



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

HNACÍ ÚSTROJÍ MODERNÍCH ELEKTROMOBILŮ

POWERTRAIN OF A MODERN ELECTRIC VEHICLES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Pavel Mraček

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Václav Otipka

BRNO 2020

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student: **Pavel Mraček**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Václav Otipka**
Akademický rok: 2019/20

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Hnací ústrojí moderních elektromobilů

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Bakalářská práce je zaměřena na shromáždění aktuálních informací z oblasti hnacího ústrojí elektromobilů.

Cíle bakalářské práce:

Provést rešerši v oblasti hnacího ústrojí elektromobilů.

Vhodně rozdělit elektromobily z pohledu koncepce užívaného hnacího ústrojí. Každou z kategorií blíže charakterizovat, rozebrat užívaná konstrukční řešení klíčových komponent.

Uvést příklady zástupců moderních elektromobilů, a to včetně jejich základních parametrů.

Vlastní zhodnocení zjištěných informací na základě zvolených parametrů.

Seznam doporučené literatury:

EHSANI, Mehrdad, Yimin GAO, Stefano LONGO a Kambiz EBRAHIMI. Modern electric, hybrid electric, and fuel cell vehicles. Third edition. Boca Raton: CRC Press, [2018]. ISBN 978-1-4987-6-77-2.

EMADI, Ali, ed. Advanced electric drive vehicles. Boca Raton: CRC Press, 2017. Energy, power electronics, and machines. ISBN 978-113-8072-855.

NIKOWITZ, Michael, ed. Advanced Hybrid and Electric Vehicles: System Optimization and Vehicle Integration. Springer International Publishing, c2016. ISBN 978-1-4471-6781-5.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá hnacím ústrojím moderních elektromobilů. Úvodní část práce se stručně věnuje významným historickým milníkům elektromobility. Hlavní část práce popisuje různé koncepty samotného hnacího ústrojí a rozebírá jednotlivé užité komponenty. Rozebrány jsou zejména elektromotory, akumulátory a převodovky. Celou práci uzavírá srovnání sériově vyráběných elektromobilů rozdělených do dvou kategorií podle ceny.

KLÍČOVÁ SLOVA

elektromobil, elektromotor, převodovka, akumulátor, koncepte hnacího ústrojí

ABSTRACT

The bachelor's thesis deals with powertrains of modern electric vehicles. The opening part briefly mentions the important historical milestones of electric mobility. The main part of the thesis describes different concepts of powertrain layouts and analyses its main components. The described components are mainly electric motors, batteries, and transmissions. The whole thesis is concluded with comparison of mass-produced electric cars divided into two categories according to the price.

KEYWORDS

electric vehicle, electric motor, transmission, battery, powertrain layouts

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MRAČEK, Pavel. Hnací ústrojí moderních elektromobilů [online]. Brno, 2020 [cit. 2020-06-25]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/125512>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. 38 s. Vedoucí práce Václav Otipka.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Václava Otipky a s použitím informačních zdrojů uvedených v seznamu.

V Brně dne 26. června 2020

.....

Pavel Mraček

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval Ing. Václavu Otipkovi za cenné rady, věcné připomínky a vstřícnost při konzultacích bakalářské práce. Dále bych rád poděkoval své rodině za poskytované zázemí a neustálou podporu při studiích. V neposlední řadě bych rád zmínil i své nejbližší přátele, kteří mě svou pílí motivovali ke studiu, děkuji.

OBSAH

Úvod	9
1 Historie elektromobility.....	10
2 Hnací ústrojí elektromobilů	11
3 Akumulátory.....	14
3.1 Lithiové akumulátory	14
3.2 Olověné akumulátory	17
3.3 Niklový akumulátor Ni–MH	17
3.4 Akumulátor Zebra (Na–NiCl)	17
3.5 Superkapacitory	18
3.6 Srovnání zmíněných technologií	18
4 Elektromotory	19
4.1 Synchronní motor	20
4.2 Asynchronní (indukční) motor	20
4.3 Spínaný reluktanční motor (SRM)	21
4.4 Srovnání výše zmíněných elektromotorů	22
5 Převodovky	23
5.1 Jednostupňové převodovky	23
5.2 Dvoustupňové převodovky.....	24
5.3 Variátory (CVT).....	24
6 Integrované elektrické pohony	25
7 Srovnání jednotlivých elektromobilů	28
7.1 Elektromobily do 1 300 000 Kč	28
7.2 Elektromobily nad 1 300 000 Kč	30
Závěr	32
Seznam použitých zkratek a symbolů	38

ÚVOD

Elektromobily si nepopíratelně získávají svoji popularitu po celém světě jako důsledek implementace různých vládních nařízení za účelem snížení znečištění ovzduší způsobeným dopravou, přesněji řečeno oxidem uhličitým a dalšími zdravotně závadnými výfukovými plyny. I přes veškeré problémy se znečištěním planety se však tyto kroky nedějí dostatečně rychle a my můžeme nadále pozorovat všechny negativní efekty, například postupné zvyšování pH (okyselování) vody ve všech světových oceánech, nebo postupné tání ledovců v polárních oblastech. [1]

Elektřina jako zdroj energie pro automobily je na rozdíl od tradičních fosilních paliv obnovitelná a při její spotřebě nevznikají žádné škodlivé látky. Právě problém obnovitelnosti v kombinaci se závislostí na dodavatelích ropy se stal v posledních letech velmi diskutovaným tématem a Evropská unie a další světové organizace tento problém aktivně řeší. [2] Jako hlavní výhodu elektrické energie můžeme považovat vysokou variabilitu její produkce z různých primárních zdrojů. Další výhodou elektřiny spočívá v použití elektromotorů, které mají v porovnání s konvenčními spalovacími motory až trojnásobně větší účinnost, která může být až 95 %. [3]

Elektromobilita bohužel nemusí být tak ideálním řešením, jak se může na první pohled zdát. Valná většina moderních elektromobilů používá akumulátory založené na lithiové technologii, která se zdá být i do budoucna tím nejlepším řešením. Poptávka po lithiu se úměrně zvětšuje s oblíbeností elektromobilů, a právě dostupnost tohoto alkalického kovu se zdá být nejistá. Možné řešení může být v použití jiných typů baterií nebo zdokonalení recyklace již použitých baterií. [4]

Výše uvedená fakta se za posledních pár let dotkla nás všech a automobilky po celém světě vyvíjí moderní ekologické elektromobily. Jestli však budoucnost leží v elektromobilitě a postupné elektrifikaci nebo je tato cesta další slepou uličkou ukáže až čas.

1 HISTORIE ELEKTROMOBILITY

Historie elektromobility je úzce spjatá s historií elektrochemických baterií, proto se musíme vrátit až do roku 1800, kdy Ital Alesandro Volta demonstroval, že elektrická energie může být chemicky uschována. On sám se inspiroval svým krajanem profesorem v oblasti medicíny Luigi Galvanim, který se proslavil svými pokusy se žábami, při kterých neúmyslně objevil elektrický proud. Právě Alesandro Volta pojmenoval na počest svého krajana svůj vynález jako galvanický článek. [5]

Dále se na pomyslné časové ose posuneme do roku 1821, kdy Brit Michael Faraday představil světu první elektrický motor, který byl poháněn právě Voltovým galvanickým článkem. Dalším významným rokem pro elektromobilitu byl rok 1831, kdy opět Faraday přispěl svým objevem elektromagnetické indukce, která je stěžejní pro všechny stroje poháněné elektrickou energií. [5]

Dalším zlomovým rokem byl rok 1834, kdy poprvé vznikl koncept elektromobilu. Na následující průlom v historii elektromobility jsme si museli počkat téměř celé století. V roce 1901 Američan Thomas Edison vynalezl niklové baterie, které se používají dodnes. Právě konec 19. a začátek 20. století byl pro elektromobilitu klíčový a tato technologie zažila největší posun v celé své historii. Jeden z dobových elektromobilů můžeme vidět viz obrázek 1.1 [5] Zlomovým se pro elektromobily stal okamžik vynálezu elektrického startéru, díky němuž mohli automobily se spalovacími motory nastartovat bez pomoci člověka a tím se elektromobilitě zavřely dveře na téměř celé století. [6]

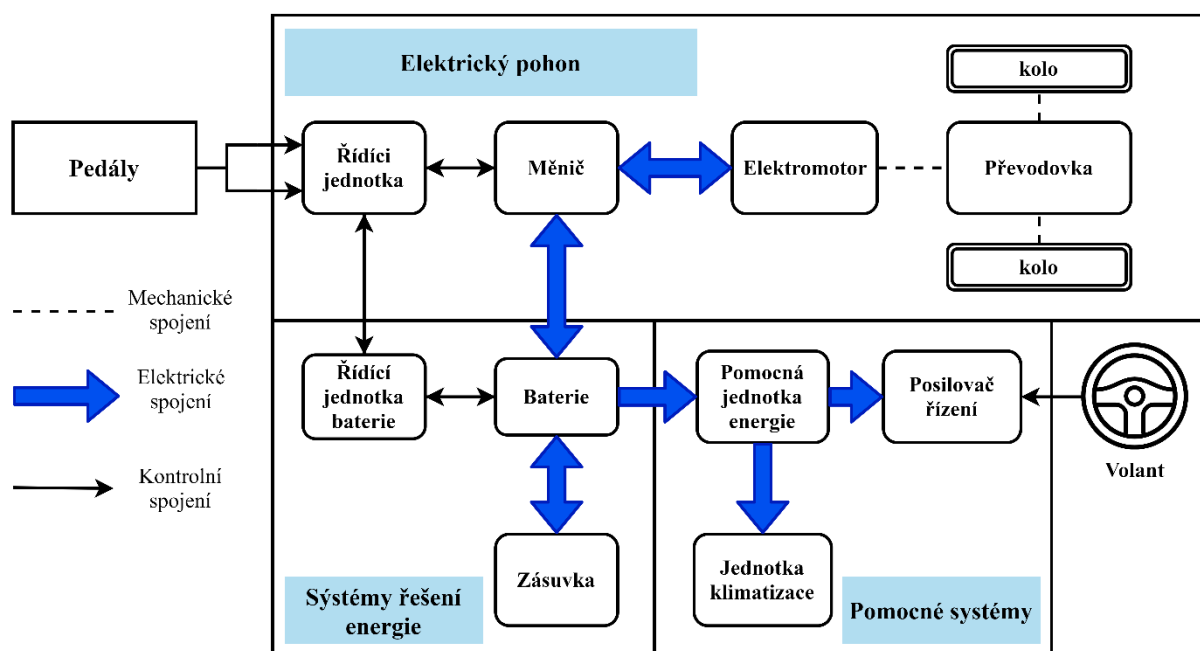


Obrázek 1.1 Thomas Edison se svým elektrickým automobilem (1913) [42]

Zabralo to 60 let, než se elektromobily znovu dostaly do povědomí lidí a se stále více narůstajícím tlakem na ekologii se masivně rozmohl jejich vývoj. Tento vývoj nebyl jednoduchý a elektromobily zpočátku na konvenční automobily ztrácely ve všech ohledech. Hlavními problémy byly a některé stále jsou, nedostatečný výkon, vysoká pořizovací cena a malý dojezd. Většinu těchto problémů se podařilo z velké části vyřešit a my můžeme předpokládat, že trend elektromobilů přetrvá a možná v blízké budoucnosti vytlačí konvenční automobily. [7]

2 HNACÍ ÚSTROJÍ ELEKTROMOBILŮ

Hnací ústrojí moderních elektromobilů se skládá z mnoha součástí, které můžeme vidět viz obrázek 2.1. Dříve byly hnací ústrojí elektromobilů pouze přizpůsobenou verzí konvenčních spalovacích hnacích ústrojí. V tomto provedení se pouze nahradil spalovací motor a palivová nádrž motorem elektrickým a baterií, přičemž byly zachovány všechny ostatní komponenty zcela nevyhovující pro elektromobil. [8]



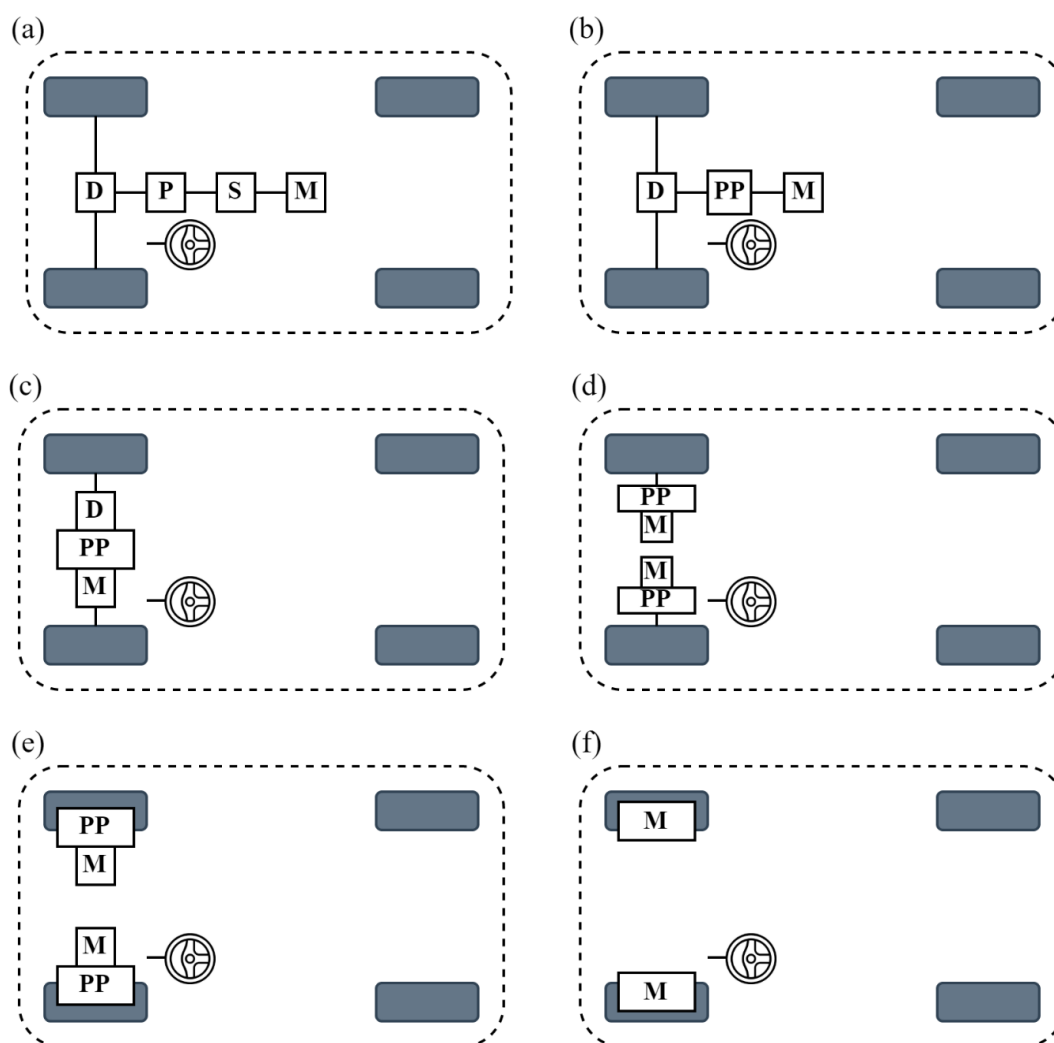
Obrázek 2.1 Základní koncept elektromobilu [8]

Moderní hnací ústrojí elektromobilů se dá rozdělit do 3 menších podskupin a těmi jsou: pohon elektrického motoru, zdroj energie a pomocné jednotky. Pohon se dále skládá z řídicí jednotky, měniče, elektromotoru, převodovky a kol samotných. Prvky systému energie jsou baterie, dobíjecí zásuvka a řídicí jednotka baterie. Pomocné systémy jsou složeny z pomocné jednotky energie, posilovače řízení, jednotky klimatizace a dalších. [8]

Celý systém se chová v závislosti na uživateli, a to v reakci na používání pedálů. Řídicí jednotka posílá signály do měniče. Hlavní funkcí měniče je tvořit střídavý proud z proudu stejnosměrného a měnit jeho frekvenci. Tato energie se může i opačným směrem dostat zpět do baterie díky schopnosti rekuperace většiny elektromobilů. Řídicí jednotky pohonu a baterie jsou v neustálé kooperaci a snaží se při každém zpomalování automobilu dobíjet baterii. Pomocná jednotka zajišťuje vhodnou velikost napětí pro všechny pomocné systémy jako je např. posilovač řízení nebo klimatizace. [8]

KONCEPTY HNACÍCH ÚSTROJÍ

Ve srovnání s konvenčními automobily se spalovacími motory jsou elektromobily více flexibilní v možnostech uspořádání hnacího ústrojí. Tato flexibilita je možná díky několika faktorům specifickým pro elektromobil. Veškerá energie je převáděna skrze kabely, jejichž uspořádání není na rozdíl od mechanických částí tradičních automobilů omezeno a lze je jednoduše přizpůsobovat jednotlivým konfiguracím, které můžeme vidět viz obrázek 2.2. Další odlišnost můžeme pozorovat v samotném zdroji energie, kde se na rozdíl od konvenčního spalování nafty nebo benzínu může použít široká škála baterií od klasických olověných po současně nejpoužívanější lithium-iontové. [9]

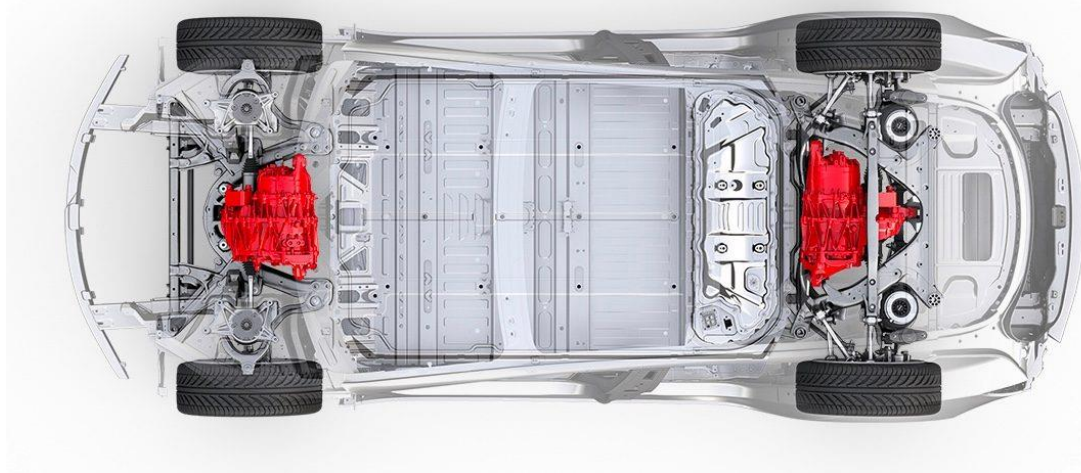


Obrázek 2.2 Různé koncepty hnacích ústrojí elektromobilů [8], [9], [11], [12]
(M – motor, D – diferenciál, PP – pevná převodovka, P – převodovka, S – spojka)

Konfigurace (a) zobrazuje první možnou alternativu hnacího ústrojí elektromobilu, která je ze všech ostatních konfigurací nejvíce podobná konvenčnímu spalovacímu hnacímu ústrojí. Jediná odlišnost v této konfiguraci je nahrazení spalovacího motoru za motor elektrický a nádrže na palivo za baterii, další prvky jako převodovka, spojka a diferenciál jsou zachovány. Tato konfigurace je využívána při přestavbě konvenčního automobilu na elektromobil. [9], [10]

Nahrazení vícestupňové převodovky za převodovku jednostupňovou umožnilo odebrat z konfigurace (b) spojku. V důsledku tohoto zjednodušení je celý systém znatelně lehčí, což je pro elektromobil disponující těžkými bateriemi značná výhoda. Tento systém se tedy skládá z elektrického motoru, jednostupňové pevné převodovky a diferenciálu. Dále si můžeme všimnout, že zmíněná konfigurace již není vhodná pro konvenční spalovací automobil, protože bez spojky a vícestupňové převodovky by toto rozložení nebylo provozuschopné. [9], [10]

Konfigurace (c) je složením totožná s konfigurací (b), jediný rozdíl je ve zjednodušení použitých prvků a integrování těchto prvků do jednoho, proto se tato konfigurace dá považovat za kompaktní verzi konfigurace (b), což umožňuje další redukci výsledné hmotnosti. Právě tento typ hnacího ústrojí je nejvíce používaný mezi elektromobily a je zobrazen viz obrázek 2.3. [9], [10]



Obrázek 2.3 Hnací ústrojí elektromobilu Tesla Model 3 [46]

V konfiguraci (d) můžeme vidět dva spolupracující elektrické motory, které spolu nahrazují funkci diferenciálu a dodávají požadovaný krouticí moment na každé kolo zvlášť. Pro další zjednodušení hnacího ústrojí lze umístit motory do nábojů kol (e)(f), kde s motory buď spolupracuje jednostupňová planetová převodovka (e), nebo je převodovka zcela vynechána (f) a pro pohon kol se používá rotor elektromotoru, z čehož vyplývá, že rychlost automobilu přímo závisí na otáčkách motoru. Z tohoto důvodu musí být elektromotor pro toto použití schopen pracovat i při nízkých otáčkách a rotor musí být umístěn z vnější strany. [8], [10]

Výběr jedné z konfigurací záleží zejména na výrobci a použití. Mezi hlavní kritéria bychom mohli zařadit velikost hnacího ústrojí, výkon, hmotnost a cenu. V současnosti jsou nejoblíbenějšími konfiguracemi (b) nebo (c), zatímco (e) a (f) jsou stále ve vývoji a slouží spíše k demonstraci možného uložení hnacího ústrojí a výroba je v rámci desítek kusů. Právě uložení v nábojích kol však umožňuje znatelně snížit hmotnost a maximalizovat místo pro pasažéry a náklad. Na druhou stranu tato konfigurace vyžaduje elektromotory schopné pracovat ve velkém rozpětí otáček a rozložení hmotnosti není ideální. [9]

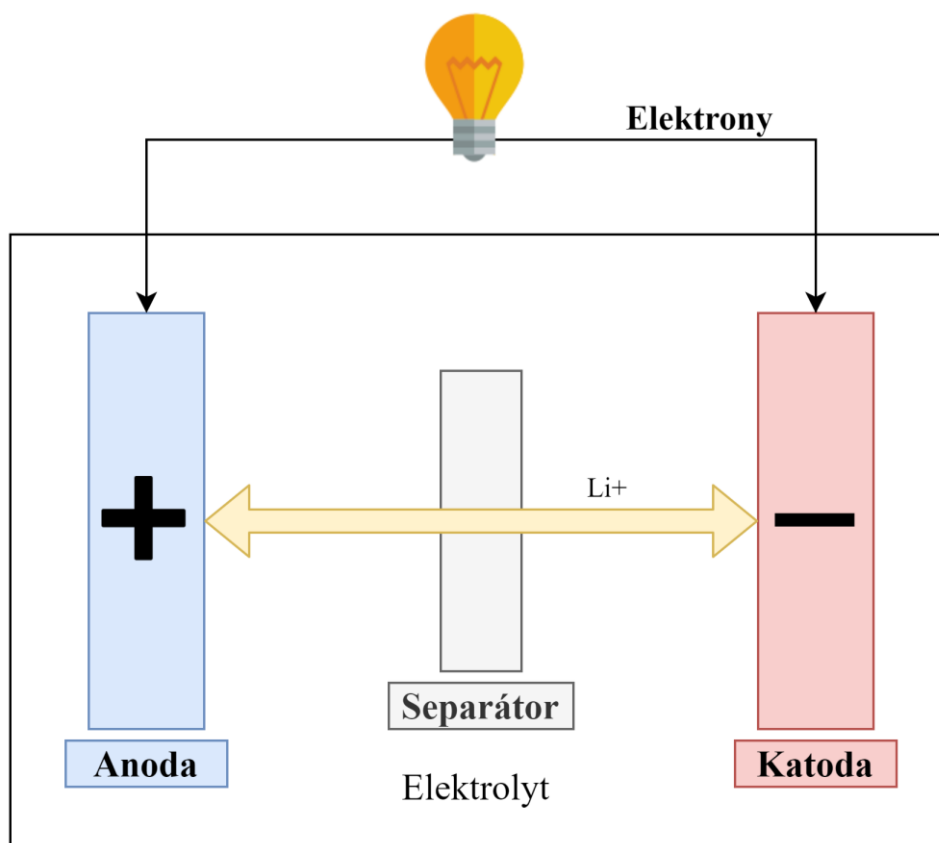
3 AKUMULÁTORY

V současnosti se předpokládá, že baterie budou hlavní zdroj energie všech elektromobilů i přes všechny nedostatky. Baterie se vyrábí z mnoha různých materiálů a jejich vývoj je stěžejním bodem v budoucnosti celého konceptu elektromobilu, protože právě současné baterie jsou hlavním důvodem proč o elektromobily není tak velký zájem a kupují si je hlavně techničtí nadšenci a tzv. early adopters (uživatel, který je ochoten zkoušet a používat nové technologie). [9]

Ve vývoji baterií je snaha dosáhnout co nejdelší výdrže, krátkého dobíjení a největší hustoty energie baterie. Právě zmíněná hustota energie je stále největším problémem současných baterií, a proto elektromobily musí vozit velice těžké a rozměrné akumulátory. Dalším problémem akumulátorů je jejich cena, která je zhruba 80 % ceny celého hnacího ústrojí. [11]

3.1 LITHIOVÉ AKUMULÁTORY

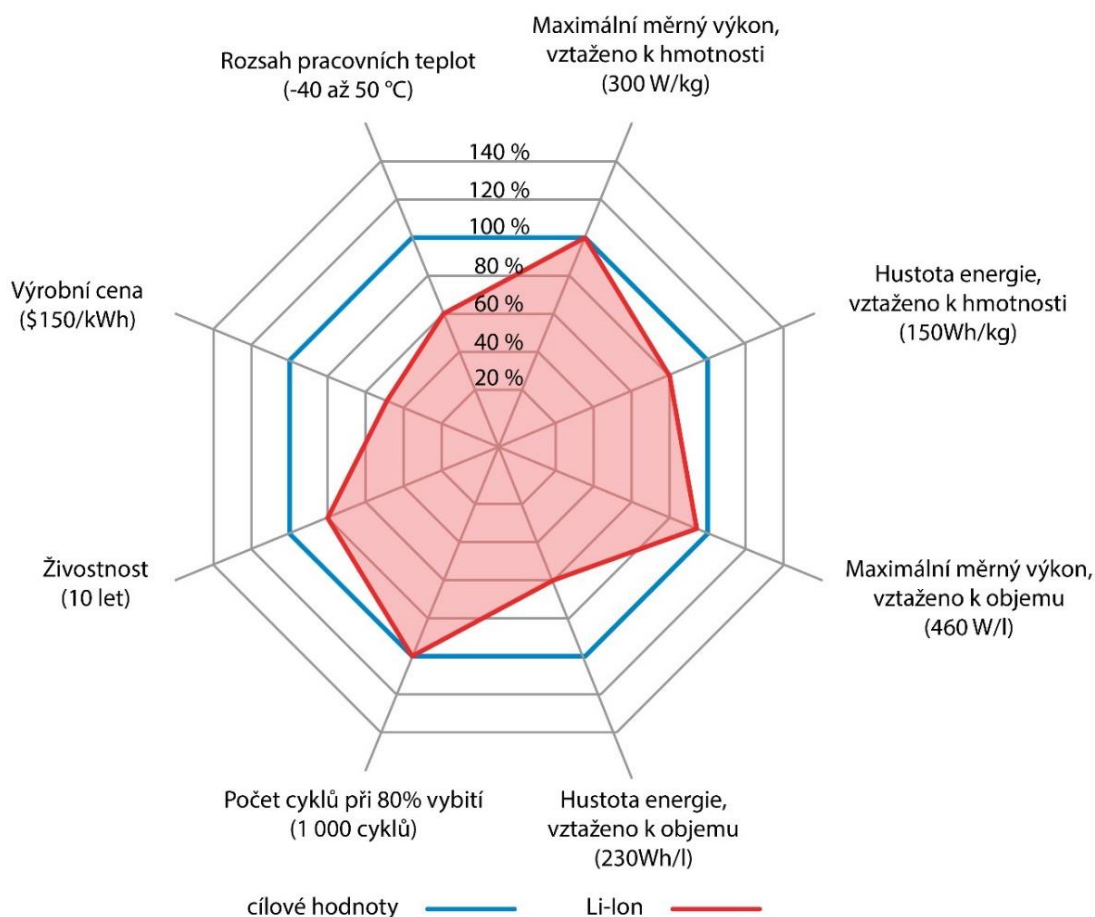
Lithiový akumulátor je jeden z mnoha typů dobíjecích akumulátorů. Tento typ akumulátoru funguje na principu přesouvání iontů lithia z anody na katodu při vybíjení, a naopak při nabíjení viz obrázek 3.1. Lithiové akumulátory můžeme rozdělit do dvou hlavních kategorií: Li-Ion a Li-Polymer a dalších podkategorií podle použitých materiálů. [8], [12]



Obrázek 3.1 Schéma Li-Ion akumulátoru [8]

Lithiové akumulátory jsou pro své jedinečné vlastnosti používány jako výhradní zdroj energie veškeré přenosné elektroniky. Mezi stěžejní charakteristiky a hlavní výhody patří: nízký ekologický dopad, možnost recyklace, vysoká energetická hustota, vysoké jmenovité napětí a v neposlední řadě nízká cena. Další předností je nižší samovybíjení než u ostatních typů akumulátorů a možnost dobíjet baterii v jakémkoliv stavu díky nízkému paměťovému efektu. Všechny tyto vlastnosti přispívají k faktu, že Lithiová technologie je tou nejrozšířenější a pro pohon elektromobilu nejvhodnější. [13]

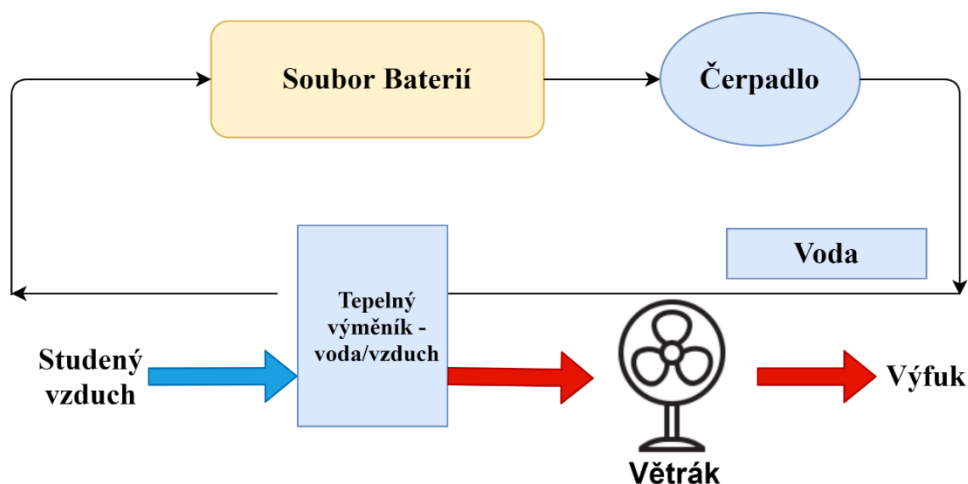
I přes veškerý probíhající výzkum a vývoj se lithiová technologie potýká s různými problémy, které doposud nebyly vyřešeny. Mezi hlavní problémy velkých baterií používaných v elektromobilech můžeme zařadit bezpečnost, životnost a nutnost udržení vhodných pracovních teplot. V roce 2013 si skupina organizací stanovila cíle pro Li-Ion akumulátory viz obrázek 3.2, který porovnává současný stav poznání s cílovými vlastnostmi. [10]



Obrázek 3.2 cílové vlastnosti Li-Ion akumulátorů [10]

ŘÍZENÍ TEPLITY

Výkon Li-Ion akumulátorů velmi závisí na správně zvolené teplotě. Tento typ baterií se při vystavení nevhodné teplotě může permanentně poškodit, a proto je potřeba s nimi správně manipulovat. V automobilu se o správnou teplotu baterie stará řídicí jednotka baterie a chladicí systém. Li-Ion baterie nelze dobíjet při teplotě nižší než 0 °C a při teplotě nad 45 °C dochází k rychlému a trvalému poškození. Mezi nejčastější řešení tohoto problému patří: chlazení pomocí vzduchu, chlazení olejem nebo chlazení vodou viz obrázek 3.3. Ohřívání zajišťuje ohřívač. [14]



Obrázek 3.3 Systém chlazení baterie způsobem voda/vzduch [40]

UMÍSTĚNÍ BATERIE

Z důvodu velikosti a vysoké hmotnosti baterie je velice důležité její správné umístění. Baterie by neměla být v bezprostřední blízkosti pasažérů kvůli možnému riziku. Dalším kritériem je vliv těžké baterie na jízdní vlastnosti automobilu, a proto je nejvhodnější baterii umístit co nejnižší, aby těžiště zůstalo zachováno, v co možno nejnižší poloze. [14] Právě proto se ukázalo uložení v podvozku viz obrázek 3.4 tím nejvhodnějším. Toto uložení má další výhody v podobě dostupnosti baterie v případě výměny a vhodné cirkulaci vzduchu potřebné ke chlazení. Z bezpečnostního hlediska se již zmíněné řešení zdá být také tím nejvhodnějším, protože baterie neleží v nebezpečných zónách možné nehody. [15] Další možnosti umístění baterie jsou v přední nebo zadní části automobilu nebo ve středovém tunelu. [16]



Obrázek 3.4 umístění baterie elektromobilu Tesla Model S [39]

3.2 OLOVĚNÉ AKUMULÁTORÝ

Olověné baterie se těší velké oblíbenosti po více než století a stále se široce používají v automobilovém průmyslu. Tyto baterie jsou sestaveny z elektrod na bázi olova a jako elektrolyt se používá naředěná kyselina sírová. Mezi hlavní výhody lze zařadit vyspělost technologie, relativně vysoký výkon a nízkou cenu. Právě schopnost dodání vysokého výkonu je atraktivní pro použití v hybridních a konvenčních automobilech. [8] Na druhou stranu použití olověných baterií v elektromobilech je vysoce nepravděpodobné. [17]

VÝHODY OLOVĚNÝCH AKUMULÁTORŮ

- Nízká cena
- Schopnost poskytnout vysoký proud
- Vyspělost technologie

NEVÝHODY OLOVĚNÝCH AKUMULÁTORŮ

- Nízká hustota energie
- Špatné vlastnosti při nízké teplotě
- Zdraví závadný materiál
- Nešetrné k životnímu prostředí
- Vysoká hmotnost

3.3 NIKLOVÝ AKUMULÁTOR Ni–MH

Nikl je lehčí materiál než olovo a jeho elektrochemické vlastnosti jsou vhodné pro využití v oblasti akumulace energie. Baterie Nikl-Metal hydrid je na trhu od roku 1992 a svými vlastnostmi dominuje mezi tzv. nickel-based (hlavní složka baterie je nikl) bateriemi. Hlavním rozdílem mezi Ni–MH a ostatními niklovými akumulátory je v použití vodíku, který je absorbován v materiálu katody. Díky užití vodíku je na rozdíl od ostatních niklových akumulátorů výkonnější a zároveň neškodí lidskému zdraví, a proto se tato konfigurace niklové baterie těší oblíbenosti v mnoha odvětvích průmyslu. [8]

VÝHODY Ni–MH

- Vysoká hustota energie
- Vysoký měrný výkon
- Šetrné k životnímu prostředí
- Rychlé dobíjení
- Udržení stálého napětí při vybíjení

NEVÝHODY Ni–MH

- Vysoká cena
- Znatelný paměťový efekt
- Samovybíjení
- Životnost

3.4 AKUMULÁTOR ZEBRA (Na–NiCl)

Zebra je alternativní typ akumulátoru, který byl vyvinut v Jižní Africe a pomalu nachází cestu k využití v automobilovém průmyslu. [10] Tento typ akumulátoru pracuje při vysokých teplotách (270 °C) a pro svoji funkci vyžaduje speciální obal. Tento obal musí být schopný vytvořit a udržet vhodnou teplotu uvnitř a zároveň zůstat chladným na povrchu. Právě náročné udržení provozních teplot je hlavním důvodem nepoužívání této baterie v praxi. Další vlastnosti tohoto akumulátoru jsou jinak velice příznivé. [17]

VÝHODY Na–NiCl

- Dlouhá životnost
- Nízká cena
- Možnost úplného vybití
- Vysoká hustota energie

NEVÝHODY Na–NiCl

- Náročné provozní podmínky
- Nízký měrný výkon

3.5 SUPERKAPACITORY

Superkapacity jsou dvouvrstvé kondenzátory jedinečné pro schopnost dodat vysoký měrný výkon. Na druhou stranu mají nízkou hustotu energie, a proto nejsou schopny nahradit elektrochemické akumulátory. Kvůli obtížnosti vývoje baterie se všemi potřebnými vlastnostmi k pohonu elektromobilu se uvažuje o zakomponování superkapacitoru do hnacího ústrojí. Toto hybridní spojení by umožňovalo využívat superkapacitor při energeticky náročných úkonech jako je například jízda do kopce nebo zrychlování. Díky schopnosti superkapacitoru rychle se dobíjet je vhodné právě pro znovu nabíjení použít rekuperaci, protože elektrochemické baterie nejsou schopny pojmout tolik energie najednou. [8]

VÝHODY SUPERKAPACITORU

- Vysoký měrný výkon až 14 kW/kg
- Prodlouží životnost a výdrž baterie
- Vysoká účinnost
- Dlouhá životnost

NEVÝHODY SUPERKAPACITORU

- Nízká hustota energie
- Rychle vybíjení
- Hmotnost navíc

3.6 SROVNÁNÍ ZMÍNĚNÝCH TECHNOLOGIÍ

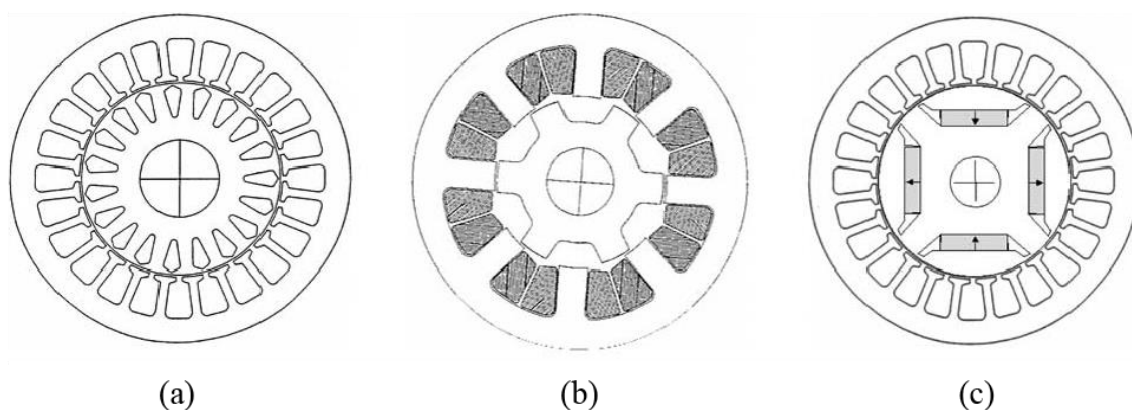
Akumulátory jsou nedílnou a pravděpodobně nejdůležitější součástí elektromobilů. Právě proto je vývoj akumulátorů pro budoucnost elektromobility stěžejní. Dnešní moderní elektromobily používají nejčastěji jako zdroj energie baterie založené na lithiové technologii a s největší pravděpodobností je právě tato technologie i budoucností akumulátorů. V následující tabulce 3.1 můžeme nalézt srovnání základních parametrů výše zmíněných akumulátorů.

Tabulka 3.1 Srovnání a cílové hodnoty akumulátorů [8] [10]

Typ baterie	Hustota energie		Měrný výkon		Životnost cyklů	Pracovní teploty [°C]	Cena Kč/kWh
	[Wh/kg]	[Wh/l]	[W/kg]	[W/l]			
Li-Ion	120	450	300	160	400–1 200	20 až 60	37 500
Olověné	40	65	175	200	100–2 000	20 až 60	3 750
Ni-MH	90	220	600	190	500–1 000	20 až 60	20 500
Na-NiCl	110	150	150	100	1 500	270	17 500
Superkapacitor	5	–	14k	–	500k	20 až 65	250 000
Cílové hodnoty	150	230	300	460	1 000	40 až 50	3 750

4 ELEKTROMOTORY

Elektromotor je elektrické zařízení, které na rozdíl od konvenčního spalovacího motoru využívá k vytvoření mechanického pohybu elektromagnetické jevy. Velkou výhodou elektromotoru je fakt, že se jedná o velmi jednoduché zařízení, které se skládá pouze ze dvou vzájemně interagujících prvků. Těmito prvky jsou stator a rotor. Další výhodou elektromotoru je jeho vlastnost, že svým chováním připomíná generátor z čehož vyplývá možnost tzv. rekuperace. Princip rekuperace se uplatňuje při brždění a zpomalování vozu a umožňuje navracet energii zpět do baterie a tím ji dobíjet. Hlavním rysem elektrického motoru v automobilech je schopnost dosáhnout maximálního krouticího momentu téměř od nulových otáček a díky velkému rozpětí pracovních otáček nepotřebnost konvenční vícešupňové převodovky, kterou nahrazuje reduktor. [18] Elektromotory můžeme dělit do více kategorií podle druhu přiváděného proudu na stejnosměrné a střídavé. Střídavé motory dále dělíme na synchronní a asynchronní (indukční). [19]



Obrázek 4.1 Nejčastěji používané elektromotory [23]
(a) indukční motor (b) reluktanční motor (c) synchronní motor s permanentními magnety

Mezi nejoblíbenější motory viz obrázek 4.1 na poli elektromobility patří motory s permanentním magnetem, které dominují svými vlastnostmi. Problém u tohoto typu motoru nastává v omezeném množství vzácných permanentních magnetů na zemi. Řešením se zdají být motory indukční a reluktanční, které neobsahují permanentní magnety a jsou v současnosti nejvíce vyvíjeny. [11], [9]

HLAVNÍ POŽADAVKY ELEKTROMOTORU

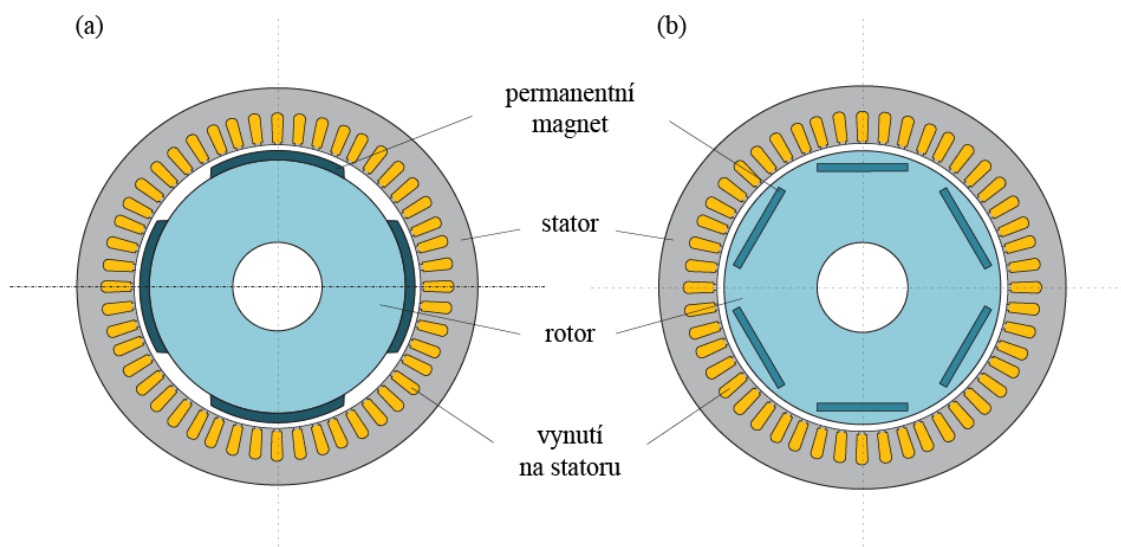
- Vysoký okamžitý a měrný výkon
- Vysoký krouticí moment i v malých rychlostech
- Rychlý nástup výkonu
- Vysoká spolehlivost a účinnost
- Přijatelná cena

4.1 SYNCHRONNÍ MOTOR

Synchronní motory se používají nejčastěji v kombinaci s permanentními magnety (PMSM), které jsou umístěny buď na povrchu nebo uvnitř rotoru viz obrázek 4.2. Magnety používané v synchronních motorech jsou převážně neodymové. [9] Tyto motory, jak už název napovídá jsou charakteristické pro synchronní pohyb rotoru a statoru. Konstrukce bez magnetu obsahuje rotor s budícím vinutím, které vyžaduje stálý přívod proudu pro vytvoření magnetického pole. Stator se skládá z plechů, v jehož drážkách je uloženo třífázové vinutí produkující pod střídavým napětím magnetické pole. [10], [8]

PRINCIP ČINNOSTI SYNCHRONNÍHO MOTORU

Ve statoru se pomocí střídavého třífázového proudu tvoří rotující magnetické pole. Konstantní magnetické pole rotoru způsobené permanentními magnety interaguje s indukovaným polem statoru a tím se motor otáčí. Pro rozběh tohoto typu motoru se často používá tzv. rozběhová klec, která je hlavní částí motorů indukčních. [10]



Obrázek 4.2 Příčný řez motorů s permanentními magnety (různá uložení magnetů) [10]
(a) permanentní magnety na povrchu rotoru, (b) permanentní magnety uvnitř rotoru

VÝHODY PMSM

- Rotor nepotřebuje přívod napětí
- Vysoký měrný výkon díky silným magnetům
- Nízká hlučnost a vibrace
- Výkonnější než motor indukční

NEVÝHODY PMSM

- Vysoká cena magnetů
- Citlivé na pracovní teploty

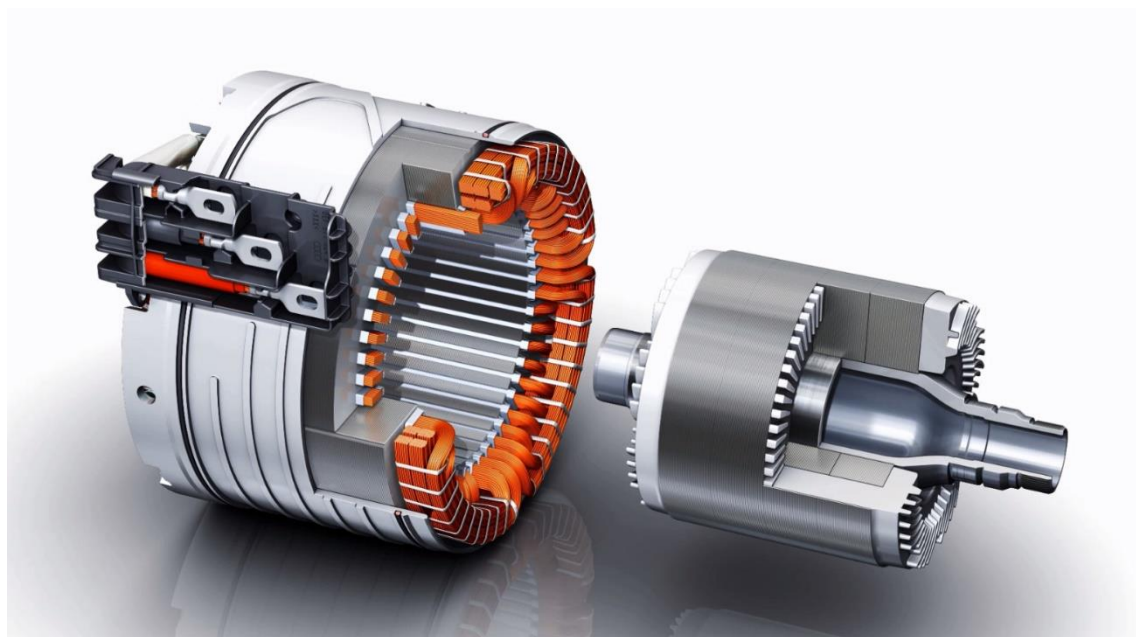
4.2 ASYNCHRONNÍ (INDUKČNÍ) MOTOR

Indukční motor byl vynalezen v roce 1882 Nicola Teslou a je to nejpoužívanější elektromotor skrz všechny oblasti průmyslu. Jeho oblíbenosti přispívá fakt, že je možné tento motor napájet střídavým proudem bez měniče a tím dodávat konstantní otáčky. V elektromobilu se ke změnám rychlosti otáček používá měnič. Tento typ motoru se skládá ze statoru s třífázovým

vinutím a rotoru ve tvaru klece (anglicky squirrel-cage) [11] Elektromotor tohoto typu můžeme vidět viz obrázek 4.3.

PRINCIP ČINNOSTI INDUKČNÍHO MOTORU

Ve statoru se pomocí střídavého třífázového proudu tvoří rotující magnetické pole, které indukuje proud na uzavřené kleci rotoru. Tento indukovaný proud vyvolá v rotoru tok magnetický, který interaguje se statorem a způsobí žádoucí otáčení rotoru. Toto otáčení se však nikdy nemůže vyrovnat rychlosti otáčení magnetického pole ve statoru. [8], [10], [20]



Obrázek 4.3 Třífázový asynchronní motor Audi [41]

VÝHODY ASYNCHRONNÍHO MOTORU

- Vysoká spolehlivost
- Minimální nároky na údržbu
- Nízká cena
- Není omezen teplotou

NEVÝHODY ASYNCHRONNÍHO MOTORU

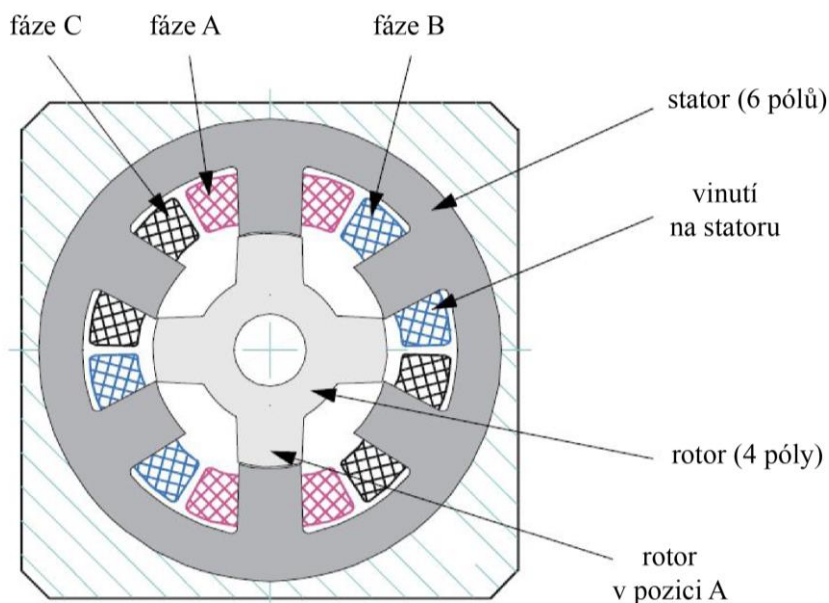
- Malý rozsah otáček
- Malý kroutící moment ze startu

4.3 SPÍNANÝ RELUKTANČNÍ MOTOR (SRM)

Dalším ze slibných kandidátů pro použití v elektromobilech je motor reluktanční. Jak může název napovídat pro svůj princip využívá magnetický odpor, reluktanci. Tento motor má relativně dlouhou historii a první zmínky o něm můžeme najít již v roce 1923, kdy J.K. Kostko v článku „Polyphase Reaction Synchronous Motors“ představuje koncept reluktančního motoru a jeho potenciál. [21] I přes veškerý potenciál tohoto typu motoru nebyl v minulosti používán pro jeho náročnost na řízení frekvenčními měniči. Mezi hlavní přednosti reluktančního stroje patří jednoduchá konstrukce, nízké výrobní náklady, velké rozpětí otáček a výborný výkon. Právě tyto vlastnosti dělají z reluktančního motoru vhodného kandidáta pro použití v elektrických vozidlech. Naopak mezi hlavní nevýhody můžeme zařadit vyšší hlučnost a nutnost použití elektroniky pro sledování polohy rotoru. Za další nevýhodu lze také považovat použití měniče pro správné napájení vinutí na statoru. [20]

PRINCIP ČINNOSTI RELUKTANČNÍHO MOTORU

Spínaný reluktanční motor má na rozdíl od konvenční synchronní verze tohoto motoru vyniklé póly na rotoru i statoru. Stator nese na každém pólu vinutí, zatímco rotor je bez jakéhokoliv vinutí či permanentních magnetů. Na rotoru se při zavedení proudu do odpovídajících pólů statoru tvoří magnetické pole. Následně se rotor snaží dostat na místo s co nejmenším magnetickým odporem a tím se roztočí. Dále je proud poslán do dalších pólů na statoru a tento proces se opakuje. Počet pólů na rotoru bývá zpravidla menší než na statoru viz obrázek 4.4 kvůli zamezení tzv. mrtvého bodu (tj. poloha při které by motor neměl žádný kroutící moment) [20], [22], [23]



Obrázek 4.4 Schéma reluktančního motoru [53]

VÝHODY RELUKTANČNÍHO MOTORU

- Jednoduchá konstrukce
- Nízké výrobní náklady
- Vysoký měrný výkon
- Účinnost až 95%
- Pracuje i při vysokých teplotách
- Široké rozpětí otáček

NEVÝHODY RELUKTANČNÍHO MOTORU

- Vyšší hlučnost
- Složitě řízení
- Náročnost na přesnost
- Cena

4.4 SROVNÁNÍ VÝŠE ZMÍNĚNÝCH ELEKTROMOTORŮ

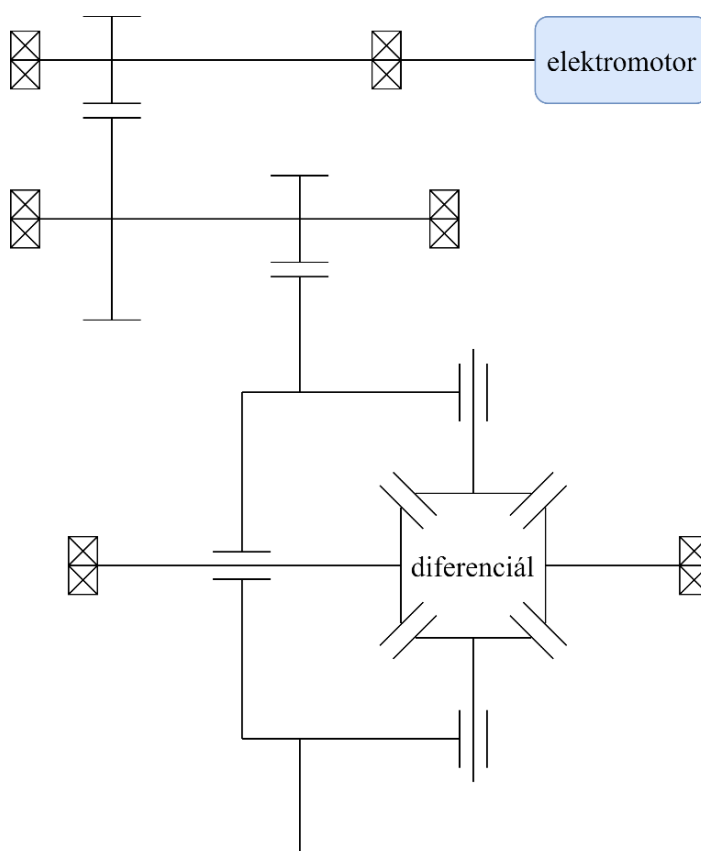
Elektromotory jsou velice důležitou součástí elektromobilu, na druhou stranu jejich jednoduchá konstrukce už se nejspíš nedočká, na rozdíl třeba od baterií, žádného velkého průlomu. Elektromobily používají nejčastěji synchronní motory s permanentními magnety, které nabízejí ideální poměr mezi dodávaným točivým momentem a účinností. Hlavním problémem těchto motorů a důvod pro hledání jiných řešení je nutnost použití drahých permanentních magnetů. V současné době jsou jedinou možnou alternativou motory indukční. Stejnoseměrné motory (DC) byly také oblíbené, ale v současné době se už v elektromobilech nepoužívají, a proto se jimi tato práce nezabývá. Zajímavou možností může být použití motorů reluktančních, které se díky svým vlastnostem mají potenciál prosadit a nahradit nyní používané elektromotory.

5 PŘEVODOVKY

Převodovka je klíčový komponent pro všechny typy automobilů, její hlavní funkcí je převod otáček a točivého momentu motoru mezi hnacím a hnaným ústrojím, aby byl zajištěn ideální průběh hnacích sil na kolech. Běžné konvenční převodovky jsou obvykle složeny ze spojky, diferenciálu, hnané a hnací hřídele a v neposlední řadě několika ozubených kol zajišťujících převody. Tyto konvenční převodovky mohou být automatické nebo manuální a disponují několika převodovými stupni, bez kterých by provoz automobilů se spalovacími motory nebyl možný. Elektromobily na rozdíl od konvenčních automobilů nepotřebují vícestupňové převodovky a vystačí si zpravidla pouze s jedním, nebo méně často s dvěma převodovými stupni, díky nimž mají znatelně nižší ztráty energie. [24]

5.1 JEDNOSTUPŇOVÉ PŘEVODOVKY

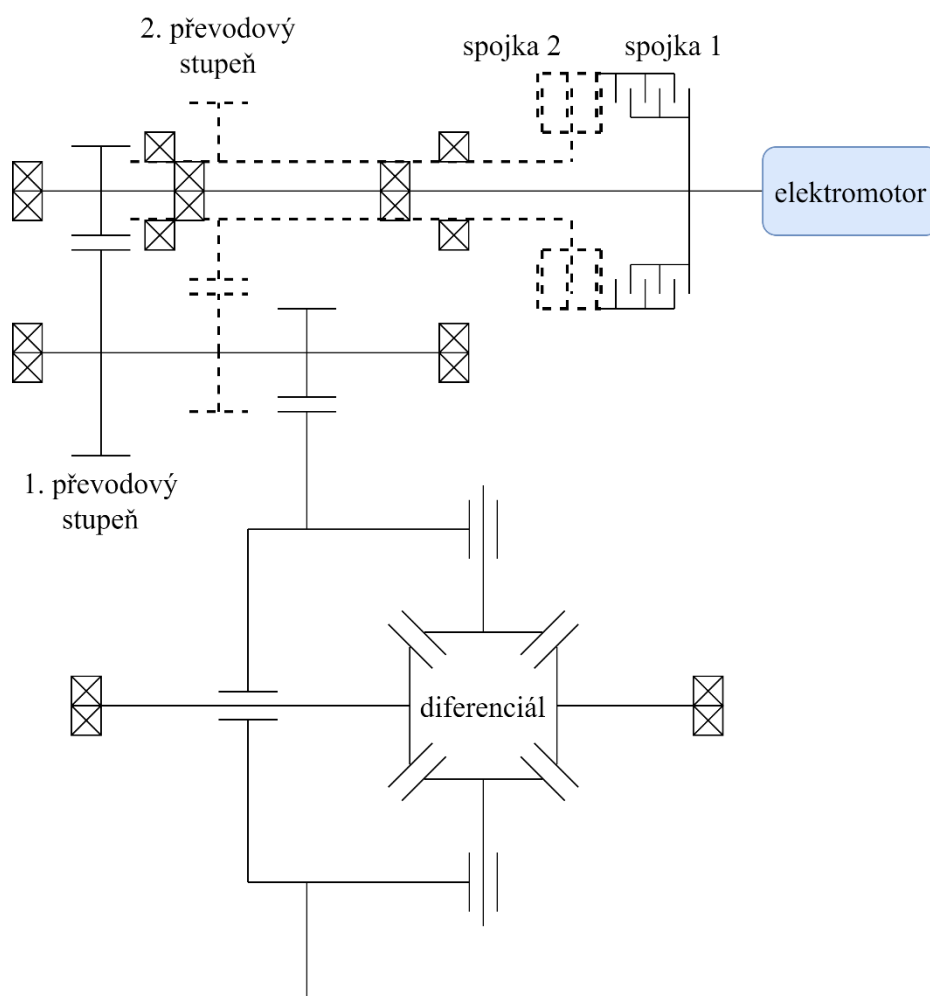
Jednostupňové převodovky jsou, jak už bylo zmíněno, nejrozšířenějším typem převodovek u elektromobilů, a to díky schopnosti elektromotoru na rozdíl od spalovacích motorů dodávat velký točivý moment od nulových otáček a produkovat konstantní výkon v širokém rozmezí otáček pracovních. Konstrukce jednostupňové převodovky je oproti ostatním velice jednoduchá viz obrázek 5.1. Přes všechny své výhody je však tento typ převodovky kompromisem mezi výkonem v otáčkách nízkých a maximální rychlostí v otáčkách vyšších, proto je maximální rychlost většiny elektromobilů elektronicky omezena. [24] Možným řešením tohoto problému je použití dvoustupňové převodovky, kterou můžeme vidět například u elektromobilu Porsche Taycan.



Obrázek 5.1 Schéma jednostupňové převodovky [43]

5.2 DVOUSTUPŇOVÉ PŘEVODOVKY

Díky použití dvou převodových stupňů nemusí být převodový poměr univerzální. Z tohoto faktu vyplývá, že první převodový stupeň může být nastaven pro co nejvhodnější pohon automobilu při nižších rychlostech. Právě při nižších rychlostech je nejdůležitější vysoký kroutící moment, který hraje hlavní roli při akceleraci automobilu. [25] Druhý převodový stupeň se tím pádem může více soustředit na zvyšování maximální možné rychlosti, která je u elektromobilu právě z důvodu používání jednostupňových převodovek často omezena. Další výhodou vícestupňových převodovek je fakt, že hnací ústrojí dokáže pracovat déle v poloze s nejvyšší účinností a ušetřit tak energii. [26], [27] Schéma základní dvoustupňové převodovky můžeme vidět viz obrázek 5.2.



Obrázek 5.2 Schéma dvoustupňové převodovky se dvěma spojkami (DCT) [25]

5.3 VARIÁTORY (CVT)

Variátory mají schopnost zařadit jakýkoliv převodový poměr mezi stanovenými hodnotami a tento převodový poměr měnit bez přerušení převodu energie z motoru na kola. Právě neomezené možnosti ve volbě převodového poměru jsou pro elektromobil velice výhodné, protože motor může pracovat v polohách s nejvyšší účinností po celou dobu chodu, na druhou stranu jsou variátory velice nákladné a těžké. [24], [28]

6 INTEGROVANÉ ELEKTRICKÉ POHONY

E-axle kombinuje elektrický motor, převodovku, diferenciál a výkonovou elektroniku v jednom kompaktním komponentu. Mezi hlavní výhody těchto kompaktních hnacích ústrojí můžeme zařadit přijatelnou cenu, nízkou hmotnost a univerzálnost pro různá použití. [29] Průkopníkem ve vývoji této technologie můžeme vidět ve společnosti GKN, která jako první v roce 2014 začala se sériovou výrobou ve spolupráci s automobilkou BMW. Právě BMW použilo jejich E-axle v hybridním automobilu BMW i8 viz obrázek 6.1. Toto řešení je pro automobilky velice atraktivní z důvodu snadného zabudování E-axlu a možnosti předělat stávající modely na jejich elektrické verze. [30] Následující text v této kapitole se bude věnovat různým výrobcům E-axlu a jejich produktům.



Obrázek 6.1 BMW i8 Coupe [52]

GKN

Nejnovějším produktem výrobce GKN viz obrázek 6.2 je E-axle eTwinstarX disponující dvoustupňovou koaxiální převodovkou, synchronním motorem s permanentními magnety, diferenciálem a dvěma spojkami. Tento systém byl představen ve spolupráci s automobilkou Jeep na modelu Renegade. Převodové poměry jsou 17 a 9,5, výkon elektromotoru 120 kW, točivý moment až 3 500 Nm a maximální otáčky 18 000 min⁻¹. Značku GKN a její verze E-axle můžeme nalézt například v automobilech BMW, Volvo nebo Porsche. [31]



Obrázek 6.2 E-axle GKN eTwinstarX [47]

BOSCH

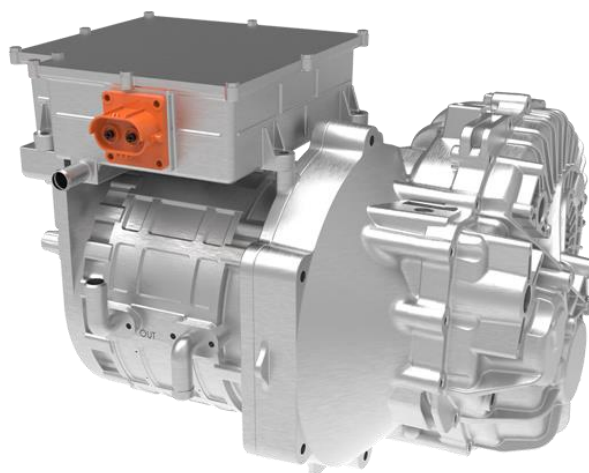
Dalším silným hráčem na poli elektromobility je německý gigant Bosch se svým řešením viz obrázek 6.3 obsahujícím elektromotor, převodovku a výkonovou elektroniku. E–axle značky Bosch je velice variabilní a zákazník si může vybrat různě výkonné motory od 50 kW pro malé automobily nebo hybridy až po 300 kW pro čistě elektrické automobily. Točivý moment je v rozmezí 1 000 až 6 000 Nm. Pro představu E–axle o výkonu 150 kW bude mít hmotnost 90 kg. [32]



Obrázek 6.3 Bosch E–axle [48]

CHROMA

S vlastním řešením přišla na trh i firma Chroma, která je známá pro svoje elektrická měřidla. Řešení této firmy viz obrázek 6.4 obsahuje elektrický motor s výkonem 125 kW, který je schopen dodat točivý moment až 3 500 Nm, dvoustupňovou převodovku a výkonovou elektroniku. Celý E–axle potom váží 105 kg. [33]



Obrázek 6.4 E–axle společnosti Chroma [49]

NIDEC

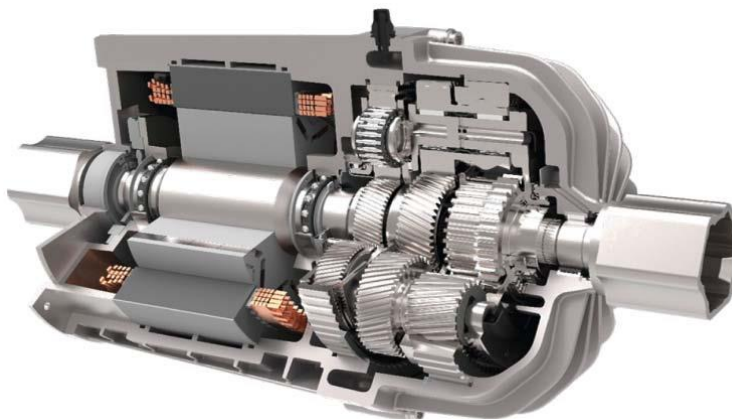
Japonská společnost zabývající se zejména elektrickými motory má velké ambice pro svoje produkty a prezentuje celou řadu E-axle podle výkonu: Ni200Ex (200 kW), Ni150Ex (150 kW) viz obrázek 6.5, Ni100Ex (100 kW), Ni70Ex (70 kW) and Ni50Ex (50 kW). Nidec používá elektrické motory s permanentními magnety. Tímto portfoliem hnacích ústrojí je firma Nidec schopna poskytnout vhodnou variantu až pro 98 % veškeré produkce elektromobilů a v roce 2030 by chtěla dosáhnout 35% podílu na trhu. [34]



Obrázek 6.5 E-axle společnosti Nidec Ni150Ex [50]

SCHAEFFLER

Německý výrobce Schaeffler představil svoji variantu E-axlu viz obrázek 6.6. Za zmínku stojí použití planetového diferenciálu, který nahrazuje tradiční kuželový. Toto řešení je velice kompaktní a jeho malé rozměry v radiálním směru nechávají více prostoru pro motor samotný. Převodovka je také planetová a její převodový poměr je 15. Elektromotor je synchronní s permanentními magnety disponující výkonem 150 kW, maximálním točivým momentem 3 750 Nm a maximálními otáčkami až 18 200 min⁻¹. Hmotnost celého systému ve zmíněné konfiguraci je 75 kg. [35]



Obrázek 6.6 E-axle společnosti Schaeffler [51]

7 SROVNÁNÍ JEDNOTLIVÝCH ELEKTROMOBILŮ

Existuje mnoho způsobů dělení elektrických aut, například podle typu karoserie, nebo výrobce. V této práci jsou vybrané elektromobily rozděleny do dvou kategorií podle ceny. Srovnávané elektromobily jsou vybrány podle oblíbenosti v Evropě, proto zde nenalezneme elektromobily určené zejména pro čínský trh. Kapitola 7 čerpá hlavně z následujících zdrojů. [36], [37]

7.1 ELEKTROMOBILY DO 1 300 000 Kč

Vybrané elektromobily: Vw e-Golf SE (2020), Hyundai IONIQ (2020), Nissan LEAF SL (2020), Renault ZOE (2020), Škoda CITIGOe iV (2020), BMW i3s (2019), Kia e-Soul (2020), Hyundai Kona (2019) – viz obrázek 7.1



Obrázek 7.1 Elektromobil Hyundai Kona Electric (2019) [44]

Klíčovou komponentou elektromobilů jsou baterie, právě proto se srovnání věnuje nejdříve jim viz tabulka 7.1.

Tabulka 7.1 klíčové vlastnosti baterií jednotlivých elektromobilů do 1,3 milionu Kč

Elektromobil	Baterie			
	Typ	Jmenovité napětí [V]	Kapacita [kWh]	Dojezd [km]*
VW e-Golf SE (2020)	Li-Ion	323	35,8	198
Hyundai IONIQ (2020)	Li-Ion	319	38,3	273
Nissan LEAF SL (2020)	Li-Ion	360	40	243
Renault ZOE (2020)	Li-Ion	400	52	355
Škoda CITIGOe iV (2020)	Li-Ion	357	36,8	234
BMW i3s (2019)	Li-Ion	353	42,2	246
Kia e-Soul (2020)	Li-Ion	356	64	391
Hyundai Kona (2019)	Li-Ion	356	64	415

*dojezd podle EPA (Agentura pro ochranu životního prostředí)

Společnou vlastností levnějších elektromobilů je používání Li-Ion akumulátorů. Chlazení akumulátorů zajišťuje u elektromobilů do jednoho milionu (Golf, IONIQ, LEAF, ZOE, CITIGO) pouze pasivně vzduch. U dražších elektromobilů nad 1 milion korun (i3, e-Soul, Kona) je baterie chlazena chlazením na vodní bázi. Uložení baterií je u všech zmíněných elektromobilů mezi přední a zadní nápravou pod podlahou, což zajišťuje ideální umístění těžiště a bezpečnost. Některé elektromobily disponují také přídatným ohřevem baterie, jehož přítomnost determinuje podnebí regionu, ve kterém se daný elektromobil prodává.

Dalším důležitým komponentem elektromobilů jsou elektromotory. Jejich srovnání je blíže zobrazeno viz tabulka 7.2.

Tabulka 7.2 klíčové vlastnosti elektromotorů jednotlivých elektromobilů do 1,3 milionu Kč

Elektromobil	Elektromotor			
	Počet	Typ	Výkon [kW]	Točivý moment [Nm]
VW e-Golf SE (2020)	1	PMSM	100	290
Hyundai IONIQ (2020)	1	PMSM	101	295
Nissan LEAF SL (2020)	1	PMSM	110	320
Renault ZOE (2020)	1	PMSM	100	245
Škoda CITIGOe iV (2020)	1	PMSM	61	212
BMW i3s (2019)	1	PMSM	135	270
Kia e-Soul (2020)	1	PMSM	150	395
Hyundai Kona (2019)	1	PMSM	150	395

Společným znakem vybrané skupiny elektromobilů je jeden synchronní motor s permanentními magnety o výkonu od 60 kW do 150 kW. Další společná vlastnost až na jednu výjimku je uložení motoru. Kromě BMW mají všechny vybrané elektromobily motor uložený vpředu a tím pádem i náhon na přední kola (FWD), jak je u BMW zvykem nalezneme zde náhon na kola zadní (RWD), kde je uložen i motor. Všechny tyto elektromotory jsou také schopny rekuperace. Převodovka je u všech zmíněných elektromobilů jednostupňová. Další informace o této kategorii elektromobilů můžeme nalézt viz tabulka 7.3.

Tabulka 7.3 obecné vlastnosti elektromobilů do 1,3 milionu Kč

Elektromobil	Obecné vlastnosti			
	0-100 km/h [s]	Hmotnost [kg]	Karoserie	Cena [Kč]
VW e-Golf SE (2020)	9,6	1 615	Hatchback	800 000
Hyundai IONIQ (2020)	9,7	1 527	Hatchback	899 990
Nissan LEAF SL (2020)	7,9	1 591	Hatchback	950 000
Renault ZOE (2020)	9,9	1 502	Hatchback	835 000
Škoda CITIGOe iV(2020)	12,5	1 229	Hatchback	499 900
BMW i3s (2019)	6,9	1 290	Hatchback	1 149 200
Kia e-Soul (2020)	7,6	1 682	Crossover	1 149 980
Hyundai Kona (2019)	7,6	1 685	SUV	1 099 990

7.2 ELEKTROMOBILY NAD 1 300 000 Kč

Vybrané elektromobily: Tesla 3 Long Range (2020), Audi e-tron (2020), Jaguar I-PACE (2019), Tesla S Long Range (2020), Mercedes-Benz EQC (2020) – viz obrázek 7.2, Tesla X Long Range (2020), Porsche Taycan 4S plus (2020).



Obrázek 7.2 Mercedes-Benz EQC (2020) [45]

První srovnávanou komponentou dražší kategorie elektromobilů jsou stejně jako u kategorie předchozí baterie viz tabulka 7.4.

Tabulka 7.4 klíčové vlastnosti baterií jednotlivých elektromobilů nad 1,3 milionu Kč

Elektromobil	Baterie			
	Typ	Jmenovité napětí [V]	Kapacita [kWh]	Dojezd [km]*
Tesla 3 Long Range (2020)	Li-Ion	360	79,5	518
Audi e-tron 50 (2020)	Li-Ion	396	71	302
Jaguar I-PACE (2019)	Li-Ion	388	90	376
Tesla S Long Range (2020)	Li-Ion	400	100	600
Tesla X Long Range (2020)	Li-Ion	400	100	527
Mercedes-Benz EQC (2020)	Li-Ion	405	80	354
Porsche Taycan 4S+ (2020)	Li-Ion	800	93,4	470

*dojezd podle EPA (Agentura pro ochranu životního prostředí)

Používané baterie u dražších elektromobilů jsou obdobně založeny na lithiové technologii. Chlazení těchto značně větších akumulátorů zajišťuje bez výjimky chlazení na vodní bázi, podobně jako u automobilů nad 1 milion v předchozí kategorii. Uložení baterií je taktéž u všech zmíněných elektromobilů mezi přední a zadní nápravou pod podlahou. Většina elektromobilů v této kategorii využívá aktivního ohřevu baterií při nepříznivých podmínkách.

Motorizace je u dražší kategorie rozhodně pestřejší viz tabulka 7.5.

Tabulka 7.5 klíčové vlastnosti elektromotorů jednotlivých elektromobilů nad 1,3 milionu Kč

Elektromobil	Elektromotor			
	Počet	Typ	Výkon [kW]	Točivý moment [Nm]
Tesla 3 Long Range (2020)	2	reluktanční/ indukční	188/147	600
Audi e-tron 50 (2020)	2	indukční/indukční	130/100	310/230
Jaguar I-PACE (2019)	2	PMSM/PMSM	147/147	348/348
Tesla S Long Range (2020)	2	indukční/reluktanční	285/193	440/330
Tesla X Long Range (2020)	2	indukční/reluktanční	193/193	330/330
Mercedes-Benz EQC (2020)	2	indukční/indukční	300	760
Porsche Taycan 4S+ (2020)	2	PMSM/PMSM	160/200	300/350

Jak je patrné z tabulky, dražší elektromobily disponují všemi typy elektromotorů zmíněných v kapitole 4. Společným rysem v této kategorii je použití dvou elektromotorů, které společně zajišťují lepší jízdní vlastnosti, úsporu energie a pohon všech čtyř kol (AWD), kde každou nápravu pohání jeden motor. Schopnost rekuperace je samozřejmostí. Převodovka je u většiny zmíněných elektromobilů jednostupňová, výjimku tvoří Porsche Taycan s převodovkou dvoustupňovou. Další informace o zmíněných elektromobilech můžeme nalézt viz tabulka 7.6.

Tabulka 7.6 obecné vlastnosti elektromobilů nad 1,3 milionu Kč

Elektromobil	Obecné vlastnosti			
	0-100 km/h [s]	Hmotnost [kg]	Karoserie	Cena [Kč]
Tesla 3 Long Range (2020)	4,6	1 847	Sedan	1 500 200
Audi e-tron 50 (2020)	6,8	2 560	SUV	1 871 900
Jaguar I-PACE (2019)	4,8	2 140	SUV	2 113 870
Tesla S Long Range (2020)	3,8	2 215	Sedan	2 271 200
Tesla X Long Range (2020)	4,6	2 554	SUV	2 458 200
Mercedes-Benz EQC (2020)	5,1	2 495	SUV	1 972 300
Porsche Taycan 4S+ (2020)	4,1	2 220	Sedan	3 097 050

ZÁVĚR

Počátky v osobní dopravě byly úzce spjaty s automobily na elektrický pohon. Vývoj se ale vydal jiným směrem a elektromobilita byla překonána automobily se spalovacími motory. Situace se však změnila a elektromobily si znovu nacházejí cestu mezi zákazníky a je možné, že postupem času zcela nahradí dnes tradiční spalovací automobily. Této domněnce nasvědčuje i fakt, že zásoby fosilních paliv jsou na rozdíl od elektrické energie omezené a podle některých autorit v této problematice by mohli vystačit pouze na dalších 50 let. Dalším důležitým faktorem pro budoucnost elektromobility je tlak světových vlád na snížení emisí, který se přímo dotýká všech výrobců automobilů a jejich strategií.

Jedno z hlavních témat bakalářské práce bylo vhodně rozebrat různá hnací ústrojí používaná u elektromobilů. Problematika hnacích ústrojí byla velice zajímavá díky široké variabilitě možných řešení od klasického uspořádání převzatého ze spalovacích automobilů až po futuristické uložení elektromotorů v nábojích kol. Vůdčí společnosti na trhu se snaží přijít s ideálním a univerzálním řešením pro pohon elektromobilů a na trhu se poslední dobou objevují různé integrované hnací ústrojí. Podle mého názoru je použití této technologie žádoucí a má velký potenciál zpřístupnit elektromobilitu široké veřejnosti.

Nejdůležitější částí celého elektromobilu jsou bezpochyby baterie. Nejpoužívanějším typem akumulátorů jsou lithium-iontové. Právě baterie jsou často diskutovaným tématem a hlavním problémem moderních elektromobilů. Představa pomalého dobíjení, hledání dobíjecích stanic a velká počáteční investice stále odrazuje potenciální zákazníky a z těchto důvodů je výskyt elektromobilů stále zanedbatelný.

Na trh s elektromobily se v reakci na Pařížskou dohodu o klimatu postupně přidávají i tradiční automobilky, například Volkswagen Group plánuje do budoucna úplnou elektrifikaci a v roce 2028 chce automobilka nabízet až 70 nových elektromobilů [38]. V návaznosti na výrobce nelze nezmínit automobilku Tesla jejíž jméno v tomto odvětví nejvíce rezonuje a slovo Tesla se stalo synonymem pro elektromobil. Oprávněnost všeho rozruchu kolem této značky potvrzuje i srovnání sériově vyráběných elektromobilů ve kterém Tesla jednoznačně dominuje a našla si fanoušky na celém světě.

Podle mého názoru má elektromobilita budoucnost a je jen otázkou času, kdy nahradí tradiční automobily se spalovacími motory. Na druhou stranu má tato technologie i své nevýhody a je potřeba pracovat na jejich řešení. Na trhu je v současné době menší výběr elektromobilů a zákazníci stále více věří tradičním spalovacím automobilům. Dalším problémem je nedostatečná infrastruktura dobíjecích stanic. I přes všechny nevýhody věřím, že se zmíněné problémy časem podaří vyřešit a v blízké budoucnosti budeme potkávat na silnicích stále více elektromobilů.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] MANZETTI, Sergio, Florin MARIASIU a -. Electric vehicle battery technologies: From present state to future systems: From present state to future systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier BV, 2015, **51**(-), 1004-1012. DOI: 10.1016/j.rser.2015.07.010. ISSN 1364-0321. Dostupné z: <https://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.010>
- [2] Electrification of Road Transport. In: *Egvi* [online]. Brusel: EGVI [cit. 2020-06-06]. Dostupné z: https://egvi.eu/wp-content/uploads/2018/01/electrification_roadmap_web.pdf
- [3] VALSERA-NARANJO, Eduardo, Andreas SUMPER, Pau LLORET-GALLEGÓ, Roberto VILLAFILA-ROBLES, Antoni SUDRIA-ANDREU a -. Electrical vehicles: State of art and issues for their connection to the network: State of art and issues for their connection to the network. In: *2009 10th International Conference on Electrical Power Quality and Utilisation*. IEEE, 2009, , s. ---. DOI: 10.1109/epqu.2009.5318813. Dostupné z: <https://dx.doi.org/10.1109/EPQU.2009.5318813>
- [4] SPEIRS, Jamie, Marcello CONTESTABILE, Yassine HOUARI, Robert GROSS a -. The future of lithium availability for electric vehicle batteries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier BV, 2014, **35**(-), 183-193. DOI: 10.1016/j.rser.2014.04.018. ISSN 1364-0321. Dostupné z: <https://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.04.018>
- [5] HØYER, Karl. The history of alternative fuels in transportation: The case of electric and hybrid cars: The case of electric and hybrid cars. *Utilities Policy*. 2008, **16**(2), 63-71. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jup.2007.11.001>. ISSN 0957-1787. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957178707000768>
- [6] EHSANI, M., K. RAHMAN a H. TOLIYAT. Propulsion system design of electric and hybrid vehicles. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. 1997, **44**(1), 19-27. DOI: 10.1109/41.557495. ISSN 1557-9948.
- [7] WILBERFORCE, Tabbi, Zaki EL-HASSAN, F.N. KHATIB, Ahmed AL MAKKY, Ahmad BAROUTAJI, James CARTON a Abdul OLABI. Developments of electric cars and fuel cell hydrogen electric cars. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2017, **42**(40), 25695-25734. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.07.054>. ISSN 0360-3199. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S036031991732791X>
- [8] EHSANI, Mehrdad, Yimin GAO, Stefano LONGO a Kambiz EBRAHIMI. *Modern electric, hybrid electric, and fuel cell vehicles*. Third edition. Boca Raton: CRC Press, 2018. ISBN 978-1-4987-6177-2.
- [9] CHAN, C. The state of the art of electric and hybrid vehicles. *Proceedings of the IEEE*. 2002, **90**(2), 247-275. DOI: 10.1109/5.989873. ISSN 1558-2256.

- [10] EMADI, Ali. *Advanced electric drive vehicles*. Boca Raton: CRC Press, 2017. ISBN 978-113-8072-855.
- [11] NIKOWITZ, Michael. *Advanced Hybrid and Electric Vehicles: System Optimization and Vehicle Integration*. Springer International Publishing, 2016. ISBN 978-1-4471-6781-5.
- [12] GOODENOUGH, John, Kyu-Sung PARK a -. The Li-Ion Rechargeable Battery: A Perspective: A Perspective. *Journal of the American Chemical Society*. American Chemical Society (ACS), 2013, **135**(4), 1167-1176. DOI: 10.1021/ja3091438. ISSN 0002-7863. Dostupné z: <https://dx.doi.org/10.1021/ja3091438>
- [13] HANNAN, M., M. HOQUE, A. HUSSAIN, Y. YUSOF a P. KER. State-of-the-Art and Energy Management System of Lithium-Ion Batteries in Electric Vehicle Applications: Issues and Recommendations: Issues and Recommendations. *IEEE Access*. 2018, **6**, 19362-19378. DOI: 10.1109/ACCESS.2018.2817655. ISSN 2169-3536.
- [14] RANAWAT, D. a M. PRASAD. A Review on Electric Vehicles with perspective of Battery Management System. In: *2018 International Conference on Electrical, Electronics, Communication, Computer, and Optimization Techniques (ICEECCOT)*. 2018, s. 1539-1544. DOI: 10.1109/ICEECCOT43722.2018.9001321.
- [15] ARORA, Shashank, Weixiang SHEN a Ajay KAPOOR. Review of mechanical design and strategic placement technique of a robust battery pack for electric vehicles. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016, **60**, 1319-1331. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.03.013>. ISSN 1364-0321. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032116002483>
- [16] FRIESKE, B., M. KLOETZKE a F. MAUSER. Trends in vehicle concept and key technology development for hybrid and battery electric vehicles. In: *2013 World Electric Vehicle Symposium and Exhibition (EVS27)*. 2013, s. 1-12. DOI: 10.1109/EVS.2013.6914783.
- [17] DIXON, Juan a -. Energy storage for electric vehicles. In: *2010 IEEE International Conference on Industrial Technology*. IEEE, 2010, , s. ---. DOI: 10.1109/icit.2010.5472647. Dostupné z: <https://dx.doi.org/10.1109/ICIT.2010.5472647>
- [18] JAK FUNGUJE ELEKTRICKÝ MOTOR. <https://www.skoda-storyboard.com> [online]. [cit. 2020-04-01]. Dostupné z: <https://www.skoda-storyboard.com/cs/inovace/mobilita/jak-funguje-elektricky-motor-10-otazek-a-odpovedi/>
- [19] ELEKTROMOTORY [online]. Plzeň: Mgr. Magda Králová [cit. 2020-04-16]. Dostupné z: <https://edu.techmania.cz/de/node/1713>
- [20] HASHEMNIA, Nasser, Behzad ASAEI a -. Comparative study of using different electric motors in the electric vehicles. In: *2008 18th International Conference on Electrical*

- Machines*. IEEE, 2008, , s. ---. DOI: 10.1109/icelmach.2008.4800157. Dostupné z: <https://dx.doi.org/10.1109/ICELMACH.2008.4800157>
- [21] ANDERSON, Antony. 2 - Development history. *Newnes Power Engineering Series*. Oxford: Newnes, 2001, s. 6-33. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-075065073-1/50004-3>. ISBN 978-0-7506-5073-1. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780750650731500043>
- [22] HUGHES, A. a B. DRURY. *Electric Motors and Drives*. 2013. DOI: 10.1016/C2011-0-07555-5.
- [23] ZHU, Z., David HOWE a -. Electrical Machines and Drives for Electric, Hybrid, and Fuel Cell Vehicles. *Proceedings of the IEEE*. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), 2007, **95**(4), 746-765. DOI: 10.1109/jproc.2006.892482. ISSN 0018-9219. Dostupné z: <https://dx.doi.org/10.1109/JPROC.2006.892482>
- [24] *Design of a High-Speed Transmission for an Electric Vehicle*. Porto, 2018.. Disertace. University of Porto.
- [25] WANG, Yu, Enli LÜ, Huazhong LU, Nong ZHANG, Xingxing ZHOU a -. Comprehensive design and optimization of an electric vehicle powertrain equipped with a two-speed dual-clutch transmission. *Advances in Mechanical Engineering*. SAGE Publications, 2017, **9**(1), 168781401668314--. DOI: 10.1177/1687814016683144. ISSN 1687-8140. Dostupné z: <https://dx.doi.org/10.1177/1687814016683144>
- [26] SPANOUDAKIS, Polychronis, Nikolaos TSOURVELOUDIS, Lefteris DOITSIDIS, Emmanuel KARAPIDAKIS a -. Experimental Research of Transmissions on Electric Vehicles' Energy Consumption. *Energies*. MDPI AG, 2019, **12**(3), 388--. DOI: 10.3390/en12030388. ISSN 1996-1073. Dostupné z: <https://dx.doi.org/10.3390/en12030388>
- [27] SORNIOTTI, Aldo, Thomas HOLDSTOCK, Gabriele PILONE et al. Analysis and simulation of the gearshift methodology for a novel two-speed transmission system for electric powertrains with a central motor. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*. IMECHE, 2012, **226**(7), 915-929. DOI: 10.1177/0954407011431415. ISSN 0954-4070. Dostupné z: <https://doi.org/10.1177/0954407011431415>
- [28] REN, Q., D.A. CROLLA, A. MORRIS a -. Effect of transmission design on Electric Vehicle (EV) performance. In: *2009 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference*. IEEE, 2009, , s. ---. DOI: 10.1109/vppc.2009.5289707. Dostupné z: <https://dx.doi.org/10.1109/VPPC.2009.5289707>
- [29] Integrated e-axles create flexible e-powertrains. *Automotive World* [online]. Velká Británie: Freddie Holmes, 2018 [cit. 2020-06-21]. Dostupné z: <https://www.automotiveworld.com/articles/integrated-e-axles-create-flexibile-e-powertrains/>

- [30] GKN driveline. *Green Car Congress* [online]. SJC, 2017 [cit. 2020-06-21]. Dostupné z: <https://www.greencarcongress.com/2017/09/2017091-gkn.html>
- [31] GKN demos eTwinstar [online]. Birmingham: Dean Smith, 2019 [cit. 2020-06-21]. Dostupné z: <https://www.sae.org/news/2019/03/gkn-etwinstar-bev-e-axle-debut>
- [32] EAxle. *Bosch* [online]. Německo: Bosch, 2020 [cit. 2020-06-21]. Dostupné z: <https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/products-and-services/passenger-cars-and-light-commercial-vehicles/powertrain-systems/electric-drive/eaaxle/>
- [33] EAxle 3-in-1. *Chroma* [online]. Německo: Chroma, 2020 [cit. 2020-06-21]. Dostupné z: <http://www.chromaate.com/product/eAxle-3-in-1-two-speeds-electric-drive-system.htm>
- [34] Geely's New EV Adopts. *Nidec* [online]. Japonsko: Nidec, 2020 [cit. 2020-06-22]. Dostupné z: <https://www.nidec.com/en/product/news/2020/news0527-01/>
- [35] The Innovative Schaeffler Modular E-Axle. *Schaeffler* [online]. Německo: Schaeffler, 2018 [cit. 2020-06-23]. Dostupné z: <http://schaeffler-events.com/symposium/lecture/h8/index.html>
- [36] EVSpecifications. *EVSpecifications* [online]. EVSpecifications, 2020 [cit. 2020-06-01]. Dostupné z: <https://www.evspecifications.com/>
- [37] Fueleconomy. *Fueleconomy* [online]. U.S.A.: U.S. department of energy, 2020 [cit. 2020-06-01]. Dostupné z: <https://www.fueleconomy.gov/>
- [38] Volkswagen rozšiřuje. *Auto.cz* [online]. Česká republika: David Bureš, 2019 [cit. 2020-06-25]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/volkswagen-rozsiruje-sve-elektricke-plany-chysta-jeste-vice-elektromobilu-nez-dosud-128222>
- [39] *Everything You Need To Know About Tesla's Lithium-Ion Batteries* [online]. Miami: EVANNEX, 2017 [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: <https://insideevs.com/news/332702/everything-you-need-to-know-about-teslas-lithium-ion-batteries/>
- [40] PESARAN, Ahmad. Battery Thermal Management in EVs and HEVs: Issues and Solutions: Issues and Solutions. *Battery Man*. 2001, **43**.
- [41] *Asynchronous motor* [online]. Ostfildern: Audi, 2020 [cit. 2020-04-17]. Dostupné z: <https://www.audi-mediacycenter.com/en/photos/detail/asynchronous-motor-70267>
- [42] Thomas Edison with an electric car. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2020-05-28]. Dostupné z: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:EdisonElectricCar1913.jpg>
- [43] GAGLIARDI, David, Amos GOBETTI a -. Single-speed transmission for battery electric vehicles with 270 Nm input torque. *ATZ worldwide*. Springer Science and Business Media

- LLC, 2017, **119**(6), 40-45. DOI: 10.1007/s38311-017-0052-x. ISSN 2192-9076. Dostupné z: <https://dx.doi.org/10.1007/s38311-017-0052-x>
- [44] Hyundai Kona Electric. In: *Hyundai* [online]. Česká republika: Hyundai, 2019 [cit. 2020-06-05]. Dostupné z: <https://www.hyundai.cz/modely/kona-electric>
- [45] *Mercedes-Benz EQC* [online]. In: . Česká republika: Mercedes-Benz, 2020 [cit. 2020-06-05]. Dostupné z: <https://www.mercedes-benz.cz/passengercars/mercedes-benz-cars/models/eqc/explore.html>
- [46] Tesla model 3 Dual Motor. In: *Electrek* [online]. Kanada: Fred Lambert, 2018 [cit. 2020-06-18]. Dostupné z: <https://electrek.co/2018/07/10/tesla-model-3-dual-motor-carb-filing-range-results/>
- [47] ETwinsterX. In: *Gknautomotive* [online]. Birmingham: GKN, 2017 [cit. 2020-06-21]. Dostupné z: <https://www.gknautomotive.com/en/company/media-centre/news-releases/2017/gkn-to-reveal-worlds-most-advanced-electric-driveline-at-frankfurt-motor-show/>
- [48] EAxle. In: *Bosch* [online]. Německo: Bosch, 2020 [cit. 2020-06-21]. Dostupné z: <https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/products-and-services/passenger-cars-and-light-commercial-vehicles/powertrain-systems/electric-drive/eaaxle/>
- [49] EAxle. In: *Chroma* [online]. Německo: Chroma, 2020 [cit. 2020-06-21]. Dostupné z: <http://www.chromaate.com/product/EAxle-3-in-1-two-speeds-electric-drive-system.htm>
- [50] Nidec. In: *Nidec* [online]. Japonsko: Nidec, 2018 [cit. 2020-06-22]. Dostupné z: <https://www.nidec.com/en-EU/product/news/2018/news0419-01/>
- [51] Electric axle drive. In: *Schaeffler* [online]. Německo: Schaeffler, 2018 [cit. 2020-06-23]. Dostupné z: <http://schaeffler-events.com/symposium/lecture/h8/index.html>
- [52] BMW i8 Coupe. In: *Podpoint* [online]. Londýn: podpoint, 2018 [cit. 2020-06-23]. Dostupné z: <https://pod-point.com/guides/vehicles/bmw/2018/i8-coupe>
- [53] Reluktanční motor a elektromobil. In: *Free-energy* [online]. Ladislav Kopecký, 2008 [cit. 2020-04-30]. Dostupné z: <http://free-energy.xf.cz/inventions/srm.pdf>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

ZKRATKA	POPIS
AWD	All wheel drive (pohon všech kol)
CVT	Continuously variable transmission (variátor)
DC	Direct current (stejnoseměrný proud)
DCT	Dual-clutch transmission (dvoustupňová převodovka se dvěma spojkami)
EPA	Environmental Protection Agency
FWD	Front wheel drive (pohon předních kol)
Li-Ion	Lithium-Ionový
Li-Pol	Lithium-Polymerový
Na-NiCl	Sodium-nickel chloride
Ni-MH	Nikl-metal hydrid
pH	Power of hydrogen (vodíkový exponent)
PMSM	Permanent magnet synchronous motor
RWD	Rear wheel drive (pohon zadních kol)
SRM	Switched reluctance motor (spínaný reluktanční motor)