

**JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH  
BUDĚJOVICÍCH  
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA**

**Studijní program:** N4101 Zemědělské inženýrství

**Studijní obor:** Zemědělská a dopravní technika

**Katedra:** Katedra zemědělské dopravní a manipulační techniky

**Vedoucí katedry:** doc. RNDr. Ing. Petr Bartoš, Ph.D.

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Perspektivy rozvoje elektricky poháněných vozidel  
kategorie M**

**Vedoucí diplomové práce:** Ing. Ivo Celjak, CSc.

**Autor diplomové práce:** Bc. Martin Brabec

České Budějovice, 2020

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Martin BRABEC**  
Osobní číslo: **Z15293**  
Studijní program: **N4101 Zemědělské inženýrství**  
Studijní obor: **Zemědělská a dopravní technika**  
Název tématu: **Perspektivy rozvoje elektricky poháněných vozidel kategorie M**  
Zadávající katedra: **Katedra zemědělské, dopravní a manipulační techniky**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

#### *Cíl práce:*

Cílem práce je stanovení faktorů působících na rozvoj elektromobility.

#### *Metodický postup:*


1. Studium současného stavu koncepčního řešení konstrukce elektricky poháněných vozidel (EV);
2. Studium zdrojů elektrické energie pro EV;
3. Ověření infrastruktury pro nabíjení baterií EV;
4. Stanovení teoretické dostupnosti elektrické energie pro elektromobilitu v ČR;
5. Praktické ověření energetické bilance při řízení vybraných modelů elektromobilů;
6. Stanovení faktorů, působících pozitivně nebo negativně na rozvoj elektromobility.

Rozsah grafických prací: obrázky, schémata a grafy dle potřeby  
Rozsah pracovní zprávy: 70 - 90 stran  
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická  
Seznam odborné literatury:

Horejš, K. a kol.: Příručka pro řidiče a opraváře automobilů (3), Elekrika motorových vozidel, Littera, 2011;  
Hromádko, J.: Speciální spalovací motory a alternativní pohony, GRADA, 2012;  
Kameš, J.: Alternativní pohony automobilů, BEN, 2004;  
<http://www.eru.cz/cs/>;  
<http://www.odbornecasopisy.cz>;  
<https://elektrickevozy.cz>;  
<http://www.proelektrotechniky.cz>;  
<http://www.elektromobilita-cz.com/>.

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

Datum zadání diplomové práce: 3. října 2017  
Termín odevzdání diplomové práce: 30. dubna 2018

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

JIHOČESKÁ UNIVERZITA  
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH  
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA  
studijní oddělení  
Budejovická 1388, 370 05 České Budějovice

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

V Českých Budějovicích dne 23. října 2017

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s využitím informací z literatury, jejíž seznam je součástí této práce a je uveden v kapitole Seznam citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské - diplomové – rigorózní - disertační práce, a to - v nezkrácené podobě - v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných 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 této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne .....

.....  
Martin Brabec

## **Poděkování**

Mé poděkování patří panu Ing. Ivu Celjakovi Csc. za odborné vedení, trpělivost, cenné rady, poskytnutí odborných materiálů, informací a ochotu, kterou mi při zpracování diplomové práce věnoval.

Dále patří mé poděkování firmě SWN Neuwied, autosalonu Renault v Limburgu nad Lánem a autosalonu BMW J.B. LELL GmbH & Co. KG ve Weidenu za zapůjčení elektromobilů a poskytnutí informací ohledně této problematiky.

## **Abstrakt**

Množství osobních automobilů se spalovacími motory, které se aktuálně pohybují po silničních komunikacích na celém světě, je alarmující. S ohledem na tento počet nelze přehlížet vedlejší důsledky, jež tímto provozem vznikají. Nejcitelnější dopad to má na naše životní prostředí, ve kterém máme žít. Ovzduší, především ve městech, už není, co bývalo. Se zřetelem na tyto závažné důsledky se začínají využívat alternativní pohony osobních automobilů, od nichž si slibujeme určité zlepšení. Jedním z několika řešení je provozování elektromobilů (EM).

Zadání této práce zní: Perspektivy rozvoje elektricky poháněných vozidel kategorie M. Hlavním cílem této práce se stalo stanovení faktorů působících na rozvoj elektromobility. Dále bylo důležité provést praktické ověření vybraných modelů elektromobilů (EM) na shodné dopravní trase a následné vyhodnocení údajů, které se získaly během měření. Byly ověřeny i ostatní provozní faktory související s touto problematikou.

## **Klíčová slova**

Elektromobil (EM); elektromobilita; baterie; faktory; ověření

## **Abstract**

The number of cars with the combustion engines which they move on the roads all around the world is alarming. It is impossible to overlook the incidental impacts of this expansion out of consideration for this number. The most perceptible impact is on our environment where we live. The air, especially in the cities, is not what it once was. Alternative-fuel vehicles start to be used because of these impacts and we believe in improvement. One of the solutions is using electric vehicles (EV).

The request of this thesis is: The perspectives of the electric vehicles' development of category M. The main goal of this thesis was the determination of the factors which have some effect on the development of electromobility. Afterwards it was important to do the practical verification of chosen electric vehicles (EV) on the same road and the evaluation of the figures gained during the measuring. The other operation factors were also verified with these problems.

## **Key words**

Electric vehicle (EV); electromobility; battery; factors; verification

## Obsah

0	Úvod (nutnost změny pohonu vzhledem k ŽP) .....	- 9 -
1	Literární přehled.....	- 10 -
1.1	Emise v oblasti dopravy .....	- 10 -
1.1.1	Problematika snižování emisí CO <sub>2</sub> z výfukových plynů automobilů - 10 -	-
1.1.2	Opatření pro snížení celkových emisí z automobilové dopravy v určitém prostředí, nebo ve sledovaném období, jimiž je možné emise z dopravy snižovat. ....	- 13 -
1.2	Přehled o současném stavu elektromobility.....	- 13 -
1.2.1	Úkoly elektromobility .....	- 15 -
1.2.2	Pozitivní přínos pro životní prostředí.....	- 16 -
1.2.3	Hlavní faktory působící na rozvoj elektromobility .....	- 17 -
1.2.4	Negativní vlivy působící na rozvoj elektromobility.....	- 19 -
1.2.4.1	Vysoká pořizovací cena elektromobilů .....	- 19 -
1.2.4.2	Vysoká pořizovací cena baterie.....	- 21 -
1.2.4.3	Návratnost investice .....	- 22 -
1.2.4.4	Omezený dojezd (jízdni dosah).....	- 22 -
1.2.4.5	Doba nabíjení .....	- 22 -
1.2.4.6	Tichost elektromobilů.....	- 23 -
1.2.4.7	Vysoká hmotnost baterií a celého elektromobilu .....	- 23 -
1.2.5	Pozitivní vlivy působící na rozvoj elektromobility.....	- 24 -
1.2.5.1	Provozní náklady (servis, energie) .....	- 24 -
1.2.5.2	Tichý provoz.....	- 25 -
1.2.5.3	Bezpečnost provozu .....	- 25 -
1.2.5.4	Snadné ovládání .....	- 26 -
1.2.5.5	Možnost využití baterií jako zdroj energie.....	- 26 -



1.3	Základní pojmy .....	- 27 -
1.3.1	Pohyb dopravních zařízení .....	- 27 -
1.3.2	Elektromobil.....	- 28 -
1.3.2.1	Karoserie .....	- 28 -
1.3.3	Trakce.....	- 29 -
1.3.4	Elektromotor .....	- 30 -
1.3.4.1	Asynchronní trojfázový motor .....	- 31 -
1.3.4.2	Synchronní motory s permanentními magnety (PMSM) .....	- 32 -
1.3.5	Invertor .....	- 33 -
1.3.6	Baterie .....	- 34 -
1.3.6.1	Trakční baterie.....	- 35 -
1.3.6.2	Základní parametry baterií pro elektromobily.....	- 35 -
1.3.6.3	Životnost baterie.....	- 35 -
1.3.6.4	Lithium-ion baterie.....	- 37 -
1.3.6.5	LiFePO baterie .....	- 38 -
1.4	Způsoby obnovy energie baterií EM.....	- 38 -
1.4.1	Výměna baterie .....	- 39 -
1.4.2	Nabíjení baterie prostřednictvím nabíjecích stanic .....	- 40 -
1.4.2.1	Druhy konektorů pro nabíjení .....	- 42 -
1.4.3	Bezdrátové nabíjení baterie z podložky .....	- 45 -
1.4.4	Přepojení na náhradní (záložní) baterii .....	- 46 -
1.4.5	Nabíjení prostřednictvím kurýra .....	- 47 -
1.4.6	Rekuperací.....	- 48 -
1.5	Zdroje elektrické energie pro EM .....	- 48 -
1.5.1	Přehled největších zdrojů elektrické energie (2018).....	- 49 -
1.6	Vývoj prodeje EM a jednotlivých modelů.....	- 51 -
1.6.1	Prodej EM v České republice.....	- 53 -

1.6.2	Dostupné EM na trhu .....	- 55 -
2	Cíl práce .....	- 63 -
3	Metodika .....	- 64 -
3.1	Stanovení metodického postupu k ověření infrastruktury pro nabíjení EM. -	64 -
3.2	Stanovení metodického postupu teoretické dostupnosti elektrické energie pro elektromobilitu v ČR. ....	- 64 -
3.2.1	Teoretický výpočet potřebné elektrické energie pro aktuální počet EM v ČR -	65 -
3.3	Stanovení metodického postupu k praktickému ověření spotřeby elektrické energie pro pohyb EM.....	- 65 -
3.3.1	Vybrané modely EM pro praktické ověření.....	- 66 -
3.3.2	Jízdní režimy .....	- 70 -
3.3.2	Stanovení trasy .....	- 71 -
3.4	Nabíjení vybraných modelů .....	- 72 -
3.5	Kalkulace nákladu pro provoz testovaných modelů EM .....	- 73 -
3.5.1	Porovnání provozních nákladů mezi vybraným testovaným modelem EM a automobilem s klasickým spalovacím motorem stejné velikostní kategorie -	73 -
3.6	Stanovení faktorů působících pozitivně nebo negativně na rozvoj elektromobility .....	- 73 -
4	Vlastní práce.....	- 74 -
4.1	Ověření infrastruktury pro nabíjení EM.....	- 74 -
4.1.1	Ověření infrastruktury pro nabíjení EM na území ČR.....	- 74 -
4.1.2	Přehled cen za nabíjení EM na veřejných dobíjecích stanicích .....	- 76 -
4.1.3	Způsoby nabíjení EM z domácí sítě.....	- 77 -
4.1.4	Ověření infrastruktury pro nabíjení EM ve vybraných městech ČR-	78 -
4.2	Stanovení teoretické dostupnosti elektrické energie pro elektromobilitu v ČR. -	82 -

4.2.1	Teoretický výpočet, pro potřebné množství elektrické energie v ČR, vzhledem k aktuálnímu počtu EM provozovaných v ČR .....	- 83 -
4.3	Praktické ověření energetické bilance při řízení vybraných modelů EM v provozu.....	- 85 -
4.3.1	Jízdní režim ECO (ECO +) .....	- 85 -
4.3.2	Jízdní režim COMFORT (STANDART).....	- 88 -
4.3.3	Jízdní režim COMFORT (STANDARD) v plném zatížení.....	- 90 -
4.3.4	Přehled průměrné spotřeby energie $E_s$ v rozmanitých provozních režimech EM .....	- 93 -
4.4	Nabíjení testovaných modelů.....	- 95 -
4.4.1	Nabíjení na stanice typu AC (22 kW).....	- 95 -
4.4.3	Nabíjení na stanice typu DC (100 a 135 kW) .....	- 96 -
4.5	Kalkulace nákladu pro provoz testovaných modelů EM .....	- 97 -
4.5.1	Porovnání provozních nákladů mezi vybraným testovaným modelem EM a automobilem s klasickým spalovacím motorem stejné velikostní kategorie	- 98 -
4.6	Stanovení faktorů působících pozitivně nebo negativně na rozvoj elektromobility .....	- 100 -
5	Diskuze.....	- 102 -
6	Závěr .....	- 103 -
7	Seznam použité literatury.....	- 105 -
8	Internetové zdroje.....	- 109 -
9	Seznam obrázků .....	- 111 -
10	Seznam tabulek .....	- 112 -

## **0 Úvod (nutnost změny pohonu vzhledem k ŽP)**

Automobilová doprava se stala fenoménem 20. a 21. století. Vynález automobilu se spalovacími motory můžeme dnes považovat za jeden z největších vynálezů, kterým byla značně ovlivněna společnost. S velkým nárůstem automobilů, však vznikají vedlejší nežádoucí důsledky, které se projevují především na stavu našeho životního prostředí a na našem zdraví. Životní prostředí, především ve větších městech a bytových zástavbách, není ideální pro naše zdraví. S ohledem na tyto závažné důsledky se začínají využívat alternativní pohony osobních automobilů, od kterých si slibujeme určité zlepšení.

Nátlak na výrobce automobilů je takový, aby konstruovali vozidla, která produkují nejnižší možné emise, nebo v ideálním případě úplně bezemisní. Automobily s benzínovými nebo naftovými spalovacími motory produkují značné množství oxidu uhličitého, ale i dalších škodlivých látek, jež neprospívají ani lidskému zdraví, ani přírodě.

Velice rychlý vývoj technologií a elektroniky dopomohl k vývoji velmi efektivním elektrickým vozidlům, nazývaným elektromobily (EM). Elektromobily jsou považovány za budoucnost naší dopravy. Od elektromobilů si slibujeme, že nám pomohou značně snížit globální produkci skleníkových plynů, umožní čistější a klidnější dopravu především ve městech, v neposlední řadě také výrazně sníží provozní náklady oproti klasickým automobilům se spalovacími motory. Tento způsob alternativního pohonu se v dnešní době využívá nejvíce, přičemž jeho vyhlídky a podpora je velice slibná. Samozřejmě elektromobily čelí v současné době mnoha výzvam a najdou se zastánci i odpůrci této nové alternativy automobilové dopravy.

# 1 Literární přehled

## 1.1 Emise v oblasti dopravy

Emisí v oblasti dopravy se obecně označuje vypouštění látek do určitého prostoru (uzavřeného nebo otevřeného ovzduší), jejichž vlastnosti lze vyjádřit fyzikálními veličinami, resp. chemickým složením. Zdroj (původce emisí), který látky emituje, se nazývá emitor. V oblasti pohonů automobilů poháněných spalovacími motory je emitorem spalovací motor, který produkuje výfukové plyny při provozu na dopravní trase, ale také elektrárna, vyrábějící elektrickou energii pro celý proces výroby pohonných hmot. Provoz elektromobilu na dopravní trase je bezemisní. Emise mohou vznikat pouze při výrobě elektrické energie pro nabíjení trakčních baterií. Emitorem je elektrárna, pokud spaluje fosilní paliva, resp. některé druhy obnovitelných zdrojů energie (OZE).

Výfukové plyny jsou komplexní směsí chemických látek vznikajících při spalování uhlovodíkových paliv ve spalovacích motorech. Jednotlivé prvky vznikají chemickou reakcí, většinou kyslíku ( $O_2$ ), s dalšími složkami obsaženými v palivu. Množství výfukových plynů emitovaných z výfukového potrubí závisí na mnoha konstrukčních a provozních faktorech, zejména na typu paliva, tvaru spalovacího prostoru, způsobu tvoření směsi, typu a stavu spalovacího zařízení, na užití zařízení ke snížení emisí a na úrovni zatížení motoru.

Mezi nejvýznamnější složku spalin patří dusík ( $N_2$ ). Při dokonalém spalování vzniká oxid uhličitý ( $CO_2$ ) a voda ( $H_2O$ ). V reálném procesu spalování jsou však emitovány i složky nedokonalého spalování, především oxid uhelnatý ( $CO$ ), nespálené uhlovodíky ( $HC$ ), oxidy dusíku ( $NOX$ ), oxidy síry ( $SOX$ ) a mikroskopické pevné látky ( $PM$ ), [1].

### 1.1.1 Problematika snižování emisí $CO_2$ z výfukových plynů automobilů

Pro pohyb automobilů jsou v současné době používány spalovací pístové motory. Pokud by spalovací motor pracoval se 100% účinností, zážehový motor, který pohání automobil o hmotnosti 1000 kg, by spotřeboval 1,12 litrů benzínu na 100 km ujeté dráhy, jestliže by energetický obsah benzínu byl  $32 \text{ MJ.l}^{-1}$

Spalovací pístové motory ale se 100% účinností nepracují (ani žádné jiné). Účinnost benzínového, pístového spalovacího motoru je při optimálním režimu

zatížení 28 % (sáláním se sníží o 8 %, výfukem 30 %, chlazením 27 %, mechanickými ztrátami 10 %). Motory ale nejsou v tomto optimálním režimu kontinuálně provozovány vzhledem k charakteru dopravní trasy a prostředí, v němž se pohybují. Účinnost bývá nižší. Navíc je určitá část energie spotřebována pro zajištění správné funkce příslušenství motoru, opatření asistenčních a bezpečnostních systémů automobilu, osvětlení automobilu a pro chod spotřebičů zajišťujících komfort řidiče či spolucestujících. Ne vždy bývá automobil provozován ve správném technickém a provozním stavu, což může vést k dalším energetickým ztrátám. Automobil s benzínovým motorem využívá pro reálný pohyb dispoziční energii benzínu s účinností pouze 26 %.

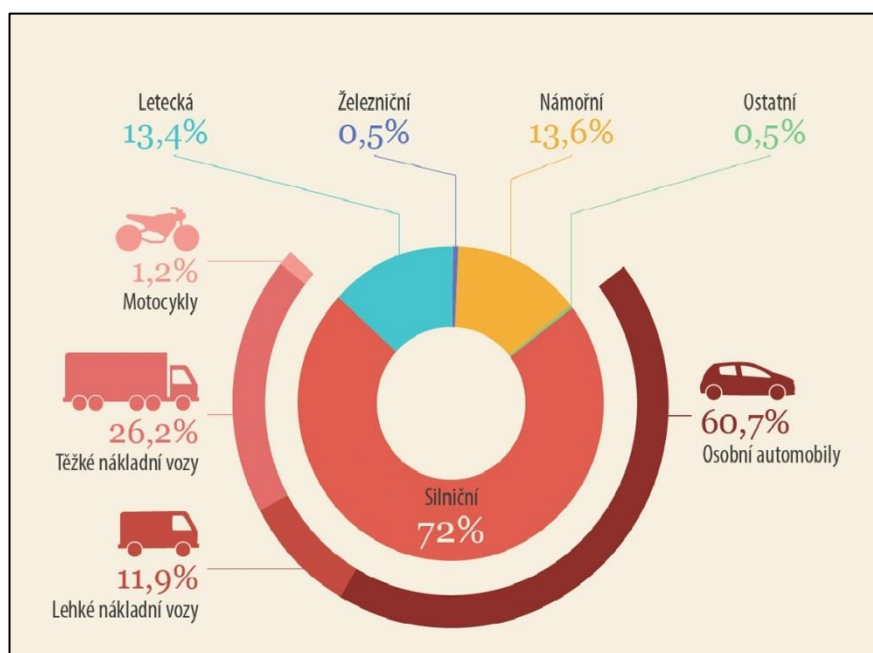
Velikost, a tím také hmotnost osobních automobilů provozovaných na dopravních trasách, neustále roste. Za posledních 20 let se zvýšila průměrná hmotnost osobních automobilů o 43 %. Roste také jejich počet. Nejen celkový počet registrovaných osobních automobilů, ale i dynamika jejich registrací. Přes skutečnost, že větší automobily produkují vyšší hodnoty škodlivých emisí (přímých i nepřímých), zvyšuje se zájem o jejich výrobu a provozování. Je to paradox současné doby.

Z počtu 5,7 miliónů registrovaných osobních automobilů na území ČR (2018) jsou přibližně 2/3 velkých automobilů. Rozdíl v hmotnosti emisí CO<sub>2</sub> je v desítkách milionů tun. Přesný ukazatel však nejsem schopni objektivně určit, protože nelze spolehlivě stanovit hodnoty do výpočtu, například počty malých a velkých automobilů, které se za rok pohybují na dopravních trasách či kolik skutečně ujedou kilometrů. Od roku 2017 je patrný nárůst emisí CO<sub>2</sub> oproti roku 2013 o 1,513 milionů tun, což je znázorněno v tabulce 1 a v následujícím obrázku 1 je znázorněno procentuální zastoupení jednotlivých odvětví dopravy [1].

**Tabulka 1 – Vyprodukované emise CO<sub>2</sub> podle jednotlivých druhů dopravy (v milionech tun)**

Zdroj: ([https://www.sydos.cz/cs/rocenka\\_pdf/Rocenka\\_dopravy\\_2017.pdf](https://www.sydos.cz/cs/rocenka_pdf/Rocenka_dopravy_2017.pdf) „staženo dne: 19.10.2019“)

	2010	2013	2014	2015	2016	2017
<i>Doprava celkem</i>	18 117	17 638	18 317	19 036	19 819	20 414
Individuální automobilová doprava	10 076	9 818	10 212	10 662	11 141	11 331
Silniční veřejná osobní doprava včetně autobusů MHD	1 805	1 784	1 854	1 931	1 996	2 075
Silniční nákladní doprava	4 963	4 899	5 079	5 272	5 433	5 641
Železniční doprava - motorová trakce	293	271	274	264	271	271
Vodní doprava	13	6	10	10	13	13
Letecká doprava	966	860	888	898	966	1 083



**Obrázek 1 – Podíl produkovaných emisí CO<sub>2</sub> podle jednotlivých druhů dopravy**

Zdroj:

(<https://europarl.europa.eu/news/cs/headlines/society/20190313STO31218/emise-co2-z-aut-fakta-a-cisla-infografika> „staženo dne: 21.10.2019“)

### **1.1.2 Opatření pro snížení celkových emisí z automobilové dopravy v určitém prostředí, nebo ve sledovaném období, jimiž je možné emise z dopravy snižovat.**

#### **Absolutní objem emisí z dopravy závisí:**

- **na počtu vozidel v jízdním režimu ve sledovaném území**

Čím více vozidel se pohybuje na dopravní trase a čím více produkují emise, tím větší jsou, za jinak nezměněných podmínek, negativní dopady na životní prostředí.

- **na délce ujeté vzdálenosti ve sledovaném území**

Platí, že čím je větší ujetá vzdálenost, tím více se spotřebovává energie v palivu, a tím větší negativní dopady lze očekávat.

- **na velikosti vozidla a jeho hmotnosti, které se pohybuje na dopravních trasách ve sledovaném území**

Platí, že čím je hmotnost vozidla vyšší, tím větší negativní dopady lze očekávat, protože obecně platí, že čím je hmotnost vyšší, tím se zvyšuje požadavek na dodání energie pro udržení jízdního režimu.

- **na stupni úpravy výfukových plynů**

Řízení chodu motorů, s čímž souvisí konstrukce a technologie spalování (čím vyšší účinnost, tím méně je spotřebováno množství paliva), v ČR je průměrné stáří osobních automobilů 15 let.

- **na způsobu ovládání vozidla řidičem**

Rozdíly ve spotřebě pohonných hmot mezi řidiči jsou až 40 %. Souvisí to se způsobem ovládání vozidla v daném prostředí (zejména nesmyslné zrychlování s následným prudkým zpomalováním vozidel, především ve městech), [1].

## **1.2 Přehled o současném stavu elektromobility**

Počet elektromobilů na celém světě v uplynulých 10 letech rapidně vzrostl. V roce 2018 celkový počet elektromobilů přesáhl pomyslnou hranici 5 milionů. Oproti roku 2017 se jedná o 63% nárůst (cca 2 miliony elektromobilů). Podobně dosáhl hodnoty 5,2 milionů počet nabíjecích stanic po celém světě. Ve srovnání s rokem předchozím došlo k nárůstu o 44 %. Z těchto nabíjecích stanic je ovšem většina soukromá. Veřejně přístupné nabíjecí stanice tvoří pouze zhruba 15 % z celkového počtu.

Klíčovou roli v tomto rozvoji hrají implementované politiky. Země, které jsou v oblasti elektromobility nejrozvinutější, implementují opatření jako standardy



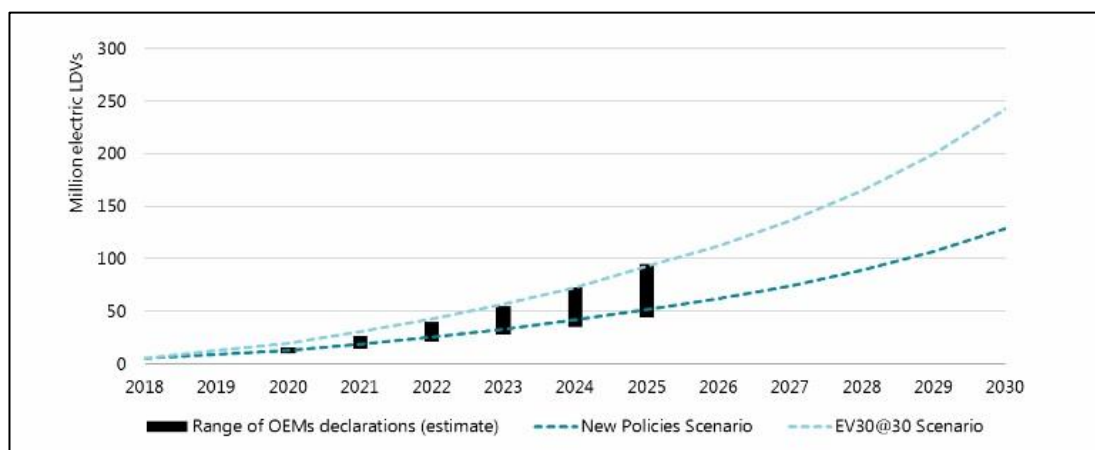
pro paliva, pobídky pro vozidla s nulovými a nízkými emisemi a jiné ekonomické nástroje, které dopomáhají překlenout rozdíly mezi konvenčními a elektrickými vozidly.

**Dva zkoumané scénáře:** (znázorněné na obrázku 2)

Ve scénáři IEA New Policies Scenario, který ukazuje možný vývoj za předpokladu implementování veškerých oznámených politických cílů, agentura očekává, že se v roce 2030 prodá 23 milionů elektromobilů a celý autopark dosáhne 130 milionů vozidel (do tohoto čísla nejsou zahrnutá dvou a tříkolová vozidla). Tento počet elektromobilů by v roce 2030 vedl ke snížení poptávky po ropných produktech přibližně o 2,5 milionů barelů ropy denně. Poptávka po elektrické energii pro elektromobily by dosáhla 640 TWh v 2030.

Druhý ambicióznější scénář s názvem EV30@30, jenž obsahuje cíl dosažení podílu elektromobilů 30 % do 2030, by vedl k prodeji 43 milionů elektromobilů v roce 2030 a celý vozový park by činil 250 milionů elektromobilů. V tomto případě by došlo ke snížení poptávky po ropě o 4,3 miliony barelů ropy denně a poptávka po elektřině pro elektromobily by byla 1 110 TWh.

Na následujícím obrázku 2 jsou vyobrazeny dva scénáře z hlediska počtu rozvoje EV od roku 2018-2030. Z obrázku 2 lze vyčíst počty kusů EV (v milionech) a rozdíl mezi dvěma scénáři [8].



**Obrázek 2 – Předpokládaný vývoj v počtu EV od roku 2018-2030**  
Zdroj: (<https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2019> „ staženo den:  
22.10.2019“)

Prodej elektromobilů se podle zprávy IEA v současnosti soustřeďuje do deseti zemí - Číny, Spojených států, Japonska, Kanady, Norska, Británie, Francie, Německa, Nizozemska a Švédska. Tyto státy v minulosti tvořily až 95 % globálního trhu elektromobility.

Suverénně nejvyšší podíl na prodeji nových vozů (až 29 %) mají EV v Norsku. Ve statistice dále s větším odstupem následují Nizozemsko (6,4% podíl) a Švédsko (3,4% podíl). V případě větších zemí, jako Čína či Spojené státy, je podíl elektromobilů na prodeji nových vozů stále zanedbatelný [9].

### 1.2.1 Úkoly elektromobility

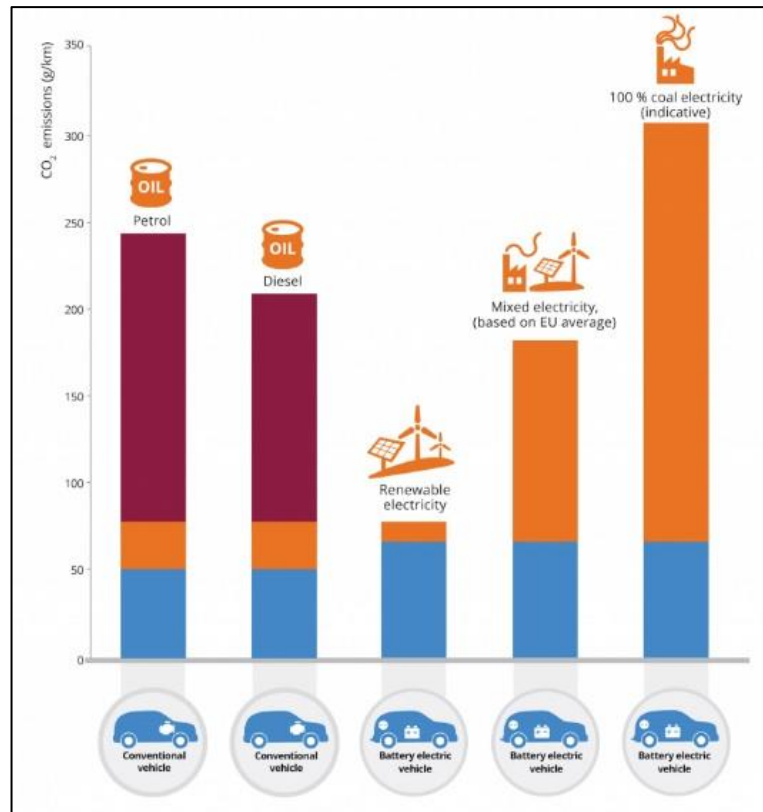
Elektromobily nejsou zaváděny s cílem, aby „vytlačily“ automobily se spalovacími motory z trhu a z dopravních tras. To, že se tak děje, je výsledkem poptávkového zastarávání automobilů se spalovacím motorem. Poptávkové zastarávání výrobků je součástí přirozeného stárnutí strojních zařízení (plánované zastarávání – SZ se za určitý čas „samo“ zneprovozní; funkční zastarávání – na trhu se objeví SZ s lepšími parametry; poptávkové zastarávání je buď estetické, nebo bývá vyvoláno novými poznatky na základě pokroku ve vědeckém poznání, například negativním ovlivněním ŽP nebo bezpečnosti lidí provozem strojního zařízení).

- **Snížit emise** (nejen CO<sub>2</sub>) zejména z dopravy ve velkých městech;
- **Snížit energetickou spotřebu ropných produktů** v dopravě;
- **Přesměrovat využití ropy** („změnit tok energie“) z energie využívané v dopravě do jiných průmyslových odvětví (obaly, plasty, farmacie);
- **Nastartovat ekonomiku inovací výroby** dopravních zařízení („okázalá spotřeba“ je hnacím prvkem ekonomiky);
- **Připravit společnost na očekávané dosažení „odložené“ tzv. Hubbertovy křivky** (po ropném vrcholu ropa náhle nedojde, ale její těžba se bude postupně snižovat, protože se její cena prudce zvýší (vlivem vyšších nákladů na těžbu) a nebude o ni zájem;
- **Zajistit energetickou soběstačnost** pro zajištění pohybu v oblasti dopravy (udržitelný rozvoj dopravy) [1].

### 1.2.2 Pozitivní přínos pro životní prostředí

Silniční doprava je hlavním zdrojem mnoha škodlivých emisí včetně benzenu, butadienu, oxidu uhelnatého (CO), oxidu dusíku (NOx) a pevných částic. Nejvýznamnějšími plyny, které souvisejí se silniční dopravou, jsou oxid uhličitý (CO<sub>2</sub>) a metan (CH<sub>4</sub>). V městských oblastech tak ke snížení kvality ovzduší významně přispívá silniční doprava. V současné době roste množství důkazů spojující znečišťující látky z vozidel se závažnými zdravotními účinky, jako jsou respirační a kardiopulmonální onemocnění a rakovina plic. Podle Světové zdravotní organizace (SZO) emise z automobilů způsobují více úmrtí než silniční nehody. Zvyšující se podíl EM na silnicích tedy z dlouhodobého hlediska přispěje ke snížení nepříznivých zdravotních účinků, které jsou způsobovány spalováním uhlovodíku v konvenčních vozidlech.

V zemích, které vyrábějí elektřinu z velké části čistě, tedy z obnovitelných zdrojů, není o vyšší ekologičnosti elektromotorů pochyb. Například Norsko s výrobou elektřiny ve vodních elektrárnách a zároveň s velkým podílem elektromobilů je k ideálnímu bezemisnímu stavu velmi blízko. Také v zemích, kde se elektřina vyrábí mixem různých zdrojů, tedy z uhlí, jádra i z obnovitelných zdrojů, je elektromobil výrazně čistší. To potvrdily i výpočty pro Česko. Z obrázku 3 lze odečíst, že emise EM mohou být téměř nulové, pokud jsou nabíjeny z plně obnovitelných zdrojů elektřiny. Z grafu také vyplývá, že výroba samotného EM je méně šetrnější než výroba automobilů se spalovacím motorem z pohledu emisí, ale na druhou stranu EM využívající mix energií z obnovitelných zdrojů a elektráren jsou šetrnější k životnímu prostředí vzhledem množství vyprodukovaných emisí než benzínové a naftové motory (viz obrázek 3) [10].



**Obrázek 3 –Mix energetických směsí**

Zdroj: (<https://www.jussipasanen.com/electric-cars-promise-change-without-changing/> „staženo dne: 23.10.2019“)

Elektrina se postupem času stává více čistou tím, jak vyspělé země přechází na energii z obnovitelných zdrojů. Ve studii doktorka Maarten Messagie došla k závěru, že i když existuje prostor pro zlepšení v oblasti výroby baterií, aby se snížil dopad na životní prostředí, mají na životní prostředí elektromobily příznivější vliv, než o jakém se obecně mluví.

Nové chemické postupy pro lithiové baterie, které zabraňují použití energeticky náročných a toxických materiálů, mohou významně snížit dopad na životní prostředí. Navíc novější technologie výroby baterií snižují hmotnost elektromobilů. Ty jsou více a více úspornější, a tak budou potřebovat méně a méně proudu. Tím se bude výhoda oproti spalovacím motorům zvyšovat [11].

### 1.2.3 Hlavní faktory působící na rozvoj elektromobility

Hlavním faktorem nutného rozvoje elektromobility v osobní dopravě se stává neustálý strmý nárůst automobilů. Pouze 21,5% energie ze spotřebovaného paliva je využito k pohybu vozidel (13,5 % je pro systémy vozidla). Počet automobilů

neustále roste a zvyšuje se také počet ujetých kilometrů za rok (předpokládá se, že v roce 2020 bude provozován 1 bilion osobních automobilů). Vědecko-technický pokrok ve světě dospěl k poznání (a přesvědčil politiky), že se už jedná o plýtvání energií z ropy, protože lze již využít jinou, snadno a levně dostupnou energii, která může být využita k pohybu z 80 %. Lze vypočítat, že provozem automobilů je ročně spotřebováno  $3,6 \times 10^{11}$  paliva, přičemž 78,5 % se spotřebuje zbytečně.

V současné době je nutné vykonat několik kroků na podporu elektromobility. Například motivovat výrobce ke snížení prodejní cenu elektromobilů na úroveň klasických automobilů (nebo aby stát poskytl dotace na jejich nákup). Dále stojí za úvahu počet nabíjecích infrastruktur, které by vyhovovaly množství registrovaných elektromobilů. Jako nezbytné se zdá motivovat lidi ke koupi EV tím, že dostanou pravdivé informace k provozu a servisu elektromobilů, například o jízdním dosahu automobilů poháněných elektromotorem, době trvání nabíjení baterií v rozmanitých nabíjecích stanicích, o bezpečnosti baterií při dopravní nehodě a také, aby dostali věrohodné informace, co se týče úrovně emisí ve srovnání s automobily se spalovacími motory a také o vlivu emisí na zdraví lidí.

Vzhledem k naladění společnosti a dlouhodobé snaze o snížení ekologického dopadu dopravy se v následujících letech očekává její rozmach. Je tedy potřeba zhodnotit současný stav, predikovat vývoj a zaměřit státní podporu tím směrem, aby došlo k zamýšlenému posunu v dopravě [1].

Hlavními faktory hovořící ve prospěch globálního rozvoje elektromobility jsou:

### **Regulace emisí CO<sub>2</sub>**

Doprava je významným zdrojem oxidu uhličitého a po silných regulacích v energetice a průmyslu je teď řada právě na dopravě, aby začala snižovat svůj dopad na životní prostředí.

### **Zlepšování kvality ovzduší, zejména ve městech**

Neoddiskutovatelnou výhodou elektromobilů jsou nulové lokální provozní emise, u většiny hybridních a plug-in hybridních vozidel mohou být po přepnutí do čistě elektrického módu provozní emise také nulové. Emise způsobené výrobou elektřiny pro tyto automobily jsou zpravidla vypouštěny v méně hustě obydlených oblastech.

## **Bezpečnost dodávek**

V dnešním světě, kde se napříč kontinenty vedou války a významní dodavatelé ropy často sídlí v politicky nestabilních regionech, není z politického hlediska příliš vhodné být na dodávkách ropy výrazně závislý.

## **Přístup zákazníků**

Elektromobilitě také nahrává fakt, že dnešní zákazníci mají zájem o technicky zajímavější a ekologičtější technologii, přičemž jsou ochotni si za ni připlatit.

## **Přípravenost dodavatelů**

Právě kvůli regulaci emisí (ne jenom CO<sub>2</sub> ale i jiných) jsou výrobci dopravních prostředků nuceni nalézat taková technická řešení, která by splnila dané regule. Elektromotor je svou jednoduchostí vhodným kandidátem na dosažení snížení emisí. Dá se říci, že všichni významní výrobci jsou v oblasti elektromobility aktivní. Také díky tomu se cena vozidel s elektrickým pohonem postupně snižuje [1], [12].

### **1.2.4 Negativní vlivy působící na rozvoj elektromobility**

#### **1.2.4.1 Vysoká pořizovací cena elektromobilů**

Cena se liší mezi značkami a modely, v průměru jsou ale elektroautomobily 2x dražší než benzínové a dieselové automobily ve stejné kategorii. Cena elektromobilu s baterií je 429 000 až 1 870 000 Kč. Očekává se snížení cen elektromobilů v roce 2022 na úroveň cen automobilů se spalovacím motorem (prohlášení představenstva koncernu VW v roce 2018). Přehled pořizovacích cen vybraných elektromobilů je znázorněn v tabulce 2 [13].

## Tabulka 2 – Přehled pořizovacích cen elektromobilů EM

Zdroj: (<https://www.eon.cz/radce/kolik-stoji-nejlevnejsi-elektromobil-cena-vas-prekvapi> „staženo dne: 28.10.2019)

Elektromobil	Cena (Kč)	Výkon (kW)	Baterie (kWh)	Hmotnost (t)
<b>Tesla Model 3</b>	1 100 000	361	50	1,9
<b>BMW i3</b>	950 000	125	42	1,7
<b>Nissan Leaf</b>	930 000	110	40	1,4
<b>Kia Soul EV</b>	850 000	100	42	1,5
<b>Hyundai Ioniq Electric</b>	900 000	100	38,3	1,4
<b>Renault Zoe Z.E 40</b>	750 000	68	41	1,4
<b>Volkswagen e-Golf</b>	880 000	100	33	1,6
<b>Volkswagen e-Up!</b>	530 000	61	36,8	1,2
<b>Škoda CITIGO iV</b>	429 900	61	36,8	1,2
<b>Audi e-tron</b>	1 870 000	300	95	2,6

Lidé při koupi elektromobilu převážně postupují v souladu s „teorií racionální volby“ (George Caspar Homans, 1961), protože si propočítají možný přínos (finanční úsporu) nebo ztráty. Omezí se na srovnání cen elektromobilu a automobilu se spalovacím motorem. V současné době, vzhledem k vyšším cenám elektromobilů a nízkým cenám pohonných hmot, jim jednoznačně vychází, že elektromobil nekoupí, dokud jeho cena neklesne. Přínos elektromobilu v oblasti životního prostředí do výpočtu lidé zpravidla nezahrnují, protože se jich problematika ŽP bezprostředně netýká, nehledě na skutečnost, že vliv škodlivých emisí a prachových částic na jejich zdraví do výpočtu nedokáží zahrnout [1].

V následující tabulce 3 nalezneme přehled největších trhů v Evropě s elektromobily. Evropskému trhu vládne Norsko díky nejlepším podmínkám pro elektromobily, na druhé straně největší nárůst elektromobilů byl za rok 2018 zaznamenán v Nizozemsku.

### Tabulka 3 – Největší trhy s elektromobily v Evropě

Zdroj: (<https://www.auto.cz/tohle-jsou-nejprodavanejsi-elektromobily-v-evrope-zebricek-ma-noveho-krale-127618> „staženo dne: 28.10.2019“)

Největší trhy s elektromobily v Evropě			
Pořadí	Země	Prodej 2018 (ks)	Meziroční nárůst (%)
1	Norsko	46 057	+39
2	Německo	34 543	+40
3	Francie	30 939	+24
4	Nizozemsko	24 284	+202
5	Velká Británie	14 504	+7
6	Švédsko	7 069	+68
7	Rakousko	6 695	+23
8	Španělsko	6 087	+53
9	Švýcarsko	5 141	+4
10	Itálie	4 949	+157

#### 1.2.4.2 Vysoká pořizovací cena baterie

Baterie nyní představují zhruba polovinu nákladů na elektrické vozy a jejich cena má mezi roky 2016 a 2030 klesnout o zhruba 77 %. Jakmile se pořizovací cena elektrických vozů více přiblíží pořizovací ceně benzinových, lidé začnou novou technologii více přijímat. Odhaduje se, že tou dobou by náklady na 1 kWh měla klesnout na cca 100 USD a tento milník by měl být už prolomen.

Americký list The New York Times u příležitosti začátku autosalonu ve Frankfurtu a představení elektromobilu Volkswagen ID 3 uvádí, že Volkswagen už dnes platí méně než \$100 za 1 kWh energie baterie. Pro porovnání zatím nejlevnější baterie od Tesly nabízejí 190 USD na 1 kWh výkonu.

Zájem o elektromobilitu podpoří klesající cena baterií, která je pro tato auta klíčová. Od roku 2010 ceny spadly téměř na pětinu, vývoj jde kupředu také v oblasti životnosti, resp. ve zvyšujícím se počtu nabíjecích cyklů baterií. Cena baterií by měla v průběhu příštích let nadále klesat. To může být přitom faktor, který pomůže elektromobilům se vyprostit z nadměrně vysokých cen, za něž si je mnozí lidé nemohou dovolit pořídit.



Například u Chevrolet Bolt EM se pořizovací cena nové baterie o dispoziční elektrické energii 60 kWh pohybuje v přepočtu okolo 360 000 Kč.

Nissan nabízí svojí baterii o dispoziční elektrické energii 24 kWh v přepočtu asi za 130 000 Kč u baterii s dispoziční elektrické energii 33 kWh se cena pohybuje 180 000Kč.

Životnost baterií je ovlivněna četností využívání (počet nabíjecích cyklů) a způsobu provozu elektromobilu [14] [15].

#### **1.2.4.3 Návratnost investice**

Návratnost investice do elektromobilu je pomalá. Velmi záleží na tom, kolik s konkrétním vozem provozovatel ujede. Obecně vzato se ale nájezd pohybuje v řádu několika stovek tisíc kilometrů. A to se neberou v úvahu žádné náklady na údržbu nebo opravu závad [16].

#### **1.2.4.4 Omezený dojezd (jízdni dosah)**

Omezený dojezd řidičům stále svazuje ruce. Na každodenní dojíždění do práce a občasné nákupy většině lidí baterie na jedno nabití vydrží. Pokud se ale rozhodnete vyrazit na delší výlet, musíte si celou cestu důkladně naplánovat, včetně zastávek na nabíjení. Je také potřeba vzít v úvahu, že obyčejné věci jako topení nebo klimatizace budou váš dojezd zkracovat.

U baterií s dispoziční elektrickou energií 22 kWh (19 kWh využitelných) činí přibližný dojezd hodnotu 130 km. Nový upgrade baterií zvyšuje dispoziční elektrickou energii na 42 kWh (38,3 kWh využitelných) a dojezd 250 - 280 km.

Tesla Model 3 ve verzi Long Range s baterií o využitelné dispoziční elektrické energie 100 kWh je schopná urazit v městském provozu 525 km, na dálnici 476 km; v průměru tedy téměř 500 km kombinovaných [16].

#### **1.2.4.5 Doba nabíjení**

Doba nabíjení se vždy odvozuje podle zvoleného způsobu. Pokud se bude automobil nabíjet z klasické zásuvky (230V), doba dobíjení je až 12 hodin. Takzvané Wallboxy, které si lze pořídit i domů, zkrátí získávání energie na cca 8 hodin. Nejlepší volbou jsou rychlo-nabíjecí stanice, které zvládnou doplnit baterie za 30-60 minut. Hodnoty dispoziční energie baterií se postupně zvyšují, to znamená, že doba

nabíjení se prodlužuje. Nízký počet rychlo-nabíjecích stanic se už snaží řešit většina významných distributorů elektrické energie na území ČR. Přesto však není nabídka stále optimální. Pro získání přehledu o všech nabíjecích stanicích je nutné si do telefonu stáhnout ideálně několik aplikací [16].

#### **1.2.4.6 Tichost elektromobilů**

Ticho možná léčí, ale po určité době se může stát i otravné. Po delší době si totiž začnete všimnout různých zvuků a pazvuků, které vznikají u podvozku vlivem aerodynamického hluku a podobně. Nehlučný automobil může být nebezpečný také pro nepozorné kolemjdoucí, kteří by mohli nechtěně vstoupit před automobil [16].

A právě nezvykle tichý projev elektromobilů ohrožuje chodce, kteří se orientují i podle hluku přijíždějícího auta. Ještě horší situace je u slabozrakých a nevidomých, kteří se pomocí sluchu orientují téměř výhradně. Automobilky na tyto výtky reagují vývojem reproduktorů namontovaných v elektromobilech, které by imitovaly zvuk spalovacího motoru [17].

#### **1.2.4.7 Vysoká hmotnost baterií a celého elektromobilu**

Hmotnost baterií pro EM je mnohonásobně vyšší než obyčejné baterie startovací, které se nachází u automobilu se spalovacím motorem. Pro příklad lze uvést, že laminovaná lithium-iontová baterie s kapacitou 24 kWh, kterou používá například EV Nissan Leaf (2016), váží 174 kg. Oproti klasické baterii, která má hmotnost 18 kg, se jedná o velký rozdíl. Baterie elektromobilu Tesla Model S váží 600 kg a obsahuje 7104 jednotlivých článků (verze 85 kWh). Tento fakt, se samozřejmě musí promítnout na celkové hmotnosti EM, která je samozřejmě vyšší [18].

Baterie však nedokáží na jednotku hmotnosti vyrobit a nasbírat takové množství energie jako např. benzín. Měrná kapacita (množství energie na kg) u nejlepších baterií dosahuje zhruba 1/15 energie z benzínu. Proto hmotnost baterie pro stejný dojezd jako při 40 - litrové nádrži benzínu by byla 450 – 1 050 kg, což logicky nelze použít [6].

## 1.2.5 Pozitivní vlivy působící na rozvoj elektromobility

### 1.2.5.1 Provozní náklady (servis, energie)

S provozem automobilu se spalovacím motorem jsou spojeny určité povinnosti, které se týkají údržby. Tyto náklady se pochopitelně promítnou do provozních výdajů. Pravidelně se mění olej a olejový filtr, palivový filtr, svíčky a nespočet dalších dílů typických pro spalovací motory. U elektromobilu je situace o mnoho jednodušší, protože vozidlo na elektřinu ve svém motoru jednoduše řadu běžných spotřebních komponentů neobsahuje. Náklady na servis elektromobilu jsou tak výrazně nižší, než tomu bývá u běžných aut se spalovacími motory. Motor elektromobilu shledáváme celkově jednodušší, což jej předurčuje k nižší poruchovosti. Samotný elektromotor má také delší životnost, jelikož během provozu vozidla není vystavován vysokým tlakům a teplotám. Vysoké náklady představují poruchy výfukového systému [1].

Určitým nákladům na servis a údržbu se však ani majitel elektromobilu nevyhne. Přezouvání a výměna pneumatik je u elektromobilu nutná stejně jako u běžného auta. Občas nastává nutnost kontroly rozvodů kapalin. Brzdy a brzdová kapalina mají sice u elektromobilu výrazně vyšší životnost než u klasického automobilu, postupnému opotřebení těchto součástí však zabránit nelze. Povinnost dostavit se v pravidelných intervalech k technické kontrole platí samozřejmě i pro elektromobily. Z logických důvodů se však neprovádí měření emisí.

Běžný elektromobil potřebuje k ujetí 100 km asi 12 – 16 kWh elektrické energie. V závislosti na sazbě elektřiny lze snadno dopočítat, kolik se orientačně za ujetí této vzdálenosti zaplatí (viz tabulka 4) [19].

**Tabulka 4 – Srovnání provozních nákladů**

Zdroj: (Autor)

<b>Orientační srovnání ceny elektrické energie a benzínu</b>		
	<b>Elektromobil</b>	<b>Automobil</b>
<b>Spotřeba na 100 km</b>	15 kWh (el.energie)	8 litrů (benzínu Natur. 95)
<b>Prům. cena za jednotku</b>	4,34 Kč za kWh	32,15 Kč za litr
<b>Cena na 100 km</b>	65,1 Kč	257,2 Kč

Z tabulky 4 lze na první pohled vyčíst, že stokilometrový úsek ujede elektromobil několikanásobně levněji. Cena za elektrickou energii uvedená v tabulce 4 je průměrnou cenou elektřiny na území ČR pro rok 2019. Pokud však domácnost odebírá elektrickou energii ve dvoutarifní sazbě, cena elektřiny v době nízkého tarifu, náklady na provoz elektromobilu se budou pohybovat ještě níže. Na některých veřejných nabíjecích stanicích se lze k elektrické energii připojit zcela zdarma [20].

#### **1.2.5.2 Tichý provoz**

Jízda elektromobilu nebo hybridu v elektrickém módu je pro posádku velmi komfortní, odpadá totiž jeden z největších původců hluku. A nejen pro posádku, ani chodce neruší akustické projevy, což představuje výrazné snížení externality z provozu. Tedy do chvíle, než se rozhodne chodec vstoupit do silnice pouze s jedním aktivním smyslem, a to sluchem, čímž se domnívá, že nic nejede. Takže nastává otázka, do jaké míry se jedná o výhodu či nevýhodu elektromobilu. Proto se tento vliv zahrnuje do obou stanovisek, jak do pozitivního, tak do negativního. Pro řidiče se samozřejmě jedná o výhodu, stejně tak pro některé chodce a zároveň i pro lidi žijící kolem dopravní trasy. Ovšem pro nepozorného chodce nastává značná nevýhoda, dokonce až vysoké riziko nebezpečí. V obydlených městských částech se elektromobil stává beze sporu výhodou [21].

#### **1.2.5.3 Bezpečnost provozu**

Elektromobily jsou konstruovány s ohledem na zmíněná rizika. Elektromobil musí mít oddělená vedení pro kladný a záporný pól, nelze tedy jeden pól ukostřit. Vůz musí být vybaven zařízením pro sledování izolačního odporu a musí zaručit ochranu před dotykem s nebezpečným napětím. Dále je požadováno, aby vodiče s nebezpečným trakčním napětím byly označeny oranžovou barvou. Velká pozornost je věnována zejména testování baterií. Například společnost TÜV SÜD provozuje speciální laboratoře, které testují chemickou a elektrickou bezpečnost nových článků a baterií pro elektromobily. Zároveň je podrobují i mechanickým zátěžovým zkouškám, aby simulovaly kritické stavy, do kterých se baterie mohou například při nehodě dostat. V samotných automobilech se baterie nasazují do míst s nejmenší pravděpodobností poškození [22].

#### **1.2.5.4 Snadné ovládání**

Téměř všechny řidiče, kteří poprvé usednou za volant elektromobilu, překvapí, jak snadno a pohodlně lze elektromobil ovládat. Řízení je přesné a rychlé, podobně jako reakce na sešlápnutí akcelérátoru. Většina elektromobilů má velice dobrou stabilitu a velmi dobře drží stopu v zatáčkách. Důvod je vcelku jednoduchý, baterie jsou většinou umístěny v podlaze a hmotnost znamená, nízko položené těžiště [1].

Chování je skvěle čitelné a ovládání auta opravdu zábavné. Pedál akcelérátoru představuje velice zajímavý prvek. Když totiž není sešlápnut, automobil sám brzdí. Jedná se o regenerativní brzdění, v tu chvíli rekuperuje energii zpět do baterií. Zpomalení je natolik výrazné, že se rozsvítí brzdová světla, tedy po puštění plynového pedálu brzdí víc, než když se u klasického automobilu podřazuje a brzdí motorem. Na toto zvláštní chování si řidič velmi rychle zvykne a považuje jej za výborný způsob ovládání auta. V běžném provozu, pokud řidič jezdí plynule, nepotřebuje v řadě případů vůbec brzdový pedál. Teprve při jeho sešlápnutí se aplikují klasické brzdy, úroveň rekuperace se už nezvyšuje, a energie tak přichází vniveč stejně jako u automobilu se spalovacím motorem [23].

#### **1.2.5.5 Možnost využití baterií jako zdroj energie**

Veškeré kouzlo spočívá v krabičce, která se nazývá Power box (viz obrázek 4). Power box si zákazníci mohou pořídit jako příslušenství ke svému elektromobilu. Zařízení se připojí k rychlonabíjecí zásuvce auta a následně dokáže dodávat výkon až 1500 W střídavého napětí 100 V (tedy 15 A).

Pokud se krabička (power box) připojí k plně nabitému elektromobilu, vydrží dodávat energii po dobu pěti až šesti hodin. To znamená, že průměrná domácnost může být zásobena elektrickou energií prakticky celý den pouze na power boxu [1].



**Obrázek 4 – Malá krabička jménem power box může být ve spojení s elektromobilem záložním zdrojem energie na celý den**

Zdroj: (CELJAK, 2018)

Využití baterií elektromobilů jako skladiště energie, nejen pro případ krizové situace, má v dnešní době obrovskou perspektivu. Rychlý rozmach obnovitelných zdrojů, jako jsou větrné a solární elektrárny, si žádá kvalitnější regulaci zátěže rozvodné sítě (tzv. smart grid) – a právě úložná kapacita je zde tou nejcennější komoditou [24].

Jako další možnost se nabízí, že elektromobil bude zastávat funkci domácí „zásobárny energie“ umožňující uskladnění energie z obnovitelných zdrojů (zejména z fotovoltaiky) a její uložení ve vozidle. Tato technologie se nazývá Vehicle to Grid. Technologie Vehicle to Grid dovoluje uživatelům převzít kontrolu nad tím, jaký druh energie spotřebovávají – mohou se tak vyhnout vysokým tarifům ve špičce, a naopak generovat v době špičky pro domácnost další příjem [1].

S využitím speciální obousměrné nabíječky a systému správy energie vyvinutého ve spolupráci společností Nissan a ENEL se nabízí nabíjet elektromobil, když je nízká poptávka a levnější tarify. Následně lze energii uskladněnou v baterii vozidla využívat v domácnosti, když jsou tarify vyšší, případně i dodávat energii zpět do sítě a získat pro domácnost další příjem [1].

### **1.3 Základní pojmy**

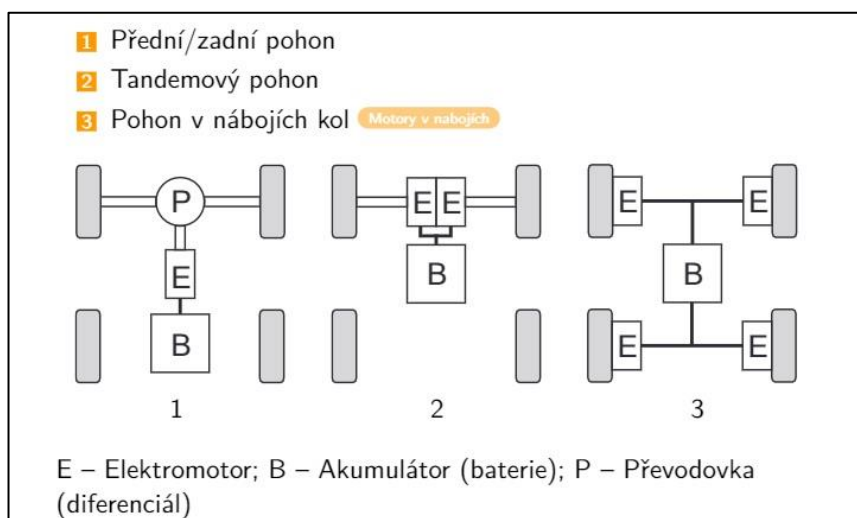
#### **1.3.1 Pohyb dopravních zařízení**

Pohyb dopravních zařízení se obecně realizuje silou, kterou dodávají motory různých konstrukcí, jenž získávají schopnost konat práci dodáním vhodné energie (pohonné hmoty, elektrická energie). Dopravní zařízení vykonávají především

posuvný pohyb pomocí otáčejících se kol. Motory řízeným způsobem využívají dodanou energii a mění ji na užitečnou práci (mechanickou nebo hydraulickou). Motory pozemních dopravních zařízení vytvářejí rotační pohyb, který je vhodným způsobem přenášen na kolo nebo několik hnacích kol. Kola patří k základním součástem podvozku a v místě jejich dotyku s podložkou vzniká hnací síla, která realizuje pohyb [1].

### 1.3.2 Elektromobil

Elektromobilem rozumíme vozidlo poháněné výhradně elektrickou energií, resp. elektromotorem. Ta je uložena v trakčních bateriích umístěných ve vozidle. Hnací ústrojí elektromobilu je tvořeno, podobně jako u vozidla se spalovacím motorem, z motoru, převodovky, hnacích hřídelů a diferenciálu s rozvodovkou. Nejčastěji se používá přední nebo zadní pohon s centrálním elektromotorem. Alternativami mohou být tandemové hnací systémy se dvěma elektromotory a pohony kol elektromotory umístěnými přímo v kolech znázorněno také na obrázku 5 [7].



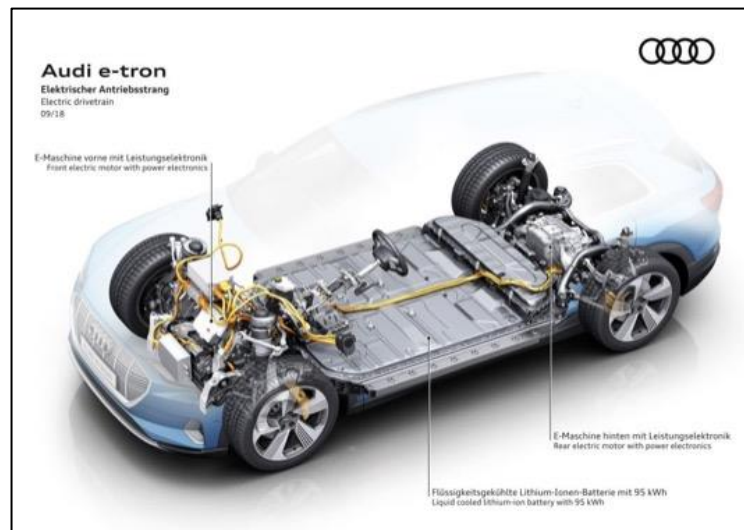
**Obrázek 5 - Konceptní uspořádání hnacího ústrojí elektromobilu**  
 Zdroj: (<https://docplayer.cz/23628926-Hybridni-vozy-a-elektromobily-7-prednaska.html> „staženo dne: 9.11.2019“)

#### 1.3.2.1 Karoserie

Karoserie se stávají nejdůležitější částí elektromobilů. U automobilů se spalovacím motorem to byla pohonná jednotka (motor) a její příslušenství, protože ji uživatel vnímal nejvíce (údržba, hluk, výfukové emise, rozsah příslušenství, velikost,

negativní vliv na životní prostředí). Vzhledem k jednoduchosti pohonu elektromotorem se pohonná jednotka dostává do pozadí. Do popředí proniká trakční baterie, její nabíjení a prostor pro řidiče a posádku – kabina. Trakční baterie funguje jako zdroj energie, která je součástí karoserie ve větším rozsahu než palivová nádrž u automobilu se spalovacím motorem.

Důležitým faktorem karoserie je aerodynamická stabilita. Vhodný aerodynamický tvar karoserie má velký vliv nejen na spotřebu energie, ale také na stabilitu vozidla a velikost hluku, který vzniká při jízdě obtékáním karoserie vzduchem. Právě proto je kladen na vývoj aerodynamického tvaru karoserie velký důraz. Na obrázku 6 vidíme řešení karoserie u elektromobilu Audi e-tron [1].



**Obrázek 6 - Konstrukce karoserie Audi e-tron**

Zdroj: (<http://www.hybrid.cz/elektromobil-audi-e-tron-jak-funguje-pohonny-system>  
„staženo den: 11.11.2019“)

### 1.3.3 Trakce

Pojem „trakce“ pochází z latiny a je odvozen od slova trahere (trahi, tractum) - tahat, vozit či táhnout. Elektrickou trakci lze definovat jako pohon hnacího vozidla prostřednictvím elektromotoru, který se nazývá trakční motor. Podle ČSN EN 13447 je elektrický trakční systém kombinace elektrického pohonu a palubního zdroje (palubních zdrojů) elektrické energie. Elektrický trakční systém se skládá z elektrického motoru, řídicí jednotky, výkonového obvodu, palubního zdroje



elektrické energie, popřípadě z převodovky. Do skupiny vozidel využívající elektrickou trakci lze zařadit všechna mobilní vozidla s elektrickým pohonem hnacích kol. Pro pohon vozidel je využito přeměny elektrické energie (z vnějšího zdroje prostřednictvím troleje, nebo z baterie) na energii pohybovou.

Elektrickou trakci vozidel rozdělujeme podle přivedení elektrické energie do vozidla:

**Závislá elektrická trakce** – vozidla jsou závislá na dodávce elektrické energie z rozvodné sítě elektrické energie (zdrojem se rozumí trakční vedení, ze kterého je trakční proud přiváděn do vozidla);

**Nezávislá elektrická trakce**, kdy vozidlo není závislé na rozvodu energie, zdroj elektrické energie je umístěn přímo na vozidle;

**Polo-závislá elektrická trakce**, kdy zdrojem energie může být kombinace bio pohonu (člověk), spalovacích motorů (vznětový, zážehový) turbín (parní či plynová), baterií, setrvačnicků, nebo fyzikálně-přírodních procesů (vítr, gravitace) [1].

Například elektrické vlaky se zpočátku prosadily především tam, kde kouřové spaliny a hluk parních lokomotiv nejvíce vadil: ve městech (tramvaje), v tunelech podzemních drah a v dolech. V Londýně byla první trať metra s elektrickým pohonem otevřena roku 1890. První pokusnou trolejbusovou trať představila firma Siemens v Berlíně v roce 1898. Vrcholu dosáhly trolejbusy ve městech v 50. a 60. letech minulého století, potom následoval jejich útlum. Elektrická trakce také umožnila stavět tunely ve větší hloubce, protože nepotřebovaly větrání. Elektrická trakce má řadu výhod, zejména provoz i ve vysoké zátěži bez zplodin, menší hluk s nižší závislostí na rychlosti jízdy a vysokou energetickou účinností ve srovnání se spalovacími motory a parními stroji [1].

#### **1.3.4 Elektromotor**

Elektromobily pohánějí bezkomutátorové (bezkartáčové) elektromotory. Elektromobily jsou hnány buď synchronními, nebo asynchronními trojfázovými motory.

Každý elektromotor má nepohyblivou a pohyblivou část – stator a rotor, všechny musí mít zdroj magnetického pole, magnetický obvod a elektrické vinutí, které při průchodu proudu v interakci s magnetickým polem vytváří točivý moment.

Elektromotor má ideální trakční charakteristiku. Při nulové rychlosti dodává maximální hodnotu točivého momentu a velmi rychle (už od nízkých otáček) dosáhne maximálního výkonu, přičemž hodnota výkonu se vzrůstajícími otáčkami klesá pomalu. Elektromotor je ale schopen poskytnout maximální točivý moment pouze po omezenou dobu (několik sekund). Maximální točivý moment vyžaduje vysoké množství proudu, který se odebírá z baterie. Tím dochází k nárůstu vysoké teploty ve výkonové elektronice a motoru, což je řešeno jednak chlazením (využití pro ohřev kabiny) a regulací. Regulace zajistí pro ochranu elektroniky a elektromotoru časové omezení špičkového točivého momentu, avšak umožní velmi dobrou hodnotu pro zrychlení vozidla (příklady zrychlení: dragster:  $31,3 \text{ m.s}^{-2}$ , F1:  $16,3 \text{ m.s}^{-2}$ , Bugatti Veyron:  $11,3 \text{ m.s}^{-2}$ , Porsche 911 Turbo:  $10,3 \text{ m.s}^{-2}$ , Tesla EV:  $9,25 \text{ m.s}^{-2}$ , běžný automobil se spalovacím motorem  $2,52 \text{ m.s}^{-2}$ ).

Elektromotory s kotvou nakrátko patří k velmi spolehlivým. Životnost „bezkartáčových“ elektromotorů činí běžně přes 40 let, ze zkušenosti s trakčními elektromotory vyplývá, že vydrží 1 milion km bez údržby. Problém jsou pouze ložiska, která u levnějších motorů mohou vykazovat opotřebení už po 500 000 km. Nižší životnost mají motory s permanentními magnety. U nich hodně závisí na kvalitě magnetů, ale obecně platí, že přežijí zbytek elektromobilu.

Elektromotor „neplýtvá energií“ a spotřebuje téměř celou dodanou energii, která je nutná pro překonání jízdních odporů. U automobilu se spalovacím motorem (ICE) odchází (je zmařena) většina energie teplem [1].

#### **1.3.4.1 Asynchronní trojfázový motor**

Pro trakční účely se využívají třífázové asynchronní motory s kotvou nakrátko napájené z měničů proměnným napětím a kmitočtem. Tok energie mezi hlavními částmi motoru (stator a rotor) je realizován výhradně pomocí elektromagnetické indukce, proto se často tento motor označuje jako motor indukční. Výhodou asynchronního motoru je vysoká spolehlivost, protože je konstrukčně velmi jednoduchý.

Asynchronní motor nelze smysluplně a hospodárně řídit napětím. Řízení rychlosti skluzem je ztrátové a přepínáním počtu pólů lze regulovat pouze skokově, vychází tedy jako jediný možný způsob plynulého a hospodárného řízení asynchronních motorů způsobem řízení současnou změnou napětí a frekvence.

Asynchronní motor může využívat rekuperačního brzdění (generátorické brzdění), kdy se dostane asynchronní motor do nadsynchronních otáček, skluz je menší než 1 a elektromotor pracuje jako asynchronní generátor, dodává energii zpátky do baterie svým generátorickým momentem, kterým brání zvyšování otáček do vyšší nadsynchronní rychlosti. Tímto způsobem ale nelze brzdit až do nulových otáček [1].

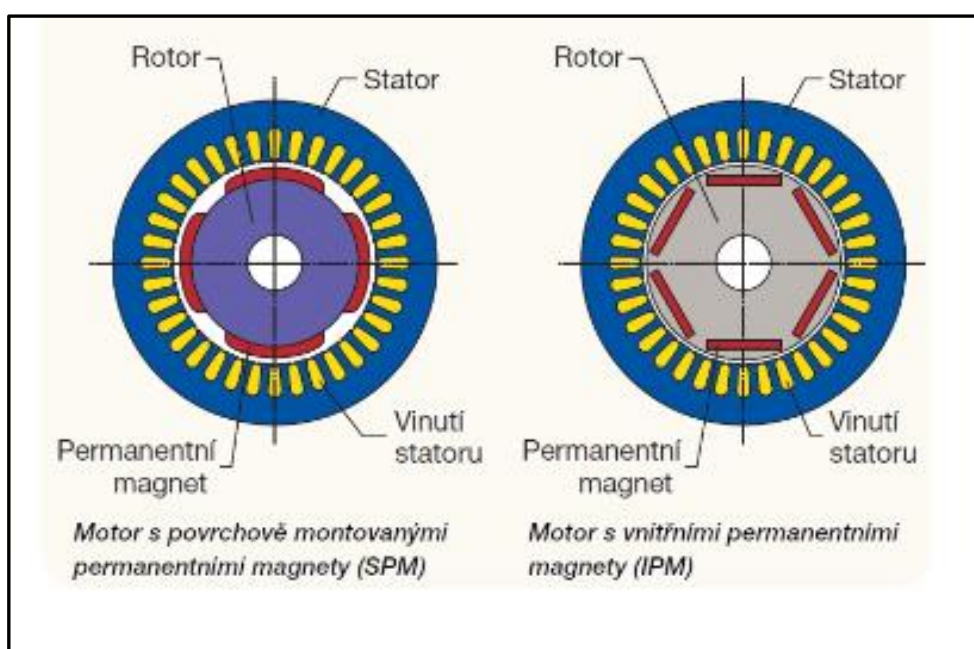
#### **1.3.4.2 Synchronní motory s permanentními magnety (PMSM)**

Uplatnění synchronních trakčních motorů malých a středních výkonů v elektrické trakci přinesla až možnost použití permanentních magnetů ze vzácných zemin. Synchronní motory s těmito permanentními magnety se označují PMSM (Permanent Magnet Synchronous Motor). Permanentní magnety představují hlavní součást PMSM. Obvykle jsou vyráběny ze dvou typů speciálních slitin. První skupinou jsou materiály na bázi prvků Neodym – Železo – Bór, druhou skupinou tvoří materiály na bázi prvků Samarium – Kobalt.

Velkou výhodou permanentních magnetů z těchto typů speciálních slitin, oproti běžným permanentním magnetům na bázi feritu, je velká magnetická indukce. Častěji jsou používány magnety NdFeB. Mají větší hodnotu magnetické indukce a patří k cenově výhodnějším. Mezi nevýhody, oproti magnetům SmCo, náleží menší odolnost vůči korozi a z ní vyplývající menší životnost. Výhodou elektromotorů s permanentními magnety je absence budicího vinutí a tudíž i absence ztrát v budicím vinutí, menší hmotnost a větší výkon v relativně malém objemu. Motor pracuje, na rozdíl od asynchronního motoru, s lepším účínkem. Neodebírá totiž ze sítě magnetizační proud. V rotoru navíc nevznikají ztráty ani v budicím vinutí a v rotorové kleci, jako je tomu u asynchronních motorů. Z toho plyne, že motor o stejném výkonu má menší rozměry a lepší účinnost, než klasický asynchronní motor.

Nevýhodou u permanentních magnetů je ztráta magnetických vlastností při zvýšené teplotě. Z tohoto důvodu činí maximální provozní teplota u magnetů SmCo přibližně 300 °C, u magnetů NdFeB dokonce ještě přibližně třikrát menší, což vyžaduje nutnost výborného chlazení, nebo tepelné izolace permanentních magnetů. K další nevýhodám permanentních magnetů se váže jejich vysoká pořizovací cena [3].

K dispozici jsou dva typy motorů s permanentními magnety (viz obrázek 7). Magnety u motorů s povrchově montovanými permanentními magnety (Surface-mounted Permanent Magnet – SPM) jsou připevněny na povrchu rotoru, přičemž u motorů s vnitřními permanentními magnety (Internal Permanent Magnet – IPM) jsou zapuštěny dovnitř. Oba typy motorů mají vysokou účinnost, ale motory IPM pracují s vyšším krouticím momentem, protože využívají magnetický i reluktanční moment generovaný magnetickou nesymetrií. Protože magnety motorů SPM musí být připevněny na povrchu rotoru, mechanická pevnost je slabší než u motorů IPM, zejména při vysokých otáčkách [1].



**Obrázek 7 - Umístění permanentních magnetů SPM a IPM u synchronních motorů**

Zdroj:

([https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=125780](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=125780)

„staženo dne: 17.11.2019“)

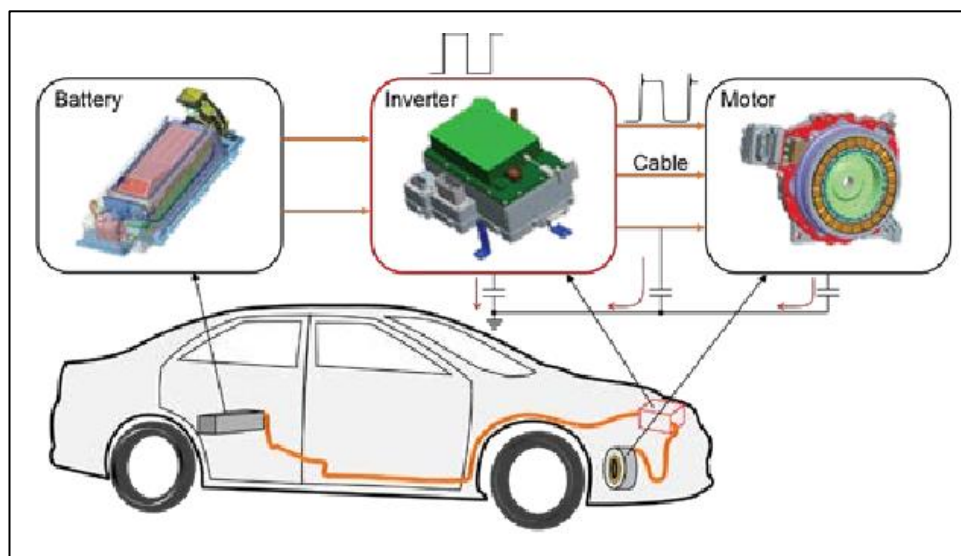
### 1.3.5 Invertor

Velice důležité zařízení v elektromobilu, které:

- Mění stejnosměrný proud z baterie na střídavý proud pro elektromotor v části „střídač“, protože baterie poskytuje stejnosměrný proud, zatímco elektromotor vytváří točivé magnetické pole díky střídavému proudu, takže jako spojovací článek musí být v elektromobilu invertor.

- Řídí režim chodu elektromotoru za jízdy podle pokynů řidiče prostřednictvím akceleraátoru = pedálu akcelerace (rychlost a výkon) v části „frekvenční měnič“ a umožňuje asynchronní motory provozovat v širokém pásmu otáček.
- Obrací chod elektromotoru při zařazení zpětného chodu, protože mění pořadí průchodu proudu fází ve statorovém vinutí a mění směr otáčení točivého magnetického pole a tím také směr otáčení rotoru.
- Při brzdění a při uvolňování pedálu akcelerace řídí rekuperaci energie tím, že střídavý proud z elektromotoru=generátoru mění na stejnosměrný pro nabíjení baterie [1].

Základní schéma uspořádání základních prvků EV je zobrazeno na obrázku 8.



**Obrázek 8 - Základní schéma EV**

Zdroj: (<https://www.semanticscholar.org/paper/Inverter-modeling-including-non-ideal-IGBT-in-for-Shim-Kim/a0dce40ca84fe4b213c71b2f039d700da7c7b80e/figure/0> „staženo dne: 17.11.2019“)

### 1.3.6 Baterie

Baterie mění přímo energii chemickou na elektrickou. Tyto elementy pracují dle základního principu. Do kapaliny nebo pevné látky (elektrolyt), jenž obsahuje částičky elektricky nabité, jsou ponořené dvě elektrody rozdílného materiálu. Uvnitř článku mezi dvěma elektrodami vzniká vodivé spojení. Elektrolytem můžeme nazvat rozpuštěnou sůl či zředěnou kyselinu. Důležitými parametry jsou: energetická hustota, výkonová hustota, nabíjecí doba, životnost, údržbovost a samozřejmě cena. Pro elektromobily se používají tzv. trakční baterie [2].

### 1.3.6.1 Trakční baterie

Trakční baterie disponují oproti klasickým startovacím autobateriím vysokou odolností při cyklickém (opakovaném) hlubokém vybíjení a odolávají opakované zátěži při vybíjení na 0 až 10 % dispoziční elektrické práce baterie. Elektromobily mají baterie podstatně větší a hmotnější a disponují vyšším počtem nabíjecích cyklů. Součástí trakční baterie jsou systémy pro nabíjení, ochranu baterie a zábrany proti destrukci baterie při dopravní nehodě. Oproti klasickým startovacím bateriím jsou trakční baterie navrženy pro hluboké vybití a mnohem méně podléhají opotřebení elektrod při vybíjení a nabíjení [1].

### 1.3.6.2 Základní parametry baterií pro elektromobily

U bateriových článků, nebo baterií galvanických článků (dále pouze „baterií“) se sledují z hlediska jejich praktického využití následující parametry:

- Měrná dispoziční elektrická práce (energie) = podíl uložené elektrické energie a hmotnosti baterie ( $\text{Wh}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) hustota dispoziční elektrické práce (energie) = podíl uložené elektrické energie a objemu baterie ( $\text{Wh}/\text{litr}$ ), míra samovybíjení = u primárních článků určuje dobu skladovatelnosti.
- Elektrický výkon (elektrochemický) = množství energie, které je baterie schopna dodat za jednotku času ( $\text{Wh}$ ).
- Vnitřní odpor = velikost odporu článku při průchodu elektrického proudu, nabíjecí proud a nabíjecí doba = doba (s, hod), za níž lze doplnit baterii na plné množství energie, pomocí níž lze vykonat určité množství elektrické práce ( $\text{kWh}$ ).
- Účinnost = podíl vydané a dodané energie u baterie (90 %).
- Počet cyklů nabití/vybití baterie do konce životnosti (životnost je omezena počtem cyklů), [1].

### 1.3.6.3 Životnost baterie

Baterie postupem času degradují a ztrácí svou kapacitu. Co se týče investice do baterie v případě elektromobilů, jedná se v řádech desítek až stovek tisíc.

Životnost baterií se snižuje především:

- **Zatížením baterie vysokými proudy.** Například při jízdě s opakovanou prudkou akcelerací je reálný energetický výstup z baterie vždy

nižší. Chemická struktura baterie nezvládne vydat tolik proudu, jako když by byla vybíjena pozvolna.

- **Provozní teplotou.** V mrazech (pod  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) nebo i při teplotách kolem  $40^{\circ}\text{C}$  lithiové baterie vykazují sníženou kapacitu.
- **Úroveň (hloubkou) vybíjení.** U trakčních baterií obecně platí, že čím jsou vybíjecí cykly hlubší, tím je pak životnost baterie kratší (viz tabulka 4). Jedná se o tzv. exponenciální úpadek dispoziční elektrické práce baterie. Například: bude-li se baterie opakovaně vybíjet do hloubky 80 % (tzv. D.O.D. 80 % = depth of discharge = hloubka vybíjení = vyčerpá se 80 % dispoziční elektrické práce, zůstane v baterii k dispozici pouze 20 %), životnost baterie bude výrazně kratší než při vybíjení do hloubky pouze na 40 %.
- **Ponechání ve vybitém stavu.** Čím delší dobu se baterie ponechá v nenabitém stavu a čím větší je její hloubka vybití, tím více se zkracuje životnost.

Životnost baterie je dána její skutečnou dispoziční hodnotou elektrické práce v kWh (v odborné literatuře se uvádí také energií, elektrickým výkonem a také nesprávně „kapacitou“) a pohybuje se řádově v tisících cyklů plného nabití a vybití. Jakmile klesne pod 50 %, přestává být pro používání v elektromobilu vhodná, protože se sníží jízdní dosah a pro elektromobil znamená také příliš velký podíl tzv. „mrtvé hmotnosti“.

Počet nabíjecích cyklů se uvádí 500 až 800 u elektrokol, u elektromobilů jsou údaje rozmanité a s mírnou nadsázkou lze říci, že prodejci elektromobilů nechtějí tuto zprávu přesně říci nebo zřejmě přesně nevědí. V současné době lze uvažovat s počty 1 000 až 3 000 NC, které uvádí firma Panasonic (2018). U nově vyráběných trakčních baterií se počet nabíjecích cyklů zvyšuje. V následující tabulce 5 jsou informace o závislosti úrovně vybíjení a počtu cyklů u baterií staršího provedení [1].

**Tabulka 5 - Vztah úrovně vybíjení a životnosti z hlediska počtu cyklů nabíjení trakční baterie**  
Zdroj: (CELJAK, 2018)

Hloubka vybíjení	Životnost – počet cyklů
100 %	150
75 %	225
50 %	350
30 %	700
10 %	1800

#### 1.3.6.4 Lithium-ion baterie

Lithium-ion baterie (zkráceně Li-Ion baterie) je typ nabíjecí baterie, ve které se lithium-ionty pohybují mezi anodou a katodou. Vysoká hustota energie vzhledem k objemu se hodí pro přenosná zařízení. Hlavním negativem je jejich stárnutí, což je snižování hodnoty dispoziční elektrické práce (DEP) nezávisle na používání. Při skladování baterie při teplotě 20 °C se DEP baterií snižuje o 20 % za rok. Pokud by byla baterie skladována při teplotě 4 °C, snižovala by se za rok DEP jen o 4 %. Naproti tomu při teplotě 40 °C by byla trvalá roční ztráta DEP baterie až 35–40 %. Oproti NiCd a NiMH bateriím mají Li-ion baterie vyšší vnitřní odpor, proto není možné z nich získat tak vysoký proud. V případě přehřátí nebo připojení vyššího napětí může baterie explodovat.

Výhody Li-ion akumulátorů:

- Nízká toxicita
- Velmi vysoká hustota energie (160 Wh.kg<sup>-1</sup>)
- Možnost tvarovat baterii podle individuálních požadavků
- Nemá paměťový efekt
- Malá úroveň samovybíjení
- Vysoké nominální napětí
- Dobrá nabíjecí účinnost (80 %) [1]



### 1.3.6.5 LiFePO baterie

Baterie využívají lithium železo fosfátu ( $\text{LiFePO}_4$ ). Toto označení získaly díky katodě vyrobené z tohoto materiálu. Anoda je jako u ostatních L-ion baterií vyrobena z uhlíku. Mezi jejich hlavní přednosti oproti klasickým lithium iontovým bateriím patří především schopnost dodat vyšší proud a to, že při extrémních podmínkách nevybuchují. Na druhou stranu mají o něco nižší napětí a také nižší hustotu energie.

Výhody Li-ion fosfátových baterií:

- Téměř plochá křivka až do úplného vybití baterie.
- Vysoký počet nabíjecích cyklů (až 3000 dle Panasonic).
- Netoxické.
- Nemá paměťový efekt (paměťovým efektem se označuje se jím stav, kdy baterie postupně ztrácí svoji maximální dispoziční práci, jsou-li opakovaně nabíjeny jen po částečném vybití).
- Bezpečné oproti jiným typům lithiových baterií.
- Vysoká životnost (až 10 let).
- Vynikající nabíjecí účinnost (až 90 %).
- Levnější oproti jiným lithiovým bateriím.
- Vyšší hustota energie ( $80\text{-}120 \text{ Wh.kg}^{-1}$ ) – dnes se již dají běžně koupit baterie s hustotou  $170 \text{ Wh.kg}^{-1}$  a více.

Nevýhody Li-ion fosfátových baterie:

- Rychlé dobíjení snižuje životnost (sníží se počet nabíjecích cyklů).
- Možnost předčasného selhání po větším množství hlubokých cyklů (vybití pod 33 %) [1].

## 1.4 Způsoby obnovy energie baterií EM

- a) Výměna baterie, která bude mít standardní rozměry, elektrický výkon, napětí, kapacitu, a bude možné ji zasunout do EM ze spodní, boční, resp. zadní části ve výměnném středisku či po částech z nabíjecích boxů. Tyto baterie budou nabíjeny z běžné sítě nebo z úložišť, kam bude ukládána elektrická energie z FVE.
- b) Nabíjení baterie prostřednictvím nabíjecích zařízení. Baterie jsou trvale (po dobu jejich životnosti, resp. po vyčerpání počtu nabíjecích cyklů) uložené v

automobilu a mohou se nabíjet v rozmanitých režimech nabíjení (běžné nabíjení, rychlé nabíjení). Nabíjení bude v některých případech vyžadovat úpravy místní elektrické sítě na požadovaný výkon při nabíjení.

- c) Nabíjení z podložky;
- d) Přepojení na záložní baterii (vezená ve vozidle, nebo v přívěsném vozíku)
- e) Rekuperace [1]

#### **1.4.1 Výměna baterie**

Systém se opírá o stanice (Battery Swap Station), v nichž lze v krátkém čase vyměnit vybitou baterii za nabitou. Výměna baterií je prováděna automaticky po najetí automobilu do vyhrazeného prostoru, manuálně vyjmutím baterií z úložného prostoru (například malé baterie u motocyklů), ale i u malých automobilů, kde lze vyjímat baterie po modulech nebo kombinací. V současné době jsou stanice k dispozici pouze pro výměnu baterií jednoho výrobce elektromobilů, protože jsou baterie konfigurovány pro jeden model automobilu. Výměna baterie trvá krátkou dobu, zpravidla do 5 minut od příjezdu do stanice.

Tyto systémy byly ověřovány již v roce 2007 (izraelská společnost Better Place). Firma získala peníze od investorů a mylně předpokládala rychlý rozvoj elektromobility, resp. velký počet prodaných elektromobilů v každodenním provozu (EM Renault ZOE prodávala bez baterií). Aby byla šance peníze investorům vrátit, měla firma velké plány a chtěla odstartovat na mnoha trzích najednou, od Izraele a Dánska po USA a Austrálii. Prodej elektromobilů ale nedosahoval předpokládaných počtů. V Izraeli, na který se firma nakonec soustředila nejvíce, měla 37 výměnných stanic za desítky milionů dolarů, přičemž zákazníkům dodala pouze 850 elektromobilů, oproti uvažovanému stonásobku.

V roce 2013 obdobný systém představil Elon Musk firmou TESLA, projekt byl pouze představen, ale nebyl využíván. V roce 2017 firma BatSwap představila stanici pro automobily Nissan [1].

Čínská firma vyrábějící elektromobily NIO ES8 uvedla malou výměnnou stanici (viz obrázek 9) a rozhodla se usnadnit majitelům elektromobilů cesty mezi Pekingem a Šanghají. Na této přes 1 200 km dlouhé trase bylo vybudováno 8 stanic, kde je možné si nechat vyměnit vybitou baterii za plnou [26].



**Obrázek 9 - Výměnná stanice o firmy NIO**

Zdroj: (<https://elektrickevozy.cz/clanky/v-cine-uz-funguji-stanice-na-vymenu-baterii-v-elektromobilech> „staženo den: 22.11.2019“)

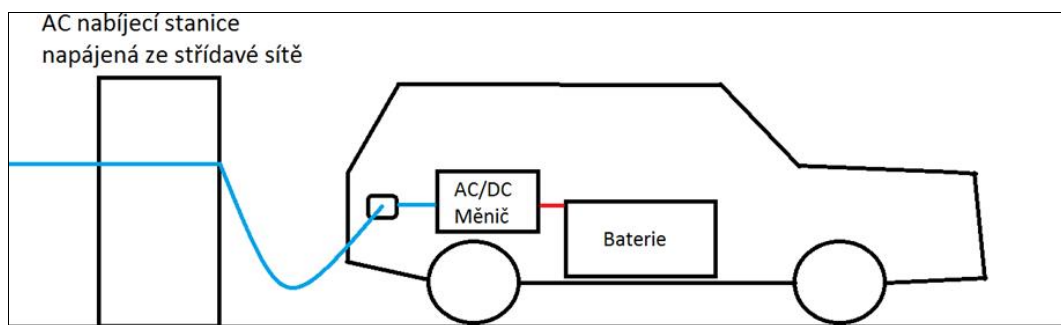
Samotná výměna je snadná. Do stanice musí řidič pouze najet a o zbytek se postará automatický systém. Rychlost celé výměny je pak dle výrobce kolem tří minut. Jedna taková stanice zabere zhruba tři parkovací místa. V budoucnu je v plánu vybudování dalších 18 stanic na trase Peking – Šenčen (Shenzhen). Nevýhodu, poměrně zásadní, zatím představuje možnost výměny baterie pouze u elektromobilu Nio ES8. Ten podle měření ujede 355 kilometrů na energii z baterie s dispoziční energií 70 kWh. Maximální výkon 480 kW motoru poskytuje slušnou dynamiku, která umožňuje zrychlit z 0 na 100 za 4,4s. Do Evropy se pravděpodobně dostane začátkem roku 2020 [26].

#### **1.4.2 Nabíjení baterie prostřednictvím nabíjecích stanic**

##### **Stanice se střídavým napětím (AC)**

U střídavého nabíjení je elektromobil připojen k síti střídavého napětí a k úpravě na nabíjecí stejnosměrné napětí dochází v elektromobilu. Tyto nabíjecí stanice ve většině případů přivádí do elektromobilu síťové napětí a slouží pouze k monitorování nabíjení a komunikaci s vozidlem pro zvýšenou bezpečnost. Rychlost nabíjení závisí na proudovém omezení sítě a na výkonu palubní nabíječky, které jsou kvůli úspoře hmotnosti a ceny většinou dimenzovány na malý výkon. K usměrnění, na nabíjecí stejnosměrné napětí v elektromobilu, lze použít samotnou pohonnou jednotku. V tomto případě se využívá vinutí motoru a pohonný měnič, které jsou stavěné na velké výkony a díky tomu je i rychlost nabíjení mnohem vyšší oproti

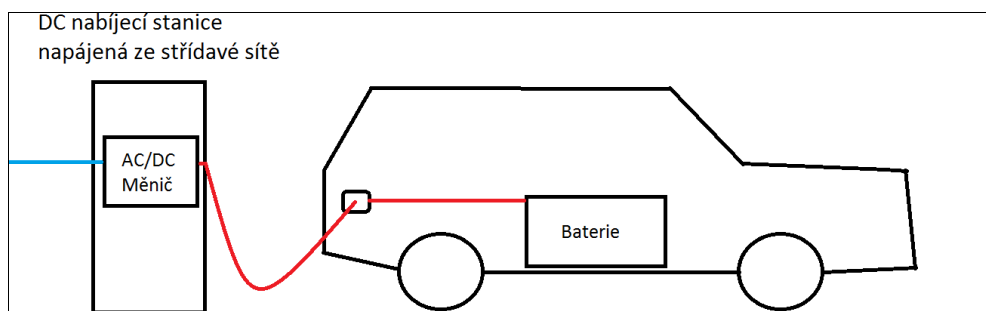
palubním nabíječkám. Nevýhoda se ukazuje v nutnosti použít složitější pohonné jednotky. Tento systém využívá například elektromobil Renault Zoe, u kterého se udává maximální výkon nabíjení až 43 kW. Schéma nabíjecí stanice se střídavým napětím (AC), je znázorněno na obrázku 10 [5].



**Obrázek 10 - Nabíjecí stanice se střídavým napětím AC**  
Zdroj: (RÁČEK, 2017)

#### **Stanice se stejnosměrným napětím (DC)**

U stejnosměrného nabíjení je elektromobil připojen rovnou ke stejnosměrnému napětí (viz obrázek 11), které se nachází přímo v nabíjecí stanici. V tomto případě se palubní nabíječka nevyužívá. Je však nutné, aby probíhala komunikace mezi nabíjecí stanicí a elektromobilem pro zajištění správných nabíjecích parametrů. Díky většímu výkonu těchto zařízení oproti palubním nabíječkám se tomuto způsobu často říká rychlonabíjení [5].



**Obrázek 11 - Nabíjecí stanice se stejnosměrným napětím DC**  
Zdroj: (RÁČEK, 2017)

V tabulce 6 je znázorněno rozdělení nabíjecích stanic podle jednotlivých veličin.

**Tabulka 6 – Rozdělení nabíjecích stanic**

Zdroj: (RÁČEK, 2017)

Nabíjení	Napětí	Výkon [kW]	Maximální proud [A]	Použití
Nízký výkon	1f, AC	3,7	10-16	domácí
Střední výkon	1f nebo 3f, AC	3,7-22	16-32	domácí / veřejné
Vysoký výkon	3f, AC	>22	>32	veřejné
Vysoký výkon	DC	>22	>3,2 25	veřejné

#### 1.4.2.1 Druhy konektorů pro nabíjení

Slouží k opakovanému připojení elektromobilu ke zdroji nabíjecího napětí. Kromě klasických konektorů určených pro připojení k jednofázovým nebo třífázovým střídavým sítím se pro nabíjení elektromobilů využívají následující konektory (viz obrázek 12). Výjimku tvoří automobilka Tesla, která ani jeden z níže popsaných konektorů nepoužívá, protože má vlastní konektor, na který existují redukce [5].

#### SAE J1772, Type 1 Yazaki

Tento konektor je určen pro připojení elektromobilu k jednofázovému střídavému napětí (AC) o velikosti 120-240V a maximálním proudem 80A. Obsahuje dva piny pro přenos střídavého napětí, jeden zemnicí pin, dále pin pro kontrolu správného zapojení konektoru a komunikační pin, který zajišťuje jednoduchou komunikaci mezi vozidlem a nabíjecí stanicí. V případě zapojení konektoru je z důvodu bezpečnosti blokován pohyb elektromobilu. Tento konektor se rozšířil převážně v Americe a Japonsku.

#### SAE J1772, Type 1 CCS (Combo 1)

Jedná se o rozšíření Type 1 konektoru o dva piny určené pro přenos stejnosměrného (DC) napětí. Konektor je schopen přenášet stejnosměrné napětí o maximální velikosti 600V a proudem 200A.

## **Type 2, Mennekes**

Tento konektor vznikl převážně pro evropské země kvůli velké dostupnosti třífázových sítí, které Type 1 konektor nepodporuje. Zvládá jednofázové nebo třífázové nabíjení střídavým napětím (AC) o velikosti až 400V a maximálním proudem 63A. Konektor obsahuje tři fázové piny, jeden nulový, jeden ochranný, dále kontrolní a komunikační pin. Komunikace je převzatá z Type 1 konektoru. Tímto konektorem lze nabíjet i pomocí stejnosměrného napětí o velikosti až 500V a proudem až 140A. Tuto funkci však využívají jenom elektromobily značky Tesla určené pro Evropský trh. Ty však pracují s lehce modifikovanou verzí tohoto konektoru, která je schopná přenášet ještě větší výkon. Ostatní automobilky pro stejnosměrné nabíjení preferují kombinované konektory.

## **Type 2 CCS (Combo 2)**

Jedná se o rozšíření Type 2 konektoru o dva piny určené pro přenos stejnosměrného napětí (DC) o maximální velikosti 850V a proudem 200A.

## **Type 3 Scame**

Tento konektor je funkčně stejný jako Type 2, má však jiné rozmístění pinů. Pro zvýšenou bezpečnost má navíc dvířka, která blokují přístup k výkonovým pinům, dokud není konektor částečně zasunut. Tento způsob ochrany vyžadují některé evropské země. V roce 2015 byl však plně nahrazen Typem 2 konektorem doplněným o stejný typ ochrany.

## **Type 4 CHAdeMO**

Konektor je určený pro přenos stejnosměrného napětí (DC) o maximální velikosti 500V a proudem 125A. Nevýhodou oproti kombinovaným konektorům se stává nutnost osazení druhého konektoru v případě potřeby připojení vozidla ke střídavé síti [5].



**Obrázek 12 - Druhy konektorů pro nabíjení EV**

Zdroj: (<https://evcharging.enelx.com/eu/about/news/blog/552-ev-charging-connector-types> „staženo den: 25.11.2019“)

#### 1.4.2.2 Doba nabíjení baterie EM

Nabíjení se realizuje prostřednictvím zařízení, které je zdrojem elektrického proudu. Elektrický proud prochází baterií a vyvolá v jeho člancích vratné chemické změny, které se projeví rozdílným elektrochemickým potenciálem na elektrodách. Velikost nabíjecího proudu závisí na kapacitě baterie a záleží na něm doba nabíjení. Z elektrod lze čerpat, na úkor těchto změn, elektrickou energii zpět. Protože jsou napětí na člancích elektrochemických baterií relativně nízká (okolo 1,2–3,7 V), sdružují se tyto články do „baterií článků“ pro dosažení vyššího napětí.

Baterie pro elektromobily se nabíjejí buďto z domácích zásuvek, nebo ze speciálních nabíjecích stanic (veřejné rychlonabíjecí stanice). Rychlonabíjecími stanicemi se tato zařízení nazývají podle délky času potřebného k dobití baterie. V případě „zásuvkových elektromobilů“ je čas dobití baterie dle přenášeného výkonu a množství nabíjené energie obvykle přibližně 8 hodin, u rychlonabíjecí stanice to může být v rozsahu 15 až 30 minut (viz tabulka 7) [1].

**Tabulka 7 - Orientační doba nabíjení při použití konektorů**  
Zdroj: (CELJAK, 2018)

Parametr	Schuko	Typ 1	Typ 2	CHAdeMO	CCS
Napětí	230 V AC	230 V AC	400 V AC	500 V DC	500 V DC
Proud	10 A–16 A	16 A–32 A	16 A–63 A	125 A	125 A
Výkon	2 – 3,7 kW	3,7 – 7,4 kW	11–44 kW	60 kW	60 kW
<b>Doba nabíjení</b>	8–10 h	3–5 h	1–3 h	20 min	20 min

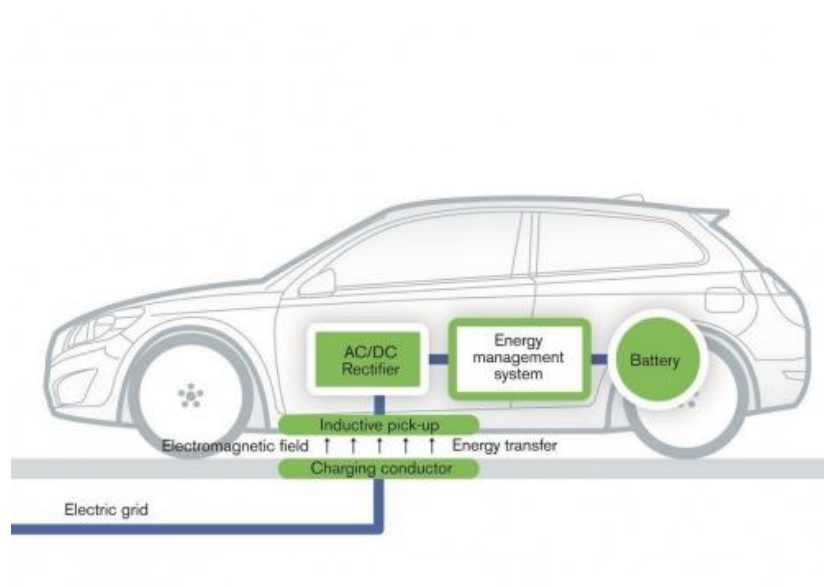
### 1.4.3 Bezdrátové nabíjení baterie z podložky

Bezdrátově nabíjet elektrické přístroje lze obecně pomocí tří základních způsobů: indukčním nabíjením, nabíjením radiovlnami a nabíjením s využitím rezonance. V současné době se nabíjení elektromobilů a elektrobusů testuje především systémem indukčního nabíjení. Indukce vychází ze skutečnosti, že kolem vodiče, kterým prochází elektrický proud, vzniká magnetické pole. Časovými změnami magnetického pole, které svými indukčními čarami obepíná vodič, vzniká ve vodiči elektrické napětí. Časové změny magnetického pole mohou být způsobeny jeho vznikem nebo zánikem, také zesílením nebo zeslabením. Tvoří-li vodič uzavřenou smyčku, indukuje se v ní elektrický proud. Popsaný jev se nazývá elektromagnetická indukce.

Indukční nabíjecí systém je připojen na veřejnou síť. Elektrický proud prochází primární cívkou zabudovanou do podložky (garáž, parkovací místo, křižovatka). Sekundární cívka je integrována do spodní části elektromobilu, přičemž vzdálenost obou cívek při nabíjení má být co nejnižší. V aktivním nabíjecím procesu vybudí primární cívka magnetické pole, díky kterému se začne indukovat elektrický proud v sekundárním obvodu a následně dojde k nabíjení baterie. Podložka může být pevně zabudována nebo také přenosná, jako například u systému firmy BMW, kde je



základová deska (GroundPad) položena na podlahu v garáži a přijímací deska zabudována do vozidla (CarPad). Bezkontaktní přenos energie mezi oběma deskami probíhá na vzdálenost přibližně osmi centimetrů (světla výška je snížena výškou základové desky). GroundPad vytváří magnetické pole, které se v desce CarPad indukcí přeměňuje na elektrický proud určený pro nabíjení vysokonapěťové baterie. Tento způsob nabíjení baterie znázorňuje obrázek 13 [1].



**Obrázek 13 - Bezdrátové (indukční) nabíjení baterie z podložky**

Zdroj: (<https://www.autoforum.cz/zajimavosti/volvo-otestovalo-indukcni-dobijeni-bez-uprav-infrastruktury-to-ale-nepujde/> „staženo dne: 28.11.2019“)

#### 1.4.4 Přepojení na náhradní (záložní) baterii

Krátký dojezd elektromobilů patří k jedné z hlavních příčin, proč nemohou konkurovat automobilům s klasickým pohonem. Záložní baterie (jedna nebo více) se nachází na lehkém jednonápravovém přípojném vozíku, aby nebyl zatěžován automobil. Vozík a automobil jsou propojeny kabelem, který se nalézá v oji. Vozík je nízký a má kryt s velmi nízkým součinitelem odporu vzduchu (viz obrázek 14). Po vyčerpání energie z baterie uložené v automobilu dojde k přepnutí na záložní baterii uložené ve vozíku. Vozíky by se měnily ve výdejnách, kde by byly v rychlém režimu nabíjeny pro dalšího zájemce (například Nomadic Power). Vozíky se zatím v praxi nepoužívají [1].



**Obrázek 14 - Přípojný vozík s náhradní baterií (Nomadic Power)**  
Zdroj: (CELJAK, 2018)

#### 1.4.5 Nabíjení prostřednictvím kurýra

Jedná se o systém rychlého nabíjení z mobilního zdroje, který je dopraven prostřednictvím kurýra k EM, u něhož je baterie vybita. Zařízení používané v ČR disponuje energií 16,8 kWh a lze jím elektromobil nabít. Zdroj obsahuje dvanáct bateriových článků GreenPack, každý s dispoziční energií 1,4 kWh. Články je možno po vybití vyjmout a samostatně nabíjet. Na základně lze články rychle vyměnit za nabitě a mobilní stanice se může přibližně za 5 minut vrátit do provozu. Služba je spouštěna ve spolupráci s energetickou společností PRE. Tento systém nabíjení znázorňuje obrázek 15 [1].



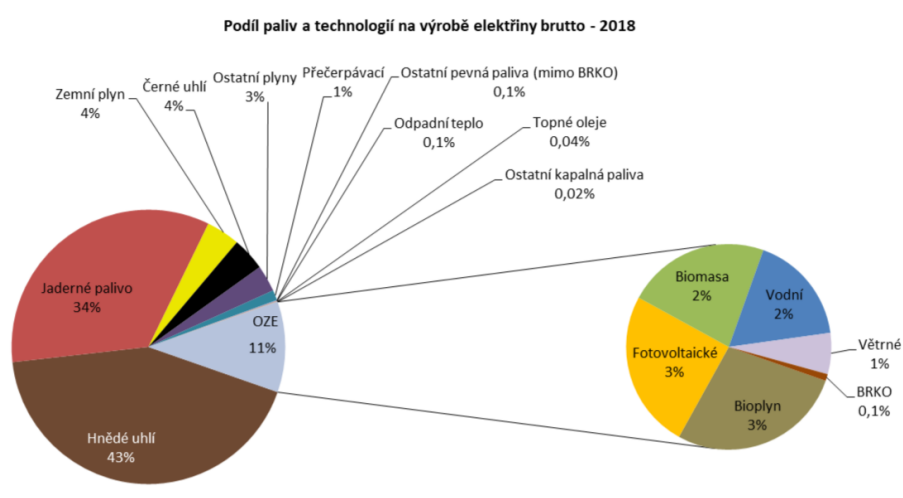
**Obrázek 15 - Nabíjení EM prostřednictvím kurýra**  
Zdroj: (<https://www.mistoprodeje.cz/obsah/pos-aktuality/kuryri-startupu-dodou-praze-vozit-nabijeci-stanice-elektromobily/> „staženo den: 1.12.2019“)

### 1.4.6. Rekuperací

Rekuperací se označuje tzv. regenerativní brzdění, které umožňuje při zpomalování automobilu (deceleraci) přeměnu „mařené“ kinetické energie na takovou formu energie, kterou lze uchovat a později znovu využít. Nejčastěji bývá kinetická energie automobilu přeměňována na elektrickou a je nabíjena baterie. Při deceleraci se posílí funkce elektromotoru jako alternátoru, který mechanickou energii přeměňuje na elektrickou [1].

## 1.5 Zdroje elektrické energie pro EM

Spotřeba elektřiny v Česku (2018) meziročně vzrostla o 0,2 % na 73,9 TWh. Jedná se o nejvyšší hodnotu od roku 1981, kdy se údaje začaly uvádět. Výroba loni (2019) stoupla o dalších 1,1 % na 88 TWh. Největší podíl (43 %) připadal na hnědouhelné elektrárny. Nejvíce elektrické energie, 43 %, se vyrobilo v roce 2018 v hnědouhelných elektrárnách (viz obrázek 16), na jaderné elektrárny připadala třetina. Následovaly obnovitelné zdroje energie (celkem 11 %), černé uhlí a zemní plyn (po 4 %). Fotovoltaika při prakticky nezměněném instalovaném výkonu vyrobila skoro o 7 % elektrické energie více, vodní elektrárny nedodávaly vzhledem k suchu instalovaný výkon. V průměru vyrobily o 13 % méně. Náchylnost některých typů obnovitelných zdrojů na výkyvy počasí je v meziročním srovnání dobře patrná. Výroba elektrické energie z hnědého uhlí loni meziročně vzrostla o 2 % na 37,7 TWh, v jaderných elektrárnách stoupla o 5,5 % na 29,9 TWh. Naopak výroba z černého uhlí klesla více než o pětinu na 3,5 TWh [27].



**Obrázek 16 - Podíl paliv a technologie na výrobě elektřiny za rok 2018**  
Zdroj: (<https://www.elektrina.cz/vyroba-elektriny-v-cr-rekord> „staženo dne: 3.1.2020“)

### 1.5.1 Přehled největších zdrojů elektrické energie (2018)

- **Jaderné elektrárny** v ČR: počet 2 (Temelín, Dukovany)
- **Spalovací elektrárny** (ČU, HU, zemní plyn, LTO, biomasa): počet 26
- **Solární** (fotovoltaické) elektrárny: počet: 150
- **Malé vodní elektrárny** (do 5000 W): 112
- **Střední vodní elektrárny** (výkon 5 až 10 MW): počet 10
- **Velké vodní elektrárny** (výkon 15 až 650 MW): počet 12
- **Větrné elektrárny**: počet 79
- **Ostatní zdroje**: ostrovní systémy solární: 28 000 (2,2 – 10,0 kW), BPS (kogenerační jednotky s běžným elektrickým výkonem 330 až 690 kW) [1].
  
- **Pilířové nabíjecí stanice pro jeden nebo několik EM** (viz obrázek 17)



**Obrázek 17 - Pilířové nabíjecí stanice pro několik EM**

Zdroj: (<http://www.hybrid.cz/tesla-ukazala-superchager-v3-diky-vykonu-250-kw-dalsim-vylepsenim-zkrati-nabijeni-na-polovinu> „staženo dne: 3.1.2020“)

- **Solární nabíjecí stanice pro několik EM (viz obrázek 18)**



**Obrázek 18 - Solární nabíjecí stanice pro několik EM**

Zdroj: (<http://www.hybrid.cz/peugeot-ukazal-solarni-nabijeci-stantici> „staženo dne: 5.1.2020“)

- **Sít'ová nabíječka (viz obrázek 19)**



**Obrázek 19 - Sít'ová nabíječka**

- **Domácí zdroje elektrické energie (fotovoltaika, větrné elektrárny)**
- **Solární nabíječka**
- **Ostrovní solární systém pro domácnost**
- **Solární střešní systémy (krytiny, šindele) [1].**

## 1.6 Vývoj prodeje EM a jednotlivých modelů

V září 2019 bylo v Evropě registrováno 41 tisíc nových plně elektrických aut. To je téměř jedna čtvrtina registrací elektromobilů za celý loňský rok (2019). Za rostoucí oblibou elektromobilů stojí krom emisních omezení také výrazně větší nabídka nových modelů a expanze automobilky Tesla na evropský trh. Právě Model 3 od Tesly je s velkým náskokem neprodávanějším elektromobilem v západní Evropě.

Elektromobily se stávají běžnou součástí každodenního života západoevropských měst. Nejvíce je jich provozováno v Norsku, Německu a Francii. Více než 200% nárůst registrovaných elektromobilů oproti loňskému roku zaznamenalo Nizozemsko a obliba velmi rychle stoupá i v Itálii. Dnešní elektromobily zvládnou mnohem více než pouze městský provoz. Většina světových výrobců nabízí několik modelů v různých kategoriích (včetně užitkových vozidel) a dojezd na jedno nabití baterie převyšuje vzdálenost 150 km. Nejnovější modely dokážou v ideálním případě ujet přes 400 km na jedno dobití. Mezi elektromobily s nejdelším dojezdem se řadí například Jaguar I-Pace, nebo Hyundai Kona Electric.

Rostoucí čísla nově registrovaných elektromobilů má do značné míry na svědomí americký výrobce Tesla a jeho Model 3. Jde s obrovským náskokem o nejprodávanější elektromobil v Evropě. Tesla Model 3 svými prodeji na evropském trhu dokonce předčí Škodu Octavia nebo oblíbený Volkswagen Polo. V září 2019 se prodalo 17,5 tisíce kusů, což je téměř polovina ze 41 tisíc prodaných elektromobilů [28].

V následující tabulce 8 je přehled nejprodávanějších modelů EM a počet kusů, které se byly prodány na celém světě za prvních pololetí roku 2019.

**Tabulka 8 – Přehled nejprodávanějších modelů EM a počet prodaných kusů na celém světě**

Zdroj: (<https://www.auto.cz/tohle-jsou-nejprodavanejsi-elektromobily-za-pololeti-2019-mnohe-asi-neznate-130471> „staženo dne: 5.1.2020“)

<b>Nejprodávanější modely EM na světě (leden-červen 2019)</b>		
<b>Pořadí</b>	<b>Model</b>	<b>Počet (ks)</b>
1	Tesla Model 3	134 000
2	BYD e5	55 000
3	BAIC EU	41 000
4	Nissan Leaf	35 000
5	BYD Yuan	28 000
6	Renault Zoe	25 000
7	Hyundai Kona	24 000
8	Chery EQ1	23 000
9	Geely Emgrand	22 000
10	Roewe i5	21 000

Mezi nejprodávanějšími elektromobily světa hned několik čínských zástupců, které v Evropě ani neznáme. Díky silným prodejm na domácím trhu je druhým nejprodávanějším EM na světě kompaktní sedan BYD e5 s 55.000 prodanými kusy, třetí následuje další sedan BAIC Senova EU a pátý je crossover BYD Yuan. Díky tomu jsou jejich výrobci i nejprodávanější značky v oblasti EM, hned za Teslou [28].

V tabulce 9 nalezneme přehled nejprodávanějších modelů EM v Evropě za minulé roky 2018, 2017.

**Tabulka 9 – Přehled nejprodávanějších modelů EM v Evropě za uplynulé roky 2017 a 2018**

Zdroj: (<https://www.auto.cz/tohle-jsou-nejprodavanejsi-elektromobily-v-evrope-zebricek-ma-noveho-krale-127618> „staženo dne: 9.1.2020“)

Nejprodávanější modely EM v Evropě za roky 2017 a 2018			
Pořadí	Model	2018 (ks)	2017 (ks)
1	Nissan Leaf	38 790	16 887
2	Renault Zoe	38 167	30 523
3	VW e-Golf	21 111	12 681
4	BMW i3	18 018	14 390
5	Tesla Model S	16 414	15 954
6	Tesla Model X	12 589	11 870
7	Hyundai Ioniq	9 213	5 837
8	Smart ForTwo Ele. Drive	8 703	5 033
9	Kia Soul EV	6 591	5 470
10	Jaguar I-Pace	6 294	-

### 1.6.1 Prodej EM v České republice

Ministerstvo průmyslu a obchodu v Národním akčním plánu čisté mobility v roce 2015 odhadovalo, že na konci roku 2020 bude v ČR registrováno 6 000 elektromobilů EM (čistých) a 11 000 ks PHEV (hybridních), což se podle následující tabulky 10 nenaplnilo. V tabulce 10 se nachází přehled prodaných nových EM od roku 2011 v ČR [29].



**Tabulka 10 – Přehled prodaných nových EM v ČR**

Zdroj: (CELJAK)

Rok	Počet kusů prodaných nových EM
2011	15
2012	200
2013	237
2014	417
2015	713
2016	974
2017	1521
2018/697	2228
2019/761	2989
2020/594 za 1 a 2	3573
<b>Celkem</b>	<b>9294</b>

V tabulce 11 je znázorněn prodej sledovaných EM v jednotlivých měsících roku 2019 v ČR. Nejprodávanějším model za rok 2019, bylo BMW i3. Tesla zaznamenala veliký zájem o model 3, který uvedla na trh v září.

**Tabulka 11 – Prodej sledovaných modelů EM za rok 2019 v ČR**

Zdroj: (CELJAK)

Značka	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	Celkem
BMW i3	6	11	8	8	11	22	2	11	7	8	2	5	101
Hyundai IONIQ	3	1	3	5	6	1	10	21	1	16	9	14	90
KIA SOUL EV		3	1					1					1
Nissan Leaf	22	8	9	9	8	6	5	19	5	1		2	94
VW eUp	9	4	2	1	1		1	11	3				32
Nissan eNV 200	1	3	1	4	4	12	7	6	4	2	1		45
VW Golf	7	4	4	8	8	18	6	11	3	2	1		72
Tesla	5	4	2	11	9	5	20	7	19	25	11	5	123
Hyundai KONA	4	2	3	3	4	5	3	4	7	5	3	5	48
AUDI E TRON		2	1	6	5	6	3	8	5	2	3	6	47
SKODA Citigo											11	9	28
Mercedes EQC									6	1	2	2	11
Renault ZOE		1	2		1	2	1		1				8
KIA NIRO	2	1											3
Smart Fortwo E		2		1	1	1							5
Smart Forfour E									3		1		4
Aixam eCity				1									1
Jaguar IPACE	2	2	2	8	12	5	3	4	1	1	4	3	47
<b>Celkem 2019</b>	<b>61</b>	<b>47</b>	<b>38</b>	<b>65</b>	<b>70</b>	<b>83</b>	<b>61</b>	<b>103</b>	<b>65</b>	<b>63</b>	<b>56</b>	<b>51</b>	<b>761</b>
<b>Celkem 2018</b>	<b>25</b>	<b>41</b>	<b>67</b>	<b>66</b>	<b>70</b>	<b>49</b>	<b>78</b>	<b>54</b>	<b>17</b>	<b>64</b>	<b>88</b>	<b>88</b>	<b>697</b>
Celkem v ČR nových E													2989

## 1.6.2 Dostupné EM na trhu

### TESLA

Přední výrobce EM založena v červenci 2003 Martinem Eberhardem a Marcem Tarpenningem v Kalifornii ve městě Palo Alto. Firma byla pojmenována po elektroinženýrovi a fyzikovi Nikolovi Teslovi, potom se k firmě připojili další osoby (Elon Musk, JB Straubel a Ian Wright). Tesla vstoupila na trh v roce 2008 se sportovním modelem Tesla Roadster, dále následovaly Model S, Model X, Model 3 a poslední novinka model Cybertruck, u kterého by měla být zahájena výroba koncem roku 2021. Další prototyp, jenž Tesla testovala, byl tahač Tesla SEMI [8].

V polovině roku 2009 Tesla vyráběla přibližně 25 elektromobilů týdně, v současné době je to přibližně 2000 elektromobilů týdně [30].

S Modelem 3 chce Tesla dále zvyšovat produkci a překonat hranici 500 000 prodaných elektromobilů v roce 2020. Na Model 3 údajně zaregistrovala 500 000 objednávek.

Tesla vyniká a liší se od ostatních výrobců svým prvotřídním designem a sportovním vzhledem, někdy až příliš na úkor ekonomické a ekologické přínosnosti, které by měly tyto elektromobily v první řadě splňovat. Pořizovací ceny těchto elektromobilů jsou poměrně vysoké a pro běžného člověka se Tesla stává většinou nedostupná.

### TESLA MODEL 3

Nejdostupnější model od Tesly. Jak zní strategie firmy, nejdříve vyrábět a prodávat drahá, luxusní auta, které zaplatí vývoj dostupnějších modelů. Prvním tímto modelem se stala Tesla Model 3 (viz obrázek 20). Je zhruba o 20 % menší než předchůdce Model S. Technické údaje jsou uvedeny v tabulce 12.

V polovině roku 2009 Tesla vyráběla přibližně 25 elektromobilů týdně, nyní přibližně 2000 vozů týdně. S příchodem cenově dostupnějšího Modelu 3 chce Elon Musk dále zvyšovat produkci a překonat hranici 500 000 prodaných elektromobilů v roce 2020. Model 3 má již více jak 500 000 zaregistrovaných objednávek [31].



**Obrázek 20 - Tesla Model 3**

**Tabulka 12 – Technické údaje Tesla Model 3**

Zdroj: ([https://www.tesla.com/cs\\_cz/model3](https://www.tesla.com/cs_cz/model3) „staženo dne: 13.1.2020“)

<b>Výkon elektromotoru</b>	<b>361 kW</b>
<b>Maximální rychlost</b>	<b>261 km.h<sup>-1</sup></b>
<b>Zrychlení z 0-100 km/h</b>	<b>3,4 s</b>
<b>Dispoziční elektrická energie baterie</b>	<b>50 kWh</b>
<b>Dojezdová vzdálenost (maximální)</b>	<b>530 km</b>
<b>Hmotnost</b>	<b>1931 kg</b>
<b>Spotřeba (kombinovaná)</b>	<b>16,0 kWh.100 km<sup>-1</sup></b>
<b>Pořizovací cena</b>	<b>od 1 110 000 Kč</b>

## **BMW**

Mnichovská automobilka představila v roce 2013 model BMW i3 (viz obrázek 21), který patřil úplně mezi první EM na trhu. Počáteční verze disponovala s dispoziční elektrickou energií baterie 22 kWh. Postupnou modernizací se dispoziční elektrická energie baterie zvyšovala až na dnešních 42 kWh. BMW nabízí i sportovní verzi i3s, která disponuje elektromotorem o výkonu 135 kW. Tuto verzi jsem měl možnost otestovat. Technické údaje BMW i3 jsou v tabulce 13 [32].

## BMW i3 (120Ah)



Obrázek 21 – BMW i3 (120Ah)

Zdroj: (<https://www.bmw.de/de/neufahrzeuge/bmw-i/i3/2017/design.html> „staženo dne: 25.2.2020“)

## Tabulka 13 – Technické údaje BMW i3 (120Ah)

Zdroj: (<https://www.bmw.de/de/neufahrzeuge/bmw-i/i3/2017/auf-einen-blick.html> „staženo dne: 13.1.2020“)

Výkon elektromotoru	125 kW
Maximální rychlost	150 km.h <sup>-1</sup>
Zrychlení z 0-100 km/h	7,3 s
Dispoziční elektrická energie baterie	42,4 kWh
Dojezdová vzdálenost (průměrná)	285 km
Hmotnost	1710 kg
Spotřeba (kombinovaná)	13,1 kWh.100 km <sup>-1</sup>
Pořizovací cena	od 950 000 Kč

## RENAULT

Automobilka Renault nabízí malý městský EM Renault Zoe (viz obrázek 22), který splňuje ekonomické, ekologické a veškeré požadavky na EM. Patří mezi jeden z nejoblíbenějších a nejprodávanějších EM v Evropě. Tento model byl na rozdíl od jiných modelů EM zkonstruovaný především pro městský provoz. Jiné vozy totiž nabízejí spoustu zbytečných vymožeností a svojí velikostí se úplně vymykají požadavkům, pro které byly EM prvotně myšleny (městský provoz, opakující se trasy). Technické údaje Renaultu Zoe Z.E 40 (R90) jsou uvedeny v tabulce 14 [33].



Obrázek 22 – Renault Zoe

Tabulka 14 – Technické údaje Renault Zoe Z.E 40 (R90)

Zdroj: (<https://www.renault.cz/elektricke-vozy/zoe.html> „staženo dne: 13.1.2020“)

Výkon elektromotoru	68 kW
Maximální rychlost	135 km.h <sup>-1</sup>
Zrychlení z 0-100 km/h	13,2 s
Dispoziční elektrická energie baterie	41kWh
Dojezdová vzdálenost (průměrná)	300 km
Hmotnost	1455 kg
Spotřeba (kombinovaná)	14,6 kWh.100 km <sup>-1</sup>
Pořizovací cena	od 750 000 Kč

## VOLKSWAGEN

Německá automobilka se sídlem ve Wolfsburgu nabízí aktuálně dva modely EM kategorie M (e-Up, e-Golf) a jeden užitkový model EM e- Crafter. Nejprodávanější modely jsou e-Golf a nejlevnější model e-Up prodávající se od 549 375 Kč. V Německu se e-Golf dostal na stejnou cenu jako model se spalovacím motorem. Impulz pro spotřebitele, aby dali přednost modelu s elektrickým pohonem, je e-Golf zobrazený na obrázku 23 a jeho technická data uvedena v tabulce 15 [34].



**Obrázek 23 – VW e-Golf**

Zdroj: (<https://www.computerbild.de/artikel/cb-Tests-Connected-Car-VW-e-Golf-Preis-Reichweite-14625487.html> „staženo dne: 19.1.2020“)

**Tabulka 15 – Technické údaje VW e-Golf**

Zdroj: (<https://www.volkswagen.cz/modely/e-golf> „staženo dne: 19.1.2020“)

<b>Výkon elektromotoru</b>	<b>100 kW</b>
<b>Maximální rychlost</b>	<b>150 km.h<sup>-1</sup></b>
<b>Zrychlení z 0-100 km/h</b>	<b>9,6 s</b>
<b>Dispoziční elektrická energie baterie</b>	<b>33 kWh</b>
<b>Dojezdová vzdálenost</b>	<b>170-230 km</b>
<b>Hmotnost</b>	<b>1615 kg</b>
<b>Spotřeba (kombinovaná)</b>	<b>12,9-13,8 kWh.100 km<sup>-1</sup></b>
<b>Pořizovací cena</b>	<b>od 880 000 Kč</b>

## NISSAN

Model Leaf od Nissanu (viz obrázek 24) patří k nejprodávanějším modelům EM na světě a patří mu první příčka coby nejprodávanějším modelu za rok 2018 v Evropě (38 790 ks). Leaf je nabízený v pěti variantách s dispoziční elektrickou energií baterie od 40 do 62 kWh a motory o výkonech 110 kW a 160 kW. Technické údaje Nissanu Leaf Acenta nabízí tabulka 16 [35].



**Obrázek 24 – Nissan Leaf**

Zdroj: (<https://www.inside-digital.de/news/nissan-leaf-e-plus-jetzt-kaufen> „staženo dne: 19.1.2020“)

**Tabulka 16 – Technické údaje Nissan Leaf Acenta**

Zdroj: ([https://www-europe.nissan-cdn.net/content/dam/Nissan/cz/brochures/Techdata/Nissan\\_LEAF\\_Tech\\_data\\_CZ.pdf](https://www-europe.nissan-cdn.net/content/dam/Nissan/cz/brochures/Techdata/Nissan_LEAF_Tech_data_CZ.pdf) „staženo dne: 22.1.2020“)

<b>Výkon elektromotoru</b>	<b>110 kW</b>
<b>Maximální rychlost</b>	<b>144 km.h<sup>-1</sup></b>
<b>Zrychlení z 0-100 km/h</b>	<b>7,9 s</b>
<b>Dispoziční elektrická energie baterie</b>	<b>40 kWh</b>
<b>Dojezdová vzdálenost (průměrná)</b>	<b>270 km</b>
<b>Hmotnost</b>	<b>1445 kg</b>
<b>Spotřeba (kombinovaná)</b>	<b>14 kWh.100 km<sup>-1</sup></b>
<b>Pořizovací cena</b>	<b>od 930 000 Kč</b>

## ŠKODA

Dlouho avizovaný a očekávaný model Škoda CITIGO iV na obrázku 25 s elektrickým pohonem uvedla tuzemská automobilka na trh v září minulého roku (2019), kdy zahájila předprodej. V září škodovka registrovala v ČR 500 závazných objednávek na tento model s elektrickým pohonem. Pořizovací cena byla dlouho velká neznámá, nakonec základní model začíná od 429 900 Kč, ve srovnání s modelem VW e-Up je CITIGO iV přibližně o 85 000 Kč levnější. Technické údaje v tabulce 17 [36].



**Obrázek 25 – Škoda CITIGO iV**

Zdroj: (<https://ecomento.de/2019/09/09/skoda-citigoe-iv-elektroauto-kostet-ab-20950-euro/> „staženo dne: 25.2.2020“)

**Tabulka 17 – Technické údaje Škoda CITIGO iV**

Zdroj: (<https://www.skoda-auto.cz/modely/nove-citigo/nove-citigoe-iv> „staženo dne: 23.1.2020“)

<b>Výkon elektromotoru</b>	<b>61 kW</b>
<b>Maximální rychlost</b>	<b>130 km.h<sup>-1</sup></b>
<b>Zrychlení z 0-100 km/h</b>	<b>12,3 s</b>
<b>Dispoziční elektrická energie baterie</b>	<b>36,8 kWh</b>
<b>Dojezdová vzdálenost (průměrná)</b>	<b>225-274 km</b>
<b>Hmotnost</b>	<b>1235 kg</b>
<b>Spotřeba (kombinovaná)</b>	<b>12,8-12,9 kWh.100 km<sup>-1</sup></b>
<b>Pořizovací cena</b>	<b>od 479 900 Kč</b>

## **HYUNDAI**

Jihokorejci nabízí dva modely EM, model Hyundai IONIQ a dále malý crossover Hyundai KONA.

**IONIQ** – (viz obrázek 26) model disponuje baterií s dispoziční elektrickou energií 38,3 (64) kWh, s kombinovanou spotřebou 15,4 kWh/100 km, průměrný dojezd 280-300 km, EM pohání elektromotor o výkonu 100 kW. Pořizovací začíná od 900 000 Kč. V ČR se v minulém roce 2019 prodalo 90 ks [37].





**Obrázek 26 – Hyundai IONIQ**

Zdroj: (<https://ev-database.org/car/1165/Hyundai-IONIQ-Electric> „staženo dne: 25.2.2020“)

**KONA** – tento model je možno pořídit s baterií s dispoziční elektrickou energií 64 kWh s elektromotorem o výkonu 150 kW. Zrychlení z 0-100 km.h<sup>-1</sup> zvládne za 7,6 s a dokáže vyvinout max. rychlost 167 km.h<sup>-1</sup>. Výrobce udává kombinovanou spotřebu 14,9 kWh/100 km. Pořídit lze tento model od 900 000 Kč jako model IONIQ [38].

#### **AUDI e TRON**

Model Audi e-tron Advanced 55 quattro, jehož pořizovací cena se pohybuje někde okolo 1 870 000 Kč (záleží na příplatcích za výbavu), je luxusní EM působící velkoryse, ale jeho ekonomičnost nám pokládá řadu otázek. Rozpohybovat 2560 kg vážící EM se někde bude muset promítnout, udávaná spotřeba je 23,8 kWh/100 km. Audi udává dojezd až 417 km, ale reálný se pohybuje někde okolo 250 km. Baterie disponuje dispoziční elektrickou energií 95 kWh a elektromotorem o výkonu 300 kW, který dokáže z 0-100 km.h<sup>-1</sup> za 5,7 s. V ČR se prodalo 47 ks v roce 2019 [39].



**Obrázek 27 – Audi e-Tron**

Zdroj: (<https://ev-database.org/car/1092/Audi-e-tron-55-quattro> „staženo dne: 20.2.2020“)

## **2 Cíl práce**

Cílem práce bylo stanovení faktorů působících na rozvoj elektromobility. Nezbytnou součástí k naplnění tohoto byla nutnost seznámit se se současným stavem elektromobility a všech faktorů, které souvisejí s touto problematikou, zejména s budoucím rozvojem elektromobility jako udržitelného způsobu dopravy, především té osobní. V praktické části byly jednak ověřeny poznatky získané studiem problematiky a také nově nabyté vědomosti z oblasti konstrukce a provozu elektromobilů. Byla ověřena úroveň infrastruktury pro nabíjení EM, dostupnost elektromobilů, technické a konstrukční parametry elektromobilů a přístup k elektrické energii pro elektromobilitu v ČR. Pro splnění cíle bylo zapotřebí prakticky ověřit některé modely elektromobilů, posouzení nabíjecí infrastruktury, spotřeby energie, doby nabíjení a jízdní vlastnosti. Praktickým ověřením, formou dlouhodobého testu vybraných modelů EM, byly stanoveny pozitivní i negativní faktory, které působí na rozvoj elektromobility.

### **3 Metodika**

Byl zvolen vhodný metodický postup k vyhovění všech důležitých bodů pro splnění cíle diplomové práce.

#### **3.1 Stanovení metodického postupu k ověření infrastruktury pro nabíjení EM.**

V prvním fázi došlo k teoretickému nastudování dostupnosti veřejné nabíjecí infrastruktury pro EM na území ČR. Po důkladném nastudování této problematiky došlo k praktickému ověření v terénu. Praktické ověření spočívalo v osobní návštěvě několika veřejných nabíjecích stanic, které se nachází na území ČR. Zjistilo se, o jaké druhy nabíjecích stanic se jedná a jejich vlastnosti, kterými jednotlivé druhy stanic disponují. Dále byly zaznamenány ceny služeb, jenž si účtují jednotliví provozovatelé nabíjecích stanic.

Vedle veřejných nabíjecích stanic bylo ověřeno, jaké možnosti představuje domácí nabíjení EM a jaké jsou v současné době technická řešení tohoto nabíjení.

Následně jsem ve dvou vybraných městech, kterými byly České Budějovice a Pelhřimov, nastudoval a osobně ověřil dostupnost veřejných nabíjecích stanic pro EM. Získané informace a data jsem vyhodnotil.

Stejný metodický postup byl použit při ověření dostupnosti nabíjecí infrastruktury ve dvou vybraných německých městech Neuwied a Amberg, aby byla porovnána úroveň v zemi, kde je elektromobilita výrazně podporována a v zemi (ČR), kde podpora dosahuje nižší úrovně.

#### **3.2 Stanovení metodického postupu teoretické dostupnosti elektrické energie pro elektromobilitu v ČR.**

Na počátku řešení této problematiky byly nastudovány veškeré dostupné zdroje elektrické energie, kterými ČR disponuje.

V následující části přišly na řadu možné způsoby a možná řešení, z jakých zdrojů ještě využívat a odebírat elektrickou energii na provoz EM v ČR. Inspirací se staly především zahraniční země, které jsou v této problematice o krok napřed.

### 3.2.1 Teoretický výpočet potřebné elektrické energie pro aktuální počet EM v ČR

Teoretický výpočet pro potřebné množství elektrické energie je dle vztahu 1 a 2, jenž se vztahuje k aktuálnímu stavu EM v ČR. Výpočet byl proveden na základě získaných informací.

#### Denní spotřeba elektrické energie pro EM (1)

$$E_{CD} = EM_{re} \cdot E_{dEM} \quad [\text{kWh}]$$

kde:

$E_{CD}$  - Celková denní potřeba elektrické energie pro provoz všech EM [kWh]

$EM_{re}$  - Aktuální počet registrovaných EM [ks]

$E_{dEM}$  - Průměrná denní spotřeba elektrické energie EM [kWh]

#### Roční spotřeba elektrické energie pro EM (2)

$$E_{CR} = E_{CD} \cdot D \quad [\text{kWh}]$$

kde:

$E_{CR}$  - Celková roční potřeba elektrické energie pro provoz všech EM [kWh]

$E_{CD}$  - Celková denní potřeba elektrické energie pro provoz všech EM [kWh]

$D$  - Počet dní v roce [365]

### 3.3 Stanovení metodického postupu k praktickému ověření spotřeby elektrické energie pro pohyb EM

Byly vybrány odlišné modely EM kategorie M od různých výrobců, které se následně podrobily testování na shodné, předem vybrané dopravní trase k využití rozmanitých jízdních režimů. EM se testovaly na trase v různých jízdních režimech, které jednotlivé modely nabízely. Během testování se sbírala data o EM, která byla zaznamenána do předem připravených tabulek a následně vyhodnocena.

### 3.3.1 Vybrané modely EM pro praktické ověření

#### BMW i3 (120 Ah)

Prvním testovaným modelem se stalo EM BMW i3 (120 Ah) vyrobený koncem roku 2018 s dispoziční elektrickou energií baterie 42 kWh. Technické údaje o EM jsou uvedeny v tabulce 18. Model BMW i3 (120 Ah) je vyobrazen na obrázku 28.

**Tabulka 18 – Technické údaje BMW i3 (120 Ah)**

Zdroj: (<https://www.bmw.cz/cs/all-models/bmw-i/i3/2017/bmw-i3s.html> „staženo dne: 20. 2. 2020“)

Model	BMW i3 (120 Ah)
Rok výroby	2018
Výkon elektromotoru	125 kW (170 HP)
Dispoziční elektrická energie baterie	42,2 kWh
Dojezdová vzdálenost (průměrná)	285 km
Spotřeba (kombinovaná)	13,1 kWh.100 km <sup>-1</sup>
Maximální rychlost	150 km.h <sup>-1</sup>
Zrychlení z 0-100 km/h	7,3 s
Hmotnost	1710 kg
Požizovací cena	od 950 000 Kč



**Obrázek 28 – BMW i3 (120 Ah)**

### BMW i3s (120 Ah)

Sportovní verze modelu BMW i3. Technické údaje BMW i3s nalezneme v tabulce 19 a samotný model je vyobrazen na obrázku 29.

#### Tabulka 19 – Technické údaje BMW i3s (120 Ah)

Zdroj: (<https://www.bmw.cz/cs/all-models/bmw-i/i3/2017/bmw-i3s.html> „staženo dne: 20.2.2020“)

Model	BMW i3s (120 Ah)
Rok výroby	2019
Výkon elektromotoru	135 kW (184 HP)
Dispoziční elektrická energie baterie	42,2 kWh
Dojezdová vzdálenost (průměrná)	285 km
Spotřeba (kombinovaná)	14,0 – 14,6 kWh.100 km <sup>-1</sup>
Maximální rychlost	160 km/h
Zrychlení z 0-100 km/h	6,9 s
Hmotnost	1730 kg
Požizovací cena	od 1 040 000 Kč



Obrázek 29 – BMW i3s (120 Ah)

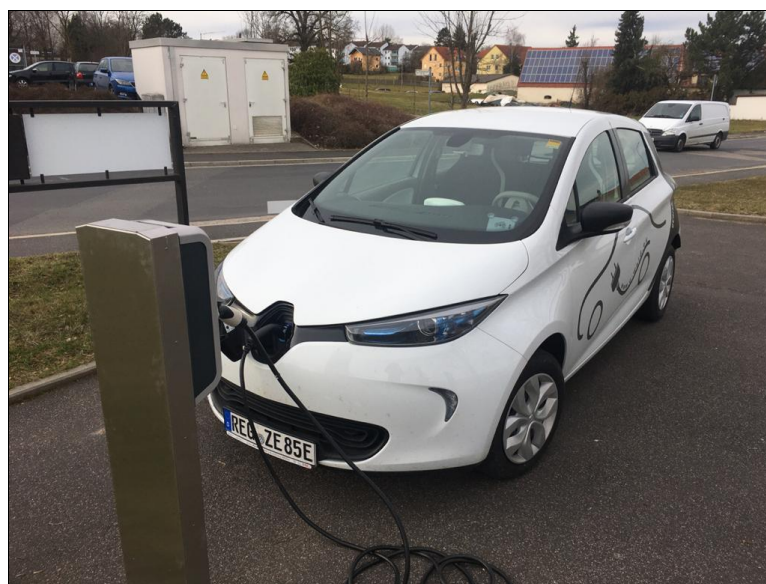
### Renault Zoe Z.E 40 (R 90)

Jeden z nejoblíbenějších a neprodávanějších EM v celé Evropě. Druhá generace modelu Zoe. První generace disponovala s dispoziční elektrickou energií baterie 22 kWh, druhá generace 41 kWh a poslední nejnovější model Zoe nabízí 52 kWh. Měření jsem absolvoval s modelem Zoe Z.E 40 (R 90), jeho technická data jsou uvedena v tabulce 20 a EM zobrazen na obrázku 30.

#### Tabulka 20 – Technické údaje Renault Zoe Z.E 40 (R90)

Zdroj: (<https://ev-database.org/car/1077/Renault-Zoe-R90> „staženo dne: 20.2.2020“)

Model	Renault Zoe
Rok výroby	2018
Výkon elektromotoru	68 kW (92 HP)
Dispoziční elektrická energie baterie	41 kWh
Dojezdová vzdálenost (průměrná)	300 km
Spotřeba (kombinovaná)	14,6 kWh.100 km <sup>-1</sup>
Maximální rychlost	135 km/h
Zrychlení z 0-100 km/h	13,2 s
Hmotnost	1455 kg
Požizovací cena	od 750 000 Kč



Obrázek 30 – Renault Zoe Z.E 40 (R90)

### BMW i3 (22 kWh)

Tabulka 21 – Technické údaje BMW i3 (22 kWh)

Zdroj: (<https://ev-database.org/car/1004/BMW-i3-60-Ah> „staženo dne: 20. 2. 2020“)

Model	BMW i3 (22 kWh)
Rok výroby	2015
Výkon elektromotoru	125 kW (170 HP)
Dispoziční elektrická energie baterie	22 kWh
Dojezdová vzdálenost (průměrná)	130 km
Spotřeba (kombinovaná)	14,5 kWh.100 km <sup>-1</sup>
Maximální rychlost	150 km.h <sup>-1</sup>
Zrychlení z 0-100 km/h	7,2 s
Hmotnost	1205 kg
Požizovací cena	od 880 000 Kč

### Renaul Zoe (22 kWh)

Tabulka 22 – Technické údaje Renault Zoe (22 kWh)

Zdroj: ([https://www.alle-autos-in.de/renault/renault\\_zoe\\_ktb6028.shtml](https://www.alle-autos-in.de/renault/renault_zoe_ktb6028.shtml) „staženo dne: 20. 2. 2020“)

Model	Renault Zoe (22 kWh)
Rok výroby	2013
Výkon elektromotoru	65 kW (88 HP)
Dispoziční elektrická energie baterie	22 kWh
Dojezdová vzdálenost (průměrná)	210 km
Spotřeba (kombinovaná)	13,8 kWh.100 km <sup>-1</sup>
Maximální rychlost	135 km.h <sup>-1</sup>
Zrychlení z 0-100 km/h	13,5 s
Hmotnost	1468 kg
Požizovací cena	od 550 000 Kč



### **3.3.2 Jízdní režimy**

Měření se provádělo během jízdních režimů ECO, COMFORT (STANDART) a režimu COMFORT v plném zatížení. Modely od BMW i3 nabízejí ještě jízdní režim ECO+ a SPORT. V těchto režimech bylo měření také prováděno, aby došlo k co nejkomplexnějšímu otestování těchto modelů.

#### **Jízdní režim ECO (ECO +)**

Jedná se o velice úsporné režimy, které umožňují EM co nejehospodárnější provoz a nejdelší možný dojezd. V těchto jízdních režimech byla velice důležitá koncentrace na jízdu se „čtením“ dopravní situace před EM. To se jevílo jako velice důležité, aby nedocházelo ke zbytečnému přidávání plynu a následnému zpomalování, čímž by jízda ztratila na plynulosti a úspornosti. Pedál brzdy nebyl využíván, tudíž se maximálně využila trakce EM. Byly zapnuty jenom nejdůležitější spotřebiče v EM nezbytné pro bezpečný provoz.

#### **Jízdní režim COMFORT**

Jedná se o standartní režim pro provoz EM. U modelu Zoe je tento režim automaticky nastavený jako výchozí, do režimu ECO se musí přepnout pomocí ovládacího tlačítka. Během tohoto režimu bylo nejdůležitější dodržovat povolenou rychlost ve městě a soustředit se na jízdu. Byly zapojeny do chodu stejné spotřebiče, jako u režimu ECO, aby měření probíhalo co nejobjektivněji.

#### **Jízdní režim COMFORT (plná zátěž)**

Na tento jízdní režim se EM vystavilo zátěžovému testu. Řidič a spolujezdec využili veškerého komfortu, který jednotlivé modely nabízely. Ve vozidle se zapnulo vyhřívání sedaček a využití veškerých spotřebičů ve vozidle, aby se zajistil co největší odběr energie. Do zavazadlového prostoru EM bylo umístěno břemeno, které jsem před měřením zvážil.

#### **Jízdní režim SPORT**

Tento režim nabízel jenom EM BMW i3s, který jsem rovněž testoval. Stejně jako u režimu ECO+ a ECO, tak i tento režim nebyl v městském provozu odlišný od režimu COMFORT. Pouze při jízdě na dálnici se režim využil s ohledem na maximální rychlost.

### 3.3.2 Stanovení trasy

Dopředu se vytyčila shodná trasa, kterou jsem absolvoval se všemi testovanými modely. Trasa byla absolvována několikrát v odlišném jízdním režimu, který EM nabízel. Jednalo se o režimy ECO+, ECO, COMFORT nebo SPORT.

Vytyčená trasa měřila 12,6 km (viz obrázek 31) a její převážná část vedla centrem města Amberg, kde se muselo podle předpisů dodržovat povolená rychlost 50 km/h, přičemž v některých úsecích se rychlost omezovala na 30 km/h. Na tomto úseku se několikrát muselo zastavit na semaforu, tudíž vznikla určitá časová prodleva. Jen malá část z celkové trasy vedla přes předměstí, kde byla na některých úsecích povolená rychlost do 100 km/h. Měření se provádělo vždy o víkendech v odpoledních hodinách, takže nedocházelo k žádnému omezování jízdy způsobeným hustotou provozu nebo dopravními nehodami.

Nejdůležitější ze všeho bylo vždy na začátku jízdy vynulovat palubní počítač pro odečtení požadovaných hodnot na konci trasy. Trasa obsahovala 8 zapisovacích bodů s přibližným odstupem dvou kilometrů. První bod byl vždy na začátku a s přibližným odstupem 2 km následovaly další zapisovací body s tím, že poslední bod se umístil na konci trasy. Na těchto bodech vždy došlo k zaznamenání sledovaných údajů na palubním počítači. Sledovanými údaji se staly stav baterie  $S_b$  [%] a okamžitý dojezd udávaný palubním počítačem  $d_o$  [km]. Na začátku a na konci trasy se vždy zaznamenával aktuální čas, ze kterého se určil čas jízdy  $t$  [min]. Na konci jízdy byly z palubního počítače odečteny další údaje jako průměrná rychlost  $r_p$  [ $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ ] na měřeném úseku, průměrná spotřeba energie  $E_s$  [ $\text{kWh}\cdot 100\text{km}^{-1}$ ], ujetá vzdálenost  $s$  [km]. Ze vztahu 3 se vypočítal teoretický dojezd  $d_t$  [km].

**Teoretický dojezd  $d_t$  [km]** (3)

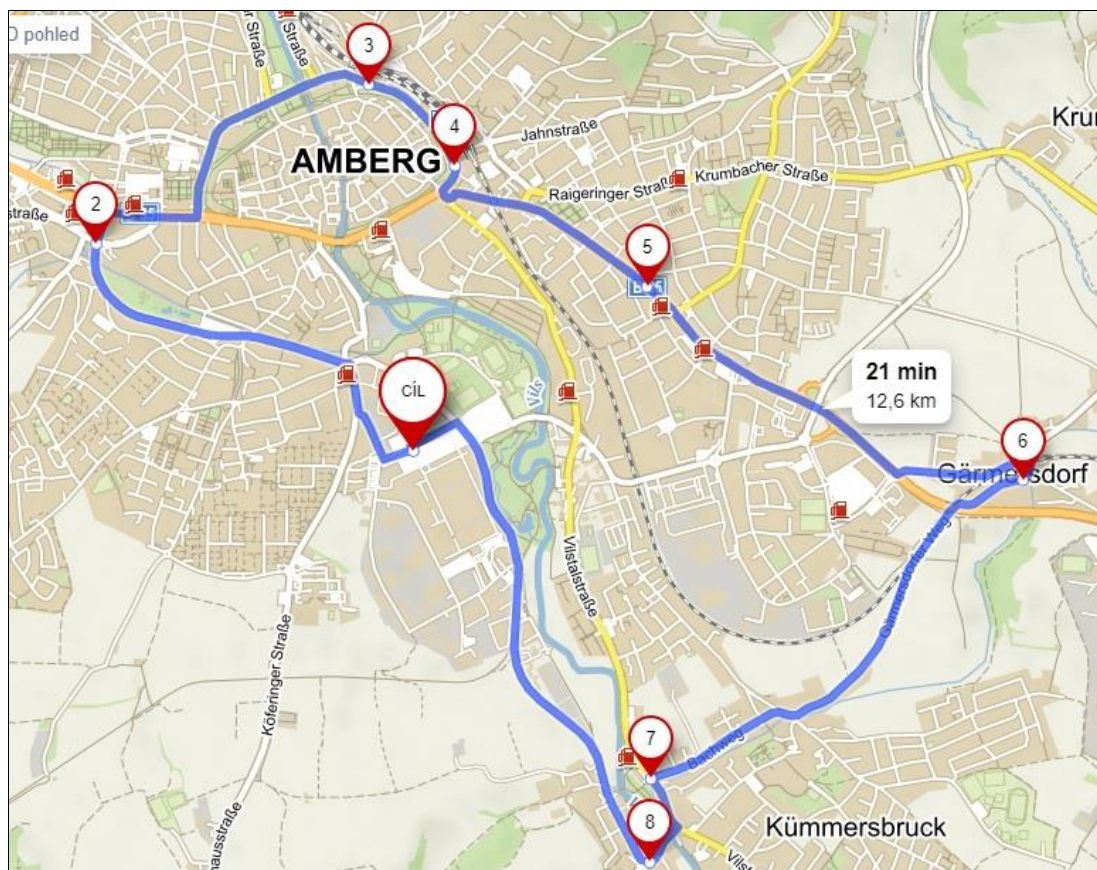
$$d_t = \frac{d_o}{S_b} \cdot 100 \quad [\text{km}]$$

Kde:

$d_t$  - Teoretický dojezd [km]

$d_o$  - Okamžitý dojezd [km]

$S_b$  - Stav baterie [%]



**Obrázek 31 – Vytyčená trasa při měření**

Zdroj: (<https://mapy.cz/zakladni?planovani->

[trasy&x=11.8650560&y=49.4346678&z=14&l=0&rc=9amR6xUL8xd1B5yUi0156zgx1erd5GNe6YjH03L4cu1cksMNepM3U0kun&rs=coor&rs=osm&rs=osm&rs=osm&rs=osm&rs=osm&rs=osm&rs=coor&ri=&ri=20233329&ri=20233553&ri=20233553&ri=20234840&ri=108404649&ri=24933758&ri=24933492&ri=&mrp=%7B%22c%22%3A111%7D&xc=%5B%5D](https://mapy.cz/zakladni?planovani-trasy&x=11.8650560&y=49.4346678&z=14&l=0&rc=9amR6xUL8xd1B5yUi0156zgx1erd5GNe6YjH03L4cu1cksMNepM3U0kun&rs=coor&rs=osm&rs=osm&rs=osm&rs=osm&rs=osm&rs=osm&rs=osm&rs=coor&ri=&ri=20233329&ri=20233553&ri=20233553&ri=20234840&ri=108404649&ri=24933758&ri=24933492&ri=&mrp=%7B%22c%22%3A111%7D&xc=%5B%5D) „staženo dne: 20. 2. 2020“)

### 3.4 Nabíjení vybraných modelů

Dalším důležitým bodem této práce se stalo ověření nabíjení testovaných modelů při odlišných nabíjecích režimech. Testované modely byly nabíjeny na různých výkonnostních typech veřejných nabíjecích stanic. Veškerá naměřená data o nabíjení testovaných modelů jsou zaznamenány a vyhodnoceny v další části práce.

Přehled různých typů veřejných nabíjecích stanic je uveden v kapitole (4.1 Ověření infrastruktury pro nabíjení EM).

### **3.5 Kalkulace nákladu pro provoz testovaných modelů EM**

Kalkulace byla rozdělena na dvě části. V první části se provedla jednoduchá kalkulační provozních nákladů EM na 100 km provozu.

#### **3.5.1 Porovnání provozních nákladů mezi vybraným testovaným modelem EM a automobilem s klasickým spalovacím motorem stejné velikostní kategorie**

Zde došlo k porovnání provozních nákladů mezi vybraným testovaným modelem EM a automobilem s klasickým spalovacím motorem podobné velikostní kategorie. Nejprve byly porovnány čistě provozní náklady a následně náklady, které se vážou čistě jenom se servisem těchto dvou dopravních prostředků.

### **3.6 Stanovení faktorů působících pozitivně nebo negativně na rozvoj elektromobility**

Na úplný závěr práce, aby byly splněny všechny důležité body práce, došlo ke stanovení jak pozitivních, tak i negativních faktorů, které na rozvoj elektromobility působí. Tyto faktory se určily na základě nastudovaných informací, praktického ověření, informací získaných od odborníků a také od lidí, kteří se touto problematikou zabývají nebo mají zkušenost s dlouhodobým provozováním EM.

## 4 Vlastní práce

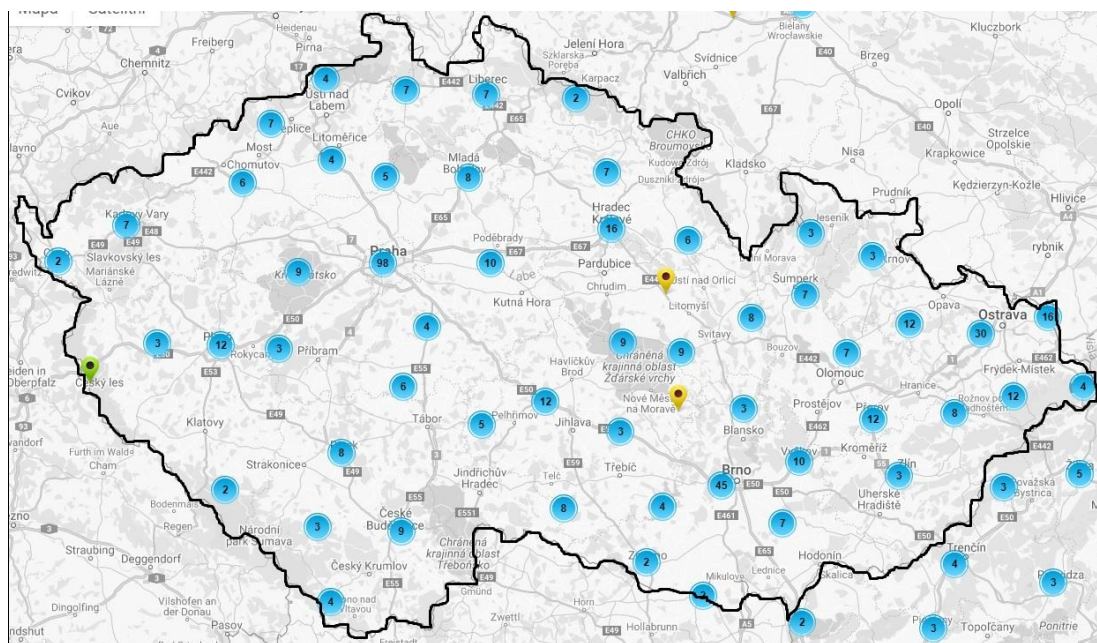
### 4.1 Ověření infrastruktury pro nabíjení EM

#### 4.1.1 Ověření infrastruktury pro nabíjení EM na území ČR

Bez nabíjecích stanic se jednoduše EM neobejde. Kvalitní infrastruktura je jeden z hlavních faktorů působících na rozvoj elektromobility v ČR.

Aktuálně lze na území ČR využít přibližně 450 veřejných nabíjecích stanic, které jsou provozovány nejčastěji společnostmi ČEZ, E-ON nebo PRE (Pražská energetika), která provozuje nabíjecí stanice především na území hlavního města Prahy. V roce 2020 by mělo přibýt dalších 183 veřejných nabíjecích stanic. Nabíjecí infrastruktura je jedna z nejdůležitějších věcí pro pokračující rozvoj elektromobility na území ČR, proto Ministerstvo dopravy plánuje v následujících letech podporovat jejich výstavbu. Během následujících 4 let by se mělo vybudovat 500 nových veřejných nabíjecích stanic.

Obrázek 32 znázorňuje orientační mapu veřejných nabíjecích stanic pro EM v ČR. V modrém políčku je číslovka, která značí, kolik stanic je v dané oblasti dostupných.



**Obrázek 32 – Nabíjecí stanice na území ČR**

Zdroj: (<https://www.evmapa.cz/> „staženo dne: 23. 2. 2020“)

Přesný počet jednotlivých typů nabíjecích stanic je nemožné uvádět, každým měsícem se toto číslo mění. Uvádí se, že v Evropě vznikne každý den 5 nových veřejných rychlodobíjecích stanic. V tabulce 23 je přehled typů veřejných nabíjecích stanic na území ČR.

**Tabulka 23 – Typy veřejných nabíjecích stanic**

<b>Nabíjecí stanice na území ČR</b>				
	<b>AC stanice</b>	<b>Rychlonabíjecí (DC)</b>	<b>Ultrarychlá stanice (DC)</b>	<b>IONITY stanice</b>
<b>Standartní výkon</b>	22 kW	od 50 kW	175 kW	350 kW
<b>Přibližná doba nabíjení na 80 % kapacity baterie</b>	60–180 minut	35–50 minut	10–20 minut	**
<b>Přibližná cena výstavby</b>	150–300 000 Kč	1 000 000 Kč	3 000 000 Kč	-
<b>Místo</b>	celá ČR	celá ČR	Vystrkov, dálnice D1, exit 91	OMV Beroun-jih, dálnice D5, směr Praha

\*\* (Dnešní EM umožňují dobíjení maximálním výkonem zhruba 150 kW, za 20 minut nabijeme 80 % kapacity baterie s přibližným dojezdem 300 km.)

Nabíjecí stanice IONITY, kterou najdeme na dálnici D5 (Plzeň – Praha) nemají v dnešní době plně využitý potenciál. Většina dnešní EM disponují maximálním nabíjecím výkonem 150 kW, kdežto stanice IONITY nabízí nabíjecím výkonem 350 kW. Toto ale nepotrvá dlouho a bude využíván plný nabíjecí výkon těchto stanic. V roce 2020 se plánuje další vybudování nabíjecí stanice IONITY na dálnici D1 mezi Prahou a Brnem.

#### 4.1.2 Přehled cen za nabíjení EM na veřejných dobíjecích stanicích

Na začátku, kdy elektromobilita vstupovala do podvědomí lidí, umožňovali provozovatelé nabíjecích stanic nabíjení EM bez poplatku, toto už u valné většiny nabíjecích stanic neplatí. Mezi jednou z výjimek patří nabíjecí stanice u obchodních domů Globus, které jsou v provozu prvním rokem.

I když se neustále cena elektrické energie v ČR rok od roku zvyšuje, stále platí, že uživatelé EM v ČR jezdí nejlevněji v celé Evropě. Poskytovatelé těchto služeb se liší v cenových tarifech, jak je znázorněno v tabulce 24. Například ČEZ účtuje v minutách, které EM stojí na nabíjecím místě a E-ON sazbu za odebrané kWh. Jak je z následující tabulky patrné, tak E-ON nabízí podstatně nižší tarify pro registrované zákazníky oproti neregistrovaným zákazníkům.

##### Tabulka 24 – Srovnání cen nabíjení elektromobilů na nabíjecích stanicích

Zdroj: (<https://www.elektrina.cz/kolik-stoji-nabijeni-elektromobilu> „staženo dne: 23.

2. 2020“)

Srovnání cen nabíjení elektromobilů u dobíjecích stanic					
	Měsíční paušál	Cena za kWh			Poplatek za čas
		AC	DC	Ultrarychlé	
<b>ČEZ (registrované)</b>	544,5 Kč/měsíc	-	-	-	9,075 Kč/min (DC), 1,815 Kč/min (AC)
<b>ČEZ</b>	-	-	-	-	Sleva 30% z výše uvedených cen
<b>E-ON (registrované)</b>	-	3 Kč/kWh	6 Kč/kWh	9 Kč/kWh	-
<b>E-ON</b>	-	9 Kč/kWh	11 Kč/kWh	13 Kč/kWh	-
<b>PRE</b>	36,3 Kč/čtvrtletí	3,03 Kč/kWh	3,03 Kč/kWh	-	0,24 Kč/min (po překročení 120 minut)

EM BMW i3, který má baterii o dispoziční práci 42 kW, tak nabijeme na AC stanici u E-ONU (registrovaný) za 126 Kč. S průměrnou spotřebou tohoto EM, 15 kWh/100 km jsou náklady 45 Kč/100 km.

#### 4.1.3 Způsoby nabíjení EM z domácí sítě

Pro domácí nabíjení jsou k dispozici zjednodušeně 3 možnosti.

Přehled možností nabíjení EM z domácí sítě je znázorněn v tabulce 25.

- První možnost se stává pomocí klasické jednofázové zásuvky na 230V, kterou je vybavena každá dnešní domácnost. Jde o velice pohodlnou a také jednu z nejlevnějších variant dobíjení EM. Musíme brát v potaz délku dobíjecího cyklu u tohoto typu dobíjení. Obvykle 8-10 hodin, záleží na dispoziční práci baterie. Přibližně se udává, že za hodinu nabíjení z této sítě jsme schopni ujet vzdálenost mezi 15-20 km.
- Druhá možnost je nabíjení EM z vícefázové zásuvky 16A, kterou je vybavena většina rodinných domů. Tyto zásuvky jsou využívány pro pohon elektromotorů o vyšším výkonu, jako například míchačky nebo cirkulárky. Nabíjení z této zásuvky je efektivnější a rychlejší oproti nabíjení z klasické zásuvky. Doba nabíjení se pohybuje mezi 3-5 hodinami. Za hodinu nabíjení jsme schopni s EM ujet až 55 km.
- Poslední možnost, jak nabíjet EM v domácnosti, je pomocí Wallboxu, který se také nazývá, jako domácí rychlonabíječka. Jedná se o tzv. domácí nástěnnou nabíječku s vysokou účinností. Účinnost nabíjení je dvakrát až desetkrát vyšší než ze zásuvky (záleží, jestli se jedná o jednofázovou zásuvku nebo vícefázovou). Pořizovací cena Wallboxu začíná okolo 11 000 Kč za nejlevnější modely, ale může se vyšplhat až k 60 000 Kč. Záleží na výkonu Wallboxu. Výkonný Wallbox dokáže až desetkrát rychleji nabít EM oproti klasické zásuvce.

**Tabulka 25 – Nabíjení EM z domácí sítě**

	<b>Doba nabíjení</b>	<b>Pořizovací cena</b>
<b>Jednofázová zásuvka 230V</b>	8-10 hodiny	-
<b>Vícefázová zásuvka</b>	3-5 hodiny	-
<b>Wallbox</b>	1-3 hodiny	11 000 – 60 000 Kč



Cena za kWh v ČR se pohybuje v průměru okolo 4,5 Kč, a to nebere v úvahu, že můžeme nabíjet EM ve zlevněném tarifu. Při průměrné spotřebě EM 15 kWh.100 km<sup>-1</sup> nás provoz stojí 67,5 Kč.100 km<sup>-1</sup>.

#### **4.1.4 Ověření infrastruktury pro nabíjení EM ve vybraných městech ČR**

##### **České Budějovice**

Krajské město Jihočeského kraje o rozloze 1,700/km<sup>2</sup> s 94 014 obyvateli disponuje 11 veřejnými nabíjecími stanicemi s kapacitou pro 23 EM přímo ve městě nebo jeho blízkém okolí. Tři stanice provozuje společnost E-ON, jednu rychlonabíjecí stanici provozuje společnost ČEZ a dále jde o soukromé společnosti. Žádnou stanici neprovozuje samotné město ČB, jak tomu v jiných evropských městech bývá zvykem. Na třech stanicích je možno nabíjet v tzv. rychlonabíjecím režimu.

První rychlonabíjecí stanice vznikla v ČB poměrně nedávno, a to až koncem roku 2018 u Globusu, která byla první rok provozu bezplatná. Další rychlonabíjecí stanici lze využít u čerpací stanice Benzina na Nádražní ulici, 2 NS u parkoviště na Náplavce – kavárna Lanna a nejnovější rychlonabíjecí stanice byla vybudována nedaleko centra u letního kina Háječek.

Jedinou bezplatnou nabíjecí stanicí v ČB je stanice provozována Teslou, která se nachází na Skuherského ulici. Ostatní veřejné nabíjecí stanice jsou zpoplatněné.

Z mého pohledu to není špatná vizitka na tak velké město, jaké České Budějovice jsou. Velkým pozitivem je, že do dalších 2 let byla přislíbena pětice nových nabíjecích stanic v ČB.

Přehled nabíjecích stanic pro EM v Českých Budějovicích je zobrazen v tabulce 26.

### Tabulka 26 – Nabíjecí stanice pro EM v Českých Budějovicích

Zdroj: (<https://fdrive.cz/mapa-nabijecich-stanic/> „staženo dne: 25. 2. 2020“)

Lokalita	Typy konektorů
<b>E-ON Globus ČB</b>	1× Typ 2 (Mennekes) (22 kW/32 A) 1× CHAdeMO (50 kW/120 A) 1× CCS Combo (50 kW/125 A)
<b>ČEZ, čerpací stanice Benzina</b>	1× Typ 2 (Mennekes) (22 kW/32 A) 1× CHAdeMO (50 kW/120 A) 1× CCS Combo (50 kW/125 A)
<b>E-ON, u letního kina Háječek</b>	1× CCS Combo (50 kW/125 A) 1× CHAdeMO (50 kW/120 A) 1× Typ 2 (Mennekes) (43 kW/64 A)
<b>City Green Park, ul. F.A.Gerstnera</b>	2× Typ 2 (Mennekes) (22 kW/32 A)
<b>Destination Charger, ul. Skuherského</b>	2× Tesla Destination Charger (22 kW)
<b>České Budějovice, Dentamechanik</b>	1× Typ 2 (Mennekes) (0 kW/0 A)
<b>Tesla Destination Charger, areál RKC Nové Dvory</b>	2× Tesla Destination Charger (11 kW/0 A)
<b>Terms, Planá</b>	1× Typ 2 (Mennekes) (22 kW/32 A)
<b>E-ON - Kavárna Lanna České Budějovice</b>	2× Typ 2 (Mennekes) (22 kW/32 A)

#### Pelhřimov

Toto město na Vysočině má přibližně 18 000 obyvatel. V Pelhřimově není žádná rychlonabíjecí stanice. Ve městě se nachází jedna nabíjecí stanice pro dva EM s konektory Typu 2 o nabíjecích výkonech 22kW. Nabíjení není zpoplatněno, ale v blízké budoucnosti se s tím počítá.

Tady se dostáváme k hlavnímu problému, a to nedostatečná infrastruktura nabíjecích stanic. Na město s 18 000 obyvateli je to počet nedostačující a nepřispívá k dalšímu rozvoji elektromobility ve městě. Malé pozitivum lze nalézt v tom, že směrem na Humpolec a dálnici D1 je po 17 km k dispozici největší nabíjecí stanici

pro EM v ČR na Vystrkově. Tato stanice je schopna souběžně nabíjet 12 EM v rychlonabíjecím režimu.

Přehled nabíjecích stanic pro EM v Pelhřimově je zobrazen v tabulce 27.

#### **Tabulka 27 – Nabíjecí stanice pro EM v Pelhřimově**

Zdroj: (<https://fdrive.cz/mapa-nabijecich-stanic/> „staženo dne: 25. 2. 2020“)

<b>Lokalita</b>	<b>Typy konektorů</b>
<b>Pelhřimov</b>	2× Typ 2 (Mennekes) (22 kW/32 A)

#### **4.1.5 Ověření nabíjecí infrastruktury ve vybraných německých městech**

##### **Amberg**

Město Amberg se nachází ve spolkové zemi Bavorsko, žije zde přibližně 42 500 obyvatel. Ve městě je k dispozici 9 veřejných dobíjecích stanic s kapacitou pro 24 EM. Ve městě se nenachází žádná rychlonabíjecí stanice, ale většina disponuje nabíjecím výkonem 22kW. Pět z devíti nabíjecích stanic s celkovou kapacitou pro 17 EM není zpoplatněna, ale má to samozřejmě jeden háček. Musíte si u většiny zakoupit parkovací lístek, abyste požadovanou dobu pro nabíjení EM mohli stát na tomto místě. Většina těchto míst se nachází na placených parkovištích nebo parkovacích domech. Výjimkou jsou večerní hodiny nebo víkendy, to lze nabíjet EM zcela zdarma.

Dále je zde několik soukromých nabíjecích stanic, které vlastní firmy a tyto nabíjecí stanice jsou určena pro firemní EM nebo pro vlastní zaměstnance firmy. Je až zarážející, kolik EM patří mezi firemní. I menší firmy disponují vlastním Wallboxem pro nabíjení EM. V tomto vidím veliký rozdíl oproti ČR. I z vlastní zkušenosti mohu říci, že 24 veřejných nabíjecích míst na pro město Amberg je málo.

Dále ve městě Amberg, jako ve většině ostatních větších německých městech, funguje program e-Carsharing. Jedná se o takzvané sdílené EM, které si za stanovený poplatek může pronajmout kdo chce a na jak dlouho chce. Stačí se zaregistrovat přes mobilní aplikaci nebo na magistrátě města za poplatek 10 €. Hodinový pronájem Renaultu Zoe i BMW i3 stojí 3,90 €/hodinu. EM si lze zarezervovat pomocí mobilní aplikace na určitý čas a zvolíte si místo, kde je možné EM vyzvednete. EM jsou zpravidla zaparkovány na dvou nabíjecích stanicích, které tato firma vybudovala a sdílené EM mají na těchto stanicích nabíjení zdarma, a to pomocí zákaznické karty,

kteřou zájemci obdrží při registraci nebo pomocí načtení QR kódu přes mobilní aplikaci. V Ambergu, jsou aktuálně k zapůjčení EM Renault Zoe a BMW i3, v podstatě jedny z nejoblíbenějších a nejprodávanějších EM na trhu. Velice zajímavá služba, kterou hodnotím velice kladně.

### **Neuwied**

V západoněmeckém městě Neuwied ležícím na řece Rýn, jihovýchodně od Kolína nad Rýnem, žije 64 000 obyvatel. Ve městě se nachází 8 veřejných nabíjecích stanic, které pojmu dohromady 17 EM. Polovinu nabíjecích stanic ve městě provozuje firma Stadtwerke Neuwied, která se stará o dodávku tepla, elektřiny a vody pro město Neuwied. Přímo v centru města se nachází jediná rychlonabíjecí stanice, která je v tomto režimu schopná nabíjet čtyři EM současně ze dvou stran. Tato stanice je schopná pojmut současně 8 EM viz obrázek 33.



**Obrázek 33 – Nabíjecí stanice ve městě Neuwied**

Ač se na první pohled zdá, že takové město jako Neuwied, jenž je sice o třetinu menší než České Budějovice, nedisponuje ve srovnání s nimi nějakým velkým počtem nabíjecích stanic, tak pravda se nachází jinde. 8 mnou uváděných nabíjecích stanic se situuje do širšího centra města. Při hustotě dopravní infrastruktury, která ve spolkové zemi Porýní-Falc a zemi Severní Porýní – Vestfálsko panuje, to je na naše podmínky až luxusní. Na každé výpadovce z města, například podobné z ČB na Lišov, lze nalézt minimálně jednu nabíjecí stanici, což v případě Českých Budějovic není. Směrem do nedalekého Koblenzu (113 000 obyvatel) za 10 minut jízdy lze využít dalších 13 veřejných nabíjecích stanic. To samé platí směrem do Kolína nad Rýnem, který leží přibližně 90 km od Koblenzu.

Na dálnici A3, která je dopravní tepnou SRN, mohou řidiči využít 8 rychlonabíjecích stanic a nespočet AC stanic. To samé platí, jestliže se uživatel EM vydá po druhé straně řeky Rýna po dálnici A61 anebo po silnici č. 42, která vede přes nedaleký Bonn. Ve všech případech je k dispozici na výběr nespočet míst pro nabití svého EM, jak jsem v rámci plnění cílů DP vyzkoušel. V samotném centru Kolína n. R. bylo jednodušší najít volnou nabíjecí stanici než najít volné parkovací místo.

Když se přihlédne k velkému počtu automobilů, které se pohybují na dálnicích a přilehlých silnicích, a to jenom v této části SRN, tak bude nutné vybudovat další stovky nabíjecích stanic, bude-li se uvažovat, že každý druhý automobil by měl být v budoucnu EM. Na tuto situaci není dnes SRN zdaleka ještě připravena, přestože se jedná o jednoho z leaderů v oblasti elektromobility a výroby čisté energie.

## 4.2 Stanovení teoretické dostupnosti elektrické energie pro elektromobilitu v ČR.

V ČR se v minulém roce (2019) vyrobilo 88 TWh elektrické energie. Tato hodnota každoročně vystoupá o několik desetin procent. Podle Energostatu bylo přibližně 25 % vyrobené elektrické energie exportováno do zahraničí (SRN, Slovensko). Přehled vyrobené elektrické energie v jednotlivých sektorech v ČR je uveden v tabulce 28.

**Tabulka 28 – Vyrobená elektrická energie v ČR, v jednotlivých sektorech**

Zdroj: (<https://oenergetice.cz/energetika-v-cr/spotreba-elektřiny-v-cr-loni-vzrostla-na-rekordnich-739-twh> „staženo dne: 28. 2. 2020“)

Zdroj	Vyrobená elektrická energie
Hnědouhelné elektrárny	37,7 TWh
Jaderné elektrárny	29,9 TWh
Obnovitelné zdroje	9,7 TWh
Černouhelné elektrárny	3,5 TWh
Výroba energie ze zemního plynu	3,5 TWh
Výroba energie z ostatních plynů	2,6 TWh
Přečerpávací elektrárny	0,8 TWh
Ostatní	0,2 TWh

Určitá rezerva v ČR je patrná v oblasti využívání obnovitelných zdrojů, především sluneční a větrné energie.

S využitím sluneční energie nemám na mysli, aby se fotovoltaiky stavěly na orných půdách s vidinou dobrého byznysu a výdělku, jak tomu v ČR v nedávné době bylo. Nechci stále předhazovat SRN nebo Rakousko jako země, kde se všechno dělá dobře a v ČR všechno špatně, ale v této problematice bychom si mohli vzít příklad. Když se podíváme na tyto země, jak se nakládá s energií z fotovoltaik a hlavně, kde jsou umístěny, tak je patrné, jak získat ještě mnohem více energie z obnovitelných zdrojů. Jako jeden z příkladů uvádím umístění fotovoltaik na svahy a meze u dálnic. Toto si myslím, že je cesta, jak rozšířit nabíjecí infrastrukturu pro EM u samotných dálnic a silnic. Další příklad leží v oblasti zemědělství. Každý malý hospodář nebo i větší podnik má na střechách umístěné solární panely či fotovoltaiky. V Alpách je často až neuvěřitelné, když vidíme, jak tento způsob využívá každý malý hospodář, ať už na ohřev vody pro technické využití ve stájích, nebo pro výrobu elektrické energie pro svícení ve stájích a pro samotný provoz. Takový způsob využívání obnovitelných zdrojů vidím jako jedno z nejlepších řešení, nikoliv výstavbu fotovoltaik na orných půdách a následným prodejem energie do sítě s výrazným ziskem. Tady si myslím, že je i řešení pro každou domácnost, která má takovou možnost umístění fotovoltaik na střechu, jako zdroj energie pro nabíjení baterií EM.

V ČR převládá názor, že pro větrné elektrárny nemá tolik vhodných míst, jako je tomu v SRN nebo Rakousku. Nemyslím si, že by ČR byla s větrnou energií tak špatně, že by nebyla místa, kde by větrné elektrárny našly uplatnění. V ČR disponují větrné elektrárny výkonem 320 MWh oproti SRN, kde disponují výkonem 50 000 MWh. To činí ohromný rozdíl, i když se vezme v úvahu velikost obou států. SRN udává, že 25 % veškeré energie pochází z obnovitelných zdrojů, pokud vane vítr vhodnou rychlostí, je to až 70 %, v ČR je to zhruba 11 %.

#### **4.2.1 Teoretický výpočet, pro potřebné množství elektrické energie v ČR, vzhledem k aktuálnímu počtu EM provozovaných v ČR**

Do konce roku 2019 bylo v ČR registrováno 2 979 nových EM. Je třeba k tomu připočítat také ojeté EM, které se prodaly v ČR a byly dovezeny ze zahraničí. Za rok 2018 se prodalo 66 ks ojetých EM, v roce 2019 přibližně 312 EM, za první 2

měsíce roku 2020 bylo nově registrováno 594 EM. Tento prudký nárůst opravňuje k závěru, že se bude kalkulovat s číslem 10 000 EM na území ČR jako perspektivní stav s výhledem na rok 2021. Samozřejmě by se dalo uvažovat s tím, že na území ČR se pohybují nebo jenom projíždí EM registrované v jiných státech, jejichž počet nelze přesně stanovit, a proto počet 10 000 je aktuálně ke konci roku 2021 dostačující. Bude se počítat s průměrnou spotřebou EM 20 kWh, což odpovídá EM BMW i3s v režimu comfort na 100 km jízdy. Tato hodnota je zvolena na základě praktických zkoušek elektromobilů, které byly v rámci DP provedeny. Idealizuje se výpočet, že EM bude jezdit 365 dní v roce.

$$E_{cD} = EM_{re} \cdot E_{dEM} \quad [\text{kWh}] \quad (1)$$

$$E_{cD} = 10\,000 \cdot 20$$

$$E_{cD} = 200\,000 \text{ [kWh]}$$

$$E_{cR} = E_{cD} \cdot D \quad [\text{kWh}] \quad (2)$$

$$E_{cR} = 200\,000 \cdot 365$$

$$E_{cR} = 73\,000\,000 \text{ [kWh]} = \mathbf{0,073 \text{ [TWh]}}$$

Celková roční potřeba elektrické energie k aktuálnímu stavu EM na území ČR představuje 0,073 TWh.

Pro představu jaderná elektrárna Temelín vyrobí průměrně 15 TWh/rok, to je asi 0,042 TWh/den.

To teoretický znamená, že pro pokrytí veškeré zásoby elektrické energie na celý rok provozu všech EM na území ČR, by teoreticky stačily 2 dny práce Temelína.

## **4.3 Praktické ověření energetické bilance při řízení vybraných modelů EM v provozu**

### **4.3.1 Jízdní režim ECO (ECO +)**

Tyto dva jízdní režimy byly velice podobné a žádný diametrální rozdíl mezi nimi nepanoval. Renault Zoe nabízí pouze jeden režim ECO, kdežto BMW i3 disponuje oběma ECO režimy. Rozdíl mezi těmito dvěma režimy není z pohledu řidiče nějak patrný. Palubní počítač zvýhodňuje režim ECO+ s delším dojezdem přibližně o 20 km.

Režimy ECO působí na řidiče ospalým dojmem, z jízdy není například takový zážitek, jak by si mnozí řidiči představovali. Ale s přihlédnutím k faktu, že osobní elektromobil není určen ke sportovní jízdě, ale pro to, aby splnil užitnou hodnotu automobilu, tento režim vyhovuje. Tento rozdíl se samozřejmě pozná, když byl před tím provozován EM ve standardním režimu (COMFORT) nebo režimu SPORT. Elektromotor nevyužívá svůj maximální výkon a svoje přednosti. I když se při rozjezdu sešlápne pedál akceleračního až na podlahu, tak je elektromotor řízen řídicí jednotkou a maximálního výkon od první otáčky není k dispozici. Rozjezdy byly pozvolné, až „lenivé“ vzhledem k ušetření co nejvíce energie, aby se dosáhlo co nejdelšího dojezdu. Maximální rychlost u BMW i3 při režimu ECO byla omezená na 90 km/h.

### **Měření**

Při měření bylo zapnuto denní svícení EM, rádio a ventilátor, který běžel na 1. stupeň z 5 možných při teplotě 22°C. Ventilátor byl puštěn především na přední sklo, aby nedošlo k jeho zamlžení, čímž se zaručil bezpečný provoz EM. Jiné spotřebiče nebyly zapnuty. Naměřené hodnoty při jízdním režimu ECO u jednotlivých modelů jsou uvedeny v tabulkách 29, 30 a 31. Na závěr byly jednotlivé modely srovnány ve společné tabulce 32, do které se uvedly i naměřené hodnoty při režimu ECO+ od modelu BMW i3 a i3s. Dále se do této tabulky pořídila data, která byla získána při řízení prvních modelů EM na jiných dopravních trasách.



**Tabulka 29 – ECO režim BMW i3 (120 Ah)**

BMW i3 (120 Ah)		22.02.2020	8°C
Baterie: 42 kWh		Amberg	
ECO		Start: 12:28	Konec: 12:49
Ujetá vzdálenost $s$ [km]	Stav baterie $S_b$ [%]	Okamžitý dojezd $d_o$ [km]	Teoretický dojezd $d_t$ [km]
0	97,5	291	298,4
12,6	93,5	269	287,7
Údaje na konci měření			
Okamžitý dojezd: $d_o$ [km]			269
Ujetá vzdálenost: $s$ [km]			12,6
Stav baterie: $S_b$ [%]			93,5
Průměrná rychlost: $r_p$ [km.h <sup>-1</sup> ]			35,5
Čas jízdy $t$ : [min]			21
Průměrná spotřeba energie $E_s$ [kWh.100km <sup>-1</sup> ]			<b>12,7</b>

**Tabulka 30 – ECO režim BMW i3s (120 Ah)**

BMW i3s (120 Ah)		30.11.2019	1,5 °C
Baterie: 42 kWh		Amberg	
ECO		Start: 14:50	Konec: 15:14
Ujetá vzdálenost $s$ [km]	Stav baterie $S_b$ [%]	Okamžitý dojezd $d_o$ [km]	Teoretický dojezd $d_t$ [km]
0	97	225	231,9
12,6	93	263	282,7
Údaje na konci měření			
Okamžitý dojezd: $d_o$ [km]			263
Ujetá vzdálenost: $s$ [km]			12,6
Stav baterie: $S_b$ [%]			93
Průměrná rychlost: $r_p$ [km.h <sup>-1</sup> ]			33
Čas jízdy $t$ : [min]			24
Průměrná spotřeba energie $E_s$ [kWh.100km <sup>-1</sup> ]			<b>13,5</b>

**Tabulka 31 – ECO režim Renault Zoe Z.E 40**

Renault Zoe Z.E 40		22.02.2020	12°C
Baterie: 41 kWh		Amberg	
ECO		Start: 15:33	Konec: 15:57
Ujetá vzdálenost s [km]	Stav baterie $S_b$ [%]	Okamžitý dojezd $d_o$ [km]	Teoretický dojezd $d_t$ [km]
0	100	292	292
12,6	96	281	292,7
Údaje na konci měření			
Okamžitý dojezd: $d_o$ [km]			281
Ujetá vzdálenost: s [km]			12,6
Stav baterie: $S_b$ [%]			96
Průměrná rychlost: $r_p$ [km.h <sup>-1</sup> ]			31,2
Čas jízdy t: [min]			24
Průměrná spotřeba energie $E_s$ [kWh.100km <sup>-1</sup> ]			<b>11,1</b>

**Tabulka 32 – Přehled průměrných spotřeb energie  $E_s$  při jízdách režimech ECO a ECO +**

Provoz	Jízdni režim	Model	Průměrná spotřeba energie $E_s$ [kWh.100km <sup>-1</sup> ]
Shodná dopravní trasa (městský provoz)	ECO	BMW i3 (120 Ah), 42 kWh	<b>12,7</b>
	ECO	BMW i3s (120 Ah), 42 kWh	<b>13,5</b>
	ECO	Renault Zoe Z.E 40, 41 kWh	<b>11,1</b>
	ECO +	BMW i3 (120 Ah), 42 kWh	<b>12,1</b>
	ECO +	BMW i3s (120 Ah), 42 kWh	<b>13,3</b>
mimo městský	ECO	Renault Zoe, 22 kWh	<b>14,5</b>
	ECO	BMW i3, 22 kWh	<b>15,4</b>

Z tabulky 32 je patrné, že při využití jízdního režimu ECO + u obou modelů BMW došlo k dosažení nižší průměrné spotřeby energie  $E_s$  oproti jízdnímu režimu ECO. Z pohledu řidiče se však jednalo o dva totožné jízdní režimy a nebyly pocítovány žádné rozdíly v jízdních vlastnostech EM. Dále je patrné, že modely první generace EM, které disponovaly baterií s dispoziční elektrickou energií baterie 22 kWh, zaznamenaly proměnu směrem kupředu s ohledem na  $E_s$ . Tyto první modely byly testovány na konci roku 2017. Před 3 roky EM s dispoziční elektrickou energií baterie 22 kWh urazily v režimu ECO 125 km, kdežto dnešní EM jsou schopny ujet až 300 km v jízdním režimu ECO.

#### 4.3.2 Jízdní režim COMFORT (STANDART)

Tento jízdní režim je většinou charakterizován jako standardní (výchozí) u většiny EM. Elektromotor není omezován řídicí jednotkou, jako tomu bylo u režimu ECO. Rozjezdy jsou velice svižné a celková jízda je mnohem dynamičtější a zábavnější. EM disponuje od prvních otáček maximálním výkonem. Jestliže nejste úplný „šetřílek“, který šetří každý halíř, určitě budete využívat jízdní režim COMFORT, protože  $E_s$  je vzhledem k režimu ECO zanedbatelná, jak můžeme vidět z tabulek 33, 34 a 35. O požitku z jízdy a jízdních vlastnostech už to samé říci nemůžeme, tady všechno náleží ve prospěch režimu COMFORT.

**Tabulka 33 – režim COMFORT BMW i3 (120 Ah)**

BMW i3 (120 Ah)		22.02.2020	8°C
Baterie: 42 kWh		Amberg	
COMFORT		Start: 12:53	Konec: 13:14
Ujetá vzdálenost $s$ [km]	Stav baterie $S_b$ [%]	Okamžitý dojezd $d_o$ [km]	Teoretický dojezd $d_t$ [km]
0	93	222	238,7
12,6	89	218	259,5
<b>Údaje na konci měření</b>			
Okamžitý dojezd: $d_o$ [km]			218
Ujetá vzdálenost: $s$ [km]			12,6
Stav baterie: $S_b$ [%]			89
Průměrná rychlost: $r_p$ [km.h <sup>-1</sup> ]			36,5
Čas jízdy $t$ : [min]			21
Průměrná spotřeba energie $E_s$ [kWh.100km <sup>-1</sup> ]			<b>13,4</b>

**Tabulka 34 – režim COMFORT BMW i3s (120 Ah)**

BMW i3s (120 Ah)		30.11.2019	1,5 °C
Baterie: 42 kWh		Amberg	
COMFORT		Start: 15:15	Konec: 15:38
Ujetá vzdálenost s [km]	Stav baterie $S_b$ [%]	Okamžitý dojezd $d_o$ [km]	Teoretický dojezd $d_t$ [km]
0	92,5	213	230,2
12,6	88,5	216	244,0
Údaje na konci měření			
Okamžitý dojezd: $d_o$ [km]			216
Ujetá vzdálenost: s [km]			12,6
Stav baterie: $S_b$ [%]			88,5
Průměrná rychlost: $r_p$ [km.h <sup>-1</sup> ]			34,3
Čas jízdy t: [min]			23
Průměrná spotřeba energie $E_s$ [kWh.100km <sup>-1</sup> ]			<b>13,9</b>

**Tabulka 35 – režim COMFORT Renault Zoe Z.E 40**

Renault Zoe Z.E 40		22.02.2020	12°C
Baterie: 41 kWh		Amberg	
COMFORT		Start: 15:58	Konec: 16:19
Ujetá vzdálenost s [km]	Stav baterie $S_b$ [%]	Okamžitý dojezd $d_o$ [km]	Teoretický dojezd $d_t$ [km]
0	96	281	292,7
12,6	94,5	276	292,0
Údaje na konci měření			
Okamžitý dojezd: $d_o$ [km]			276
Ujetá vzdálenost: s [km]			12,6
Stav baterie: $S_b$ [%]			94,5
Průměrná rychlost: $r_p$ [km.h <sup>-1</sup> ]			35,8
Čas jízdy t: [min]			21
Průměrná spotřeba energie $E_s$ [kWh.100km <sup>-1</sup> ]			<b>12,4</b>

Jak vidno z tabulek 33, 34 a 35, tak nejnižší naměřená  $E_s$  byla u EM Renault Zoe Z.E 40. Patrný rozdíl 1,5 kWh v  $E_s$  je mezi EM BMW i3s (120 Ah) a zmiňovaným Renaultem.

V následující tabulce 36 se nachází přehled průměrných spotřeb energie  $E_s$  naměřených u vybraných EM na shodné dopravní trase v jízdním režimu COMFORT. Dále je zde pro porovnání uvedena naměřená hodnota  $E_s$  u BMW i3s v jízdním režimu SPORT a dva EM první generace, které byly testovány na odlišné dopravní trase, kde převážnou část představoval mimo městský provoz.

**Tabulka 36 – Přehled průměrných spotřeb energie  $E_s$  při jízdním režimu COMFORT a SPORT**

Provoz	Jízdní režim	Model	Průměrná spotřeba energie $E_s$ [kWh.100km <sup>-1</sup> ]
Shodná dopravní trasa (městský provoz)	COMFORT	BMW i3 (120 Ah), 42 kWh	13,4
	COMFORT	BMW i3s (120 Ah), 42 kWh	13,9
	COMFORT	Renault Zoe Z.E 40, 41 kWh	12,4
	SPORT	BMW i3s (120 Ah), 42 kWh	14,4
mimo městský	COMFORT	Renault Zoe, 22 kWh	15,2
	COMFORT	BMW i3, 22 kWh	16,9

Z tabulky 36 jsou patrné poměrně velké rozdíly v  $E_s$ , které byly naměřeny v městském provozu a mimoměstském provozu. V jízdním režimu SPORT u BMW i3s byl taky patrný nárůst spotřebované energie oproti jízdnímu režimu COMFORT.

#### 4.3.3 Jízdní režim COMFORT (STANDARD) v plném zatížení

Plné zatížení znamená, že se do plného provozu zapojila automatická klimatizace na 23 °C, vyhřívání sedaček se nastavilo na maximální úroveň a bylo zapnuto vyhřívání zadního skla. V zavazadlovém prostoru se nacházelo břemeno 38 kg. Na zadní sedadla byl umístěn cestující s hmotností 92 kg. Nárůst provozní hmotnosti každého testovaného EM představoval 130 kg oproti předešlým jízdám. Naměřené hodnoty  $E_s$  jsou v tabulkách 37, 38 a 39.

**Tabulka 37 – režim COMFORT v plné zátěži BMW i3 (120 Ah)**

BMW i3 (120 Ah)		22.02.2020	8°C
Baterie: 42 kWh		Amberg	
COMFORT		Start: 13:15	Konec: 13:38
Ujetá vzdálenost $s$ [km]	Stav baterie $S_b$ [%]	Okamžitý dojezd $d_o$ [km]	Teoretický dojezd $d_t$ [km]
0	89	207	232,5
12,6	84,5	207	244,9
Údaje na konci měření			
Okamžitý dojezd: $d_o$ [km]			207
Ujetá vzdálenost: $s$ [km]			12,6
Stav baterie: $S_b$ [%]			84,5
Průměrná rychlost: $r_p$ [km.h <sup>-1</sup> ]			32,7
Čas jízdy $t$ : [min]			23
Průměrná spotřeba energie $E_s$ [kWh.100km <sup>-1</sup> ]			<b>14,3</b>

**Tabulka 38 – režim COMFORT v plné zátěži BMW i3s (120 Ah)**

BMW i3s (120 Ah)		30.11.2019	1,5 °C
Baterie: 42 kWh		Amberg	
COMFORT		Start: 16:02	Konec: 16:26
Ujetá vzdálenost $s$ [km]	Stav baterie $S_b$ [%]	Okamžitý dojezd $d_o$ [km]	Teoretický dojezd $d_t$ [km]
0	84	191	227,3
12,6	79	189	239,2
Údaje na konci měření			
Okamžitý dojezd: $d_o$ [km]			189
Ujetá vzdálenost: $s$ [km]			12,6
Stav baterie: $S_b$ [%]			79
Průměrná rychlost: $r_p$ [km.h <sup>-1</sup> ]			33,5
Čas jízdy $t$ : [min]			24
Průměrná spotřeba energie $E_s$ [kWh.100km <sup>-1</sup> ]			<b>16,9</b>

**Tabulka 39 – režim COMFORT v plné zátěži Renault Zoe Z.E 40**

Renault Zoe Z.E 40		22.02.2020	12°C
Baterie: 41 kWh		Amberg	
COMFORT		Start: 16:21	Konec: 16:42
Ujetá vzdálenost $s$ [km]	Stav baterie $S_b$ [%]	Okamžitý dojezd $d_o$ [km]	Teoretický dojezd $d_t$ [km]
0	94	275	292,5
12,6	89,5	261	291,6
Údaje na konci měření			
Okamžitý dojezd: $d_o$ [km]			261
Ujetá vzdálenost: $s$ [km]			12,6
Stav baterie: $S_b$ [%]			89,5
Průměrná rychlost: $r_p$ [km.h <sup>-1</sup> ]			35,3
Čas jízdy $t$ : [min]			21
Průměrná spotřeba energie $E_s$ [kWh.100km <sup>-1</sup> ]			<b>13,1</b>

Z těchto měření je patrné, že u obou modelů BMW stav baterie klesal, zatímco okamžitý dojezd zůstal na stejné hodnotě. U prvního měření byl okamžitý dojezd dokonce stejný jak na začátku, tak na konci měření a u druhého se snížil jenom nepatrně. U Renaultu Zoe byl okamžitý dojezd mnohem přesnější a na konci měření tento rozdíl přibližně odpovídal ujeté vzdálenosti. Dále je patrné, že spotřeba energie oproti předešlému jízdni režimu COMFORT bez zátěže narostla, což se dalo předpovídat, protože hmotnost zvyšuje spotřebu energie pro pohyb automobilu. Největší nárůst byl naměřen u modelu BMW i3s.

V tabulce 40 je tento jízdni režim porovnám s mimoměstským provozem a modely EM starší generace.

**Tabulka 40 – Přehled průměrných spotřeb energie  $E_s$  při jízdním režimu COMFORT v plné zátěži**

Provoz	Jízdní režim	Model	Průměrná spotřeba energie $E_s$ [kWh.100km <sup>-1</sup> ]
Shodná dopravní trasa (městský provoz)	COMFORT	BMW i3 (120 Ah), 42 kWh	<b>14,3</b>
	COMFORT	BMW i3s (120 Ah), 42 kWh	<b>16,9</b>
	COMFORT	Renault Zoe Z.E 40, 41 kWh	<b>13,1</b>
mimo městský	COMFORT	Renault Zoe, 22 kWh	<b>18,7</b>
	COMFORT	BMW i3, 22 kWh	<b>21,5</b>

V technické literatuře a článcích o elektromobilitě se udává, že ekonomický provoz EM s ohledem na provozní náklady a návratnost vzhledem k vysokým pořizovacím cenám je považován do  $E_s$  19 kWh na 100 ujetých km. Jak vychází z tabulky 38, tuto podmínku nesplnil EM BMW i3 první generace s dispoziční práci baterie 22 kWh. Renault Zoe (22 kWh) se do této tolerance vešel s malou rezervou. Je třeba zohlednit, že tato obě měření byla prováděna v mimoměstském provozu. Z tabulky dále vyplývá, že testované EM v městské provozu neměly problém se do této tolerance dostat a naopak u Renaultu Zoe Z.E 40 je naměřená hodnota poměrně nízká, což ukazuje na velice úsporný provoz toho EM.

#### **4.3.4 Přehled průměrné spotřeby energie $E_s$ v rozmanitých provozních režimech EM**

Na závěr jsem vytvořil tabulku 41, ve které jsou uvedeny dlouhodobé spotřeby testovaných EM a průměrné spotřeby energie  $E_s$  při odlišných provozech (městský provoz, mimo městský provoz a provoz na dálnici). Pod tabulkou 41 je stručná legenda vztahující se k této tabulce.



**Tabulka 41 – Přehled průměrných spotřeb energie  $E_s$  při jízdním režimu COMFORT v plné zátěži**

Provoz	Jízdní režim	1	2	3	4	5
		Dlouhodobá spotřeba [kWh.100km <sup>-1</sup> ]				
		20	18,9	18,6	17,7	16,9
		Průměrná spo. energie $E_s$ [kWh.100km <sup>-1</sup> ]				
městský	ECO +	12,1	13,3	-	-	-
	ECO	12,7	13,5	11,1	12,8	13,1
	COMFORT	13,4	13,9	12,4	13,9	15,1
	SPORT	-	14,4	-	-	-
mimo městský	ECO	14,0	14,6	12,9	14,5	15,4
mimo městský	COMFORT	15,1	15,8	14,3	15,2	16,9
dálniční	COMFORT	-	-	-	-	19,8
	SPORT	-	18,9	-	-	-

Legenda k tabulce 41

1	BMW i3 (120 Ah), 42 kWh
2	BMW i3s (120 Ah), 42 kWh
3	Renault Zoe Z.E 40, 41 kWh
4	Renault Zoe, 22 kWh
5	BMW i3, 22 kWh

Z předchozí tabulky 41 vychází, že nejnižší  $E_s$  v městském i mimoměstském provozu byla naměřena u modelu Renault Zoe Z.E 40 (41 kWh). Naopak u sportovního modelu i3s od BMW byla vždy naměřena vyšší  $E_s$ , než tomu bylo u klasického modelu i3. Dále je pak zřetelné, že u prvních modelů EM s dispoziční elektrickou energií baterie 22 kWh byla naměřena také vyšší  $E_s$ , oproti aktuálním modelům. Na závěr byly porovnány hodnoty průměrné dlouhodobé spotřeby energie těchto modelů, které se odečetly z palubních počítačů. U všech testovaných EM se

jednalo o předváděcí modely zapůjčené od prodejců nebo EM zapůjčené pomocí systému e-carsharing. Pouze model BMW i3 (22 kWh) byl služební EM zapůjčený firmou SWN Neuwied. Na tomto EM byla průměrná dlouhodobá spotřeba energie na hodnotě 16,9 kWh.100 km<sup>-1</sup>, která odpovídá provozu tohoto modelu a mnou naměřených hodnot. Jiné hodnoty byly u ostatních testovaných modelů, kde je patrná mnohem vyšší průměrná dlouhodobá spotřeba, vzhledem k hodnotám, které jsem naměřil. Je to jednoduše tím, že v těchto EM se často střídá obsluha a tyto EM nejsou provozovány ekonomicky, jak by tomu pravděpodobně bylo v případě vlastnictví EM soukromou osobou.

#### 4.4 Nabíjení testovaných modelů

Nabíjení modelů EM bylo prováděno na dvou odlišných typech nabíjecích stanic. Jednalo se o nabíjecí stanici typu AC o nabíjecích výkonech 11 a 22 kW (pomalý režim). V druhém případě mluvíme o nabíjecí stanici DC o výkonu 100 kW (rychlónabíjecí).

##### 4.4.1 Nabíjení na stanice typu AC (22 kW)

Výsledky, které byly naměřeny při tomto typu nabíjení, jsou uvedeny v tabulce 42.

**Tabulka 42 – Nabíjení EM na stanici AC o výkonu 22 kW**

BMW i3s (120 Ah), 42 kWh				
Stav baterie		Čas nabíjení	Aktuální dojezd po nabití [km]	Poplatek za nabíjení [€]
z [%]	na [%]			
5	99	3h 20min	ECO + (321 km) ECO (291 km) COMFORT (247 km) SPORT (238 km)	žádný
80	99,5	1h 10min	ECO + (323 km) ECO (293 km) COMFORT (249 km) SPORT (240 km)	žádný

Při prvním nabíjení, z výchozího stavu baterie 5 % byla baterie za 2 hodiny nabitá na 80 % s aktuálním dojezdem 194 km. Nabíjení do 80 % stavu baterie probíhalo konstantně vzhledem ke stavu baterie a času, potom byl proces nabíjení

značně zpomalen. Ze stavu 80 % do konečných 99,5 % trvalo nabití 1h 10min, jak je uvedeno v tabulce 42.

#### 4.4.2 Nabíjení na stanice typu AC (11 kW)

Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 43.

**Tabulka 43 – Nabíjení EM na stanici AC o výkonu 11 kW**

BMW i3s (120 Ah), 42 kWh				
Stav baterie		Čas nabíjení	Aktuální dojezd po nabití [km]	Poplatek za nabíjení [€]
z [%]	na [%]			
55	90,5	1h 35min	ECO + (295 km) ECO (270 km) COMFORT (229 km) SPORT (221 km)	žádný

U tohoto typu nabíjení s nabíjecím výkonem 11 kW bylo překvapením, na jakou hodnotu se stav baterie dostal za poměrně krátkou dobu nabíjení. Nabíjení bylo zkreslováno, EM byl připojen stále do sítě a hodnota stavu baterie se zastavila 20 minut na stejné hodnotě 90,5 %. Po tomto nabíjení stav baterie rychle klesl na 75 % po ujetí přibližně 10 km, dále už stav baterie s okamžitým dojezdem klesal konstantně.

#### 4.4.3 Nabíjení na stanice typu DC (100 a 135 kW)

Tento typ nabíjení DC, nebo také nazývaný rychlonabíjení, se prováděl na stanicích, které disponovaly nabíjecím výkonem 100 kW a 135 kW. Byly nabíjeny EM BMW i3 s dispoziční prací baterie 22 kWh a BMW i3s (120 Ah) s baterií o dispoziční práci 42 kWh. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 44.

**Tabulka 44 – Nabíjení EM na stanici DC o výkonech 100 a 135 kW**

<b>Nabíjecí výkon stanice 100 kW</b>				
<b>BMW i3, 22kWh</b>				
Stav baterie		Čas nabíjení	Aktuální dojezd po nabití [km]	Poplatek za nabíjení [€]
z [%]	na [%]			
3	92	20 min	ECO + (114 km) ECO (90 km) COMFORT (80 km)	RFID card
<b>Nabíjecí výkon stanice 135 kW</b>				
<b>BMW i3s (120 Ah), 42 kWh</b>				
20	99,5	37 min	ECO + (325 km) ECO (295 km) COMFORT (250 km) SPORT (245 km)	0,545 €/min

Nabíjení na stanici, která disponovala nabíjecím výkonem 100 kW, byla nabita baterie EM s dispoziční kapacitou baterie 22 kWh za 20 min do stavu baterie 92 %. Toto nabíjení probíhalo rychle, po 10 minutách nabíjení udával palubní počítač stav baterie 80 %. Dalších 10 minut trvalo nabití baterie na konečných 92 %. EM zůstal dalších 10 minut připojen k nabíjecí stanici, ale stav baterie se už nezměnil. Toto je vlivem stáří baterie, která už nedisponuje maximální dispoziční prací, vzhledem k již absolvovanému počtu nabíjecích cyklů.

#### **4.5 Kalkulace nákladu pro provoz testovaných modelů EM**

Provozní náklady byly vyčísleny na provoz dvou modelů BMW i3 (120 Ah), 42 kWh a Renault Zoe Z.E 40, 41 kWh.

##### **Provozní náklady na 100 km**

Byly stanoveny průměrné spotřeby energie  $E_s$  těchto dvou modelů pro výpočet. Kalkulovalo se s hodnotami, které jsem naměřil u těchto modelů v mimoměstském provozu.

U BMW byla tato hodnota  $15,1 \text{ kWh} \cdot 100\text{km}^{-1}$  a u Renaultu  $14,3 \text{ kWh} \cdot 100\text{km}^{-1}$ . Bylo počítáno s cenou energie 4,34 Kč za kWh. Náklady na 100km provozu testovaných modelů je v tabulce 45.

**Tabulka 45 – Náklady na 100 km provozu**

	<b>BMW i3 (120 Ah) , 42 kWh</b>	<b>Renault Zoe Z.E 40, 41 kWh</b>
<b>Spotřeba E<sub>s</sub>/100 km</b>	15,1 kWh	14,3 kWh
<b>Cena za jednotku</b>	4,34 Kč za kWh	4,34 Kč za kWh
<b>Provozní náklady na 100 km</b>	<b>65,5 Kč</b>	<b>62 Kč</b>

#### **4.5.1 Porovnání provozních nákladů mezi vybraným testovaným modelem EM a automobilem s klasickým spalovacím motorem stejné velikostní kategorie**

K porovnání došlo mezi EM BMW i3 (120 Ah) 42 kWh a VW Golf 1,2 TSI (77 kW). Porovnání je uvedeno v tabulce 46.

**Tabulka 46 – Porovnání provozních nákladu EM a automobilu s klasickým spalovacím motorem**

	<b>BMW i3 (120 Ah) , 42 kWh</b>	<b>VW GOLF VII 1,2 TSI (81 kW)</b>
<b>Pořizovací cena</b>	<b>od 950 000 Kč</b>	<b>od 450 000 Kč</b>
<b>Spotřeba E<sub>s</sub>,100km<sup>-1</sup></b>	<b>15,1 kWh</b>	<b>5,2 l</b>
<b>Cena jednotky</b>	<b>4,34 Kč za kWh</b>	<b>32 Kč za litr</b>
<b>Náklady na 100 km provozu</b>	<b>65,5 Kč</b>	<b>166,4 Kč</b>
<b>Náklady na 10 000 km provozu</b>	<b>6 550 Kč</b>	<b>16 600 Kč</b>
<b>Roční povinné ručení</b>	<b>2900 Kč</b>	<b>3 900 Kč</b>

Z tabulky 46 je patrné, že pořizovací ceny EM jsou stále vyšší oproti automobilům se spalovacím motorem, ale nutno říci, že v tomto EM udělaly velký krok oproti předešlým rokům. Pořizovací ceny EM se pohybovaly ještě mnohem výše. Trend je neustále snižovat ceny EM a přiblížit se ceně za automobil se spalovacím motorem ve shodné velikostní kategorii. Automobilka VW tento stav předpokládá v roce 2022. Náklady na provoz jsou znatelné ve prospěch EM, kde se ušetří až 10 000 Kč za rok na nákladech na provoz, kde nejsou započítány servisní

náklady. Porovnání servisních nákladů je uvedeno v následující tabulce 47. Na povinné ručení se ušetří také část výdajů, protože na EM se vztahuje nejnižší sazba, a to varianta pro vozidla s obsahem nad 1000 ccm.

### **Porovnání servisních nákladů na EM a automobil s klasickým spalovacím motorem**

V tabulce 47 se nachází přehled nákladu za prvních 5 let provozu EM a automobilu se spalovacím motorem. Předpokládáme, že ročně najedeme 10 000 km.

U EM budou servisní náklady každý lichý a sudý rok stejné. Každý lichý rok se zaplatí 800 Kč za servisní kontrolu a každý sudý k tomu přibude výměna brzdové kapaliny. Výměna brzd není zpravidla potřeba po 5 letech provozu. Podle dosavadních zkušeností je patrné, že brzdové destičky a kotouče budou lehce, opravdu minimálně, opotřebené. Elektromotor je celkově efektivnější a jednodušší než motor spalovací a tím i méně poruchový, má o poznání vyšší životnost, protože nejsou jeho konstrukční celky, na rozdíl od spalovacích, vystavovány vysokým tlakům, tření a teplotám. Náklady na servis jsou podstatně nižší, než je tomu u motoru se spalovacím motorem, a to z důvodů, že odpadá několik součástí, které je zapotřebí u spalovacích motorů při servisních prohlídkách měnit (svíčky, olej, filtry atd.)

Jinak tomu bude u automobilu s klasickým spalovacím motorem. Předpokládáme, že se bude měnit olej a olejový filtr každý rok, jak doporučují výrobci (přestože tendence je prodlužování na 20 tisíc km). Dále se musí počítat každý rok s výměnou pylového filtru, každé dva roky s výměnou brzdové kapaliny, vyčištěním klimatizace a seřízení geometrie kol. Z vlastní zkušenosti vím, že se za tyto základní úkony v autorizovaném servisu zaplatí běžně 6 000 Kč. Po 4 letech provozu bude potřeba vyměnit minimálně brzdové destičky, při nejlepším i s brzdovými kotouči, dále zapalovací svíčky. Ve čtvrtém roce provozu proto cena naroste na 9 000 Kč.

**Tabulka 47 – Porovnání servisních nákladů EM a automobilu s klasickým spalovacím motorem**

	<b>BMW i3 (120 Ah) , 42 kWh</b>	<b>VW GOLF VII 1,2 TSI (81 kW)</b>
<b>1. rok</b>	<b>800,-</b>	<b>6 000,-</b>
<b>2. rok</b>	<b>2 600,-</b>	<b>6 000,-</b>
<b>3. rok</b>	<b>800,-</b>	<b>6 000,-</b>
<b>4. rok</b>	<b>2600,-</b>	<b>9 000,-</b>
<b>5. rok</b>	<b>800,-</b>	<b>6 000,-</b>
<b>Celkem</b>	<b>7 600,-</b>	<b>33 000,-</b>

Z tabulky 47 plyne, že servisní náklady za 5 let provozu automobilu se spalovacím motorem jsou až čtyřnásobně vyšší, než je tomu u EM. Zde nejsou započítané žádné neplánované výdaje, které mohou vzniknout. Větší pravděpodobnost je, že tyto výdaje mohou vzniknout u automobilů se spalovacím motorem.

Do nákladů u EM jsem nezahrnoval nejdůležitější a taky nejdražší součást EM, a to samotnou baterii. Jak uvádí výrobci, tak i za několik let praxe se ukázalo, že obavy z rychlé degradace baterie a její předčasné výměny nejsou nutné. Baterie si dokáží i po najetí 200 000 km uchovat 90 % ze svojí původní kapacity. Baterie je bezúdržbová a nevyžaduje žádnou speciální údržbu.

#### **4.6 Stanovení faktorů působících pozitivně nebo negativně na rozvoj elektromobility**

Jako nejvýznamnější faktor, který působí pozitivně na rozvoj elektromobility je snaha regulace oxidu uhličitého CO<sub>2</sub> především ve městech a bytových zástavbách a celkové zlepšení životního prostředí. Další pozitivní faktory jsou uvedeny níže.

Na druhou stranu je potřeba zmínit rovněž negativní faktory, které tento rozvoj přibrzdí. Těchto zásadních faktorů je více. Patří mezi ně nedostatečná nabíjecí infrastruktura pro EM, vysoká pořizovací cena a tak dále. Další faktory jsou rovněž uvedeny níže.

### **Pozitivně působící faktory**

- Globální podporování čistého životního prostředí a snížení hrozby klimatických změn;
- Regulace emisí škodlivých látek a CO<sub>2</sub> ve městech a v bytových zástavbách;
- Nový trend životního stylu;
- Cílené reklamy, propagování výrobci a prodejci EM;
- Zvýhodňování uživatelů s EM (parkování ve městech, neomezený pohyb v městských zónách);
- Nízké provozní náklady;
- Tichý provoz v městských a bytových částích (noční klid);
- Snadné a velice pohodlné ovládání EM;
- Nižší servisní náklady oproti automobilu se spalovacími motory;
- Energetická soběstačnost, odstranění závislosti na ropě;
- Pozvolné snižování pořizovací ceny a ceny baterií.

### **Negativně působící faktory**

- Nedostatečná nabíjecí infrastruktura pro EM;
- Vysoké pořizovací cena EM (výrazné zlepšení oproti předešlým letům);
- Neznalost společnosti (okamžité odsouzení bez znalosti problematiky);
- Neochota některých lidí investovat do svého zdraví, lepšího životního prostředí a přispění ke snížení dopadů klimatických změn;
- Nedůvěra lidí v nové věci a technologie;
- Omezený dojezd (výrazné zlepšení s baterií 42kWh, 250-280 km);
- Doba strávená nabíjením baterie;
- návratnost investic do EM je pomalá, záleží na tom, kolik s konkrétním EM provozovatel najede kilometrů. Udává se několik stovek tisíc kilometrů, a to se neberou v úvahu žádné náklady na údržbu nebo opravu závad.



## 5 Diskuze

CELJAK, I. (2018) uvádí v tabulce 48 orientační dobu nabíjení 1-3 h pomocí nabíjecí stanice o výkonu 11 - 44 kW.

**Tabulka 48 – Orientační doba nabíjení**

Zdroj: (CELJAK)

Konektor	Výkon	Doba nabíjení
Typ 2	11-44 kW	1-3 h

Při mém měření na nabíjecích stanicích o výkonech 22 a 11 kW došlo k potvrzení naměřených hodnot uvedených v tabulce 49.

**Tabulka 49 – Naměřené orientační doby nabíjení**

Konektor	Stav baterie	Výkon	Doba nabíjení
Typ 2	5 % → 99 %	22 kW	3 h 20 min
Typ 2	50 % → 90,5 %	11 kW	1 h 35 min

V porovnání těchto dvou tabulek je patrné, že mnou naměřený čas nabíjení na nabíjecí stanici o výkonu 22 kW byl delší než 3 hodiny, jak uvádí CELJAK, I. (2018) v tabulce 48.

U nabíjecí stanice o výkonu 11 kW, kde jsem naměřil navýšení o 40 % stavu baterie za 1 h 35 min, se může zdát, že požadavek v podobě nabití baterie do 3 h splní, ale stav baterie v procentech udávaný palubním počítačem byl zkreslující. Po ujetí několika málo kilometrů stav baterie razantně klesl. A tento zjištěný aspekt při měření potvrzuje, jak uvádí CELJAK, I. (2018), že nabíjení baterie do stavu 80-90 % probíhá relativně rychle a kontinuálně, ale po překročení této hranice je tento proces výrazně zpomalen. Posledních 10 % nabíjení baterie trvá i přes 1 h.

## 6 Závěr

Pro splnění jednoho z cílů diplomové práce, bylo nutné prakticky ověřit vybrané modely elektromobilů a zjistit spotřebu energie potřebnou pro jejich provoz. Nejdůležitější byly naměřené hodnoty průměrné spotřebované energie  $E_s$ , které jsem naměřil u EM na shodné dopravní trase v městském provozu při odlišných jízdních režimech.

Nejnižší naměřená průměrná spotřeba energie  $E_s$  11,1 kWh.100km<sup>-1</sup> byla naměřena u elektromobilu Renault Zoe Z.E 40 s dispoziční elektrickou energií 41 kWh při jízdním režimu ECO. U Renaultu Zoe Z.E 40, byly naměřeny nejnižší  $E_s$  při všech jízdních režimech. V porovnání s modely i3 a i3s od BMW, je Zoe rozměrově podstatně menší a disponuje o 300kg nižší provozní hmotností.

Zanedbatelné rozdíly hodnot  $E_s$ , byly naměřeny u modelů BMW i3 a i3s při jízdních režimech ECO + a ECO. U sportovní verze i3s, při jízdním režimu ECO + byla naměřena hodnota  $E_s$  13,3 kWh.100km<sup>-1</sup> a při režimu jízdy ECO hodnota  $E_s$  13,5 kWh.100km<sup>-1</sup>. U BMW i3s při jízdním režimu SPORT v městském provozu byla naměřená hodnota  $E_s$  14, 4 kWh.100km<sup>-1</sup>, což značí hodnotu pohybující se v rozmezí ekonomické spotřeby. V mimoměstském provozu se tato hodnota  $E_s$  pohybovala okolo 16 kWh.100 km<sup>-1</sup>, jenž je horní hranice ekonomického provozu EM. Mnou očekávaná hodnota  $E_s$  při jízdním režimu SPORT v mimoměstském provozu byla okolo 19 kWh.100 km<sup>-1</sup>, ale tato hodnota se nepotvrdila. Hodnota  $E_s$  18,9 kWh.100 km<sup>-1</sup> byla naměřena při jízdním režimu SPORT a to při jízdě na německé dálnici, při udržování konstantní rychlosti 150 km.h<sup>-1</sup>.

V další části diplomové práce byla ověřena nabíjecí infrastruktura pro elektromobily. Došel jsem k závěru, že aktuální stav nabíjecí infrastruktury v ČR je nedostatečný a zároveň je to jeden z hlavních faktorů, který působí negativně na rozvoj elektromobility na území ČR. Při praktickém ověření jednotlivých typů nabíjecích stanic pro elektromobily se potvrdilo, že časové intervaly potřebné pro obnovu dispoziční elektrické energie baterie udávané výrobcí, jsou pouze orientační. Za čas, který udával výrobce, se baterie nabila na 80 % své celkové kapacity.

Na závěr byly stanoveny jak pozitivní, tak i negativní faktory, které působí nebo naopak brzdí rozvoj elektromobility na území České republiky. Mezi hlavní pozitivní faktory patří, snaha o zlepšení životního prostředí a regulace CO<sub>2</sub> ve městech a bytových oblastech. Naopak jeden z důležitých faktorů, který nenapomáhá

k rozvoji elektromobility je, nedostatečná nabíjecí infrastruktura na území ČR pro elektromobily. Další negativní aspekt, který nenapomáhá k rozvoji, je stále vysoká pořizovací cena elektromobilů a nedůvěra lidí v nové věci a technologie (neochota ustoupit od zažitých věcí).

## 7 Seznam použité literatury

- [1] CELJAK, I. (2018): *Konstrukce, technické systémy a provoz elektricky poháněných automobilů*. Interní učební text, České Budějovice: Zemědělská fakulta, Jihočeská univerzita, 148s.
- [2] HRMÁDKO, J. (2012): *Speciální spalovací motory a alternativní pohony: komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol*. Praha: Grada, ISBN 978-80-247-4455-1.
- [3] KUŘIL, P. (2014): *Permanentní magnety pro PMSM*. Bakalářská práce, Plzeň: Fakulta elektrotechnická, Západočeská univerzita v Plzni, 50s.
- [4] NOVÁK, M. (2014): *Elektrická vozidla jako akumulční prvek pro elektrické sítě*. Diplomová práce, Brno: Fakulta elektroniky a komunikačních technologií, Vysoké učení technické v Brně, 58s.
- [5] RÁČEK, F. (2017): *Přehled nabíjecích stanic pro elektrická vozidla*. Bakalářská práce, Plzeň: Fakulta elektrotechnická, Západočeská univerzita v Plzni, 45s.
- [6] SAMOILOVA, V. (2017): *Bezpečnostní aspekty energetické náročnosti silničních vozidel*. Diplomová práce, Praha: Fakulta dopravní, České vysoké učení technické v Praze, 72s.
- [7] VLK, F. (2004): *Alternativní pohony motorových vozidel*. Brno: František Vlk. ISBN 80-239-1602-5.
- [8] *Počet elektromobilů na světě v roce 2018 přesáhl 5 milionů* [online]. <https://www.oenergetice.cz>, 2019 [cit. 2019-10-22]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektromobilita/iea-pocet-elektromobilu-svete-roce-2018-presahl-5-milionu>
- [9] *Elektromobily v Norsku a Nizozemsku* [online]. <https://www.kdenabijet.cz>, 2019 [cit. 2019-10-22]. Dostupné z: <https://www.kdenabijet.cz/elektromobily-v-norsku-nizozemsku-jak-delaji-nejlepsi/>
- [10] *Elektromobily mají pozitivní dopad na životní prostředí* [online]. <https://fdrive.cz>, 2017 [cit. 2019-10-22]. Dostupné z: <https://fdrive.cz/clanky/elektromobily-maji-pozitivni-dopad-na-zivotni-prostredi-tvrdi-nova-studie-1583>

- [11] *Analýza dopadu emobility na životní prostředí a trvale udržitelný rozvoj* [online]. <https://go-eroad.eu/>: TSI Písek, 2018 [cit. 2019-10-22]. Dostupné z: <https://go-eroad.eu/wp-content/uploads/2019/04/A-1.3-vliv-na-%C5%BEivotn%C3%AD-prost%C5%99ed%C3%AD.pdf>
- [12] *Rozvoj trhu s elektromobily v České republice: veřejná podpora a zkušenosti ze zahraničí* [online]. Centrum pro otázky životního prostředí, Univerzita Karlova: Univerzita Karlova, 2019 [cit. 2019-10-23]. Dostupné z: <https://energetika.tzb-info.cz/energeticka-politika/19010-rozvoj-trhu-s-elektromobily-v-ceske-republice-verejna-podpora-a-zkusenosti-ze-zahranici>
- [13] *Elektromobily* [online]. <https://www.alza.cz>, 2019 [cit. 2019-10-25]. Dostupné z: <https://www.alza.cz/elektromobily-podrobne>
- [14] *Elektromobily čeká do deseti let superboom* [online]. <https://www.autoeco.cz>, 2017 [cit. 2019-10-28]. Dostupné z: <https://www.autoeco.cz/trendy/2017/05/27/elektromobily-ceka-do-deseti-let-superboom/>
- [15] *Baterie elektromobilu Chevrolet Bolt EV* [online]. <http://www.hybrid.cz>, 2017 [cit. 2019-10-28]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/baterie-elektromobilu-chevrolet-bolt-ev-stoji-15-734>
- [16] *Elektromobily: Jaké mají (ne)výhody?* [online]. <https://autoroad.cz>, 2017 [cit. 2019-10-28]. Dostupné z: <https://autoroad.cz/ekonomika/86087-elektromobily-jake-maji-ne-vyhody>
- [17] *Elektromobily a bezpečnost* [online]. <https://www.technickytydenik.cz>, 2016 [cit. 2019-10-28]. Dostupné z: [https://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv/elektromobily-a-bezpecnost\\_18096.html](https://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv/elektromobily-a-bezpecnost_18096.html)
- [18] *Baterie elektromobilu – máte představu o velikosti? Můžeme jí nahradit?* [online]. <https://elektrickevozy.cz>, 2013 [cit. 2019-10-29]. Dostupné z: <https://elektrickevozy.cz/clanky/baterie-elektromobilu-mate-predstavu-o-velikosti-muzeme-ji-nahradit>
- [19] *Jaké jsou provozní náklady elektromobilu* [online]. <http://www.enviweb.cz>, 2011 [cit. 2019-10-29]. Dostupné z: <http://www.enviweb.cz/88936>
- [20] *Elektromobil jede. Ale jaké jsou náklady po dobu jeho životnosti?* [online]. <https://www.eon.cz>, 2018 [cit. 2019-11-01]. Dostupné z: <https://www.eon.cz/radce/alternativni-doprava/elektromobily-a-jejich-vyhody/elektromobil-jede-ale-jake-jsou-naklady-po-dobu-jeho-zivotnosti>
- [21] *Tiché jízdy zvoní hrana. Elektromobily musí vydávat hluk* [online]. <https://www.auto.cz>, 2016 [cit. 2019-11-01]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/tiche-jizde-zvoni-hrana-elektromobily-musi-vydavat-hluk-100754>
- [22] *Elektromobily a bezpečnost* [online]. <https://www.technickytydenik.cz>, 2016 [cit. 2019-11-01]. Dostupné z: [https://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv/elektromobily-a-bezpecnost\\_18096.html](https://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv/elektromobily-a-bezpecnost_18096.html)

- [23] *Řídili jsme elektromobil BMW i3. Je zábavný a mění dosavadní návyky* Zdroj: [https://www.idnes.cz/auto/zpravodajstvi/bmw-i3.A130717\\_231349\\_automoto\\_vok](https://www.idnes.cz/auto/zpravodajstvi/bmw-i3.A130717_231349_automoto_vok) [online]. <https://www.idnes.cz>, 2013 [cit. 2019-11-01]. Dostupné z: [https://www.idnes.cz/auto/zpravodajstvi/bmw-i3.A130717\\_231349\\_automoto\\_vok](https://www.idnes.cz/auto/zpravodajstvi/bmw-i3.A130717_231349_automoto_vok)
- [24] *Elektromobil může fungovat jako domácí elektrárna* [online]. <http://www.hybrid.cz>, 2012 [cit. 2019-11-07]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/elektromobil-muze-fungovat-jako-domaci-elektrarna>
- [25] *Elektromobil jako zásobárna energie: Nissan zkouší pilotní projekt* [online]. <http://www.hybrid.cz>, 2015 [cit. 2019-11-07]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/elektromobil-jako-zasobarna-energie-nissan-zkousi-pilotni-projekt>
- [26] *Elektromobil jako zásobárna energie* [online]. <https://elektrickevozy.cz>, 2015 [cit. 2019-11-22]. Dostupné z: <https://elektrickevozy.cz/clanky/v-cine-uz-funguji-stanice-na-vymenu-baterii-v-elektromobilech>
- [27] *Spotřeba elektřiny v ČR loni vzrostla na rekordních 73,9 TWh* [online]. <https://www.ceskenoviny.cz>, 2019 [cit. 2019-11-28]. Dostupné z: <https://www.ceskenoviny.cz/zpravy/spotreba-elektřiny-v-cr-loni-vzrostla-na-rekordnich-73-9-twh/1755702>
- [28] *Prodeje elektromobilů v Evropě prudce vyrostly* [online]. <https://www.automobilrevue.cz>, 2019 [cit. 2020-01-05]. Dostupné z: [https://www.automobilrevue.cz/rubriky/testy/predstavujeme/prodeje-elektromobilu-v-evrope-prudce-vyrostly\\_47658.html](https://www.automobilrevue.cz/rubriky/testy/predstavujeme/prodeje-elektromobilu-v-evrope-prudce-vyrostly_47658.html)
- [29] *Aktualizace Národního akčního plánu čisté mobility* [online]. <https://www.mpo.cz>: Ministerstvo průmyslu a obchodu, 2018 [cit. 2020-01-09]. Dostupné z: [https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/konference-seminare/2018/11/4WS\\_MPO.pdf](https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/konference-seminare/2018/11/4WS_MPO.pdf)
- [30] *Tesla (automobilka)* [online]. <https://cs.wikipedia.org>, 2020 [cit. 2020-01-13]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Tesla\\_\(automobilka\)](https://cs.wikipedia.org/wiki/Tesla_(automobilka))
- [31] *Tesla Model 3* [online]. <https://www.tesla.com>, 2020 [cit. 2020-01-13]. Dostupné z: [https://www.tesla.com/cs\\_cz](https://www.tesla.com/cs_cz)
- [32] *BMW i3* [online]. <https://www.bmw.de>, 2020 [cit. 2020-01-13]. Dostupné z: <https://www.bmw.de/de/index.html>
- [33] *Renault Zoe* [online]. <https://www.renault.cz>, 2020 [cit. 2020-01-13]. Dostupné z: <https://www.renault.cz/elektricke-vozy/zoe.html>
- [34] *Aktuálně dostupné modely* [online]. <https://www.volkswagen.cz>, 2020 [cit. 2020-01-19]. Dostupné z: <https://www.volkswagen.cz/elektricke-vozy>
- [35] *Nissan Leaf* [online]. <https://www.nissan.cz>, 2020 [cit. 2020-01-19]. Dostupné z: <https://www.nissan.cz/vozidla/nova-vozidla/leaf.html>
- [36] *Škoda Citigo-iv* [online]. <https://www.skoda-auto.cz>, 2020 [cit. 2020-01-23]. Dostupné z: <https://www.skoda-auto.cz/modely/nove-citigo/nove-citigo-iv>

[37] *Der Hyundai IONIQ Elektro* [online]. <https://www.hyundai.de>, 2020 [cit. 2020-01-23]. Dostupné z: <https://www.hyundai.de/modelle/ioniq-elektro>

[38] *Der Hyundai KONA Elektro* [online]. <https://www.hyundai.de>, 2020 [cit. 2020-01-26]. Dostupné z: <https://www.hyundai.de/modelle/kona-elektro/>

[39] *Audi e-tron* [online]. <https://www.audi.cz>: a, 2020 [cit. 2020-01-26]. Dostupné z: <https://www.audi.cz/e-tron-rozcestnik/e-tron/filozofie>

## 8 Internetové zdroje

[https://www.sydos.cz/cs/rocnka\\_pdf/Rocnka\\_dopravy\\_2017.pdf](https://www.sydos.cz/cs/rocnka_pdf/Rocnka_dopravy_2017.pdf) „staženo dne: 19.10.2019“

<https://europarl.europa.eu/news/cs/headlines/society/20190313STO31218/emise-co2-z-aut-fakta-a-cisla-infografika> „staženo dne: 21.10.2019“

<https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2019> „ staženo den: 22.10.2019“

<https://www.jussipasanen.com/electric-cars-promise-change-without-changing/> „staženo dne: 23.10.2019“

<https://www.eon.cz/radce/kolik-stoji-nejlevnejsi-elektromobil-cena-vas-prekvapi> „staženo dne: 28.10.2019

<https://www.auto.cz/tohle-jsou-nejprodavanejsi-elektromobily-v-evrope-zebricek-ma-noveho-krale-127618> „staženo dne: 28.10.2019“

<https://docplayer.cz/23628926-Hybridni-vozy-a-elektromobily-7-prednaska.html> „staženo dne: 9.11.2019“

<http://www.hybrid.cz/elektromobil-audi-e-tron-jak-funguje-pohonny-system> „staženo den: 11.11.2019“

[https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=125780](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=125780) „staženo dne: 17.11.2019“

<https://www.semanticscholar.org/paper/Inverter-modeling-including-non-ideal-IGBT-in-for-Shim-Kim/a0dce40ca84fe4b213c71b2f039d700da7c7b80e/figure/0> „staženo dne: 17.11.2019“

<https://elektrickevozy.cz/clanky/v-cine-uz-funguji-stanice-na-vymenu-baterii-v-elektromobilech> „staženo den: 22.11.2019“

<https://evcharging.enelx.com/eu/about/news/blog/552-ev-charging-connector-types> „staženo den: 25.11.2019“

<https://www.autoforum.cz/zajimavosti/volvo-otestovalo-indukcni-dobijeni-bez-uprav-infrastruktury-to-ale-nepujde/> „staženo dne: 28.11.2019“

<https://www.elektrina.cz/vyroba-elektriny-v-cr-rekord> „staženo dne: 3.1.2020“

<http://www.hybrid.cz/tesla-ukazala-superchager-v3-diky-vykonu-250-kw-dalsim-vylepsenim-zkrati-nabijeni-na-polovinu> „staženo dne: 3.1.2020“

<http://www.hybrid.cz/peugeot-ukazal-solarni-nabijeci-stanici> „staženo dne: 5.1.2020“

<https://www.auto.cz/tohle-jsou-nejprodavanejsi-elektromobily-za-pololeti-2019-mnohe-asi-neznete-130471> „staženo dne: 5.1.2020“

<https://www.auto.cz/tohle-jsou-nejprodavanejsi-elektromobily-v-evrope-zebricek-ma-noveho-krale-127618> „staženo dne: 9.1.2020“



[https://www.tesla.com/cs\\_cz/model3](https://www.tesla.com/cs_cz/model3) „staženo dne: 13.1.2020“

<https://www.bmw.de/de/neufahrzeuge/bmw-i/i3/2017/design.html> „staženo dne: 25.2.2020“

<https://www.computerbild.de/artikel/cb-Tests-Connected-Car-VW-e-Golf-Preis-Reichweite-14625487.html> „staženo dne: 19.1.2020“

<https://www.volkswagen.cz/modely/e-golf> „staženo dne: 19.1.2020“

<https://www.inside-digital.de/news/nissan-leaf-e-plus-jetzt-kaufen> „staženo dne: 19.1.2020“

[https://www-europe.nissan-cdn.net/content/dam/Nissan/cz/brochures/Techdata/Nissan\\_LEAF\\_Tech\\_data\\_CZ.pdf](https://www-europe.nissan-cdn.net/content/dam/Nissan/cz/brochures/Techdata/Nissan_LEAF_Tech_data_CZ.pdf) „staženo dne: 22.1.2020“

<https://ecomento.de/2019/09/09/skoda-citigoe-iv-elektroauto-kostet-ab-20950-euro/> „staženo dne: 25.2.2020“

<https://www.skoda-auto.cz/modely/nove-citigo/nove-citigoe-iv> „staženo dne: 23.1.2020“

<https://ev-database.org/car/1165/Hyundai-IONIQ-Electric> „staženo dne: 25.2.2020“

<https://ev-database.org/car/1092/Audi-e-tron-55-quattro> „staženo dne: 20.2.2020“

<https://www.bmw.cz/cs/all-models/bmw-i/i3/2017/bmw-i3s.html> „staženo dne: 20. 2. 2020“

<https://ev-database.org/car/1077/Renault-Zoe-R90> „staženo dne: 20.2.2020“

<https://ev-database.org/car/1004/BMW-i3-60-Ah> „staženo dne: 20. 2. 2020“

[https://www.alle-autos-in.de/renault/renault\\_zoe\\_ktb6028.shtml](https://www.alle-autos-in.de/renault/renault_zoe_ktb6028.shtml) „staženo dne: 20. 2. 2020“

<https://mapy.cz/zakladni?planovani-trasy&x=11.8650560&y=49.4346678&z=14&l=0&rc=9amR6xUL8xd1B5yUi0156zgx1erd5GNe6YjH03L4cu1cksMNepM3U0kun&rs=coor&rs=osm&rs=osm&rs=osm&rs=osm&rs=osm&rs=osm&rs=coor&ri=&ri=20233329&ri=20233553&ri=20233553&ri=20234840&ri=108404649&ri=24933758&ri=24933492&ri=&mrp=%7B%22c%22%3A111%7D&xc=%5B%5D> „staženo dne: 20. 2. 2020“

<https://www.evmapa.cz/> „staženo dne: 23. 2. 2020“

<https://www.elektrina.cz/kolik-stoji-nabijeni-elektromobilu> „staženo dne: 23. 2. 2020“

<https://fdrive.cz/mapa-nabijecich-stanic/> „staženo dne: 25. 2. 2020“

<https://fdrive.cz/mapa-nabijecich-stanic/> „staženo dne: 25. 2. 2020“

<https://oenergetice.cz/energetika-v-cr/spotreba-elektřiny-v-cr-loni-vzrostla-na-rekordnich-739-twh> „staženo dne: 28. 2. 2020“

## 9 Seznam obrázků

- Obrázek 1 – Podíl produkovaných emisí CO<sub>2</sub> podle jednotlivých druhů dopravy
- Obrázek 2 – Předpokládaný vývoj v počtu EV od roku 2018-2030
- Obrázek 3 – Mix energetických směsí
- Obrázek 4 – Malá krabička jménem power box může být ve spojení s elektromobilem záložním zdrojem energie na celý den
- Obrázek 5 - Koncepční uspořádání hnacího ústrojí elektromobilu
- Obrázek 6 - Konstrukce karoserie Audi e-tron
- Obrázek 7 - Umístění permanentních magnetů SPM a IPM u synchronních motorů
- Obrázek 8 - Základní schéma EV
- Obrázek 9 - Výměnná stanice o firmy NIO
- Obrázek 10 - Nabíjecí stanice se střídavým napětím AC
- Obrázek 11 - Nabíjecí stanice se stejnosměrným napětím DC
- Obrázek 12 - Druhy konektorů pro nabíjení EV
- Obrázek 13 - Bezdrátové (indukční) nabíjení baterie z podložky
- Obrázek 14 - Přípojný vozík s náhradní baterií (Nomadic Power)
- Obrázek 15 - Nabíjení EM prostřednictvím kurýra
- Obrázek 16 - Podíl paliv a technologie na výrobě elektřiny za rok 2018
- Obrázek 17 - Piliřové nabíjecí stanice pro několik EM
- Obrázek 18 - Solární nabíjecí stanice pro několik EM
- Obrázek 19 - Síťová nabíječka
- Obrázek 20 - Tesla Model 3
- Obrázek 21 – BMW i3 (120Ah)
- Obrázek 22 – Renault Zoe
- Obrázek 23 – VW e-Golf
- Obrázek 24 – Nissan Leaf
- Obrázek 25 – Škoda CITIGO iV
- Obrázek 26 – Hyundai IONIQ
- Obrázek 27 – Audi e-Tron
- Obrázek 28 – BMW i3 (120 Ah)
- Obrázek 29 – BMW i3s (120 Ah)
- Obrázek 30 – Renault Zoe Z.E 40 (R90)
- Obrázek 31 – Vytyčená trasa při měření
- Obrázek 32 – Nabíjecí stanice na území ČR
- Obrázek 33 – Nabíjecí stanice ve městě Neuwied

## 10 Seznam tabulek

- Tabulka 1 – Vyprodukované emise CO<sub>2</sub> podle jednotlivých druhů dopravy (v milionech tun)
- Tabulka 2 – Přehled pořizovacích cen elektromobilů EM
- Tabulka 3 – Největší trhy s elektromobily v Evropě
- Tabulka 4 – Srovnání provozních nákladů
- Tabulka 5 - Vztah úrovně vybíjení a životnosti z hlediska počtu cyklů nabíjení trakční baterie
- Tabulka 6 – Rozdělení nabíjecích stanic
- Tabulka 7 - Orientační doba nabíjení při použití konektorů
- Tabulka 8 – Přehled nejprodávanějších modelů EM a počet prodaných kusů na celém světě
- Tabulka 9 – Přehled nejprodávanějších modelů EM v Evropě za uplynulé roky 2017 a 2018
- Tabulka 10 – Přehled prodaných nových EM v ČR
- Tabulka 11 – Prodej sledovaných modelů EM za rok 2019 v ČR
- Tabulka 12 – Technické údaje Tesla Model 3
- Tabulka 13 – Technické údaje BMW i3 (120Ah)
- Tabulka 14 – Technické údaje Renault Zoe Z.E 40 (R90)
- Tabulka 15 – Technické údaje VW e-Golf
- Tabulka 16 – Technické údaje Nissan Leaf Acenta
- Tabulka 17 – Technické údaje Škoda CITIGO iV
- Tabulka 18 – Technické údaje BMW i3 (120 Ah)
- Tabulka 19 – Technické údaje BMW i3s (120 Ah)
- Tabulka 20 – Technické údaje Renault Zoe Z.E 40 (R90)
- Tabulka 21 – Technické údaje BMW i3 (22 kWh)
- Tabulka 22 – Technické údaje Renault Zoe (22 kWh)
- Tabulka 23 – Typy veřejných nabíjecích stanic
- Tabulka 24 – Srovnání cen nabíjení elektromobilů na nabíjecích stanicích
- Tabulka 25 – Nabíjení EM z domácí sítě
- Tabulka 26 – Nabíjecí stanice pro EM v Českých Budějovicích
- Tabulka 27 – Nabíjecí stanice pro EM v Pelhřimově
- Tabulka 28 – Vyrobena elektrická energie v ČR, v jednotlivých sektorech
- Tabulka 29 – ECO režim BMW i3 (120 Ah)
- Tabulka 30 – ECO režim BMW i3s (120 Ah)
- Tabulka 31 – ECO režim Renault Zoe Z.E 40
- Tabulka 32 – Přehled průměrných spotřeb energie  $E_s$  při jízdách režimech ECO a ECO +
- Tabulka 33 – režim COMFORT BMW i3 (120 Ah)
- Tabulka 34 – režim COMFORT BMW i3s (120 Ah)
- Tabulka 35 – režim COMFORT Renault Zoe Z.E 40
- Tabulka 36 – Přehled průměrných spotřeb energie  $E_s$  při jízdách režimu COMFORT a SPORT

- Tabulka 37 – režim COMFORT v plné zátěži BMW i3 (120 Ah)
- Tabulka 38 – režim COMFORT v plné zátěži BMW i3s (120 Ah)
- Tabulka 39 – režim COMFORT v plné zátěži Renault Zoe Z.E 40
- Tabulka 40 – Přehled průměrných spotřeb energie  $E_s$  při jízdním režimu COMFORT v plné zátěži
- Tabulka 41 – Přehled průměrných spotřeb energie  $E_s$  při jízdním režimu COMFORT v plné zátěži
- Tabulka 42 – Nabíjení EM na stanici AC o výkonu 22 kW
- Tabulka 43 – Nabíjení EM na stanici AC o výkonu 11 kW
- Tabulka 44 – Nabíjení EM na stanici DC o výkonech 100 a 135 kW
- Tabulka 45 – Náklady na 100 km provozu
- Tabulka 46 – Porovnání provozních nákladu EM a automobilu s klasickým spalovacím motorem
- Tabulka 47 – Porovnání servisních nákladu EM a automobilu s klasickým spalovacím motorem
- Tabulka 48 – Orientační doba nabíjení
- Tabulka 49 – Naměřené orientační doby nabíjení