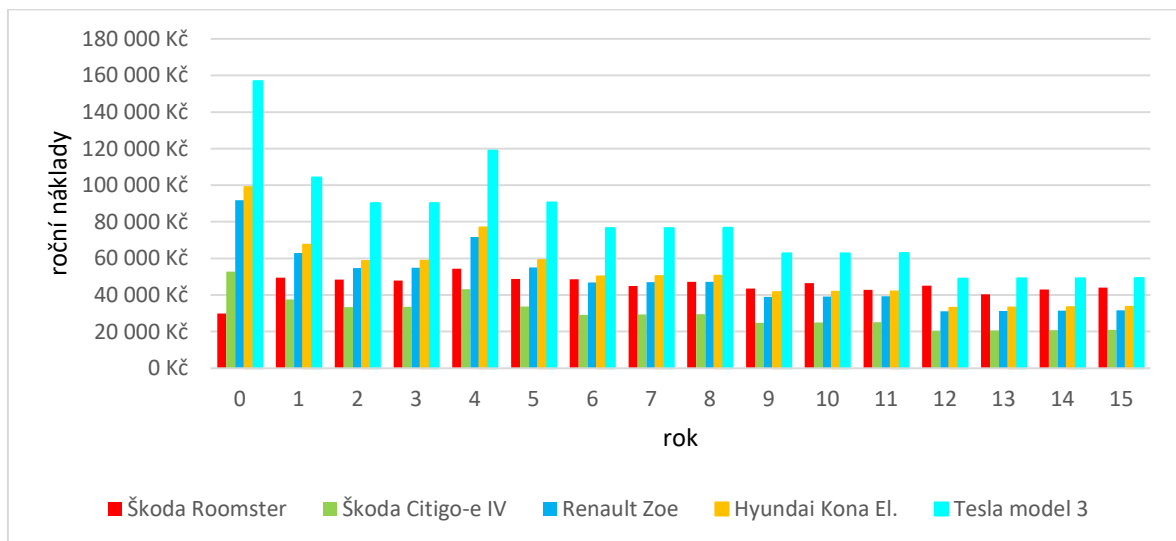
S těmito vozidly jsem poté pracoval v rámci vyhodnocovacího modelu, který je vzhledem ke své velikosti taktéž nahrán na příloženém CD.

V rámci této kapitoly uvedu pro ilustraci pouze výsledný graf automobilu, který vyšel z hlediska elektromobility nejlépe. Jedná se o automobil Škoda Roomster z roku 2008 s benzínovým motorem 1.4 63 kW a průměrným ročním nájezdem 10 881 km.



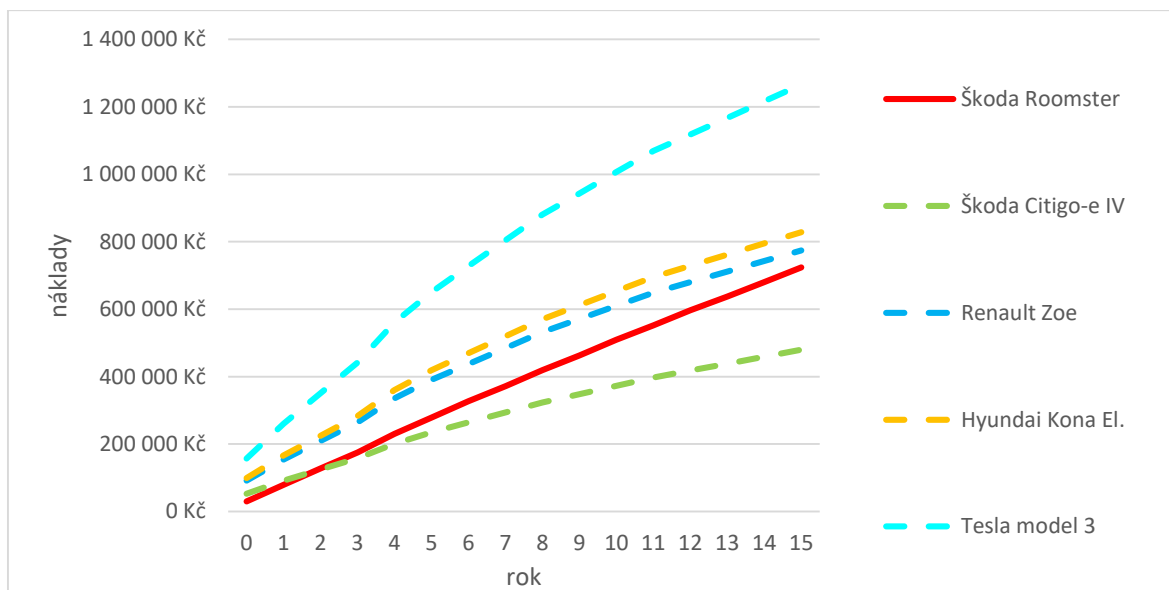
Obrázek 3.2 – Denní nájezdy za rok 2019 Škody Roomster

Denní nájezd přesahuje hranici 100 km jen velmi zřídka, což je zřejmé z obr. 3.2. Z tohoto plyne, že z vybraných elektromobilů lze zvolit všechny varianty, neboť omezený dojezd elektromobilů není v tomto případě limitujícím faktorem.



Obrázek 3.3 – Roční náklady na provoz osobních vozidel

Z obrázku 3.3 vyplývá, že provoz Škody Citigo IV je již od 1. roku z hlediska nákladů výhodnější přibližně o 10 000 Kč. Zde je názorně vidět vliv amortizace, která pořizovací částku rozloží do všech let provozu vozidla a je pak lépe zřejmé, jaký vůz je ekonomičtější.

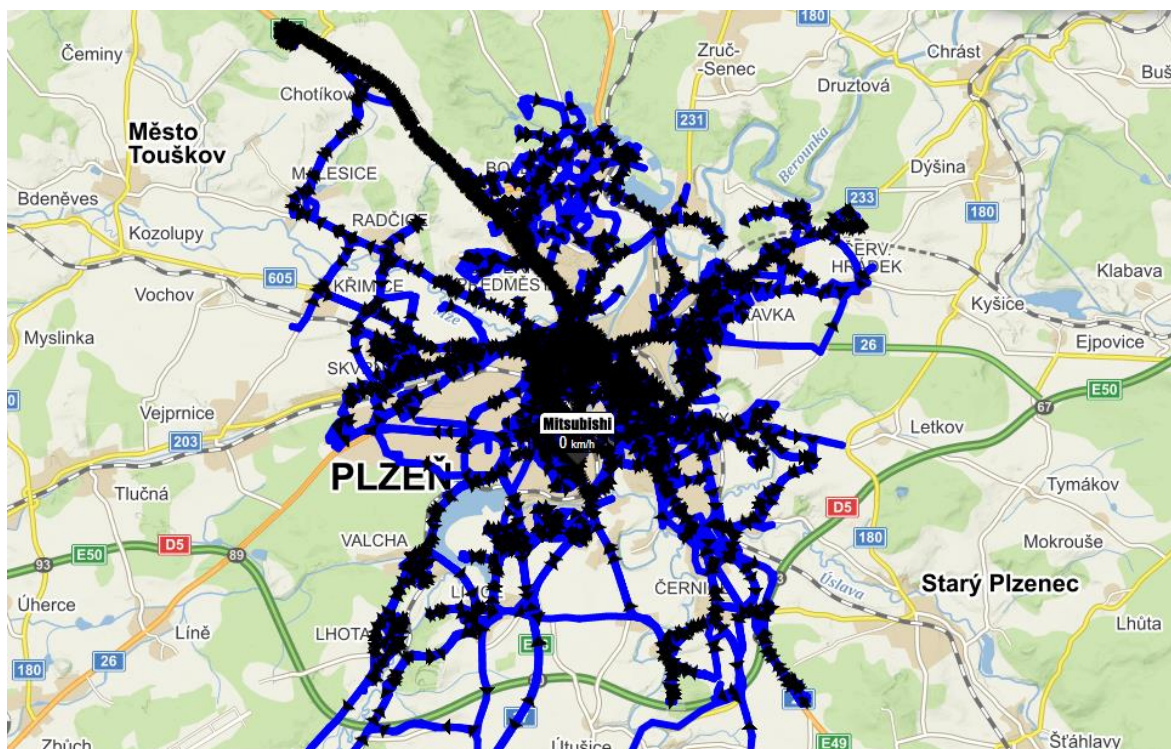


Obrázek 3.4 – Náklady na provoz osobních vozidel za 15 let

Obrázek 3.4 je vytvořen kumulativním součtem předchozího grafu, díky čemuž je pak názorně vidět bod průniku mezi křivkou Škoda Roomster a křivkou Škoda Citigo-e IV, tedy že při stejném provozu začíná být Škoda Citigo-e IV po 2 letech ekonomičtější.

3.3 Výsledky ekonomického modelu u užitkových vozů

V tomto případě jsem měl také k dispozici data jako v případě osobních automobilů, tedy měsíční/denní nájezdy, spotřeby paliva a jejich trajektorii (pohyb převážně ve městě nebo mimo něj).



Obrázek 3.5 – Roční trajektorie porovnávaného užitkového automobilu

Z obrázku 3.5 je zřejmé, že provoz automobilu je převážně městský a příměstský. V takovém jízdním režimu lze při použití elektromobilů předpokládat dobrou ekonomickou bilanci.

Trh s užitkovými elektromobily není bohužel ještě tak rozsáhlý, ale při průzkumu trhu jsem u mnoha modelů zjistil, že již za 1-2 roky půjdou do prodeje. Výběr užitkových elektromobilů jsem zúžil na aktuálně dostupné modely, přičemž jsem si dovolil zařadit i multikáry, které sice velikostně nejsou srovnatelné, ale jak nadcházející grafy ukazují, mohou se při zařazení do provozu značně vyplatit.

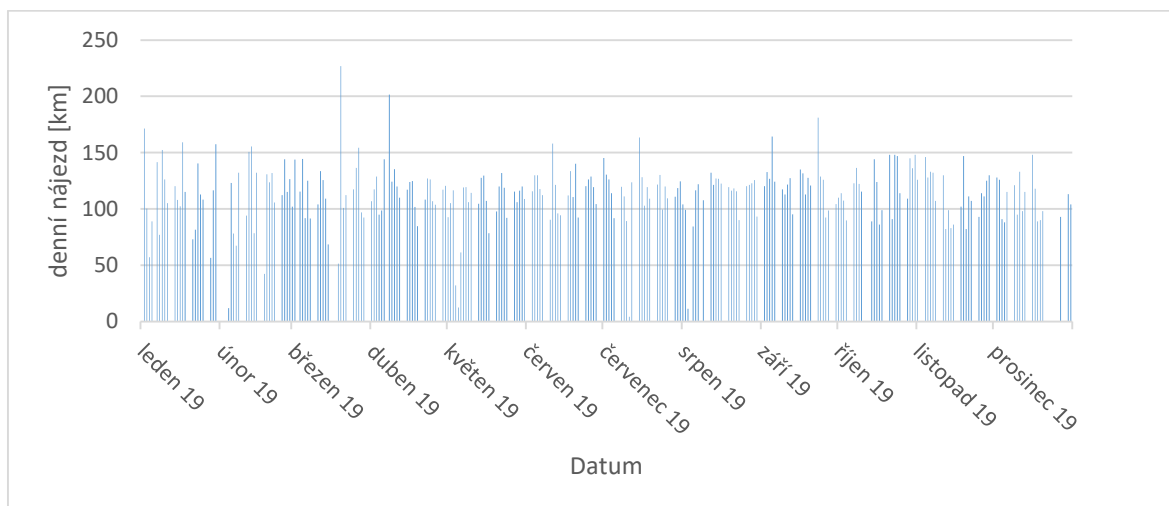
Tabulka 3.2 – Výběr užitkových elektromobilů

	výkon [kW]	kap. baterií [kWh]	průměrná spotřeba [kWh/100 km]	prům. dojezd [km]	cena [Kč]
Goupil G5	9	19,2	12,0	160	1 016 000
TPC CITY II	20	20,1	20,0	100	990 000
Alke	14	20,0	17,0	120	1 815 000
Selvo S2.DHC	5	10,0	13,0	75	450 000
Renault Master Z.E.	57	35,0	38,0	100	1 881 000
VW e-Crafter	100	35,8	27,0	130	1 560 000
Maxus EV80	100	56,0	38,6	145	1 330 000

V modrých řádcích jsou vypsané multikáry a v zelených středně velká užitková vozidla do 3,5 t. S průměrnými dojezdy jsou na tom oproti osobním elektromobilům podstatně hůře, a ne každý tedy splňuje požadavek na minimální denní dojezd, nicméně jsem se rozhodl i tyto elektromobily do modelu zahrnout, aby se ukázala jejich ekonomičnost provozu.

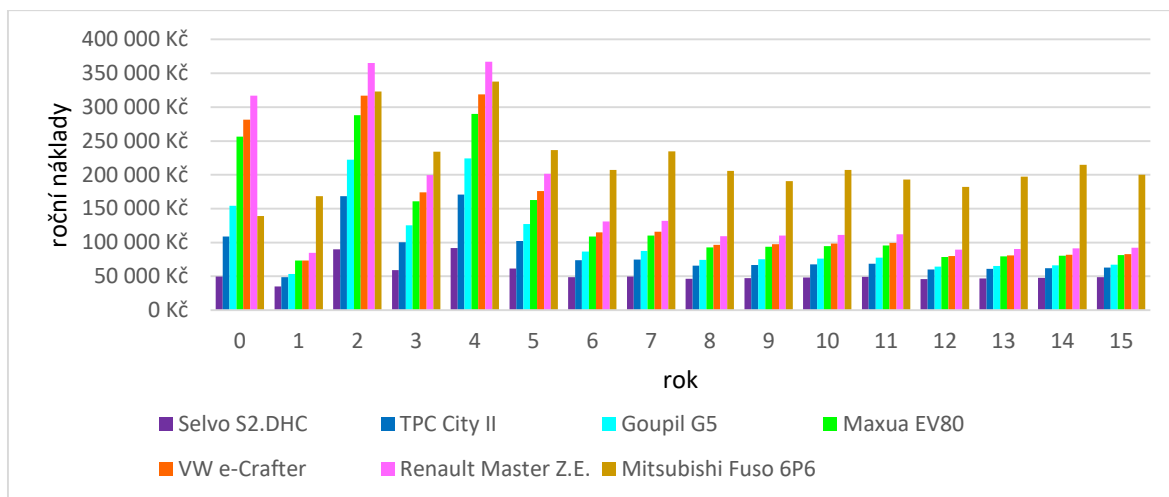
Postup vyhodnocení je podobný jako tomu bylo u osobních automobilů. Model je opět kvůli velkému rozsahu dat nahrán na CD a 1 tabulku výsledků pro automobil, který vyšel z hlediska elektromobility nejlépe, jsem vložil do přílohy A.

V rámci této kapitoly uvedu pouze výsledné grafy pro užitkový automobil Mitsubishi Fuso z roku 2015 s naftovým motorem 3.0 110 kW, který disponuje s průměrným ročním nájezdem 32 284 km.



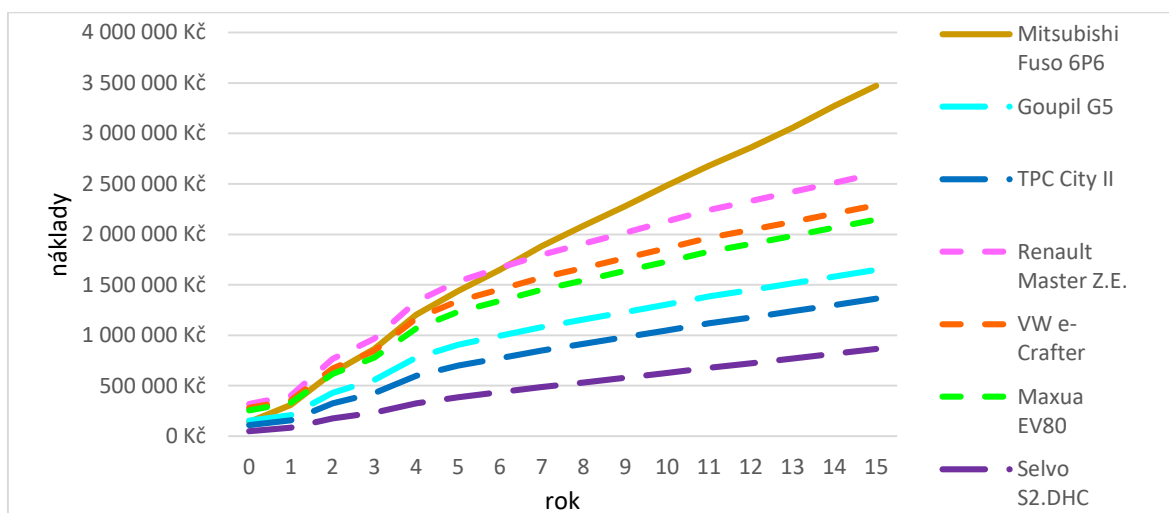
Obrázek 3.6– Denní nájezdy za rok 2019 Mitsubishi Fuso

Na obrázku 3.6 je vidět, že jízdní režim tohoto vozidla často přesahuje hodnotu nájezdu 120 km a tato hodnota by mohla být hlavním důvodem nemožnosti tento automobil zaměnit za jeho elektrickou náhradu.



Obrázek 3.7 – Roční náklady na provoz užitkových vozidel

Výše uvedený graf poukazuje na vysokou výhodnost použití multikár. Bohužel u Selvo S2.DHC a TPC City II hrozí již od začátku provozu, že při stejném režimu používání jako Mitsubishi Fuso, by nestačila kapacita baterií a paradoxně je tomu tak i u nejdražšího Renault Master Z.E, který je velikostně s Mitsubishi srovnatelný.



Obrázek 3.8 – Náklady na provoz užitkových vozidel za 15 let

Po kumulativním součtu nákladů z obrázku 3.8 vznikne výše uvedený graf, kde plnou čarou je vykresleno vozidlo se spalovacím motorem, kratším čárkováním jsou vykresleny velikostně srovnatelné elektromobily a delším čárkováním jsou vykresleny elektrické multikáry. Vzhledem k velké ekonomické výhodnosti použití některých elektromobilů je nutno podotknout, že ve většině případů by došlo vlivem degradace baterií k nedostatečnému dojezdu vozidla a musela by se upravit dosavadní logistika.

4 Dálkové měření spotřeby

Z předchozí kapitoly vyplývá, že dnes lze již elektromobily efektivně využívat. Další kapitoly budou směřovat k návrhu parametrického modelu, který bude schopen vykreslit odběrové diagramy v závislosti na požadovaném rozvrhu nabíjení. K sestavení takového modelu je potřeba znát odběrový diagram uvažovaného areálu, kde však může nastat problém, pokud má odběratel realizované měření na straně NN. Přesně takový případ nastal v mnou zvoleném areálu, a proto se zde přímo nabízí sestavit smart city prvek v podobě dálkového měření s možností vidět odběrový diagram online.

4.1 Zařízení pro online sledování spotřeby

4.1.1 Požadavky na zařízení

Měřicí zařízení muselo splnit požadavky v podobě bezkontaktního měření, možností montáže a demontáže bez omezení provozu v areálu a musel být zajištěn přístup k datům online po celou dobu měření. Dalším důležitým požadavkem byla pak cenová dostupnost.

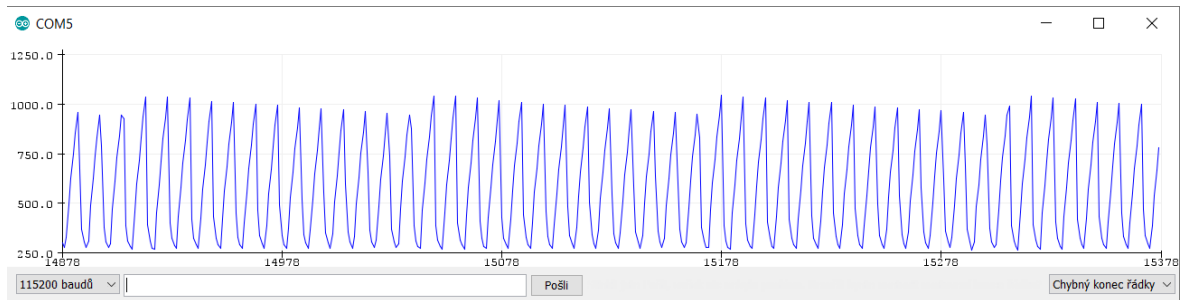
Předmětný areál je vybaven 2 digitálními elektroměry obsahujícími LED diodu, která bliká v závislosti na zatížení. Na štítku se pak nachází údaj, při jakém počtu pulzů je spotřebována jedna kWh, kdy v mém případě se jednalo o hodnotu 10 000 pulzů. Zařízení tedy musí být schopno počítat tyto pulzy a odesílat je ve zvoleném intervalu na server.

4.1.2 Použitá technologie

Pro tuto aplikaci se skvěle hodí vývojová deska ESP32 integrující bezdrátový Wi-Fi modul a zároveň i rozhraní USB, ze kterého lze modul napájet i programovat. Pro komunikaci je osazena řadičem CP2102. Řízení zde provádí 32 bitový mikroprocesor s mnoha GPIO piny, které mohou vykonávat činnost dle naprogramovaného kódu.

Tuto desku jsem programoval ve vývojovém prostředí Arduino IDE, kde se kód píše v jazycích C a C++. Skvělou vlastností tohoto prostředí je velká konektivita pro vývojové desky od druhovýrobců a k dispozici je mnoho knihoven pro specifické aplikace, to vše zdarma.

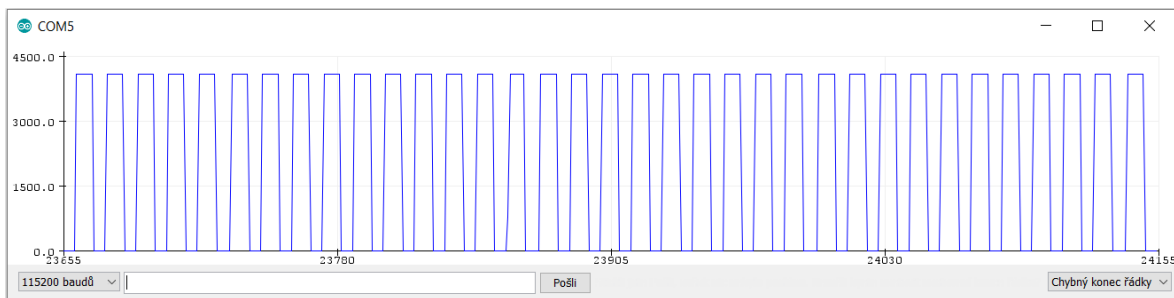
Jako senzor pulzů jsem použil fotorezistor, kde jsem chtěl nejprve pulzy měřit analogově. Bohužel se ukázalo, že pro tuto aplikaci je taková volba nevhodná, protože je značně závislá na okolních (světelných) podmínkách a v případě hodně rychlého blikání (35 za sekundu) je velmi malá rozhodovací úroveň pro detekování pulzu. Volba této úrovně je ale v takovém případě klíčová a její přesné nastavení je obtížné.



Obrázek 4.1 – Zobrazení průběhu analogového měření pulzů v Arduino IDE

V obrázku 4.1 můžeme vidět jistou rozkolísanost horní meze, i když frekvence blikání diody byla stále stejná. Naměřené hodnoty se v tomto laboratorním případě pohybovaly od 250 do 1000. Při větší frekvenci blikání byl tento rozptyl ještě menší (250-550), kdy jsem musel rozhodovací mez pro detekci pulzu umístit někam mezi tyto hodnoty. Stávalo se ale, že pak tato rozhodovací úroveň byla mimo aktivní rozpětí a program se zacyklil.

Výše uvedený fakt mě přiměl přistoupit na měřící modul s fotorezistorem obohacený o integrovaný obvod LM393 s 2 operačními zesilovači, přičemž je zapojen pouze jeden z nich. Tento operační zesilovač je pak zapojen jako komparátor a pro nastavení rozhodovací úrovně zde slouží potenciometr.

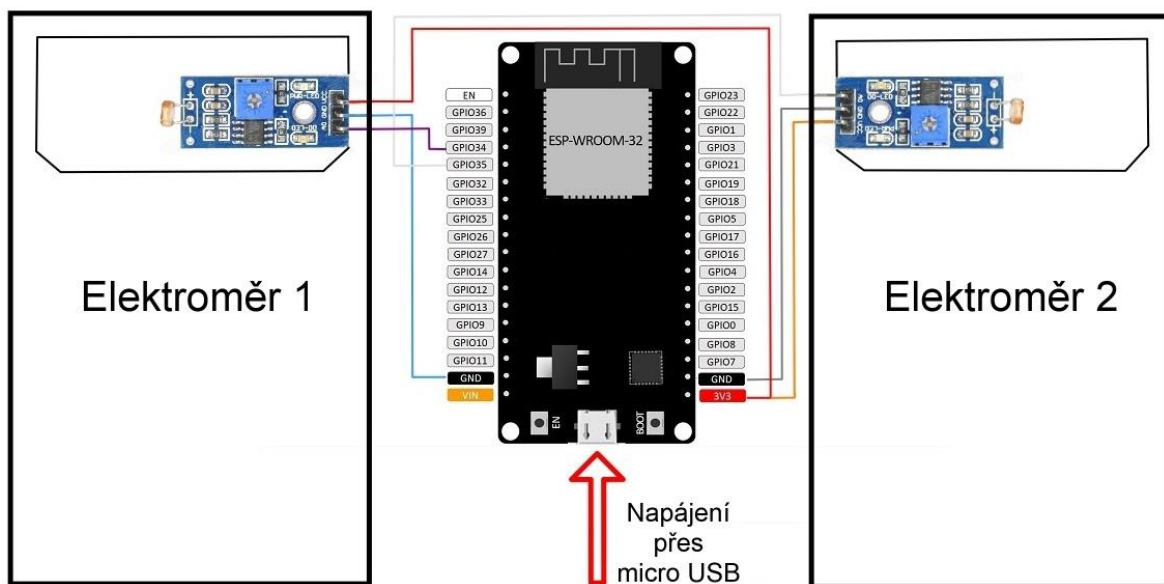


Obrázek 4.2 – Zobrazení průběhu digitálního měření pulzů v Arduino IDE

Výstup modulu pak tvoří pouze 2 hodnoty, log. 0 a log 1 jak ukazuje obrázek 4.2, odpadá zde programové nastavení rozhodovací meze a vyhneme se tím použití smyčkových příkazů v kódu, což nám dává obrovskou výhodu možnosti měřit více elektroměrů zároveň. Dále pak měřicí modul obsahuje svítící diody, kde jedna indikuje napájení a druhá indikuje výstupní úroveň. To velmi zjednodušuje nastavení rozhodovací úrovně na potenciometru při montáži měřicího zařízení, kdy není nutné použít PC pro zobrazení průběhu.

Kódy pro oba druhy měření jsou k dispozici v příloze B, C a v příloženém CD jsou nahrány jako Arduino file pro přímé zobrazení zdrojového kódu ve vývojovém prostředí.

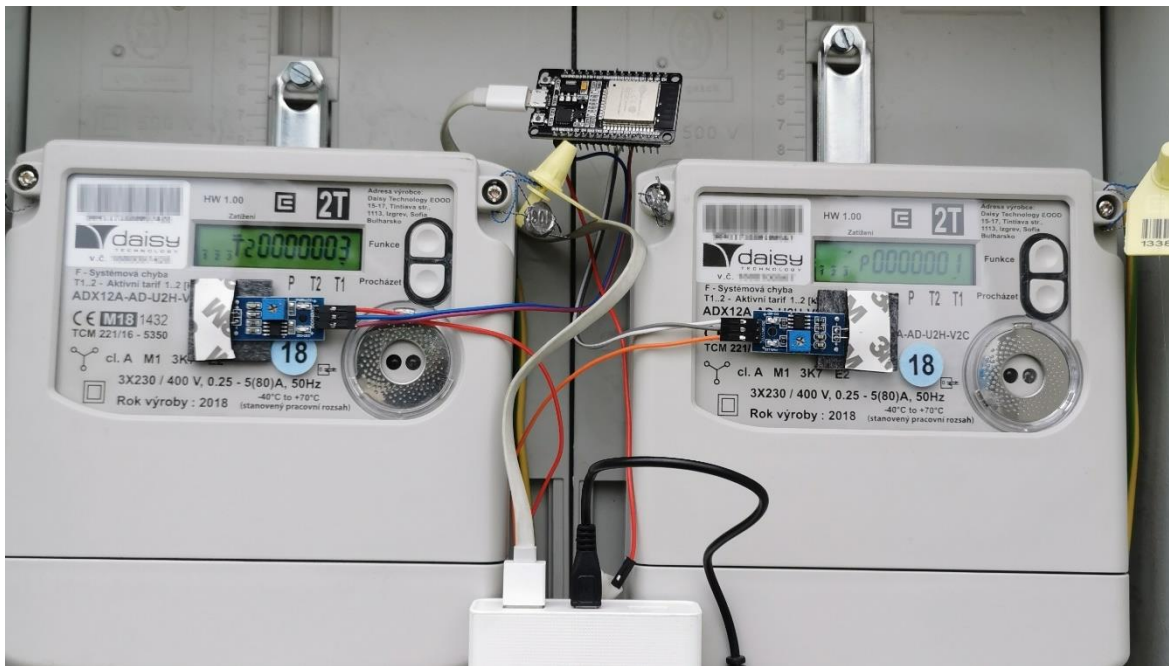
4.1.3 Kompletní zařízení



Obrázek 4.3 – Schéma měřicího zařízení

Měřicí zařízení pro mou aplikaci tedy obsahovalo vývojovou desku ESP32, 2 moduly s fotorezistory obohacené o integrovaný obvod LM393 a jako napájení byla využita powerbanka s kapacitou 20 000 mAh. Samozřejmě pak muselo být neustálé zajištění

Wi-Fi připojení s přístupem k internetu. Barvy vodičů jsou ve schématu zvoleny tak, aby odpovídaly reálnému zapojení, jako je na obrázku 4.4. Pro detekování pulzů zde sloužily piny GPIO34 a GPIO35, dále pak moduly byly připojeny k GND pinům a napájení zde zajišťoval pouze 1 pin 3,3 V, kde jsem byl nucen použít svorku pro rozdvojení, abych mohl napájet oba měřící moduly.



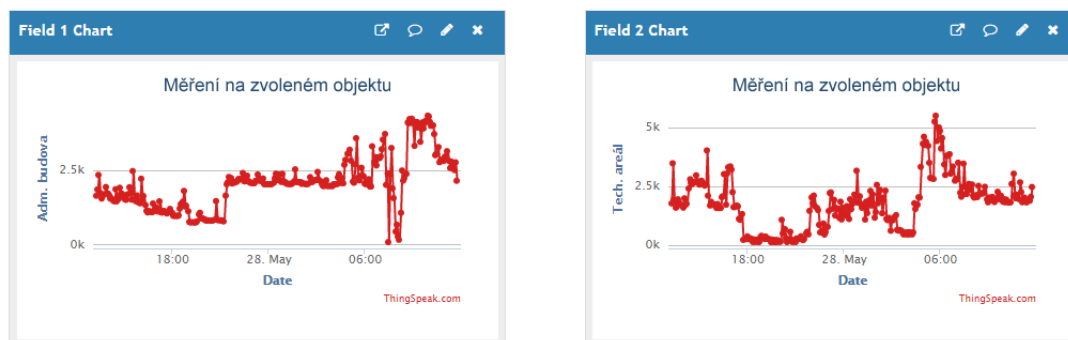
Obrázek 4.4 – Měřicí zařízení instalované ve zvoleném areálu

4.2 ThingSpeak

Jak jsem již zmínil, jedním z požadavků bylo mít data dostupná online po celou dobu měření. K tomuto účelu skvěle slouží služba ThingSpeak, která je součástí platformy IoT analytics a je primárně určena pro prototypování a ověřování IoT systémů, které vyžadují analytiku, což je přesně můj případ. Nespornou výhodou je opět možnost používání zdarma, kde jsou sice určitá omezení, ale mou aplikaci tato omezení nijak nelimitovala. Další velkou výhodou je možnost naměřená data zpracovávat a analyzovat online pomocí Matlabu, kde tato data mohou přímo figurovat v určitém kódu. [36]

Channel Stats

Created: [3 days ago](#)
 Last entry: [4 minutes ago](#)
 Entries: 269



Obrázek 4.5 – Náhled do služby ThingSpeak při realizovaném měření

Mezi klíčové funkce patří:

- **Snadná konfigurace zařízení pro odesílání dat do ThingSpeak pomocí dostupných protokolů (vč. Arduina)**
- **Vizualizace dat ze senzorů v reálném čase**
- **Možnost přímého propojení s Matlabem**
- **Tvorba IoT bez nutnosti tvoření vlastního serveru**
- **Možné propojení s emailem, Twitterem atd.**

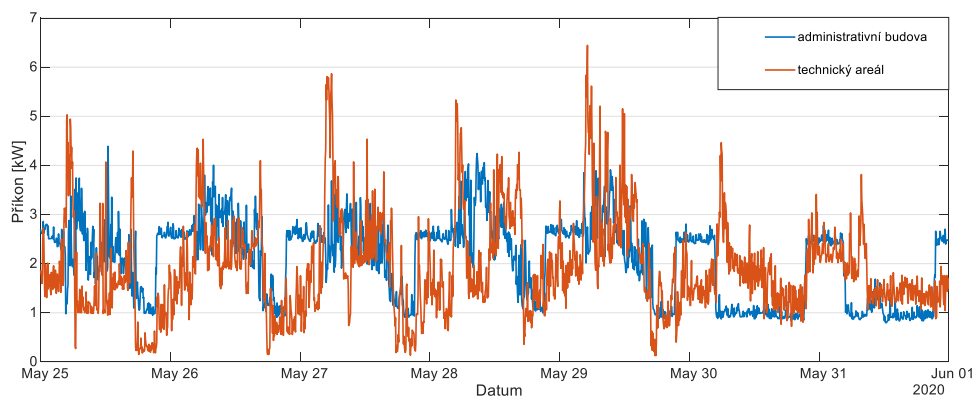
4.3 Získaná data

Ve zvoleném areálu jsem provedl 14denní měření. Získané hodnoty představovaly množství pulzů v pětiminutových intervalech, a to zvláště pro administrativní a technickou část areálu. V kódu vývojové desky by samozřejmě mohl být implementován vzorec, který by rovnou počet pulzů převáděl na odebíraný příkon, ale chtěl jsem zachovat originalitu původních dat a přepočty provádět až při celkové analýze odběrového diagramu.

Jednoduchým přepočtem jsem pak získal z množství pulzů odebíraný příkon za 5minutový interval.

$$P_{5min} = M_{5min} \cdot \frac{60}{\text{počet pulzů na 1 kWh}} \cdot \frac{1}{5} \quad (4.1)$$

Kde M_{5min} je množství pulzů za 5 minut a počet pulzů na 1 kWh je šítková hodnota elektroměru.



Obrázek 4.6 – Týdenní odběrový diagram zvoleného areálu

Diagram uvedený na obrázku 4.6 je složen z průměrů hodnot naměřených týdnů, aby co nejvíce odpovídal zobecněnému týdennímu průběhu. V diagramu je jasně vidět provoz v pracovní dny a o víkendu, dále pak lze odhadnout začátek a konec pracovní doby obou částí uvažovaného území.

V odběru administrativní budovy nás může překvapit téměř konstantní noční odběr o příkonu cca. 2,5 kW. Při analýze pak bylo zjištěno, že tento odběr je způsoben osvětlením celého areálu. Značná rozkolísanost průběhu technického areálu je pak způsobena spotřebiči o větším příkonu, které nejsou striktně používány v pravidelném časovém rozvrhu. Jedná se hlavně o velké množství brusek příkonů 0,5-2 kW, svářeček 6 kW, kompresorů 2-4 kW, vrtaček 0,5 – 1 kW a tlakovou myčku 6 kW.

5 Parametrizovaný model spotřeby uvažovaného území

Na základě zisku dat z předchozí kapitoly lze vytvořit model spotřeby, která bude ovlivňována AC nabíjecí infrastrukturou při zvoleném režimu provozu elektromobilů o různých parametrech. Model jsem se rozhodl vytvořit v softwaru Matlab, který je pro tuto aplikaci vzhledem k dobré práci s maticemi vhodnou volbou.

V rámci tohoto modelu jsem vytvořil program, který je uživatelsky přívětivý díky detekci špatně zadaných parametrů a následně jejich možnému opakovanému zadání bez toho, aniž by se celý program zhroutil.

Program je složen ze spouštěcího skriptu, který lze volat přímo příkazovým řádkem, dále z příložených dat o spotřebě v textovém souboru a 8 funkcí, které si program volá v závislosti na zadaných klíčových parametrech.

5.1 Zadávané parametry

Po spuštění skriptu je uživatel programem naváděn pro správné zadávání hodnot, kdy se na vše dotazuje. Chod kódu a počet proměnných pak přizpůsobuje dle předchozích parametrů, které uživatel zadal.

Hned na začátku kódu dochází na základě zadání parametru o časové oblasti simulace k jeho větvení. Vzhledem k omezenému rozsahu získaných dat o spotřebě jsou zde jen 2 možnosti – denní nebo týdenní.

5.1.1 Chod programu pro denní model

V tomto okamžiku program zná velikost zájmové oblasti v příloženém datovém souboru, ale neví, s jakou jeho částí bude nadále pracovat, což vede k žádosti o zadání dalšího parametru.

- **Den v týdnu**

Tento parametr slouží jako ukazatel počáteční hodnoty v datovém souboru a jelikož program již zná velikost zájmové oblasti, může se vymežit pouze na hodnoty, které patří k příslušnému dni.

- **Počet elektromobilů**

Zde program umožňuje zadat uživateli neomezený počet vozidel, přičemž každé může mít různý provozní režim, jak bude vyplývat z následujících parametrů.

- **Velikost baterie**

Tato hodnota s následujícím parametrem určuje dobu nabíjení elektromobilu, od které se odvíjí interval zatěžování sítě.

- **Maximální nabíjecí příkon**

Tento parametr nejen že určuje dobu zátěže sítě, ale také její intenzitu. Při jeho zadávání lze smýšlet dvěma způsoby, a to zda plánujeme výstavbu výkonné nabíjecí infrastruktury (montáž wallboxů a dobíjecích stanic), kde se tento parametr bude nejspíše odvíjet od maximálního nabíjecího příkonu vozidla, nebo hodláme pro nabíjení využít stávající elektroinstalaci (standardní 1-f a 3-f zásuvky), kde se pak tento parametr bude řídit dostupnými výkony na těchto přípojných místech.

Program si po zadání těchto parametrů vytvoří nabíjecí průběh odpovídající typizovanému průběhu pro AC elektromobilu dle zadaných parametrů a využívá ho do doby, dokud se nedotáže při vyšším počtu elektromobilů na další.

- **Počet nabíjení**

Model není omezen pouze na 1 nabíjení denně, ale umožňuje simulaci i krátkodobých nabíjení, jak ukáží následující parametry.

- **Start nabíjení**

V tomto kroku se zadává časová informace, od kdy chce uživatel vozidlo nabíjet.

- **Konec nabíjení**

Úzce souvisí s předchozím krokem, kdy společně vytvoří interval, po který bude vozidlo nabíjeno. Zde je vytvořena možnost zadání hodnoty 0, kdy tato hodnota je brána jako časově neomezené nabíjení a ve výsledném diagramu bude vykreslen celý nabíjecí průběh. V případě vyššího počtu nabíjení je uživatel vyzván k zadání odpovídajícího počtu startů a konců nabíjecích cyklů.

- **Místo připojení**

Jelikož areál má rozdělené odběry, model nabízí simulaci zátěže pro obě tyto části nebo pro společný přívod.

```

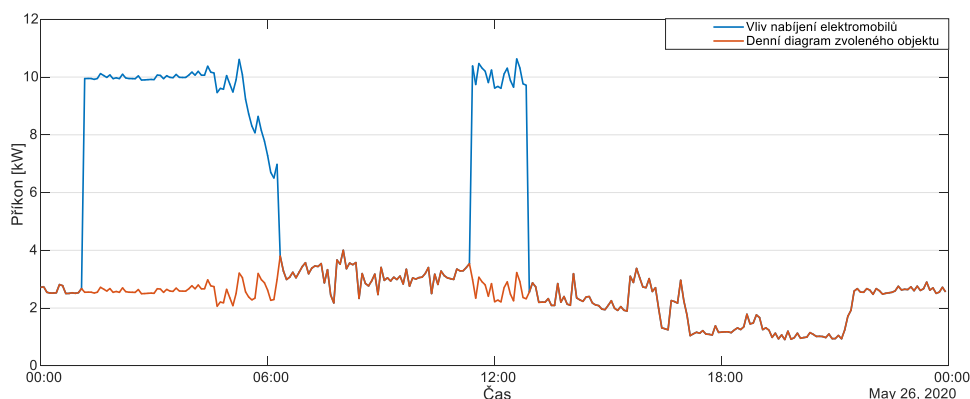
>> PARAMETRICKY_MODEL_spotreby
Stisk "d" pro analýzu dne; stisk "t" pro analýzu týdne:d
Zadejte den v týdnu (Po,Ut,St,Ct,Pa,So,Ne):Ut
Zadejte počet elektromobilů: 1
Zadejte velikost baterie elektromobilu 1 v [kWh]: 32.3
Zadejte maximální nabíjecí příkon elektromobilu 1 v [kW]: 7.4
Zadejte počet nabíjení elektromobilu č. 1: 2
Zadejte start 1. nabíjení desetinným číslem: 1.25
Zadejte konec 1. nabíjení desetinným číslem, kdy 0 znamená nabíjení bez omezení: 0
Zadejte start 2. nabíjení desetinným číslem: 11.5
Zadejte konec 2. nabíjení desetinným číslem, kdy 0 znamená nabíjení bez omezení: 13
Zadejte místo připojení (A)ministrativní, (T)echnický, (C)elkový: A

```

Obrázek 5.1 – Zadávání parametrů pro denní diagram

5.1.2 Výsledek pro denní model

Výsledek modelu jsem uvedl pro parametry zadané v obrázku 5.1. Výsledný graf jasně demonstruje, jaké odběrové špičky lze po obměně vozového parku za elektromobily očekávat. V daném případě je uvažován pouze jeden elektromobil.



Obrázek 5.2 – Výsledný odběrový diagram dle zadaných parametrů

V případě více elektromobilů by následoval scénář, buď elektroinstalaci předělat pro vyšší příkony anebo využít stávající infrastrukturu a být omezen maximálním příkonem zásuvek nebo využít chytrého nabíjení, kde dochází k vzájemné komunikaci nabíjecích míst a nabíjení je vhodně dávkováno tak, aby se stávající elektroinstalace nepřetěžovala.

5.1.3 Chod programu pro týdenní model

Volba týdenního modelu programu řekne, že bude pracovat v rámci všech poskytnutých dat, proto v počátku není potřeba tato data selektovat.

- **Počet elektromobilů**

Zde opět platí jako v případě pro denní simulaci, že počet zadávaných elektromobilů je neomezený.

- ***Velikost baterie a maximální nabíjecí příkon***

Zadávání těchto parametrů je obdobné jako v předchozím případě a využívá se i stejná funkce pro vykreslení nabíjecích průběhů elektromobilů.

- ***Počet dnů v týdnu***

Díky tomuto parametru si můžeme vyčlenit jen dny, kdy hodláme elektromobil nabíjet a sestavit tak týdenní plán nabíjení dle potřeb.

- ***Jaké dny v týdnu***

V tomto kroku program vybere v datech interval, který se týká požadovaného dne a připraví ho pro vykreslení nabíjecích průběhů.

- ***Počet nabíjení za konkrétní den***

Oproti dennímu diagramu je zde omezení na max. 3 nabíjení za den na každý elektromobil. Tato hodnota je omezena z důvodu, že si program postupně dle zadávaných parametrů vytváří parametrickou matici o předem definovaných rozměrech, díky které pak ví, kam a jak nabíjecí průběhy zakreslit. Tato maximální hodnota je v praxi víc než dostatečná.

- ***Start a konec pro každé nabíjení***

Zadávání tohoto parametru je téměř identické jako při zadávání pro denní diagram s rozdílem, že jsme zde omezeni na 3 dobíjecí cykly za den pro každý elektromobil.

- ***Místo připojení***

I v týdenním modelu pak máme volbu, v jaké části areálu bude probíhat nabíjení. Zde je nutné podotknout, že tato volba pak bude platit pro všechny zadané elektromobily, jejichž vliv se vykreslí do zvoleného průběhu.

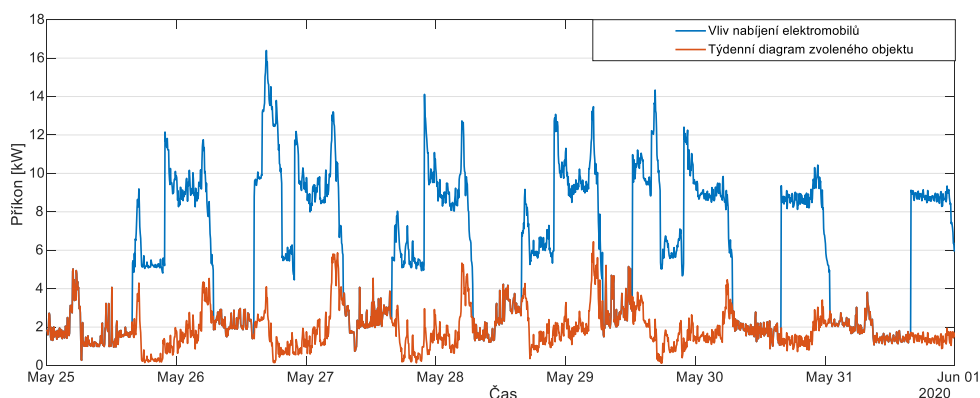
5.1.4 Výsledek pro týdenní model

Ekonomický model z kapitoly 3 ukázal, že vozový park tvořený elektromobily může být výhodný. Na základě výsledků jsem vybral elektrické náhrady za vozidla se spalovacím motorem. Pro tato vozidla jsem vytvořil pravděpodobný časový rozvrh nabíjení, který se odvíjí od provozu současně používaných spalovacích vozidel. Dále jsem se rozhodl využít maximální nabíjecí výkon všech elektromobilů a vzhledem k tomuto faktu navrhnout nabíjecí infrastrukturu. Tento návrh bude na základě výsledků simulace parametrického modelu proveden v následující kapitole.

Tabulka 5.1 – Rozvrh nabíjení elektromobilů

vozidlo	nabíjecí výkon [kW]	Po	Út	St	Čt	Pá	So	Ne
Goupi G5	3,4	16 – N	16 – N	16 – N	16 – N	16 – N	-	-
Selvo S2.DHC	1,5	16:30 – N	16:30 – N	16:30 – N	16:30 – N	16:30 – N	-	-
Maxus EV80	7,4	22 – N	22 – N	22 – N	22 – N	22 – N	16 – N	16 – N
Škoda CITIGOe IV	7,4	-	14:30 – N	-	-	12:30 – N	-	-

Ve výše uvedeném rozvrhu jsem uvedl vybrané elektromobily a jejich časy nabíjení, kdy písmeno N znamená, že nabíjení není omezeno. V rozvrhu jsem nevyužil možnosti nabíjení víc než 1 za den, protože užitková vozidla jsou celý svůj pracovní interval mimo areál. Vícenásobné nabíjení by se spíše využilo ve společnosti, která by vozidla používala pro více směn, kde by pracovníci mezi směnami vozidla nabíjeli například 2 hodiny. Dle tohoto rozvrhu jsem zadal parametry do modelu, který vykreslil pravděpodobný průběh odběrového diagramu objektu, jak je znázorněno v obrázku 5.3.

**Obrázek 5.3 – Odběrový diagram areálu při využívání elektromobilů**

Model je aplikován pro týdenní diagram technické části areálu, protože lze předpokládat vybudování nabíjecích stání právě tam. Dalším důvodem je, že technický areál je vybaven jističem větší jmenovité hodnoty.

6 Návrh nabíjecí infrastruktury

Jelikož jsem se v předchozí kapitole rozhodl využít maximální nabíjecí příkony, které vybrané elektromobily umožňují, je potřeba vybudování nabíjecí infrastruktury. Pro tuto infrastrukturu provedu nutné výpočty pro dimenzování přívodu, dále pak zakres kabelových tras, rozvaděčů a dobíjecích stanic a v neposlední řadě pak vypočítám přibližné náklady realizace. Výkres a přibližné náklady realizace jsou součástí přílohy D a E.

6.1 Zhodnocení možnosti připojení na stávající elektroinstalaci

Prvním údajem, který jasně stanoví, zda stávající elektroinstalace zvládne nápor způsobený nabíjecí infrastrukturou, je jmenovitá hodnota hlavního jističe před elektroměrem. V mém případě se jedná o 3-f jistič jmenovité hodnoty 80 A s vypínací charakteristikou B.

Díky znalosti všech příkonů významných spotřebičů a simulaci odběrového diagramu areálu s vlivem nabíjecí infrastruktury lze stanovit důležité hodnoty figurující ve výpočtovém zatížení.

Tabulka 6.1 – Seznam významných spotřebičů tech. části

spotřebič	Jmenovitý příkon [W]
osvětlení	1500
brusky	900, 1700, 680, 650, 720, 2000
vrtačky	570, 1050, 550
pásová pila	1100
tlaková myčka	6000
kompresory	4000, 2200
svářečky	2 x 6000
wallboxy	2 x 22 000 (softwarově sníženo na 2 x 11 000)

Instalovaný výkon v technickém areálu pak spočítáme součtem všech výkonů uvedených v tabulce 6.1. Maximální odebíraný výkon získáme z týdenního diagramu (obrázek 5.3), který je přibližně roven hodnotě 16,5 kW. Z těchto dvou hodnot pak snadno spočítáme součinitel náročnosti pro tento areál za použití následujícího vzorcem:

$$\beta_T = \frac{P_{Tmax}}{P_{Ti}} = \frac{16500}{57620} = 0,28 \quad (6.1)$$

Pro kontrolu jsem nahlédl do normy ČSN 34 1610, kde jsou v tabulce uvedeny typizované součinitele náročnosti pro různé energetické celky, kdy jsem si nejdříve udělal výpočet pro technický areál bez nabíjecí infrastruktury, přičemž β vyšla 0,17, což je hodnota korespondující s typizovaným energetickým celkem disponujícím podobným charakterem jako mnou uvažovaný areál.

S již známým součinitelem náročnosti lze provést výpočtové zatížení technického areálu.

$$P_{TP} = P_{Ti} \cdot \beta_T = 57620 \cdot 0,28 = 16,1 \text{ kW} \quad (6.2)$$

V tomto kroku již nic nebrání dopočítání výpočtového proudu:

$$I_{TP} = \frac{P_{TP}}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi_T} = \frac{16100}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,9} = 25,82 \text{ A} \quad (6.3)$$

Jelikož výsledek I_{TP} je menší než jmenovitá hodnota hlavního jističe, lze uvažovat o využití stávající elektroinstalace pro napájení nabíjecích wallboxů. Dalším kritériem je pak kontrola maximálního proudového zatížení stávajícího kabelového vedení s přihlédnutím na převodní činitele. Všechny potřebné informace k této kontrole nalezneme v normě ČSN 33 2000-5-523 ed.2.

Stávající přívodní kabel pro hlavní rozvaděč technického areálu AYKY-J 4x35 mm², je uložen v zemi. Dle počtu zatížených vodičů, průřezu a izolace a uložení kabelu pak nalezneme v tabulce jmenovitou hodnotu proudu $I_N = 80 \text{ A}$, tudíž lze uvažovat o využití stávající elektroinstalace k připojení wallboxů.

Další podmínkou pro využití stávajícího přívodního kabelu pro technickou část areálu je nepřekročení limitu úbytku napětí na tomto kabelu, který se vypočte obecným vzorcem, kde napětí na svorkách elektroměru stanovím na jmenovitou hodnotu sdruženého napětí na $U_N = 400 \text{ V}$:

$$\Delta U = R \cdot I \cdot \cos \varphi + X \cdot I \cdot \sin \varphi + \frac{R \cdot I \cdot \sin \varphi + X \cdot I \cdot \cos \varphi}{2 \cdot U} \quad (6.4)$$

Jelikož námi uvažovaný areál disponuje účinníkem $\cos \varphi$ vyšším než 0,5, lze při výpočtu zanedbat zlomek, který představuje příčnou admitanci. Další zjednodušení vyplývá z doporučení normy, že pro kabely NN lze zanedbat jeho reaktanci, protože je zanedbatelná v porovnání s činným odporem. [42]

Výsledný vzorec pro výpočet úbytku napětí je pak ve tvaru:

$$\Delta U = R_K \cdot I \cdot \cos \varphi \quad (6.5)$$

Dále pak stačí zjistit činný odpor kabelu následujícím výpočtem:

$$R_{K1} = \rho_{AL} \cdot \frac{l_1}{S_1} = 0,0285 \cdot \frac{65}{35} = 0,0529 \, \Omega \quad (6.6)$$

Proud protékající kabelem je pak stanoven na základě příkonů zařízení v odběrových skupinách, které jsou na tento kabel připojeny. Proud technické části areálu je dán jmenovitou hodnotou hlavního jističe v rozvaděči RH, která činí $I_1 = 40 \text{ A}$ (25 kW). Pro budoucí nabíjecí infrastrukturu je tato hodnota dána příkonem dobíjecích stanic, která činí 22 kW a tedy $I_2 = 35 \text{ A}$.

$$\begin{aligned} \Delta U_1 &= R_{K1} \cdot (I_1 + I_2) \cdot \cos \varphi \\ \Delta U_1 &= 0,0529 \cdot (40 + 35) \cdot 0,9 = 3,57 \text{ V} \end{aligned} \quad (6.7)$$

Pro kontrolu, zda úbytek napětí vyhoví normě, je vhodné dále spočítat jeho procentní variantu $\Delta u_{\%}$:

$$\Delta u_{\%1} = \frac{\Delta U_1}{U_N} \cdot 100 = \frac{3,57}{400} \cdot 100 = 0,89 \, \% \quad (6.8)$$

Úbytek napětí je v tomto případě přijatelný, protože nepřekračuje hodnotu 3%, která je stanovena jako maximální pro světelné okruhy a je nejpřísnější. V této chvíli již můžeme říci, že lze stávající elektroinstalaci využít k připojení nabíjecí infrastruktury.

6.2 Návrh nabíjecí infrastruktury

6.2.1 Obecné požadavky na nabíjení

V rámci nabíjecí infrastruktury budou osazeny 2 Mennekes wallboxy od společnosti E-EVC, které disponují dvěma 1-f standardními zásuvkami 230 V, 1 zásuvkou Mennekes a 1 standardní 3-f 16 A zásuvkou. Dále pak je wallbox vybaven elektronikou, s možností

regulace nabíjecího proudu. První wallbox by poskytoval nabíjení multikáry Goupil ze standardní 1-f zásuvky a Škody CITIGOe IV, která by k nabíjení používala zásuvku Mennekes. Druhý wallbox by nabíjel 1-f zásuvkou multikáru Selvo S2.DHC a dále ze zásuvky Mennekes vozidlo Maxus EV80.

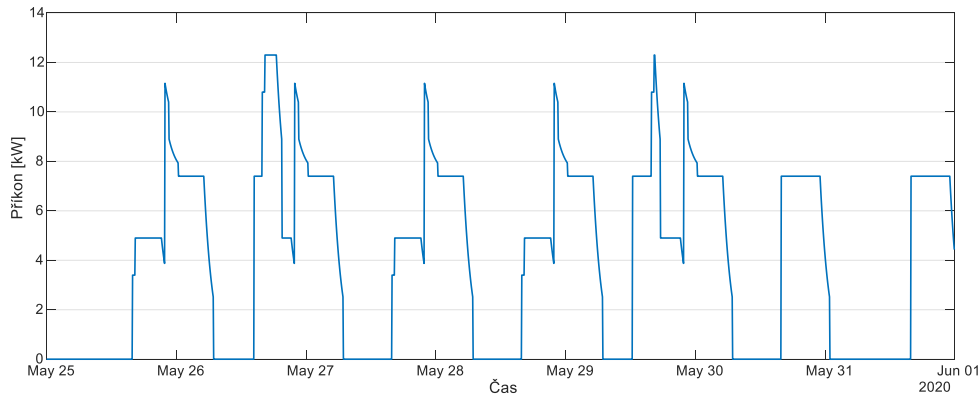
6.2.2 Návrh kabelových tras a jejich provedení

Přívodní kabel bude připojen v hlavním rozvaděči RH technického areálu umístěným v hale údržby přes vhodný 3-f jistič. Tento kabel bude veden v perforovaném kabelovém žlabu umístěným v horní části zdi přes celou délku haly, kde na jejím konci bude vyražena díra, kterou bude kabel protažen a následně sveden k zemi v ocelové trubce. V prostoru mezi halou a přístřeškem pro stání vozidel bude proveden překop, kde bude kabel dle normy (ČSN 33 2000-5-52 předpisy pro kladení silových elektrických kabelů) uložen v kabelové chrániče Ø30 mm. Tato kabelová trasa pak bude ukončena v novém rozvaděči RN umístěným na konzoly sloupu přístřešku.

V rozvaděči se rozdělí rozvod TN-C na TN-S a z tohoto rozvaděče budou vedeny 2 kabely CYKY-J 5x2,5 mm² v plastových trubkách k jednotlivým dobíjecím stanicím. Každý tento přívod pro dobíjecí stanici pak bude jištěn 3-f jističem dle údajů výrobce.

6.2.3 Dimenzování přívodního kabelu pro nabíjecí soustavu

Trasa kabelu dle předběžného návrhu činí 80 m a jmenovitý proud wallboxů je 32 A. Maximální vytížení však může být vzhledem k nabíjecím příkonům připojovaných elektromobilů poloviční, a tak tuto hodnotu elektronikou uvnitř wallboxu omezíme na polovinu. I v tomto případě je potřeba provést výpočet pro získání hodnoty výpočtového proudu, na jehož základě vybíráme průřez kabelu. Výpočtový proud lze v tomto případě zjistit obdobně, jako ve výpočtech pro zhodnocení možnosti napojení na stávající infrastrukturu s rozdílem, že budeme vycházet z dat odběrového diagramu pouze dobíjecích stanic, která lze získat z parametrického modelu. Účinnost nabíjení elektromobilů jsem z dostupných publikací [37] a [38] stanovil na hodnotu 0,9.



Obrázek 6.1 – Odběrový diagram dobíjecí infrastruktury

V této chvíli již známe všechna data pro výpočet.

$$\beta_N = \frac{P_{Nmax}}{P_{Ni}} = \frac{12300}{22000} = 0,56 \quad (6.9)$$

$$P_{NP} = P_{Ni} \cdot \beta_N = 22000 \cdot 0,56 = 12,32 \text{ kW} \quad (6.10)$$

$$I_{NP} = \frac{P_{NP}}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\varphi_N} = \frac{12320}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,9} = 19,75 \text{ A} \quad (6.11)$$

Pomocí hodnoty I_{NP} mohu nyní vycházet z tabulek z normy ČSN 33 2000-5-523 ed.2 pro výběr vhodného průřezu kabelu. Jelikož navrhovaná kabelová trasa je částečně v zemi (kde se obecně doporučuje zvolit hodnotu odpovídající tepelnému odporu $2,5 \text{ K}\cdot\text{m}/\text{W}$, když není určen typ půdy) a částečně v kabelovém žlabu, musí se zvolit z tabulky přísnější hodnota pro uvažovaný kabel. Mou volbou je kabel AYKY-J $4 \times 16 \text{ mm}^2$, který disponuje dostatečnou rezervou pro případné zvýšení výkonů nabíjecích stanic nebo rozšíření nabíjecí infrastruktury. Pro tento kabel je hodnota pro uložení v zemi a kabelovém žlabu shodná $I_N = 61 \text{ A}$.

Nyní je nutné opět spočítat úbytek napětí na tomto kabelu, a to ze zjednodušeného vzorce, kde již známe účinník $\cos\varphi_2 = 0,9$ a proud $I_2 = 35 \text{ A}$.

$$\Delta U_2 = R_{K2} \cdot I_2 \cdot \cos\varphi_2 \quad (6.12)$$

Pro výpočet dle vzorce 6.12 zbývá dopočítat činný odpor kabelu K_2 .

$$R_{K2} = \rho_{AL} \cdot \frac{l_2}{S_2} = 0,0285 \cdot \frac{80}{16} = 0,1425 \Omega \quad (6.13)$$

Dosazením těchto hodnot do vzorce 6.12 získáme hodnotu $\Delta U_2 = 4,48 \text{ V}$. V této fázi již lze vypočítat procentní úbytek napětí, přičemž nesmíme opomenout, že je třeba přičíst úbytek napětí ΔU_1 .

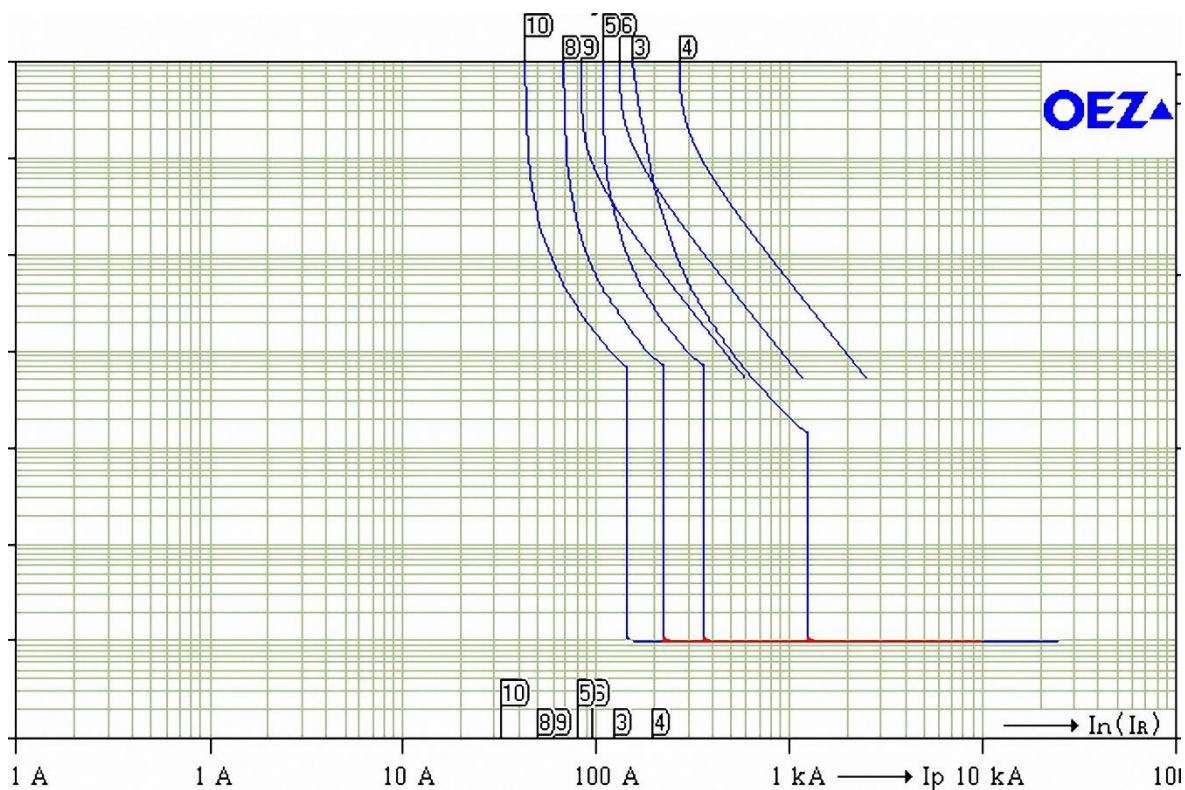
$$\Delta u_{\%1} = \frac{\Delta U_1 + \Delta U_2}{U_N} \cdot 100 = \frac{3,57 + 4,48}{400} \cdot 100 = 2,01 \% \quad (6.14)$$

Výše uvedený výsledek opět není v rozporu s normou, kde byla pro tuto aplikaci povolena hodnota 5 %.

6.2.4 Návrh jisticích prvků

Posledním chybějícím článkem návrhu je volba jednotlivých jisticích prvků, kde musí být zajištěna selektivita. Jak jsem již nastínil v kapitole 6.2.2 v rámci nabíjecí infrastruktury budou osazeny 3 jističe, kde 1. bude umístěn v rozvaděči RH, který bude plnit funkci jisticího prvku pro přívodní kabel rozvaděče RN. Tento jistič bude jmenovité hodnoty 50 A a vypínací charakteristiky B. Další 2 jističe již budou umístěny v rozvaděči RN, jejichž jmenovité hodnoty budou voleny dle doporučení výrobce wallboxů, a to 32 A vypínací charakteristiky B.

Selektivitu jisticích prvků jsem otestoval softwarem Sichr od společnosti OEZ a výsledný graf selektivity je na obrázku 6.2.



Obrázek 6.2 – Selektivita jisticích prvků

Vzhledem k tomu, že software potřebuje pro vykreslení znát vlastnosti trafostanice, ze které je objekt napájen, zvolil jsem jeden z typizovaných transformátorů uložených v softwaru. Z kiosku, který je umístěn poblíž objektu, jsem zjistil transformační poměr, který je 22 kW / 0,4 kW a velikost transformátoru jsem odhadl na 400 kVA. Dalším odhadovaným prvkem byl deon, který je rovněž umístěn v kiosku. Jmenovitý proud tohoto prvku jsem ze zkušenosti volil pro 125 A. Další prvky byly již známé z technické dokumentace objektu. Význam křivek jsem vypsál do tabulky níže.

Tabulka 6.2 – Tabulka vložených prvků do softwaru Sichr

Číslo křivky	Význam křivky
3	deon 125 A
4	kabel CYKY-J 4x70 mm ²
5	jistič 80 A vyp. charakteristika B
6	kabel AYKY-J 4x35 mm ²
8	jistič 50 A vyp. charakteristika B
9	kabel AYKY-J 4X16 mm ²
10	jistič 32 A vyp. charakteristika B

7 Pravděpodobný rozvoj smart city technologií

Již v současné době hraje rozvoj smart city technologií významnou roli ve zkvalitňování života lidí. Do budoucna bude tento trend nepochybně pokračovat a zasahovat do širokého spektra každodenních činností obyvatel, veřejné správy, životního prostředí, vzdělávání, dopravy atd. Rozvoj technologií nám pomůže zabezpečit spoustu činností rychleji a efektivněji a vzniknou i jiné druhy zábavy a seberealizace. O tom, že smart city je velkou výzvou do budoucna, svědčí také to, že je i v popředí zájmu několika ministerstev, zejména životního prostředí, dopravy a pro místní rozvoj.

Dá se říci, že v naší zemi jsou v současné době oproti některým světovým metropolím smart city technologie ještě „v plenkách“, nicméně pomalými, ale účinnými krůčky se k těmto budeme v budoucnosti nepochybně přibližovat. Tento směr je zřejmý z kapitoly 2 této diplomové práce, kde jsem se podrobně zabýval technologií smart city a některými projekty, které již byly v českých městech realizovány. Věřím, že i my se například dočkáme pilotního projektu týkajícího se bezpečného přechodu pro chodce fungujícího na principu, který již nyní úspěšně aplikují v Londýně. Právě takovýto projekt je dle mého názoru vzhledem ke stále se zvyšující nehodovosti na českých silnicích nejen atraktivní, ale velice užitečný.

V následujících letech lze nepochybně očekávat výraznější rozšiřování elektromobility a její dynamický rozvoj, neboť cílem společnosti je snižování emisí v ovzduší. Elektromobilita je tak vzhledem ke zcela bezemisnímu provozu jednoznačně prioritou. Dalším výrazným aspektem pro její rozvoj je i bezpečnost dodávek a snížení dodávek ropy z ekonomicky nestabilních zemí. Do karet dynamickému rozvoji nahrává i neustálé zpřísňování regulačního rámce v oblasti CO₂ u spalovacích motorů. Ekonomický potenciál elektromobility zvyšuje snižování nákladů na elektromobily, zejména pak na baterie. [39] [40]

S elektromobilitou úzce souvisí nastavení rámce pro její zapojení do elektroenergetického trhu, přičemž je třeba vytvořit co nejjednodušší, ale přitom i komfortní systém pro budování a zpřístupnění infrastruktury uživatelům elektromobilů. Zvýšený počet elektromobilů nepochybně vyvolá zvýšené nároky na distribuční síť, což si vyžádá její

posílení případně i zavedením systému řízení nabíjecího výkonu. Elektromobilita je a bude dále rozvíjena v souladu s Národním akčním plánem pro čistou mobilitu s integrací směrnice o zavádění infrastruktury pro alternativní paliva. [39] [40]

K zajištění ekonomického fungování chytrých měst je nepochybně třeba nejen finančních prostředků státu a obcí, ale i soukromého sektoru. Výraznou pomocí je široká dotační podpora ze strany EU. Na projekty zaměřené na snížení energetické náročnosti, udržitelnou dopravu, podporu nových technologií a snižování emisí lze lépe získat finance. Měštům jsou v tomto nápomocna příslušná ministerstva, a to zejména tím, že pomáhají vytvořit žádosti tak, aby se potkaly s vypsányými dotačními tituly. Hlavní myšlenkou projektů je podpořit tzv. čistou dopravu, a to i proto, že už nyní Evropská unie nepodporuje vozidla s dieselovými motory. Čistá doprava bude proto v horizontu několika let velice aktuální. [41]

Vzhledem k současnému trendu podnebí (nedostatek srážek, sucho) k rozvoji smart city jistě dojde i v oblasti ekologického urbanismu, jehož cílem je do měst začlenit ekologické principy (zadržování vody a vlhkosti ve městě). Ve světě jsou v této oblasti velkým hitem například zelené střechy, tedy ploché, které pokrývá mech nebo jiná zeleň. V tomto směru máme v České republice co dohánět. [41]

V rámci problematiky Smart Cities jsou dotační možnosti pro města a obce uvedeny v přehledu aktuálních výzev v klíčových oblastech Smart Cities, který je kvartálně aktualizován a je přístupný ke stažení na www.smartcities.mmr.cz. Lze očekávat, že tento přehled bude v budoucnu podstatně rozsáhlejší.

Zavádění smart city technologií představuje významnou tržní příležitost i pro průmyslové dodavatele a je cenným zdrojem dat pro další zdokonalování produktů a služeb.

Jedním z měst, kde lze i v budoucnosti očekávat výrazný rozvoj smart city je Město Plzeň, které intenzivně pracuje na zkvalitnění života svých občanů, přičemž jde právě cestou rozvoje smart city. Za tímto účelem město schválilo strategii pro oblast Smart City platnou do roku 2023, a to včetně akčního plánu na roky 2020 a 2021. Strategie je zaměřena na 7

oblastí, a to chytré hospodářství, chytrí lidé, chytrá mobilita, chytrí lidé, chytré žití, chytré životní prostředí a chytrá komunikace. [24]

Lze tedy shrnout, že v budoucnost bude smart city čím dále více součástí našich každodenních činností a v mnohém nám ulehčí žití, přičemž i z ekonomického hlediska bude její přínos nepochybně pozitivní.

Závěr

Na počátku psaní mé diplomové práce jsem si dal za cíl pojmout v širším rozsahu a návaznosti smart city technologie a rozšířit si obzor v oblasti elektromobility. Práce splnila mé očekávání, neboť jsem získal mnoho nových a zajímavých informací, naučil jsem se aplikovat teorii do praxe, absolvoval jsem i zajímavé debaty s odborníky, přičemž jsem využil i poznatky z mého šestiletého studia. Získal jsem i odpověď na otázku, zda elektromobilita není v českých podmínkách jen slepou uličkou.

Zhodnocení postupu

Při psaní jsem nejprve nashromáždil teoretické informace potřebné pro řešení dané problematiky. Nezřídka se stalo, že jsem do jednotlivých témat pronikal hlouběji, a i když by možná někdy postačoval stručný popis, považoval jsem danou část za natolik zajímavou, že jsem se snažil o její komplexnější pojetí.

Poté, co jsem zpracoval teoretickou část, zrealizoval jsem praktickou. Při této jsem musel řešit i technické problémy, a to zejména při dálkovém měření spotřeby. V daný moment jsem toto vnímal negativně, neboť šlo o časový skluz, ale s odstupem i toto hodnotím pozitivně, neboť jsem byl nucen zamýšlet se nad tím, kde je chyba a vymýšlet postupy, aby mohlo být měření zdárně dokončeno.

Teoretické a praktické zkušenosti jsem pak zhodnotil při vytvoření parametrizovaného modelu spotřeby uvažovaného území a při návrhu nabíjecí infrastruktury.

Dosažené výsledky a přínosy práce

Výstupy práce by měly odrážet budoucí vývoj ve všech popsáných oblastech. Potvrdilo se, že provoz elektromobilů může být za specifických podmínek ekonomičtější než konvenční automobily, a tak bude jejich počet v budoucnu postupně nepochybně přibývat. Ze zjištěných výstupů je zřejmé, že bude potřeba mít síť vybavenou inteligentními prvky pro dálkové měření spotřeby a její vhodné řízení. Realizace dálkového měření spotřeby pak prokázala, že se nejedná o nákladnou záležitost, což je vzhledem k velkým přínosům dat zjištěným při měření velmi pozitivní zjištění.

Přínosné informace lze získat i z výsledných grafů parametrického modelu, neboť názorně ukazují, jaký průběh odběrového diagramu lze vlivem nabíjení elektromobilů očekávat. Na základě těchto grafů lze pak navrhovat dobíjecí infrastrukturu „na míru“. Pozitivní nepochybně je i to, že vypracovaný model není omezen jen na určitý objekt, ale lze ho použít pro jakýkoliv areál, který má možnost měření odběrového diagramu. Takovou přípravu přechodu na provoz s elektromobily vnímám jako velmi vhodnou. Každá aplikace má svá specifika a nepochybně si zaslouží jak z ekonomického, tak i z technického hlediska důsledný návrh s výhledem i na budoucí rozvoj.

Za největší přínos mé práce považuji možné využití výsledků pro návrh střednědobého plánu společnosti, která jeví zájem o aplikaci smart city prvků.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] SLAVÍK, Ing. Jakub. Metodika Smart Cities: Metodika pro přípravu a realizaci konceptu Smart Cities na úrovni měst, obcí a regionů [online]. In: . 2018, s. 22 [cit. 2020-06-17]. Dostupné z: https://mmr.cz/getmedia/f76636e0-88ad-40f9-8e27-cbb774ea7caf/Metodika_Smart_Cities.pdf.aspx?ext=.pdf
- [2] CASS, Jacob. Internet of Things: What It Is, How It Works, Examples and More. JUST CREATIVE [online]. 19.11.2018. Dostupné z: <https://justcreative.com/2018/11/19/internet-of-things-explained/>
- [3] INTERNET OF THINGS: How to Choose the Right IoT Connectivity Option? AVSYSTEM [online]. 22.10.2019. Dostupné z: <https://www.avsystem.com/blog/iot-connectivity/4>
- [4] RANA, Diksha. Top 11 Cloud Platforms for Internet of Things (IoT). DZpne [online]. 5.8.2019. Dostupné z: <https://dzone.com/articles/10-cloud-platforms-for-internet-of-things-iot>
- [5] LOOPER, Christian de. *What is 5G? The next-generation network explained* [online]. 22.5.2020 [cit. 2020-06-17]. Dostupné z: <https://www.digitaltrends.com/mobile/what-is-5g/>
- [6] Getting to 5G: Comparing 4G and 5G System Requirements. Qorvo: all around you [online]. 7.9.2017. Dostupné z: <https://www.qorvo.com/design-hub/blog/getting-to-5g-comparing-4g-and-5g-system-requirements>
- [7] Induction loop. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 15.4.2020 [cit. 2020-06-17]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Induction_loop
- [8] GUERRERO-IBANEZ, Juan Antonio, Sherali ZEADALLY a Juan Contreras CASTILLO. *Sensor Technologies for Intelligent Transportation Systems* [online]. 2018. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/324552482_Sensor_Technologies_for_Intelligent_Transportation_Systems/stats. Odborná publikace. Faculty of Telematics, University of Colima, Mexico.
- [9] *Smart Cities World* [online]. Dostupné z: <https://www.smartcitiesworld.net/>
- [10] Meet The All-new Autonomous Public Transport Vehicles: Each With A Different Lesson. *SMARTCITY: press* [online]. 16.10.2019. Dostupné z: <https://www.smartcity.press/autonomous-vehicles-for-public-transport/>

- [11] Značka Muji navrhla autonomní autobus Gacha do každého počasí. *Insight* [online]. 18.1.2019. Dostupné z: <https://www.insight.cz/2019/01/18/znacka-muji-navrhla-autonomni-autobus-gacha-do-kazdeho-pocasi/>
- [12] COREN, Michael J. 2019 was the year electric cars grew up. *Quartz* [online]. 6.12.2019. Dostupné z: <https://qz.com/1762465/2019-was-the-year-electric-cars-grew-up/>
- [13] *FDrive.cz* [online]. Dostupné také z: <https://fdrive.cz/mapa-nabijecich-stanic/t/standardni>
- [14] *Electrodad.cz: Vše o nabíječkách elektromobilů – rozhovor s Ing. Jakubem Kottem z E.ONu* [online]. 2019. Dostupné také z: <https://www.electrodad.cz/vse-o-nabijeckach-elektromobilu-rozhovor-s-jakubem-kottem-z-e-onu/>
- [15] Režimy nabíjení. *Autonabijeni.cz* [online]. Dostupné z: <https://www.autonabijeni.cz/rezimy-nabijeni/>
- [16] EV Charging Connector Types and Speeds. *Pod point* [online]. Dostupné z: <https://pod-point.com/guides/driver/ev-connector-types-speed>
- [17] How do electric car batteries work? *Energysage* [online]. 15.11.2018. Dostupné z: <https://www.energysage.com/electric-vehicles/101/how-do-electric-car-batteries-work/>
- [18] How do electric car batteries work? *Energysage* [online]. 15.11.2018. Dostupné z: <https://www.energysage.com/electric-vehicles/101/how-do-electric-car-batteries-work/>
- [19] DVOŘÁK, Petr. Superkondenzátory. *Tzbinfo* [online]. 14.9.2017. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/teorie-obnovitelna-energie/6710-superkondenzatory>
- [20] *Electric Vehicle OBC System Design and Simulation Using Power Modules* [online]. Leden 2019, , 21. Dostupné z: <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/AND9813-D.PDF>
- [21] Komponenty pro palubní nabíjení elektromobilů. *Vyvoj.hw.cz* [online]. Dostupné z: <https://vyvoj.hw.cz/komponenty-pro-palubni-nabijeni-elektromobilu.html>
- [22] NOVÁK, Jan. DC-DC MĚNIČ PRO ELEKTROMOBIL [online]. Praha, 2019. Dostupné také z: <https://dspace.cvut.cz/handle/10467/83051>. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze.
- [23] KOŠÍK, Michal a Pavel SKAROLEK. *Trakční vlastnosti elektromobilu: výkony a účinnosti* [online]. In: . 2018, s. 20. Dostupné z:

- http://motor.feld.cvut.cz/sites/default/files/predmety/B1M14EPT/EPT_%C3%BAloha5_2017_18_elektromobil.pdf
- [24] *Smart City Plzeň: Město chytrých řešení* [online]. Plzeň. Dostupné také z: <https://smarcity.plzen.eu/>
- [25] *Smart Grid Technology and Applications: Smart Grid Components* [online]. Dostupné z: <http://electricalacademia.com/electric-power/smart-grid-technology-applications-smart-grid-components/>
- [26] Smart region Vrchlabí. *ČEZ Distribuce* [online]. Dostupné z: <https://www.cezdistribuce.cz/cs/smart-region-vrchlabi.html>
- [27] Chytré sloupy pouličního osvětlení pro chytrá města. *Tzbinfo: Nejnavštěvovanější odborný portál pro stavebnictví a technická zařízení budov* [online]. 3.7.2019. Dostupné z: <https://elektro.tzb-info.cz/osvetleni/19271-chytre-sloupy-poulicniho-osvetleni-pro-chytra-mesta>
- [28] Inteligentní přechody pro chodce. *Modulservis* [online]. Dostupné z: <https://www.modulservis.cz/2018/02/27/inteligentni-prechody-chodce/>
- [29] KOLAROW, Alexander a Kondrad SCHENK. *The Intelligent Video Analysis and Surveillance System for Assisting Human Operators* [online]. 2013. Dostupné také z: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6636639>. Publikace. Neuroinformatics and Cognitive Robotics Lab Ilmenau University of Technology 98684 Ilmenau, Germany.
- [30] *Výroba, nebo spotřeba: čím zatěžuje automobil více?* [online]. 24.10.2008. Dostupné z: <https://ekolist.cz/cz/zelena-domacnost/zpravy-zd/vyroba-nebo-spotreba-cim-zatezuje-automobil-vice>
- [31] *Ekolist.cz* [online]. Praha, 2008. Dostupné z: <https://ekolist.cz/cz/zelena-domacnost/zpravy-zd/vyroba-nebo-spotreba-cim-zatezuje-automobil-vice>
- [32] MARTIN, Paul. *So: Exactly How Much Electricity Does it Take To Produce A Gallon of Gasoline?* [online]. 27.7.2017. Dostupné z: <https://www.linkedin.com/pulse/so-exactly-how-much-electricity-does-take-produce-gallon-paul-martin>
- [33] SAJDL, Jan. Výpočet emisí CO₂. *Autolexicon.net: s námi uvidíte pod kapotu* [online].. Dostupné z: <https://www.autolexicon.net/cs/articles/vypocet-emisi-co2/>

- [34] BUREŠ, David. *Velký test reálné spotřeby 50 aut! Víme, která auta jsou na skutečných silnicích nejspornější!* [online]. 4.4.2018. Dostupné z: <https://www.auto.cz/velky-test-realne-spotreby-50-aut-vime-ktera-auta-jsou-na-skutecných-silnicich-nejuspornější-120366>
- [35] *Effects of battery manufacturing on electric vehicle life-cycle greenhouse gas emissions* [online]. In: . únor 2018, s. 12 . Dostupné z: https://theicct.org/sites/default/files/publications/EV-life-cycle-GHG_ICCT-Briefing_09022018_vF.pdf
- [36] *ThingSpeak* [online]. Dostupné také z: https://thingspeak.com/pages/learn_more
- [37] *Power Factor Correction in Battery Chargers* [online]. In: . s. 4. Dostupné z: https://www.iotaengineering.com/pplib/IOTA_Tech_PFC%20in%20Battery%20Chargers.pdf
- [38] A closer look at power factor correction. *Charged: electric vehicles magazine* [online]. únor 2018. Dostupné z: <https://chargedevs.com/features/a-closer-look-at-power-factor-correction/>
- [39] Národní akční plán pro chytré sítě 2019 - 2030 - Aktualizace NAP SG. *Ministerstvo průmyslu a obchodu* [online]. 18.9.2019. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/energetika/strategicke-a-koncepcni-dokumenty/narodni-akcni-plan-pro-chytre-site/narodni-akcni-plan-pro-chytre-site-2019---2030---aktualizace-nap-sg--248894/>
- [40] Národní akční plán čisté mobility. *Ministerstvo průmyslu a obchodu* [online]. 16.12.2016. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/prumysl/zpracovatelsky-prumysl/automobilovy-prumysl/narodni-akcni-plan-ciste-mobility--167456/>
- [41] KOHOUTOVÁ, Klára. MF Dnes: Řešíme chytré vize, říkají „chytrá města“. *Ministerstvo životního prostředí* [online]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/articles_160621_MF%20Dnes_chytra_m%C4%9Bsta_smart_cities
- [42] Studijní texty z přednášek předmětu “Průmyslová energetika”, ZČU 2017

Přílohy

Příloha A – Tabulka ekonomického modelu pro užitkový vůz Mitsubishi Fuso

% amortizace	11,00%	3,00%	15,00%	8,00%	15,00%	8,00%	5,00%	5,00%	4,00%	4,00%	3,00%	3,00%	3,00%	2,00%	2,00%	2,00%
navýšení nákladů opotřebením	0%	100,0%	105%	110,0%	115%	120,0%	125%	130,0%	135%	140,0%	145%	150,0%	155%	160,0%	165%	170,0%
roky	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
nájezd	0 km	20568 km	41136 km	61704 km	82272 km	102840 km	123408 km	143976 km	164544 km	185112 km	205680 km	226248 km	246816 km	267384 km	287952 km	308520 km
Ford Transit																
náklady za provoz	0 Kč	69 320 Kč	69 320 Kč	69 320 Kč	69 320 Kč	69 320 Kč	69 320 Kč	69 320 Kč	69 320 Kč	69 320 Kč	69 320 Kč	69 320 Kč	69 320 Kč	69 320 Kč	69 320 Kč	69 320 Kč
amortizace	143 000 Kč	39 000 Kč	195 000 Kč	104 000 Kč	195 000 Kč	104 000 Kč	65 000 Kč	65 000 Kč	52 000 Kč	52 000 Kč	39 000 Kč	39 000 Kč	26 000 Kč	26 000 Kč	26 000 Kč	26 000 Kč
servisní náklady	0 Kč	22 900 Kč	24 938 Kč	25 190 Kč	27 313 Kč	38 280 Kč	34 063 Kč	29 770 Kč	32 063 Kč	32 060 Kč	47 488 Kč	56 850 Kč	39 688 Kč	36 640 Kč	39 188 Kč	54 230 Kč
náklady/rok	143 000 Kč	131 220 Kč	289 258 Kč	198 510 Kč	291 633 Kč	211 600 Kč	168 383 Kč	164 090 Kč	153 383 Kč	153 380 Kč	155 808 Kč	165 170 Kč	148 008 Kč	131 960 Kč	134 508 Kč	149 550 Kč
součet nákladů	143 000 Kč	274 220 Kč	563 478 Kč	761 988 Kč	1 053 621 Kč	1 265 221 Kč	1 433 604 Kč	1 597 694 Kč	1 751 077 Kč	1 904 458 Kč	2 060 265 Kč	2 225 436 Kč	2 373 443 Kč	2 505 404 Kč	2 639 911 Kč	2 789 462 Kč
Goupil GS																
náklady za provoz	0 Kč	3 403 Kč	3 403 Kč	3 403 Kč	3 403 Kč	3 403 Kč	3 403 Kč	3 403 Kč	3 403 Kč	3 403 Kč	3 403 Kč	3 403 Kč	3 403 Kč	3 403 Kč	3 403 Kč	3 403 Kč
amortizace	154 000 Kč	42 000 Kč	210 000 Kč	112 000 Kč	210 000 Kč	112 000 Kč	70 000 Kč	70 000 Kč	56 000 Kč	56 000 Kč	42 000 Kč	42 000 Kč	42 000 Kč	28 000 Kč	28 000 Kč	28 000 Kč
servisní náklady	0 Kč	20 000 Kč	21 000 Kč	22 000 Kč	23 000 Kč	24 000 Kč	25 000 Kč	26 000 Kč	27 000 Kč	28 000 Kč	29 000 Kč	30 000 Kč	31 000 Kč	32 000 Kč	33 000 Kč	34 000 Kč
náklady/rok	154 000 Kč	65 403 Kč	234 403 Kč	137 403 Kč	236 403 Kč	139 403 Kč	98 403 Kč	99 403 Kč	86 403 Kč	87 403 Kč	74 403 Kč	75 403 Kč	76 403 Kč	63 403 Kč	64 403 Kč	65 403 Kč
součet nákladů	154 000 Kč	219 403 Kč	453 806 Kč	591 210 Kč	827 613 Kč	967 016 Kč	1 065 419 Kč	1 164 822 Kč	1 251 226 Kč	1 338 629 Kč	1 413 032 Kč	1 488 435 Kč	1 564 838 Kč	1 628 241 Kč	1 692 645 Kč	1 758 048 Kč
TPC City II																
náklady za provoz	0 Kč	5 743 Kč	5 743 Kč	5 743 Kč	5 743 Kč	5 743 Kč	5 743 Kč	5 743 Kč	5 743 Kč	5 743 Kč	5 743 Kč	5 743 Kč	5 743 Kč	5 743 Kč	5 743 Kč	5 743 Kč
amortizace	108 900 Kč	29 700 Kč	148 500 Kč	79 200 Kč	148 500 Kč	79 200 Kč	49 500 Kč	49 500 Kč	39 600 Kč	39 600 Kč	29 700 Kč	29 700 Kč	29 700 Kč	19 800 Kč	19 800 Kč	19 800 Kč
servisní náklady	0 Kč	20 000 Kč	21 000 Kč	22 000 Kč	23 000 Kč	24 000 Kč	25 000 Kč	26 000 Kč	27 000 Kč	28 000 Kč	29 000 Kč	30 000 Kč	31 000 Kč	32 000 Kč	33 000 Kč	34 000 Kč
náklady/rok	108 900 Kč	55 443 Kč	175 243 Kč	106 943 Kč	177 243 Kč	108 943 Kč	80 243 Kč	81 243 Kč	72 343 Kč	73 343 Kč	64 443 Kč	65 443 Kč	66 443 Kč	57 543 Kč	58 543 Kč	59 543 Kč
součet nákladů	108 900 Kč	164 343 Kč	339 586 Kč	446 529 Kč	623 772 Kč	732 714 Kč	812 957 Kč	894 200 Kč	966 543 Kč	1 039 886 Kč	1 104 329 Kč	1 169 772 Kč	1 236 215 Kč	1 293 757 Kč	1 352 300 Kč	1 411 843 Kč
Selvo S2.DHC																
náklady za provoz	0 Kč	3 687 Kč	3 687 Kč	3 687 Kč	3 687 Kč	3 687 Kč	3 687 Kč	3 687 Kč	3 687 Kč	3 687 Kč	3 687 Kč	3 687 Kč	3 687 Kč	3 687 Kč	3 687 Kč	3 687 Kč
amortizace	49 500 Kč	13 500 Kč	67 500 Kč	36 000 Kč	67 500 Kč	36 000 Kč	22 500 Kč	22 500 Kč	18 000 Kč	18 000 Kč	13 500 Kč	13 500 Kč	13 500 Kč	9 000 Kč	9 000 Kč	9 000 Kč
servisní náklady	0 Kč	20 000 Kč	21 000 Kč	22 000 Kč	23 000 Kč	24 000 Kč	25 000 Kč	26 000 Kč	27 000 Kč	28 000 Kč	29 000 Kč	30 000 Kč	31 000 Kč	32 000 Kč	33 000 Kč	34 000 Kč
náklady/rok	49 500 Kč	37 187 Kč	92 187 Kč	61 187 Kč	94 187 Kč	63 687 Kč	51 187 Kč	52 187 Kč	48 687 Kč	49 687 Kč	46 187 Kč	47 187 Kč	48 187 Kč	44 687 Kč	45 687 Kč	46 687 Kč
součet nákladů	49 500 Kč	86 687 Kč	178 874 Kč	240 560 Kč	334 747 Kč	398 434 Kč	449 621 Kč	501 808 Kč	550 494 Kč	600 181 Kč	646 368 Kč	693 555 Kč	741 741 Kč	786 428 Kč	832 115 Kč	878 802 Kč
Renault Master Z.E.																
náklady za provoz	0 Kč	10 777 Kč	10 777 Kč	10 777 Kč	10 777 Kč	10 777 Kč	10 777 Kč	10 777 Kč	10 777 Kč	10 777 Kč	10 777 Kč	10 777 Kč	10 777 Kč	10 777 Kč	10 777 Kč	10 777 Kč
amortizace	261 971 Kč	71 447 Kč	357 233 Kč	190 524 Kč	357 233 Kč	190 524 Kč	119 078 Kč	119 078 Kč	95 262 Kč	95 262 Kč	71 447 Kč	71 447 Kč	47 631 Kč	47 631 Kč	47 631 Kč	47 631 Kč
servisní náklady	0 Kč	20 000 Kč	21 000 Kč	22 000 Kč	23 000 Kč	24 000 Kč	25 000 Kč	26 000 Kč	27 000 Kč	28 000 Kč	29 000 Kč	30 000 Kč	31 000 Kč	32 000 Kč	33 000 Kč	34 000 Kč
náklady/rok	261 971 Kč	102 223 Kč	389 009 Kč	223 301 Kč	391 009 Kč	225 301 Kč	154 854 Kč	155 854 Kč	133 039 Kč	134 039 Kč	111 223 Kč	112 223 Kč	113 223 Kč	90 408 Kč	91 408 Kč	92 408 Kč
součet nákladů	261 971 Kč	364 194 Kč	753 203 Kč	976 504 Kč	1 367 513 Kč	1 592 814 Kč	1 747 668 Kč	1 903 522 Kč	2 036 561 Kč	2 170 600 Kč	2 281 823 Kč	2 394 046 Kč	2 507 270 Kč	2 597 677 Kč	2 689 085 Kč	2 781 493 Kč
VW e-Crafter																
náklady za provoz	0 Kč	7 657 Kč	7 657 Kč	7 657 Kč	7 657 Kč	7 657 Kč	7 657 Kč	7 657 Kč	7 657 Kč	7 657 Kč	7 657 Kč	7 657 Kč	7 657 Kč	7 657 Kč	7 657 Kč	7 657 Kč
amortizace	226 600 Kč	61 800 Kč	309 000 Kč	164 800 Kč	309 000 Kč	164 800 Kč	103 000 Kč	103 000 Kč	82 400 Kč	82 400 Kč	61 800 Kč	61 800 Kč	41 200 Kč	41 200 Kč	41 200 Kč	41 200 Kč
servisní náklady	0 Kč	20 000 Kč	21 000 Kč	22 000 Kč	23 000 Kč	24 000 Kč	25 000 Kč	26 000 Kč	27 000 Kč	28 000 Kč	29 000 Kč	30 000 Kč	31 000 Kč	32 000 Kč	33 000 Kč	34 000 Kč
náklady/rok	226 600 Kč	89 457 Kč	337 657 Kč	194 457 Kč	339 657 Kč	196 457 Kč	135 657 Kč	136 657 Kč	117 057 Kč	118 057 Kč	98 457 Kč	99 457 Kč	100 457 Kč	80 857 Kč	81 857 Kč	82 857 Kč
součet nákladů	226 600 Kč	316 057 Kč	653 714 Kč	848 172 Kč	1 187 829 Kč	1 384 286 Kč	1 519 943 Kč	1 656 600 Kč	1 773 657 Kč	1 891 715 Kč	1 990 172 Kč	2 089 629 Kč	2 190 086 Kč	2 270 943 Kč	2 352 800 Kč	2 435 658 Kč
Maxia EV80																
náklady za provoz	0 Kč	10 777 Kč	10 777 Kč	10 777 Kč	10 777 Kč	10 777 Kč	10 777 Kč	10 777 Kč	10 777 Kč	10 777 Kč	10 777 Kč	10 777 Kč	10 777 Kč	10 777 Kč	10 777 Kč	10 777 Kč
amortizace	201 300 Kč	54 900 Kč	274 500 Kč	146 400 Kč	274 500 Kč	146 400 Kč	91 500 Kč	91 500 Kč	73 200 Kč	73 200 Kč	54 900 Kč	54 900 Kč	54 900 Kč	36 600 Kč	36 600 Kč	36 600 Kč
servisní náklady	0 Kč	20 000 Kč	21 000 Kč	22 000 Kč	23 000 Kč	24 000 Kč	25 000 Kč	26 000 Kč	27 000 Kč	28 000 Kč	29 000 Kč	30 000 Kč	31 000 Kč	32 000 Kč	33 000 Kč	34 000 Kč
náklady/rok	201 300 Kč	85 677 Kč	306 277 Kč	179 177 Kč	308 277 Kč	181 177 Kč	127 277 Kč	128 277 Kč	110 977 Kč	111 977 Kč	94 677 Kč	95 677 Kč	96 677 Kč	79 377 Kč	80 377 Kč	81 377 Kč
součet nákladů	201 300 Kč	286 977 Kč	593 254 Kč	772 430 Kč	1 080 707 Kč	1 261 884 Kč	1 389 161 Kč	1 517 437 Kč	1 628 414 Kč	1 740 391 Kč	1 835 068 Kč	1 930 744 Kč	2 027 421 Kč	2 106 798 Kč	2 187 175 Kč	2 268 551 Kč

Příloha B – Kód pro měření odběrového diagramu digitálními pulzy

```
#include "ThingSpeak.h";
#include "WiFi.h";

#define digitalPin1 34
#define digitalPin2 35

int pocet_pulzu1 = 0;
int pocet_pulzu2 = 0;
int hodnota_senzoru1 = 0;
int hodnota_senzoru2 = 0;
unsigned long cas = 0;
int podminka1 = 0;
int podminka2 = 0;

const char* ssid = "dpESP32"; //jmeno wifi
const char* password = ".ADmeCP32"; //heslo wifi

unsigned long channelID = 1067529; //vložit channelID z
ThingSpeaku
const char* WriteAPIKey = "YV8LG5G1I4Z2W9BQ"; //vložit API klíč z
ThingSpeaku

WiFiClient Client;

void setup(){
  Serial.begin(115200);

  WiFi.begin(ssid,password);
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(500);
    Serial.print(".");
  }
  Serial.println("Připojeno k síti!");

  ThingSpeak.begin(Client);

  pinMode(digitalPin1, INPUT);
  pinMode(digitalPin2, INPUT);
}

void loop(){
  hodnota_senzoru1 = digitalRead(digitalPin1);
  if (hodnota_senzoru1 == HIGH){
    podminka1 = 1;
  }
  hodnota_senzoru2 = digitalRead(digitalPin2);
  if (hodnota_senzoru2 == HIGH){
    podminka2 = 1;
  }
  delay (5);
  hodnota_senzoru1 = digitalRead(digitalPin1);
  if ((hodnota_senzoru1 == LOW) && (podminka1 == 1)){
    pocet_pulzu1 ++;
    podminka1 = 0;
  }
}
```

```
}
hodnota_senzoru2 = digitalRead(digitalPin2);
if ((hodnota_senzoru2 == LOW) && (podminka2 == 1)){
  pocet_pulzu2 ++;
  podminka2 = 0;
}

if (millis() >= cas + 300000){ //po 5 minutách odesílám data
  cas = millis();
  Serial.print("Pocet pulzu na elektroměru 1: ");
  Serial.println(pocet_pulzu1);
  Serial.print("Pocet pulzu na elektroměru 2: ");
  Serial.println(pocet_pulzu2);

  if (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    obnova_pripojeni ();
  }

  ThingSpeak.setField (1,pocet_pulzu1);
  ThingSpeak.setField (2,pocet_pulzu2);
  ThingSpeak.writeFields (channelID,WriteAPIKey);

  Serial.println("Data poslána do ThingSpeaku! ");

  pocet_pulzu1 = 0;
  pocet_pulzu2 = 0;
}
delay(1);
}

void obnova_pripojeni (){

  WiFi.begin(ssid,password);
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(500);
    Serial.print(".");
  }
  Serial.println("Obnovení připojení úspěšné!");

  ThingSpeak.begin(Client);
}
```

Příloha C – Kód pro měření odběrového diagramu analogovými pulzy

```
#include "ThingSpeak.h";
#include "WiFi.h";
#include <HTTPClient.h>

#define analogPin 34

int pocet_pulzu = 0;
int hodnota_senzoru;
int podminka = 0;
int mez = 1300; //nastavit dle hodnot vycházejících ze senzoru
float prepocet_kWh; //float pro možnost odesílání do ThingSpeak
unsigned long cas = 0;

const char* ssid = "dpESP32"; //jmeno wifi
const char* password = ".ADmeCP32"; //heslo wifi

unsigned long channelID = 1067529; //vložit channelID z
ThingSpeaku
const char* WriteAPIKey = "YV8LG5G1I4Z2W9BQ"; //vložit API klíč z
ThingSpeaku

WiFiClient Client;

void setup(){
  Serial.begin(115200);

  WiFi.begin(ssid,password);
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(500);
    Serial.print(".");
  }
  Serial.println("Připojeno k síti!");

  ThingSpeak.begin(Client);
}

void loop(){
  hodnota_senzoru = analogRead(analogPin);
  if (hodnota_senzoru < mez){
    podminka = 1; // značí, že jsme uvnitř pulzu (aby to
nepočítalo jeden pulz vícekrát)
  }
  while (podminka == 1) {
    hodnota_senzoru = analogRead(analogPin);
    if (hodnota_senzoru > mez){
      podminka = 0;
      pocet_pulzu ++;
    }
    if (millis() >= cas + 960000) { // pojistka - jestli 16 minut
program nic nepošle, vyšle chybný signál v hodnotě 1000
    Serial.println("Špatně nastavená mez - program zacyklen");
    prepocet_kWh = 10000;
    delay (1000);
  }
}
```

```
ThingSpeak.setField (1,prepocet_kWh);
ThingSpeak.writeFields (channelID,WriteAPIKey);
Serial.println("Chyba poslána do ThingSpeaku");
prepocet_kWh = 0;
podminka = 0;
}
}

if (pocet_pulzu == 1000){ //nastavení jestli snímání
setin,desetin,atd. kWh
    prepocet_kWh ++;
    pocet_pulzu = 0;
}
if (millis() >= cas + 900000){ //po 15 minutách odesílám data
(900 000)
    cas = millis();
    Serial.print("Pocet desetin kWh: ");
    Serial.println(prepocet_kWh);

if (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    obnova_pripojeni ();
}

ThingSpeak.setField (1,prepocet_kWh);
ThingSpeak.writeFields (channelID,WriteAPIKey);
Serial.println("Data poslána do ThingSpeaku! ");

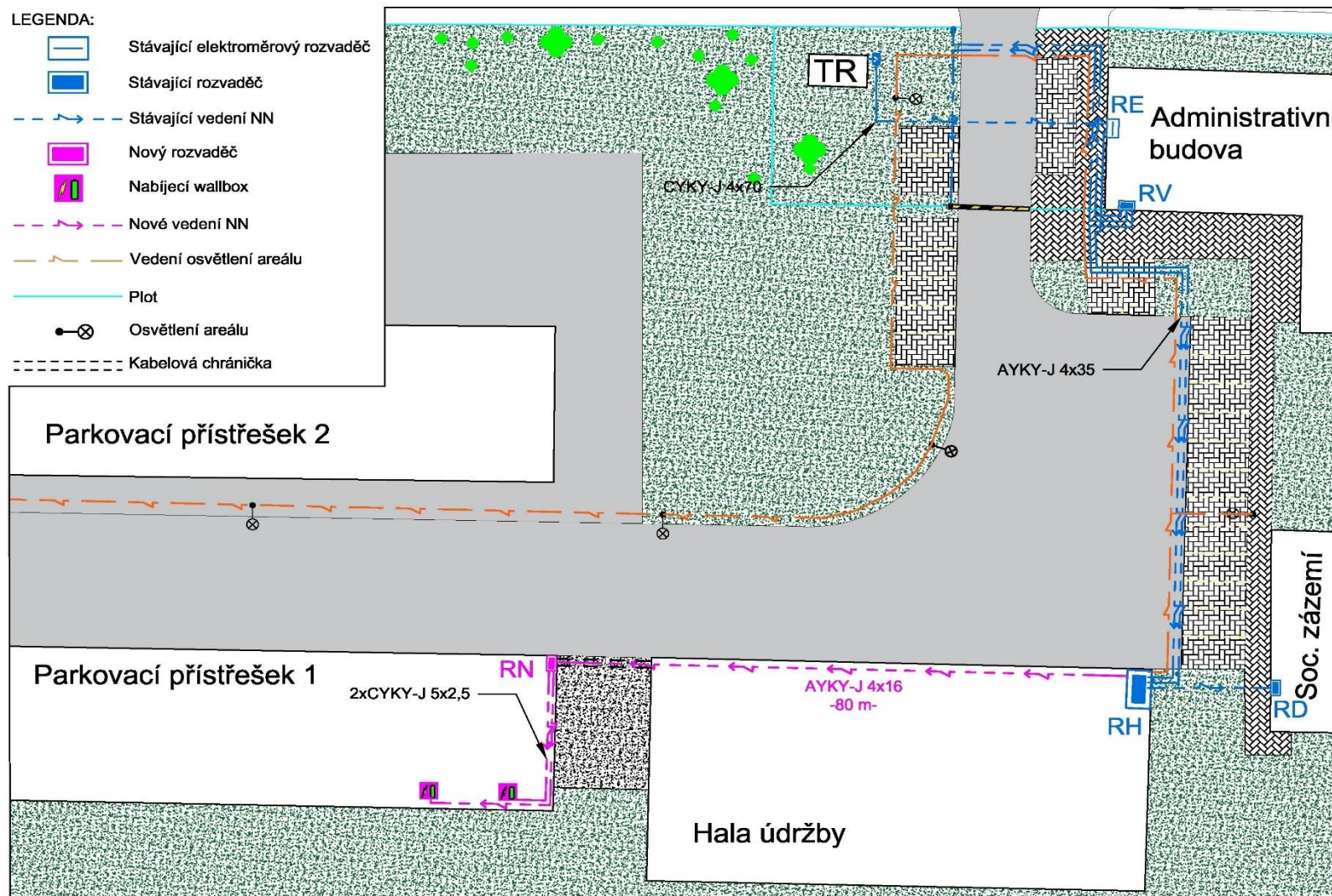
    prepocet_kWh=0;
}
delay(1);
}

void obnova_pripojeni (){

    WiFi.begin(ssid,password);
while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(500);
    Serial.print(".");
}
Serial.println("Obnovení připojení úspěšné!");

ThingSpeak.begin(Client);
}
```


Příloha D – Návrh nabíjecí infrastruktury



Příloha E – Rozpočet pro vybudování nabíjecí infrastruktury

Jistící prvky	počet jednotek	cena/kus vč. DPH	cena celkem vč. DPH
Jistič EATON PL6-B32/3 32A	2	427 Kč	854 Kč
Jistič EATON PL7-B50/3 50A	1	1 641 Kč	1 641 Kč
Mennekes Wallbox – 16A – 32A	2	13 915 Kč	27 830 Kč
Kabelový žlab Arkys Merkur 2 50x50mm	21	84 Kč	1 764 Kč
Spojka žlabu Arkys Merkur 2	40	15 Kč	600 Kč
Držák žlabu Arkys Merkur 2	42	16 Kč	672 Kč
Příchytka SONAP 6375/55-74	5	51 Kč	255 Kč
Koleno pro trubku KOPOS 6121 ZNM S 28,3mm	1	195 Kč	195 Kč
Ocelová trubka závitová KOPOS 28,3mm	2	165 Kč	330 Kč
Příchytka pro trubku KOPOS 32mm	5	46 Kč	230 Kč
Spojka pro chráničku KOPOS FA 40mm	1	60 Kč	60 Kč
Chránička KOPOS KOPOFLEX 40mm (50 m)	1	837 Kč	837 Kč
Skříň Schneider s montážním panelem	1	1 710 Kč	1 710 Kč
Plastová trubka pevná KOPOS 20mm 2m	25	9 Kč	225 Kč
Den Braven protipožární pěna pistolová	1	332 Kč	332 Kč
Kabel 1-AYKY-J 4X16 (AYKY 4Bx16)	80	39 Kč	3 120 Kč
Kabel CYKY-J 5x2,5 (CYKY 5Cx2,5)	50	37 Kč	1 850 Kč
Příchytka pro trubku KOPOS 20mm	100	6 Kč	600 Kč
Folie výstražná do výkopu červená (20m)	1	99 Kč	99 Kč
Výkopové Práce – Ceník	8	1 000 Kč	8 000 Kč
Práce - elektrikářská	12	400 Kč	4 800 Kč
Cena celkem			56 004 Kč