

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH  
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Studijní program: B4131 – Zemědělství  
Studijní obor: Zemědělská a dopravní technika: obchod, servis a služby  
Katedra: Katedra zemědělské, dopravní a manipulační techniky  
Vedoucí katedry: Ing. Luboš Smutný, Ph.D.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
Faktory ovlivňující dosah elektromobilů

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Ivo Celjak, Csc.  
Autor bakalářské práce: Roman Kašpar

České Budějovice, 2020

**JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH**  
Zemědělská fakulta

Akademický rok: 2018/2019

**ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**  
(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Roman KAŠPAR**  
Osobní číslo: **Z17254**  
Studijní program: **B4131 Zemědělství**  
Studijní obor: **ZDTb-16 – specializace Zemědělská technika**  
Téma práce: **Faktory ovlivňující jízdní dosah elektromobilu**  
Zadávající katedra: **Katedra zemědělské, dopravní a manipulační techniky**

**Zásady pro vypracování**

**Cíl práce:**

Cílem práce je stanovení faktorů působících negativně na délku dopravní trasy, kterou elektricky poháněný silniční automobil ujede ze stavu plně nabitě trakční baterie.

**Metodický postup:**

1. Studium literatury týkající se řešené problematiky (pohon elektromobilů, jízdní odpor, dopravní trasy, prostředí) a vypracování rešerše.
2. Zpracování přehledu všech vlivů působících na jedoucí vozidlo.
3. Teoretický výpočet hodnot jízdních odporů vybraných vozidel.
4. Zpracování metodiky pro sběr dat hlavních faktorů ovlivňujících jízdní odpory.
5. Praktické ověření jízdních odporů u vybraného elektromobilu.
6. Vyhodnocení výsledků.

Rozsah pracovní zprávy: **50 – 60 stran**  
Rozsah grafických prací: **dle potřeby**  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

- Celjak, I.: Konstrukce a provoz elektricky poháněných automobilů. 2018. 168 s., učební text, KZDMT, ZF, JČU České Budějovice, dostupné z: <http://kzt.zf.jcu.cz/studentum/vyukove-materialy/>
- Bradáč, A. a kol.: Rádce majitele automobilu. LINDE Praha, 1998, ISBN 70-7201-119-7, 549 s.
- Gscheidle, R. a kol.: Příručka pro automechanika. Europa Lehmitterl, Germany 2015, ISBN 978-3-8085-2163-2, 685 s.
- Hájek, V.: Elektrické stroje pro elektromobily, Leonardo da Vinci, 2001, ISBN 8008 906 14 19
- Hromádka, J.: Speciální spalovací motory a alternativní pohony, GRADA, 2012
- Mmacur, J.: Alternativní pohony v dopravě. <http://klub.elektromobily.org/w/images/6/66/AltPohVDopr.ppt>, 4.2.2008
- Kameš, J.: Alternativní pohony automobilů. BEN, 2004; ISBN 80-7300-127-6
- Vegr, J.: Elektromobily – historie a současnost. Čtvrtletník Pro-Energy, č. 3/2008, str. 44-50
- Vlk, F.: Dynamika motorových vozidel. ISBN 80-238-5273-6, Nakladatelství VLK, Brno 2000
- Sloboda, A. a kol.: Konstrukcia kolesových a pásových vozidiel – teória, konštrukcia, riziká. VENALA, Košice, 2008, ISBN 978-80-89232-28-4, 548 s.
- Srb, L.: Jaká je reálná spotřeba elektromobilu. 2017, <https://elektrickevozy.cz>
- ČSN EN 13447 (300251): Elektricky poháněná silniční vozidla – Terminologie
- ČSN EN 61851-1 ed. 2 (341590): Systém nabíjení elektrických vozidel vodivým propojením – Část 1: Všeobecné požadavky
- ČSN EN 62196-1 ed. 3 (354572): Vidlice, zásuvky, vozidlová zásuvková spojení a vozidlové přívodky – Nabíjení elektrických vozidel vodivým připojením – Část 1: Obecné požadavky
- Asociace pro elektromobilitu ČR: <https://www.elektromobily-os.cz/>
- Asociace elektromobilového průmyslu: <https://www.asep.cz/>
- Alternativní energie – Hybrid: <https://www.hybrid.cz/>
- Electroauto – novinky o elektromobilitě: <https://www.electroauto.cz/>

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Ivo Celjak, CSc.**  
Katedra zemědělské, dopravní a manipulační techniky

Datum zadání bakalářské práce: **22. ledna 2019**

Termín odevzdání bakalářské práce: **15. dubna 2020**

V Českých Budějovicích dne 27. února 2019

  
prof. Ing. Miloslav Šoch, CSc., dr. h. c.  
děkan

JIHOČESKÁ UNIVERZITA  
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH  
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA  
provozní oddělení  
Tulácká 1808, 37005 České Budějovice  
LJ3

  
doc. RNDr. Petr Bartoš, Ph.D.  
vedoucí katedry

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury. Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě archivované Zemědělskou fakultou elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu závěrečné práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky vedoucího a oponentů práce i záznam i o průběhu a výsledku obhajoby bakalářské práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé bakalářské práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

.....  
Datum

.....  
Podpis

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu své bakalářské práce Ing. Ivu Celjakovi, CSc. za motivaci, trpělivost, spolupráci, cenné rady a v neposlední řadě za čas, který mi při zpracování této diplomové práce věnoval.

Dále bych rád poděkoval společnosti CB auto, konkrétně panu Františku Filisteinovi, za zapůjčení elektromobilu Škoda Citigoe IV.

## **Abstrakt**

Tato bakalářská práce se zabývá tématem Faktory ovlivňující jízdní dosah elektromobilů. Práce bude rozdělena na dvě části, přičemž první část se bude zabývat historií elektromobilů a základním myšlenkám elektromobility....Druhá část Cílem této práce bylo zjistit, zda jízdní dosah elektromobilů udávaný výrobcem vozidla je možné dosáhnout za určitých podmínek. Dále získat praktické zkušenosti s řízením vozidla a stanovit negativní, ale i pozitivní faktory působící na jízdní dosah elektromobilu. Začátek práce je věnován historii elektromobilů a základní myšlenkám elektromobility. V další části práce je řešena problematika pohonu elektromobilů, konstrukci baterií a jejich nabíjení. V závěru práce jsou rozebrány faktory působící na jízdní dosah a výsledky praktické jízdní zkoušky.

**Klíčová slova:** elektromobilita; elektromobil; pohon; baterie; jízdní dosah

## **Abstract**

This bachelor thesis deals with the topic Factors influencing the driving range of electric cars. The work will be divided into two parts, the first part will deal with the history of electric cars and the basic ideas of electromobility. Furthermore, to gain practical experience with driving a vehicle and to determine the negative as well as positive factors affecting the driving range of the electric car. The beginning of the work is devoted to the history of electric cars and the basic ideas of electromobility. The next part of the work deals with the issue of electric vehicle drive, battery design and charging. At the end of the work, the factors affecting the driving range and the results of the practical driving test are discussed.

**Keywords:** electromobility; electric car; gearing; battery; driving range

# Obsah

Úvod.....	10
1 Historie.....	11
1.1 Elektromobily do 60. let 20. století .....	11
1.2 Druhá polovina 20. století .....	13
1.3 Přelom 20.- 21. století .....	14
1.4 Současnost elektromobilů.....	16
2 Elektromobilita.....	17
2.1 Elektromobil .....	18
2.2 Koncepce elektromobilu.....	18
2.3 Cíl elektromobility .....	19
2.4 Hybridní vozidlo.....	19
3 Pohon elektromobilu .....	20
3.1 Motor .....	20
3.1.1 Asynchronní motor .....	21
3.1.2 Synchronní motor s permanentními magnety .....	21
3.1.3 Metody řízení asynchronního motoru .....	22
3.1.4 Metody řízení PMSM.....	24
3.1.5 Mechanická část .....	24
3.1.6 Trakční měnič.....	25
3.1.7 Řídicí systém.....	25
4 Baterie .....	26
4.1 Olověné baterie.....	26
4.2 Nikl – kadmínové baterie .....	26
4.3 Nikl – metal hybridové baterie .....	26
4.4 Lithium – iontové baterie .....	26
4.5 Lithium – polymerové baterie .....	27

5	Nabíjení baterií.....	27
5.1	Nabíjecí režimy .....	28
5.1.1	Režim 1 .....	28
5.1.2	Režim 2 .....	28
5.1.3	Režim 3 .....	28
5.1.4	Režim 4 .....	28
6	Jízdní dosah.....	29
6.1	Teoretický jízdní dosah .....	30
6.2	Homologovaný jízdní dosah.....	30
6.3	Skutečný jízdní dosah.....	30
7	Jízdní odpory.....	31
7.1	Aerodynamický odpor .....	31
7.2	Valivý odpor.....	32
7.3	Odpor setrvačnosti.....	34
7.4	Odpor stoupání .....	34
7.5	Odpor zrychlení .....	35
8	Řidič, elektronické komponenty .....	36
8.1	Změna jízdního dosahu při chladném počasí .....	36
8.2	Změna jízdního dosahu při teplém počasí.....	36
8.3	Ovládání vozidla řidičem .....	36
9	Praktická část .....	37
9.1	Měřený úsek .....	37
	.....	38
9.2	Škoda Citigoe IV .....	39
9.2.1	Hodnoty potřebné k výpočtu.....	40
9.3	Naměřené hodnoty .....	41
9.4	Výpočet úhlu stoupání trasy .....	42



9.4.1	Úsek 1 .....	42
9.4.2	Úsek 2 .....	42
9.4.3	Úsek 3 .....	43
9.4.4	Úsek 4 .....	43
9.5	Hodnoty pro úsek měření .....	43
9.6	Výpočty pro 1. měřený úsek.....	44
9.7	Výpočty pro 2. měřený úsek.....	45
9.8	Výpočty pro 3. měřený úsek.....	46
9.9	Výpočty pro 4. měřený úsek.....	47
9.10	Přepočet ztrátového výkonu.....	48
10	Nabíjení testovaného elektromobilu .....	49
10.1.1	Průběh nabíjení.....	49
11	Diskuze.....	50
12	Závěr .....	52
13	Seznam použité literatury.....	54
13.1	Tištěné.....	54
13.2	Webové stránky .....	54
14	Seznam obrázků .....	56
15	Seznam tabulek .....	57
16	Příloha .....	58
16.1	Testy jedné britské firmy .....	58
16.2	Seznam použitých zkratk a symbolů.....	59

## Úvod

Toto téma bakalářské práce jsem si vybral, protože mě tato problematika zajímá a mám pozitivní vztah k automobilovému průmyslu. Elektromobily se mi zdají jako perspektivní řešení problematiky, spojené se zhoršující se kvalitou ovzduší, hrozbou klimatických změn, postupné nedostupnosti energie z fosilních zdrojů, jako je ropa. Tato negativa má vliv na zdravotní stav obyvatel a udržitelný způsob automobilové dopravy. Převážně ve vyspělých zemích stojí tento aspekt za podporou elektromobility. V České republice se používání elektromobilů začíná rozmáhat, koncem roku 2019 bylo v České republice registrováno 8200 elektromobilů a hybridů. Podle vědců by se během roku 2020 měl tento počet zvýšit až čtyřikrát. Za první dva měsíce roku 2020 bylo nově registrováno 720 elektromobilů. Po celém světě už jezdí více jak tři miliony elektromobilů.

V posledních několika desetiletích se v dopravě převážně využívá energie, která se uvolňuje spalováním ropných produktů. Tato energie je nejvíce využívána díky svým vlastnostem, jako je jednoduchá skladovatelnost, velká objemová a hmotnostní hustota. V důsledku energetické bezpečnosti a nezávislosti, a také kvůli ubývání fosilních paliv a ropy, začínají vyspělé státy hledat alternativní zdroje energie. Kvůli změnám globálního klimatu a stále zvětšující produkci skleníkových plynů, se výrobci snaží vymyslet alternativu, která by nezatěžovala životní prostředí. Jedním z alternativních zdrojů se jeví elektrická energie, která může být generována různými technologiemi z velkého množství zdrojů, jako jsou například obnovitelné zdroje energie.

První část mé práce je zaměřena na popis historii elektromobilů a elektromobility obecně. Dále nabíjení elektromobilů a jejich konstrukci. Jsou zde uvedeny i hlavní modely elektromobilů

V druhé části je vypracováno měření elektromobil. Celé měření bylo provedeno na elektromobilu Škoda Citigoe IV o výkonu 61 kW a baterií s energií 36,8 kWh.

Cílem této práce bude zjistit jaké faktory ovlivňují jízdní dosah a získat nové zkušenosti s jízdou v elektromobilu.

# 1 Historie

Pro navržení nového, efektivnějšího řešení pro elektromobily je nezbytné nahlédnout do historie, seznámit se s jejich předchůdci, a především se poučit z nedostatků, které vedly k jejich praktickému neúspěchu.

## 1.1 Elektromobily do 60. let 20. století

Nejdříve si musíme uvědomit, že elektropohon vozidla je mezi námi už delší dobu. Vyvíjel se již od prvních let 20. století na pozadí vývoje běžných elektromobilů. Kvůli problematice dojezdu a dlouhého nabíjení, toto řešení pro dopravní vozidla zůstalo po celé století ve stínu spalovacích agregátů. Ropy se zdálo být nevyčerpatelné množství a tento druh paliva se jevil jako dostupný a relativně laciný. Emise výfukových plynů zpočátku v tak malé produkci vozidel lidstvo příliš nezajímaly. Elektromotory v dopravě našly využití spíše v různých továrních vozíčkách, manipulátorech a kolejových vozidlech [9].

První vhodný stejnosměrný elektromotor pro pohon vozidla vznikl v roce 1886. Jeho aplikace nenechala na sebe čekat a na přelomu 19. a 20. století existovala již provozuschopná vozidla. Jednalo se především o přestavby koňských kočárů. V této době v New Yorku byl malý počet elektromobilů použit i jako taxi vozidla. V této souvislosti musíme zmínit například elektromobil značky Baker, který v prvních letech 20. století sestrojila firma Baker Motor Vehicle Company, která mělo své sídlo v Ohio. Elektromotor byl ukrytý pod sedadlem, sada akumulátoru se nacházela v boxu v přední části vozidla a točivý moment na zadní kola přenášel řetěz. Tyto elektromobily se pohybovaly rychlostí kolem 20 km/h a ujely přes 25 kilometrů na jedno nabití. Oproti tehdejším vozidlům se spalovacím motorem poskytovaly mnoho výhod, jaké byly především absence:

- vibrací v karoserii,
- zápachu,
- hluku,
- změny převodů,
- startování lidskou silou [9].

Parní vozidla skrývali jiné nevýhody:

- velmi dlouhé zahřívání (až 45 minut),
- nutnost častého doplňování vody – v důsledku toho, tedy potenciálně menší dojez než nynější elektromobily a benzínová vozidla [9].

Lze tvrdit, že elektromobily zaujaly na počátku 20. století velký počet zákazníků, především kvůli absenci kvalitních vozovek mimo město. Svým dojezdem po městě tedy vyhovovala a obsluha se nejevila složitá. Existovaly levné vozy nižší třídy s tehdejší cenou přibližně 22 897 Kč (\$1000), ale i luxusní vozidla. Průměrná cena elektromobilů se v této době pohybovala okolo 70 000 Kč (\$3000). Jejich vrcholná produkce v roce 1912 se vedle spalovacích automobilů začala snižovat z následujících důvodů [9].

Ve 20. letech 19. století se začala zdokonalovat mimoměstské komunikace. Navíc v Americe ve státě Texas bylo objeveno nové naleziště surové ropy, díky němuž se cena paliva snížila natolik, že na její koupi dosahovalo velké procento obyvatel. Charles Kettering vynalezl v roce 1912 elektrický startér. Odstartovala masová produkce společnosti Ford, díky které se podařilo zlevnit základní řady vozidel na cenu 11 500 Kč (\$500). Naopak méně efektivní výroba elektromobilů cenu stále zvyšovala. V polovině 30. let úplně zmizely elektromobily z trhu a na dlouhou dobu jejich funkci převzaly běžné automobily [9], [13].



**Obrázek 1- Elektromobil Baker [9]**

## 1.2 Druhá polovina 20. století

V 60. letech byla potřeba začít hledat alternativní pohon. Ve světě se začalo pociťovat znečištění ovzduší a jednotlivé státy nechtěly být závislé na dodávkách ropy. V těchto letech firma Battronic ve spolupráci s dalšími podniky zkonstruovala nákladní elektromobily. Při maximální rychlosti 40 km/h uvezl více než 1 tunu nákladu a na jedno nabití ujel necelých 100 kilometrů. Vedle tohoto elektromobil Battronic ve spolupráci s General Motors vyvinul i další kapacitu až 20 cestujících. V následujícím odstavci se zaměřím na koncepci elektromobil Battronic Minivan Electric Delivery Van [13], [14].

Jednalo se o dvoumístný elektrický minivan. Byl poháněn stejnosměrným sériovým motorem o výkonu 31 KW, který byl napájen přes regulátor dvěma moduly olověných akumulátorů při napětí 112 V vážících více než 1000 kg. Tyto akumulátory byly napájeny ještě další 12 V baterií, která dodávala energii do ostatních elektrických zařízení vozidla. Dobíjení akumulátorů probíhalo klasickou 230 V sítí. Dosahoval značné pohotovostní hmotnosti 2600 kg, užitečné zatížení bylo pouhých 363 kg. Delivery Van měl dvoustupňovou převodovku, zařadit jiný převodový stupeň bylo možné pouze za klidu vozidla. Brzdění probíhalo přes hydraulické bubnové brzdy bez rekuperace pohybové energie. Reálný dojezd vozidla v praxi nepřesahoval 100 kilometrů [13], [14].



Obrázek 2- Battronic Minivan Electric Van [14]

### 1.3 Přelom 20.- 21. století

V 90. letech svět začal jednat ohledně regulací výfukových plynů. Vznikla různá legislativní opatření, která nastartovala novou éru významnějšího vývoje elektromobilů. Díky těmto opatřením se rozrůstal počet hybridů nebo čistě elektromobilů, která vznikla přímým navržením nebo jako přestavba běžného vozidla. Na přelomu století byl vyroben legendární elektromobil EV1 od společnosti General Motors ve spolupráci se společnostmi Honda a Toyota, které dnes patří mezi přední výrobce hybridních vozidel a elektromobilů. V roce 1990 byl spuštěn projekt Zero Emissions, který měl za cíl do roku 1998 nahradit 2 % běžných vozidel elektromobily. Právě EV1 se stal prvním elektromobilem tohoto amerického projektu [9].

EV1 je dvoumístné sportovní vozidlo, které počítalo jenom s elektrickým pohonem. Zajišťoval jej třífázový asynchronní motor o výkonu 102 KW. Přenos síly na kola zprostředkovávala převodovka se stálým převodem a maximální rychlostí tohoto elektromobilu bylo 130 km/h. EV1 první generace zásobovaly elektrickou energií olověné akumulátory [9].

Elektromobily druhé generace používaly Ni-MH baterie od společnosti GM-ovonics a dosahovaly dojezdu až 250 kilometrů. Baterie tohoto typu elektromobilu byly dobíjené přes domácí stanice (2-3 hodiny), přes rychlonabíjecí stanice (20 minut) nebo zde byla možnost použití přenosné nabíječky (7 hodin). Bateriová sada obsahovala 26 modulů, olověné po 12 V, Ni-MH po 13,2 V. Stejnoseměrný proud se přeměnil na střídavý a přes regulátor byl veden k asynchronnímu motoru [9].

EV1 se svými parametry dynamiky se vyrovnal tehdejšími sportovními automobilům a často převyšoval svou výbavou. Za (základní) výbavu můžeme považovat výbavu lze jmenovat??? klimatizace, elektrohydraulické brzdy, elektrická kontrola tlaku v pneumatikách, vyhřívání předního skla, dvoustupňové airbagy, xenonové světlomety. Karosérie byla tvořena kompozitními materiály, jako například rám a ráfky kol, které byly zhotoveny z hliníku. Pohotovostní hmotnost vozidla činila 1300 kilogramů, což představovalo hodnotu blízkou sportovním automobilům. Velký důraz byl kladen hlavně na nízké odpory při jízdě (aerodynamicky přizpůsobená karoserie, pneumatiky Michelin Proxima měly nízký valivý odpor) [9].

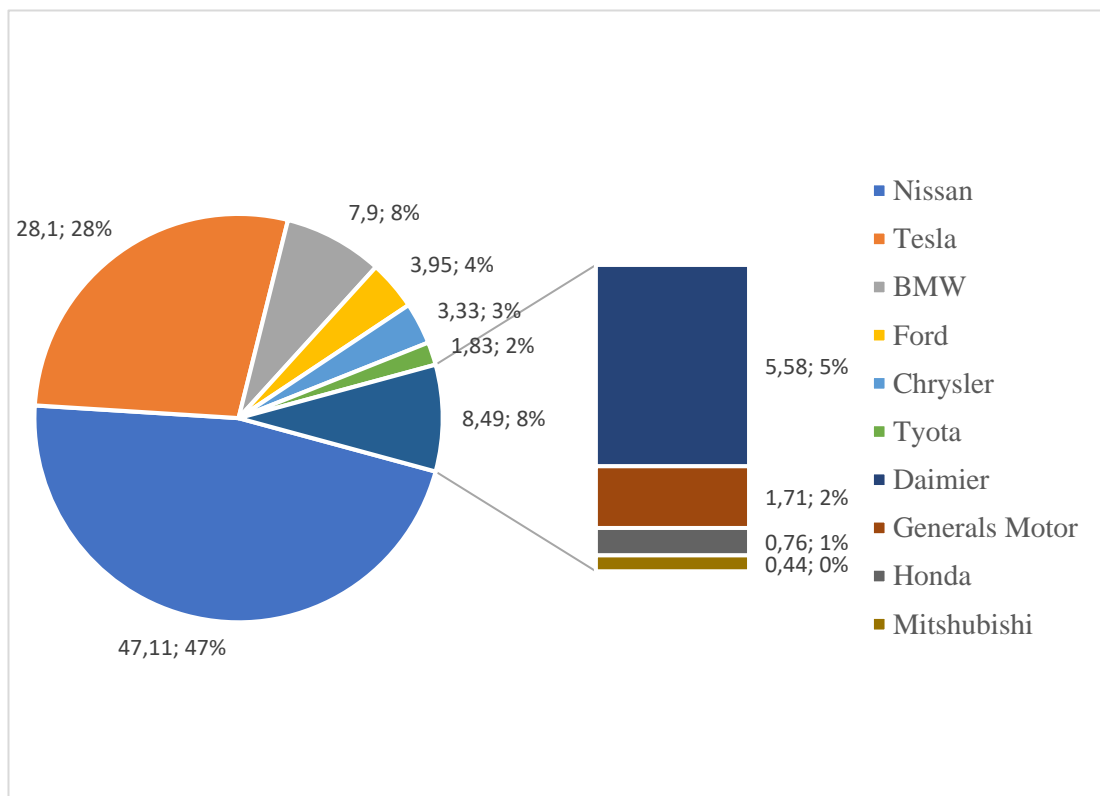
Tato kombinace ve spolupráci s rekuperací při brždění motorem zajišťovala vysokou efektivitu celého systému, praktičnost a použitelnost v běžném provozu. Avšak i přes propracovanost projektu Zero Emissions, především rozmístění nabíjecích stanic po USA, výhodného leasingu pro majitele a samozřejmě také vyspělost celého technického systému, tento projekt netrval dlouho a po vyrobení 1100 kusů skončil. Elektromobily typu EV1 byly majitelům zabaveny a většina z nich byla sešrotovaná nebo si některé z nich ponechala technická muzea. Lidé přicházely s konspiračními teoriemi o ropných magnátech, kterým se tento projekt nezamlouval. Ale doložitelným důvodem přímo od General Motors byla nákladnost celého projektu, vysoká cena elektromobilů a také velmi malá poptávka po těchto elektromobilech [9].



**Obrázek 3- EV1 General Motor [9]**

## 1.4 Současnost elektromobilů

Intenzita vývoje automobilů v dnešní době jde ruku v ruce se stále se zpřísňujícími emisními normami, cenou paliva a jeho pozvolna se blížícího konce. Dnes je portfolio koncepcí poněkud rozšířenější, než tomu bylo v minulých letech. Na rozdíl od minulosti se dnes vyvábí elektromobily, které se masově rozšiřují mezi spalovací automobily, delší dobu se drží na trhu a vykazují vysokou prodejnost. Stále však není jisté, jaké řešení pro pohonnou soustavu je tím nejvýhodnějším. Existuje mnoho kombinací jednotlivých částí pohonné soustavy a jejich variant, což bude náplní dalších kapitol [22].



Obrázek 4- Graf prodejnosti společností prodávajících elektromobily [22]



## 2 Elektromobilita

Rozvoji elektromobilů se v mnoha zemích dostává v poslední době velké podpory především z důvodů zlepšení životního prostředí, především ve městech. Diskutuje se o technických standardech, tvorbě nabíjecí infrastruktury ve městech, nebo daňových úlevách pro elektromobilitu. Většina automobilek se během loňského roku pochlubila svými vozidly poháněnými elektromotory [3], [22], [10].

Elektromobilitou se obecně úmyslný pohyb dopravních zařízení pomocí elektrické energie (elektrickým pohonem). Pozemní elektromobilitou se rozumí pohyb vozidel po silnici, předem stanovené trase nebo po stanovené dráze, vyplývající z technologického postupu při realizaci pracovní operace. Elektromobilita zahrnuje pohyb rozmanitých strojních zařízení poháněných elektromotory, pro příklad tu máme třeba hromadná dopravní zařízení, která dopravují lidská břemena (elektrické vlaky, trolejbusy); dopravní zařízení, která dopravují břemena fyzikálních a chemických vlastností v závislosti na charakteru jejich vzniku a vlastností (nákladní automobily, dopravníky); zahrnuje také pohyb pracovních mechanismů, provoz jednotlivých dopravních zařízení, kterými jsou malá elektrická zařízení (elektrické motocykly, tříkolky, elektrokola a další) [3], [22], [10].

## 2.1 Elektromobil

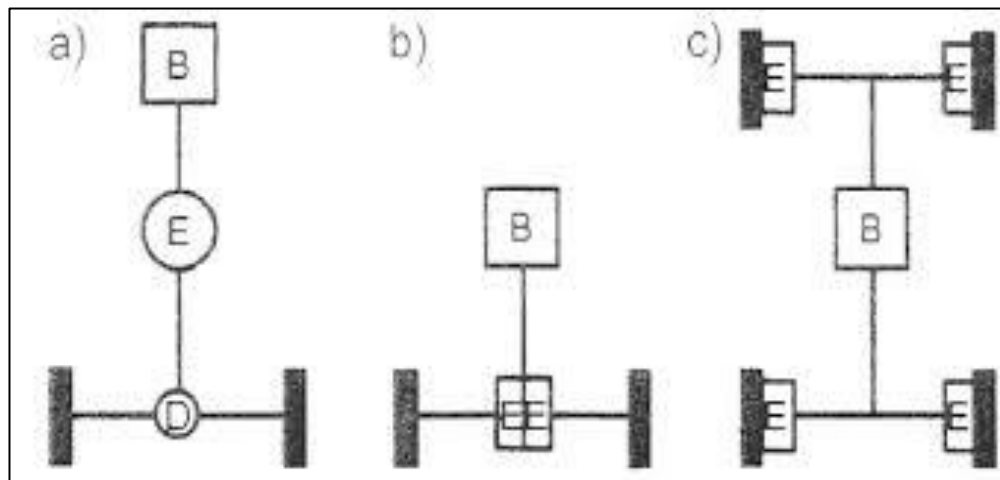
Elektromobil je motorové vozidlo skupiny L, M, S nebo N. Toto rozdělení je stanovené podle legislativy. Elektromobil je poháněné trakčním elektromotorem napájeným ze zásobníku elektrické energie, který může být umístěný ve vozidle nebo poblíž vozidla, také může být umístěn na přívěsu vozidla [25].

Elektromobil je určen k bezpečné, efektivní a pohodlné dopravě jedné, nebo více osob na stanovené dopravní trase v čase, který má vazbu na průměrnou rychlost jízdy při faktorech prostředí (klimatické prostředí), stavem dopravní trasy a samozřejmě také záleží na schopnostech řidiče [25].

Baterie elektromobilu jsou převážně nabíjeny externími zdroji elektrické energie, prostřednictvím nabíječek. Nabíječky jsou buď součástí elektromobilu, nebo jsou externí na některých čerpacích stanicích [25].

## 2.2 Koncepce elektromobilu

Hnací ústrojí elektromobilu je tvořeno, podobně jako u běžného vozidla se spalovacím motorem, z motoru, převodovky, diferenciálu s rozvodkou. Nejčastěji se používá přední nebo zadní pohon s elektromotorem, dále tandemové hnací systémy se dvěma elektromotory a pohony kol elektromotory umístěnými přímo v kolech, viz obrázek č. 5 [5].



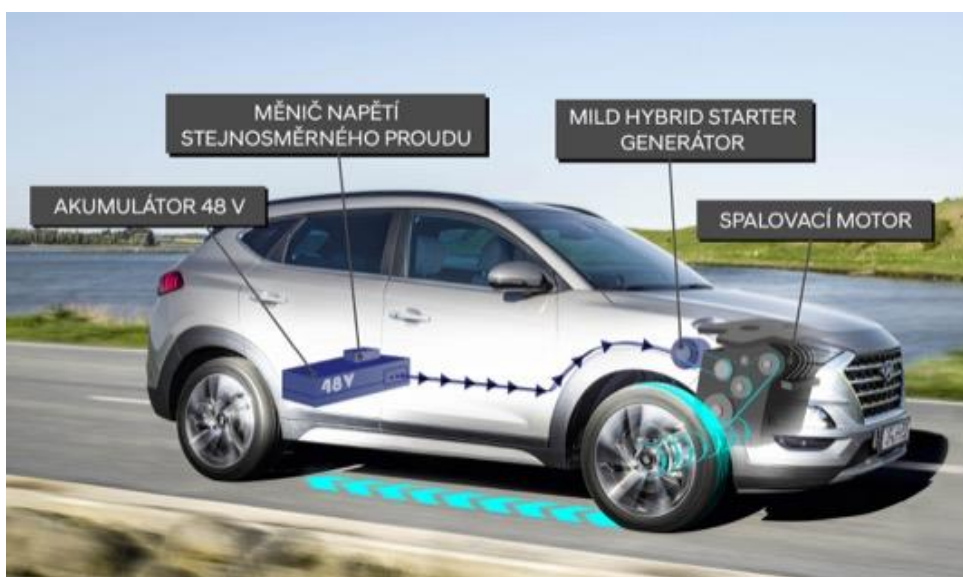
Obrázek 5- Uspořádání hnacího ústrojí pro elektromobily: a) přední nebo zadní pohon; b) tandemový pohon; c) pohon v nábojích kol; B – baterie; E – elektromotor a usměrňovač příp. převodovka; D – diferenciál [5]

### 2.3 Cíl elektromobility

Spočívá v odstranění zdrojů znečištění ovzduší emisemi z běžných vozidel se spalovacím motorem, především z obytných částí a jejich přesunutí mimo města, kde bude elektrická energie pro pohyb elektromobilů nejprve vyráběna v emisních zdrojích (což jsou spalovací elektrárny). V posledních letech, se technologie zdokonaluje a bude vyráběna v bezemisních zdrojích elektrické energie (OZE – využití solární energie v nabíjení elektromobilu) [22].

### 2.4 Hybridní vozidlo

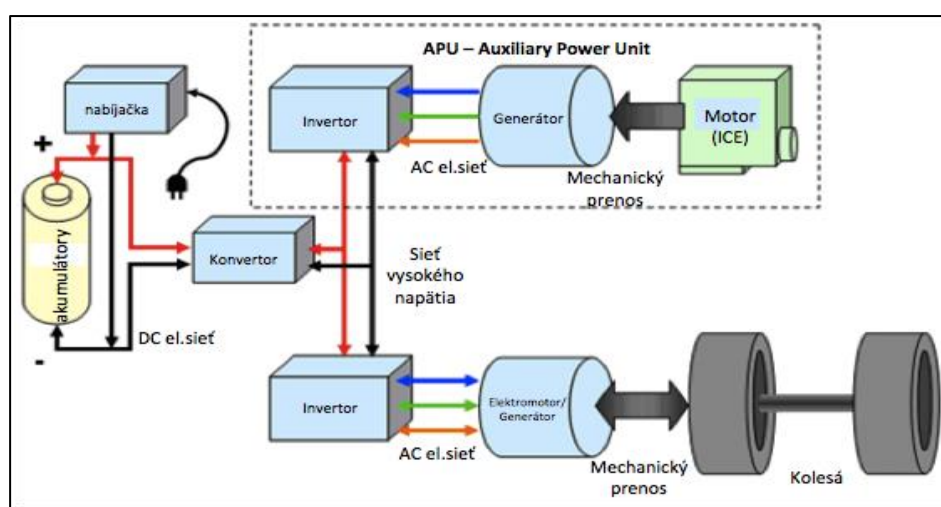
Tyto typy vozidel používají kombinaci spalovacího motoru a elektromotoru. Při akceleraci současně fungují oba motory a nadbytečná energie ze spalovacího motoru slouží k nabíjení akumulátoru. Podle vlastností jízdy vozidlo využívá režim, který je nejlepší, spotřeba energie paliva je velmi nízká při pohybu ve městě, kde převážně využívá elektromotor [15], [16].



Obrázek 6- Hybridní vozidlo Hyundai Tucson [15]

### 3 Pohon elektromobilu

Základním blokem pohonu je motor, který převádí elektrický výkon na mechanický. Mechanický výkon se přenáší pomocí převodovky s pevným převodovým poměrem, diferenciálu a hřídelí na kola. Baterie uchovává energii pro pohon vozidla. Napětí baterie je stejnosměrné – pokud by byl motor napojený na baterii, nebylo by jej možné ovládat. Proto tam je měnič, který zajišťuje ovládání motoru. Měnič upravuje napětí připojené na motor podle pokynů řídicí jednotky. Napětí pohonu elektromobilů závisí na napětí baterie, to se v dnešní době pohybuje v rozmezí 150 V až 450 V, proto bývá označení 400 V – ový systém. Pohon je znázorněn na obrázku 7 [8], [6].



Obrázek 7- Pohon elektromobilu [6]

#### 3.1 Motor

U většiny vozidel je motor vybaven jedním motorem, který pohání přední nápravu nebo zadní nápravu. Některé modely od firmy Tesla Motors mají hlavní motor, který pohání zadní nápravu. Tesla Motors nejčastěji využívá motory asynchronní. Jsou to modely Tesla model S a Tesla Model X. Dále se využívá motor synchronní s permanentními magnety (ve zkratce PMSM), tyto motory využívají společnosti Nissan, BMW, Chevrolet. Jako poslední varianta je motor synchronní. Tyto motory jsou využívány u firmy Renault [12], [20].

### 3.1.1 Asynchronní motor

Asynchronní motory patří do kategorie střídavých elektromotorů, které vytlačují u elektromobilů stejnosměrné motory. U asynchronních motorů je potřeba přeměnit stejnosměrný proud z baterie na střídavý proud. Tyto motory jsou oproti stejnosměrným elektromotorům menší a tím pádem i lehčí [12].

Motor pracuje na principu magnetické indukce: Třífázové statorové vinutí vytváří otáčivé magnetické pole. Toto pole indukuje napětí v kotvě a jelikož jednotlivé závitové klecové kotvy jsou zkratované, kotvou protéká proud. Magnetické pole je vytvářené pomocí rotorového proudu a roztáčí motor. Podmínku indukce napětí v rotoru je rozdílná frekvence statorového ( $f_s$ ) a rotorového ( $f_r$ ) magnetického pole. V motorickém režimu platí, že statorové magnetické pole je menší než rotorové magnetické pole. Mapa účinnosti motoru pro motorový režim je znázorněna na obrázku 8 vlevo. Mapa účinnosti motoru pro generátorický režim (neboli rekuperaci) má stejné hodnoty účinnosti, jen je převrácená podle osy otáček – moment motoru je záporný [12].

### 3.1.2 Synchronní motor s permanentními magnety

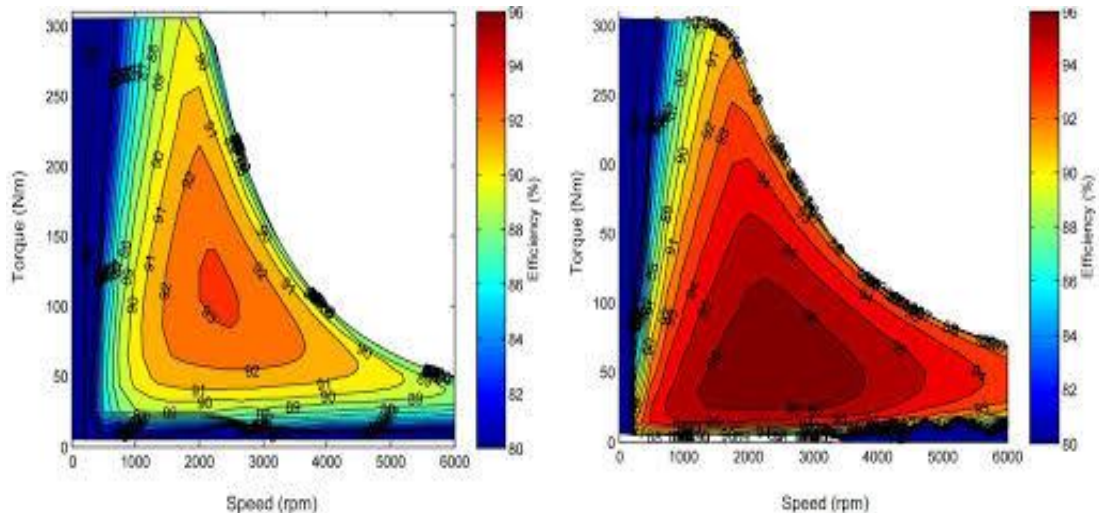
PMSM, neboli permanent Magnet Synchronus Motor je nejvíce využíván v elektromobilech. Jak název napovídá, rozdíl od asynchronního motoru se rotor PMSM otáčí se stejnou frekvencí, jako je frekvence magnetického pole vygenerovaného statorovým vynutím. To odpovídá chování běžného synchronního motoru, avšak na rozdíl od něj PMSM magnetické pole rotoru nevytváří rotorové vynutí, ale permanentní magnety. Pro výrobu permanentních magnetů je použita slitina kovů (neodym-železo-bór, samarium-kobalt) s vysokou magnetizací (dosahuje 0,8 – 1,2 T – pro porovnání ferrity dosahují 0,4 T) [12].

Výhody:

- V porovnání s asynchronním motorem dosahuje PMSM vyšších účinností (96 %), a to ve větším rozsahu momentu a otáček,
- Díky vyšší účinnosti může PSMS menší rozměry [12].

Nevýhody:

- Vyšší cena, jelikož se permanentní magnety vyrábějí z vzácných kovů,
- Teplotní omezení – Při překročení určité hranice (závisí na materiálu) začne demagnetizace permanentních magnetů,
- Malé rozměry – Není možné tak vysoké přetížení (není kam akumulovat teplo),
- PMSM je méně odolný než ASM [12].



**Obrázek 8- Mapa účinnosti motoru pro motorový režim. Vlevo – asynchronní motor (AM) s měděnou klecovou kotvou. Vpravo – synchronní motor s permanentními magnety (PMSM). [12]**

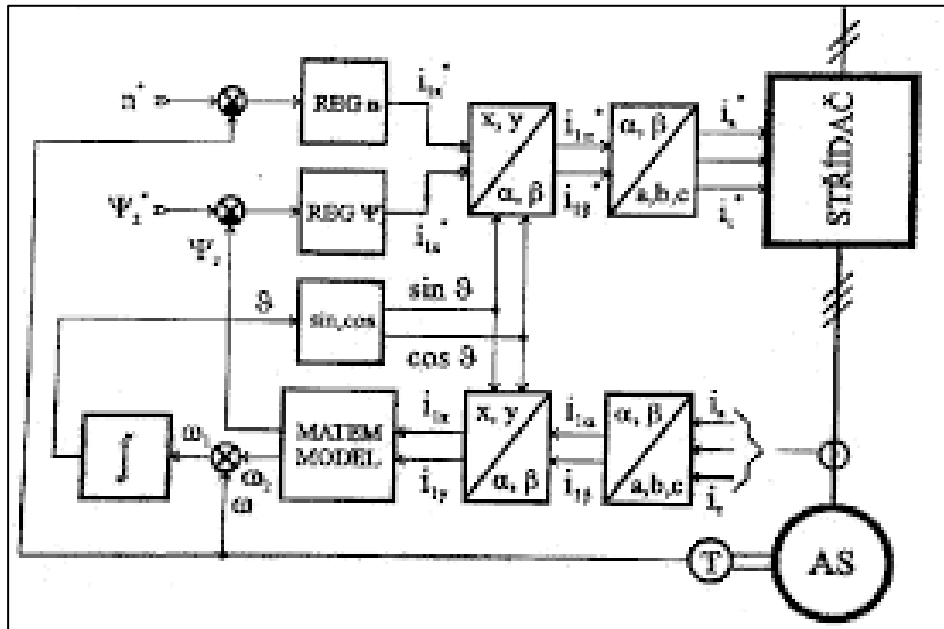
### 3.1.3 Metody řízení asynchronního motoru

Mezi metody řízení asynchronních motorů patří vektorové řízení a přímé řízení momentu. Vektorové řízení spočívá v převodu asynchronního motoru na stejnosměrný motor s cizím buzením (SSM). Na začátku jsou měřeny proudy jednotlivých fází asynchronního motoru, které odpovídají třem osám posunutým o  $120^\circ$  elektrického souřadnicového systému popsaného indexy  $a$ ,  $b$ ,  $c$ . Měřené proudy jsou převedeny pomocí Clarkové transformace z tříosého na dvouosý systém souřadnic  $\alpha$ ,  $\beta$ . Souřadnicový systém  $\alpha$ ,  $\beta$  je statický – souřadnice jsou pevně spojené se státorem. Proudů  $i_\alpha$ ,  $i_\beta$  jsou dále převedeny pomocí Parkovy transformace do dvouosého systému souřadnic  $d$ ,  $q$ . Tyto souřadnice se otáčejí spolu se statorovým polem [12].

V souřadnicovém systému  $d, q$  probíhá regulace proudů, proud  $i_d$  odpovídá tokotvorné složce, a tedy proudu buzení synchronního motoru s magnety, proud  $i_q$  odpovídá tokotvorné složce, a tedy proudu kotvy SSM. Existují různé varianty řízení proudu, např.:

- Žádaný moment vstupuje na kaskádu 3 PI regulátorů. První regulátor reguluje  $i_q$ , druhý na základě výstupu regulátoru  $i_q$  reguluje žádanou hodnotu  $i_d^*$  a konečně třetí reguluje skutečnou hodnotu  $i_d$ .
- Další možností je oddělené řízení  $i_q, i_d$  dvěma PI regulátory [12].

Vypočtené hodnoty  $u_q, u_d$ , které jsou na výstupu regulátorů  $i_q, i_d$ , jsou převedeny zpětnou Parkovou transformací na  $u_\alpha, u_\beta$  a dále zpětnou Clarkovou transformací na  $u_a, u_b, u_c$ . Ty odpovídají napětím jednotlivých vinutí a vstupují do regulátorů jednotlivých fází měniče motoru [12].



Obrázek 9- Blokové schéma vektorového řízení [12]

Při přímém řízení momentu neboli DTC (Direct Torque Control), je moment regulován ve zvoleném pásmu s určitou tolerancí s průběhem prostorového vektoru magnetického toku. Podobně jako v případě vektorového řízení jsou měřeny proudy jednotlivých fází a následně převedeny z  $a, b, c$  do  $\alpha, \beta$ . Proudů, které jsou převedeny spolu s otáčkami, vstupují do modelu motoru, který má na výstupu moment a magnetický tok. Hysterezní regulátory regulují moment a amplitudu magnetického toku. Na základě výstupních veličin regulátorů jsou voleny kombinace sepnutí tranzistorů měniče motoru (třífázový měnič – 8 kombinací, 6 aktivních, 2 pasivní). Na základě aktivních kombinací lze rozdělit  $360^\circ$  elektrických na 6 úseků podle os daných jednotlivými aktivními kombinacemi. Pracovní úsek je dán úhlem magnetického toku v  $\alpha, \beta$  souřadnicích. Každý úsek – PWM z vhodných aktivních kombinací a pasivní kombinace. Na základě úhlu magnetického toku v  $\alpha, \beta$  je dán pracovní úsek a z vhodných aktivních kombinací a pasivní kombinace jsou na výstupu bloku logiky generovány spínací PWM signály pro měnič. Volba kombinací závisí na typu metody [12].

### **3.1.4 Metody řízení PMSM**

Metody řízení PMSM se velmi podobá metodám řízení asynchronního motoru. Tyto metody se velice podobají ve struktuře statoru. U PMSM také převažuje vektorové řízení (FOC) a přímé řízení momentu (DTC) [12].

### **3.1.5 Mechanická část**

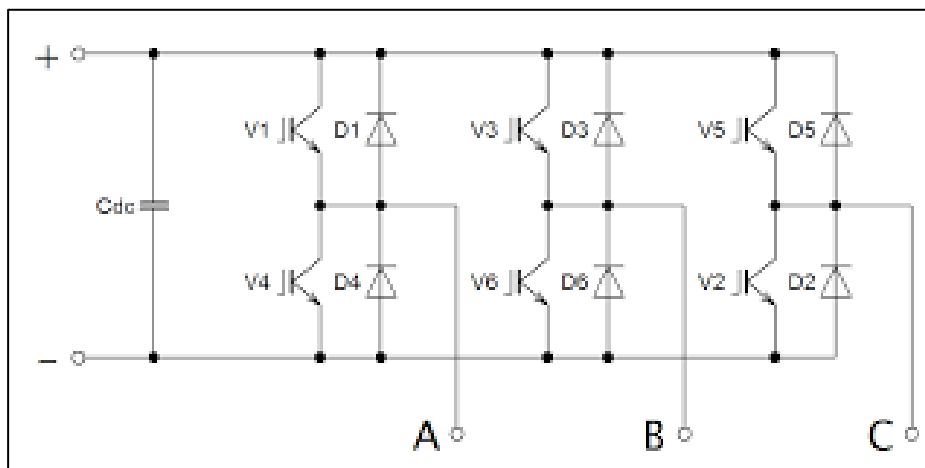
U elektromobilů je výkon přenášen z motoru na kola podobným způsobem jako u běžných vozidel se spalovacím motorem. Jedním velkým rozdílem je, že převodovka u elektromobilů má pevný převod. Elektrický motor dosahuje maximálního momentu v celém rozsahu otáček a není tak potřeba volit optimální oblast. Pevný převod umožňuje použít motor s vyššími otáčkami a menším momentem – je tak možné použít motor s menší kubaturou [12].

Nějaký čas se u elektromobilů uvažovalo o použití takzvaných nábojových motorů, což je například PMSM. Uspořádání nábojového motoru je inverzní – rotor je umístěn vně statoru. Stator je umístěn na pevné hřídeli a rotor je zabudován do kola, otáčení rotoru tak udává otáčky kola. Nábojové motory však zvyšují neodpruženou hmotnost, což zhoršuje ovládání a jízdní vlastnosti vozidla, proto se pro dvoustopé elektromobily prakticky neuvžívají. Použití nábojových motorů je tak typické pro elektrokola, elektrické motorky a podobná vozidla [12].



### 3.1.6 Trakční měnič

Tento trakční měnič upravuje stejnosměrné napětí baterie podle pokynů od řídicího algoritmu. Motor je ve většině případech třífázový střídavý, proto silový obvod měniče odpovídá třífázovému střídači. Jako spínací součástky jsou ve větší míře IGBT. Počet trakčních měničů odpovídá počtu motorů (obvykle jeden, ale modely Tesla dual motor mají dva, jeden pro každý motor) [12].



Obrázek 10- Třífázový střídač s IGBT tranzistory [12]

### 3.1.7 Řídicí systém

Řídicí systém má podobu distribuovaného počítače – každý modul (palubní DC-DC měnič, BMS baterie a další) má vlastní řídicí jednotku, která zajišťuje činnost modulu. Řídicí jednotky jednotlivých modulů jsou koordinovány centrální jednotkou, která zajišťuje správnou činnost pohonu jako celku. Centrální jednotka zpracovává vstupy od řidiče (pedál plynu, brzda, řadicí páka a podobně) ovládá individuální periferie vozidla (světlo, klakson a podobně) a komunikuje s ostatními elektrickými systémy vozidla (klimatizace, ovládání dveří, palubní deska a podobně).

Jednotky mezi sebou komunikují po společné sběrnici, která je většinou založena na standardu CAN (Control Area Network). Pro ostatní systémy vozidla, které nejsou součástí pohonu, je obvykle určena samostatná, taktéž založená na CAN. Centrální jednotka je napojena na obě sběrnice. Toto uspořádání řídicího systému vychází ze systémů pro vozidla se spalovacím motorem. Pro řídicí systémy se používají především mikropočítače DSP (Digital Signal Processing – především pro řízení motorů) a ARM (Advanced RISC Machine) [12].

## 4 Baterie

Baterie jsou nejdůležitějším prvkem celého elektromobilu. Jejich parametry určují rychlost a zrychlení vozidla. Jejich energetická hustota určuje dojezdovou vzdálenost. Nároky na baterie jsou: možnost rychlého nabití, dlouhá životnost, bezúdržbovost a pořizovací cena [10].

### 4.1 Olověné baterie

Napětí jednoho článku v těchto bateriích je 2 V a elektrolyt je tekutý. Dojezdová vzdálenost na jedno nabití dosahuje 50 km. Životnost se pohybuje okolo 4 let nebo 700 nabíjecích cyklů. Při poklesu teploty baterie dochází k poklesu kapacity [10].

### 4.2 Nikl – kadmiové baterie

Tento druh baterií je odolný vůči hlubokému vybití a nevádí jim skladování ve vybitém stavu. Určitou nevýhodou je jeho relativně nižší měrná kapacita. Nebezpečím je jedovatost kadmia, z něhož se skládá jedna z jeho elektrod. Další nevýhodou je samovolné vybíjení baterie cca 20 % za měsíc [10].

### 4.3 Nikl – metal hybridové baterie

Tyto baterie jsou v dnešní době nejvíce používané. Oproti NiCd baterii má dvojnásobnou až trojnásobnou kapacitu. Tyto typy baterií mají velkou kapacitu, dodávají velký proud za přijatelnou cenu. Dále dokáží udržet stejné napětí téměř až do úplného vybití baterie. Oproti NiCd bateriím netrpí paměťovým efektem, což je stav, kdy baterie ztrácí svou kapacitu, je-li opakovaně nabíjena jen po částečném vybití [10].

### 4.4 Lithium – iontové baterie

Tyto baterie se dříve hodně používaly ve spotřební elektronice. V dnešní době se jedná o jeden z nejoblíbenějších typů baterií pro přenosné elektrické přístroje. Největším kladem je vynikající poměr mezi energií a hmotností, žádné paměťové efekty a pomalé samovybíjení. Při neopatrném zacházení může dojít k explozi. Při skladování baterie při teplotě 20 °C dochází ke ztrátě kapacity o 20 % za rok. Při 4 °C jen o 4 % za rok. Oproti NiCd a NiMH bateriím mají vyšší vnitřní odpor, a tudíž z nich není možné získat tak vysoký proud [10].

#### **4.5 Lithium – polymerové baterie**

Další verzí lithium-iontových baterií jsou baterie založené na lithium – železo – fosfátu ( $\text{LiFePO}_4$ ). Mezi jejich hlavní přednosti oproti klasickým lithium iontovým bateriím patří především schopnost dodat vyšší proud, a to že při extrémních podmínkách (např. při havárii vozidla) nevybuchují. Tyto baterie netrpí paměťovým efektem [10].

### **5 Nabíjení baterií**

Pro rozvoj elektromobility je důležitou podmínkou rozvoj nabíjecích stanic, které jsou stejně nepostradatelné jako čerpací stanice pro běžná vozidla. Nejvíce odlišné v nabíjení elektromobilů od tankování paliva do běžných vozidel je v čase trvání operace. Zatímco tankování paliva trvá do 5 minut, nabíjení elektromobilu trvá od desítek minut až po několik hodin. Je potřeba říci, že elektromobil není využíván celý den, a proto se nabíjení soustřeďuje do doby, kdy není účelově používán. Tato doba je například při nakupování, nebo v době kdy je řidič v zaměstnání a vozidlo je zaparkováno na parkovišti nebo v noci u domu [10].

Narůstajícím počtem elektromobilů bylo nutné stanovit základní standardy pro výrobce nabíjecích stanic i pro automobilky, kteří vyrábějí tento typ vozidel. Mezinárodní elektrotechnická komise stanovila dvě základní normy definující čtyři různé režimy nabíjení, provedení přívodního kabelu a provedení konektorů pro připojení [10].

Pro klasické nabíjení příkonem od 3 kW do 7 kW je takzvaný palubní nabíječka baterií zabudována od výrobce přímo v elektromobilu. Pro normální nabíjení příkonem od 3 kW do 7 kW je tzv. palubní nabíječka baterií zabudována od výrobce přímo v elektromobilu. Kabel je dimenzován pro připojení do elektrické sítě jednofázově na 230 V nebo třífázově na 400 V střídavého napětí [10], [19].

Při rychlém nabíjení od 22 kW do 43 kW se podle normy používají dvě řešení. První využívá palubní nabíječku navrženou pro nabíjení od 3 kW do 43 kW při 230 V nebo 400 V střídavého napětí. U druhého řešení je použita externí nabíječka, která převádí střídavé napětí na stejnosměrné napětí a nabíjí elektromobil [10], [19].

## 5.1 Nabíjecí režimy

### 5.1.1 Režim 1

U režimu 1 je využité připojení k elektrické standartní síti 230 V, z elektrické zásuvky umístěné v domácnosti. Pro použití režimu 1 je nutné mít elektrickou instalaci v souladu s bezpečnostními předpisy a musí obsahovat uzemňovací systém, jistič pro ochranu proti přetížení a zkratu a ochranu proudovým chráničem. Režim 1 s sebou přináší několik rizik. Při nabíjení může docházet k oteplení kabelu a zásuvky po jejich intenzivním používání po dobu několika hodin při překročení maximálního proudu, který se pohybuje od 8 do 16 A [10], [19].

### 5.1.2 Režim 2

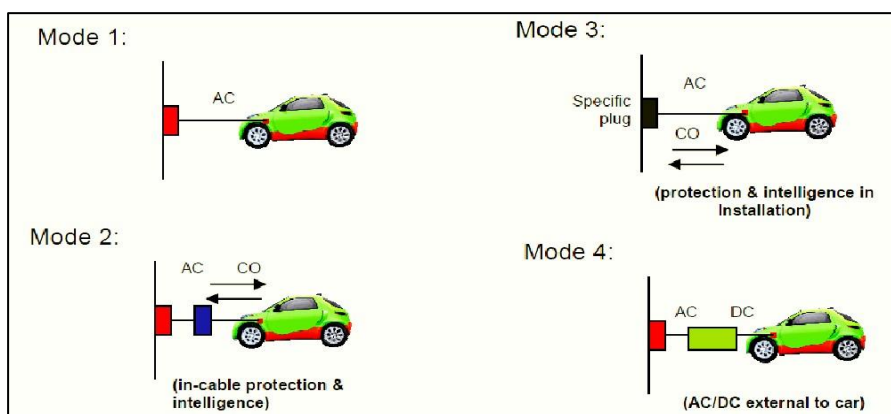
U režimu 2 je elektromobil připojen k distribuční síti pomocí domovní zásuvky. Nabíjení probíhá přes 1-fázovou, nebo 3-fázovou síť a instalaci zemního kabelu. Ochranné zařízení je vestavěno do kabelu, a proto je toto řešení mimořádně nákladné vzhledem k zvláštnosti kabelu. [10], [19]

### 5.1.3 Režim 3

Při nabíjení v režimu 3 je elektromobil připojen přímo k elektrické síti pomocí speciální zásuvky a zástrčky a jednoúčelového obvodu. U tohoto zařízení byly zabudovány ovládací a ochranné funkce. Tento způsob připojení nabíjení splňuje platné standardy pro elektrické instalace [10], [19].

### 5.1.4 Režim 4

U režimu 4 je elektromobil připojen k síti pomocí externí nabíječky. Nabíjecí kabel pro nabíjení, funkce ovládání a ochrany jsou trvale zabudovány do zařízení. Tento způsob se používá především pro stejnosměrné nabíjení, tedy nabíjení velkým proudem [10], [19].



Obrázek 11- Režimy nabíjení [19]

## 6 Jízdní dosah

Jízdním dosahem u všech vozidel se rozumí délka ujeté vzdálenosti na stanovené dopravní trase. Hodně závisí na tom, jak často řidič zastavuje, zpomaluje a také pokud řidič jede po trase, která obsahuje různé svahy. Také hodně závisí na hmotnosti vozidla a jeho zrychlení. Řidič jezdí v určitém jízdním režimu se zásobou energie v bateriích, které jsou pevnou součástí vozidla nebo vlastními systémy pro doplňování energie, jako je například rekuperace. Rekuperace je přeměna kinetické energie vozidla zpět na elektrickou energii, při nutném zpomalování vozidla na základě vlivů dopravní trasy a okolí, nebo také závisí na jízdním režimu stanoveném řidičem. [2]

S každým novým elektromobilem se jízdní dosah zvyšuje. Pro příklad v roce 2011 jízdní dosah Peugeotu iOn nepřesáhl hranici 150 kilometrů. U posledního modelu Nissanu Leaf s 40 kWh baterií dosáhne jízdního dosahu až 380 kilometrů. Samostatnou kategorii tvoří elektromobily značky Tesla, které až s 100 kWh baterií přesáhnou hodnotu jízdního dosahu 500 km. Elektromobily jsou kritizovány za svůj krátký dojezd a jsou tedy oblíbeny v různých automobilových testech, kde jsou srovnávány se svými neelektrickými konkurenty. Z automobilových testů plyne, že udávaný dojezd výrobcem se nikdy neshoduje se skutečným dojezdem. [4]

Dojezdovou vzdálenost omezuje 5 hlavních faktorů z hlediska spotřeby energie:

- jízdní odpory,
- hmotnost vozidla a jeho konstrukce,
- rychlost jízdy a zrychlení vozidla,
- překonávání svahu,
- způsob ovládání vozidla řidičem a používání spotřebičů ve vozidle (těmito spotřebiči se dá ovlivnit jak první faktor, tak i druhý faktor) a také klimatické podmínky [1].

## **6.1 Teoretický jízdní dosah**

Tento jízdní dosah je počítán pro konkrétní elektromobily při určité rychlosti, jízdních odporů v určitém prostředí, které obsahuje například stoupání, klesání, rychlost větru, prokluz atd. Také při znalosti ujeté vzdálenosti v očekávaných podmínkách při znalosti hodnoty elektrochemické práce v baterii, která se vyjadřuje v kWh [1], [4].

## **6.2 Homologovaný jízdní dosah**

Každý elektromobil je zapsán v technické dokumentaci elektromobilů. V této dokumentaci jsou zapsány různé homologační testovací jízdní cykly, které jsou udělány podle běžného provozování vozidla a zkoušen průměrným řidičem. Po tomto testování jsou vypočteny výsledky, které se zapíší, a pak se vyhodnotí různé homologace pro konkrétní elektromobily [1], [4].

## **6.3 Skutečný jízdní dosah**

Skutečný jízdní dosah je přesná ujetá vzdálenost za určitých podmínek, určité trasy a schopnostech řidiče elektromobilu. Jak je uvedeno výše, hodně záleží na hmotnosti vozidla a hlavně na schopnostech řidiče. Každý řidič má různý způsob řízení, a tak je uvedený jízdní dosah od prodejců pouze teoretický. Skutečný jízdní dosah se od homologovaného jízdního dosahu může lišit až o 40 % [1], [4].

## 7 Jízdní odpory

### 7.1 Aerodynamický odpor

Každé vozidlo, které se pohybuje, vyvolává kolem sebe proudění vzduchu. Jako důsledek tohoto proudění vzniká na čele vozidla a pod podvozkem přetlak, za zádi vozidla naopak podtlak. Také dochází mezi povrchem karoserie a okolním prostředím ke tření, které opět přispívá ke zvyšování jízdního odporu. Se záměrem snížit vzdušný odpor vozidla se na vozidlech provádí celá řada konstrukčních úprav. Například různá zaoblení hran karoserie, kryty motoru, speciální tvary čelních světlometů. Takovéto úpravy mají za následek snížení víření vzduchu okolo vozidla a tím i snížení celkového aerodynamického odporu. [30]

Velice diskutovaným tématem je „relativní rychlost vozidla“. Zde se nejedná o rychlost, kterou se vozidlo reálně pohybuje po vozovce, ale o rozdíl rychlostí vozidla a okolního vzduchu. Dalším parametrem ovlivňujícím vzdušný odpor je hustota prostředí, kdy v závislosti na teplotě a nadmořské výšce může dojít v extrémním případě ke změně hustoty vzduchu až o 30 % [21], [4].

Poslední dva parametry, kterými jsou součinitel tvaru a plocha příčného řezu jsou dány konstrukcí vozidel. V současné době přísného snižování emisních limitů, a s tím spojeným snižováním spotřeby paliva, je při výrobě nových vozů kladen velký důraz, zejména na snížení hodnoty součinitele tvaru vozidla. V praxi se jedná o kompromisech mezi ideálním aerodynamickým tvarem, vzhledem vozidla, bezpečností a praktickou využitelností všech možností uvnitř vozidla. [21], [4]

Pro názornost jsou v tabulce 1 uvedeny přibližné hodnoty součinitele tvaru některých typů vozidel:

**Tabulka 1- Odpovídající hodnoty součinitele tvaru vozidla k vybraným typům vozidel [1]**

Typ vozidla	Rozsah součinitele tvaru vozidla
Motocykl	0,6 ÷ 1,2
Osobní automobil	0,25 ÷ 0,4
Dodávkový automobil	0,4 ÷ 0,5
Nákladní automobil	0,6 ÷ 1,3
Autobus	0,5 ÷ 0,7

Aerodynamický odpor vozidla lze vyjádřit následujícím vzorcem ve fyzikálním vztahu 1:

$$O = F = c_x \cdot S_x \cdot \frac{\rho}{2} \cdot v^2 \quad [N] \quad (1)$$

Kde:

$c_x$ .....	součinitel tvaru vozidla	[-]
$S_x$ .....	plocha příčného tvaru	[m <sup>2</sup> ]
$\rho$ .....	hustota prostředí (vzduchu)	[kg/m <sup>3</sup> ]
$v$ .....	rychlost (náporová)	[m/s]

## 7.2 Valivý odpor

Pomocí přenosu točivého momentu motoru vozidla na vozovku hrají důležitou roli pneumatiky. Pneumatiky mají dopad na jízdní vlastnosti vozidla. Díky správnému nahuštění pneumatik (tlak vzduchu v pneumatice) dosáhneme dostatečné přilnavosti pneumatik k vozovce. Na obrázku 12 je zobrazeno různé nahuštění pneumatik a vyobrazení jejich přilnavosti k vozovce. Příliš nebo naopak málo nahuštěná pneumatika nepůsobí na vozovku ideální plochou, což má za následek zhoršení jízdních vlastností (prodloužení brzdné dráhy, zhoršené chování v zatáčce atd.) [21].



Obrázek 12- Huštění pneumatik [6]



I při správném nahuštění pneumatik dochází při styku pneumatik s vozovkou k jejich opotřebení. Vzniká tam měrný odpor valení. Měrný odpor valení udává, jakou silou působí odpor styku kola s vozovkou proti směru jízdy v závislosti na zatížení vozidla, jednotka ve které je udáván je [N/kN]. Jak už bylo zmíněno, měrný odpor valení závisí zejména na správném huštění pneumatik, při nedostatečně nahuštěné pneumatice odpor valení stoupá, naopak při přehuštěné pneumatice odpor valení klesá, ale bohužel na úkor jízdních vlastností. Dalším parametrem ovlivňující měrný odpor valení je sama vozovka neboli její povrch. V tabulce 2 je možné vidět přibližné hodnoty měrného odporu valení [21], [4].

**Tabulka 2- Měrné odpory valení k vybraným povrchům [6]**

<b>Povrch</b>	<b>Měrný odpor valení</b>	<b>Povrch</b>	<b>Měrný odpor valení</b>
Asfalt	10 ÷ 15	Travnatý terén	80 ÷ 250
Beton	15 ÷ 20	Hluboký písek	150 ÷ 300
Dlažba	20 ÷ 30	Sníh	200 ÷ 300
Polní cesta	40 ÷ 200	Náledí	10 ÷ 25

Pokud měrný odpor valení známe, lze spočítat celkový jízdní odpor způsobený stykem pneumatiky s vozovkou. Jízdní odpor v tomto případě se nazývá valivý odpor. Vypočítáme ho pomocí vzorce ve fyzikálním vztahu 2:

$$\mathbf{O_v = F_v = m \cdot g \cdot f \quad [N] \quad (2)}$$

Kde:

- m.....Hmotnost vozidla [t]
- g.....Tíhové zrychlení [m/s<sup>2</sup>]
- f.....Měrný odpor valení [N/kN]

### 7.3 Odpor setrvačnosti

Při pohybu vozidla a jeho zrychlování působí proti směru jeho pohybu odporová síla, která se nazývá odpor setrvačnosti. Tento jízdní odpor je složen z odporu zrychlení posuvné části a odporu zrychlení rotačních částí [4].. Vypočte se pomocí vzorce ve fyzikálním vztahu 3:

$$\mathbf{O} = \mathbf{F} = \mathbf{m} \cdot \mathbf{a} \cdot \vartheta \quad [\mathbf{N}] \quad (3)$$

Kde.

m.....	Hmotnost vozidla	[kg]
a.....	zrychlení vozidla	[m/s <sup>2</sup> ]
ϑ.....	Součinitel rotačních částí vozidla	[-]

### 7.4 Odpor stoupání

U každého vozidla, které stoupá do kopce, působí proti směru tíhové síly rovnoběžné s vozovkou. Tyto síly dokazují další jízdní odpor pohybujícího se vozidla a ten se nazývá odpor stoupání [21], [4].

V opačném případě, tedy když vozidlo jede směrem z kopce dolů, tak se o tuto složku tíhové síly zvětšuje celková síla působící ve směru pohybu vozidla [4].. Tyto síly jsou znázorněny znaménky + a – ve fyzikálním vztahu 4:

$$\mathbf{O}_s = \mathbf{F}_s = \pm \mathbf{m} \cdot \mathbf{g} \cdot \sin\alpha \quad [\mathbf{N}] \quad (4)$$

Kde:

m.....	Hmotnost vozidla	[kg]
g.....	Gravitační rychlení	[m/s <sup>2</sup> ]
α.....	Sklon vozovky	[°]

## 7.5 Odpor zrychlení

Při každé změně rychlosti vozidla na něj působí setrvačné síly, které se nazývají odpor zrychlení. Obecně se dá odpor zrychlení vyjádřit jako odpor posuvného zrychlení a odpor rotujících částí vozidla. [21], [4]

Odpor daný posuvným zrychlením celého vozidla je dán fyzikálním vztahem 5:

$$\mathbf{O}_{zp} = \mathbf{m} \cdot \mathbf{a} \quad [\mathbf{N}] \quad (5)$$

Celkový odpor zrychlení pak je dán fyzikálním vztahem č. 6:

$$\mathbf{O}_z = \frac{\mathbf{Mzk}}{rd} \quad [\mathbf{N}] \quad (6)$$

Celkový odpor zrychlení pak je dán fyzikálním vztahem č. 7:

$$\mathbf{O}_z = \delta \cdot \mathbf{m} \cdot \mathbf{a} \quad [\mathbf{N}] \quad (7)$$

Kde  $\delta$  je součinitel vlivu rotujících částí.

## **8 Řidič, elektronické komponenty**

### **8.1 Změna jízdního dosahu při chladném počasí**

Američtí vědci zjistili, že baterie elektromobilu se v zimních podmínkách vybíjí mnohem rychleji. Při testování elektromobilu zvolily teplotu  $-6,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Při této teplotě se snížil dojezd o 12 %. Další jízdu provedli při této teplotě, ale k tomu ještě zapnuli topení a dojezd se snížil o 41 % [23].

Z těchto výsledků vyplývá, že uživatel elektromobilu s dojezdem například 100 kilometrů, by se zapnutým topením ujel pouze 59 kilometrů.

### **8.2 Změna jízdního dosahu při teplém počasí**

Dojezd se snižuje i při vyšších teplotách. Stejní američtí vědci zjistili, že při teplotách  $35\text{ }^{\circ}\text{C}$  a se zapnutou klimatizací se dojezd snížil o 17 %. Extrémní teploty mají vliv na dojezd samy o sobě, při chladném počasí se například spotřebuje energie na ohřev chladicí kapaliny akumulátoru. Nejvíce ze spotřebičů spotřebuje energii topení. Plně nabitý elektromobil Tesla model S při teplotě  $24\text{ }^{\circ}\text{C}$  vykázal dojezd 385 kilometrů. Při ochlazení na  $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$  poklesl o 38 %, tedy na 146 kilometrů [23].

Z těchto výzkumů je jasné, že dojezdové hodnoty, které jsou stanovené výrobcem, jsou pouze relevantní. Do těchto dojezdových hodnot nejsou započítány různé klimatické podmínky nebo spotřebiče. Uvádí co největší hodnotu, jenom aby zaujali co nejvíce lidí [23].

### **8.3 Ovládání vozidla řidičem**

Každý řidič má odlišné zkušenosti v řízení vozidla a také každý řidič má odlišný způsob řízení. Někdo jezdí rychleji, tím pádem má menší dojezd než řidič, který jezdí pomaleji. Ve výsledku u elektromobilů hodně záleží na tom, jak řidič využívá spotřebiče ve vozidle, protože některé z nich dojezdovou vzdálenost ovlivňují ve velké míře, jako například topení v zimě.

## 9 Praktická část

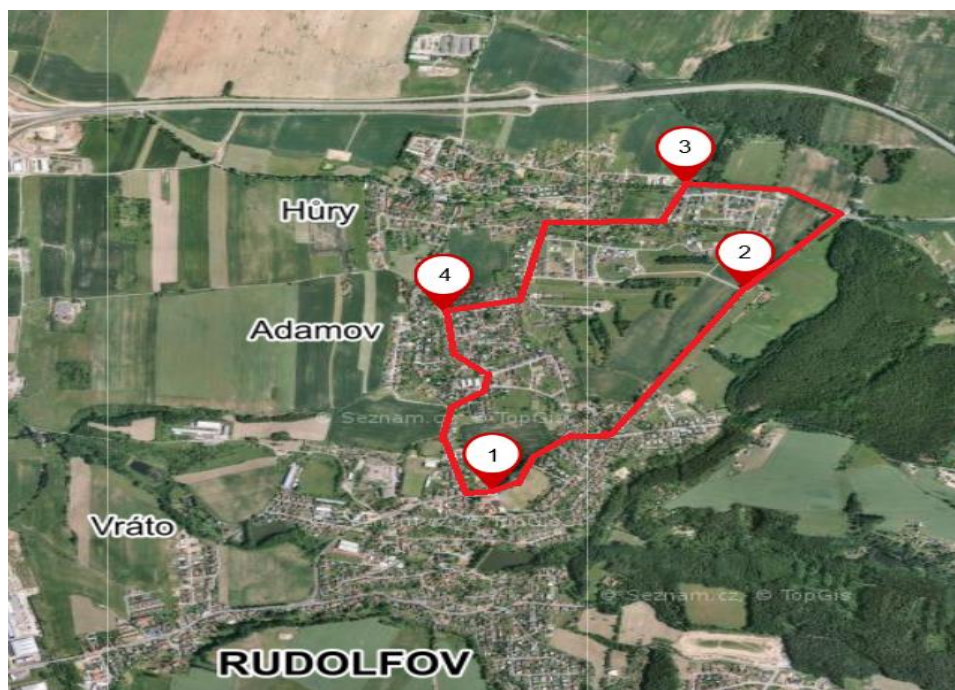
V praktické části mé bakalářské práce jsem posuzoval vlivy stylu jízdy a různé okolní faktory ovlivňující spotřebu elektromobilu a znázornit hodnoty průměrné spotřeby. K tomu, abych získal potřebná data pro moji práci, jsem si stanovil určitou dopravní trasu. Měření proběhlo od počátečního bodu do cílového bodu.

Abych docílil správného měření, byla potřeba před každou měřenou jízdou vymazat data z palubního počítače. Jízda proběhla ve třech jízdách režimech se zapnutou rekuperací na stupeň 4. První jízdou režim byl NORMAL, druhý ECO a poslední ECO plus. Na měřené trase jsem vždy jel podle povolené rychlosti stanovených zákonem.

### 9.1 Měřený úsek

Jako měřený úsek pro moji Bakalářskou práci jsem si vybral trasu, která začínala u kostela na Rudolfově. Dále pokračovala směrem na Lišov, u motorestu jsem odbočil doleva směrem na Adamov, který jsem ulicemi objel a vrátil se zpět ke kostelu na Rudolfově. Tuto trasu jsem vybral z důvodu kombinace městského, příměstského a mimoměstského provozu, abych s výsledky docílil hodnot skutečné průměrné spotřeby v kombinovaném provozu. Také jsem se snažil aby na trase bylo co nejvíce faktorů, které ovlivňují jízdou dosah elektromobilu jako jsou například překážky na vozovce, stoupání, zatáčky, různý povrch vozovky atd..

Trasu jsem absolvoval třikrát s různými režimy elektromobilu. Vzdálenost této trasy byla 5 kilometrů. Nadmořská výška v bodě č. 1 je 482 m. n. m., v bodě č. 2 to je 548 m. n. m., v bodě č. 3 je tato hodnota 530 m. n. m. a č. 4 je 481 m. n. m..



Obrázek 13- Měřená trasa [18]

## 9.2 Škoda Citigoe IV

Škoda Citigoe 4 generace v dnešní době patří mezi nejprodávanější elektromobily na trhu. V době nouzového stavu v období koronavirové epidemie společnost Škoda prohlásila, že do konce roku 2020 mají vykoupené všechny elektromobily tohoto modelu. Jeho cena se pohybuje někde kolem 450 000 Kč, což je podle mého názoru na toto vozidlo celkem vysoká cena. Dojezd tohoto vozidla je udávaná výrobcem na 252 kilometrů. Pod kapotou vozu najdeme třífázový synchronní elektromotor s permanentními magnety o výkonu 60 kW (80 koní) s pohonem předních kol. Další hnací soustavou tohoto elektromobilu je baterie s kapacitou 36,8 kWh, umístěnou v podlaze elektromobilu. Baterie má 8-letou záruku, společnost ručí, že baterie by měla ujet 160 000 kilometrů bez jakýchkoliv problémů. Tento elektromobil má rozměry:

Při testech vynikal výbornými jízdními vlastnostmi. Hlavně jeho podvozek, který byl několikrát velice kladně hodnocený. Při plném nabití se jízdní dosah při teplotě okolo 18 °C pohyboval v hodnotách 190 kilometrů. Tento model elektromobilu byl vyroben v roce 2019, při zapůjčení měl elektromobil nájezd 2 825 kilometrů.

Užitkové parametry jsou srovnatelné s běžnými automobily dané třídy. Ovládací panely palubního počítače jsou přehledné a zobrazují informace, které konkurenční elektromobily nepodporují



Obrázek 22- Škoda citigo IV [Foto: autor]

**Tabulka 3- Technické parametry Škoda Citigoe IV [7]**

<b>Technické parametry Škoda Citigoe IV</b>	
Rok výroby	<b>2019</b>
Jízdní dosah [km]	<b>252</b>
Baterie [kWh]	<b>36,8</b>
Spotřeba energie [kWh.100 km <sup>1</sup> ]	<b>14,8</b>
Točivý moment [Nm]	<b>212</b>
Maximální rychlost [km.h <sup>-1</sup> ]	<b>130</b>
Zrychlení 0-100 [s]	<b>12,3</b>
Hmotnost elektromobilu [kg]	<b>1235</b>
Součinitel odporu	<b>0,012</b>

### **9.2.1 Hodnoty potřebné k výpočtu**

Mezi hodnoty, potřebné k výpočtu jízdních odporů, tažné síly a výkonu patří váha, která je 1 235 kg (jelikož jsme při měření v elektromobilu byly dva, počítal jsem s hodnotou 1 430 kg). Hodnoty, které výrobce neudává, jsem zvolil: Součinitel odporu vzduchu je 0,3 z hodnot určených pro osobní automobily. Čelní plocha elektromobilu je 1,6 m<sup>2</sup>. Je to spodní hranice v tabulce a volím ji kvůli malým rozměrům celého vozidla. Budu také počítat s hodnotou 0,028 pro suchou asfaltovou silnici. Hodnotu zpomalení zvolím s ohledem na komfort a také na českou legislativu, kdy je vyhláškou č.102/1995 Sb. Tato hodnota je 5,78 m.s<sup>-2</sup>.



### 9.3 Naměřené hodnoty

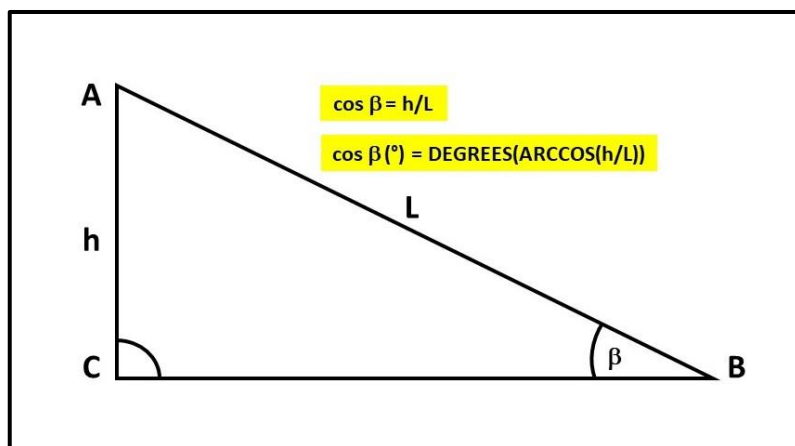
Tyto hodnoty byly měřené na určené dopravní trase, která měla různá převýšení, aby byla docílena energetická náročnost na baterii. Venkovní teplota byla 18 °C.

Tabulka 4- Naměřené hodnoty

<b>Naměřené hodnoty</b>	
<b>NORMAL režim</b>	
průměrná spotřeba [kWh.100 km <sup>-1</sup> ]	12,8
ujetá vzdálenost [km]	5
stav baterie [%]	85 % až 80%
doba jízdy [s]	420
průměrná rychlost [km/h]	39
<b>ECO režim</b>	
průměrná spotřeba [kWh.100 km <sup>-1</sup> ]	10,5
ujetá vzdálenost [km]	5
stav baterie [%]	80% až 75%
doba jízdy [s]	420
průměrná rychlost [km/h]	39
<b>ECO+ režim</b>	
průměrná spotřeba [kWh.100 km <sup>-1</sup> ]	11,5
ujetá vzdálenost [km]	5
stav baterie [%]	75% až 70%
doba jízdy [s]	420
průměrná rychlost [km/h]	39

## 9.4 Výpočet úhlu stoupání trasy

Trasu jsem si rozdělil do čtyř úseků, které mají různé stoupání a azimut (proudění vzduchu).



Obrázek 23- Výpočet úhlu stoupání

### 9.4.1 Úsek 1

Tabulka 5- Výpočet úhlu stoupání pro úsek 1

Výpočet úhlu stoupání (°)	2,9
Délka úseku L (m)	1320
Převýšení h (m)	66
h/L	0,05
cos (°)	87

### 9.4.2 Úsek 2

Tabulka 6- Výpočet úhlu stoupání pro úsek 2

Výpočet úhlu stoupání (°)	0,8
Délka úseku L (m)	1302
Převýšení h (m)	18
h/L	0,013824885
cos (°)	89

### 9.4.3 Úsek 3

Tabulka 7- Výpočet úhlu stoupání pro úsek 3

Výpočet úhlu stoupání (°)	2,3
Délka úseku L (m)	1174
Převýšení h (m)	48
h/L	0,04088586
cos (°)	88

### 9.4.4 Úsek 4

Tabulka 8- Výpočet úhlu stoupání pro úsek 4

Výpočet úhlu stoupání (°)	0,1
Délka úseku L (m)	1185
Převýšení h (m)	2
h/L	0,001687764
cos (°)	90

### 9.5 Hodnoty pro úsek měření

Tabulka 9- Hodnoty pro úsek měření

Označení dílčího úseku	Délka dílčího úseku L (m)	Nadmořsk á výška na začátku úseku (m)	Nadmořská výška na konci úseku (m)	Převýšení (m)	Úhel stoupání (°)'*
0 - 1	1 320	433	548	66	2,9
1 - 2	1 302	548	531	-18	0,8
<b>2 - 3</b>	1 174	531	481	-48	3,2
3 - 4	1 185	481	433	-2	0,1
<b>Celkem</b>	<b>4 981</b>				

## 9.6 Výpočty pro 1. měřený úsek

Hmotnost vozidla je 1 235 kilogramů, ale jelikož jsme v autě v době měření byly dva (100 kg a 95 kg), tak jsem zadal hodnotu 1 430 kilogramů.

**Tabulka 10- Hodnoty potřebné k výpočtu odporů**

Veličiny	Označení veličiny	Jednotky	Hodnoty
Hmotnost vozidla + 2 osoby	m	kg	<b>1430</b>
Součinitel odporu valení	$f_v$		<b>0,028</b>
Čelní plocha vozidla	S	m <sup>2</sup>	<b>1,60</b>
Součinitel odporu vzduchu	$c_x$		<b>0,3</b>
Objemová hmotnost vzduchu	r	kg.m <sup>-1</sup>	<b>1,24</b>
Úhel stoupání	s	°	<b>2,9</b>
Rychlost protivětru	$v_v$	m.s <sup>-1</sup>	<b>1,8</b>
Průměr rychlosti jízdy vozidla	$v_j$	m.s <sup>-1</sup>	<b>10,8</b>
Účinnost přenosu	h		<b>0,9</b>
Výkon motoru	$P_e$	kW	<b>60</b>
Prokluz kol	d	%	<b>0,1</b>
Zrychlení vozidla	a	m.s <sup>-2</sup>	<b>0,132</b>
Tíhové zrychlení	g	m.s <sup>-2</sup>	<b>9,81</b>
Úhel stoupání	s	°	<b>2,9</b>
Koeficient zrychlení pro OA	z	p.s.	<b>1</b>
Náporová rychlost	$v_n$	km.h <sup>-1</sup>	<b>12,63</b>
Rychlost po zrychlení	$v_a$	m.s <sup>-1</sup>	<b>13,89</b>
Rychlost před zrychlením	$v_0$	m.s <sup>-1</sup>	<b>0</b>

**Tabulka 11- Přehled výkonů odevzdaných motorem na jízdním úseku v závislosti na jízdních odporech**

Jízdní odpor	Hodnota (kW)
Výkon ztracený odporem valení	4,25
Výkon ztracený odporem stoupání	7,69
Výkon ztracený odporem zrychlení	0,66
Výkon ztracený odporem vzduchu	0,68
Výkon ztracený odporem při přenosu momentu	1,22
Systemy ohřevu a bezpečnosti	0,82
<b>CELKEM:</b>	<b>20,1</b>

## 9.7 Výpočty pro 2. měřený úsek

Tabulka 12- Hodnoty potřebné k výpočtu odporů

Veličiny	Označení veličiny	Jednotky	Hodnoty
Hmotnost vozidla + 2 osoby	m	kg	<b>1430</b>
Součinitel odporu valení	$f_v$		<b>0,028</b>
Čelní plocha vozidla	S	$m^2$	<b>1,60</b>
Součinitel odporu vzduchu	$c_x$		<b>0,3</b>
Objemová hmotnost vzduchu	r	$kg.m^{-1}$	<b>1,24</b>
Úhel stoupání	s	°	<b>0,8</b>
Rychlost protivětru	$v_v$	$m.s^{-1}$	<b>1,8</b>
Průměr rychlosti jízdy vozidla	$v_j$	$m.s^{-1}$	<b>10,8</b>
Účinnost přenosu	h		<b>0,98</b>
Výkon motoru	$P_e$	kW	<b>60</b>
Prokluz kol	d	%	<b>0,1</b>
Zrychlení vozidla	a	$m.s^{-2}$	<b>0,079</b>
Tíhové zrychlení	g	$m.s^{-2}$	<b>9,81</b>
Úhel stoupání	s	°	<b>0,8</b>
Koeficient zrychlení pro OA	z	p.s.	<b>1</b>
Náporová rychlost	$v_n$	$km.h^{-1}$	<b>12,63</b>
Rychlost po zrychlení	$v_a$	$m.s^{-1}$	<b>22,22</b>
Rychlost před zrychlením	$v_0$	$m.s^{-1}$	<b>13,89</b>

Tabulka 13- Přehled výkonů odevzdaných motorem na jízdním úseku v závislosti na jízdních odporech

Jízdní odpor	Hodnota (kW)
Výkon ztracený odporem valení	4,25
Výkon ztracený odporem stoupání	2,12
Výkon ztracený odporem zrychlení	0,63
Výkon ztracený odporem vzduchu	0,68
Výkon ztracený odporem při přenosu momentu	1,22
Systemy ohřevu a bezpečnosti	0,82
<b>CELKEM:</b>	<b>14,61</b>

## 9.8 Výpočty pro 3. měřený úsek

Tabulka 14- Hodnoty potřebné k výpočtu odporů

Veličiny	Označení veličiny	Jednotky	Hodnoty
Hmotnost vozidla + 2 osoby	m	kg	1430
Součinitel odporu valení	$f_v$		0,028
Čelní plocha vozidla	S	m <sup>2</sup>	1,60
Součinitel odporu vzduchu	$c_x$		0,3
Objemová hmotnost vzduchu	r	kg.m <sup>-1</sup>	1,24
Úhel stoupání	s	°	2,3
Rychlost protivětru	$v_v$	m.s <sup>-1</sup>	1,8
Průměr rychlosti jízdy vozidla	$v_j$	m.s <sup>-1</sup>	10,8
Účinnost přenosu	h		0,98
Výkon motoru	$P_e$	kW	61
Prokluz kol	d	%	0,1
Zrychlení vozidla	a	m.s <sup>-2</sup>	0,079
Tíhové zrychlení	g	m.s <sup>-2</sup>	9,81
Úhel stoupání	s	°	2,3
Koeficient zrychlení pro OA	z	p.s.	1
Náporová rychlost	$v_n$	km.h <sup>-1</sup>	12,63
Rychlost po zrychlení	$v_a$	m.s <sup>-1</sup>	13,89
Rychlost před zrychlením	$v_0$	m.s <sup>-1</sup>	11,15

Tabulka 15- Přehled výkonů odevzdaných motorem na jízdním úseku v závislosti na jízdních odporech

Jízdní odpor	Hodnota (kW)
Výkon ztracený odporem valení	4,25
Výkon ztracený odporem stoupání	6,10
Výkon ztracený odporem zrychlení	-0,39
Výkon ztracený odporem vzduchu	0,68
Výkon ztracený odporem při přenosu momentu	1,22
Systemy ohřevu a bezpečnosti	0,82
<b>CELKEM:</b>	<b>17,56</b>

## 9.9 Výpočty pro 4. měřený úsek

Tabulka 16- Hodnoty potřebné k výpočtu odporů

Veličiny	Označení veličiny	Jednotky	Hodnoty
Hmotnost vozidla + 2 osoby	m	kg	1430
Součinitel odporu valení	$f_v$		0,028
Čelní plocha vozidla	S	$m^2$	1,60
Součinitel odporu vzduchu	$c_x$		0,3
Objemová hmotnost vzduchu	r	$kg.m^{-1}$	1,24
Úhel stoupání	s	°	0,1
Rychlost protivětru	$v_v$	$m.s^{-1}$	1,8
Průměr rychlosti jízdy vozidla	$v_j$	$m.s^{-1}$	10,8
Účinnost přenosu	h		0,98
Výkon motoru	$P_e$	kW	61
Prokluz kol	d	%	0,1
Zrychlení vozidla	a	$m.s^{-2}$	0,021
Tíhové zrychlení	g	$m.s^{-2}$	9,81
Úhel stoupání	s	°	0,1
Koeficient zrychlení pro OA	z	p.s.	1
Náporová rychlost	$v_n$	$km.h^{-1}$	12,63
Rychlost po zrychlení	$v_a$	$m.s^{-1}$	13,89
Rychlost před zrychlením	$v_0$	$m.s^{-1}$	8,33

Tabulka 17- Přehled výkonů odevzdaných motorem na jízdním úseku v závislosti na jízdních odporech

Jízdní odpor	Hodnota (kW)
Výkon ztracený odporem valení	4,26
Výkon ztracený odporem stoupání	0,27
Výkon ztracený odporem zrychlení	0
Výkon ztracený odporem vzduchu	0,68
Výkon ztracený odporem při přenosu momentu	1,22
Systemy ohřevu a bezpečnosti	0,82
<b>CELKEM:</b>	<b>12,12</b>

## 9.10 Přepočet ztrátového výkonu

Hodnoty ztrátového výkonu elektromobily z úseků 1 až 4 jsou vypočteny na 100 kilometrů. Proto je třeba ztrátový výkon přepočítat na délku úseku.

**Tabulka 18- Přepočet ztrátového výkonu**

	Hodnota (kW.100 km1)	Hodnota na úsek (kW)	Délka úseku (m)
Úsek 1	20,19	3,4	1320
Úsek 2	14,61	2,43	1302
Úsek 3	17,56	17,56	1171
Úsek 4	12,12	12,12	1185



## 10 Nabíjení testovaného elektromobilu

Nabíjení elektromobilu Škoda Citigoe IV se uskutečnilo z klasické domácí zásuvky na 230 V. Podle výrobců je dána doba nabíjení v domácích podmínkách na 8 až 20.



Obrázek 24- Nabíjení elektromobilu [Foto: autor]

### 10.1.1 Průběh nabíjení

Jak už jsem zmiňoval, nabíjení probíhalo z klasické zásuvky, kterou máme všichni doma. Nabíjení bylo započato ve 21:00 hodin se stavem baterie 3 %. Konec nabíjení bylo v 10:30 následujícího dne se stavem 97 %. Na palubním počítači byl po nabití elektromobilu jízdní dosah 185 kilometrů. Tak nízký jízdní dosah je zapříčiněn z důvodu, že počítač počítá z posledního průměrného dojezdu a spotřeby elektromobilu. Po nějaké době jízdy se počítač vyhodnotí aktuální výsledky a jízdní dosah se prodlouží.

## 11 Diskuze

Elektromobilita v dnešní době vykazuje stav, na který svět ještě není připravený. Tím je myšleno, že je velké množství elektromobilů, jak na trhu, tak v provozu, ale infrastruktura nabíjecích stanic je nedostatečná. Jako například v České republice, počet elektromobilů je u nás kolem 2 000 kusů vozidel a nabíjecích stanic je přibližně 400. Velký problém je v době nabíjení, s běžnými vozidly máme palivo natankované za 5 minut, u nabíjení elektromobilu na rychlonabíjecí stanici za zhruba 20 minut. A také podle mého názoru bude problém v odběru elektřiny, kdyby se všichni uživatelé elektromobily připojily k nabíjecím stanicím nebo k domácím zásuvkám, bude tak velký odběr elektřiny, že bude docházet k výpadkům.

Jízdní dosah elektromobilů, který je stanovený výrobcem, nikdy není přesný. Výrobci se mezi sebou předhánají, aby prodali co nejvíce svých vozidel, takže si nějaké informace upraví podle sebe, aby kupujícího okouzlili. Navíc každý elektromobil má faktory, které jízdní dosah ovlivňují. Hlavní faktory, které ovlivňují jízdní dosah elektromobilů, jsou jízdní odpory (odpor valení, odpor stoupání, odpor zrychlení, odpor vzduchu), hmotnost a konstrukce vozidla, rychlost jízdy a jeho zrychlení, překonávání svahů a také způsob ovládání elektromobilu řidičem. K tomu také patří, jak často a při jakém stupni úrovně uživatel elektromobilu používá různé elektrické komponenty (klimatizace, topení, rádio, světlomety).

Podle výsledků je zřejmé, že jízdní odpory mají velmi negativní vliv na jízdní dosah. Velký rozdíl je také provádění pokusů v různém počasí a při různé teplotě. Teploty kolem 0 °C a naopak zase při vysoké teplotě okolo 30 °C mají vliv na zmenšování kapacity baterie.

Alternativní pohon se jeví jako záchrana do budoucna, ale má to ještě spoustu nedostatků, které je potřeba vyřešit. Například výroba a likvidace baterií. Dnešní době začíná být problém i hořlavosti baterií, když baterie začne hořet, musí se uzavřít do kontejneru s vodou, kde by měl elektromobil být pod kontrolou, alespoň 7 dní. Dále elektromobil neškodí životnímu prostředí, ale energie, která je potřeba k jejímu nabití, se vyrábí například v jaderné elektrárně. Takže se škodí životnímu prostředí na jiných místech.

Ale abych se zde nezmiňoval pouze o negativních stránkách elektromobilů, tak musím vyzdvihnout jízdní vlastnosti zapůjčeného vozidla. Komfort tohoto vozidla byl příjemný. Podvozek Škoda Citigoe IV mě překvapil, velmi dobře reagoval na díry a různé překážky. Také je to velmi dobré řešení problematiky se zhoršujícím se ovzduším a také s problematikou malého množství ropy. Podle mého názoru, až se vyřeší problém s infrastrukturou nabíjecích stanic a s velkým odběrem elektřiny, mají elektromobily zářnou budoucnost. Spotřeba ve městě byla nízká za klidného způsobu jízdy.

## 12 Závěr

Cílem této práce bylo změření jízdního dosahu na stanovené trase a ve třech režimech jízdy. Díky této práci jsem se podrobněji seznámil s problematikou elektromobility a získal cenné zkušenosti s řízením elektromobilu v běžném provozu.

Je patrné, že nejdelšího dojezdu by elektromobil dosáhl při jízdě ve městě v ideálně plynulém provozu, kde by nemusel řidič zastavovat a jen by pomalu zpomaloval a zrychloval. Na maximální dojezd má vliv hustota provozu, vnější teplota (ideální teplota je okolo 18 °C, kdy řidič nemusí vozidlo vytápět ani chladit), řidičské schopnosti řidiče a technický stav daného vozidla. Za těchto ideálních podmínek by bylo možné dosáhnout dojezdu až 250 km na jedno nabití jak udává výrobce vozidla. Díky pomalejší jízdě a předvídání provozu se, podařilo uspořit 2,3 kWh na trase, mezi třemi režimy jízdy. Tato úspora při ceně elektrické energie v domácím tarifu za sníženou, sazbu 3 Kč.kWh<sup>-1</sup> činí 7 Kč na ujetých 100 km.

Při nabíjení elektromobilu byla využita výrobcem dodávaná nabíječka na napětí 230 V, která slouží pro dlouhodobé nabíjení v domácích podmínkách. Bohužel s vozidlem nebyl zapůjčen jiný kabel (např. Mennekes, Typ 2) na nabíjení z nabíjecí stanice. Při nabíjení dodá originální nabíječka napojená na zásuvku 230 V, 16 A do elektromobilu 2,2 kWh, což při průměrné spotřebě vozu 20 kWh.100km<sup>-1</sup> znamená prodloužení dojezdu přibližně o 11 km za každou jednu nabíjecí hodinu. Nabíjení z domácí zásuvky o napětí 230 V trvá tedy 15 hodin, jak uvádí výrobce. To značně snižuje použitelnost elektromobilu, protože pokud se například přijede s vybitým vozem domů okolo 22. hodiny a ráno v 6 hodin se jede do práce, tak se dojezd elektromobilu prodlouží jen o 88 km. Tento problém lze vyřešit zakoupením tzv. wallboxu, který zkrátí čas nabíjení na 6 až 8 hodin. Další možností je nabíjení vozu na veřejných nabíjecích stanicích, kterých ale například v Českých Budějovicích není mnoho, nebo nejsou dostupné na důležitých místech, kde by řidič elektromobilu mohl nabíjet. Typicky jde o nákupní centra nebo parkovací domy. Výjimku tvoří CityGreen Park v ulice F. A. Gerstnera, kde byla NS vybudována na konci roku 2017. Je zpoplatněna částkou 8 Kč za 1 kWh a odebraná energie se platí spolu s parkovacím poplatkem v parkovacím automatu.

Při jízdě například v zástavbě domů, nebo po rušném parkovišti u supermarketu je potřeba si počínat obzvlášť opatrně, jelikož chodci elektromobil neslyší. Ve vyšších rychlostech už je situace lepší, protože hluk je vytvářen také pneumatikami.

Elektromobil je primárně koncipován jako druhé další vozidlo, například do rodiny k již stávajícímu vozidlu se spalovacím motorem. Slouží tedy především k přepravě na kratší vzdálenosti například za prací, nebo k pohybu po městě, kde nevytváří žádné emise spalin. Zvýšení dojezdu elektromobilů by mělo za následek i prodloužení doby nabíjení, proto se zatím na delší vzdálenosti více hodí vozidlo se spalovacím motorem.

K rozvoji elektromobility u nás i ve světě by přispělo snížení ceny elektromobilu na hranici maximálně 500 000 Kč a nový elektromobil. Do té doby budou elektromobily jen okrajovou záležitostí, nebo je stát bude muset finančně podpořit určitou částkou ve formě dotace, aby o ně zákazníci začali mít vážný zájem a nepovažovali je jen za výstřelek moderní doby. Důležité je také vštípit zákazníkům péči o životní prostředí a informovat je o elektromobilitě obecně. Začít s informovaností by bylo nejlepší už na středních, kde by se studenti mohli seznámit se všemi pozitivy a negativy.

## 13 Seznam použité literatury

### 13.1 Tištěné

- [1] Celjak, I.: Předmět Konstrukce a provoz vozidel: přednášky, učební materiály Katedra zemědělské, dopravní a manipulační techniky, ZF, JČU České Budějovice, 2018;
- [2] KAMEŠ, Josef, Martin KAŠÍK a Tomáš RULLER. Alternativní pohon automobilů: průvodce ropným světem. 1. vyd. Praha: BEN, 2004, 231 s. ISBN 80-730-0127-6.
- [3] MOM, Gijs. The Electric Vehicle: Technology and Expectations in the Automobile Age. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 2005. ISBN 08018-7138-7.
- [4] SVOBODA, Jiří. Teorie dopravních prostředků: Vozidla silniční a terénní. ČVUT, 2004.
- [5] VLK, František. Koncepce motorových vozidel: koncepce vozidel : alternativní pohony : komfortní systémy : řízení dynamiky : informační systémy. Brno: VLK, 2000. ISBN 80-238-5276-0
- [6] VLK, František. Alternativní pohony motorových vozidel. Brno: František Vlk, 2004. ISBN 80-239-1602-5.
- [7] Firemní literatura Škoda Citigoe IV

### 13.2 Webové stránky

- [8] Alternativní pohony motorových vozidel. [cit. 2018-03-26]. Dostupné z: <http://www.sinz.cz/archiv/docs/si-2004-04-212-224.pdf>
- [9] A Short History of Electric Vehicles. [cit. 2019-01-16]. Dostupné z: [https://vision.zf.com/site/magazine/en/articles\\_9473.html](https://vision.zf.com/site/magazine/en/articles_9473.html)
- [10] Baterie v elektromobilech. [cit. 2018-04-05]. Dostupné z: <http://elektromobil.vseznamu.cz/baterie-v-elektromobilech>
- [11] Co je elektromobilita. [cit. 2019-01-20]. Dostupné z: <http://www.smartev.cz/cz/co-je-elektromobilita>
- [12] Elektromotory. [cit. 2019-02-25]. Dostupné z: <http://www.vitejtenazemi.cz/cenia/index.php?p=elektromotory&site=doprava>
- [13] Historie elektromobility. [cit. 2019-03-07]. Dostupné z: <http://www.elektromobilita.cz/cs/o-nas/historie-elektromobility.html>

- [14] Historie elektromobilismu. [cit. 2018-02-03]. Dostupné z: <http://elektromobil.vseznamu.cz/historie-elektromobilismu>
- [15] Hybrid.cz: Elektromobily, elektromotocykly, CNG, LPG. [cit. 2014-05-26]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz>
- [16] Hybridní pohon. [cit. 2019-01-25]. Dostupné z: <https://tema.novinky.cz/hybridni-pohon>;
- [17] Jak funguje elektromobil? Technika se vyvíjí, ale moc nemění. [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: <https://fdrive.cz/clanky/jak-funguje-elektromobil-technikase-vyviji-ale-moc-nemeni-2399>
- [18] Mapy.cz
- [19] Připojení systému k nabíjecí stanici. [cit. 2018-03-27]. Dostupné z: [http://www.smartev.cz/wp-content/uploads/2017/02/Schneider\\_teorie.pdf](http://www.smartev.cz/wp-content/uploads/2017/02/Schneider_teorie.pdf)
- [20] Tesla Model S. [cit. 2018-02-27]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Tesla\\_Model\\_S](https://en.wikipedia.org/wiki/Tesla_Model_S)
- [21] Technical Data Smart.com. [cit. 2018-03-04]. Dostupné z: <https://www.smart.com/cz/cs/index/smart-fortwo-electric-drive-453/technicaldata.html#engine1>
- [22] Úsvit elektromobilů. [cit. 2018-02-05]. Dostupné z: <https://fdrive.cz/clanky/1-era-elektromobilu-185>
- [23] Vliv teplot na funkci baterie. [cit. 2020-4-15]. Dostupné z: <https://www.mobilmania.cz/clanky/vedci-maji-baterii-ktera-spolehlive-pracuje-i-pri--70-c-miri-do-elektromobilu-a-do-vesmiru/sc-3-a-1341705/default.aspx>
- [24] Porovnání dojezdu elektromobilů. [cit. 2020-4-15]. Dostupné z: <https://autobible.euro.cz/realny-dojezd-12-elektromobilu-dojede-nejdalejvic-lze/>
- [25] Jak funguje elektromobil? Technika se vyvíjí, ale moc nemění. [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: <https://fdrive.cz/clanky/jak-funguje-elektromobil-technikase-vyviji-ale-moc-nemeni-2399>

## 14 Seznam obrázků

Obrázek 1- Obrázek 1- Elektromobil Baker [9].....	12
Obrázek 2- Obrázek 2- Battronic Minivan Electric Van [14] .....	13
Obrázek 3- Obrázek 3- EV1 General Motor [9] .....	15
Obrázek 4- Graf prodejnosti společností prodávajících elektromobily [22].....	16
Obrázek 5- Uspořádání hnacího ústrojí pro elektromobily [5] .....	18
Obrázek 6- Hybridní vozidlo Hyundai Tucson [15] .....	19
Obrázek 7- Obrázek 7- Pohon elektromobilu [6].....	20
Obrázek 8- Mapa účinnosti motoru pro motorový režim [12].....	22
Obrázek 9- Obrázek 9- Blokové schéma vektorového řízení [12].....	23
Obrázek 10- Třífázový střídač s IGBT tranzistory [12].....	25
Obrázek 11- Režimy nabíjení [19].....	28
Obrázek 12- Huštění pneumatik [6].....	32
Obrázek 13- Měřená trasa [18] .....	38
Obrázek 14- Škoda citigo IV [Foto: autor] .....	39
Obrázek 15- Výpočet úhlu stoupání.....	42
Obrázek 16- Nabíjení elektromobilu [Foto: autor] .....	49



## 15 Seznam tabulek

Tabulka 1- Odpovídající hodnoty součinitele tvaru vozidla k vybraným typům vozidel [1] .....	31
Tabulka 2- Měrné odpory valení k vybraným povrchům [6].....	33
Tabulka 3- Technické parametry Škoda Citigoe IV [7].....	40
Tabulka 4- Naměřené hodnoty.....	41
Tabulka 5- Výpočet úhlu stoupání pro úsek 1 .....	42
Tabulka 6- Výpočet úhlu stoupání pro úsek 2 .....	42
Tabulka 7- Výpočet úhlu stoupání pro úsek 3 .....	43
Tabulka 8- Výpočet úhlu stoupání pro úsek 4 .....	43
Tabulka 9- Hodnoty pro úsek měření.....	43
Tabulka 10- Hodnoty potřebné k výpočtu odporů .....	44
Tabulka 11- Přehled výkonů odevzdaných motorem na jízdním úseku v závislosti na jízdních odporech .....	44
Tabulka 12- Hodnoty potřebné k výpočtu odporů .....	45
Tabulka 13- Přehled výkonů odevzdaných motorem na jízdním úseku v závislosti na jízdních odporech .....	45
Tabulka 14- Hodnoty potřebné k výpočtu odporů .....	46
Tabulka 15- Přehled výkonů odevzdaných motorem na jízdním úseku v závislosti na jízdních odporech .....	46
Tabulka 16- Hodnoty potřebné k výpočtu odporů .....	47
Tabulka 17- Přehled výkonů odevzdaných motorem na jízdním úseku v závislosti na jízdních odporech .....	47
Tabulka 18- Přepočet ztrátového výkonu .....	48
<b>Tabulka 19- Výsledky testovaných elektromobilů .....</b>	<b>58</b>

## 16 Příloha

### 16.1 Testy jedné britské firmy

V Británii automobiloví testovací jezdci testovali různé elektromobily od sportovních po běžné elektromobily. Všechny uvedené elektromobily testovali na stejné trase za teploty, pohybující se mezi 10 až 15 °C. V tomto testu nejlépe dopadl elektromobil Hyundai Kona Electric 64 kWh. [24]

**Tabulka 19- Výsledky testovaných elektromobilů**

	<b>Udávaný dojezd</b>	<b>Rozdíl oproti naměřenému výsledku</b>
Tesla Model S 75D	490 km	161,7 km
Hyundai Ioniq Electric	280 km	91,7 km
Renault Zoe R110	316 km	81,0 km
Kia e-Niro	485 km	77,8 km
Hyundai Kona Electric 64 kWh	482 km	65,2 km
Smart ForTwo EQ	160 km	65,0 km
Nissan Leaf	270 km	64,0 km
Smart ForFour EQ	155 km	63,3 km
Jaguar I-Pace	470 km	62,8 km
Hyundai Kona Electric 39 kWh	312 km	57,7 km
Volkswagen e-Golf	231 km	42,7 km
BMW i3 94 Ah	235 km	40,3 km

## 16.2 Seznam použitých zkratek a symbolů

$O_f$	odpor valení	[N]
$O_v$	odpor vzduchu	[N]
$O_s$	odpor stoupání	[N]
$O_z$	odpor zrychlení	[N]
$G$	tíhová hmotnost vozidla	[N]
$m$	hmotnost vozidla	[kg]
$g$	tíhové zrychlení	[m.s <sup>-2</sup> ]
$\alpha$	úhel sklonu svahu	[°]
$c_x$	součinitel vzdušného odporu	[-]
$S_x$	čelní plocha vozidla	[m <sup>2</sup> ]
$f$	součinitel odporu valení	[-]
$v_r$	náporová rychlost větru	[m.s <sup>-1</sup> ]
$v_v$	rychlost větru	[m.s <sup>-1</sup> ]
$F_K$	tažná síla vozidla	[N]
$P_K$	výkon potřebný k pokrytí ztrát odporů	[W]
$s$	dráha	[m]
$a$	zrychlení	[m.s <sup>-2</sup> ]
$t$	čas	[t]
$v$	rychlost	[m.s <sup>-1</sup> ]

