

Česká zemědělská univerzita v Praze
Technická fakulta

Elektromobilita, elektrická a hybridní vozidla
Bakalářská práce

Vedoucí práce: Ing. František Dvořák, CSc.
Autor práce: Tomáš Kývala

Praha 2018

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Tomáš Kývala

Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

Elektromobilita, elektrická a hybridní vozidla

Název anglicky

Electromobility, electric and hybrid vehicles

Cíle práce

Analýza technologií elektrických a hybridních vozidel, konverze a akumulace elektrické energie, přehled o současném stavu a současné produkci v dané oblasti, porovnání a posouzení technických parametrů a užitných vlastností a posouzení změn a inovací. Hodnocení provedení z hlediska koncepčního, konstrukčního, energetického, bezpečnostního a environmentálního. Dále posouzení možností a předpokládaných vývojových trendů.

Metodika

Úvod, cíl práce

Literární rešerše, metodika zpracování

Rozbor dané problematiky, návrh, doporučení a a diskuse

Závěr

Doporučený rozsah práce

30 stran textu včetně obrázků, tabulek a grafů

Klíčová slova

elektrická energie, elektromotor, pohonná jednotka, hnací ústrojí, elektrické vozidlo, hybridní vozidlo, homologace, regulace, řízení, akumulátor, infrastruktura

Doporučené zdroje informací

- Ehsani, M. et al. Modern electric, hybrid electric, and fuel cell vehicles; fundamentals, theory, and design. CRC Press, Taylor & Francis Group, 2005, 395 p., ISBN: 0849331544.
- Emadi, A. Advanced electric drive vehicles, CRC Press, Taylor & Francis Group, 2015, 602 p., ISBN: 9781466597693, 1466597690.
- Gregora, S., Mašek, Z.: Elektronické a mechatronické systémy v konstrukci silničních vozidel. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2008, ISBN 978-80-7395-082-8.
- Husain, I. Electric and hybrid vehicles: design fundamentals, CRC Press, Taylor & Francis Group, 2011, 501 p., ISBN: 9781439811757, 143981175X.
- Kameš, J. Alternativní pohony automobilů. Praha: BEN, 2004. ISBN 80 7300 127 6.
- Khajepour, A.; Fallah, M. S.; Goodarzi, A. Electric and hybrid vehicles: technologies, modeling and control: a mechatronic approach. Chichester, Wiley, 2014, 415 p., ISBN: 9781118341513, 1118341511.
- Novák, J. Elektromechanické systémy v dopravě a ve strojírenství. Praha: ČVUT, 2002.
- Vlk, F. Alternativní pohony motorových vozidel. Brno: Nakladatelství Vlk, 2006. ISBN 80 239 1602 5.

Předběžný termín obhajoby

2017/18 LS – TF

Vedoucí práce

Ing. František Dvořák, CSc.

Garantující pracoviště

Katedra vozidel a pozemní dopravy

Elektronicky schváleno dne 12. 1. 2017

doc. Ing. Miroslav Růžička, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 23. 1. 2017

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan

V Praze dne 12. 02. 2018

Prohlášení autora práce:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: Elektromobilita, elektrická a hybridní vozidla vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Jsem si vědom, že moje bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí.

Jsem si vědom, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

V Praze dne 1.4.2018

.....
Podpis autora

Poděkování:

Touto cestou bych rád poděkoval vedoucímu práce Ing. Františkovi Dvořákovi, CSc. za konzultace a odborné vedení při zpracování mé bakalářské práce.

Abstrakt:

Bakalářská práce má za cíl popsat základní koncepce elektrických a hybridních vozidel. Jsou porovnány jednotlivé typy řešení akumulátorových elektrických vozidel, elektrických vozidel s palivovými články a hybridních vozidel. Podrobněji jsou popsány prvky konstrukce akumulátorových elektrických vozidel. Představeny jsou současné technologie a zmíněny jejich výhody a nevýhody. Pomocí doprovodného textu a schémat jsou vysvětleny základní principy fungování elektrických vozidel. V jednotlivých částech práce jsou srovnány parametry konkrétních příkladů vozidel od různých výrobců.

V práci je provedena analýza současného stavu infrastruktury s přehledem dobíjecích stanic na území České republiky. Rozbor použitých technologií u dobíjecích stanic, popsány hardwarové prvky stanic a jejich předpokládaný vývoj. Statisticky zhodnocené současné počty vozů v Evropské unii a České republice a předpovězen budoucí vývoj elektromobility.

Klíčová slova:

Elektrická energie, elektromotor, pohonná jednotka, hnací ústrojí, elektrické vozidlo, hybridní vozidlo, homologace, regulace, řízení, akumulátor, infrastruktura

Electromobility, electric and hybrid vehicles

Summary:

Aim of this bachelor's thesis is to describe concepts of electric and hybrid vehicles. Solutions of battery electric vehicles, electric vehicles with fuel cells and hybrid vehicles are compared. Closer have been described parts of battery electric vehicles. Current technologies have been introduced and mentioned their advantages and disadvantages. With the accompanying text and schemes the basic principles of electric vehicles are explained. In chapters of the thesis are compared parameters of selected vehicles from different companies.

The thesis analyses present state of infrastructure with an overview of charging stations in Czech Republic. Hardware parts of charging stations are described, analysed technologies used at charging stations and predicted their future expansion. Statistically reviewed number of vehicles in European union and Czech Republic and forecasted development of electromobility.

Key words:

Electric energy, electric motor, powertrain, drivetrain, electric vehicle, hybrid vehicle, homologation, regulation, control, battery, infrastructure

Obsah:

1	Úvod	1
2	Cíl práce	2
3	Metodika práce	2
4	Druhy pohonů	2
4.1	Konvenční pohony	2
4.2	Elektrické pohony	3
4.2.1	Akumulátorové elektromobily.....	4
4.2.2	Elektromobily s palivovými články.....	4
4.3	Hybridní pohony	9
4.3.1	Konstrukce hybridů.....	10
5	Konstrukční prvky elektromobilů	15
5.1	Elektromotory	15
5.1.1	Stejnoseměrné motory.....	15
5.1.2	Střídavé motory	16
5.2	Typy pohonných jednotek	18
5.2.1	Pohon s převodovkou	18
5.2.2	Přímo poháněná náprava	18
5.2.3	Zdvojený motor na hnací nápravě.....	19
5.2.4	Motor v kolech.....	19
5.3	Regulace a řízení	20
5.3.1	Výkonová elektronika	20
5.3.2	Ovládací elektronika	21
5.3.3	Řízení spotřeby energie	22
5.4	Úložiště energie	22
5.4.1	Akumulátory	23
5.4.2	Ultra-kondenzátory	24
5.5	Režimy nabíjení	25
5.5.1	Palubní nabíječky – AC nabíjení.....	25
5.5.2	Nabíjecí stanice – DC nabíjení	25
5.6	Typy konektorů a zásuvek.....	26

5.6.1	SAE J1772, Typ 1, Yazaki	26
5.6.2	Mennekes, Typ 2	26
5.6.3	CHAdeMO	27
5.6.4	SuperCharger	27
5.6.5	Kombinované CCS.....	28
5.7	Homologace	28
5.8	Regenerační brzdění	30
5.9	Dobíjení mimo síť.....	30
5.9.1	Indukční dobíjení	30
6	Síť dobíjecích stanic.....	31
6.1	Typy stanic	31
6.1.1	AC dobíjecí stanice.....	31
6.1.2	DC dobíjecí stanice	32
6.2	Přehled stanic v ČR.....	34
6.3	Doba dobíjení.....	34
7	Doporučení a diskuze	35
7.1	Rozvoj elektromobility	35
7.2	Počet vozidel v ČR	36
7.3	Počet vozidel v EU.....	36
7.4	Zdroje energie	37
8	Závěr.....	38
9	Seznam použité literatury	39
10	Seznam obrázků	42
11	Seznam grafů.....	42
12	Seznam tabulek	43

1 Úvod

Potřeba obyvatelstva se přemísťovat a přepravovat náklady je stále rostoucí. Rostou také nároky na osobní přepravu, která se stává s rozvojem automobilismu čím dál tím více dostupnější pro všechny sociální vrstvy. V dnešní době je ve světě registrována více než 1 miliarda automobilů, přibližně 1 automobil pro každých 7 lidí na Zemi. Tyto čísla jsou předpověděna k neustálému růstu, díky rostoucímu bohatství a kupní síle mezi občany v rapidně se rozvíjejících ekonomikách zemí Asie a Jižní Ameriky. Již nyní je ve světě každý rok vyrobeno 80 milionů nových vozů. (Emadi 2015) Je tedy zřejmá potřeba vozy vyrábět šetrnějšími způsoby, ekologičtější, účinnější a méně sociálně škodlivé. Hledáme proto způsob, kterým můžeme zabránit ekonomické a enviromentální krizi v dalším století. Jako jedno řešení se nabízí využívání elektrické energie pro provoz osobních vozidel.

Práce je rozdělena do šesti hlavních částí. První část seznamuje čtenáře s obsahem práce, jedná se o tento úvod.

Ve druhé části jsou zmíněny základní druhy pohonů používaných u dnešních automobilů. Podrobněji jsou popsány druhy čistě elektricky poháněných vozidel. Zaměřeno především na pohon s palivovými články. Provedeno srovnání vozidel s elektrickým, hybridním a konvenčním pohonem. Ke konci této části je rozebrána technologie hybridních pohonů, rozděleny jejich typy s popisem funkce a konstrukce.

Třetí část je zaměřena především na akumulátorové elektromobily. Zde je proveden popis jednotlivých konstrukčních částí elektricky poháněných vozidel, popsány používané elektrické motory a principy fungování řídicí elektroniky, představeny druhy zdrojů energie, nabíjení a regenerace energie, rozděleny hardwarové prvky související s dobíjením a zmíněna legislativa týkající se elektromobility.

Další část seznamuje s infrastrukturou dobíjecích stanic, která je pro elektromobilitu velmi podstatná. Popsány jsou zde typy dobíjecích stanic, porovnány jejich výhody a nevýhody, zmíněny výkony jednotlivých typů řešení a také počty stanic umístěných na území České republiky.

Pátá část nabízí pohled na budoucí rozvoj elektromobility. V této části je zpracováno porovnání současných statistik rozdělení vozidel dle typu pohonu na území České republiky a Evropské unie a přehled rozdělení zdrojů elektrické energie.

Poslední část je věnována závěru, ve kterém jsou shrnuty poznatky z celé bakalářské práce.

2 Cíl práce

Analýza technologií elektrických a hybridních vozidel, konverze a akumulace elektrické energie, přehled o současném stavu a současné produkci v dané oblasti, porovnání a posouzení technických parametrů a užitných vlastností a posouzení změn a inovací. Hodnocení provést z hlediska koncepčního, konstrukčního, energetického, bezpečnostního a environmentálního. Dále posouzení možností a předpokládaných vývojových trendů.

3 Metodika práce

Ze shromážděných materiálů byla vytvořena literární rešerše informující o typech a technologiích elektrických a hybridních vozidel. Bylo čerpáno z české a zahraniční odborné literatury, oficiálních informací společností zabývajících se elektromobilitou a dalších internetových zdrojů. V práci jsou zpracovány statistické údaje veřejně dostupné z webových stránek úřadů a ministerstev České republiky. Vzhledem k omezenému rozsahu práce, jsou zpracované informace zaměřeny pouze na osobní vozidla. Oblast elektromobility je rozsáhlá a zahrnuje nejrůznější typy vozidel, avšak základní principy a zmíněné informace jsou společné i pro další prvky elektromobility.

4 Druhy pohonů

Historie automobilismu sahá až do konce 18.století, kdy se začali objevovat první vozidla poháněna párou. První parovůz byl zkonstruován v roce 1769 Francouzem Nicolasem Josephem Cugnotem. (Provalilová 2009) Na českém území jako první představil svůj vůz poháněný párou Josef Božek. Stalo se tomu tak 24.září 1815 v pražské Stromovce. (ČTK 2015) Velkému přelomu v rozvoji automobilismu přispěl Nikolas Otto, který roku 1863 vynalezl spalovací motor. Na spalovacím motoru byly také založeny vozidla Karla Benze, který zkonstruoval roku 1886 dvoumístnou tříkolku se spalovacím benzínovým motorem.

Rozmach automobilismu ve 20. století nastal s objevením řady výrobců v průmyslových zemích. V Německu firem Benz a Opel, ve Francii Renault a Peugeot, či Fiat v Itálii. V Čechách mezi nejvýznamnější patřil Laurin-Klement (později Škoda) a Kopřivnická vozovka (později Tatra). Přelomem pro konstrukci a výrobu automobilů se stala masová sériová výroba ve Fordových závodech v USA. Ustálila se klasická konstrukce karoserie, spalovacího motoru, převodovky, podvozku, řízení a elektronických systémů.

4.1 Konvenční pohony

V dnešní době nejrozšířenější pohon vozidel je pohon se spalovacím motorem. Tento typ pohonu je nazýván konvenční a zahrnuje vznětové a zážehové motory.

Zdrojem energie pro tyto motory jsou paliva vycházející z těžby ropy. V současné době firma British Petroleum odhaduje zásoby ropy na 1687,9 miliard barelů (1 barel = 119,2 litrů), což při současné spotřebě 34 miliard barelů ropy ročně, vystačí ještě na 53let. (McQueeney 2016)

Toto je tedy jeden z důvodů, proč je veřejným zájmem snižování spotřeby paliva v automobilovém odvětví. Dalším důvodem k nahrazování spalovacích motorů je produkce emisí při provozu vozidel. Celosvětovým trendem je nárůst emisí z fosilních paliv. Během posledních padesáti let se produkce emisí téměř zdvojnásobila. (CDIAC 2017)

Právě cena a omezené množství ropy spolu s vyprodukovanými emisemi spalovacích motorů nutí hledat další možnosti k pohánění vozidel. Existují paliva, která již dokáží nahradit automobilový benzin a motorovou naftu, říkáme jim alternativní paliva. Mezi tyto alternativní paliva patří:

- Stlačený zemní plyn (CNG)
- Zkapalnění ropné rafinerské plyny (LPG)
- Bioplyn
- Bionafta a paliva na základě metylesteru řepkového oleje
- Paliva s využitím alkoholů (etanol a metanol)
- Vodík
- Elektrický proud

U každého typu paliva je možné naleznout výhody, pro které je dané palivo vhodné více využívat. Vždy však můžou převládat nevýhody spojené s infrastrukturou, účinností provozu, skladováním či dostupností alternativního paliva. (Vlk 2004)

4.2 Elektrické pohony

První elektrické motory byly vyvinuty na začátku 19. století na základě experimentů s magnety. Ty však nebyly použity do 50. let 19. století, kdy byly provedeny první pokusy zástavby do vlaků, lodí či prvních osobních vozidel. Tyto pokusy dominovaly na poli osobní přepravy až do 1. světové války. Prvenství ve vývoji elektromobilů je přisuzováno Thomasovi Davenportovi, který v roce 1834 vyvinul první elektrický jednomístný vůz. (Khajepour et al. 2014)

Desetiletí později se na americkém trhu objevily první masově vyráběné elektrické automobily, a to především kvůli Edisonovu Ni-Fe akumulátoru. Tento akumulátor měl větší kapacitu než ty, co byly používány v předchozích elektrických vozidlech. Jejich velkou výhodou byla možnost dobíjení, což umožnilo vyvíjet auta dostupná i pro střední třídu obyvatelstva. To mělo přístup k dobíjecím stanicím, které byly instalovány podél ulic, či dostupné v domácnostech. (Emadi 2015) V roce 1900 ve Spojených státech amerických elektromobily zaznamenaly značný úspěch. Mezi 4200 prodanými vozy bylo rozložení pohonů 38 % elektrických, 22 % benzínových a zbylých 40 % stále poháněných parou. (Lerner a Lerner 2008)

Koncept vysoce účinných, čistých, inteligentních a propojených elektrických vozidel nebyl dále více rozvíjen až do 90. let 20. století. V této dekádě vlivem kombinace enviromentálních, geopolitických a sociálních vlivů začaly vlády zemí Severní Ameriky a Evropy revidovat přístup k provozování a výrobě automobilů. Vozidla poháněná spalovacími motory se stávala

nekončícím zdrojem problémů. Jejich provoz byl nečistý a nebezpečný pro budoucí vývoj planety. V kombinaci s rostoucími cenami a nedostatkem ropy vznikly nové základy pro znovuoobnovení a investování do vývoje elektricky poháněných vozidel a rozvoj elektrifikované dopravy.

4.2.1 Akumulátorové elektromobily

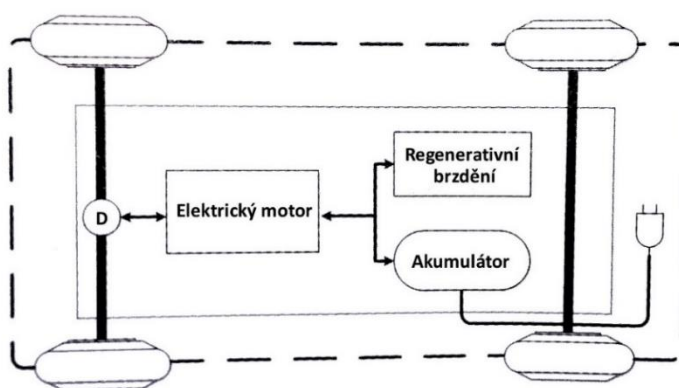
Elektromobily, které pro pohon elektromotorů využívají elektrickou energii z rozvodné sítě. Tuto elektrickou energii je třeba nutno do vozu přivést přes elektrické zásuvky a uschovat jí na pozdější využití. K uchování energie slouží akumulátory (viz obr. 1), či ultra-kondenzátory.

Velkou výhodou elektromobilů je jejich až 90 % účinnost využití energie, ve srovnání s konvenčními vozy, které využívají kolem 30 % energie z paliva. Důležitým faktem, pro ekologicky a úsporně smýšlející lidi, je provoz elektromobilů s nulovými emisemi. Záleží tedy především na zdroji elektrické energie, kdy je třeba k zajištění nulových emisí v rámci celého cyklu zajistit čerpání energie z obnovitelných zdrojů. (Emadi 2015)

Největší nevýhodou vozů, které jako zdroj energie používají akumulátory je omezený dojezd na jedno nabití. V rozsahu dojezdu jsou na tom stále lépe elektrické hybridní a plug-in hybridní vozy. Probíhá však stále vývoj nových technologií v oblasti akumulátorů, odlehčených materiálů a efektivnosti využití elektrické energie.

Jednotlivé části akumulátorových elektromobilů a další související informace s provozem a infrastrukturou tohoto typu vozů budou více probírány v dalších kapitolách této práce.

obr. 1 Schéma akumulátorového elektromobilu (Khajepour et al. 2014)



4.2.2 Elektromobily s palivovými články

Elektromobily s palivovými články jako hlavní zdroj energie pro pohon elektromotoru používají palivové články. Tyto články generují elektrickou energii za pomoci paliva (vodík, methan) na anodě a oxidačního činidla (kyslík, vzduch) na katodě. Na rozdíl od akumulátorů, kondenzátorů a ultra-kondenzátorů palivové články nejsou úložištěm energie. Jedná se o zdroj energie, který vygenerovanou energii okamžitě přivádí k elektromotorům, nebo k akumulátorům pro pozdější použití.

Benefitem provozu vozidel na vodíkové palivo jsou nulové nebo velmi nízké emise. Vozidla poháněná pouze čistým vodíkem neprodukuje žádný oxid uhličitý, vedlejšími produkty jsou pouze teplo a voda.

Výhodou elektromobilů s palivovými články je především dojezdová vzdálenost, která může být podobná vozům se spalovacími motory. Dojezd vozidel je limitován velikostí nádrže na palivo, nikoliv velikostí palivových článků. Ve skutečnosti na velikosti palivových článků závisí jen potřeba dodaného výkonu. Doba doplňování paliva pro palivové články je řádově kratší oproti dobíjení akumulátorů. (Khajepour et al. 2014)

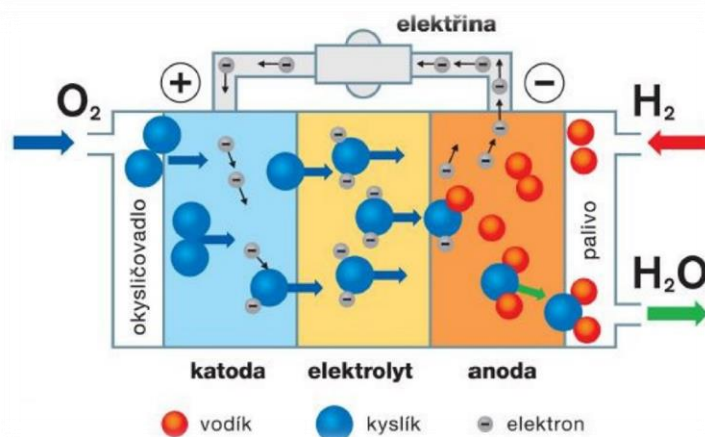
Provoz elektromobilů na palivové články je závislý na infrastruktuře stanic, na kterých je možné vodík čerpat. V České republice vznikla první vodíková stanice v roce 2009 v Neratovicích (ČTK 2009), kde byl také provozován elektrický autobus TriHyBus, který kombinoval provoz z palivových článků na vodík a akumulátorů. (Jančar 2009) Od roku 2009 však žádná další vodíková stanice na území České republiky nevznikla.

Na území Evropy probíhá rozvoj stanic, především v zemích západní Evropy. Věvodící zemí v rozvoji infrastruktury vodíkových stanic je Německo, ve kterém se uskutečnila dohoda firem (OMV, Shell, Total, Air Liquide, Linde a Daimler), slibující 100 vodíkových stanic do konce roku 2018 s dalším rozvojem až na 400 stanic do roku 2023. (H2ME 2018)

Druhy palivových článků

Všechny palivové články jsou složeny ze tří částí: anody, katody a elektrolytu. (viz obr. 2) Elektrolyt umožňuje přenos mezi dvěma nabíjenými stranami článku. Elektrony z katody jsou přitahovány k anodě, což vytváří elektrický proud. Každý článek vytváří malý proud, proto se zapojují do sériových a paralelních obvodů, aby bylo dosaženo požadovaného napětí a výstupního proudu. Většina palivových článků je poháněna vodíkem. Jedná se buď o čistý vodík, nebo paliva bohatá na obsah vodíku, tedy metanol, ethanol a uhlovodíkové palivo. (Khajepour et al. 2014)

obr. 2 Schéma palivového článku (Porš 2003)



V dnešní době je dostupných několik druhů palivových článků. Ty je možno dělit, dle chemické reakce, potřebných katalyzátorů a paliva, nebo provozních teplot. Typickým rozdělením je však dle typu elektrolytu. Parametry jednotlivých typů článku lze vidět v tab. 1.

S polymerní membránou – PEMFC

Využívá tenké propustné polymerové vrstvy elektrolytu (membrána) a porézních uhlíkových elektrod obsahujících platinové katalyzátory. Palivem je čistý vodík a okysličovadlem kyslík, nebo vzduch.

Metanolové – DMFC

Tyto články mají jako palivo metanol, namísto vodíku. Konstrukce vychází z typu PEMFC, ale obsahuje ještě tenčí membránu a více katalyzátorů. I přes nižší účinnost článků, je jejich využití ve vozidlech výhodné, díky vyšší energetické účinnosti metanolu oproti vodíku. Navíc metanol není tolik náročný na vlastnosti palivové nádrže, které jsou stálým problémem u vodíkových nádrží.

S alkalickým elektrolytem – AFC

Patří mezi první vyvinuté technologie palivových článků, jež své uplatnění našly i u amerického vesmírného programu. Jako elektrolyt AFC používají vodný roztok alkalického hydroxidu. Jako katalyzátory na katodě a anodě se nemusí používat žádné drahé kovy, což snižuje náklady na tyto články a ztraktivňuje pro použití v elektromobilech.

S kyselinou fosforečnou – PAFC

Považovány za první generaci moderních palivových článků. Používá kombinaci, kyseliny fosforečné jako elektrolyt fixovaný v matrici a porézních uhlíkových elektrod obsahujících platinové katalyzátory. Tyto články pracují při vyšších teplotách, kdy je výhodné u teplot nad 180 °C možnost využití vodíkového paliva vznikajícího při parním reformingu fosilních paliv. Možnost využití v kogeneračních jednotkách, kde dosahuje účinnosti až 85 %.

S tavenými uhličitany – MCFC

Vysokoteplotní palivové články, u kterých jako katalyzátory na anodě a katodě není nutnost využívat drahé kovy. Jako elektrolyt je použita tavenina směsi alkalických (Li, Na, K) uhličitánů. Hlavní výhodou oproti výše zmíněným článkům PEMFC, AFC, PAFC je možnost využití uhlovodíků místo čistého vodíku, což snižuje nákladnost těchto článků.

S tuhými oxidy – SOFC

Články pracující ve vysokých provozních teplotách. U takovýchto palivových článků je nutno klást důraz na tepelnou izolaci a těsnění jednotlivých částí systému. Jako elektrolyt se používá oxid zirkoničitý a oxid yttritý. Jako katalyzátory není nutnost používat drahé kovy. Palivem pro články může být zemní plyn, bioplyn a plyn z reformingu fosilních paliv. (Husain 2011)

tab. 1 Porovnání palivových článků (Khajepour et al. 2014; Husain 2011)

Typ článku	Palivo	Provozní teploty	Účinnost	Využití
PEMFC	Vodík, LNG, metanol	50–100 °C typicky 80 °C	60 %	Elektrická a hybridní vozidla, průmysl do 80 kW
DMFC	Metanol, ethanol	50–120 °C	40 %	Elektrická a hybridní vozidla, malá přenosná zařízení (1 W–70 kW)
AFC	Vodík	90–100 °C	60 %	Mobilní stroje a zařízení, vesmírný výzkum
PAFC	Vodík, LNG, metanol	150–200 °C	40 %	Statická zařízení (>250 kW)
MCFC	Vodík, uhlovodíky (LNG, metanol, koksárenský plyn)	600–700 °C	45–50 %	Statická zařízení (>250 kW)
SOFC	Vodík, uhlovodíky (LNG, metanol, koksárenský plyn)	700–1000 °C	60 %	Statická zařízení (100 W–2 MW)

Vozidla poháněná palivovými články

V silničním provozu na území České republiky málo rozšířený typ vozidel. Hlavním důvodem je především chybějící infrastruktura vodíkových čerpacích stanic na našem území. Tento fakt nepřispívá k většímu rozšíření tohoto typu vozidel.

Ve světě probíhá rozvoj vodíkových stanic, především na území západní Evropy, ale stále více i ve Spojených státech amerických (zejména v Kalifornii) a Asii (Japonsko a Jižní Korea). Celkové počty stanic ve světě jsou v řádu stovek s předpokladem nárůstu.

Na zájem o elektromobily s palivovými články reagují také globální automobiloví výrobci. Mezi průkopníky vozidel poháněných palivovými články může být považována Honda, která svůj první model FCX Clarity představila již roku 2005. Během minulého desetiletí následovaly Hondu i další značky (Toyota, Nissan). V současné době je vyráběno již více modelů od značek Hyundai, Toyota, Honda, GM a odhaleno několik konceptů od firem Audi, Mercedes-Benz a BMW s příslibem výroby od roku 2019 respektive 2020. (Muoio 2017)

Honda Clarity Fuel Cell

Společnost Honda nabízí na americkém trhu model Clarity ve třech různých provedeních. Elektrický pohon s palivovými články (viz obr. 3), elektrický pohon s akumulátorem a plug-in

hybrid se spalovacím motorem. (viz tab. 2) Vozy s elektrickým pohonem je možné pronajímat pouze pomocí leasingu za zvýhodněných podmínek, plug-in hybrid je možné zakoupit.

obr. 3 Honda Clarity Fuel Cell (American Honda Motor Co. 2018)



1) Pohonná jednotka 2) Zásobník palivových článků 3) Provozní akumulátor 4) Vodíková nádrž

tab. 2 Srovnání vybraných parametrů modelů Honda Clarity (American Honda Motor Co. 2018)

	Clarity Electric 2017	Clarity Fuel Cell 2017	Clarity Plug-in Hybrid 2018
Typ pohonu	Elektrický s akumulátorem	Elektrický s palivovými články	Plug-in hybrid se spalovacím motorem
Motor	AC synchronní motor s permanentní magnety	AC synchronní motor s permanentní magnety	Řadový čtyřválec 1.5 VTEC + AC synchronní motor s permanentní magnety
Výkon	120 kW při 4000-9500 ot./min	130 kW při 4501-9028 ot./min	S:77 kW při 5500 ot./min E:135 kW při 6000 ot./min
Točivý moment	300 N.m při 0-3500 ot./min	300 N.m při 0-3500 ot./min	315 N.m při 0-2000 ot./min
Kapacita akumulátoru	25,5 kWh	-	17 kWh
Kapacita pal. nádrže	-	5,46 kg plynného vodíku	27 l benzínu
Doba nabíjení	80 % za 30 min 100 % za 3,5 h	5 minut	2,5 h nabití akumulátoru ze sítě
Maximální dojezd	143 km	589 km	Elektrický: 76 km Kombinovaný: 547 km
Pohotovostní hmotnost	1825 kg	1875 kg	1838 kg
Cena v USA (přepočet)	4100 Kč/měsíc	7600 Kč/měsíc	680 000 Kč

Hyundai Tucson FCEV

Firma Hyundai vyrábí tento model s pohonem čistě na palivové články (viz obr. 4) již od roku 2015 na základech konstrukce automobilu s konvenčním pohonem. Automobilka nabízí vůz k tříletému leasingovému pronájmu v přepočtu se splátkou 10 500 Kč s počáteční platbou 65 000 Kč. Pronájem obsahuje kompletní údržbu automobilu včetně asistenčních služeb a neomezené tankování vodíku po celou dobu leasingu. Doplnění nádrže vozidla vodíkem trvá z prázdného stavu 5 min. (Hyundai USA 2017) Srovnání Tucson FCEV a konvenční verze tab. 3.

tab. 3 Srovnání vybraných parametrů vozu s palivovými články a konvenčního vozu (Hyundai ČR 2015; Hyundai USA 2017)

	Hyundai Tucson FCEV 2015	Hyundai Tucson 1,6 GDI 2015
Výkon	100 kW	97 kW
Točivý moment	300 N.m při 1000 ot./min	161 N.m při 4850 ot./min
Akcelerace (0-100 km/h)	12,5 s	11,5 s
Pohotovostní hmotnost	1882 kg	1539 kg
Palivo	Vodík	Benzín
Kapacita palivové nádrže	5,6 kg plynného vodíku	62 l benzínu
Maximální dojezd	426 km	880 km
Produkce emisí CO₂	0 g/km	158 g/km

obr. 4 Detaily Hyundai Tucson FCEV (Torque 2017)



4.3 Hybridní pohony

Hybridní pohony kombinují výhody spalovacích a elektrických motorů. Při tomto typu pohonu vozidla, jsou v konstrukci vozu zabudovány oba typy motorů.

Historie hybridních pohonů v Evropě a Spojených státech Amerických sahají na počátek 20. století, kdy byly představeny první prototypy během Pařížských autosalonů. Hybridní vůz s

pohonem benzín-elektřina v té době byl výrazně dražší, a ne zcela schopný konkurovat čistě elektrickým vozům. (Fuhs 2009)

Ovládání historických hybridů záviselo zcela na řidiči, ten mohl přepínat mezi třemi režimy:

- Akumulátor přímo připojen k motoru
- Režim generátoru, připojen k akumulátoru
- Režim nakrátko, působící jako dynamická brzda

Za znovuobjevení, a tedy začátek moderní doby hybridů, můžeme považovat 70. léta 20. století během ropné krize a nedostatku benzínu ve Spojených státech Amerických. Přispěl také rozvoj elektrotechniky, především vývoj technologií akumulátorů, vylepšení elektromotorů a možnost řízení pohonů pomocí elektronických systémů, či počítačů.

Snížení vyprodukovaných emisí a spotřeby je hlavním důvodem, proč lidé mají zájem o hybridy. Oproti čistě elektricky poháněným vozům odpadá nutnost dobíjení a omezený dojezd. Hybridy v kombinaci se spalovacím motorem dokáží během jízdy akumulátor dobíjet. Nároky na dojezd čistě na elektrickou energii vedou ke zvyšování kapacity akumulátorů.

Zvýšení kapacity akumulátorů vedlo k nutnosti zavedení plug-in hybridů, kdy již nebylo možné plně dobíjet akumulátor provozem vozidla. Tyto vozy k zajištění maximálního dojezdu je nutno dobíjet z elektrické sítě.

Výhody hybridních pohonů:

- Nižší produkce emisí
- Tichý provoz (při provozu na elektromotor)
- Úspora paliva
- Zvýšení dojezdu (oproti elektromobilům neomezený, díky síti čerpacích stanic)

Nevýhody hybridních pohonů:

- Vyšší pořizovací cena
- Vyšší hmotnost vozidla
- Nákladnější údržba (2 typy motorů, složitější konstrukce)
- Životnost akumulátorů

4.3.1 Konstrukce hybridů

Na trhu je jen několik vozidel, které byly navrženy a zkonstruovány od základů jako hybridní. Mezi jejich zástupce můžeme zařadit Honda Insight, či Toyota Prius I. a II. generace. Tyto vozy jsou už od počátku navrženy s ohledem na zabudování akumulátoru, elektromotoru a dalších souvisejících částí.

Větší část produkce hybridních vozidel vychází z konstrukce již existujících vozů s konvenčním pohonem. Přestavby či modifikace na hybridní pohon mohou mít za následek, že některé

vlastnosti vozu jsou degradovány oproti vozům, z kterých vycházejí. Jedná se o jízdní vlastnosti, účinek brzd, či zmenšení úložných prostorů. K modifikaci konvenčního vozidla je třeba využít již stávající konstrukce, zástavbou akumulátoru a elektromotoru omezit prostor ve vozidle, zvýšení hmotnosti vozidla promítnout do konstrukčních částí a brzdového ústrojí vozidla.

Dle uspořádání hnacího řetězce rozdělujeme hybridy:

Sériové hybridy

Řešení sériových hybridů se zakládá na tom, že spalovací motor pohání pouze generátor střídavého proudu. (viz obr. 5) Proud je dodáván přes měnič do trakčního akumulátoru. Spalovací motor tedy slouží pouze k dobíjení akumulátoru, které pohání elektrický motor. Elektromotor přes redukční převod pohání kola a není tedy v konstrukci nutnost klasické převodovky. Zástupci z této kategorie jsou Opel Ampera a Chevrolet Volt. (Serra 2012)

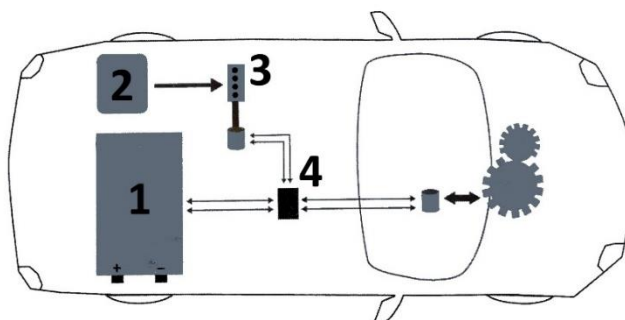
Výhody sériových hybridů:

- Zjednodušení konstrukce vynecháním klasické převodovky
- Spalovací motor není spojen s koly, provoz v optimálním rozsahu otáček

Nevýhody sériových hybridů:

- Hmotnost konstrukce
- Stálý hluk elektromotoru

obr. 5 Schéma sériového hybridního pohonu (Serra 2012)



1) Akumulátor 2) Palivová nádrž 3) Spalovací motor 4) Řídící elektronika

Paralelní hybrid

Paralelní hybrid je alternativou k sériovému. Hlavním rozdílem je, že samotný spalovací motor může pohánět vozidlo přes klasickou převodovku a redukční převod. (viz obr. 6) Elektromotor pohání kola již jen přes redukční převod. Oproti sériovému hybridu je v paralelním hybridním hnacím řetězci elektromotor a generátor tvořeny jednou jednotkou.

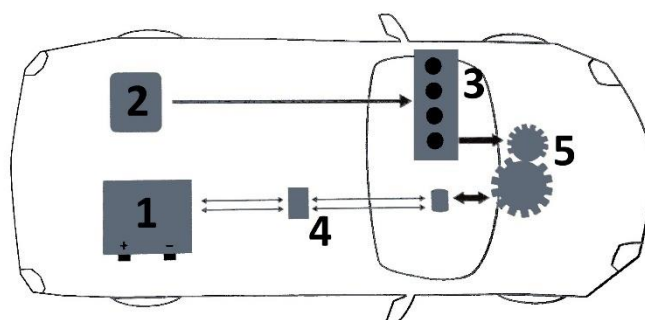
Paralelní hybridní pohon je možno provozovat ve čtyřech režimech:

- Hybridní režim, provoz pouze na elektromotor
- Kombinace elektromotoru a spalovacího motoru
- Režim dobíjení akumulátoru
- Regenerace brzděné energie

Spalovací motor a elektromotor s generátorem je spojen třecí spojkou. V režimu pohonu pouze na elektrický motor a při dobíjení akumulátoru je tato spojka rozepnuta. Spojka je naopak sepnuta při kombinaci obou motorů a regeneraci brzděné energie. (Serra 2012)

Výhodnost tohoto řešení se projeví především při cestách na větší vzdálenost a vyšších cestovních rychlostech. Mezi nevýhody můžeme řadit nutnost provozovat spalovací motor ve standardním rozsahu otáček. Pomocí této hybridní technologie lze u větších vozů nahradit velkoobjemový mnohoválcový motor za menší úspornější. Jako příklad můžeme zmínit BMW řady 7 ActiveHybrid, který je nabízen s elektromotorem a zážehovým 4 válcem, oproti klasickému BMW řady 7 s až 12 válcovým motorem. (BMW.com 2018)

obr. 6 Schéma paralelního hybridního pohonu (Serra 2012)



1) Akumulátor 2) Palivová nádrž 3) Spalovací motor 4) Řídící elektronika 5) Převodovka

Kombinovaný hybrid

Kombinovaný hybrid vznikl spojením sériového a paralelního hybridu. Jedná se o technicky nejkomplicovanější a nejdražší řešení. Z výše zmíněných se jedná o nejvíce komplexní hybridní pohon. Hnací náprava může být poháněna nezávisle spalovacím motorem, elektromotorem a kombinací obou motorů dohromady. (viz obr. 7)

Podstatnou částí tohoto systému je hybridní převodovka. Tato převodovka je uzlem, ve kterém se stýká spalovací motor, motor-generátor a elektromotor. Hybridní převodovka je planetové ústrojí se třemi (Toyota HSD), nebo čtyřmi (Ford Mondeo HEV) satelity. Dle svého projevu je tato převodovka nesprávně označována jako e-CVT, avšak o variátor s plynulou změnou převodu se nejedná. Tohoto systému využívají také hybridní vozy Lexus. (Dusil 2016)

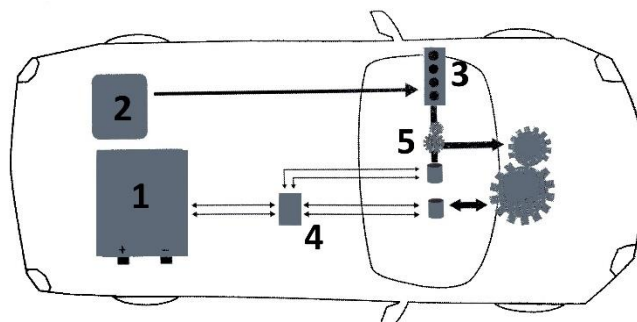
Výhody kombinovaných hybridů:

- Dojezd spalovacích motorů, kultivovanost a úspornost elektromotorů
- Možnost provozu pouze na elektromotor

Nevýhody kombinovaných hybridů:

- Složitost konstrukce, nutnost hybridní převodovky

obr. 7 Schéma kombinovaného hybridního pohonu (Serra 2012)



1) Akumulátor 2) Palivová nádrž 3) Spalovací motor 4) Řídící elektronika 5) Hybridní převodovka

Dle využití elektrického motoru se pohony rozdělují do tří skupin: (viz tab. 4)

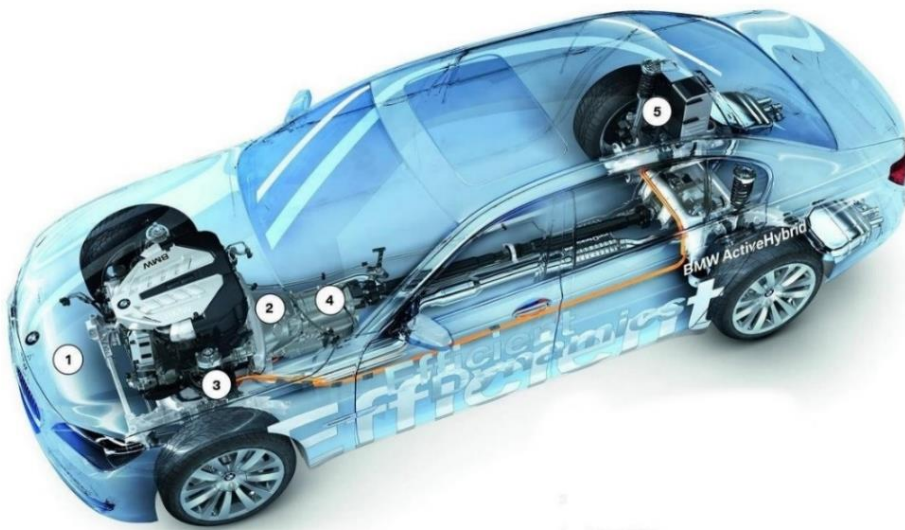
Micro hybrid

Nejedná se o kompletní hybridní řešení, častěji je tímto způsobem označován pouze systém start/stop. Během jízdy je po celou dobu využíván spalovací motor. Jedná se o startér, který zvládá systém start/stop a zároveň umí regenerovat brzdovou energii a tím fungovat jako alternátor, který dobíjí akumulátor.

Mild hybrid (medium hybrid)

Konstrukční řešení Mild hybrid využívá elektrický motor pouze jako přídatný ke spalovacímu. Napomáhá při situacích, kdy je třeba vyššího výkonu, při rozjezdu či akceleraci. Hlavním požadavkem není snížení spotřeby paliva spalovacího motoru, ale možnost využít menší a úspornější motor při zachování dynamiky. Úspora paliva je druhotný efekt, který není zcela vyžadován u kategorií vozidel, v nichž se konstrukce Mild hybrid využívá. Uplatnění tohoto řešení je v luxusních limuzínách a sportovních vozech. (viz obr. 8)

obr. 8 Mild hybrid – BMW ActiveHybrid 7 (BMW.com 2018)



1) Výkonný benzinový motor V8 2) Elektromotor (15 kW, 210 N.m) 3) Vysokonapěťová elektronika 4) Automatická převodovka schopná pracovat ve dvou módech 5) Lithium-iontový akumulátor

Full hybrid (strong hybrid, plug-in hybrid)

Jedná se o typ hybridu, který umožňuje provoz vozidla čistě na elektrický pohon. Jedná se o nejvyšší stupeň hybridizace, která umožňuje provoz zcela bez emisí. Bezemisní provoz najde využití zejména v městském provozu. Uživatel si zpravidla může zvolit, zda chce používat konvenční nebo elektrický pohon. Full hybridy jsou nejčastěji konstrukčně řešeny jako plug-in hybrid, který umožňuje dobíjení akumulátoru přímo z elektrické sítě pomocí zabudované zásuvky. (Sajdl 2014)

tab. 4 Porovnání hybridních pohonů dle stupně hybridizace (Khajepour et al. 2014)

	Systém Start/Stop	Regenerativní brzdění	Asistence motoru	Elektrický pohon
Micro hybrid	Ano	Mírné	Mírná	Ne
Mild hybrid	Ano	Ano	Ano	Ne
Full hybrid	Ano	Ano	Ano	Ano

5 Konstrukční prvky elektromobilů

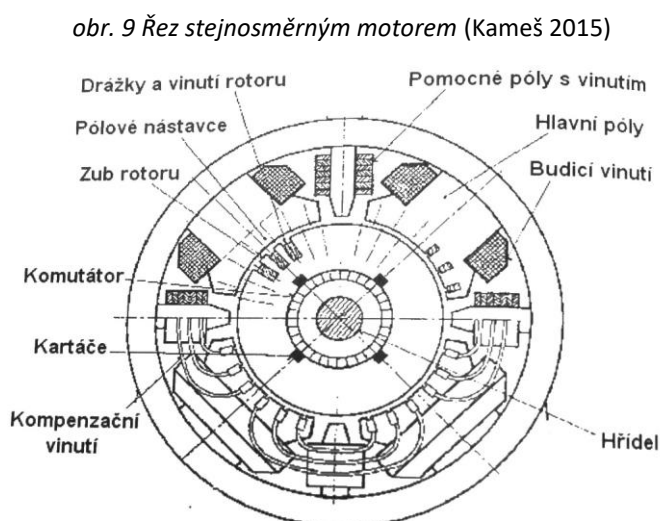
5.1 Elektromotory

Elektromotory převádějí elektrickou energii ze zdroje na mechanickou energii za účelem poskytnutí tažné síly k pohybu vozidla. Na motory elektrických vozidel jsou kladeny nároky, které během jízdních režimů musejí zvládat. Časté zapínání a vypínání motoru, rozjezd vozidla z místa, stoupání do kopce při malé rychlosti s vysokým točivým momentem, rychlá jízda po dálnici s nízkým točivým momentem. Typ, velikost, váha a výkon motoru závisí na specifikacích celé pohonné jednotky. Může se jednat o konfigurace s jedním i více motory, s pevným nebo proměnným převodem. (Khajepour et al. 2014)

5.1.1 Stejnosměrné motory

Stejnosměrný motor s cizím buzením je vhodný k použití v elektrických vozidlech především díky výhodné tahové charakteristice, regulaci otáček v širokém rozsahu a kontinuálnímu přechodu z jízdy na brzdění. Výhodná je také možnost napájení motoru přímo z akumulátoru.

Princip motoru je založen na vybuzení magnetického toku budícím vinutím ve statoru a hlavní součástí budícího vinutí a póly s pólovými nástavci. (viz obr. 9) Magnetický tok statoru je uzavírán jeho statoru. Do otáčejícího se rotoru je přiveden proud přes kartáče a komutátor, který zajišťuje periodickou změnu do cívky kotvy. Kotva tedy rotuje ve vnějším magnetickém poli. Dle zapojení kotvy a budícího vinutí rozdělujeme stejnosměrné motory na sériové a paralelní.



Regulace motoru probíhá pomocí elektronické regulace napájení vinutí motoru pomocí křemíkových tyristorů. Při potřebě vysokých otáček je možná regulace pole, tedy zvýšením buzení pole. Stejnosměrné motory jsou silně přetížitelné, pro trvalý výkon po dobu 1 hodiny až 20 % a krátkodobě například při rozjezdu až 100 % přetížitelnost. Při použití stejnosměrných motorů v elektricky poháněných vozidlech je typický výkon mezi 30 kW–45 kW s napětím mezi 108 V–340 V a výkonová hmotnost 0,33 kW/kg – 1 kW/kg. (Kameš 2015)

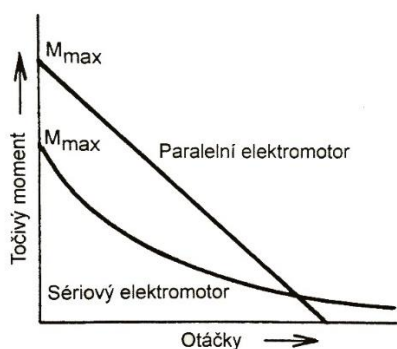
Sériový elektromotor

Stejnosemřný elektromotor se sériově zapojeným vinutím má dobrý počáteční točivý moment, který však se zvyšujícími se otáčkami rychle klesá. V elektrických vozidlech není tedy využíván.

Paralelní elektromotor

Točivý moment stejnosměrného motoru s paralelně zapojeným vinutím klesá lineárně s otáčkami. (viz obr. 10) V elektrických vozidlech je využíván dvojitý paralelní motor (sdružený nebo kompaundní motor). K tomuto motoru je přidáno navíc sériové budící vinutí. Toto spojuje výhodu vysokého počátečního točivého momentu u sériově zapojeného vinutí a pomalý pokles točivého momentu u paralelně zapojeného vinutí.

obr. 10 Charakteristika DC motoru se sériovým a paralelním vinutím (Kameš 2015)



Stejnosemřné bezkartáčové motory – BLDC

V dnešní době nejrozšířenější stejnosměrný motor. Vzhledem k podobnosti konstrukce by se tento motor dal nazývat jako střídavý synchronní motor s permanentními magnety. (Rippel 2007) Oproti běžnému stejnosměrnému motoru s kartáči jsou změněny pozice rotoru a statoru. Ve vnějším statoru je vinutí a v rotoru permanentní magnety. Vinutí statoru je napájeno komutátorem, který dodává pulzně modulovaný stejnosměrný proud. Stator a rotor jsou navzájem fázově posunuty přibližně o 90° , rotor má tedy pevně stanovenou polohu, která je zajišťována pomocí Halových sond, optoelektronického nebo magneto-rezistenčního systému. Výhoda oproti předchozím stejnosměrným motorům je především v životnosti a údržbě, kdy nedochází k opotřebení kartáčů. (Kameš 2015)

5.1.2 Střídavé motory

Elektricky poháněná vozidla čím dál tím více využívají střídavých motorů, které nahrazují motory stejnosměrné. Jejich konstrukce je jednodušší, s vyšší výkonovou hmotností (1 kW/kg), robustnější, bezúdržbová, vysoce přetížitelná a schopna dosáhnout otáček až 20 000 ot./min.

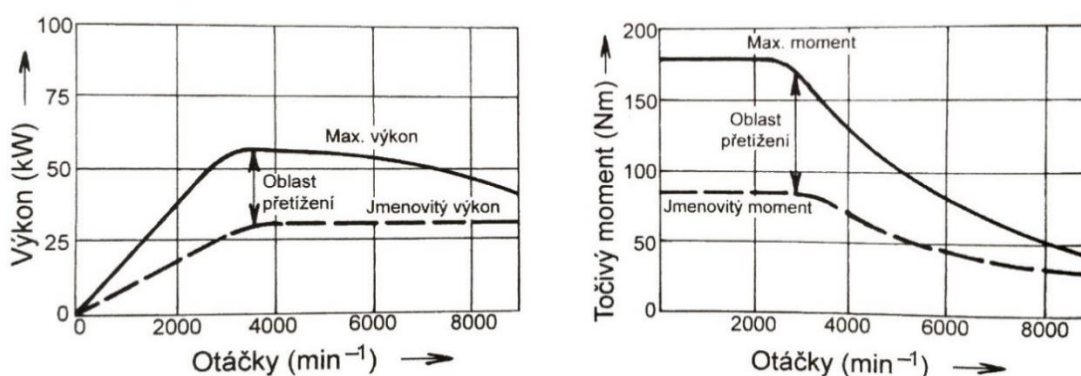
Výhodou u střídavých motorů je, že k obíhajícímu rotoru nemusí být přiveden žádný proud, je vytvářen rotujícím magnetickým polem. Síly magnetického pole indukovaného proudy působí

na kotvu, která se otáčí. Rotor se tedy může otáčet asynchronně nebo synchronně s točivým polem, dle toho také rozdělujeme střídavé motory na asynchronní a synchronní. (Kameš 2015)

Magnetické pole indukuje napětí v rotoru, tím vzniká točivý moment. Podmínkou je, aby otáčky rotoru byly menší než otáčky točivého magnetického pole statoru. Pokud by se tyto otáčky srovnaly, točivý moment by byl nulový. Rozdíl otáček rotoru n a otáček točivého magnetického pole statoru n_s se nazývá skluz s , udávána jako poměrná nebo procentní hodnota synchronních otáček:

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} \cdot 100 \text{ (\% ; ot./min)} \quad (1)$$

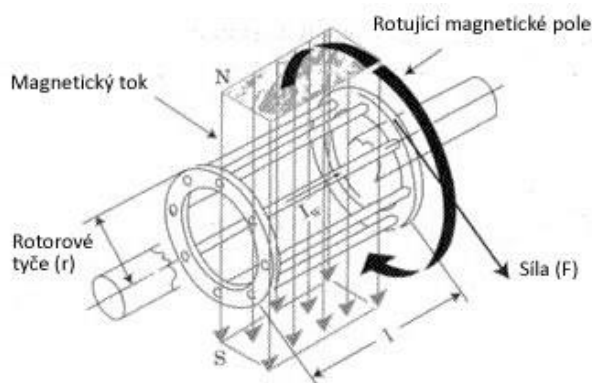
obr. 11 Výkonová a momentová charakteristika asynchronního motoru (Kameš 2015)



Indukční asynchronní

V konstrukci indukčního střídavého motoru odpadá vinutí kotvy a permanentní magnety, kartáče, nebo komutátory. Konstrukce indukčního motoru je tvořena rotorem s tyčovou klecí, tedy rotor s kotvou nakrátko. (viz obr. 12) Proud je indukován v kleci proměnným magnetickým polem tvořeným státorem. Indukovaný proud také vytváří své magnetické pole. Vzájemné odpuzování rotoru a statoru roztáčí rotor. Otáčení probíhá asynchronně, protože proud se v kleci vytváří a ztrácí se zpožděním v porovnání se státorem. Rotor se tedy otáčí zpožděně za magnetickým polem statoru. Rychlost otáčení motoru je možno řídit změnou frekvence nebo pomocí spínání triaků. (Vojáček 2014)

obr. 12 Schéma asynchronního indukčního motoru (Kameš 2015)



Synchronní

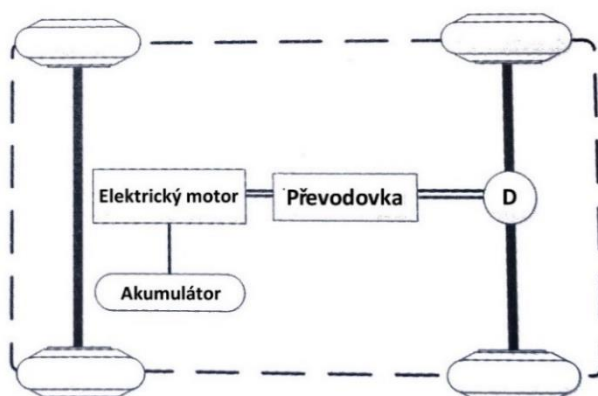
Permanentní magnety nebo kartáče stále napájené elektromagnety vytváří rotor. Jak vyplývá z názvu, synchronní je otáčení rotoru s točivým magnetický polem statoru. Rychlost otáčení lze regulovat změnou frekvence. Oproti asynchronním motorům jsou efektivnější v nízkých a středně vysokých rychlostech. Většinou jsou také levnější, i přestože na permanentní magnety jsou třeba vzácné kovy.

5.2 Typy pohonných jednotek

5.2.1 Pohon s převodovkou

Princip je založený z konstrukce konvenčních vozidel. Dle schématu (obr. 13) akumulátor a elektrický motor nahrazuje spalovací motor s palivovou nádrží, zbytek konstrukce včetně převodovky a diferenciálu zůstává. Výkon na nápravu je přenášen přes převodovku. (Khajepour et al. 2014)

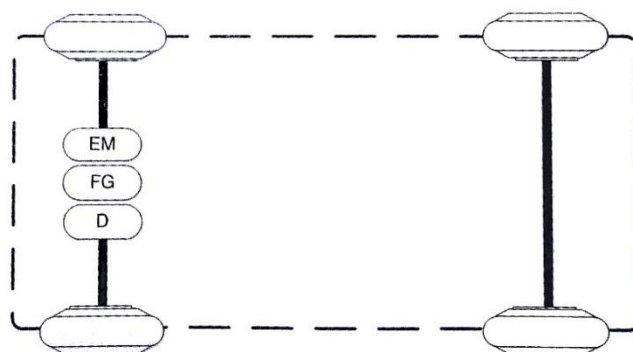
obr. 13 Schéma pohonu s převodovkou (Khajepour et al. 2014)



5.2.2 Přímo poháněná náprava

Všechny prvky hnacího ústrojí jsou soustředěny na přední nápravu a obsahují elektrický motor (EM), pevný převod (FG) a diferenciál (D) v jedné sestavě. (viz obr. 14) Analogicky může být celé sestavení umístěno na zadní hnací nápravě. (Khajepour et al. 2014)

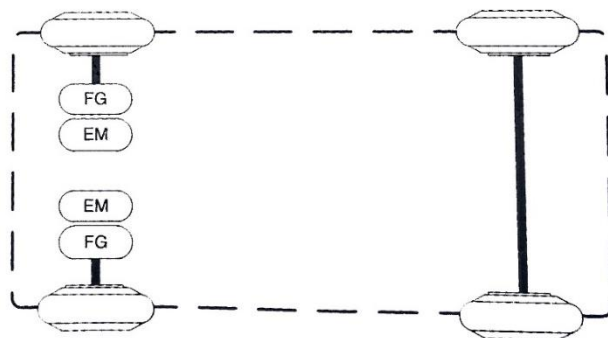
obr. 14 Schéma přímo poháněná náprava (Khajepour et al. 2014)



5.2.3 Zdvojený motor na hnací nápravě

Řešení, ve kterém je odstraněný diferenciál, ale zvyšuje finanční náročnost, protože vyžaduje v konstrukci dva elektromotory (EM) spojené s pevným převodem (FG). (viz obr. 15) Výhodné u této konstrukce je možnost regulovat výkon přenášený na jednotlivá kola a zajistit vyšší stabilitu a ovladatelnost vozidla. (Khajepour et al. 2014)

obr. 15 Schéma zdvojený motor na hnací nápravě (Khajepour et al. 2014)



5.2.4 Motor v kolech

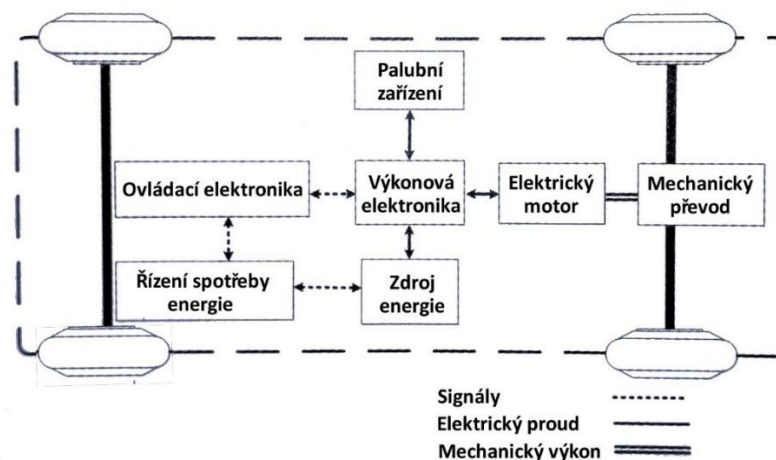
Zabudované motory v kolech (viz obr. 16) dokáží eliminovat počet mechanických částí použitých na konstrukci elektricky poháněných vozidel. Toto řešení dokáže pracovat až s 85 % účinností, která je výhodná pro snížení spotřeby elektrické energie. Vzhledem k zabudování motorů do kol vzniká volný prostor pod kapotou, který by bylo možné využít k zabudování větších akumulátorů. Jednotlivě poháněná kola mohou přispět k vyšší bezpečnosti, kdy může být výkon zvyšován dle potřeby na jednotlivých kolech. Velkou nevýhodou je však hmotnost jednotlivých kol, a tedy i vysoká neodpružená hmotnost. (Kameš 2015)

obr. 16 Schéma motoru v kole (Murtinger 2012)



5.3 Regulace a řízení

obr. 17 Schéma pohonné jednotky elektricky poháněného vozu (Khajepour et al. 2014)



5.3.1 Výkonová elektronika

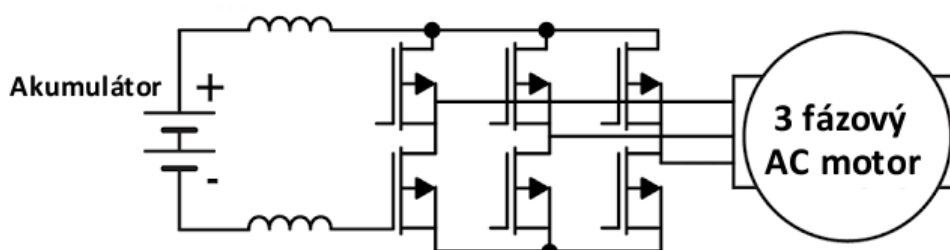
U konvenčních vozů jsou elektrické jednotky, jako světlá, rádio, elektrická okénka, poháněny z 12 V akumulátoru. Tento akumulátor je dobíjen pomocí alternátoru, který je poháněn spalovacím motorem. Situace u elektricky poháněných vozidel je však jiná. Vozy nemají alternátor, zařízení můžou být nastaveny na jiné napětí (24 V, 48 V a 120 V) k zajištění menší spotřeby energie a často je třeba také stejnosměrný proud z akumulátoru převádět na proud střídavý. (Khajepour et al. 2014)

DC-AC měnič – střídač

Zařízení převádí stejnosměrný proud na proud střídavý. Je složen z vypínatelných součástek, tedy tyristorů. V elektricky poháněných vozech jsou nejčastěji využívány třífázové střídače s IGBT tranzistory. (viz obr. 18)

Funkce střídače je nejčastěji využívána při převodu stejnosměrného proudu z akumulátoru na proud střídavý, který je potřeba k pohonu střídavého motoru. Střídač také může fungovat v opačném režimu, kdy při regenerativním brzdění je generován střídavý proud a ten je pomocí střídače převeden na stejnosměrný proud, který putuje do akumulátoru. (Kameš 2015)

obr. 18 Schéma třífázového DC-AC měniče (Khajepour et al. 2014)



DC-DC měnič

Měnič zajišťuje převod z napětí 48 V na napětí 12 V. Tímto napětím jsou napájena palubní zařízení a dobíjí běžný 12 V akumulátor. Dalo by se říci, že nahrazuje funkci alternátoru. V elektricky poháněných vozidlech můžeme nalézt jednosměrný (viz tab. 5) a obousměrný měnič. Zatímco jednosměrný měnič zajišťuje napájení zařízení a nabíjení akumulátoru, obousměrný měnič je schopen pracovat i v opačném režimu, což je využíváno při regenerativním brzdění.

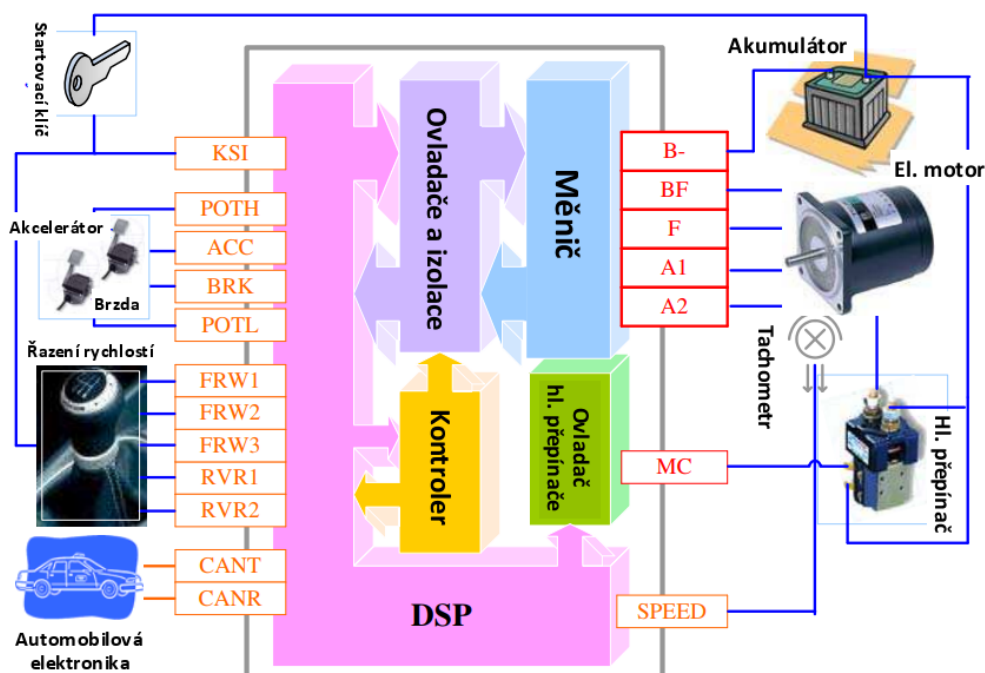
tab. 5 Parametry jednosměrného DC-DC měniče (Emadi 2015)

	Hodnoty
Vstupní napětí	36 V–54 V
Výstupní napětí (kontrované)	11 V–15 V
Výstupní výkon při 12,5 V–14 V	1,4 kW–2,2 kW
Výstupní proud	120 A–175 A
Účinnost	Závisí na proudu
Hmotnost	<3 kg

5.3.2 Ovládací elektronika

K obvodu ovládací elektroniky jsou připojena všechna zařízení ve vozidle. Zařízení sloužící k ovládnutí motoru a všech dalších funkcí elektrických zařízení ve vozidle. K ovládnutí zařízení slouží systém mikroprocesorů, typicky DSP (Digitální signálový procesor). Zapojení ovládací elektroniky (viz obr. 19) je velmi odlišné u každé konstrukce vozidla, odvíjející se od typu použitého motoru a dalších požadovaných elektrických zařízení. (Huang et al. 2010)

obr. 19 Zjednodušené schéma ovládací elektroniky (Huang et al. 2010)

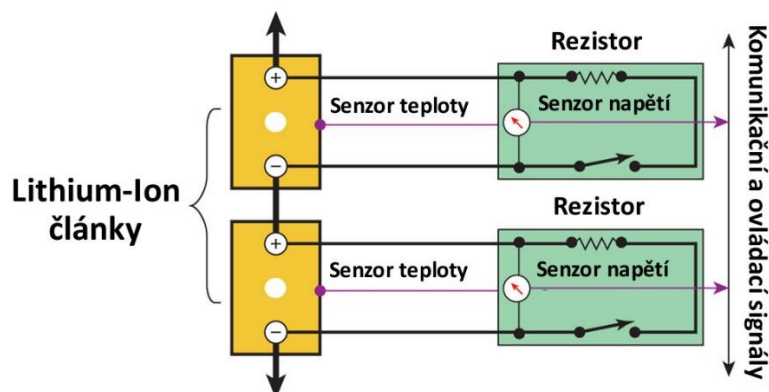


5.3.3 Řízení spotřeby energie

Řízení spotřeby energie probíhá za pomoci elektrického obvodu BMS (Battery Management System), který slouží ke kontrole a sledování dobíjení akumulátoru. Využití tohoto obvodu vyplývá z propojení několika bateriových článků do akumulátoru. Systém vykonává změny a monitoruje parametry bateriových článků, kompenzuje kapacitní a svodové proudy. (viz obr. 20) Zaznamenává informace pro případné servisní zásahy. Nejjednodušší forma řízení spotřeby je regulátor nabíjení jednotlivých článků, avšak komplexnost elektrických vozidel vyžaduje sofistikovanější systémy.

Použití BMS slouží jako rozhraní mezi zdrojem energie a ovládací elektronikou. Tím jsou ovládány funkce nezbytné pro aktuální provozní podmínky vozidla. Při vypnutí vozidla systém uvádí akumulátor do režimu spánku. Při zapínání vozidla BMS kontroluje hodnoty napětí, teploty jednotlivých článků, tyto hodnoty vyhodnocuje a umožňuje zapnutí. Při provozu systém provádí opatření k optimalizaci výkonu a životnosti akumulátoru. Pokud systém vyhodnotí nízké nebo vysoké teploty akumulátoru, odesílá signály k zajištění vyhřátí nebo chlazení. Jestliže systém vyhodnotí chybu, neslučitelnou s provozem vozidla, je schopen pomocí rozpojení stykače akumulátor odpojit a převést do bezpečného stavu. (Kameš 2015)

obr. 20 Schéma BMS (Richmond 2013)



5.4 Úložiště energie

Úložiště energie můžeme rozdělit podle dvou důležitých faktorů. Dle maximálního množství energie, které je možné uložit a uchovat a dle schopnosti přenášet energii do a z úložiště energie. Pro zařízení je nezbytné, aby mělo schopnost uchovat velké množství energie a energii přenášet. Zařízení s velkou kapacitou (typicky akumulátory) jsou schopna kontinuálně dodávat energii bez snížení jejich životnosti, avšak jsou méně schopna při přenosu většího množství energie. Naopak kondenzátory jsou schopna přenášet větší množství energie, ale mají menší kapacity k uložení energie.

Příkladem, kdy dojde k využití obou zařízení je jízda ve městě. Městská jízda vyžaduje časté intenzivní zrychlování a brzdění. Při akceleraci tedy dochází k vysoké spotřebě energie z úložiště, a naopak jsou vytvářeny vysoké proudy proudící do úložiště při regenerativním

brzdění. Tento častý případ nejlépe vyřeší kombinace více druhů úložišť, nazýváme ji jako hybridní energetický systém. Vysokou kapacitu úložiště dokáží zajistit akumulátory a přenosy velkého množství energie kondenzátory. Kondenzátory umožňují redukovat nápory na akumulátory. Kombinace obou zařízení umožňuje využití energie, kdykoliv je potřeba a zvyšuje životnost obou zařízení. (Khajepour et al. 2014)

5.4.1 Akumulátory

Vývoj akumulátorů stále nedosáhl svého konce a jsou na něm závislé důležité parametry elektromobilů a hybridních vozidel. Rozhodujícími parametry akumulátorů je kapacita, schopnost dodávat energii, životnost a cena. Existuje několik technologií článků, závislejších na jejich chemickém složení. (viz tab. 6) Různorodá je také aplikace článků v jednotlivých elektricky poháněných vozidlech.

Olověný akumulátor (VRLA)

Sériově vyráběné, díky již vyspělé technologii a nízkým nákladům. Vhodný akumulátor pro elektricky poháněná vozidla vzhledem k mnoha výhodám. Výhodami jsou nízké výrobní náklady, rychlost dobíjení, vysoký měrný výkon, schopnost pracovat ve velkém rozpětí teplot a možnosti různých velikostí. Převládá však také mnoho nevýhod, malá měrná energie, malá hustota energie a omezená životnost.

Nikl-metal hydridový akumulátor (NiMH)

Po srovnání jejich výkonových parametrů vhodný k použití v elektricky poháněných vozidlech. Šetrné k životnímu prostředí, možnost jejich recyklace. Nevýhodou jsou počáteční náklady na jejich výrobu a nutnost udržování baterie v rozmezí 20 % - 50 % stavu nabití, kde je jejich provoz nejefektivnější.

Nikl-zinkový akumulátor (Ni-Zn)

Výhodnost využití tohoto akumulátoru v elektricky poháněných vozidlech vzhledem k jeho parametrům a provozním teplotám (-10 °C–50 °C), avšak životnost těchto akumulátorů je velmi omezená.

Nikl-kadmiový akumulátor (Ni-Cd)

Náklady na výrobu tohoto akumulátoru jsou vysoké, avšak jsou schopny pracovat ve vysokém rozpětí teplot (-40 °C–85 °C) s vysokou životností a nízkým samovybíjením. Při likvidaci akumulátoru obsažené kadmium může ohrozit životní prostředí, pokud není správně zpracováno. (Khajepour et al. 2014)

Lithium-iontový akumulátor (Li-Ion)

Svémi parametry, schopností pracovat ve velkém rozpětí teplot a vysokou životností se jedná o nejvhodnější typ akumulátoru k použití v elektricky poháněných vozidlech. Akumulátory je

možno recyklovat. Nevýhodou těchto akumulátorů jsou poměrně vysoké výrobní náklady, a stárnutí, při kterém ztrácí svou kapacitu.

tab. 6 Porovnání klíčových parametrů akumulátorů (Khajepour et al. 2014)

	Měrný výkon (Wh/kg)	Hustota energie (Wh/l)	Měrná energie (W/kg)	Životnost (cykly)
VRLA	30-45	60-90	200-300	400-600
Ni-MH	60-70	130-170	150-300	600-1200
Ni-Zn	60-65	120-130	150-300	300
Ni-Cd	40-60	80-110	150-300	600-1200
Li-Ion	90-130	140-200	250-450	800-1200

5.4.2 Ultra-kondenzátory

Časté vypínání a zapínání elektromotoru, systém Start/Stop a další výrazně ovlivňují životnost akumulátorů. Pro akumulátory používaných v elektricky poháněných vozidlech je typická vysoká měrná energie, pro dostatečný dojezd a klidnou jízdu. Vzhledem k nízkému měrnému výkonu je pro akumulátor zatěžující nárazová potřeba energie při razantní akceleraci, či stoupání do kopce. Nárazové potřeby energie snižují životnost akumulátorů a nízký měrný výkon ohrožuje systém regenerativního brzdění, kdy akumulátor není schopen efektivně přijmout regenerovanou energii.

Ultra-kondenzátory jsou zdroje (zásobníky) s vysokou měrnou hustotou výkonu, efektivností a životností. Výhodnost ultra-kondenzátorů je, že dokáží poskytnout vysoký výkon v krátkém okamžiku. Jejich vysoká měrná hustota výkonu je ideální pro obnovení brzděné energie. Nevýhodou je nízká měrná hustota energie. (viz tab. 7)

V hybridních energetických systémech ultra-kondenzátory musejí přivést dodatečný výkon, který přesahuje průměrný výkon dodaný z akumulátoru. Ultra-kondenzátory jsou dobíjeny z regenerované energie, nebo akumulátorem v okamžicích, kdy nejsou vysoké nároky na výkon. Pokud jsou ultra-kondenzátory plně nabity, regenerovaná energie přímo proudí do akumulátoru. K zajištění maximálního využívání energie je třeba efektivně řídit tok energie mezi akumulátorem, ultra-kondenzátory, motory a dalšími částmi za pomoci řídicí elektroniky.

tab. 7 Porovnání akumulátoru a ultra-kondenzátoru (Fuhs 2009)

	Akumulátor	Ultra-kondenzátor
Životnost	1–5 roků	10+ let
Počet cyklů životnosti	1 000–10 000 cyklů	1 000 000 cyklů
Účinnost nabíjení/vybíjení	40 % - 80 %	90 % - 98 %
Čas nabíjení	1–5 hodin	0,3 – 30 s
Čas vybíjení	0,3 – 3 hodiny	0,3 – 30 s
Měrná energie (Wh/kg)	10–100	1–10

Měrný výkon (kW/kg)	~1	<10
Stav nabití	Nízký stav nabití snižuje životnost	Nemá efekt na životnost
Cena/kWh	Olověné méně než ultra-kondenzátor, jiné třikrát až desetkrát více	Mírně více než olověný akumulátor, jinak výrazně levnější
Provozní teploty	-20 °C–65 °C	-40 °C–65 °C

5.5 Režimy nabíjení

Elektromobily se zabudovaným akumulátorem je možno dobít střídaným proudem (AC), nebo stejnosměrným proudem (DC). Střídaný proud je běžný v naší rozvodné síti, avšak elektronika a akumulátory elektromobilů pracují s proudem stejnosměrným. K dobíjení jsou tedy třeba zařízení, která převedou střídaný proud na stejnosměrný. V České republice, respektive v Evropě jsou běžně rozšířené 3 typy zásuvek poskytující střídaný proud. (viz tab. 8)

tab. 8 Typy zásuvek poskytující střídaný proud (Kameš 2015)

	1fázová zásuvka (schuko)	3fázová zásuvka (CEE 16 A)	3fázová zásuvka (CEE 32 A)
Výkon	3,7 kW	11 kW	22 kW
Napětí	230 V	400 V	400 V
Proud	16 A	16 A	32 A

5.5.1 Palubní nabíječky – AC nabíjení

K zajištění nabíjení vozů střídaným proudem z rozvodné sítě, jsou v elektromobilech zabudovány nabíječky, které převádí střídaný proud na stejnosměrný. Tyto palubní nabíječky umožňují nabíjení elektromobilu i z běžné jednofázové zásuvky se střídaným proudem. Rychlost nabíjení je tedy závislá na maximální výkonové zatížitelnosti zásuvky či AC stanice. Maximálním výkonem však není možné dobít každý vůz, záleží na typu a maximálním příkonu palubní nabíječky daného vozu. Parametry se liší i u jednotlivých verzí modelu elektromobilu. (viz tab. 9)

5.5.2 Nabíjecí stanice – DC nabíjení

Druhým typem nabíjení je tzv. rychlonabíjení. Jedná se o nabíjení stejnosměrným proudem, kdy převod ze střídaného na stejnosměrný proud zajišťuje již dobíjecí stanice. Tyto stanice jsou technologicky a finančně náročnější, proto je jich menší počet než AC dobíjecích stanic.

Výhodou tohoto nabíjení je možnost dodávat mnohokrát vyšší nabíjecí výkon a proud. Nabíjecí stanice přímo komunikuje s řídicí elektronikou vozu a upravuje parametry výstupního výkonu dle stavu a schopností akumulátoru. Zastává tedy funkci palubní nabíječky, která je při stejnosměrném nabíjení vyřazena a nabíjecí proud je posílán přímo do akumulátoru.

tab. 9 Přehled parametrů souvisejících s dobíjením u vybraných vozů (Electric Vehicle Database 2018)

Model vozu	Palubní nabíječka		Výkon DC rychlónabíjení	Konektor
	Výkon AC	Proud		
Honda Clarity Electric 2017	6,6 kW	32 A	-	Typ 1
Volkswagen e-Golf 2017	7,2 kW	31 A	40 kW	Mennekes a CCS typ 2
Tesla Model S P100D 2016	17 kW	24 A	120 kW	Mennekes a SuperCharger
BMW i3s 2017	11 kW	16 A	50 kW	Mennekes a CCS typ 2
Nissan Leaf 2018 (2 verze)	3,6 kW 6,6 kW	16 A 29 A	50 kW	Mennekes a CHAdeMO

5.6 Typy konektorů a zásuvek

Domácnosti v Evropě mají jako standart jednofázovou zásuvka a dvě třífázové zásuvky. U elektromobilů k zcela jednotnému standardu zatím nedošlo, a proto existuje několik druhů zásuvek a konektorů. Jakožto i u rozvodné sítě v Evropě a USA (Japonsku) jsou jisté rozdíly, tak rozdílné jsou také konektory používané u vozů provozovaných v různých částech světa. Podstatný vliv na to má zavedená třífázová soustava v evropských domácnostech, která je v amerických domácnostech jen málo rozšířená.

5.6.1 SAE J1772, Typ 1, Yazaki

Americký standard konektoru pro elektrická vozidla. Je nazýván buďto jako Typ 1, dle americké normy SAE J1772, či výrobce Yazaki. Zobrazený na obr. 1. Jedná se o jednofázový konektor schopný přenášet střídavý proud o příkonu do 7,4 kW (230 V, 32 A). Konektor neumožňuje rychlónabíjení. Tento typ je nejčastěji rozšířen u asijských vozů. U evropských dobíjecích stanic je využíván jen zcela výjimečně, a to především u starších typů stanic.

obr. 21 Konektor Typ 1, SAE J1772, Yazaki (Jet Charge 2017; The Mobility House 2017)



5.6.2 Mennekes, Typ 2

Konektor rozšířený v Evropě, nazývaný jako Mennekes, nebo Typ 2. Z konektoru Mennekes vycházejí další konektory SuperCharger, či Combo2. Konektor zvládne až 120 kW příkon, avšak

nejčastěji je použit do 22 kW u osobní stanic a u větších stanic do 43 kW. (The Mobility House 2017) Konektor je standardem především pro vozy evropských značek BMW, Volkswagen a Mercedes-Benz.

obr. 22 Konektor Mennekes (Jet Charge 2017; The Mobility House 2017)



5.6.3 CHAdeMO

CHAdeMO je konektor schopný rychlonabíjení elektromobilů. Název vyplývá ze slov „CHArge de MOve“, volně přeloženo jako pohyb pomocí nabíjení. Třífázový konektor s příkonem stejnosměrného proudu až 62,5 kW (500 V, 125 A). (FVEAA 2016) Tento konektor je nejčastěji ve vozech výrobců Citroën, Honda, Kia, Mazda, Mitsubishi, Nissan, Peugeot, Subaru a Toyota.

Jedná se o rozšířený typ konektoru a v Evropě je uznán jako standard pro stejnosměrné rychlonabíjení elektrických vozů. (Horčík 2015)

obr. 23 Konektor CHAdeMO (Jet Charge 2017; The Mobility House 2017)



5.6.4 SuperCharger

Upravený konektor Mennekes výhradně pro dobíjení vozidel Tesla. Rozdíl není ve tvaru konektoru, ale především využití dvou pinů k stejnosměrnému dobíjení. SuperCharger nyní pracují s příkonem 120 kW, což umožňuje u vozů Tesla Model S dobít 80 % kapacity akumulátoru do 30 minut. Tesla v budoucnu plánuje dobíjení s příkonem až 350 kW. (Tesla Inc. 2018)

obr. 24 Konektor SuperCharger (Jet Charge 2017; The Mobility House 2017)



5.6.5 Kombinované CCS

Kombinované konektory CCS (Combined Charging System) vycházejí z konektorů střídavého proudu Typ 1 a Typ 2. Přidáním dvou pinů jsou schopny zajistit rychlonabíjení střídavým, ale i stejnosměrným proudem do příkonu až 170 kW, avšak běžněji kolem 50 kW. Nyní je již využívají společnosti Volkswagen, General Motors, BMW, Daimler, Ford, Hyundai a Tesla u Model 3.

Typ 1

Americký standard kombinovaného konektoru.

obr. 25 Konektor CSS Typ 1 (Jet Charge 2017; The Mobility House 2017)



Typ 2, Combo2

Combo2 (Typ 2) je uznávaným evropským standardem pro stejnosměrné nabíjení elektromobilů.

obr. 26 Konektor CSS Typ 2, Combo2 (Jet Charge 2017; The Mobility House 2017)



5.7 Homologace

Jako pro všechny vozy konvenčních pohonů platí i pro elektricky poháněná vozidla nutnost dodržet Zákon č. 56/2001 Sb., o podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích. (Mikulík 2014)

*Zákon č. 56/2001 Sb., o podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích:
Vozidla lze uvést na trh v České republice pouze poté, co jsou schváleny Ministerstvem dopravy.
Ke schválení stanovených výrobků je nutno předložit osvědčení o homologaci vydané autorizovanými a pověřenými laboratořemi buď v České republice, nebo v zahraničí.*

Pro elektricky poháněná vozidla je dán předpis EHK OSN č. ECE 100.

EHK OSN č. ECE 100, ECE R 10.04

- ověřování komponentů vozidla z hlediska jejich konstrukční a funkční bezpečnosti
- kategorie vozidel M a N s maximální konstrukční rychlostí převyšující 25 km/h, které jsou vybaveny jedním nebo více hnacími elektromotory
- motory nejsou trvale připojeny na elektrickou distribuční síť a ani jejich části a systémy vysokého napětí nejsou galvanicky napojeny na vysokonapěťovou sběrnici elektrického rozvodu

Pro předpis ECE 100 se ověřuje:

- Elektrická pevnost
- Izolační stav
- Ochrana před dotykem živých částí
- Nabíjecí a vybíjecí vlastnosti

Pro předpis ECE R 10.04 se ověřuje:

- Elektromagnetická kompatibilita pro oblast vyzařování (pro celé vozidlo i jednotlivé komponenty)
- Elektromagnetická kompatibilita pro oblast odolností (pro celé vozidlo i jednotlivé komponenty)

Elektromobil musí být před započítím zkoušek v dobrém mechanickém stavu a musí mít v průběhu posledních sedmi dnů před zkouškou ujetu nejméně 300 km. Po tuto dobu musí být vozidlo vybaveno trakční baterií, která je předmětem zkoušek z hlediska emisí vodíku. (EZÚ 2018)

Technická prohlídka silničního vozidla – STK

Pro elektricky poháněná vozidla platí běžné intervaly dle zákona č. 56/2001 Sb., o podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích. Není vyžadováno měření emisí.

Servis elektrických vozidel

Pracovník servisu, musí podléhat vyhlášce 50/78 pro osoby pracující na elektrických zařízeních.

Ohrožení chodců

Elektromobily do rychlostí 30 km/h nevydávají dostatečný hluk, což ohrožuje chodce, především zrakově postižené. V USA a Japonsku vznikla z tohoto důvodu legislativa, která stanovuje minimální vydávaný hluk při rychlostech do 30 km/h. (Mikulík 2014)

5.8 Regenerační brzdění

Pokud hovoříme o regeneračním brzdění, jedná se o konverzi kinetické energie na elektrickou energii, která je ukládána v akumulátorech a poté může sloužit pro pohon vozidla. Kinetická energie má velikost dle známého vztahu:

$$E_K = \frac{1}{2} m \cdot v^2 \text{ (J, kg, m.s}^{-1}\text{)} \quad (2)$$

Ze vztahu vychází, že pokud bude vozidlo dvakrát těžší, bude mít dvojnásobnou kinetickou energii, stejně jako když se bude pohybovat dvakrát rychleji, bude kinetická energie čtyřnásobná. Při každém brzdění musí být vozidlo zbavené kinetické energie. Část této energie zbavuje mechanické tření a aerodynamický odpor vozu. Pokud by nebylo využíváno regeneračního brzdění, zbytek energie by byl přeměněn na teplo pomocí brzd. Elektromobily pracují přibližně s 80 % účinností přenosu energie z akumulátoru na kola, pokud tedy vezmeme v potaz i přenos energie zpět, vychází účinnost regenerativního brzdění 64 %. (Solberg 2007)

Motor pohánějící kola, při regeneračním brzdění začne být poháněn koly a přejde do generátorického režimu. V tomto režimu se motor otáčí nadsynchronními otáčkami a skluz je menší než nula. Motor tedy dodává činný výkon. (Pavelka 2007)

5.9 Dobíjení mimo síť

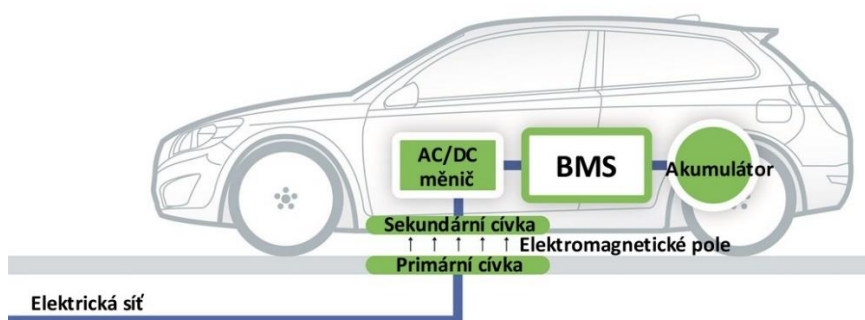
Dojezd elektrických vozidel je dán kapacitou jejich akumulátorů. Jednou z variant po vybití akumulátoru je jeho dobíjení u stanice, druhou možnou variantou je výměna akumulátoru. Toto řešení by si žádalo standardizované typy akumulátorů. Dalším řešením je indukční dobíjení.

5.9.1 Indukční dobíjení

Řešení, které umožňuje bezkontaktní dobíjení. Skládá se ze dvou hlavních částí, primárního a sekundárního obvodu. Primární obvod, primární cívka je zpravidla integrovaná ve vozovce, nebo deska o výšce přibližně 2,5 cm připevněna na povrchu. Primární cívka vybudí magnetické pole, díky kterému se indukuje elektrický proud do sekundární cívky. Sekundární cívka je umístěna v podlaze vozu. (viz tab. 27)

Současné systémy indukčního nabíjení dokáží pracovat s nabíjecím výkonem až 3 kW. Tento výkon je srovnatelný s výkonem běžných zásuvek v domácnostech. Indukční nabíjení dokáže pracovat s účinností kolem 90 %, která je jen nepatrně nižší než u kabelových nabíjecích systémů. (Kameš 2015)

obr. 27 Schéma indukčního nabíjení (Volvo Car Co. 2013)



6 Síť dobíjecích stanic

Infrastruktura je důležitým faktorem pro všechny druhy pohonů. Bez sítě čerpacích stanic by byla vozidla se spalovacími motory na benzín, naftu či LPG nepoužitelná. Elektromobily s palivovými články nejvíce doplácují na chybějící síť vodíkových stanic, s rozšířenou infrastrukturou by konstrukce těchto typů vozidel byla schopna konkurovat dojezdem i ekologičností provozu.

Situace u akumulátorových vozidel je však jiná. Elektrická síť je rozšířena s velmi velkou hustotou a je tedy možné elektromobily dobít nějakým způsobem prakticky kdekoliv.

6.1 Typy stanic

Od typu stanice se velice odvíjí rychlost dobíjení elektromobilu. Maximální dodaný výkon a proud jsou parametry na kterých rychlost dobíjení závisí. Nyní je také podstatné, jakým typem konektoru je stanice vybavena.

6.1.1 AC dobíjecí stanice

V současné době nejrozšířenější typ dobíjecích stanic. Nenabízejí rychlonabíjení, pracují pouze se střídavým proudem, a tedy o převod se stará palubní nabíječka. Parametry palubní nabíječky stanovují maximální dobíjecí výkon, kterým je možno akumulátor vozu dobít.

Výkon stanic nepřesahuje 22 kW a 32 A, což jsou v současnosti dostačující hodnoty, protože mnoho palubních nabíječek není schopno pracovat ani s polovičním výkonem.

Přenosné

Ve skutečnosti se nejedná o dobíjecí stanici, ale kabel s adaptérem, na kterém je možné regulovat dodávaný výkon a proud. (viz obr. 28) Dostupné řešení závisí pouze na dostupnosti běžně rozšířených zásuvek. Existují přenosné nabíječky kompatibilní s běžnou domácí zásuvkou (Schuko 16 A, 3,7 kW), třífázovou 5 kolíkovou zásuvkou (CEE 16 A, 11 kW) a nejvýkonnější třífázovou 5 kolíkovou zásuvkou (CEE 32 A, 22 kW). Ceny těchto nabíječek se pohybují od 10 000 Kč do 25 000 Kč, pro majitele elektromobilů je to podmíněná investice,

pokud nechtějí doma budovat nákladnější dobíjecí stanice, nebo být závislí na veřejné síti stanic.

obr. 28 AC přenosná nabíječka CEE 5 kolík 32 A, 22 kW, Mennekes (EVexpert 2018)



Wallbox

Řešení ve výkonu nabíjení nepřevyšující přenosné nabíječky. Výkon nabíjení se stále pohybuje od 3,7 kW do 22 kW a maximálně 32 A, závislé na přípojce, ke které je wallbox instalován. Možnost využít v domácnostech, ale i pokročilejší wallboxy pro veřejné dobíjení se správou uživatelů a možností plateb. (viz obr. 29) Ceny wallboxů se pohybují od 15 000 Kč do 100 000 Kč, určené pro veřejné instalaci, např. na parkovištích obchodních center.

Stojany

Parametry výkonu a rychlosti dobíjení se neliší od wallboxů. Stojanové AC dobíjecí stanice jsou rozšířené ve veřejném prostoru, u čerpacích stanic, v obchodních centrech. Mnohdy nabízejí několik zásuvek různých typů a přístup uživatelům pomocí RFID karet provozovatelů, či platebních karet. Jedná se o nejdražší řešení dobíjení střídavým proudem, kdy instalace stojanové dobíjecí stanice může přesáhnout i 100 000 Kč.

obr. 29 Dobíjecí AC stojan a wallbox Innogy (innogy 2017)



6.1.2 DC dobíjecí stanice

Stejnoseměrné dobíjecí stanice umožňují rychlonabíjení. Výstavba těchto stanic je však technologicky i finančně náročnější, proto jejich počet v infrastruktuře není vysoký. V České republice nabízejí některé typy maximální dobíjecí výkon až 120 kW.

Rychlonabíjecí stanice

V České republice jsou nejrozšířenější rychlonabíjecí stanice od skupiny ČEZ. (viz obr. 30) V současné době je od skupiny ČEZ 41 dobíjecích stanic. (ČEZ 2018) Další stanice buduje Lidl u svých supermarketů a několik stanic patří PRE. Nejčastěji se objevují dobíjecí stanice od firmy ABB s maximálním dobíjecím výkonem 50 kW. Často se jedná o stanice, která umožňuje AC a DC nabíjení najednou, či mají více DC zásuvek.

obr. 30 DC a AC dobíjecí stanice ABB provozována skupinou ČEZ (ČEZ 2018)



Tesla SuperCharger

Celosvětová síť dobíjecích stanic vystavěná firmou Tesla. Síť budována od roku 2012 nabízející rychlodobíjení stejnosměrným proudem s výkonem až 120 kW. Na území Spojených států amerických, Evropy a Asie je již rozmístěno na 1130 stanic s 8496 dobíjecími stojany a společnost stále síť rozšiřuje. V současné době se v České republice nacházejí tři SuperCharger stanice ve Vestci, Humpolci a Olomouci.

Majitelé vozů Tesla zakoupených před 15. lednem 2017 mají využívání SuperCharger započítáno již v ceně vozidla, ostatní majitelé vozů Tesla mají roční limit stanovený na 400 kWh za rok zdarma. Následná cena za dobítí 1 kWh je 5 Kč. (Tesla Inc. 2018)

obr. 31 Tesla SuperCharger (Tesla Inc. 2018)



6.2 Přehled stanic v ČR

Dobíjecí stanice v ČR budují převážně distributoři energií. V současné době na našem území můžeme nalézt kolem 300 veřejných dobíjecích stanic. (viz obr. 32) Toto číslo zahrnuje DC rychlodobíjecí stanice a převládající pomalejší AC dobíjecí stanice. Největší počet stanic patří pod skupinu ČEZ, která provozuje bezmála polovinu všech stanic u nás. Na území Prahy větší počet stanic vlastní PRE. Síť dobíjecích stanic má také společnost E.ON. Zbylé stanice provozují společnosti jako službu pro své zákazníky a zaměstnance. Většinou se jedná o jednotlivé stanice. (EVmapa 2018)

obr. 32 Mapa dobíjecích stanic v ČR (EVmapa 2018)



6.3 Doba dobíjení

Doba dobíjení akumulátoru elektrického vozidla je závislá na několika faktorech. Výkon a typ dobíjecí stanice, tedy maximální dodávaný proud a počet fází ke kterým je stanice připojena. (viz tab. 10) Nutnost přeměny střídavého proudu na stejnosměrný snižuje rychlost nabíjení. Čím větší je kapacita akumulátoru, tím déle nabíjení potrvá. (Smart-EV 2018)

Výpočet příkonu – jednofázové zapojení

$$P = 1 \cdot U \cdot I \quad (W; V; A) \quad (3)$$

Výpočet příkonu – třífázové zapojení

$$P = 3 \cdot U \cdot I \quad (W; V; A) \quad (4)$$

Doba dobíjení

$$T = \frac{\text{kapacita akumulátoru}}{P} \quad (h; kWh; W) \quad (5)$$

Dojezd

$$\text{dojezd} = \frac{\text{kapacita akumulátoru}}{\text{spotřeba energie}} \quad (\text{km}; \text{kWh}; \text{kWh/km}) \quad (6)$$

tab. 10 Přehled dobíjecích časů u vybraných modelů (Smart-EV 2018)

Značka a model	Kapacita akumulátoru (kWh)	Spotřeba energie (kWh/100 km)	Dojezd (km)	Domácí zásuvka (h)	AC stanice (h)	DC stanice (min)
BMW i3	33	12,6	300	10	3	40
Hyundai IONIQ Electric	28	11,5	280	12	9	45
Nissan Leaf 2	40	17	378	16	8	40
Tesla Model S	60	18,1	421	26	3,5	20
Tesla Model X	100	18,1	561	37	4,5	30
Volkswagen e-Golf	24	12,7	190	11	7	45
Volkswagen e-up!	18,7	11,7	160	8,5	5,5	30

Pozn. Domácí zásuvka 3,7 kW, AC stanice 22 kW, DC stanice 50 kW

7 Doporučení a diskuze

7.1 Rozvoj elektromobility

Jako všechna současná technologická odvětví i elektromobilitu čeká v následujících letech prudký rozvoj. Dostupnost a cena elektrické energie oproti jiným zdrojům energie je jedním z důležitých faktorů orientování se právě na elektromobilitu. Mohla by řešit problémy s klimatickými změnami a znečištěním ovzduší.

I přes stále vyvíjející technologie, elektromobilita musí řešit překážky právě z technické stránky. Pomineme-li omezený dojezd, který se zajisté bude postupně zvětšovat. Důležitým faktorem bude šetrnost k naší planetě. Otázkou tedy je, zda budeme schopni získávat klíčové kovy (lithium, kobalt, nikl) a vzácné minerály (grafit), potřebné k výrobě elektrických vozidel a akumulátorů, dostatečně šetrnými způsoby. Neméně důležitá bude také likvidace vozidel a schopnost vozidla efektivně recyklovat.

Další podmínkou k úspěšnému rozvoji elektromobility, bude rozšíření povědomí ve společnosti. Již nyní energetické společnosti začaly budovat infrastrukturu, velké automobilové společnosti postupně oznamují začátky výroby a přechod na elektrická vozidla. Toto je dozajisté velkým příspěvkem pro elektromobilitu, ale každé počátky nových technologií, i elektromobilita nabízí nespočet řešení a nestandardizovaných zařízení. K sjednocení, a tedy i zjednodušení vnímání elektromobility mohou velkou mírou přispět i pozitivně stavějící se veřejné úřady a vlády, které by nastavily standarty.

7.2 Počet vozidel v ČR

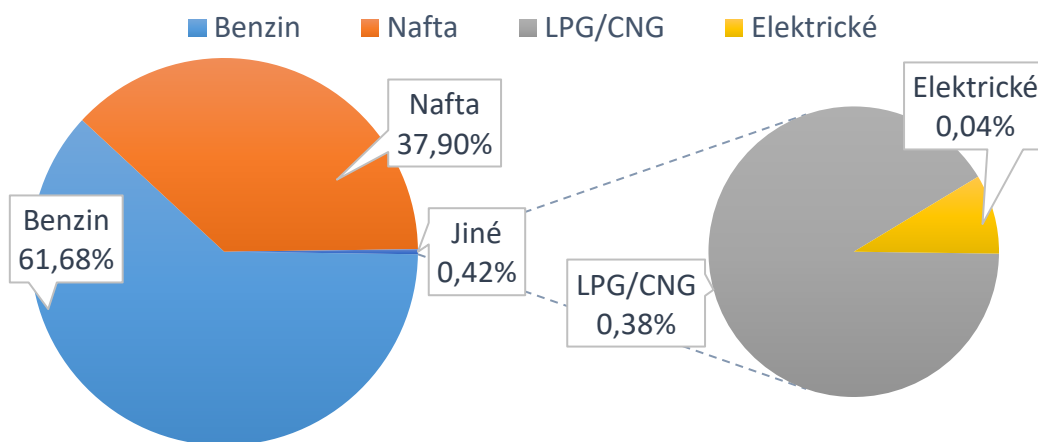
V následující tabulce (tab. 11) a v grafu (Graf 1) je vidět počet registrovaných osobních vozidel a typ jejich pohonu k 1.1.2018. Statistika zaznamenává druh pohonu, který byl určen jako hlavní výrobcem vozidla.

I přes rekordní prodeje osobních automobilů v ČR je ze statistiky zřejmá nadvláda vozidel se spalovacím motorem. Vzhledem k rozvoji infrastruktury a předvedením nových modelů elektricky poháněných vozidel je předpokládán nárůst prodejů těchto vozidel. V roce 2020 je odhadovaný prodej až 7000 elektricky poháněných vozidel ročně. (ČTK 2017)

tab. 11 Počet vozidel a typ paliva v ČR
(Ministerstvo dopravy ČR 2018)

Typ paliva	Počet vozidel
Benzin	3 426 822
Nafta	2 105 317
Elektřina	2 059
LPG/CNG	21 207
Celkem	5 555 405

Graf 1 Počet vozidel v ČR dle paliva (Ministerstvo dopravy ČR 2018)



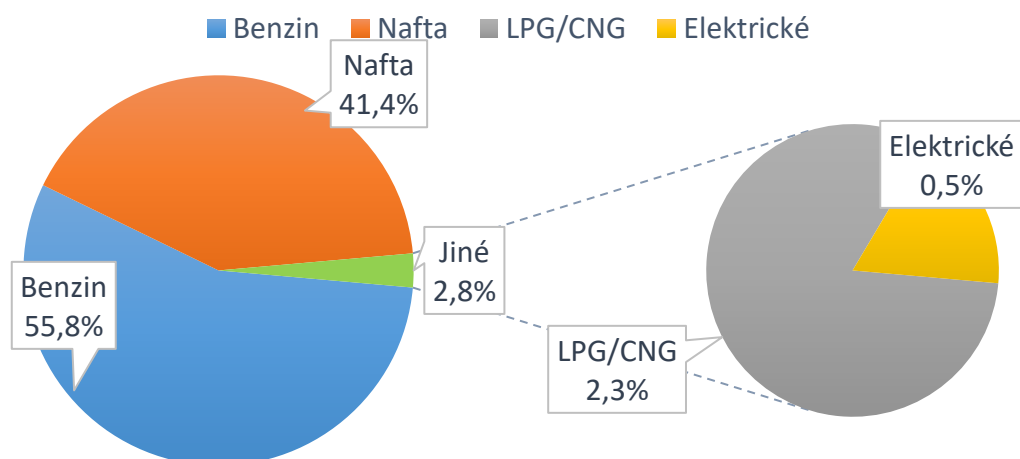
7.3 Počet vozidel v EU

Po srovnání hodnot (tab. 12 a Graf 2) s ČR je zřejmá vyšší popularita alternativních paliv celkově v Evropské unii. Největší počty automobilů na alternativní paliva nalezneme s výjimkami především v západní Evropě. Elektricky poháněna jsou procentuálně nejvíce zastoupena v zemích Dánsko, Švédsko, Německo, Francie, Nizozemsko a Velká Británie. Rozšíření pomáhá především vyspělá infrastruktura a podpora státu ve formě zvýhodnění k nákupu vozidel s alternativními pohony. (ACEA 2017)

tab. 12 Počet vozidel a typ paliva v EU
(ACEA 2017)

Typ paliva	Počet vozidel
Benzin	180 560 223
Nafta	133 964 036
Elektřina	1 617 923
LPG/CNG	7 442 446
Celkem	323 584 629

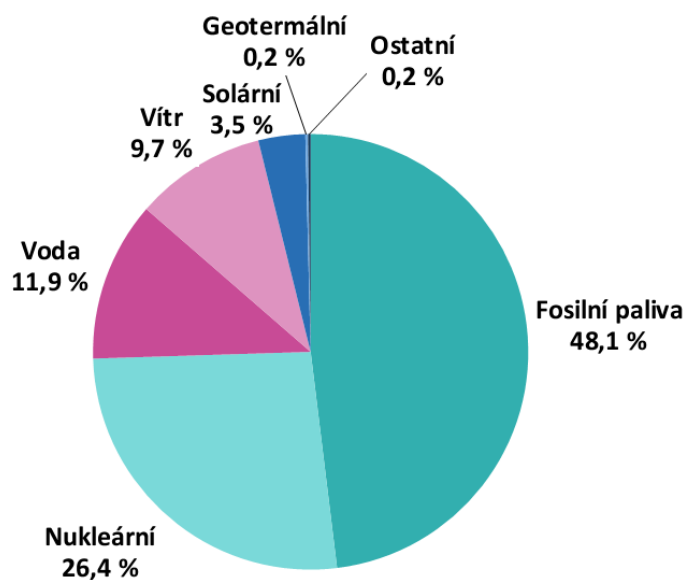
Graf 2 Počet vozidel v EU dle paliva (ACEA 2017)



7.4 Zdroje energie

Důležitým faktorem u provozování elektromobilů je jejich bezemisní provoz. Ten však závisí na zdroji energie. Pokud budou elektrická vozidla provozována na energii, která je vyráběna v tepelných elektrárnách, pak se jedná pouze o přesun vyprodukovaných emisí do jiného místa. Ke snížení celkových vyprodukovaných emisí je nutno využívat co nejvíce energie pocházející z obnovitelných zdrojů. Úroveň ekologičnosti elektromobilů je jen taková, jaká je čistota výroby elektriny použité pro pohon elektrických vozidel. Dle rozdělení v grafu (viz Graf 3) vidíme, že téměř polovina elektrické energie vyrobené v EU pochází z fosilních paliv. I přes pokročilé technologie elektráren se stále jedná o výrobu, která znečišťuje životní prostředí.

Graf 3 Rozložení výroby el. energie v EU (Eurostat 2017)



8 Závěr

Bakalářská práce měla za cíl zanalyzovat současný stav elektrických a hybridních vozidel. V úvodní části práce byly rozděleny jednotlivé druhy pohonů dle jejich stupně elektrifikace, či druhu zdroje elektrické energie. Zmíněna byla stručně historie vývoje těchto vozidel, která nám vlastně říká, že současný stav je vracení se k počátkům automobilismu, avšak s mnohem vyspělejšími technologiemi.

V dalších částech byly představeny jednotlivé prvky související především s akumulátorovými elektrickými vozidly. Zde byly popsány základní technologie a prvky konstrukce vozidel. Vzhledem k tomu, že elektromobilita je stále rozvíjející se oblast, existuje nespočet druhů konstrukčních prvků a technologií používaných v elektrických vozidlech. Každá společnost zabývající se elektromobilitou používá technologie upravené pro svou aplikaci a neexistuje zatím daný standart, který by byl platný pro všechny typy vozů.

Dalším popsaným bodem v práci je infrastruktura. Na té je závislý jakýkoliv typ pohonu a mnoho alternativních pohonů, právě na chybějící infrastruktuře ztroskotalo. Dostupnost elektrické sítě je poměrně velká ve všech zabydlených oblastech, avšak ne vždy zcela vhodná pro elektromobilitu. Pokud bychom se spokojili s pomalým dobíjením, infrastruktura by se mohla zdát dostatečná, ale časově náročné dobíjení by bylo pro elektrická vozidla dosti limitující. Vznikají proto rychlodobíjecí stanice, které nabíjení značně urychlí, avšak není jich zatím velký počet. Rozšíření tohoto typu stanic nejen ve městech, ale i u dálničních a hlavních silničních tahů velice přispěje k dalšímu rozvoji elektromobility.

V závěrečných částech práce byly představeny počty elektrických vozidel v Evropské unii a České republice. Z pohledu celkových počtů vozidel se jedná jen o zlomky procent. Nadvláda konvenčních vozů je zcela jasná, ale jejich počty se budou postupně snižovat, především vozidel se zážehovými motory a zde má právě elektromobilita šanci získat větší podíl do budoucna.

Soudě dle současného vývoje a popularity, elektromobilita má velký potenciál. Ten bude vycházet čím dál tím více najevo, vzhledem k současnému stavu okolo konvenčních vozidel. Zpřísnující emisní normy, zákazy vjezdu vznětovým automobilům do center měst a další legislativní úpravy budou jen navyšovat počty zájemců o alternativní druhy pohonů osobních vozidel. Předpokládáno je, že konvenční vozidla se spalovacím motorem nebudou nikdy 100 % nahrazena vozidly elektrickými, ale minimálně v centrech měst velmi potlačena. K rozšíření elektromobility mohou velice přispět státy a velké energetické firmy, které budou tento rozvoj podporovat. Vzhledem k současným cenám, parametrům vozů a rozšíření infrastruktury vlastnictví elektrického vozidla je stále známka luxusu, či jisté prestiže. Velké automobilové společnosti však postupně představují své plány do budoucna a elektromobilita je v nich hojně zastoupena. Elektrická vozidla by se tedy brzy mohla stát dostupnější i širší vrstvě obyvatelstva.

9 Seznam použité literatury

- ACEA, 2017. *Vehicles in use - Europe 2017 | ACEA - European Automobile Manufacturers' Association* [online] [vid. 2018-03-19]. Dostupné z: <http://www.acea.be/statistics/article/vehicles-in-use-europe-2017>
- AMERICAN HONDA MOTOR CO., Inc., 2018. *Shop Current & Upcoming Vehicles | Honda* [online] [vid. 2018-02-27]. Dostupné z: <https://automobiles.honda.com/>
- BMW.COM, 2018. *BMW 7 Series: BMW iPerformance* [online] [vid. 2018-02-09]. Dostupné z: <https://www.bmw.cz/cs/all-models/7-series/sedan/2015/ipformance.html>
- CDIAC, 2017. *Global Fossil Fuel Carbon Emissions - Graphics* [online] [vid. 2017-11-29]. Dostupné z: http://cdiac.ess-dive.lbl.gov/trends/emis/glo_2014.html
- ČEZ, 2018. *Elektromobilita | Skupina ČEZ* [online] [vid. 2018-03-12]. Dostupné z: <http://www.elektromobilita.cz/>
- ČTK, 2009. *Česko má první „benzinku“ na vodík ve střední Evropě. Je v Neratovicích - iDNES.cz* [online] [vid. 2018-02-12]. Dostupné z: https://auto.idnes.cz/cesko-ma-prvni-benzinku-na-vodik-ve-stredni-evrope-je-v-neratovicich-1g0-/automoto.aspx?c=A091105_154310_automoto_fdv
- ČTK, 2015. *Jsou tomu už dvě století, kdy Josef Božek ukázal svůj parostroj | Týden.cz* [online] [vid. 2017-11-29]. Dostupné z: https://www.tyden.cz/rubriky/auta/zajimavosti/jsou-tomu-uz-dve-stoleti-kdy-josef-bozek-ukazal-svuj-parostroj_356465.html
- ČTK, 2017. *Počet registrací elektromobilů v Česku loni klesl na 271 aut* [online] [vid. 2018-03-15]. Dostupné z: <http://www.ceskenoviny.cz/zpravy/pocet-registraci-elektromobilu-v-cesku-loni-klesl-na-271-aut/1462401>
- DUSIL, Tomáš, 2016. *Není hybrid jako hybrid. Čím se jednotlivé systémy liší? | auto.cz* [online] [vid. 2018-02-09]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/neni-hybrid-cim-jednotlive-systemy-lisi-100314>
- ELECTRIC VEHICLE DATABASE, 2018. *Compare hybrid and electric vehicles - EV Database UK* [online] [vid. 2018-02-27]. Dostupné z: <https://ev-database.uk/>
- EMADI, Ali, 2015. *Advanced electric drive vehicles*. 2015. vyd. Boca Raton: CRC Press. ISBN 978-1-4665-9769-3.
- EUROSTAT, 2017. *Electricity production, consumption and market overview - Statistics Explained* [online] [vid. 2018-03-12]. Dostupné z: http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Electricity_production,_consumption_and_market_overview
- EVEXPERT, 2018. *EVE LINE I - Inteligentní přenosná nabíječka AC Typ 2 - CEE 5-kolík | 32A | 3 fáze | 22kW | 5m* [online] [vid. 2018-03-12]. Dostupné z: <https://www.evexpert.cz/p/237/chytra-prenosna-evse-nabijecka-typ2-5kolik-32a>
- EVMAPA, 2018. *evmapa.cz - nabíjení na dotek* [online] [vid. 2018-03-12]. Dostupné z: <https://www.evmapa.cz/>
- EZÚ, 2018. *Elektromobilita a elektromobily - Elektrotechnický zkušební ústav, s.p.* [online] [vid. 2018-03-10]. Dostupné z: <http://ezu.cz/elektromobilita/>
- FUHS, Allen E., 2009. *Hybrid vehicles and the future of personal transportation*. Boca Raton: CRC Press. ISBN 978-1-4200-7534-2.
- FVEAA, 2016. *What to Expect in New Connectors* [online]. [vid. 2018-02-26]. Dostupné z: http://www.fveaa.org/fb/Level3Charging_279.pdf

- H2ME, 2018. *Hydrogen Refuelling Infrastructure | Hydrogen Mobility Europe* [online] [vid. 2018-02-12]. Dostupné z: <https://h2me.eu/about/hydrogen-refuelling-infrastructure/>
- HORČÍK, Jan, 2015. *CHAdEMO uznán jako evropský dobijecí standard | Hybrid.cz* [online] [vid. 2018-02-26]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/chademo-uznan-jako-evropsky-dobijeci-standard>
- HUANG, Qi, Jian LI a Yong CHEN, 2010. *Control of Electric Vehicle* [online]. B.m.: InTech [vid. 2018-03-10]. ISBN 978-953-307-100-8. Dostupné z: <http://cdn.intechopen.com/pdfs/12061.pdf>
- HUSAIN, Iqbal, 2011. *Electric and hybrid vehicles*. 2nd ed. Boca Raton, FL: CRC Press. ISBN 978-143-9811-757.
- HYUNDAI ČR, 2015. *HYUNDAI Tucson* [online]. [vid. 2018-02-12]. Dostupné z: <https://www.hyundai.cz/files/download/model/tucson-2015/hyundai-tucson.pdf>
- HYUNDAI USA, 2017. *Hydrogen Fuel Cell Car | Tucson Fuel Cell | Hyundai USA* [online] [vid. 2018-03-11]. Dostupné z: <https://www.hyundaiusa.com/tucsonfuelcell/index.aspx>
- INNOGY, 2017. *innogy eMobilita - budoucnost již dnes* [online] [vid. 2018-03-12]. Dostupné z: <https://www.innogyemobilita.cz/>
- JANČAR, Rostislav, 2009. *Do ulic vyrazil první český autobus na vodík. Bude mít vlastní čerpací stanici - iDNES.cz* [online] [vid. 2018-02-12]. Dostupné z: https://technet.idnes.cz/do-ulic-vyrazil-prvni-cesky-autobus-na-vodik-bude-mit-vlastni-cerpaci-standici-18u-/tec_technika.aspx?c=A090626_155912_tec_technika_rja
- JET CHARGE, 2017. *Vehicle Plug Types — JET Charge - Electric vehicle charging solutions* [online] [vid. 2018-03-11]. Dostupné z: <https://www.jetcharge.com.au/vehicle-plug-types/>
- KAMEŠ, Josef, 2015. *Hybridní a elektrický pohony automobilů*. 2. vydání. Praha: Nakladatelství. ISBN 2013-11-14-1.
- KHAJEPOUR, Amir., M Saber. FALLAH a Avesta. GOODARZI, 2014. *Electric and hybrid vehicles*. 2014. vyd. Chichester, West Sussex, United Kingdom: Wiley. ISBN 978-111-8341-513.
- LERNER, K Lee. a Brenda Wilmoth. LERNER, 2008. *Electric Vehicles. Gale encyclopedia of science*. 4th ed. / . Detroit: Thomson Gale. ISBN 978-141-4428-772.
- MCQUEENEY, Ryan, 2016. *How Much Oil Is Left in The Earth? Nasdaq* [online] [vid. 2017-11-29]. Dostupné z: <https://www.zacks.com/stock/news/259781/how-much-oil-is-left-in-the-earth>
- MIKULÍK, Jarmil, 2014. *Elektrická vozidla z pohledu homologace* [online]. [vid. 2018-03-02]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/data-ftp-user/konference/2014/emobilita/09-elektricka-vozidla-z-pohledu-homologace.pdf>
- MINISTERSTVO DOPRAVY ČR, 2018. *Ministerstvo dopravy ČR - Centrální registr vozidel* [online] [vid. 2018-03-15]. Dostupné z: [http://www.mdcr.cz/Statistiky/Silnicni-doprava/Centralni-registr-vozidel/Statistika-II-pol-2017-\(k-1-1-2018\)?returl=/Statistiky/Silnicni-doprava/Centralni-registr-vozidel](http://www.mdcr.cz/Statistiky/Silnicni-doprava/Centralni-registr-vozidel/Statistika-II-pol-2017-(k-1-1-2018)?returl=/Statistiky/Silnicni-doprava/Centralni-registr-vozidel)
- MUOIO, Danielle, 2017. *Automakers are betting big on hydrogen-powered cars* [online] [vid. 2018-02-12]. Dostupné z: <http://www.businessinsider.com/12-hydrogen-car-projects-2017-5/#8-mercedes-benz-unveiled-its-hydrogen-powered-suv-at-the-frankfurt-motor-show-in-september-the-vehicle-is-built-on-the-same-platform-as-the-companys-glc-suv-and-will-hit-the-market-at-the-end>
- MURTINGER, Karel, 2012. *Motor v kolech. Je ideálním řešením pro elektromobily? | Nazeleno.cz* [online] [vid. 2018-03-11]. Dostupné z: <https://www.nazeleno.cz/technologie-1/hybridy-a-elektromobily/motor-v-kolech-je-idealnim-resenim-pro-elektromobily.aspx>

- PAVELKA, Jiří, 2007. *Elektrické pohony*. Vyd. 1. Praha: Nakladatelství ČVUT. ISBN 978-800-1035-887.
- PORŠ, Zdeněk, 2003. *Co je to palivový článěk | 3 pól - Magazín plný pozitivní energie* [online] [vid. 2018-03-11]. Dostupné z: <https://www.3pol.cz/cz/rubriky/obnovitelne-zdroje/1084-co-je-to-palivovy-clanek>
- PROVALILOVÁ, Iva, 2009. *Vývoj dopravní výchovy Úvod Historie automobilismu Počátky nehodovosti Počátky bezpečnosti v dopravě* [online]. 62–65. Dostupné z: <http://www.ped.muni.cz/z21/knihy/2009/32/32/texty/provalilova.pdf>
- RICHMOND, Randy, 2013. *Lithium-Ion Batteries for Electric Vehicles: Page 3 of 4 | Home Power Magazine* [online] [vid. 2018-03-11]. Dostupné z: <https://www.homepower.com/articles/vehicles/project-profiles/lithium-ion-batteries-electric-vehicles/page/0/2>
- RIPPEL, Wally, 2007. *Induction Versus DC Brushless Motors | Tesla Europe* [online] [vid. 2018-03-03]. Dostupné z: https://www.tesla.com/en_EU/blog/induction-versus-dc-brushless-motors?redirect=no
- SAJDL, Jan, 2014. *www.autolexicon.net | ... s námi uvidíte pod kapotu* [online] [vid. 2018-03-03]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/>
- SERRA, João Vitor Fernandes, 2012. *Electric vehicles*. 1st publ. London: Routledge. ISBN 978-184-9714-150.
- SMART-EV, 2018. *Smart-EV - nabíjecí stanice pro elektromobily* [online] [vid. 2018-03-12]. Dostupné z: <http://www.smartev.cz/>
- SOLBERG, Greg, 2007. *The Magic of Tesla Roadster Regenerative Braking | Tesla Europe* [online] [vid. 2018-03-11]. Dostupné z: https://www.tesla.com/en_EU/blog/magic-tesla-roadster-regenerative-braking
- TESLA INC., 2018. *Supercharging | Tesla Europe* [online] [vid. 2018-03-12]. Dostupné z: https://www.tesla.com/en_EU/support/supercharging?redirect=no
- THE MOBILITY HOUSE, 2017. *Charging Cable and Plug Types | The Mobility House* [online] [vid. 2018-02-26]. Dostupné z: <http://www.mobilityhouse.com/en/charging-cable-and-plug-types/>
- TORQUE, 2017. *Hyundai Tucson Fuel Cell drivers accumulate more than two million zero-emission miles in California - Torque* [online] [vid. 2018-03-11]. Dostupné z: <http://www.torque.com.sg/17426/hyundai-tucson-fuel-cell-drivers-accumulate-two-million-zero-emission-miles-california/>
- VLK, František, 2004. *Alternativní pohony motorových vozidel*. 1. vyd. Brno: František Vlk. ISBN 80-239-1602-5.
- VOJÁČEK, Antonín, 2014. *El. motory a jejich řízení - základní přehled - 1.díl | Automatizace.HW.cz* [online] [vid. 2018-03-03]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/el-pohony-mereni-a-regulace/el-motory-a-jejich-rizeni-zakladni-prehled.html>
- VOLOV CAR CO., 2013. *Volvo Car Group completes successful study of cordless charging for electric cars - Volvo Car UK Media Newsroom* [online] [vid. 2018-03-11]. Dostupné z: <https://www.media.volvocars.com/uk/en-gb/media/pressreleases/134930/volvo-car-group-completes-successful-study-of-cordless-charging-for-electric-cars>

10 Seznam obrázků

obr. 1 Schéma akumulátorového elektromobilu (Khajepour et al. 2014)	4
obr. 2 Schéma palivového článku (Porš 2003)	5
obr. 3 Honda Clarity Fuel Cell (American Honda Motor Co. 2018)	8
obr. 4 Detaily Hyundai Tucson FCEV (Torque 2017).....	9
obr. 5 Schéma sériového hybridního pohonu (Serra 2012)	11
obr. 6 Schéma paralelního hybridního pohonu (Serra 2012).....	12
obr. 7 Schéma kombinovaného hybridního pohonu (Serra 2012).....	13
obr. 8 Mild hybrid – BMW ActiveHybrid 7 (BMW.com 2018).....	14
obr. 9 Řez stejnosměrným motorem (Kameš 2015)	15
obr. 10 Charakteristika DC motoru se sériovým a paralelním vinutím (Kameš 2015).....	16
obr. 11 Výkonový a momentová charakteristika asynchronního motoru (Kameš 2015)	17
obr. 12 Schéma asynchronního indukčního motoru (Kameš 2015)	17
obr. 13 Schéma pohonu s převodovkou (Khajepour et al. 2014).....	18
obr. 14 Schéma přímo poháněná náprava (Khajepour et al. 2014)	18
obr. 15 Schéma zdvojený motor na hnací nápravě (Khajepour et al. 2014).....	19
obr. 16 Schéma motoru v kole (Murtinger 2012)	19
obr. 17 Schéma pohonné jednotky elektricky poháněného vozu (Khajepour et al. 2014).....	20
obr. 18 Schéma třífázového DC-AC měniče (Khajepour et al. 2014).....	20
obr. 19 Zjednodušené schéma ovládací elektroniky (Huang et al. 2010)	21
obr. 20 Schéma BMS (Richmond 2013).....	22
obr. 21 Konektor Typ 1, SAE J1772, Yazaki (Jet Charge 2017; The Mobility House 2017).....	26
obr. 22 Konektor Mennekes (Jet Charge 2017; The Mobility House 2017)	27
obr. 23 Konektor CHAdeMO (Jet Charge 2017; The Mobility House 2017).....	27
obr. 24 Konektor SuperCharger (Jet Charge 2017; The Mobility House 2017).....	27
obr. 25 Konektor CSS Typ 1 (Jet Charge 2017; The Mobility House 2017)	28
obr. 26 Konektor CSS Typ 2, Combo2 (Jet Charge 2017; The Mobility House 2017).....	28
obr. 27 Schéma indukčního nabíjení (Volov Car Co. 2013)	31
obr. 28 AC přenosná nabíječka CEE 5 kolík 32 A, 22 kW, Mennekes (EVexpert 2018)	32
obr. 29 Dobíjecí AC stojan a wallbox Innogy (innogy 2017).....	32
obr. 30 DC a AC dobíjecí stanice ABB provozována skupinou ČEZ (ČEZ 2018)	33
obr. 31 Tesla SuperCharger (Tesla Inc. 2018).....	33
obr. 32 Mapa dobíjecích stanic v ČR (EVmapa 2018).....	34

11 Seznam grafů

Graf 1 Počet vozidel v ČR dle paliva (Ministerstvo dopravy ČR 2018)	36
Graf 2 Počet vozidel v EU dle paliva (ACEA 2017)	37
Graf 3 Rozložení výroby el. energie v EU (Eurostat 2017).....	37

12 Seznam tabulek

tab. 1 Porovnání palivových článků (Khajepour et al. 2014; Husain 2011).....	7
tab. 2 Srovnání vybraných parametrů modelů Honda Clarity (American Honda Motor Co. 2018)	8
tab. 3 Srovnání vybraných parametrů vozu s palivovými články a konvenčního vozu (Hyundai ČR 2015; Hyundai USA 2017).....	9
tab. 4 Porovnání hybridních pohonů dle stupně hybridizace (Khajepour et al. 2014)	14
tab. 5 Parametry jednosměrného DC-DC měniče (Emadi 2015).....	21
tab. 6 Porovnání klíčových parametrů akumulátorů (Khajepour et al. 2014)	24
tab. 7 Porovnání akumulátoru a ultra-kondenzátoru (Fuhs 2009)	24
tab. 8 Typy zásuvek poskytující střídavý proud (Kameš 2015).....	25
tab. 9 Přehled parametrů souvisejících s dobíjením u vybraných vozů (Electric Vehicle Database 2018).....	26
tab. 10 Přehled dobíjecích časů u vybraných modelů (Smart-EV 2018)	35
tab. 11 Počet vozidel a typ paliva v ČR (Ministerstvo dopravy ČR 2018).....	36
tab. 12 Počet vozidel a typ paliva v EU (ACEA 2017).....	36