

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta



Elektromobilita v praxi

Bakalářská práce

Vedoucí práce: Ing. Jakub Mařík, Ph.D.

Autor práce: Michal Hrudka

© 2021 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Michal Hrudka

Zemědělská specializace
Obchod a podnikání s technikou

Název práce

Elektromobilita v praxi

Název anglicky

Electromobility in practice

Cíle práce

Cílem práce je literární rešerše zabývající technicko-ekonomickým vyhodnocením provozu elektrovozidel.

Metodika

1. Úvod
2. Cíl práce
3. Přehled řešené problematiky
4. Závěr
5. Seznam použitých zdrojů
6. Přílohy

Doporučený rozsah práce

30-40 str. včetně obrázků, tabulek a grafů

Klíčová slova

elektrovozidlo, baterie, nabíjení

Doporučené zdroje informací

HROMÁDKO, J. Speciální spalovací motory a alternativní pohony : komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol. Praha: Grada, 2012. ISBN 978-80-247-4455-1.

Weiss, M., Zerfass, A., Helmers, E. (2019) Fully electric and plug-in hybrid cars – An analysis of learning rates, user costs, and costs for mitigating CO2 and air pollutant emissions. Journal of Cleaner Production, 212 (1478-1489)

Předběžný termín obhajoby

2020/2021 LS – TF

Vedoucí práce

Ing. Jakub Mařík, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra vozidel a pozemní dopravy

Elektronicky schváleno dne 29. 1. 2020

Ing. Martin Kotek, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 19. 2. 2020

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 16. 04. 2021

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Elektromobilita v praxi" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 12.5.2021

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval Ing. Jakubu Maříkovi, Ph.D. za konzultace a rady, které poskytl ke zpracování této bakalářské práce.

Abstrakt

Tato práce se zabývá elektromobilitou, která je v automobilovém průmyslu aktuálním tématem. První kapitola „Historie BEV“ popisuje historii elektromobilů. V druhé kapitole s názvem „Legislativa BEV“ jsou uvedeny legislativní a technologické překážky, kterým tato technologie musí čelit. Dále je zde popsána recyklace, bezpečnost, zpracování materiálů a také infrastruktura. Následující kapitola „Rozdělení BEV“ se věnuje základnímu popisu vlastností elektromotorů a baterií. Předposlední kapitola „Ekonomická stránka BEV“ řeší finanční náklady na pořízení a následný provoz elektromobilů. Porovnává ceny za nabíjení na veřejných dobíjecích stanicích, znázorňuje vývoj ceny baterií v předcházejících letech a upozorňuje na ekonomickou náročnost výměny baterie u bazarového elektromobilu. Poslední kapitola „Palivové články“ představuje možnou alternativní cestu k dekarbonizované osobní automobilové dopravě v podobě palivových článků. Popisuje překážky většího rozšíření automobilů s palivovými články, samotnou technologii, infrastrukturu a současná vozidla s tímto pohonem. Práce je ukončena závěrem, který shrnuje uvedené informace.

Klíčová slova: elektrovozidlo, baterie, nabíjení

Electromobility in practice

Abstract

This bachelor thesis aims to describe electromobility, which is up-to-date topic in automotive industry. First chapter „History of BEV“ is focused on history of electric cars. In the second unit „Legislation of BEV“ are named legislative and technological obstacles this technology has to face. Recycling, safety, materials processing and infrastructure are characterized further in this chapter. Next topic „Types of BEV“ is dividing electric cars by the type of a propulsion. Penultimate unit „Economic aspects“ summarises costs of a new electric car, its service and operative costs. Also charging prices of different providers are compared. Last chapter „Fuel cells“ is focused on technology of fuel cells and challenges manufacturers have to deal with before mass production of fuel cell vehicles.

Keywords: electrovehicle, battery, charging

Obsah

1. Úvod	1
2. Cíl práce.....	2
3. Historie BEV.....	3
4. Legislativa BEV.....	3
4.1. Jízdní cykly.....	3
4.1.1. NEDC.....	4
4.1.2. WLTP.....	5
4.2. Emise podle sektorů.....	6
4.3. Zdroje elektrické energie	7
4.4. Emisní zóny, omezení a zvýhodnění	8
4.4.1. Zvýhodnění v ČR	8
4.4.2. Zvýhodnění v zahraničí.....	8
4.5. Dobíjecí infrastruktura	9
4.6. Nabíjení doma.....	11
4.7. Materiály pro baterie a dopady jejich těžby.....	12
4.8. Recyklace a znovupoužití	13
4.9. Bezpečnost	13
5. Rozdělení BEV.....	15
5.1. Elektromotor.....	16
5.1.1. Střídavé elektromotory	16
5.1.2. Stejnosměrné elektromotory	17
5.2. Bateriové systémy.....	17
5.2.1. Baterie lithium-iontová	17
5.3. Porovnání současných elektrovozidel na baterie	17
6. Ekonomická stránka BEV	22
6.1. Ekonomické důsledky.....	22
6.2. Ekonomika provozu.....	23
6.3. Servisní náklady.....	24

6.3.1. Vývoj tržních cen	24
6.3.2. Provozní náklady	25
6.4. Ceny dobíjení ČR	25
6.5. Rozdíl v ceně mezi EV a spalovacím vozem	27
6.6. Bazarové elektromobily	28
7. Palivové články	28
7.1. Historie palivových článků	28
7.2. Infrastruktura	29
7.3. Výroba vodíku	29
7.4. Elektrická vozidla na palivové články	30
7.5. Funkce palivového článku	30
7.6. Typy palivových článků	31
7.7. Porovnání současných elektrovozidel na palivové články	31
8. Závěr	33
9. Bibliografie	34
10. Seznam obrázků	39

1. Úvod

Za desítky let od prvního masově vyráběného automobilu jsme si zvykli na veškeré pohodlí, které nám nabízí individuální automobilová doprava. Momentálně nás čeká jedna z největších proměn tohoto odvětví. Podpisem Pařížské dohody z roku 2015 se Česká republika společně s ostatními státy Evropské unie přihlásila ke snížení emisí skleníkových plynů. Pařížská dohoda zavazuje státy společně do roku 2030 snížit emise skleníkových plynů nejméně o 40 % ve srovnání s rokem 1990. Po několika letech menších změn v automobilovém odvětví dojde k jedné výrazné. Lidská činnost má i přes veškerý technický pokrok v 21. století velký vliv na životní prostředí. Cílem Pařížské dohody je tyto dopady minimalizovat. Velká část automobilů investovala značné prostředky do vývoje BEV (battery electric vehicle). Elektromobilita je proto dnes tématem číslo jedna v automobilovém průmyslu. Existuje všeobecné přesvědčení o splnění stanovených cílů elektrifikací dopravního sektoru.

Technologii, která existovala už u zrodu automobilu bude možné použít po více než 100 letech k dekarbonizaci tohoto oboru. Bateriové elektromobily jsou dnes nejrozšířenější technologií s čistým provozem. Mohou nám proto pomoci změnit automobilovou dopravu a posunout ji směrem k dlouhodobé udržitelnosti. V následujících letech bude potřeba zajistit značné investice na rozšíření infrastruktury. Společně s tím je důležité zajistit obnovitelné zdroje elektřiny, co možná nejčistěji zpracovávat materiály používané v bateriích a přesvědčit tak konečné spotřebitele o skutečném přínosu této změny pro životní prostředí nás všech. Pokles vysokých kupních cen usnadní uživatelům rozhodnutí pro čistou mobilitu. Odpůrci BEV nejčastěji argumentují právě vysokou vstupní investicí. Dále nedostatečnou infrastrukturou, pomalým nabíjením, které vede ke snížení komfortu a omezení dojezdu. V neposlední řadě pochybují o reálném přínosu životnímu prostředí. Bateriové elektromobily budou s nejvyšší pravděpodobností v budoucnu doplněny dalšími technologiemi, které nabídnou čistý provoz z hlediska emisí. Nejčastěji diskutované alternativy jsou palivové články, syntetická paliva a baterie využívající odlišné materiály od lithium-iontových. Překážkou palivových článků je především infrastruktura, konkrétně je třeba vyřešit výrobu, distribuci a skladování.

Cílem této práce je vytvořit rešerši o problematice elektromobility, poukázat na historický vývoj, nastínit legislativní a technické výhody i překážky, názorně rozdělit elektromobily podle různé kombinace pohonů a seznámit čtenáře s moderními vozidly s tímto pohonem.

2. Cíl práce

Cílem práce je porovnání výhod a nevýhod elektromobilů ve srovnání s automobily se spalovacím motorem a postavení elektromobilů na trhu. Dále poukázat na historický vývoj, nastínit legislativní a technické výhody i překážky, názorně rozdělit elektromobily podle různé kombinace pohonů a seznámit čtenáře s moderními vozidly s tímto pohonem.

3. Historie BEV

Dnes nejčastěji se vyskytující elektromobil s baterií (BEV Battery electric vehicle) není objevem 21. století, počátky automobilů s elektrickým pohonem sahají až k počátku samotného odvětví automobilů. Elektromobil se stal alternativou k vozidlům se spalovacím motorem. Na přelomu 19. a 20. století byla jeho hlavní výhodou jednoduchost ovládní, při startu se nemusel motor roztáčet klikou, vozidlo bylo velmi tiché a spolehlivé. Profesor Sibrandus Stratingh z Groningen již v roce 1835 navrhl malý elektromobil, který vyrobil jeho asistent Christopher Becker. [1]

V roce 1895 postavil svůj elektromobil i český vynálezce, technik a průmyslník František Křižík. Jednalo se o vozidlo poháněné stejnosměrným elektromotorem o výkonu 3,6 kW. Jeho druhý model disponoval dvěma motory, kde každý poháněl jedno zadní kolo, o celkovém výkonu 4,4 kW. Třetí vůz nebyl čistý elektromobil, ale hybrid, kombinoval spalovací motor, který nabíjel akumulátory a ty následně dodávaly energii dvojici elektromotorů. [1]

Na území USA v roce 1900 jezdilo více elektromobilů než vozů se spalovacím motorem, konkrétně v tomto roce bylo vyrobeno o třetinu více elektromobilů. Změnu v tomto trendu přivedla až sériová výroba modelu T americké značky Ford, který byl úspěšný především díky svému designu, jednoduchosti a spolehlivosti. V následujících desetiletích bylo od elektromobilů upuštěno. Zvýšení zájmu přinesla až ropná krize v roce 1965 a po dalších letech až současná politika s tlakem na snížení emisí produkovaných v dopravě. [1]

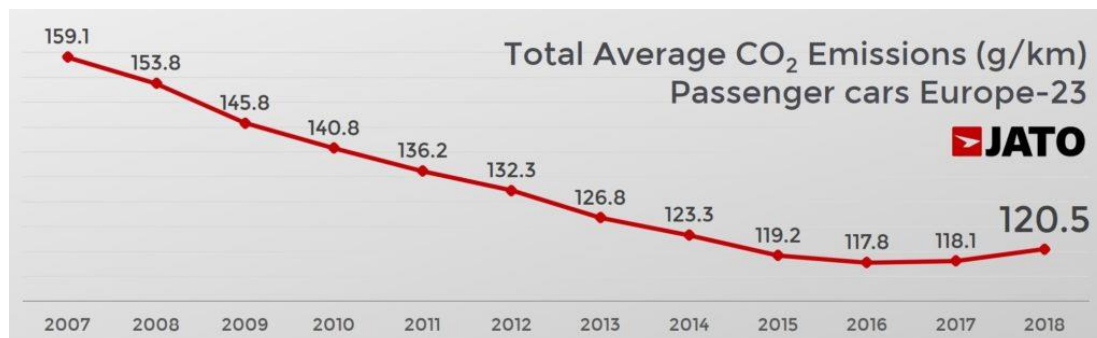
4. Legislativa BEV

4.1. Jízdní cykly

První omezení produkce emisí v automobilové dopravě bylo na evropském kontinentě zavedeno již v roce 1970. Evropská unie od roku 1992 zavádí emisní Euro normy, pomocí kterých se snaží snížit emise produkované v dopravě na svém území. Tyto normy jsou závazné a stanovují limitní hodnoty škodlivin ve výfukových exhalacích benzinových a naftových motorů pro motorová vozidla v závislosti hmotnosti škodliviny na ujeté vzdálenosti. Normy stanovují limity oxidu uhelnatého (CO), uhlovodíků (HC), oxidů dusíku (NO_x) a pevných částic (PM). [2]

Pomocí Euro norem je dlouhodobě kladen důraz na snižování emisí CO₂, které řadu let klesaly. V posledních letech, ale mírně stouply z důvodu zvýšené oblíbenosti vozů typu SUV, vyznačujících se větší hmotností a zákonitě vyšší spotřebou, a dále kvůli omezování vznětových motorů, které produkují méně CO₂. Nárůst průměrných emisí CO₂ v automobilové dopravě na území 23 Evropských zemí je vidět na přiloženém obrázku níže. K poklesu došlo pouze na území Nizozemí, Finska a Norska. [3]

Tato pravidla vedou automobilky k přechodu na částečně nebo i kompletně elektrické vozy. Hybridní pohon je použit především u větších automobilů SUV, vyšší střední třídy a dalších. Spalovací motory těchto vozů jsou doplněny o elektromotory s cílem snížit produkované



Obr. 1 Průměrné emise CO₂, 2007-2018

Zdroj: <https://www.jato.com/co2-emissions-rise-to-highest-average-since-2014-as-the-shift-from-diesel-to-gasoline-continues/>

emise. Hlavním problémem Euro norem je, že omezují pouze emise produkované motory a nezabývají se emisemi vznikajícími při výrobě baterií, paliv a elektřiny. Zmíněné problémy je potřeba také řešit a snažit se o využívání elektrické energie z obnovitelných zdrojů. V současné době se jedná pouze o přesouvání produkce emisí z hustě obydlených oblastí do okolí elektráren. Odpovědí by mohla být tzv. Zelená dohoda neboli Green deal, představená roku 2019, ta stanovuje cíl dosáhnout do roku 2050 uhlíkové neutrality, a mohla by tak být odpovědí na uvedené problémy. [4]

Evropská komise v dubnu 2021 rozhodla o úpravě nové emisní normy Euro 7. Její podoba měla výrazně upravit množství emisí, které moderní vozy vypouští do ovzduší. V praxi ale hrozilo až příliš velké omezení vozů se spalovacím motorem a následně zvýšení těchto emisí. Důsledkem prosazování elektromobilů by pravděpodobně došlo k prodloužení provozu starších automobilů z důvodu vysoké pořizovací ceny BEV. Původní myšlenka normy by se tak minula účinkem a ve skutečnosti by mohlo dojít naopak k růstu produkovaných emisí. Řešením by se také mohla stát syntetická paliva. Tato paliva by mohla v budoucnu rozhodnout o přežití spalovacích motorů. Problémem z hlediska emisí není samotný motor, ale používané palivo. Výhodou syntetických paliv je využití současné infrastruktury a automobilů. Z hlediska emisí by došlo k výrazné úspoře především při výrobě. [5]

4.1.1. NEDC

Cyklus NEDC (New European Driving Cycle) byl zaveden v roce 1970 a aktualizován naposledy v roce 1997. Tento jízdní cyklus byl často kritizován, především proto, že podmínky reálného provozu pouze simuloval. Jednalo se o velmi krátký cyklus, prováděný v omezeném

teplotním rozmezí a obsahoval příliš dlouhé akcelerace, které neodpovídají běžnému provozu. V rámci tohoto cyklu byla testována pouze jedna specifikace vozidla v dané modelové řadě a výrobci se snažili podmínky co nejvíce upravit ve svůj prospěch, například využitím pneumatik s velmi nízkým valivým odporem, jejich přefouknutí nad doporučené hodnoty pro snížení valivého odporu. Naměřené hodnoty se tak velice odchylovaly od skutečných hodnot. [6]

Cyklus se skládá ze dvou částí. První část v délce 780 sekund se nazývá UDC (Urban Driving Cycle) a má za úkol simulovat městský provoz s častým zastavováním a s využitím prvních tří rychlostních stupňů, během měření se čtyřikrát opakuje. Druhou částí trvající 400 sekund je EUDC (Extra Urban Driving Cycle), který provádí měření ve vyšších rychlostech, simulovaný provoz vozu by se dal popsat jako mimoměstský na dálnicích či rychlostních silnicích. [7]

4.1.2. WLTP

WLTP (Worldwide Harmonized Light Duty Test Procedure, v překladu celosvětově odsouhlasený testovací standard měření pro lehká užitková vozidla) je norma pro kontrolu a omezení vypouštěných emisí lehkými užitkovými vozidly. V Evropské unii byla zavedena v září roku 2017. Norma stanovuje spotřebu a výkonnost referenčního vozidla, má lépe nastavené testovací parametry, ve srovnání s přecházející normou NEDC, které více odpovídají skutečnému provozu vozidla. V porovnání s dříve používanou normou NEDC byly prokázány minimální průměrné rozdíly mezi emisemi CO₂. [6]

Díky datům nasbíraným ve skutečném provozu je možné simulovat v laboratorních podmínkách skutečné situace a reálný provoz. Zpřesnění měření je dosaženo, nejen započítáním různých situací a rychlostí v silničním provozu, ale také uvažováním různých výbav a různých



Obr. 2 Automobil s RDE testovací aparaturou v provozu

<https://autobible.euro.cz/nove-metodiky-mereni-wltp-rde-reforma-vyhodou-zakazniky/>

ných hmotnostních tříd automobilů. Při testu RDE (Real Driving Emission test) vozidlo absoluje skutečnou jízdu s aparaturou na měření škodlivin, jak je vidět na obrázku. [6]

4.2. Emise podle sektorů

Největší výhodou elektrických vozidel je eliminace oxidů dusíku NO_x a pevných částic z výfukových plynů automobilů s vnitřním spalováním. Přestože současné technologie dokáží tyto emise snížit na úplné minimum, jejich odstranění by bezesporu zlepšilo městské ovzduší v nejednom velkoměstě. Nejvíce sledovanou složkou emisí jsou plyny způsobující takzvaný skleníkový efekt. Největší zastoupení mezi nimi má oxid uhličitý CO₂. Oxid uhličitý je přirozenou součástí atmosféry a v běžných množstvích není zdraví škodlivý. Drtivá většina CO₂ pochází z přírodních zdrojů a pouze 3 až 5 % z lidské činnosti. Největší část je produkována při výrobě elektrické energie a na dopravu připadá přibližně 1/5 až 1/4 a z toho přibližně 3/4 jsou tvořeny silniční dopravou. Údaje z jednotlivých zdrojů se liší, ale automobilová doprava je zodpovědná pouze za zlomek procenta z celkové produkce CO₂ ve světě. Evropa se na této sumě podílí pouze 15 %. Na obrázku jsou zobrazena data emisí skleníkových plynů v České republice za rok 2018 detailně podle sektorů a jednotlivých konkrétních zdrojů. [4]

EMISE SKLENÍKOVÝCH PLYNŮ V ČR PODLE SEKTORŮ DETAILNĚ

Celkové emise ČR za rok 2018



Obr. 3 Emise skleníkových plynů v ČR podle sektorů v roce 2018

Zdroj: <https://faktaoklimatu.cz/infografiky/emise-cr-detail>

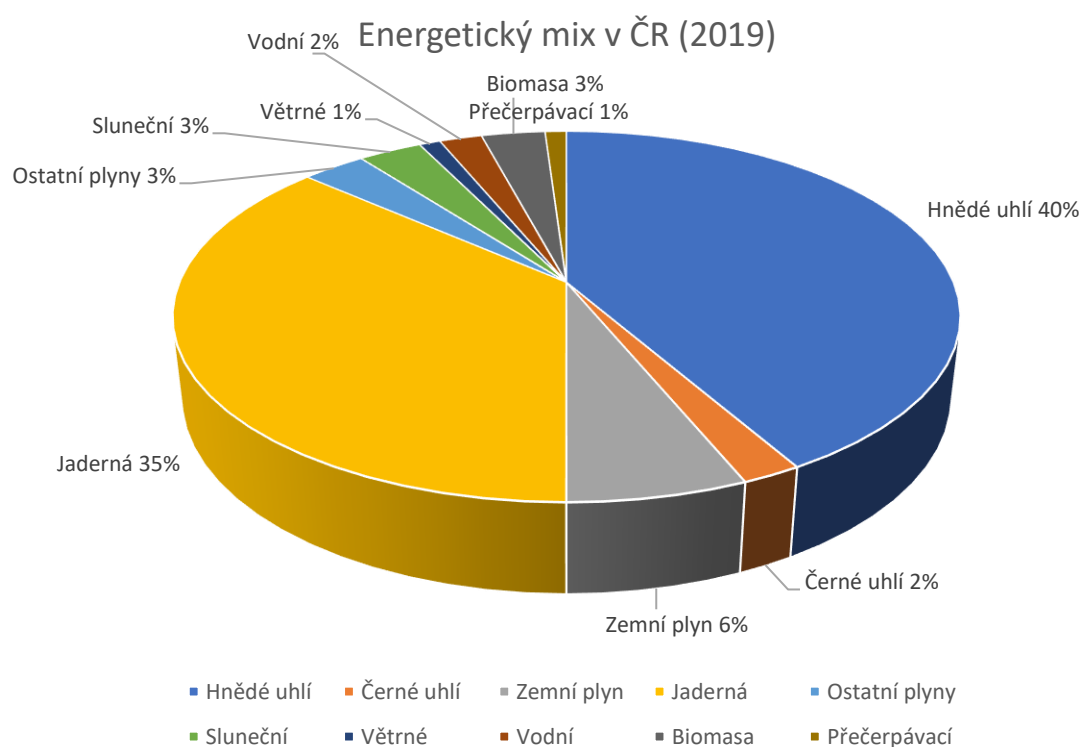
Provoz elektromobilů ve stejném množství vozidel jako je dnes v ČR vozů s vnitřním spalováním by si vyžádal 20 000 000 MWh [4] elektrické energie. Za současného energetického mixu v České republice, kdy se skoro polovina elektrické energie vyrobí spalováním uhlí

by nedošlo k výraznému vlivu na životní prostředí. Dosažení cíle, který si stanovily vlády zemí Evropské unie by se tím nedosáhlo. To neplatí obecně a například ve Švýcarsku nebo v Norsku by skutečně došlo ke snížení emisí CO₂ díky velkému podílu elektrické energie z vodních elektráren. Podobně by na tom byla Francie, vyrábějící 3/4 elektřiny z jaderných zdrojů, ale na druhé straně Polsko nebo Čína by přechodem na elektromobilitu produkci emisí naopak navýšily, vlivem velkého množství uhelných elektráren. Při dalším rozšiřování elektromobilů je proto potřeba brát ohled na elektrické zdroje, aby došlo ke skutečnému snížení emisí a nejen k přemístění jejich zdroje. [4]

4.3. Zdroje elektrické energie

S rostoucím množstvím elektromobilů s bateriemi bude potřeba zvýšit množství vyrobené elektrické energie. Při pohledu na energetický mix v ČR je snadno patrné, že většina vyprodukované elektřiny pochází z uhelných a jaderných elektráren. V případě České republiky by při obměně automobilů se spalovacím motorem za elektromobily došlo pouze k přesunutí produkce emisí ze silnic do elektráren.

Pro skutečně obnovitelnou dopravu je potřeba odklonit se od neekologických k obnovitelným zdrojům elektrické energie. V současné době tvoří obnovitelné zdroje energie v ČR zanedbatelné množství produkce. K opravdovému snížení emisí produkovaných u nás je třeba



Graf 1 Energetický mix v ČR

Zdroj dat: <https://vytapani.tzb-info.cz/provoz-a-udrzba-vytapani/17112-emise-co2-a-jejich-dopad-na-hodnoceni-zdroju-v-budovach>

změna v energetickém mixu směrem k obnovitelným zdrojům. Kapacita vodních elektráren je již vyčerpána, proto bude potřeba využít energii z biomasy, větrných a slunečních elektráren. Sporná z hlediska ekologie je energie z jádra, přesto se v budoucnu počítá s navýšením její produkce, hlavně jako pokrytí výpadku vzniklého uzavřením uhelných elektráren. [4]

Větrné elektrárny mají obecně uznávanou účinnost 20 %. Větrná farma schopná vyrobit dostatečné množství elektřiny pro veškeré elektromobily v ČR, by v případě použití turbíny Vestas V90 s instalovaným výkonem 2 MW a průmětem rotoru 90 m, čítala 5640 turbín. Dodržením doporučených bezpečných rozestupů by byla zastavěna plocha cca 4500 km², to je pro představu rozloha Pardubického kraje. Jednalo by se tak o největší větrnou elektrárnu na světě, ta současná se rozkládá na ploše 150 km². [4]

4.4. Emisní zóny, omezení a zvýhodnění

4.4.1. Zvýhodnění v ČR

Rozšiřováním výroby elektromobilů dosahují výrobci takových úspor, že prostředky investované do technologií se jim začínají vracet, a proto může cena elektromobilů začít pomalu klesat. Největší mediální pozornost má automobilka Tesla, u které je možné v posledních několika letech sledovat snížení pořizovacích cen jejích elektromobilů.

Vozy s ekologickým pohonem se snaží prosadit i vlády jednotlivých zemí, především proto aby dosáhly snížení produkce CO₂ neboli oxidu uhličitého, který je v dopravě tématem číslo jedna. V posledních letech, kdy se řeší dopad skleníkových plynů na globální oteplování se více a více států zavazuje ke snížení produkce emisí. Každá země volí jiné nástroje, jak dosáhnout vyššího prodeje automobilů s ekologickým pohonem.

V České republice se jedná především o ekonomické zvýhodnění provozu elektromobilů, vozů s pohonem na zemní plyn a hybridů. Elektromobil je například osvobozen od poplatku za dálniční známku, v některých městech je umožněno elektrickým vozům a hybridům parkování zdarma v placených zónách. Stále častěji se mluví o zavedení tzv. nízkoemisních zón ve městech, které česká legislativa umožňuje, ale zatím k tomu žádné městské zastupitelstvo nepřistoupilo. Přímé státní dotace na nákup vozidel je v České republice umožněno čerpat pouze firmám. [8]

4.4.2. Zvýhodnění v zahraničí

Nejllepší přístup pro rozšíření elektromobilů na svém území zvolilo nepochybně Norsko. V roce 2020 přesáhl počet nově registrovaných elektromobilů 50 % hranici. Za takovým úspěchem stojí nejen zvýhodnění ceny elektromobilu, ale také větší daňové zatížení automobilů s konvenčním pohonem. Je proto logické, že se elektromobily prodávají v tak velkém množ-

ství, neboť cena elektromobilu je ve výsledku nižší než u podobného vozu se spalovacím motorem. [9]

Mezi další velké podporovatele elektromobility se řadí například Německo, pro které je to zároveň podpora velké části ekonomiky tvořené automobilkami. Německý zákazník si může při nákupu zažádat o dotaci v řádu několika tisíc eur. Podmínkou je maximální cena, ta nesmí překročit částku 40 tisíc euro. Navíc na elektromobily platí o 3 % nižší sazba daně z přidané hodnoty. V Německu jsou také zavedeny emisní zóny ve většině velkých měst, s omezením vjezdu starších vozů do centra. Podobné zvýhodnění nabízí další evropské státy, např. Francie nebo Velká Británie. [10]

4.5. Dobíjecí infrastruktura

Splnění cílů o uhlíkové neutralitě, které si stanovila Evropská unie do roku 2050 počítá s velkým rozšířením elektromobilů a nahrazením vozidel se spalovacím motorem. Pro bezproblémový provoz na větší vzdálenosti však bude potřeba zajistit dostatek nabíjecích stanic stejně, jako je tomu v současné době u čerpacích stanic.

Momentálně staví dobíjecí infrastrukturu především poskytovatelé elektrické energie, v tuzemsku například ČEZ, E.ON, PRE, dále také výrobci automobilů, Tesla nabízí na delší vzdálenosti svou síť Superchargerů. Automobilky BMW, Daimler, Ford, Volkswagen a Hyundai-Kia založily konsorcium IONITY, jehož cílem je vybudovat síť nabíjecích stanic, která bude nejen konkurovat Superchargerům od Tesly, ale dokonce je v rychlosti nabíjení překoná. Dobíjecí stanice IONITY, kterých je zatím postaveno 200, v Česku jsou zatím čtyři, umožňují dobíjet příkonem až 350 kW. Pro srovnání nejběžnější nabíječky umožňují 50 kW, Tesla Supercharger 150 kW. Takto vysoký příkon umožňuje nabíječe IONITY dobít akumulátor elektromobilu na 400 km přibližně za 20 minut. Při plném obsazení stanice a dobíjení plnou rychlostí dojde k velkému zatížení nejen na samotnou stanici, ale také na přenosovou soustavu. U nabíjecích stanic společnosti Tesla dochází při obsazení dvou sousedících míst pro nabíjení ke snížení dobíjecí rychlosti vlivem zatížení. [11]

Z hlediska rychlosti dobíjení lze nabíječky rozdělit do třech skupin [12]:

- a) Pomalé, s výkonem 3 - 11 kW
- b) Standardní, s výkonem do 22 kW
- c) Rychlé, s výkonem vyšším než 22 kW

Rychlost dobíjení stejně jako u baterií například v notebooku nebo chytrém telefonu ovlivňuje také dobíjecí charakteristika. Pohledem na rychlosti nabíjení lze snadno usoudit, že baterii o kapacitě 44 kWh při nabíjení 22 kW nabíječkou nabije za 2 hodiny. Zde vstupuje ke slovu právě dobíjecí charakteristika. Baterie se nabíjí maximálním výkonem pouze za předpo-

kladu, že její kapacita je ideálně mezi 20 - 80 % a je zahřátá na vhodnou teplotu. Palubní navigace u moderních elektromobilů nabízí chytrý výpočet zastávek pro nabíjení, tak aby doba strávená u nabíječky byla co nejkratší. Přitom bere v potaz i teplotu baterie a její předpokládanou kapacitu. [12]

Připojení vozidla k nabíjecí stanici je řešeno pomocí kabelů s různými konektory neboli standardy. Tyto konektory se liší, a aby se předešlo roztržštění nabíjecích stanic podle typu konektoru, vydala Evropská unie směrnici 2014/94/EU, která uděluje povinnost nově vznikajícím stanicím použít typy Mennekes Type 2 a Combo II. [12]



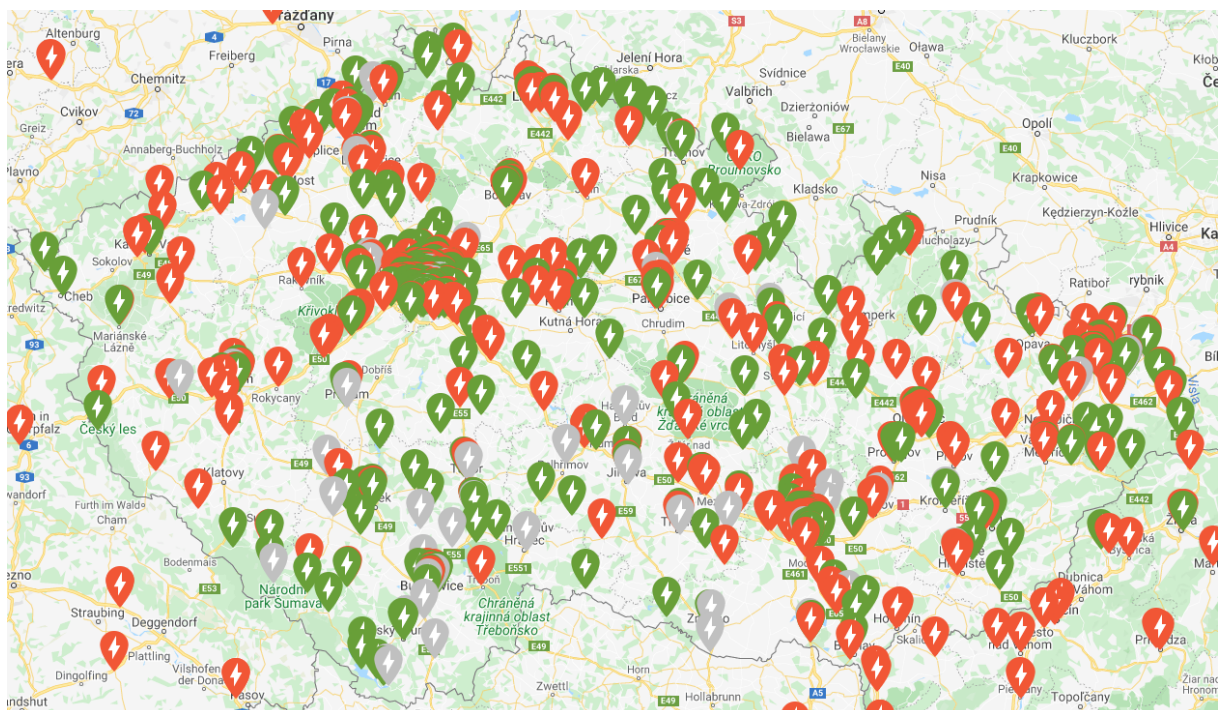
Obr. 4 Combo II

Zdroj: <https://electriccarhome.co.uk/charging-points/charging-point-connector-types/>



Obr. 6 Mennekes Type 2

Zdroj: <https://www.evexpert.cz/eshop/znalostni-centrum11/typy-konektoru-pro-nabijeni-ev-ve-svete>



Obr. 5 Mapa nabíjecích stanic ČR

Zdroj: <https://fdrive.cz/mapa-nabijecich-stanic/>

Počet veřejných nabíjecích stanic v České republice roste velmi pomalu. K prosinci roku 2020 fungovalo na území ČR 808 nabíjecích stanic pro elektromobily a mnoho z nich neumožňuje rychlé nabíjení. V celoevropském žebříčku se Česko nachází na konci spolu se Slovenskem, Maďarskem, Polskem, kdy ze všech nabíjecích stanic v Evropě je u nás pouze 0,4 %. Nízký počet nabíjecích stanic je ovlivněn především malým zastoupením elektromobilů ve firmenních vozových parcích a v soukromém vlastnictví. Provozovatelům nabíjecí stanovišť se proto z ekonomického hlediska nevyplatí stavět hustší síť. Bateriové elektromobily zde tvoří jen 4 %, oproti cca 16 % v ostatních zemích EU. Přibližně 75 % ze všech nabíjecích stanic v Evropě se nachází na území pouze čtyř států, Německa, Velké Británie, Nizozemí a Francie. Počet prodaných elektromobilů v EU se sice za roky 2017, 2018 a 2019 zvýšil o 110 %, počet vybudovaných nabíjecích stanic vzrostl jen o cca 60 %. Většina veřejných stanic podle statistik ne disponuje možností rychlého nabíjení a využívá pouze standardní rychlost 22 kW. [13]

4.6. Nabíjení doma

Elektromobil lze dobíjet i z domácí zásuvky se střídavým napětím. To bude pravděpodobně v budoucnu, kdy dojde k většímu rozšíření BEV, nejčastěji využívaná možnost doplnění energie do akumulátoru. Po návratu domů z práce se elektromobil dobije přes noc pomalu ale za to levně a ráno bude připraven k jízdě na další den. Případně mohou některé firmy nabídnout dobíjení elektromobilů na pracovišti, např. v podzemních garážích.

Využití tohoto řešení s sebou ovšem nese i jisté nevýhody. Dobíjecí kabel musí být doplněn o redukci, protože pro elektromobily nejsou standardem jednofázové a třífázové zásuvky. Je potřeba také zajistit dodatečné jištění na přívodním kabelu z důvodu několikahodinového namáhání zásuvky. V běžné domácí zásuvce s fázovým napětím 230 V bývá maximální protékající proud omezen na 16 A, a proto je nejvyšší teoreticky možný nabíjecí výkon 3,7 kW, v praxi bývá zhruba 3 kW. Automobiloví výrobci a i další společnosti nabízejí stanice pro domácí nabíjení tzv. „wallboxy“. Tato nástěnná dobíječka má mnoho výhod, mezi které patří sledování vytíženosti domácí elektrické sítě a podle toho uzpůsobuje čas a výkon nabíjení. Dále je to automatické nabíjení v čase s nižšími tarify, čerpání energie z úložišť vlastní solární elektrárny, ale nejdůležitější je urychlení nabíjení díky vyššímu maximálnímu výkonu. [12]



Obr. 7 Wallbox Škoda

Zdroj: <http://www.hybrid.cz/skoda-wallbox-iv-powerpass-umoznuji-pohodlne-nabijeni-elektromobilu>

Distributoři elektřiny dnes již nabízejí speciální distribuční sazbu D27d pro dobíjení elektromobilu v domácnosti se sníženou cenou za odběr elektřiny. Jedná se o dvoutarifovou sazbu, pro kterou platí nízký tarif 8 hodin denně v době od 18 hodin do 8 hodin ráno. Konkrétní čas čerpání se liší pro jednotlivé domácnosti. Tímto způsobem je možné dosáhnout dalšího snížení nákladů na provoz elektromobilu. [14]

4.7. Materiály pro baterie a dopady jejich těžby

Jednotlivé vlády ve světě začínají oznamovat, kdy dojde na území jejich státu k zákazu prodeje automobilů s vnitřním spalováním. Velká Británie plánuje tento zákaz uplatňovat od roku 2030, v Evropské unii se mluví o roku 2035, v Kanadě o roku 2040. Důvodem tohoto zákazu je ekologie. Již určitou dobu víme, že člověk má velký negativní vliv na přírodu kolem sebe. Otázkou ovšem zůstává, jestli rychlý přechod k elektromobilům bude mít požadovaný efekt na životní prostředí. [15]

Výroba akumulátorů je velmi energeticky a materiálně náročná. Dnes nejčastěji používaná Lithium iontová baterie obsahuje několik prvků, které se momentálně těží v různých zemích. Demokratická republika Kongo a Chile jsou největší producenti kobaltu a lithia na světě a zároveň největší dodavatelé do EU. Čína je největším světovým dodavatelem grafitu a vzácných zemin, které se používají při výrobě motorů s permanentními magnety. Pro dodržení stanovených cílů bude Evropská unie v roce 2030 potřebovat osmnáctkrát více lithia a pětkrát více kobaltu, v roce 2050 to bude dokonce šedesátkrát více lithia a patnáctkrát více kobaltu než kolik potřebuje dnes. V momentě, kdy bude poptávka po těchto materiálech celosvětově růst nelze počítat s dostatečnou nabídkou nebo dokonce klesající cenou baterií při současné úrovni těžby. Evropská unie bude muset v nadcházejících letech snížit svou závislost na několika málo státech a rozšířit a zajistit si bezpečné dodávky těchto materiálů. Naleziště kobaltu jsou také v Kanadě nebo v dalších afrických státech. Lithium se těží ve Velké Británii, naleziště grafitu jsou v Norsku a ve Švédsku. Naleziště niklu, dalšího důležitého prvku do akumulátorů, se nachází v Kanadě. [16]

V neposlední řadě se většina těchto materiálů převáží do Čínské lidově demokratické republiky ke zpracování z důvodu nízké ceny elektřiny. Elektřina ke zpracování se vyrábí v uhelných elektrárnách, což má další negativní dopad na ekologičnost celého procesu výroby baterií. Světoví politici momentálně vidí především pozitiva elektromobilů a před negativy zavírají oči a neřeší je. Tím si můžeme do budoucna vytvořit problémy například v nedostatečné přenosové síti, před kterými varuje už i sám velký propagátor elektromobility Elon Musk. [16]

4.8. Recyklace a znovupoužití

Používané akumulátory obsahují velké množství materiálů, které je možné recyklovat a znovu použít. Na začátku většího rozšíření těžby těchto materiálů by mohlo znovupoužití předejít nedostatku materiálů na výrobu baterií pro rostoucí segment elektrovozidel. V dlouhodobém výhledu se odhaduje, že je na Zemi dostatek lithia, pokud budou lithium-oxidové baterie recyklovány. V současné době se recykluje 5 % li-ion baterií ve srovnání s více než 99,5 % olovených akumulátorů. Recyklace by také mohla přispět ke snížení cen materiálů. [17]

Baterii v elektromobilu je třeba vyměnit ve chvíli, kdy její kapacita poklesne na 70 % původní kapacity. Takovou baterii je ale stále možné využít například jako úložiště elektrické energie v domácnosti ve spojení s domácí solární elektrárnou. Domácí systém s baterií je možné využít pro dobíjení přes den levnou noční elektřinou, která se přes noc uloží v akumulátoru. Ve světě vznikají iniciativy zasazující se právě o takové využití baterií a i firmy se začínají soustředit na aplikaci tohoto řešení. [18]

4.9. Bezpečnost

Výskyt bateriových elektromobilů začíná na silnicích významně růst, společně s tím roste i počet nehod. U BEV je baterie zdrojem energie nejen pro pohon vozu, ale také pro oheň. Nehoda ve vysoké rychlosti může vést k poškození battery packu a následnému vznícení, dalším rizikem je požár zaparkovaného vozu při nabíjení. Požáry jsou stále málo prozkoumaným problémem elektromobilů, a to především z důvodu vysokých nákladů. [19]

Obecně lze říci, že čím je vyšší počet článků a čím je větší kapacita baterie, tím větší je riziko požáru. Dnes používané lithium-iontové baterie se vyznačují vyšším rizikem požáru ve srovnání s dříve používanými nikl-kadmiovými (NiCd), olovenými akumulátory a nikl-metal hydridovými akumulátory (NiMH). Konstrukce moderních vozů jsou navrženy s ohledem na bezpečnost baterie, která se tak nachází v nejméně vyztužené části vozidla. Riziko poškození ale stále zůstává, zvláště z důvodu nehod ve vysokých rychlostech, které jsou dnešní elektromobily schopné vyvinout ve velice krátkém čase. [19]

V roce 2016 došlo k požáru vozu Tesla Model S během nabíjení. Vyšetřování odhalilo, že za vznik požáru mohla chyba v nabíjecím zařízení uvnitř vozu. Z tohoto místa se požár rychle rozšířil po celém voze, z kterého nakonec zbyly jen trosky, jak je vidět na obrázku. Další Teslu



Obr. 8 Trosky po požáru Tesly Model S, rok 2016

Zdroj: <https://www.teslarati.com/tesla-short-circuit-cause-for-model-s-norway-fire/>

















Model S zachvátil požár po nehodě s kovovými troskami na silnici. Došlo k proražení baterie skrz podvozek což následně vedlo k požáru. Systém vozidla problém hned objevil a vyzval řidiče k zastavení vozu. Automobilka tuto slabinu již odstranila zpevněním krytu baterie. [19]

Příčin vznícení baterie je několik. Baterie obsahuje mnoho látek s různými vlastnostmi z hlediska možného vznícení. Elektrody jsou tvořeny látkami s velkým podílem chemicky vázaného kyslíku, který podporuje hoření. Materiály záporných elektrod jsou vysoce hořlavé a často na vzduchu samozápalné. K požáru může dojít z důvodu nadměrného proudového zatížení a to jak při nabíjení tak při vybíjení, přehřátí a nebo mechanického poškození vedoucího k vnitřnímu zkratu. Hašení velkých baterií je málo prozkoumaná oblast. Pro uhašení se používají chemické látky jako je například oxid uhličitý, požár lze s jeho pomocí dostat pod kontrolu ale nedojde k ochlazení baterie a zabránění dalšího vznícení. Hašením za pomoci vody je možné docílit potlačení požáru i ochlazení baterie. Pokud po požáru zůstane část baterie nevyhořelá, zvyšuje se tím riziko dalšího samovznícení. Předejít mu lze tak, že se nechá celá baterie dohořet, takový postup však není vhodný na parkovištích nebo v hustě zastavěných oblastech, kde může dojít k zapálení dalších objektů a nebo zamořením oblasti spalinami. Často se proto používá kontejner s vodní lázní, do které se automobil po uhašení ponoří na několik dní, aby došlo k potlačení možnosti samovznícení na minimum. [19]

5. Rozdělení BEV

Elektromobil je rozsáhlý pojem, který zahrnuje několik konfigurací automobilů využívajících elektromotor. Základní druhy jsou EV (electric vehicle) neboli česky elektromobil, HEV (hybrid electric vehicle) neboli hybrid a FCEV (fuel cell electric vehicle) což je elektromobil s palivovým článkem dnes téměř výhradně na vodík. BEV (battery electric vehicles) používají k pohonu jeden nebo více elektromotorů a energii získávají z baterie, nejčastěji umístěné v podlaze, která se dobíjí z rozvodné sítě. Elektromotor může během jízdy rekuperovat a dobíjet tak baterii. Rekuperace v principu funguje tak, že při jízdě začne elektromotor fungovat jako generátor a převádí mechanickou energii na elektrickou. Rekuperace se využívá při brždění pro prodloužení dojezdu. Výrobci elektromobilů ji využívají s různou intenzitou. [20]

Hybridy se odlišují kombinací motorů. Využívají elektromotor v různém spojení se spalovacím motorem. Hybridy lze dělit podle dvou hledisek. Prvním je uspořádání hnacího ústrojí na sériový, paralelní a kombinaci obou. Sériový hybrid využívá k pohonu výhradně elektromotor, který čerpá energii z baterie a je doplněn o motor spalovací, sloužící k dobíjení baterie. Toto uspořádání se hodí především do města, z důvodu nízkých emisí a efektivity elektromotoru v městském provozu při častém rozjíždění. Dalším typem je paralelní hybrid. Paralelní hybrid může využívat jako hlavní motor čistě spalovací nebo pouze elektromotor a dokáže

	 KONVENČNÍ	 HYBRID	 PLUG-IN HYBRID	 ELEKTRICKÉ
ZDROJ ENERGIE				
SPOTŘEBA				
EMISE				

Obr. 9 Dělení hybridů podle stupně hybridizace

Zdroj: <https://www.skoda-storyboard.com/cs/e-mobilita-cs/druhy-elektromobilu-znate-je-vsechny/>

mezi nimi průběžně efektivně přepínat. Jeho výhodou je větší efektivita při vyšších rychlostech, například na dálnici. Posledním typem hybridu je kombinace paralelního a sériového, ten využívá výhody obou již zmíněných. [20]

Další dělení hybridů je podle stupně hybridizace na micro, mild, full a plug-in hybridy. Micro hybrid využívá systém Start/Stop, funkci rekuperace brzděné energie a tato energie dobíjí 12V akumulátor, tím snižuje spotřebu paliva spalovacího motoru a zároveň produkci emisí CO₂. Mild hybrid je rozvinutější než micro hybrid a na rozdíl od něj už disponuje elektromotorem, větší baterií a vyšší schopností rekuperace. O pohon se stále stará spalovací motor, elektromotor jej pouze doplňuje a pomáhá například při rozjíždění nebo při zrychlení. Důsledkem je větší snížení emisí CO₂. Full hybrid je již schopen jízdy pouze na elektřinu, díky elektromotoru a větší baterii. Není ale vybaven možností nabíjení baterie ze sítě, energii v baterii lze doplnit pouze rekuperací nebo zapojením spalovacího motoru. Plug-in hybrid se od full hybridu liší hlavně možností nabíjení akumulátoru ze sítě, dále větší baterií a vyšším dojezdem čistě na elektřinu, v praxi se jedná až o 50 km. Výhodou je možnost čistého provozu na území měst, nejnižší spotřeba paliva, a zároveň produkce emisí CO₂ ze všech druhů hybridů. [20]

5.1. Elektromotor

Elektromotor je v technice stroj, který přeměňuje elektrickou energii na mechanickou. Většina elektromotorů funguje za použití vzájemného silového působení magnetického pole a elektrického proudu procházejícího cívkou. Výsledkem je točivý moment přenášený na poháněné zařízení. Motory ke svému pohonu využívají stejnosměrný nebo střídavý proud přiváděný z baterií, elektrických rozvodů nebo z generátoru. Při srovnání se spalovacím motorem vycházejí elektrické motory jako lehčí, menší, jednodušší, levnější, efektivnější a vykazují vysokou efektivitu v celém rozsahu otáček. Přestože elektromotory byly u vzniku automobilů, vzhledem k problému se zdrojem elektřiny, v podobě velkých a těžkých akumulátorů, dosud nejsou moc rozšířené. [7]

Ve srovnání se spalovacím motorem má mnohem menší rozměry a díky tomu je možné umístit elektromotor přímo na nápravu. Objevily se i pokusy o zakomponování do nábojů kol, to se ale ukázalo jako nevhodné řešení, z důvodu příliš velkého množství neodpružené hmoty. [7]

5.1.1. Střídavé elektromotory

Jak je z názvu patrné pracují na střídavé napětí. Protože jako zdroj energie jim slouží akumulátor na stejnosměrný proud je potřeba za použití měniče, přesněji střídače, měnit stejnosměrný proud na střídavý. Použití měniče je důvodem proč se střídavé elektromotory používají až v posledních dvou desetiletích. Rozměry střídačů do té doby nedovolovali jejich umístění do osobních automobilů. Z použití střídavého motoru vyplývá další, dnes již často využívaná, technologie rekuperace. Rekuperace zjednodušeně znamená převod brzděné energie na energii elektrickou, která se uloží do akumulátorů a prodlouží se tak dojezd elektromobilu. [7]

5.1.2. Stejnosměrné elektromotory

Zdrojem energie pro stejnosměrný motor je stejnosměrný proud. Základem konstrukce je stator a rotor. Pro nutný kontakt mezi státorem a rotorem se používají kartáče. Jejich použití ale zvyšuje náklady na údržbu, v porovnání se střídavým motorem. Stejnosměrný motor má nižší účinnost než střídavý a výrobci automobilů ho v dnešní době používají pouze výjimečně. [7]

5.2. Bateriové systémy

Akumulátor je v bateriovém elektromobilu klíčovou a zároveň problematickou komponentou. Ve snaze přiblížit dojezd elektrických vozidel konvenčním vozidlům se spalovacím motorem je jejich kapacita navyšována. S rostoucí kapacitou, ale zároveň rostou i nežádoucí vlastnosti akumulátoru, hmotnost a rozměry. Rozměry dnešních akumulátorů jsou již velmi limitující. Nejčastěji je baterie uložena v podlaze vozu její rozměry jsou proto omezeny rozměry vozidla. Umístění v nízkém těžišti částečně řeší velkou hmotnost baterie a snižuje vliv na ovladatelnost vozu.

5.2.1. Baterie lithium-iontová

Lithium-iontová baterie je dnes nejrozšířenější typ baterie. Vlastnosti tohoto typu baterie byly oproti technologiím NiCD a NiMH vylepšeny. Bylo dosaženo významného snížení hmotnosti o 50 %, snížení samovybíjení, zvýšení životnosti v počtu cyklů a téměř zcela byl odstraněn takzvaný paměťový efekt. Nevýhodou Li-ion článků je dosažení nižších vybíjecích proudů oproti předešlým Ni článkům. Katoda tohoto článku je vyrobena z oxidu kovu, anoda je z uhlíku. Elektrolyt je tvořen lithiovou solí v rozpouštědle. Tyto články jsou vybaveny čipem řídicím nabíjení a vybíjení. Li-ion články se dělí podle použitých aktivních prvků. Mezi zástupce se řadí: LCO (Lithium Cobalt Oxide), LMO (Lithium Manganese Oxide, použit v Nissanu Leaf), NMC (Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide) nebo NCA (Lithium Cobalt Aluminium Oxide, používaný společností Tesla). [7]

5.3. Porovnání současných elektrovozidel na baterie

Tesla Model 3 je modelem bateriového elektromobilu americké značky Tesla. Tato nová a v určitých směrech moderní automobilka stojí za zpopularizováním elektromobilů v posledních letech. Prvním modelem této značky byl Roadster. Základem vozidla se stal Lotus Elise s nahrazenou spalovací pohonnou jednotkou za elektromotory doplněné o akumulátor. Model S byl již vyvinut Teslou od základu a stal se nejznámějším modelem značky. V nabídce je v současnosti doplněn o SUV Model X, již zmíněný Model 3, a z něho vycházející nejnovější vůz typu crossover Model Y.

Model 3 se řadí mezi dostupnější elektromobily. Ve srovnání s předchozími modely značky se základní cenou přesahující jeden milion korun řadí automobilka tento model mezi luxusní sedany. K dispozici je několik verzí odlišených především velikostí akumulátoru, počtem elektromotorů a dále například stupněm výbavy.



Obr. 10 Tesla Model 3

Zdroj: <https://www.autoibuy.com/kategorie/tesla-3/>

VW ID.3 je prvním elektromobilem automobilky, který je od základu navržen jako elektromobil a využívá modulární platformu MEB, navrženou speciálně pro koncernové elektromobily Volkswagen Group. Platforma zahrnuje naplocho uloženou baterii s jedním nebo více



Obr. 11 VW ID.3

Zdroj: <https://auto-mania.cz/prvni-elektromobily-volkswagen-id-3-1st-edition-se-k-zakaznikum-dostanou-ve-4-ctvrtleti-2020/>

elektromotory umístěnými na nápravách. Produkce začala v roce 2020 a byla provázena velkými problémy týkajícími se především softwaru vozu, které se již podařilo vyřešit. Jedná se o vůz typu hatchback, velice populární v Evropě. Je vybaven LiOn baterií a dojezd se liší v závislosti na její velikosti.

Škoda Enyaq iV je podobně jako VW ID.3 první elektromobil značky, postavený na moderní modulární platformě určené pro elektromobily koncernu Volkswagen Group. Škoda Auto uchopila elektromobilitu jinak než mateřský VW a představila, dnes velmi populární, karosářskou verzi vozu kategorie SUV. Výrobce uvádí nejvyšší možný dojezd až 500 km na jedno nabití u vrcholné verze. Enyaq iV se v základu vyrábí s pohonem zadních kol, k dispozici bude i verze s pohonem 4x4 a sportovněji laděné provedení RS iV. Model bude dostupný v 5 výkonových variantách od 109 do 225 kW. Maximální nabíjecí výkon dosahuje 125 kW a umožňuje dobít z 10 % na 80 % kapacity akumulátoru za 40 minut. [21]



Obr. 12 Škoda Enyaq iV

Zdroj: <https://www.skoda-auto.cz/modely/enyaq/enyaq-iv>

Hyundai Ioniq se nabízí ve třech verzích, dva hybridy s názvy Hybrid, Plug-in hybrid a jeden čistě elektrický s názvem Electric. Jedná se o první automobil nabízený v těchto třech variantách s elektrickým motorem. Výrobce řadí vůz do kategorie liftback. Uváděný dojezd je až 311 km na jedno nabití. Výkon motoru je 100 kW, model není nabízen s jinou alternativou.

Baterie stejně jako výkon motoru nelze volit, je použit Lithium-ion polymerový akumulátor a jeho kapacita činí 38,3 kWh. [22]



Obr. 13 Hyundai Ioniq

Zdroj: <https://www.hyundai.cz/modely/ioniq-electric>

BMW i3 se řadí do segmentu hatchbacků s elektrickým pohonem. Jedná se o vozidlo od počátku navržené jako elektromobil, tzn. bez kompromisů. Vůz je nabízen s motory o výkonu 125 kW a 135 kW, který je přenášen na zadní nápravu a napájený Lithium-iontovou baterií. Dojezd na jedno nabití výrobce uvádí 285-308 km při kombinaci městského a mimoměstského provozu. [23]



Obr. 14 BMW i3

Zdroj: <https://www.bmw.cz/cs/all-models/bmw-i/i3/2020/bmw-i3-modely-vybava.html>

Nissan Leaf je pětidvéřový elektrický hatchback. Jeho produkce začala v roce 2010 a od té doby získal několik ocenění, mimo jiné například: Evropské auto roku 2011, Světové auto roku 2011, Auto roku v Japonsku v letech 2011 a 2012. Nissan Leaf je nabízen ve dvou verzích, kapacitou baterie 40 kWh a výkonem motoru 110 kW, respektive 62 kWh a výkonem 160 kW.



Obr. 15 Nissan Leaf

Zdroj: <https://www.nissan.cz/vozidla/nova-vozidla/leaf.html>

Tabulka 1: Porovnání technických vlastností a cen výše uvedených elektromobilů.

Automobil	Výkon	Velikost baterie	Spotřeba	Dojezd (kombinovaný)	Cena*
Tesla Model 3	239 kW	50 kWh	147 Wh/km	340 km	1 324 900 Kč
VW ID.3	110 kW	45 kWh	164 Wh/km	275 km	895 900 Kč
Škoda Enyaq iV	132 kW	58 kWh	187 Wh/km	310 km	1 072 900 Kč
Hyundai Ioniq Electric	100 kW	38,3 kWh	153 Wh/km	250 km	899 990 Kč
BMW i3	135 kW	37,9 kWh	165 Wh/km	230 km	1 149 200 Kč
Nissan Leaf	110 kW	36 kWh	164 Wh/km	220 km	899 000 Kč

Zdroje: [24], [25], [21], [22], [23], [26], [27]

*Jedná se o ceníkovou cenu, nejlevnějšího modelu. Výbava jednotlivých modelů se může lišit.

**Data o velikosti baterie, spotřebě a dojezdu pochází z webu ev-database.org a jedná se o reálná data.

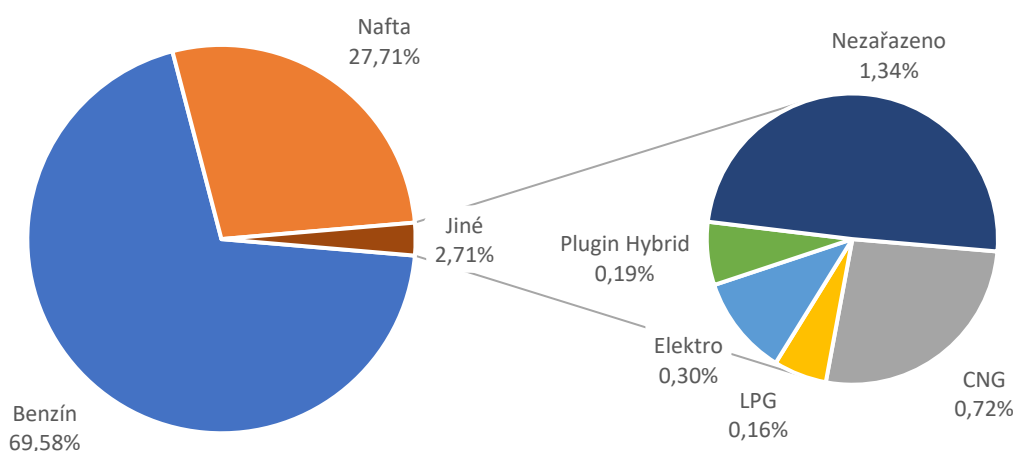
6. Ekonomická stránka BEV

6.1. Ekonomické důsledky

Jízda na elektřinu je považována v současné době mnohem levnější než jízda na benzin nebo naftu. Nízká cena na veřejných stanicích je však marketingovou záležitostí distributorů, kdy se jim tato strategie při nízkém počtu elektrických vozidel vyplatí. Větší spotřeba elektřiny spojená s větším rozšířením elektromobilů na baterie s největší pravděpodobností bude příčinou zdražení. Elektřina je v současné době zatížena daní z přidané hodnoty ve výši 21 % a ekologickou daní ve výši 28,30 Kč/MWh [28]. Benzin i nafta jsou stejně jako elektřina zatíženy daní z přidané hodnoty ve výši 21 % a dále také spotřební daní. Spotřební daň činí 12 840 Kč/1000 l [29] u benzínu a 9 950 Kč/1000 l [29] u nafty, která byla snížena s platností od ledna 2021. Pokud by došlo k nahrazení všech vozidel se spalovacím motorem elektromobily, státní rozpočet by přišel o vyšší desítky miliard korun každý rok. Tento výpadek by se stát snažil nahradit což by pravděpodobně vedlo ke zvýšení daně na elektřinu spotřebovanou pro dobíjení elektrických vozidel. [4]

Elektromobily zatím netvoří velkou část prodaných nových vozidel na většině trhů. Výjimkou je jako první na světě Norsko, které nabízí vysoké dotace a zároveň klasická vozidla se spalovacím motorem zatěžuje emisními poplatky a daněmi. Porovnáním našeho a sousedního německého trhu s automobily můžeme dojít k závěru, že větší množství prodaných elektromobilů je spojeno se státním zvýhodněním pro tyto vozy. V Německu stát nabízí dotaci na nákup elektrovozidla v řádu několika tisíc eur při splnění podmínek, které byly již uvedeny v předchozích kapitolách. V České republice stát nabízí dotace na pořízení elektromobilu pouze

Registrace nových osobních vozidel podle paliva v ČR za rok 2019



Graf 2 Registrace nových osobních vozidel v ČR

Zdroj: http://portal.sda-cia.cz/clanky/download/2020_03_Rocenka_sda_2019.pdf

pro podnikatelské subjekty, a soukromé osoby mohou využít pouze malá cenová zvýhodnění při samotném provozu, jak již bylo zmíněno. Porovnáním těchto dvou trhů můžeme pozorovat rozdíly v prodejnosti elektrovozidel. Snadno lze dojít k závěru, že elektrická vozidla jsou pro koncové zákazníky stále příliš drahá ke koupi ve srovnání s konvenčními vozy.

Největší cenový rozdíl nalezneme u pohonného ústrojí. Jednoduchá konstrukce elektromotoru ovlivňuje nejen pořizovací cenu, ale také náklady na servis vozidla. Ve většině případů se setkáme s elektromobily bez vícestupňové převodovky. Pořizovací cena je i tímto pozitivně ovlivněna směrem k zákazníkovi. Přesto je při porovnání vozidlo s baterií zpravidla dražší než vozidlo s pohonem na benzín, naftu nebo na plyn. Důvodem je baterie, která tvoří velkou část ceny elektromobilu. Nuceným rozšířením těchto vozů v současné ekonomické a technologické situaci, by mohlo dojít k diskriminaci nízkopříjmových obyvatel, kteří by si takový automobil nemohli z finančních důvodů pořídit. V České republice nakupují nová auta především firmy, a prodej ojetých vozidel tvoří velkou část trhu pro soukromé subjekty. Průměrná cena prodaných osobních vozidel za druhé čtvrtletí roku 2020 činila 229 400 Kč [30]. V grafu č. 2 jsou zobrazena data o registracích nových osobních vozidel v ČR za rok 2019. Z tohoto grafu je vidět většinové zastoupení vozů se spalovacím motorem oproti alternativním pohonům, které tvoří pouze 2,71 %.

Pro větší rozšíření těchto vozů bude nutné, aby došlo ke snížení pořizovací ceny. Možností, jak toho dosáhnout je několik. Jedněmi z hlavních je státní příspěvek ve formě dotace, snížené nebo odpuštěné daně. Stát výměnou dosáhne snížení emisí produkovaných v silniční dopravě, vedoucí ke splnění deklarovaných závazků. Nevýhodou dotací je, že narušují volný trh a nejsou tak vhodným opatřením pro rozšíření elektromobilů. Další možností, jak snížit cenu je navýšení výroby akumulátorů, které povede ke snížení tržní ceny akumulátorů, jenž tvoří velkou část pořizovací ceny elektrického vozu.

6.2. Ekonomika provozu

Pro názorný příklad nákladů na jízdu elektromobilem můžeme počítat s 17 kWh, které zpravidla stačí na dojezd 100 km. U nabíjecí stanice společnosti PRE stojí 1 kWh 6 Kč [31], jedná se o ceník platný od 1.4.2021, předpokládáme že nabíjení nezabere více času než 60 minut a využijeme tak volné minuty od poskytovatele. Dobití při této ceně vyjde na 102 Kč. Moderní automobil s benzínovým motorem, vypouštějící 95 g CO₂/km, může mít spotřebu 4 l/100 km, aby splnil emisní limit. Podle Českého statistického úřadu byla cena jednoho litru Naturalu 95 v ČR v období ledna 2021 28,06 Kč/l [32]. Jednoduchým výpočtem nám vyjde, že 100 km vyjde na 112,24 Kč. Tato částka je mírně vyšší oproti ceně elektřiny potřebné pro ujetí 100 km. Při větším rozšíření elektromobilů a zvýšení daňové zátěže na elektřinu pro elektromobily, jak je uvedeno v předchozí kapitole, lze předpokládat, že dojde k růstu ceny elektřiny.

Rychlodobíjecí stanice jsou ale zamýšleny pro rychlé dobití baterií na ujetí delších vzdáleností, jako je cesta do zahraničí, na dovolenou nebo za prací. Předpokládá se, že nejčastěji se využije nabíjení doma, případně v zaměstnání s využitím levnějšího tarifu od poskytovatele elektřiny. [4]

Pojištění vozu je další náklad, který ovlivní rozhodování o případné koupi elektromobilu. Povinné ručení je v současné době na nejnižší sazbě. Elektromobily se řadí mezi vozidla s objemem motoru menším než 1 000 ccm. S rostoucím počtem elektromobilů lze očekávat i růst povinného ručení, protože náklady na opravu elektromobilu jsou vyšší než u automobilu se spalovacím motorem, s rostoucím počtem provozovaných elektrických vozidel poroste počet pojistných událostí. Měření emisí je další položkou, za kterou majitel elektromobilu ušetří zhruba 800 Kč. Zvýšené náklady je ovšem možné pozorovat u pneumatik. Elektrické vozidlo s akumulátorem je výrazně těžší než srovnatelný vůz ze stejné kategorie s motorem spalovacím. Další důvod zvýšeného opotřebení je zrychlení elektromobilů, které je podobné jako u sportovních vozů a bude proto docházet k častější výměně, stejně jako je tomu u sportovních vozů. V extrémních případech došlo k výměně po jednom roce. [33]

6.3. Servisní náklady

Nízké náklady na servis jsou častým argumentem zastánců elektromobilů. Náklady by měly být skutečně nižší, především díky jednoduchosti pohonného ústrojí a méně pohyblivých částí, které je třeba servisovat. Otázkou ale zůstává, jestli jsou náklady na údržbu vozů dostatečně nízké, aby se vrátil rozdíl ve vysoké pořizovací ceně. Protože elektromobilita je velmi intenzivně probírané téma, analýzy existují, ale svými výsledky se velice liší. Pro úplný obrázek o nákladech spotřebitele je potřeba započítat veškeré náklady, které na automobilu vzniknou.

Pro příklad si uvedeme Hyundai Kona, který se vyrábí se spalovacím motorem i s elektrickým motorem a akumulátorem. Servisní poplatky zahrnují veškeré povinné prohlídky. Kona electric je nabízena ve dvou verzích, pro příklad je zvolena dostupnější varianta za necelých 940 tisíc Kč. Verze se spalovacím motorem je Kona s motorem 1.6 T-GD s dvouspojčkovým automatem. České zastoupení korejské automobilky poskytlo webu Autobible vyčíslení servisních nákladů a je možné si tak porovnat servisní náklady. V konečné fázi vychází elektromobil po započtení servisních nákladů, nákladů na dobíjení stále draž. Ekonomicky se elektrický Hyundai Kona vyplatí po ujetí více než 194 tisíc kilometrů. [34]

6.3.1. Vývoj tržních cen

Největší překážkou masivního rozšíření elektromobilů je v současné době vysoká cena zařízení, nedostatečná infrastruktura, dlouhá doba nabíjení a krátké dojezdy. Podle studií (Weiss, 2012) věnující se hybridům a (Safari, 2017) se zaměřením na elektromobily, dochází ke snižování výrobních nákladů v kombinaci s účinkem úspor z rozsahu. Úspory z rozsahu po-

máhají čím dál více snižovat cenu elektrovozidel, vlivem rostoucí výroby těchto vozů zavedenými automobilkami a také novými výrobci, např. Tesla. Pokud se bude jednat o dlouhodobější tendenci, může v budoucnu dojít k výraznému ztrátnění elektromobilů pro konečné spotřebitele z finančního hlediska. Zároveň dochází k poklesu ekonomických nákladů na snižování emisí CO₂. [35]

Pokles ceny byl sledován v období let 2010 - 2016. Porovnání cen elektromobilů a hybridů oproti automobilům s konvenčním motorem je následující: z 920 ± 540 EUR₂₀₁₅/kW v roce 2010 na 214 ± 237 EUR₂₀₁₅/kW v roce 2016 u elektromobilů, z 182 ± 11 EUR₂₀₁₅/kW v roce 2011 na 20 ± 38 EUR₂₀₁₅/kW v roce 2016. [35]

Za předpokladu, že by cena konvenčních automobilů zůstala stejná jako v roce 2016 a pokles elektromobilů a hybridů pokračoval stejným tempem, stačilo by k dosažení rovnováhy cen 7 ± 1 milionů EV a 5 ± 1 milionů hybridů, tedy méně než 10 % roční globální produkce. [35]

6.3.2. Provozní náklady

Náklady na provoz elektromobilů a plug-in hybridů mají v posledních letech tendenci stagnovat. V roce 2016 provozní náklady klesly, a to konkrétně na 0,51 ± 0,30 EUR₂₀₁₅/km v případě elektromobilů, na 0,75 ± 0,27 EUR₂₀₁₅/km u plug-in hybridů a náklady na provoz konvenčních vozidel se spalovacím motorem dosahovaly 0,52 ± 0,29 EUR₂₀₁₅/km. Tyto hodnoty platí v případě započtení prodloužené záruky na 11 let a 150 000 km. [35]

Můžeme pozorovat vyšší provozní náklady u hybridů oproti elektromobilům a vozům se spalovacím motorem. Rozdíl lze přičíst vyšší ceně oproti konvenčním vozidlům a vyšším nákladům na provoz, spotřebu oproti elektromobilům.

6.4. Ceny dobíjení ČR

V České republice provozuje veřejné nabíjecí stanice několik soukromých firem. Distributoři elektrické energie, mezi které se řadí ČEZ, PRE nebo E.ON, poskytují často i rychlé dobíjení. Společnost PRE, soustředěná převážně na Prahu a okolí, provozuje velké množství středně rychlých dobíjecích stanic. Rychlé stanice jsou převážně soustředěny na hlavní tahy a slouží pro rychlejší nabíjení při cestování na větší vzdálenost. Zahraniční společnosti, které provozují velké množství nabíjecích stanic jako například IONITY nebo Tesla, mají v současné době v České republice pouze několik málo stanic. V evropských zemích směrem na západ od České republiky, ale nabízejí mnohem více stanic pro dobíjení elektromobilu, je možné je proto využít při cestování do zahraničí.

Pro cenové srovnání je využito dat z aktuálních ceníků tří největších provozovatelů dobíjecích stanic v ČR. Jmenovitě se jedná o ČEZ, PRE a E.ON. Již na začátku nastává problém, protože ČEZ umožňuje dobíjet pouze registrovaným uživatelům s předplaceným tarifem.

Tabulka 2: Ceny dobíjení u veřejných stanic

	Paušál/měsíc (Kč)	Cena za kWh DC (Kč)	Cena za minutu (Kč)	Volné minuty	Předplacená spotřeba (kWh)
PRE – Jednička	-	6	2	60	-
PRE – Zvýhodněná jednička	-	5	1	60	-
E.ON – Registrovaný	-	6,90	2	90	-
E.ON - Neregistrovaný	-	11	2	90	-
ČEZ – TAXI	1750	3,5	2	-	500
ČEZ - Obchodní cestující	550	4,5	2	-	122
ČEZ - Víkendový řidič	200	5,5	2	-	36
ČEZ - „Pay as you go“	0	7,5	2	-	0
ČEZ - Neregistrovaný	0	9,5	2	-	0

Zdroje: [31], [36], [37]

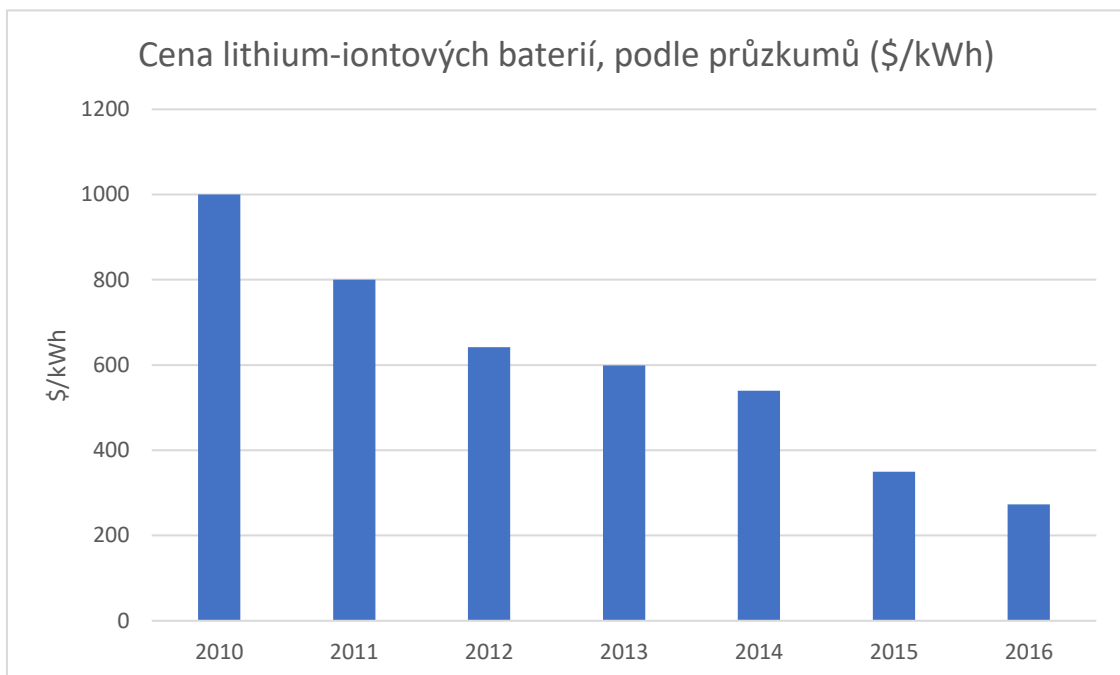
Z výše uvedené tabulky cen jednotlivých poskytovatelů je zřejmé, že se poplatky a podmínky u jednotlivých společností liší. ČEZ nabízí, na rozdíl od PRE a E.ON, měsíční tarify zahrnující předplacenou spotřebu a nižší cenu za jednu kWh, volné minuty naopak nenabízí. E.ON nenabízí měsíční paušál ani předplacenou spotřebu, ale také zvýhodňuje registrované zákazníky a nabízí nejvíc volných minut. Společnost PRE zvýhodňuje své zákazníky, kteří již odebírají elektrickou energii do domácnosti. V technické oblasti všechny tři společnosti nabízejí shodně pomalé AC dobíjení i rychlejší DC. Jen nejvyšší rychlost se liší.

Z mezinárodních poskytovatelů dobíjecí infrastruktury se u nás začínají ve větší míře rozšiřovat Tesla Superchargery i stanice IONITY. Majitelé vozů Tesla mohou využít rychlodobíjecí stanice Supercharger, které v současné době nabízejí dobíjení rychlostí až 150 kW. V současné době začíná v Evropě výstavba nové generace Superchargerů v3 a ty nabízejí rychlost až 250 kW. Cena za jednu kWh vychází v ČR na 8,3 Kč [38] na nabíječce ve Vestci u Prahy, další tři Tesla dobíjecí stanice ještě v říjnu účtovaly spotřebu podle starého ceníku 6,66 Kč/kWh [38]. V zahraničí se liší ceny podle státu, bez ohledu na společnou měnu. Tesla Superchargery můžeme najít ve čtyřech lokalitách v České republice, ve Vestci, v Humpolci, v Brně, v Olomouci a další stanice jsou ve výstavbě. IONITY nabízí nejrychlejší dobíjecí stanice na našem trhu, konkrétně až 350 kW. Tato síť vystavěná sdružením automobilek, provozuje v České republice čtyři stanice, konkrétně v Berouně, dvě v Pávově u Jihlavy a v Nupakách. Ve všech případech jde o lokace u čerpacích stanic na dálnicích. Pátá stanice je ve výstavbě u Lovosic. Cena za

nabíjení je stanovena na 21 Kč/kWh [39] pro neregistrované uživatele, ale skrze jednotné nabíjecí služby automobilek je cena zvýhodněna.

6.5. Rozdíl v ceně mezi EV a spalovacím vozem

Cena baterie stále tvoří největší překážku při rozhodování o koupi elektromobilu. Přestože mezi lety 2011 až 2015 došlo na trhu k přebytku nabídky akumulátorů nad poptávkou, cena výrazně poklesla, ale ne natolik aby učinila elektromobily cenově konkurenceschopné bez využití státních příspěvků. Odborné studie vývoje předpovídají vysoký růst poptávky v následujících letech. Automobilky si proto snaží zajistit dostatečné kapacity na výrobu baterií, aby byly schopny uspokojit budoucí poptávku. Uzavírají smlouvy o spolupráci se společnostmi se zkušenostmi s výrobou baterií, např. Panasonicem, Samsungem nebo LG Chem. Další plánují výstavbu továren ve spolupráci s technologickými giganty. Volkswagen například v březnu 2021 oznámil plán výstavby 6 továren na výrobu baterií v Evropě a následují ho další automobilky. [40]



Graf 3 Cena lithium-iontových baterií v letech 2010-2016

Zdroj: <https://data.bloomberglp.com/bnef/sites/14/2017/07/BNEF-Lithium-ion-battery-costs-and-market.pdf>

V rozmezí let 2010 a 2016 došlo k významnému snížení ceny lithium-iontových baterií z hodnoty 1000 \$/kWh na přibližně 273 \$/kWh. V následujících letech se předpokládá další cenový pád až k 74 \$/kWh v roce 2030. Což s největší pravděpodobností výrazně přispěje k většímu rozšíření BEV. V roce 2016 tvořila cena baterie 48 % celkové ceny elektromobilu, podle předpokladů by měl tento podíl postupně klesat až na 18 % z ceny v roce 2030. [40]

Pro názorný příklad vysoké ceny baterií můžeme použít model elektrického golfu od automobilky Volkswagen. VW e-golf je hatchback, který vychází z konstrukce konvenčního

golfu a v podstatě se liší hlavně pohonným ústrojím. Mírně se liší design exteriéru a interiéru vozu, znatelnějším rozdílem je menší prostor pod sedačkami v zadní řadě z důvodu umístění baterie. Nový se prodával za necelý milion Kč a v bazaru jej můžeme momentálně pořídit za cenu okolo 550 000 Kč. Výrobce poskytuje standartní záruku na vůz a v tomto případě také na baterii, ta je nastavena na 8 let nebo 160 000 km, podle toho, co nastane dřív. Pro druhého majitele tak baterie nemusí být problémem. Případný třetí majitel již ale narazí na riziko výměny baterie, které vyjde velmi draho. Celá nová baterie stojí 479 000 Kč, případně lze vyměnit jednotlivé moduly, automobil jich má 27 a jeden stojí od 11 000 Kč do 19 200 Kč v závislosti na velikosti a umístění. [41]

6.6. Bazarové elektromobily

Vysoká cena vozu na baterie by mohla být vyřešena nákupem ojetého automobilu, například po tuzemské firmě nebo dovezeného ze zahraničí. V tuzemských autobazarech se již začíná nabízet větší množství takových vozů. Příkladem může být Volkswagen e-golf. Vyráběl se ve dvou variantách v letech 2014 až 2020, kdy ho nahradil model ID.3. Nový se prodával za cenu 956 000 Kč, při uvedení. V bazarech lze nyní narazit na několik let staré vozy s nájездem nejčastěji okolo 20 000 km za přibližně 550 000 Kč. Za takovou cenu už by se mohl prodávat ve větším množství i mezi nefiremními zákazníky. [41]

7. Palivové články

7.1. Historie palivových článků

Koncepci prvního palivového článku vytvořil v roce 1839 sir William Robert Grove, britský soudce, vynálezce a vědec. Zjistil, že je možné vyrábět elektřinu procesem inverzním k elektrolýze vody. Jím vytvořený článek měl platinové elektrody ve skleněných trubičkách. Spodní konec elektrod byl ponořen do elektrolytu z roztoku kyseliny sírové a horní uzavřená část byla vyplněna kyslíkem a vodíkem. Článek dosahoval napětí 1 V. Zda dochází ke generování elektrického napětí, kontroloval Grove pomocí nádoby, ve které docházelo k elektrolýze vody. Jednalo se o první palivový článek, který nedosahoval takového výkonu, aby ho bylo možné využít v průmyslu. [1]

Patrně první úspěšné zařízení s palivovým článkem, kyslíko-vodíkový článek používající niklové elektrody, sestrojil Dr. Francis Thomas Bacon v roce 1932. Korozivní účinek na elektrody odstranil použitím zásaditého elektrolytu (KOH), namísto kyselého, který pracoval stejně. Se svými spolupracovníky sestrojil Dr. Bacon v roce 1952 systém s palivovým článkem o výkonu 5 kW. Praktické využití našly palivové články v 60. letech 20. století, například pro vesmírné moduly Gemini a Apollo od firmy Pratt & Whitney. Tímto momentem došlo k nastar-

tování pokroku ve vývoji palivových článků na světových univerzitách, laboratořích a také v průmyslu. [1]

7.2. Infrastruktura

Největším problémem malého rozšíření vozidel s palivovými články je chybějící infrastruktura. V České republice existuje pouze jedna čerpací stanice. Nachází se v Neratovicích a sloužila pro provoz vodíkového autobusu TriHyBus, který je dnes již odstaven. Jedná se o neveřejnou stanici, vybudovanou Ústavem jaderného výzkumu Řež. Možnost čerpání vodíku je potřeba dohodnout v předstihu s majitelem stanice. Nízký plnicí tlak 350 barů navíc dokáže naplnit nádrž osobního vozu jen do poloviny, protože osobní vozy s vodíkovou nádrží jsou vybaveny 700 barovou nádrží. Z tohoto důvodu se u nás vozidla s vodíkovými články ani oficiálně neprodávají. [42]

Podobně je na tom i zbytek Evropy. Výjimkou je Německo, kde dnes již stojí přes 90 stanic, především v okolí velkých měst a na hlavních tazích. V letošním roce je v plánu stavba prvních tří veřejných stanic s vodíkem v České republice s tlakem 700 barů. Jedná se o stanice společnosti Benzina na pražském Barrandově, v brněnské Kaštanové ulici a litvínovském Záluží. V následujících letech by měly vzniknout další stanice v těchto třech městech, a dále v roce 2022 na ostravském Hranečnicku a v Plzni v Nepomucké ulici. První stanice v Praze a Litvínově budou zásobeny vodíkem z rafinérií v Litvínově a Kralupech nad Vltavou. Vodík zde vzniká jako vedlejší produkt při zpracování ropy v rafinériích Unipetrolu. U ostravské stanice je v plánu výroba elektrolýzou přímo na čerpací stanici, s využitím elektřiny z obnovitelných zdrojů. [42]

7.3. Výroba vodíku

Výroba vodíku může probíhat různými postupy, ty s nejnižšími náklady jsou bohužel nejméně ekologické. V budoucnu se pro výrobu vodíku počítá s využitím obnovitelných zdrojů. Ve chvíli, kdy bude přebytek elektřiny vyrobené obnovitelnými zdroji použije se tato energie k elektrolýze a uloží se tak do vyrobeného vodíku pro budoucí použití. [43]

V současné době je vodík nejčastěji vyráběn z fosilních paliv, při reformingu zemního plynu. Za vysoké teploty reaguje směs metanu a vodní páry za vzniku vodíku a CO₂. Tento postup se vyznačuje vysokou účinností, až 80 %, nevýhodou ovšem je velké množství vyprodukovaného oxidu uhličitého, na 1 kg vyrobeného vodíku je vyprodukováno 5,5 kg CO₂. [43]

Vodík je možné vyrábět z obnovitelných zdrojů, konkrétně z biomasy, elektrolýzou vody nebo parní elektrolýzou. Elektrolýza vody dosahuje celkové účinnosti 55-60 %. Výroba vodíku je možnost, jak využít přebytečnou energii z obnovitelných zdrojů ve chvíli, kdy v rozvodné síti není odpovídající spotřeba. Jeho masivní výrobu by v budoucnu mohly zajistit nově

vyvíjené jaderné reaktory čtvrté generace. Vodík je také možné vyrábět jako hlavní nebo vedlejší produkt při petrochemických procesech. V současné době není efektivně zužitkován, a dal by se proto použít pro pohon automobilů s vodíkovým pohonem. [43]

7.4. Elektrická vozidla na palivové články

Elektromobily s bateriemi nesplňují požadavky na osobní vozidla 21. století. Na druhou stranu automobily se spalovacím motorem zatěžují okolí emisemi a spaliny a jsou závislé na fosilních palivech. Elektrická vozidla s palivovými články kombinují výhody bateriových elektromobilů a automobilů se spalovacím motorem. Výhody těchto vozidel jsou čistý a tichý provoz, nevypouštějí škodlivé emise do okolí, využívají vysokou účinnost elektromotoru a nepotřebují převodovku. Zároveň odstraňují nevýhody elektrovozidel s baterií, mezi které patří velká hmotnost akumulátoru, jeho vysoká cena a nedostatečná životnost. [1]

Vozidlo vybavené palivovými články má poměrně vysokou účinnost a není odkázáno na fosilní paliva. Dále disponuje nádrží na palivo čímž je zkrácena doba potřebná pro ujetí dlouhých vzdáleností. Na rozdíl od nabíjení baterie zabere dotankování paliva několik jednotek minut a vozidlo je schopné ujet stovky kilometrů na jednu plnou nádrž, tak jako u automobilu se spalovacím motorem. Palivem pro vozidlo na palivové články může být vodík, methanol nebo zemní plyn. [1]

7.5. Funkce palivového článku

Palivový článek je elektrochemické zařízení přeměňující chemickou energii v palivu během oxidačně-redukční reakce přímo na elektrickou. Princip fungování palivového článku se podobá baterii. Konstrukce je tvořena kladnou elektrodou neboli anodou, a zápornou elektrodou, katodou, které jsou odděleny elektrolytem. Obě elektrody jsou porézní. Dochází ke vzniku třífázového rozhraní v oblasti pórů, tvořeného elektrodou, elektrolytem a reaktanty vzniklými oxidací paliva a redukcí oksyličovadla. [1]

Palivové články se mohou lišit materiálem elektrod, použitým elektrolytem, pracovní teplotou nebo chemickými reakcemi na anodě a katodě. Ale pro všechny články je stejný základní princip transformace energie. Princip funkce palivového článku je zde vysvětlen pro vysokoteplotní palivový článek s pevným oxidickým elektrolytem. Čistý vodík a kyslík jsou použity jako palivo, respektive oksyličovadlo. Na anodě dochází k redukcí vodíku kyslíkovým aniontem za vzniku vody (H_2O) a elektronů, které jsou vedeny na katodu jako využitelný elektrický proud. Na katodu je přiváděn molekulární kyslík, kde se dvěma elektrony redukuje na kyslíkový anion, který je dopraven elektrolytem k anodě. [1]

7.6. Typy palivových článků

Typů palivových článků je v současné době několik a liší se především druhem elektrolytu a provozní teplotou. Tyto rozdíly určují konstrukční provedení, způsob provozu i přípravu paliva. Palivové články se podle provozní teploty dělí na [1]:

- Nízkoteplotní (60-130 °C)
- Středněteplotní (160-220 °C)
- Vysokoteplotní (600-1050 °C)

Podle typu elektrolytu se dělí na články s [1]:

- Alkalickým elektrolytem (AFC – Alkaline Fuel Cell) KOH,
- Polymerní elektrolytickou membránou (PEM – Polymer Electrolyte Membrane/Proton Exchange Membrane), katexová iontoměničová membrána,
- Kyselinou fosforečnou (PAFC – Phosphoric Acid Fuel Cell) H_3PO_4 ,
- Taveninou alkalických uhličitů (MCFC – Molten Carbonate Fuel Cell) keramika z $LiAlO_2$ nasycená alkalickými uhličitany,
- Pevným oxidickým elektrolytem (SOFC – Solid Oxide Fuel Cell) obvykle Y_2O_3 nebo ZrO_2 .

7.7. Porovnání současných elektrovozidel na palivové články

V první řadě je třeba připomenout, jak již bylo zmíněno výše, že na českém trhu se v současné době oficiálně neprodává žádné vozidlo s palivovými články. Překážkou je stále neexistující veřejná síť čerpacích stanic na vodík. Ve světě narazíme na Toyotu Mirai a Hyundai Nexu, které budou výrobci brzy nabízet i na našem trhu. Toyota několik let odmítá budoucnost osobní automobilové dopravy v podobě bateriových elektromobilů a snaží se přijít s alternativou v podobě automobilu s palivovými články.

Hyundai Nexu je vůz kategorie SUV s vodíkovým pohonem. Velikostí se řadí přibližně na úroveň elektrické Škody Enyaq. Vůz disponuje palivovým článkem, který nahrazuje baterii a elektromotorem. Palivový článek neposkytuje dostatek výkonu, a tak je doplněn o baterii s malou kapacitou 1,56 kWh. Automobilka slibuje brzké uvedení vozu i na český trh, kterému musí předcházet vybudování infrastruktury. Cenu společnost zatím nezveřejnila, v Německu a

Rakousku se vůz prodává za cenu okolo dvou milionů korun. Technologie vodíkového pohonu je stále drahá, a tak lze v tuzemsku předpokládat cenu na podobné úrovni. [44]



Obr. 16 Hyundai Nexo

Zdroj: <https://www.garaz.cz/clanek/hyundai-nexo-21005653>

Toyota Mirai je model japonského výrobce automobilů v současné době jde o druhou generaci vozu. Jedná se o sedan, jehož první generace byla představena již v roce 2014. Automobil disponuje dojezdem až 850 km na jedno natankování. Toyota věří v budoucnost palivových článků v silniční dopravě, dokazuje to dlouhý vývoj, první automobil s palivovými články představila již v roce 1996. Automobilka dokonce nabízí volné užívání všech svých 5 680 patentů týkajících se této technologie. [45]



Obr. 17 Toyota Mirai

Zdroj: <https://www.toyota.cz/world-of-toyota/news/new-toyota-mirai>

8. Závěr

Cílem práce bylo porovnání výhod a nevýhod elektromobilů ve srovnání s automobily se spalovacím motorem a postavení elektromobilů na trhu. Dále poukázat na historický vývoj, nastínit legislativní a technické výhody i překážky, názorně rozdělit elektromobily podle různé kombinace pohonů a seznámit čtenáře s moderními vozidly s tímto pohonem.

Elektromobily byly velmi rozšířené už na začátku automobilismu. V USA dokonce jezdilo v roce 1900 více elektromobilů než vozidel se spalovacím motorem. Již několik let jejich počet roste v souvislosti s plánem na snížení produkovaných emisí. Jednotlivé státy různými nástroji omezují vozidla na benzin a naftu. Naopak na podporu elektromobilů poskytují dotace a finanční výhody jako je například odpuštění dálničního poplatku, vjezd do emisních zón bez omezení, parkování v placených zónách zdarma. Síť nabíjecích stanic se rozrůstá v České republice i v Evropě. Stále jich je však na našem území nedostatek. Na rozdíl od minulosti se již staví převážně rychlodobíjecí, které zkrátí dobu nabíjení a umožní tak elektromobilům snazší dálkové cesty.

Cena rychlodobíjení je vyšší než doplnění energie v domácnosti a v dlouhodobém měřítku zkracuje životnost baterie. Z ekonomického hlediska se tak v současné době elektromobil nejvíce vyplatí majitelům, kteří mají možnost nabíjet levně v domácnosti nebo na pracovišti. Baterie je nejdražší součástka elektrických vozidel a přes dlouhodobé zlevňování stále představuje největší překážku jejich masivního rozšíření. K tomu dojde v momentě, kdy cena elektromobilů poklesne na úroveň vozidel se spalovacím motorem. Zvýšení dostupnosti už řeší jednotlivé vlády finančními dotacemi. Další možnosti představuje masová výroba akumulátorů, přispět by mohla i důsledná recyklace všech použitých materiálů z baterií.

Baterie je problematická část elektromobilu z hlediska výroby, provozu i dalšího použití, a také recyklace. Je důležité společně s elektromobily rozšířit obnovitelné zdroje elektrické energie a ekologicky zpracovávat materiály potřebné pro výrobu baterií. Momentálně je elektromobilita opravdu ekologická jen v několika málo zemích s obnovitelnými zdroji elektřiny, v jiných případech se jedná pouze o přemístění zdroje emisí z jednoho místa na druhé. Do budoucna se elektromobilita jeví jako cesta pro dekarbonizaci dopravy. Výrobce bateriových elektromobilů čeká ještě značné úsilí k dosažení konkurenceschopnosti se spalovacími motory. Bateriové elektromobily jistě doplní další udržitelné alternativy a zákazníci tím budou mít větší výběr nejhodnějšího dopravního prostředku. Dlouhodobě diskutovanou alternativou jsou vodíkové články, které již v praxi testuje několik automobilek.

9. Bibliografie

1. Hromádko, Jan. *Speciální spalovací motory a alternativní pohony*. Praha : Grada Publishing, 2012. 978-80-247-4455-1.
2. Dusil, Tomáš. Nový homologační emisní test WLTP: Opravdu znamená konec lhaní? *Auto.cz*. [Online] 4. Říjen 2017. [Citace: 4. Duben 2021.] <https://www.auto.cz/novy-homologacni-emisni-test-wltp-opravdu-znamená-konec-lhani-110305>.
3. CO2 emissions rise to highest average since 2014, as the shift from diesel to gasoline continues. *Jato*. [Online] 4. Březen 2019. [Citace: 3. Duben 2021.] <https://www.jato.com/co2-emissions-rise-to-highest-average-since-2014-as-the-shift-from-diesel-to-gasoline-continues/>.
4. *Některé důsledky hromadného rozšíření elektromobilů pro ČR*. Ing. Josef Morkus, CSc. a prof. Ing. Jan Macek, DrSc., FEng. 11, Praha : Informační centrum ČKAIT s.r.o., 2019. 1802-2030.
5. Bureš, David. Evropská unie ustupuje. Emisní norma Euro 7 nebude tak přísná. Konec spalovacích motorů ale pořád hrozí. *Auto.cz*. [Online] 15. Duben 2021. [Citace: 19. Duben 2021.] <https://www.auto.cz/evropska-unie-ustupuje-emisni-norma-euro-7-nebude-tak-prisna-konec-spalovacich-motoru-ale-porad-hrozi-138780>.
6. Mráček, Michael. Aktuální problémy měření a uvádění spotřeby a emisí u osobních vozidel. *epravo.cz*. [Online] 28. Červen 2018. [Citace: 28. Únor 2021.] <https://www.epravo.cz/top/clanky/aktualni-problemy-mereni-a-uvadeni-spotreby-a-emisi-u-osobnich-vozidel-107754.html>.
7. Bejblik, Jan. Elektrické pohony automobilů. [Online] 2016/2017. [Citace: 20. Leden 2021.] <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/73030/F2-BP-2017-Bejblik-Jan-bakalarska%20prace.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Bakalářská práce. České vysoké učení technické, Fakulta strojní.
8. Deml, Jakub. Podpora elektromobility: Na co lákají u nás i jinde v Evropě. *Garáž.cz*. [Online] 13. Duben 2019. [Citace: 10. Duben 2021.] <https://www.garaz.cz/clanek/podpora- elektromobility-na-co-lakaji-u-nas-i-jinde-v-evrope-21001531>.
9. Tomíšek, Marek. V Norsku se prodalo víc elektromobilů než jiných aut! Nejprodávanější byl e-tron. *fDrive.cz*. [Online] 8. Leden 2021. [Citace: 10. Duben 2021.] <https://fdrive.cz/clanky/v-norsku-se-prodalo-vic-elektromobilu-nez-jinych-aut-nejprodavanejsi-byl-e-tron-6367>.

10. Majurník, Jan. Německo: Dotace pro elektromobily a nabíječky na pumpách. *Garáž.cz*. [Online] 10. Červen 2020. [Citace: 10. Duben 2021.] <https://www.garaz.cz/clanek/nemecko-dotace-pro-elektromobily-a-nabijecky-na-pumpach-21004175>.
11. Dobeš, Vojtěch. Nejrychlejší nabíjení elektromobilů je drahé. No a co? *penize.cz*. [Online] 20. Únor 2020. [Citace: 22. Únor 2021.] https://www.penize.cz/doprava/412874-nejrychlejsi-nabijeni-elektromobilu-je-drahe-no-a-co#element_84_8643.
12. Diviš, Tomáš. Analýza důsledků elektrifikace pohonu osobních automobilů s benzínovým motorem. [Online] 2018. [Citace: 25. Únor 2021.] https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/79921/F2-BP-2018-Divis-Tomas-BP_Divis_2018.pdf?sequence=-1&isAllowed=y.
13. Havlín, Roman. Česko v počtu dobíjecích stanic silně zaostává za zbytkem Evropy. *fDrive*. [Online] 10. Prosinec 2020. [Citace: 28. Únor 2021.] <https://fdrive.cz/clanky/cesko-v-poctu-dobijecich-stanic-silne-zaostava-za-zbytkem-evropy-6244>.
14. Březinová, Jana. Distribuční sazba D27d: Ideální při nabíjení elektromobilu. *Elektrina.cz*. [Online] 2. Září 2020. [Citace: 31. Březen 2021.] <https://www.elektrina.cz/distribucni-sazba-d27d-idealni-pri-nabijeni-elektromobilu>.
15. Srp, Pavel. Zákaz spalovacích motorů oznámilo už 31 zemí světa. Které to jsou? *auto-mania*. [Online] 9. Leden 2021. [Citace: 10. Duben 2021.] <https://auto-mania.cz/zakaz-spalovacich-motoru-oznamilo-uz-31-zemi-sveta-ktere-to-jsou/>.
16. Carfrae, Jack. Analysis: Fears of EV material shortage. *Autocar*. [Online] 14. Leden 2021. [Citace: 27. Březen 2021.] <https://www.autocar.co.uk/car-news/industry-news-environment/analysis-fears-ev-material-shortage>.
17. Crabtree, George. The coming electric vehicle transformation. *Science*. [Online] 25. Říjen 2019. [Citace: 31. Březen 2021.] <https://science-sciencemag-org.infozdroje.czu.cz/content/366/6464/422>.
18. Ambrose, Hanjiro a O’Dea, Jimmy. Electric Vehicle Batteries. *Union of Concerned Scientists*. [Online] 11. Únor 2021. [Citace: 31. Březen 2021.] <https://www.ucsusa.org/resources/ev-battery-recycling>.
19. Sun, Peiyi, a další. A Review of Battery Fires in Electric Vehicles. *ResearchGate*. [Online] Leden 2020. [Citace: 1. Duben 2021.] https://www.researchgate.net/publication/338542510_A_Review_of_Battery_Fires_in_Electric_Vehicles.

20. Druhy elektromobilů - znáte je všechny? *Škoda Storyboard*. [Online] 21. Březen 2019. [Citace: 12. Prosinec 2020.] <https://www.skoda-storyboard.com/cs/e-mobilita-cs/druhy-elektromobilu-znate-je-vsechny/>.
21. Enyaq iV. *Škoda auto*. [Online] [Citace: 21. Únor 2021.] <https://www.skoda-auto.cz/modely/enyaq/enyaq-iv>.
22. Ioniq Electric. *Hyundai*. [Online] [Citace: 21. Únor 2021.] <https://www.hyundai.cz/modely/ioniq-electric>.
23. The BMW i3: Všechny speciality. *BMW*. [Online] [Citace: 21. Únor 2021.] <https://www.bmw.cz/cs/all-models/bmw-i/i3/2020/bmw-i3-ueberblick.html>.
24. Model 3 konfigurátor. *Tesla*. [Online] [Citace: 29. Duben 2021.] https://www.tesla.com/cs_cz/model3/design#overview.
25. Konfigurátor Volkswagen. *Volkswagen*. [Online] [Citace: 29. Duben 2021.] https://konfigurator.volkswagen.cz/cc-cz/cs_CZ_VW19/V/reference-models/430?GrossNetSwitch=GROSS.
26. Nissan Leaf. *Nissan*. [Online] [Citace: 29. Duben 2021.] <https://www.nissan.cz/vozidla/nova-vozidla/leaf.html>.
27. Electric vehicle database. [Online] [Citace: 29. Duben 2021.] <https://ev-database.org/>.
28. Ekologické daně. *BusinessInfo.cz*. [Online] 6. Leden 2019. [Citace: 12. Březen 2021.] <https://www.businessinfo.cz/navody/ekologicke-dane/#elektro>.
29. Spotřební daň - minerální olej. *Finance.cz*. [Online] [Citace: 12. Březen 2021.] <https://www.finance.cz/dane-a-mzda/dph-a-spotrebni-dane/spotrebni-dane/mineralni-olej/>.
30. Cebia SUMMARY 4/2020. *Cebia*. [Online] 22. Leden 2021. [Citace: 16. Březen 2021.] <https://www.cebia.cz/novinky/tiskove-zpravy/cebia-summary-04-2020-informace-statistiky-a-zajimavosti-z-oblasti-prodeje-ojetych-vozidel-305>.
31. Podmínky dobíjení vozidel. *PRE Mobilita*. [Online] [Citace: 16. Březen 2021.] <https://www.premobilita.cz/cs/dobijeni-elektromobilu/podminky-dobijeni-vozidel/>.
32. Aktuální statistické údaje 2/2021. *Český statistický úřad*. [Online] Únor 2021. [Citace: 16. Březen 2021.] https://www.czso.cz/documents/11272/154445235/infolist2_2021.pdf/d55e629e-3b13-4ffb-ad13-3ab764a4fdc1?version=1.1.

33. Mašek, František. Jaké jsou provozní náklady elektromobilu? (2. díl). *Tipcars*. [Online] 9. Červen 2020. [Citace: 27. Březen 2021.] <https://www.tipcars.com/magazin/nase-tema/jake-jsou-provozni-naklady-elektromobilu.html>.
34. Markovič, Jan. Vyplatí se elektromobil proti běžnému autu? Ano, musíte s ním ale jezdit až 10 let. *Autobible*. [Online] 20. Leden 2020. [Citace: 27. Březen 2021.] <https://autobible.euro.cz/vyplati-se-elektromobil-proti-beznemu-autu-ano-musite-s-nim-ale-jezdit-az-10-let/>.
35. Fully electric and plug-in hybrid cars - An analysis of learning rates, user costs, and costs for mitigating CO2 and air pollutant emissions. *ScienceDirect*. [Online] 1. Březen 2019. [Citace: 10. Prosinec 2020.] <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618337211>.
36. Jak se stát zákazníkem. *Elektromobilita*. [Online] [Citace: 15. Duben 2021.] <https://www.elektromobilita.cz/cs/jak-se-stat-zakaznikem>.
37. How much does it cost to charge at IONITY? *Support Ionity*. [Online] [Citace: 15. Duben 2021.] <https://support.ionity.eu/en/general-questions/how-much-does-it-cost-to-charge-at-ionity>.
38. Pultzner, Tomáš. Tesla zdražila nabíjení na Superchargerech. Máme kompletní ceny v Česku i Evropě. *fDrive.cz*. [Online] 15. Říjen 2020. [Citace: 14. Březen 2021.] <https://fdrive.cz/clanky/tesla-zdrazila-nabijeni-na-superchargerech-mame-kompletni-ceny-v-cesku-i-evrope-5977>.
39. How much does it cost to charge at IONITY? *IONITY*. [Online] [Citace: 14. Březen 2021.] <https://support.ionity.eu/en/general-questions/how-much-does-it-cost-to-charge-at-ionity>.
40. Curry, Claire. Lithium-ion Battery Costs and Market. *Bloomberg Professional Services*. [Online] 5. Červenec 2017. [Citace: 18. Březen 2021.] <https://data.bloomberglp.com/bnef/sites/14/2017/07/BNEF-Lithium-ion-battery-costs-and-market.pdf>.
41. Dokoupil, Michal. Pomalé otužování. *Svět motorů*. 2021, 9.
42. Dokoupil, Michal. Čeká nás elektřina z hadice? *Svět motorů*. 2021, 3.
43. Výroba vodíku. *Devinn*. [Online] 5. Srpen 2019. [Citace: 15. Březen 2021.] <https://www.devinn.cz/vyroba-vodiku/>.
44. Nový Hyundai Nexo. *Hyundai*. [Online] [Citace: 10. Duben 2021.] <https://www.hyundai.cz/modely/nexo>.

45. Pultzner, Zoltán. Jak funguje Toyota Mirai s palivovým článkem? *fDrive*. [Online] 3. Únor 2017. [Citace: 1. Duben 2021.] <https://fdrive.cz/clanky/jak-funguje-toyota-mirais-palivovym-clankem-658>.

46. Výroční zpráva 2016. *ČAPPO*. [Online] <https://www.cappo.cz/prilohyarchiv/r220/V%C3%BDro%C4%8Dn%C3%AD%20zpr%C3%A1va%202016.pdf>.

47. Srb, Luboš. V zimě klesá dojezd elektromobilu o cca 25 %, zn. vyzkoušeno. *elektrickévozy*. [Online] 29. Leden 2019. [Citace: 30. Listopad 2020.] <https://elektrickevozy.cz/clanky/v-zime-klesa-dojezd-elektromobilu-o-cca-25-zn-vyzkouseno..>

10. Seznam obrázků

Obr. 1 Automobil s RDE testovací aparaturou v provozu	5
Obr. 2 Emise skleníkových plynů v ČR podle sektorů v roce 2018.....	6
Obr. 3 Combo II	10
Obr. 4 Mapa nabíjecích stanic ČR.....	10
Obr. 5 Mennekes Type 2	10
Obr. 6 Wallbox Škoda	11
Obr. 7 Trosky po požáru Tesly Model S, rok 2016	14
Obr. 8 Dělení hybridů podle stupně hybridizace	15
Obr. 9 Tesla Model 3	18
Obr. 10 VW ID.3.....	18
Obr. 11 Škoda Enyaq iV	19
Obr. 12 Hyundai Ioniq	20
Obr. 13 BMW i3.....	20
Obr. 14 Nissan Leaf.....	21
Obr. 15 Hyundai Nexo	32
Obr. 16 Toyota Mirai	32