

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI**  
**FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA ELEKTROMECHANIKY A VÝKONOVÉ**  
**ELEKTRONIKY**

## **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Technická řešení pohonů pro elektrická silniční vozidla**

**vedoucí práce: Ing. Patrik Kalaj**

**autor: David Ježek**

**2018/2019**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
Fakulta elektrotechnická  
Akademický rok: 2018/2019

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **David JEŽEK**  
Osobní číslo: **E16B0133P**  
Studijní program: **B2644 Aplikovaná elektrotechnika**  
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**  
Název tématu: **Technická řešení pohonů pro elektrická silniční vozidla**  
Zadávající katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

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

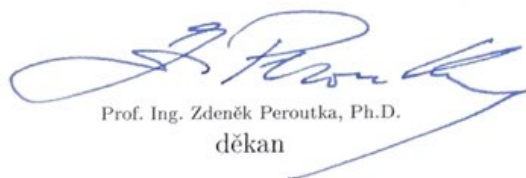
1. Vypracujte přehled technických řešení pohonů pro vozidla s elektrickým pohonem.
2. Proveďte rozbor jednotlivých řešení a stanovte jejich vlastnosti.
3. Porovnejte řešení mezi sebou na základě dostupných údajů.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího  
Rozsah kvalifikační práce: 30 - 40 stran  
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická  
Seznam odborné literatury:

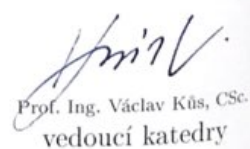
1. Kameš, J.: Hybridní a elektrický pohon automobilů 2. vydání. Praha: Josef Kameš, Praha 2015.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Patrik Kalaj  
Regionální inovační centrum elektrotechniky

Datum zadání bakalářské práce: 5. října 2018  
Termín odevzdání bakalářské práce: 13. června 2019

  
Prof. Ing. Zdeněk Peroutka, Ph.D.  
děkan



  
Prof. Ing. Václav Kůs, CSc.  
vedoucí katedry

V Plzni dne 5. října 2018

## **Abstrakt**

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na problematiku řešení pohonů elektrických silničních vozidel. Mapuje historický vývoj elektromobilů až do současnosti a zabývá se především jejich provedení, konstrukcí a provozními vlastnostmi.

## **Klíčová slova**

Elektrický pohon, silniční vozidlo, elektromobil, elektromotor, převodovky pro elektromobily, motory pro elektromobily, uložení pohonu elektromobilů

## **Abstract**

The bachelor thesis presents issues of electric road vehicle drives. It deals with the historical progress of electric vehicle up to present and deals mainly with their design, construction and operating characteristics.

## **Key words**

Electric drive, road vehicle, electric vehicle, electric motor, transmission for electric vehicle, motors for electric vehicle, drive unit storage of electric vehicle

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské/diplomové práce, je legální.

.....  
podpis

V Plzni dne 7.6.2019

David Ježek

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Patriku Kalajovi za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

## Obsah

<b>OBSAH</b> .....	<b>7</b>
<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....	<b>10</b>
<b>1 TYPY ULOŽENÍ MOTORŮ</b> .....	<b>11</b>
1.1 CENTRÁLNÍ UMÍSTNĚNÍ MOTORU .....	11
1.1.1 Pohon dvou hřídelí pomocí dvou motorů .....	12
1.1.2 Pohon pomocí dvou motorů paralelně .....	13
1.2 MOTOR UMÍSTNĚNÝ PŘÍMO NA HRÍDELI .....	16
1.3 INDIVIDUÁLNÍ POHON KOL .....	17
1.3.1 Motor umístěný v kole .....	18
1.3.2 Motor uložený na podvozku .....	21
1.4 POROVNÁNÍ ŘEŠENÍ ULOŽENÍ POHONU V ELEKTROMOBILU .....	21
<b>2 DRUHY ELEKTRICKÝCH MOTORŮ</b> .....	<b>23</b>
2.1 STEJNOSMĚRNÝ MOTOR .....	23
2.2 BEZKARTÁČOVÝ STEJNOSMĚRNÝ MOTOR S PERMANENTNÍMI MAGNETY (BLDC) .....	23
2.3 ASYNCHRONNÍ MOTOR .....	24
2.4 SYNCHRONNÍ MOTOR S PERMANENTNÍMI MAGNETY PMSM .....	25
2.4.1 Synchronní reluktanční motor s permanentními magnety PMSRM .....	26
2.5 POROVNÁNÍ ELEKTROMOTORŮ PRO ELEKTROMOBILY .....	27
<b>3 TYPY PŘEVODOVEK PRO ELEKTROMOBILY</b> .....	<b>28</b>
3.1 JEDNORYCHLOSTNÍ PŘEVODOVKA .....	28
3.2 VÍCERYCHLOSTNÍ PŘEVODOVKY .....	29
3.2.1 Vícerychlostní převodovka od společnosti Antonov a ZF .....	31
3.3 PLANETOVÁ PŘEVODOVKA .....	32
3.4 POROVNÁNÍ TYPŮ PŘEVODOVEK PRO ELEKTROMOBILY .....	33
<b>4 HISTORIE ELEKTROMOBILŮ</b> .....	<b>34</b>
<b>5 DOPRAVNÍ PROSTŘEDKY S ELEKTRICKÝM POHONEM</b> .....	<b>39</b>
5.1 DVOUSTOPÁ VOZIDLA POD 3,5 T .....	39
5.1.1 Tesla .....	39
5.1.2 Volkswagen e-Golf .....	42
5.1.3 Rimac Concept One .....	44
5.1.4 MW Motors Luka EV .....	45
5.1.5 Chevrolet Spark EV .....	47
5.1.6 Mercedes-Benz SLS AMG Coupe Electric Drive .....	48
5.1.7 BMW i3 .....	50
5.2 DVOUSTOPÁ VOZIDLA NAD 3,5 T .....	51
5.2.1 ZF AxTrax AVE a CeTrax .....	51
5.2.2 Tesla Semi .....	53



5.3	JEDNOSTOPÁ VOZIDLA.....	55
5.3.1	<i>Volta motorbikes BCN</i> .....	55
	<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>56</b>
	<b>SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ</b> .....	<b>57</b>

## **Úvod**

Elektrický pohon je v současné době na vzestupu. Elektromobily mají své výhody i nevýhody. Cílem této práce je vypracovat přehled technických řešení pohonů pro vozidla s elektrickým pohonem a porovnat je mezi sebou. Práce je vypracována za účelem bližšího seznámení s technickým řešením elektrických silničních vozidel. Tato práce se zaměřuje na technické řešení pohonu silničních elektrických vozidel. Nejdříve se zabývá obecně způsobem uložení jednotlivých komponentů ve vozidle, dále typy převodovek, které lze použít pro elektrická silniční vozidla, a druhy elektromotorů. U každé z těchto kapitol je porovnání jednotlivých řešení. Následuje krátký pohled do historie elektromobilů a nakonec popis konkrétních elektrických vozidel pro silniční provoz.

## **Seznam symbolů a zkratek**

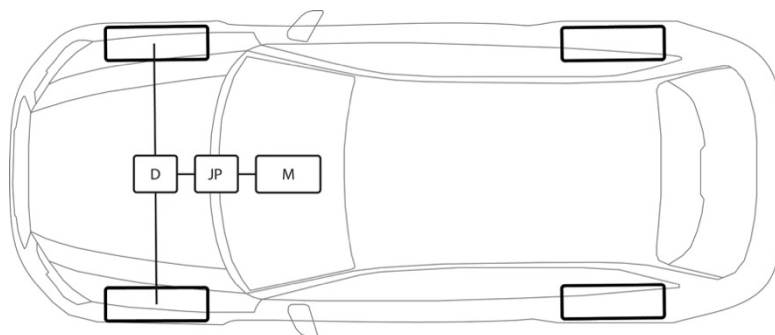
ASM.....	Asynchronní motor
DC.....	Stejnoseměrný motor
BLDC.....	Bezkartáčový stejnosměrný motor
SM.....	Synchronní motor
PMSM.....	Synchronní motor s permanentními magnety
PMSRM.....	Synchronní reluktanční motor s permanentními magnety
PM.....	Permanentní magnet
ESP.....	Elektronický stabilizační program
ABS.....	Protiblokovací systém
ASR.....	Systém regulace prokluzu kol
AWD.....	Pohon všech kol
M1, M2.....	Motor 1, 2
PG.....	Planetová převodovka
SY.....	Synchronizátor
FD.....	Konečný převod
CL1, CL2.....	Spojka 1, 2
SM1, SM2.....	Režim pouze motor 1, 2
TC.....	Režim spojování momentu
SC.....	Režim spojování rychlosti

# 1 Typy uložení motorů

Způsob uložení elektrického motoru je závislý na požadovaném výkonu a na druhu stavby elektromobilu. Důraz se klade na snížení mechanických pohonných komponentů, což má za následek zvýšení celkové účinnosti pohonu, od konvenčního centrálního pohonu s dvoustupňovým převodem a diferenciálem přes individuální pohon kol s pevným převodem až k motoru uloženým v kolu.

## 1.1 Centrální umístění motoru

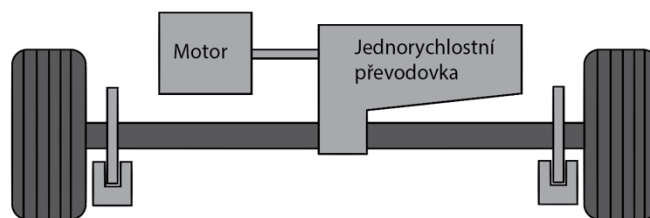
Centrální umístění motoru je nejčastěji využívané a vychází z klasického automobilu se spalovacím motorem, kdy je spalovací motor vyměněn za elektrický. Blokované uspořádání je ukázáno na obrázku 1. Automobil má poháněnou buď přední, nebo zadní nápravu. Motor je většinou uložen vepředu při pohonu přední nápravy a vzadu při pohonu zadní nápravy, popřípadě jejich kombinací. Elektromobil má nejčastěji jednorychlostní převodovku (s pevným převodem). Problémem tohoto řešení může být hluk převodovky, který je vyšší při vyšších rychlostech. Další nevýhodou je snížení účinnosti v důsledku mechanických ztrát v převodovce a diferenciálu. Toto umístění používá například VW e-Golf. [2]



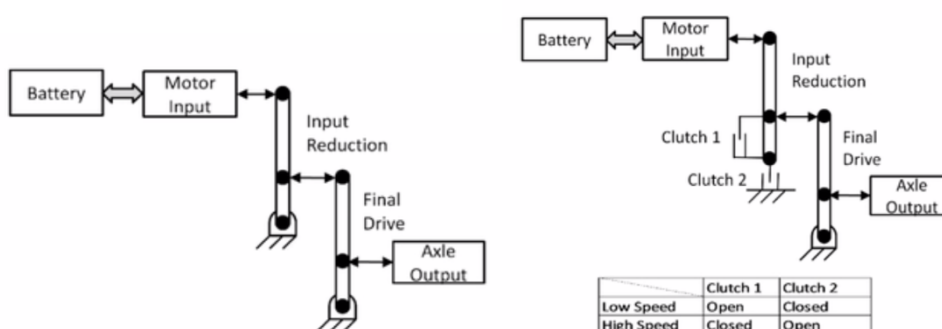
Obrázek 1 - Pohon s centrálním pohonem, D – diferenciál, JP – jednorychlostní převodovka, M – motor

Účinnost elektromobilu s jedním elektromotorem lze pro vyšší rychlosti zlepšit pomocí vícerychlostní převodovky. Blíže je toto řešení popsáno v kapitole Typy převodovek pro elektromobily. Na obrázku 2 můžeme vidět schéma pro elektromobil s jedním motorem a jednorychlostní převodovkou. Dále na obrázku 3 je schéma pohonu s jednorychlostní a dvourychlostní planetovou převodovkou. Efektivita tohoto pohonu závisí na kvalitě použité převodovky. I přes vyšší počet mechanických částí je řešení s fixním převodem

nejčastěji používané u výrobců elektrických vozidel. Přehled účinností jednotlivých provedení je v tabulce 1. [44]



Obrázek 2 - Schéma pohonu s fixním převodem



Obrázek 3 - Schéma uspořádání s jednorychlostní vlevo a dvourychlostní planetovou převodovkou vpravo [44]

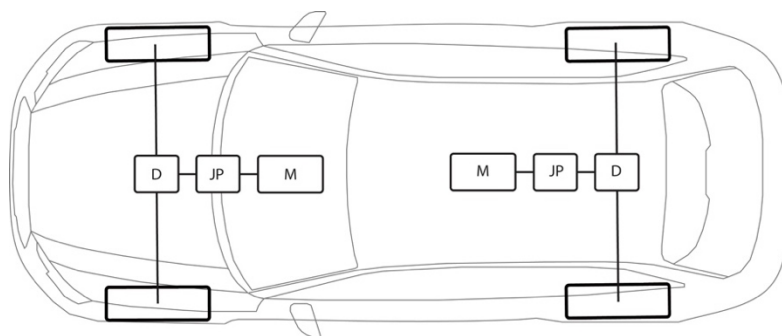
Tabulka 1 - Účinnosti jednotlivých typů pohonů [44]

	Městský provoz	Mimoměstský provoz
Jednorychlostní převodovka	77,2%	75,5%
Dvourychlostní převodovka	79,3%	80,4%
Dvoumotorové paralelní provedení	79,6%	81,1%

### 1.1.1 Pohon dvou hřídelí pomocí dvou motorů

Jednou z variant tohoto řešení je použití dvou elektromotorů, jednoho pro přední a druhého pro zadní nápravu, blokové uspořádání je na obr. 4. Výhodou tohoto řešení je pohon všech čtyř kol a možnost rozdělit výkon mezi zadní a přední nápravu dle libosti. Zadní náprava s přední nápravou nejsou mechanicky propojené, propojené jsou pouze elektronicky. Další výhodou je, že díky rozdělení celkového výkonu na dva motory můžeme volit dva motory kompaktnějších rozměrů a menšího výkonu, které mohou mít společný výkon vyšší než

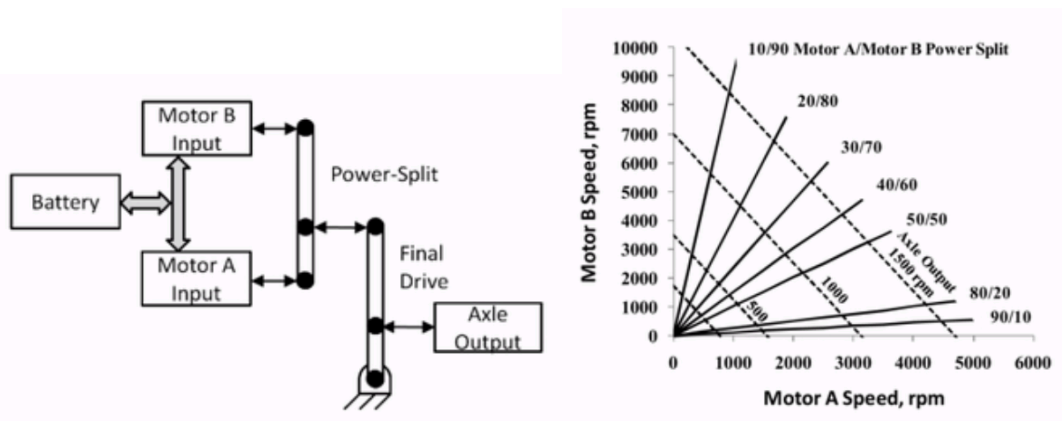
řešení s jedním motorem. Použití dvou motorů zajistí rovnoměrné rozdělení hmotnosti, zlepšení zrychlení a určité zlepšení jízdních vlastností. Nevýhodou může být zvýšení celkové hmotnosti elektromobilu. [7] Elektromobilem využívajícím tohoto řešení je například Tesla Model S, X a 3 v určité konfiguraci.



Obrázek 4 – Pohon s dvěma motory 4x4, D – diferenciál, JP – jednorychlostní převodovka, M – motor

### 1.1.2 Pohon pomocí dvou motorů paralelně

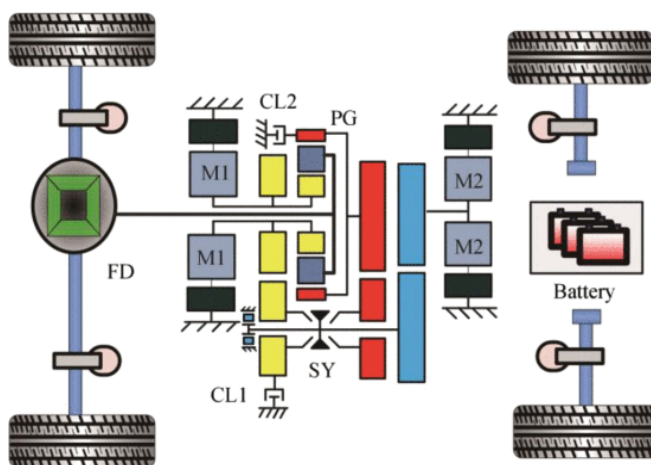
Jedním z dalších možných provedení je použití dvou motorů paralelně. V tomto uspořádání je dynamická vazba mezi motory schopna spojit a odpojit otáčky, točivý moment nebo výkon dvou nebo více motorů. Točivé momenty motorů můžeme spojit s převodovkou s pevnou hřídelí nebo s rychlostní spojkou a planetovou převodovkou. S touto konstrukcí bude ekonomická výkonnost elektromobilu zlepšena změnou různých režimů práce a optimalizací pracovního bodu, ale nižší spolehlivost pohonu a složitější řízení motorů je nevyhnutelné. Výstupní otáčky jsou lineární kombinací otáček obou motorů. S tímto uspořádáním lze otáčky motoru plynule měnit pro maximální tažnou sílu nebo pro maximální účinnost. Toho lze dosáhnout pomocí řízení změny otáček jednoho nebo obou motorů. Například dvoumotorový pohon s redukcí 6:1 z obou motorů na výstupu může fungovat v režimu, kdy jeden běží v poměru 6:1 a druhý je vypnutý, nebo oba běží v poměru 3:1. Další možností je, že může jeden motor běžet 4:1 a druhý 2:1. Na obrázku 5 je zobrazeno schéma dvoumotorového provedení a závislost otáček jednoho motoru na otáčkách druhého. [44]



Obrázek 5 - Schéma uspořádání dvumotorového provedení a závislost otáček motoru A na otáčkách motoru B [44]

Studie a návrh optimálního pohonu [45] se dvěma motory ukázala, že tento nový navržený dvumotorový pohon může efektivně zlepšit ekonomickou výkonost elektromobilu, aniž by to omezilo dynamický výkon vozidla. Schéma navrženého pohonu je na obrázku 6 kde je motor 1 (M1) připojen na planetovu převodovku (PG), motor 2 (M2) se může připojit k centrálnímu ozubenému kolu nebo k ozubenému věnci podle polohy synchronizátoru (SY), konečný převod (FD). Spojky (CL1 a CL2) určují, zda je připojen jeden nebo oba motory k výstupu. Režimy pohonu jsou čtyři a jsou popsány v tabulce 2, první, kdy je SY uprostřed je CL1 vypnuta a CL2 je aktivní. Pohonná soustava pracuje v režimu SM1 (Single motor 1), ve kterém je vozidlo poháněno pouze pomocí M1. Druhý režim je, když je SY na pravé straně, je aktivní CL1 a CL2 je vypnuta, pohonná soustava pracuje v režimu SM2 (Single motor 2), ve kterém je vozidlo poháněno pouze pomocí M2. Třetí režim je při nastavení SY nalevo. CL1 je vypnuta a je aktivní CL2, pohon pracuje v režimu TC (Dual-Motor Torque Coupling Drive). V tomto režimu se převodovka s pevnou hřídelí používá pro spojení točivého momentu obou motorů M1 a M2 pro dosažení větší trakční síly ve srovnání s ostatními režimy. Poslední čtvrtý režim je při nastavení SY na pravou stranu. CL1 je aktivní a CL2 je vypnut, pohonná soustava bude pracovat v režimu SC (Dual-Motor Speed Coupling Drive), ve kterém je zřejmě vyšší rychlost ve srovnání s ostatními třemi režimy v důsledku rychlostní SCG. Způsob vedení výkonu od motoru k výstupní hřídeli pro všechny režimy je znázorněn na obrázku 7. Na obrázku 7a) je režim SM1, kde je výkon přiveden z M1 na PG, dále na FD a na hřídel. Obrázek 7b) je režim SM2, kde je výkon z M2 přiveden na rychlostní spojku SCG dále na PG a FD a nakonec na hřídel. Obrázek 7c) je režim TC, kde je výkon z M1 a M2 přiveden na spojovač momentu TCG, dále na PG, FD a na hřídel. Poslední obrázek 7d) znázorňuje režim SC, kde výkon z M1

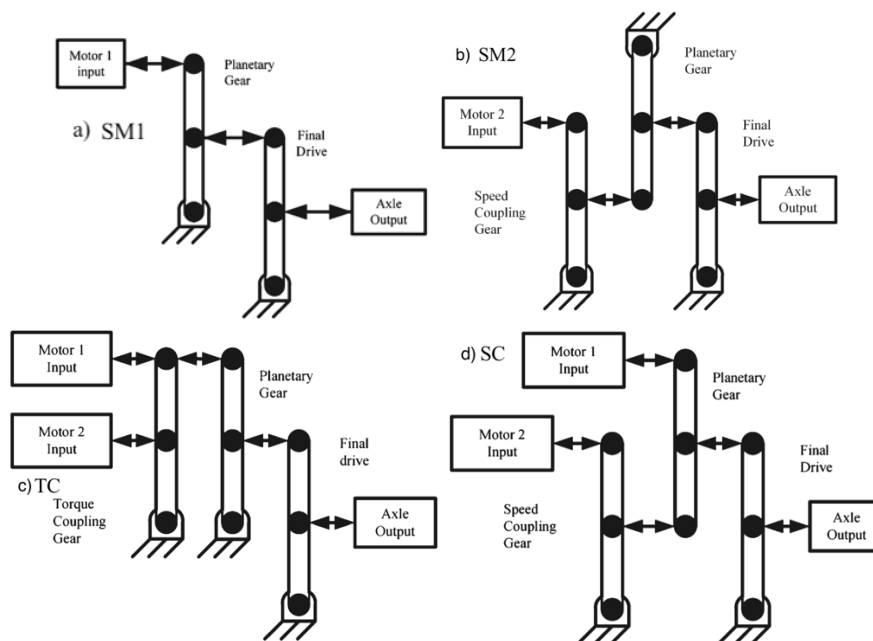
je připojen na PG přímo a výkon z M2 přes rychlostníspojku SGC na PG, dále na FD a na hřídel.[45]



Obrázek 6 - Schéma navrhnutého dvoumotorového pohonu [45]

Tabulka 2 - Režimy činnosti [45]

Režim	Motor M1	Motor M2	Poloha synch. SY	Spojka CL1	Spojka CL2
SM1 (pouze M1)	X	0	uprostřed	0	X
SM2 (pouze M2)	0	X	vpravo	X	0
TC (spojování momentu)	X	X	vlevo	0	X
SC (spojování rychlosti)	X	X	vpravo	0	0



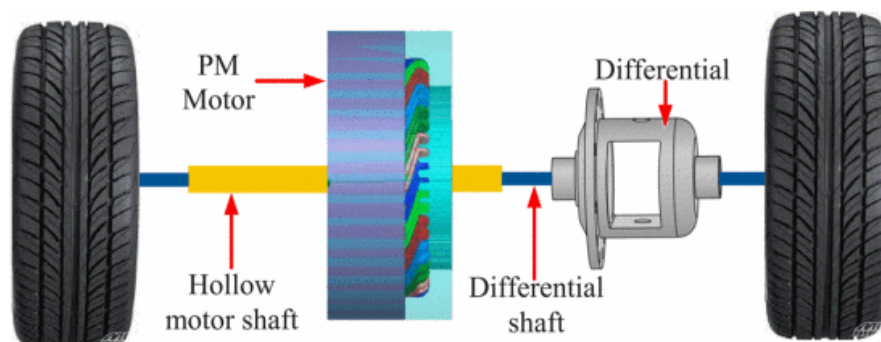
Obrázek 7 - Tok výkonu v jednotlivých režimech pohonu [45]



Oba motory mají ekvivalentní redukční převod. Vzhledem k tomu, že mají oba motory plný výstupní točivý moment, jsou výkony obou motorů úměrné otáčkám motoru. Poměr rozdělení výkonu je tedy stejný jako poměr rozdělení rychlosti. [44]

## 1.2 Motor umístěný přímo na hřídeli

Řešením s umístěním motoru přímo na hřídeli hnacích kol, dosáhneme možnosti odstranění převodovky, která má za následek ztrátu výstupního výkonu motoru od 2% až do 20% v závislosti na provozní rychlosti a točivém momentu motoru. Uspořádání lze vidět na obrázku 8. Další výhodou tohoto řešení je snížení nákladů na údržbu a maziva, snížení mechanických ztrát a hluku, snížení četnosti indukovaných ztrát ve stroji s permanentními magnety z důvodu jeho nižší maximální rychlosti v porovnání s typickým vysokorychlostním trakčním strojem. Faktory, se kterými je potřeba počítat při volbě a návrhu motoru pro tento druh pohonu, jsou velikost a hmotnost stroje, protože točivý moment požadovaný hřídelí kola je kompletně zajištěn motorem bez pomoci převodovky. Dále zvlnění kroutícího momentu generovaného nesinusovou indukcí a vzduchovou mezerou v motoru je přímo přenášeno na kola. Toto zvlnění je typicky tlumeno mechanickými částmi v přenosovém systému klasických elektromobilů s převodovkou, diferenciálem a dalšími prvky. Dále je třeba počítat s vyšším cogging momentem (pulzační moment od permanentních magnetů), jelikož je stroj navržen pro nízkou rychlost s vysokým výkonem. Vlastnosti pohonu jsou přímo dané vlastnostmi zvoleného motoru. Motory použité v tomto případě musí být navrženy na nízké otáčky a s magnety s vysokou hustotou výkonu na rotoru, což má za následek vysoký točivý moment. To je zároveň nevýhoda tohoto řešení, nutnost použít speciální motor. Tyto pomaloběžné motory jsou fyzicky větší než rychloběžný motor se stejným výkonem. Další nevýhodou je, že je potřeba přesnější řídicí jednotky, jelikož vysokorychlostní motor má relativně velký moment setrvačnosti, což má za následek hladší výstupní pohyb, pomaloběžné motory mohou vykazovat zvlnění momentu. Autor studie ([1] On-board direct-drive surface permanent magnet synchronous machine with fractional-slot concentrated windings for electric vehicles) a návrhu stroje pro tento pohon uvádí, že neexistuje žádný komerční elektromobil, který by používal konfiguraci s přímým pohonem pomocí jednoho motoru. [1] [35]



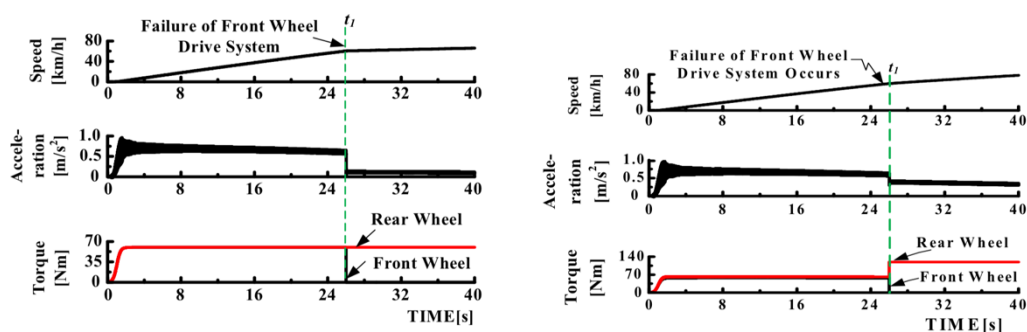
Obrázek 8 - Motor uložen přímo na hřídeli s diferenciálem [1]

### 1.3 Individuální pohon kol

Výhodou individuálního pohonu oproti řešení s centrálně umístěným motorem je, že každé kolo je poháněno vlastním motorem. Důsledkem je, že lze řídit moment na jednotlivých kolech nezávisle. Tím se vytváří tzv. elektronický diferenciál. Toto řešení oproti ostatním řešením umožňuje výkonné zrychlení nebo brždění na všech typech silnic (mokro, sucho nebo nezpevněná) pomocí vhodného rozložení točivého nebo brzdného momentu nezávisle mezi přední a zadní nápravu. Dále samotné elektromotory s vhodným řízením mohou působit jako aktuální regulátory systému dynamiky jízdy, jako je například ESP, ABS a ASR. Díky tomu můžeme oproti pohonu s centrálním motorem pro regulaci dynamiky jízdy tyto řídicí jednotky a mechanické součástky zjednodušit nebo zcela nahradit. [2] [46]

Důležitým faktorem pro elektromobily je bezpečnost v době poruchy během provozu. U elektromobilu s jedním motorem způsobí porucha pohonného systému náhle zastavení, zatímco při selhání pohonné jednotky levého nebo pravého kola dojde k vybočení elektromobilu do strany. Tímto problémem se zabývá studie ([46] Front-and-Rear-Wheel-Independent-Drive-Type Electric Vehicle (FRID EV) with Compatible Driving Performance and Safety), která prováděla simulace a experimenty jak při zrychlení, tak při brždění elektromobilu s individuálním pohonem kol na suché silnici a na silnici s nízkým koeficientem tření. Dále jsou zde simulovány dynamické charakteristiky v době poruchy. Studie simuluje poruchu, při které je nefunkční celá náprava, tudíž při poruše jednoho kola se vypne i druhá strana. Na obrázku 9 je příklad s kompenzovaným momentem a bez kompenzace momentu v době poruchy. Na obrázku 9 (vlevo) selhal systém pohonu předních kol v čase  $t_1$ . Hnací moment, který systém pohonu předních kol vytvořil těsně před poruchou, není kompenzován systémem zadních kol. Simulace potvrzuje, že elektromobil nemůže

zrychlit se stejnou hodnotou zrychlení jako před poruchou což vede ke zpomalení vozidla a tím i k velmi nebezpečné situaci na silnici, pokud je jiné vozidlo v blízkosti. Na obrázku 9 (vpravo) však v čase  $t_1$ , když selhal pohon předních kol, je hnací moment, který systém předních kol vytvořil těsně před poruchou, kompenzován systémem pohonu zadních kol a elektromobil udržuje téměř stejné zrychlení jako před poruchou a může pokračovat v jízdě bez ohrožení dalších účastníků provozu. Studie uvádí, že kompenzace ztraceného momentu zdravým systémem v době poruchy je z hlediska funkce a bezpečnosti bezporuchová. [46]



Obrázek 9 - Dynamické charakteristiky v době průběhu bez kompenzace (vlevo) a s kompenzací momentu (vpravo) [46]

### 1.3.1 Motor umístěný v kole

Řešení s přímým uložením motoru do kol elektromobilu se poprvé objevilo v roce 1900 na výstavě, která se konala v Paříži. Vozidlo s tímto pohonem neslo označení Lohner-Porsche. V roce 2012 představil VW koncepci vozu VWeT!, která měla dvojici elektromotorů v zadních kolech. Další firma, která představila koncepci s motorem v kole byla Schaeffler společně s Fordem. Na základě modelu Fiesta vytvořili koncept eWheel Drive obr. 10, který měl v kolech elektromotory o výkonu 40 kW. Tento pokus byl uskutečněn na základě myšlenky, že v budoucnu bude třeba přijít s vozidlem pro městský provoz, které bude muset být co nejmenší, což toho řešení umožňuje. [6]



Obrázek 10 - Ford a Schaeffler Fiesta eWheel Drive

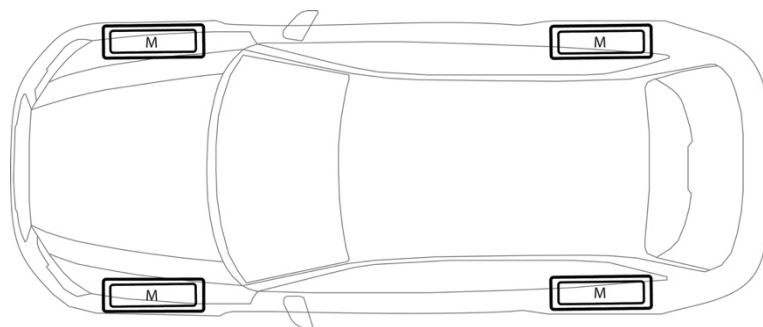
Jednou z dalších firem zabývajících se tímto pohonem je firma Protean Electric, která vyvíjí elektromotory do kol a první použití jejího motoru bylo v roce 2013 na SAE World Congress, kde byl motor namontován na lehkém komerčním elektromobilu pro čínský trh. Tento motor je vidět na obr. 11. [22]



Obrázek 11 - Řešení motoru uloženého v kole firmy Protean [10]

Motor v kole nabízí mimo jiné i velké úspory v potřebném zastavovacím prostoru elektromobilu, který se může použít buď k přidání větší baterie, zvětšení vnitřního prostoru elektromobilu nebo, jak je zmíněno výš, k celkovému zmenšení vozu. Uspořádání je vidět na obr. 12. Problémem mohou být vysoké požadavky na stabilitu a spolehlivost motoru. Na motor v kole působí více vnějších vlivů, jako jsou vibrace, nárazy jízdním pohybem, voda, posypová sůl a prach. Pohon může ovlivňovat i teplo od mechanických brzd. Tohle vše

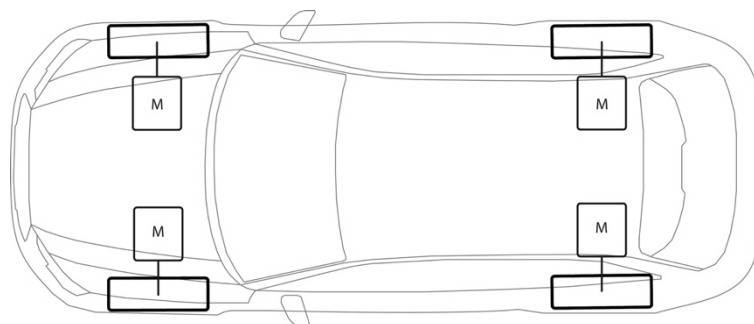
zvyšuje náklady na stavbu motoru spolu s požadavkem na vysoký točivý moment a kapalinové chlazení. [2] Chlazení vzduchem má sice výhodu v tom, že má jednodušší konfiguraci než kapalinové chlazení, protože nemá žádné pomocné zařízení, jako je čerpadlo nebo výměník tepla. Avšak jeho chladicí výkon je nižší než u kapalinového chlazení a u vyšších výkonů by mohl být nedostatečný. [36] Dále vznikají neodpružené hmotnosti, což má za následek zvýšení hmotnostního poměru mezi kolem a karoserií. Důsledkem toho jsou více namáhány součásti připojení kola s podvozkem, jako jsou například tlumiče a rameno. To se může negativně projevit na jízdních vlastnostech elektromobilu. Avšak testy provedené společností Lotus pro firmu Protean Electric, při kterých inženýři společnosti Lotus ke každému kolu automobilu Ford Focus přidali hmotnost 30 kg a provedli počítačové simulace. Dospěli k závěru, že dodatečná hmotnost nemá tak významný vliv na řízení. Přidaná hmotnost způsobila, že pocit z řízení vozu byl, jako by jeho zavěšení a řízení ještě neprošlo obvyklým ladícím procesem, který je standartní součástí vývoje vozidel. Tento efekt byli schopni eliminovat pomocí použitím tužšího odpružení. Bezpečnostní problém motoru umístěného v kole je vyrovnávání točivého momentu při poruše jednoho motoru, což by mělo za následek asymetrické rozdělení točivého momentu a tím by se stal elektromobil neovladatelný. Firma Protean electric vyřešila tento problém pomocí dvou zcela nezávislých systémů, které dokáží detekovat poruchu na dvou nebo více motorech a poté regulátor zabráni vzniku nebezpečné asymetrie. Řešení s motorem v kole má také velký smysl v použití u malých jednostopých vozidel, jako jsou elektrokola a elektromotocykly. Důležitým omezením u tohoto řešení je maximální fyzická velikost elektromotoru. Rozměr je limitován velikostí kola a místem v něm což má za následek i omezení v maximálním výkonu vozidla. Dále motory musí být konstruovány na nižší otáčky, jelikož pro převodovku v kole není většinou místo, ale je jeden pohon ZF AxTrax AVE, který má převodovku v kole. [2] [21] Elektromobil s tímto řešením je například český MW Luka EV.



Obrázek 12 - Motor uložen v kole, pohon všech čtyř kol, M - motor

### 1.3.2 Motor uložený na podvozku

Výhoda motoru, který je uložen na podvozku je ta, že není omezena tak moc velikost motoru, jako je tomu u uložení v kole, tudíž mohou mít větší výkon. Dále na tento motor jsou menší nároky na konstrukci, jelikož je motor uložen na odpružené a kryté části elektromobilu, nemusí být tak odolný a tím i dražší. Nevýhodou může být oproti řešení uložení v kole, že motory u kola zabírají místo, které se mohlo využít třeba pro uložení větších baterií. Motory mohou být konstruovány na nižší otáčky nebo může být použita převodovka. Blokové uspořádání je znázorněno na obr. 13. [2] Elektromobily s podobným řešením a převodovkou jsou například Rymic Concept One a Mercedes-Benz SLS AMG Electric Drive.



Obrázek 13 - Motor připojen přímo na kolo pomocí hřídeli, pohon všech čtyř kol, M – motor

### 1.4 Porovnání řešení uložení pohonu v elektromobilu

Prvním kritériem, je celková hmotnost elektromobilu, protože hmotnost je důležitá z hlediska zrychlení i dojezdu elektromobilu. Provedení s nejvyšší hmotností, budeme-li uvažovat použití motoru o stejném výkonu pro všechna řešení, je elektromobil s centrálně umístěným motorem, a to kvůli přítomnosti velkého množství mechanických součástí, jako je například převodovka, ať už jednorychlostní nebo vícerychlostní, diferenciál a další části potřebné k převodu výkonu od motoru ke kolům. Nejvýhodnějším řešením z pohledu hmotnosti je individuální pohon kol, jak motor uložený u kola na podvozku, tak motor v kole. U tohoto řešení není převodovka ani diferenciál a další mechanické části pohonu. Zůstává pouze motor a krátká hřídel u řešení s motorem na podvozku. Příkladem

individuálního pohonu kol může být pohon elektromobilu Rimac Concept One. Přední náprava má hmotnost 117 kg a výkon 320 kW (0,366 kg/kW) a zadní náprava má hmotnost 160 kg při výkonu 386 kW (0,414 kg/kW) obě tyto nápravy obsahují dva elektromotory, dvě převodovky a chlazení. Pohon s centrálním umístěním je například pohon elektromobilu BMW i3 tento pohon s jednorychlostní převodovkou má hmotnost 65 kg při výkonu 125 kW (0,52 kg/kW). Dále pohonná jednotka zadní nápravy společnosti Tesla váží 132 kg při výkonu 335 kW (0,394 kg/kW) a pohonná jednotka přední nápravy váží 88 kg při 229 kW (0,384 kg/kW). Pohon uložený v kole od firmy Protean Electric váží 31 kg při výkonu 80 kW pro 4 kola je hmotnost 124 kg a výkon 320 kW (0,386 kg/kW). [30] [57] [58] Druhým kritériem je spolehlivost a životnost. Zde je situace stejná jako u hmotnosti, jelikož vyšší počet mechanických částí znamená i vyšší riziko závady, protože mechanické části se opotřebovávají. Dalším kritériem je bezpečnost. Centrální pohon se při poruše chová stejně jako klasický spalovací automobil. Začne zpomalovat, až zastaví. Zatímco u individuálního řešení pohonu zadní a přední nápravy dvěma motory, motoru v kole a motoru na podvozku záleží, jak zareaguje řídicí jednotka pohonu. V ideálním případě zbylé motory vykompenzují chybějící výkon a vozidlo lze určitou dobu dále provozovat. Porovnání z hlediska složitosti řízení, je závislé na počtu elektromotorů, tedy složitější na softwarové řízení bude pohon se čtyřmi elektromotory oproti jednomu centrálnímu. U řešení s více motory musí řídicí jednotka správně vyhodnocovat v každém okamžiku kolik výkonu (točivého momentu) na jaký motor poslat.

## 2 Druhy elektrických motorů

Elektromotor je klíčovým prvkem elektromobilu. Elektromotor přeměňuje elektrickou energii, kterou dostává z baterií, na mechanickou energii, která umožňuje pohyb elektromobilu. Působí také jako generátor při rekuperaci. Volba motoru závisí na typu vozidla a funkcích, které má poskytovat. Požadavky na elektromotor pro elektromobil jsou například vysoký výkon, vysoká účinnost, spolehlivost, robustní konstrukce, cena, nízká hlučnost a malé rozměry. [5]

### 2.1 Stejnosemý motor

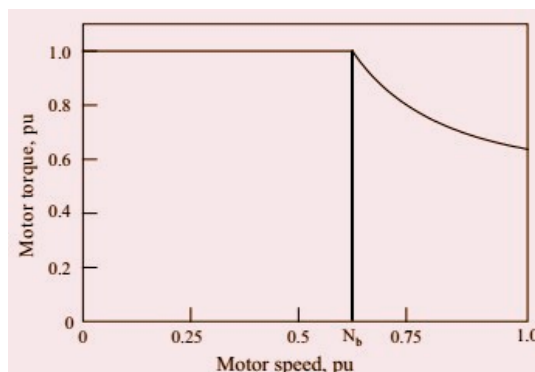
Tyto motory mají permanentní magnety nebo vinutí na statoru a na rotoru je v drážkách uloženo rotorové vinutí, které je vyvedeno na komutátor. Ten je základním prvkem těchto strojů. Slouží jako mechanický střídač v motorickém režimu a jako mechanický usměrňovač u generátorického režimu. Výhodou je schopnost poskytnout maximální točivý moment při nulových otáčkách (podobně jako ostatní elektromotory), velmi dobré regulační vlastnosti a potřebné řídicí obvody se dají lehce realizovat. Nevýhodou je objemná konstrukce a teplo vznikající díky přechodovému odporu kartáčů komutátoru a s tím související pokles účinnosti. Teplo lze také hůř odvést ze stroje, protože vzniká ve středu motoru. Díky těmto nevýhodám se dnes u elektromobilů nepoužívá. Použit byl například u elektromobilu Fiat Panda Elettra. [5]

### 2.2 Bezkartáčový stejnosměrný motor s permanentními magnety (BLDC)

Rotor tohoto elektromotoru je obvykle osazený permanentními magnety, statorové vinutí vytváří točivé magnetické pole ze stejnosměrného napětí pomocí střídače. Díky tomu, že v rotoru není žádné vinutí, odpadají ztráty v mědi rotoru, což zvyšuje účinnost. Další výhodou BLDC motoru oproti DC motoru s komutátorem je ta, že je lehčí, menší, lepší je i rozptýlení tepla (díky tomu, že je generováno ve statoru, který se nechá lépe chladit) a je spolehlivější díky absenci mechanického komutátoru. Nevýhodou je vysoká cena kvůli permanentním magnetům. Uspořádání je u tohoto motoru opačné než u kartáčového. U klasického komutátorového stroje je budič (elektromagnet nebo permanentní magnet) pevný (stator), a rotuje vinutí napájené pomocí kartáčů a komutátoru (rotor). Motor BLDC má vynutí statoru a rotuje budič, který je obvykle osazený permanentními magnety. Jak se rotor otáčí, je potřeba přepínat vinutí statoru tak, aby se motor otáčel a přeměna elektrické



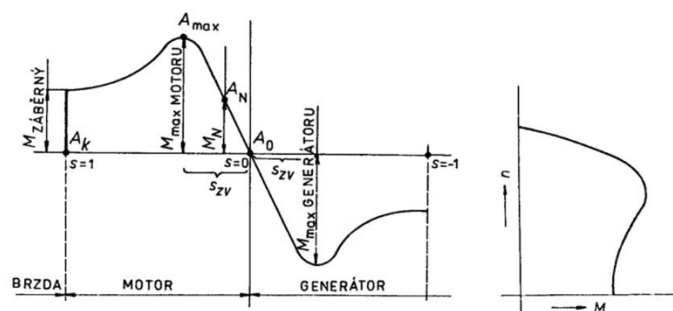
energie na mechanickou byla účinná. O to se stará elektronická jednotka, která přepíná vinutí v závislosti na poloze rotoru. Tyto informace zpracovává mikroprocesor, který následně vygeneruje data pro spínání výkonových tranzistorů. U malých strojů se nejčastěji používají Hallovy sondy, které identifikují úhlové natočení rotoru. BLDC jsou vhodné pro použití u malých elektromobilů s maximálním výkonem do 60 kW. Charakteristika BLDC motoru je vidět na obrázku 14. Využívá ho například elektromobil Luka EV a Toyota Prius v roce 2005. [12] [5]



Obrázek 14 – Charakteristika BLDC motoru [5]

### 2.3 Asynchronní motor

Stejnoseměrné pohony jsou nahrazovány pohony střídavými hlavně díky velkému rozvoji polovodičových součástek a s tím souvisejících měničů, jako jsou střídače, regulační technika a s tím spojená řídicí elektronika. Díky těmto faktorům dosahujeme charakteristik indukčních strojů, které se plně vyrovnají charakteristikám stejnosměrných strojů (v požadovaném rozsahu) a navíc jsou odstraněny nevýhody stejnosměrných strojů, jako je komutátor. Asynchronní motory jsou nejlevnější, mají nejmenší poruchovost a nepotřebují téměř žádný servis. Vyrábějí se v provedení s klecí na krátko nebo s vinutou kotvou, kde je vinutí vyvedeno pomocí kroužků a kartáčů. Vinutý rotor má podobně jako stator třífázové vinutí, které je uloženo v drážkách. Toto vinutí je vždy spojeno na rotoru do hvězdy. Počet pólů rotoru musí být stejný jako počet pólů statoru. Jak je už uvedeno, druhé konce vinutí jsou vyvedeny na svorkovnici pomocí kluzných kontaktů (třech kroužků a uhlíkových kartáčů). Nevýhodou je právě kluzný kontakt, který je relativně náročný na údržbu, proto se mnohem častěji používá kotva klecová. Klec má v drážkách hliníkové nebo měděné tyče bez jakékoliv izolace a na konci jsou spojeny kruhy nakrátko. Rotor i stator je složený z plechů. Výhodou je, že lze řídit stejně jako cize buzený DC motor pomocí orientace pole (vektorové řízení, přímé řízení momentu). Charakteristika asynchronního stroje je na obrázku 15. Tento motor využívá například Tesla Model S a X, Toyota RAV4, GM EV 1. [5] [52] [53]

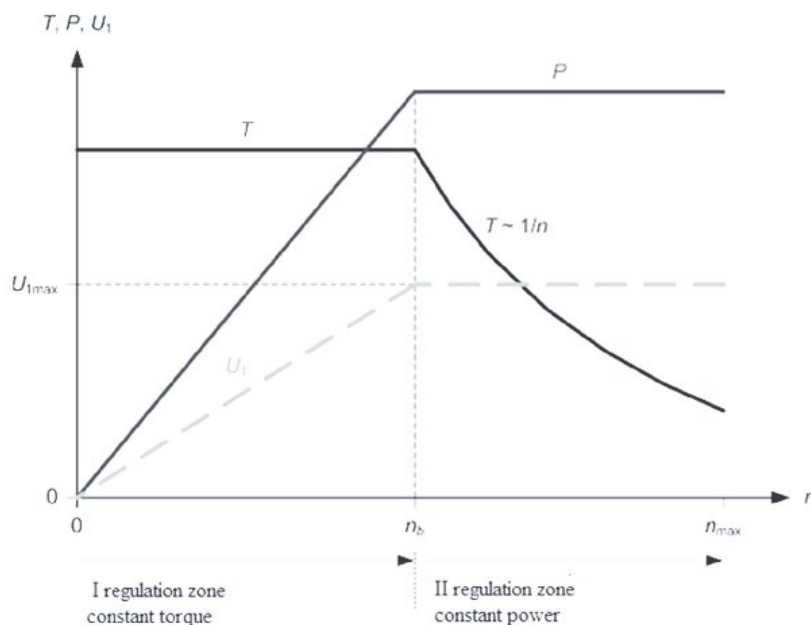


- $A_0$  – choo naprázdno, otáčky odpovídají skluzu naprázdno
- $A_N$  – odpovídá hodnotě jmenovitého zatížení (stítek motoru)
- $A_{max}$  – největší dosažitelný moment, který je motor schopen odevzdát
- $A_K$  – zastavení motoru, ze sítě odebírá tzv. zkratový proud.
- V oblasti  $A_0$  až  $A_{max}$  je motor tzv. *tvrdý*,
- v oblasti  $A_{max}$  až  $A_K$  je motor tzv. *labilní*.

Obrázek 15 –Momentová charakteristika asynchronního motoru [52]

## 2.4 Synchronní motor s permanentními magnety PMSM

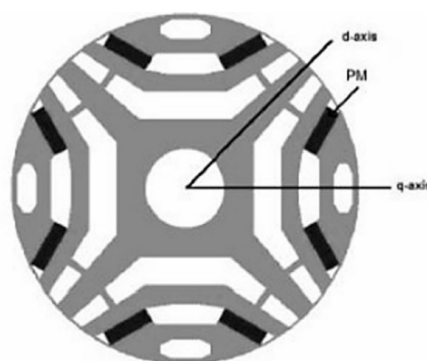
U elektromobilů se stále častěji využívají synchronní motory s permanentními magnety – PMSM (Permanent Magnet Synchronous Motor). Tyto stroje jsou stejně jako stroje asynchronní založeny na základě využití točivého pole. Zásadní rozdíl je v tom, že pracovní režim synchronních strojů probíhá při synchronní rychlosti, to znamená, že se rotor otáčí stejnou rychlostí, jako je rychlost magnetického pole generovaného statorový vinutím. Charakteristika tohoto motoru je na obrázku 16, kde  $T$  je točivý moment,  $P$  je výkon a  $U$  napětí. Do otáček  $n_b$  je konstantní moment a od těchto otáček klesá exponenciálně moment a je konstantní výkon. Rozdíl PMSM oproti klasickému synchronnímu stroji je ten, že pole rotoru nevytváří rotorové vinutí, ale permanentní magnety. Pro výrobu těchto magnetů se využívají slitiny kovů (neodym-železo-bór, samarium-kobalt) s vysokou magnetizací (0,8 – 1,2 Tesla – pro srovnání ferrity dosahují 0,4 Tesla). Výhodou tohoto stroje je jeho vyšší účinnost oproti asynchronnímu, která dosahuje 96%, a díky vyšší účinnosti může mít menší rozměry než asynchronní stroj. Dále má vysoký použitelný rozsah otáček bez nutnosti použití převodových systémů a díky tomu je vhodný pro instalace do kola, ale při této aplikaci má vysoké ztráty v železe při vysokých rychlostech. Nevýhodami jsou vyšší cena díky permanentním magnetům, které se vyrábí ze vzácných kovů. Teplotní omezení, jelikož při překročení určité hranice začne demagnetizace permanentních magnetů. Další nevýhodou jsou i malé rozměry, protože není možné tak vysoké přetížení jako u asynchronních strojů, jelikož teplo není kam akumulovat. Elektromobily s PMSM jsou například Toyota Prius a Nissan Leaf. [5] [52] [53]



Obrázek 16 – Charakteristika synchronního motoru s PM [57]

#### 2.4.1 Synchronní reluktanční motor s permanentními magnety PMSRM

Jedná se o synchronní reluktanční motor s přidávanými permanentními magnety. Princip reluktančního motoru spočívá v tom, aby se vytvořila co nejvyšší magnetická vodivost v ose d a maximální magnetický odpor v ose q, založený na efektu vyniklosti. To znamená, že využívají změny magnetické vodivosti v závislosti na poloze rotoru. Motor také pracuje se synchronní rychlostí, má výhody jako PMSM motorů, tak AS motorů. Je robustní, odolný proti poruchám, jako je AS motor, efektivní a malý jako PMSM. Synchronní reluktanční motor funguje i bez permanentních magnetů, ale přidáním správného množství magnetů do jádra rotoru zvyšuje účinnost. Permanentní magnety jsou menší a slabší než u PMSM. Rotor PMSRM je znázorněn na obrázku 17. Tento motor využívají například elektromobily BMW i3 a Tesla Model 3. [5]



Obrázek 17 - Rotor PMSRM [5]

## 2.5 Porovnání elektromotorů pro elektromobily

Zde je také několik kritérií, dle kterých lze hodnotit. Prvním důležitým faktorem jsou rozměry a hmotnost, nejlépe je na tom motor synchronní s PM. Dalším velice důležitým faktorem je cena, nejlépe vychází motor asynchronní, jelikož se vyrábí sériově a nevyužívá PM. Posledním faktorem je údržba a spolehlivost, zde vychází nejlépe motor asynchronní. Další porovnání je v tabulce 3.

Tabulka 3 - Srovnání elektromotorů

Typ motoru	Výhody	Nevýhody
DC motor s komutátorem	-Maximální moment v nízkých otáčkách -Jednoduché řízení	-Větší konstrukce -Nižší účinnost -Komutátor a s ním spojené ohřívání kartáčů a údržba
Bezkartáčový DC motor (BLDC)	-Nemá ztráty v železe rotoru -Vyšší účinnost než AM -Menší, lehčí, lepší odvod tepla -Vyšší spolehlivost než DC s komutátorem	-Krátký konstantní výkonový rozsah -Vyšší cena díky PM
Asynchronní motor	-Lze řídit jako DC motor -Spolehlivý, bezúdržbový	-Nižší účinnost při nízkých otáčkách
Synchronní motor s PM (PMSM)	-Vysoký použitelný rozsah otáček -Vysoký točivý moment při nízkých rychlostech -Účinný při nízkých rychlostech -Malý, vhodný pro uložení do kola	-Nízká účinnost při vysokých rychlostech -Hrozí demagnetizování při přetížení
Synchronní reluktanční motor s PM (PMSRM)	-Vyšší účinnost než synchronní reluktanční motor bez PM -Robustní, menší rozměry	

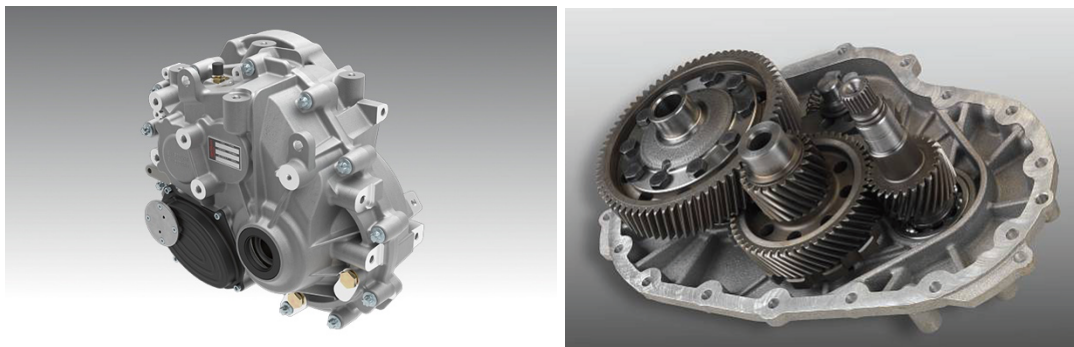
### 3 Typy převodovek pro elektromobily

Z vlastností elektrických motorů, jako je například velký rozsah otáček a momentová charakteristika, vyplývá, že není nutné využívat tolik rychlostí jako u spalovacích motorů. Elektromotory poskytují nejvyšší točivý moment prakticky už od nulových otáček. Točivý moment klesá s otáčkami, ale když se podíváme na VW e-Golf, tak i při svých maximálních 12 000 ot/min dosahuje hodnoty 75 Nm, což je plně dostačující. Na základě uvedených parametrů vyplývá že si elektromotor vystačí zpravidla s jednorychlostním převodem, ale i vícerychlostní převody mají své přednosti. Elektromobily potřebují ke svému fungování převodovku kvůli snížení vysokých výstupních otáček elektromotoru v určitém poměru. [3]

#### 3.1 Jednorychlostní převodovka

Elektromobilům stačí k efektivnímu fungování oproti automobilům se spalovacím motorem jednostupňová převodovka s pevným převodem, ale může mít i více stupňů, například Tesla je vybavena převodovkou dvoustupňovou jednorychlostní (s fixním převodem). Vícestupňové převodovky se využívají z důvodu úspory místa. Elektromotor poskytuje nejvyšší točivý moment už od nulových otáček a rozsah otáček může u elektromobilů být až do 20 000 ot/min. Například u elektromobilu Tesla Model S při maximální rychlosti 225 km/h stačí jednorychlostní převodovka s převodovým poměrem 11,39:1. [3] [37]

V dnešní době má většina dostupných elektromobilů jednorychlostní převodovku. Typicky se hodnota poměru převodu mezi elektrickým strojem a kolem pohybuje okolo 7 až 10, jedná se o převod dopomala. Toto řešení má oproti převodovce s více rychlostmi výhodu především v jednoduchosti konstrukce, dále v nižším hluku a nižším tření, tudíž i nižších mechanických ztrátách. Jednorychlostní převodovka má menší hmotnost a vyšší spolehlivost než vícerychlostní. Kvůli snaze vytvořit co nejspolehlivější a zároveň co nejvíce bezúdržbové vozidlo volí výrobci právě jednorychlostní převodovku. Příklad jednorychlostní převodovky se dvěma stupni je na obr. 18 vpravo. [8]

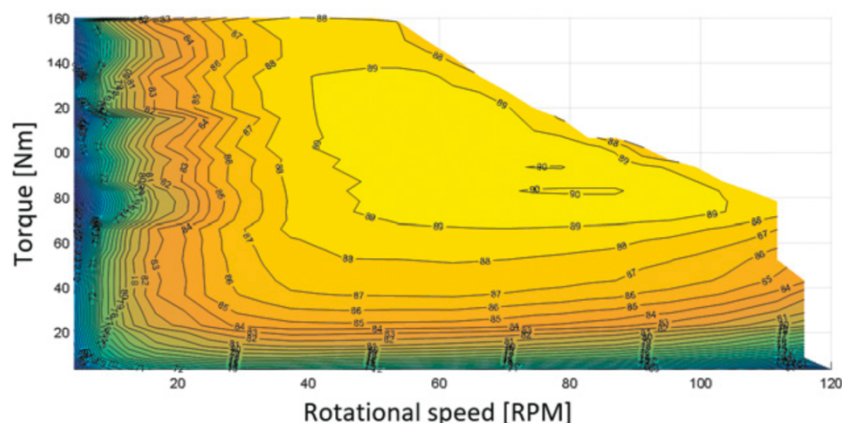


Obrázek 18 – Jednorychlostní převodovka se dvěma stupni elektromobilu Tesla [9] [11]

### 3.2 Vícerychlostní převodovky

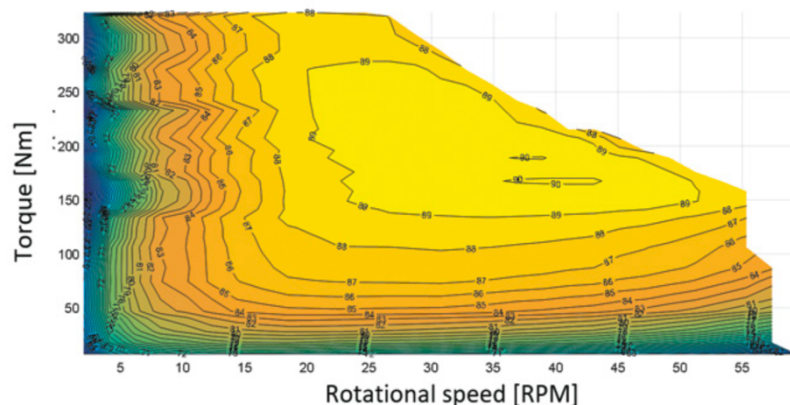
I když elektromotor dokáže fungovat s jednorychlostní převodovkou, jeho účinnost je závislá na otáčkách a při použití jednoho fixního převodu se mění od 90% až k 60%, při nižších otáčkách je i nižší účinnost. Tento problém řeší právě vícerychlostní převodovka, která vykazuje lepší účinnost hlavně v městském provozu oproti jednorychlostní. Důvodem pro nasazení vícešupňových převodovek může být fakt, že opravdu výkonné a levné baterie jsou vizí budoucnosti. Z tohoto důvodu může být každé řešení, které zlepší vlastnosti a hlavně dojezd elektromobilu, vítáno. [4] [9]

Ze studie o vícerychlostních převodovkách [23] vyplývá, že elektromobil například při nastavení převodového poměru, při kterém maximální rychlost vozidla dosahuje 120 km/h, rozsah účinnosti vozidla je vyšší než 50 km/h, přičemž rychlost, při které má elektromobil nejvyšší účinnost, je 85 km/h viz obr. 19, na kterém je vidět, že oblast s účinností 90% je právě při už zmíněných 85 km/h a oblast účinnosti 89% je od cca 50 – 105 km/h. Nejnižší účinnost je zobrazena na charakteristikách modře, a pohybuje se okolo 75%. Při nižších rychlostech, například v městském provozu, který je charakterizován nízkou rychlostí a častým zrychlením, klesá účinnost elektromobilu oproti ideální rychlosti přibližně o 5%. [23]



Obrázek 19 - Mapa účinnosti elektrického pohonu s maximální rychlostí 120 km/h [23]

Tudíž aby se účinnost zvýšila, je nutné udržovat elektromotor v optimálních otáčkách, a to i při nižších rychlostech odpovídajících jízdě po městě. To se může zařídit nastavením nižší maximální rychlosti pomocí jiného převodového poměru. Pokud nastavíme převodový poměr pro maximální rychlost 60 km/h a oblast maximální účinnosti na rychlostní rozsah vozidla 40 km/h – 55 km/h, lze konstatovat, že prakticky celý rozsah rychlostí 15 – 100 km/h je zahrnut v oblasti vysoké provozní účinnosti stroje pomocí dvou převodových poměrů. Příklad charakteristiky účinnosti elektromotoru pro tento poměr převodu ve vztahu k rychlosti elektromobilu je znázorněn na obr. 20. Z provedených analýz vyplývá, že použití vícerychlostní převodovky může snížit spotřebu elektrické energie z důvodu možnosti volby mezi více převodovými poměry. Volba poměru mechanického převodu je rozhodující vzhledem ke zvýšení dojezdu. Využití vícerychlostní převodovky pro elektromobily je ovlivněno provozními podmínkami. V mimoměstském provozu je vliv vícerychlostní převodovky oproti jednorychlostní zanedbatelný. U kombinovaného provozu se stává úspornější, ale nejvyšší úspory vlivem vícerychlostní převodovky se projeví v městském provozu. U elektromobilů provozovaných výhradně ve městech, kde zvyšování dojezdu není primární cíl, umožňuje vícerychlostní převodovka omezit energetickou výkonost elektrochemických baterií a zejména jejich výkon. Očekávaným výsledkem by bylo omezení jmenovité kapacity baterie až na 40%. Tím se nejen sníží objem a hmotnost baterie, ale také její cena. [23]

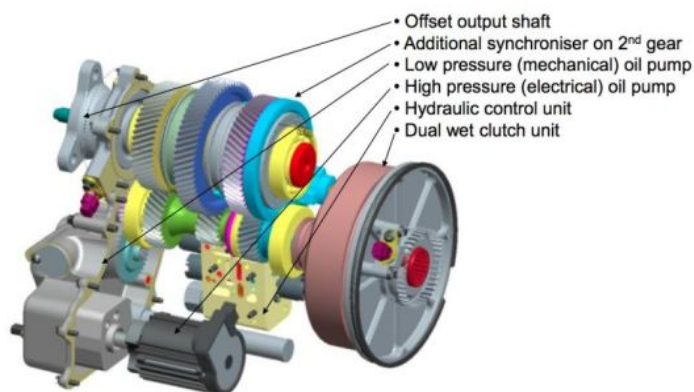


Obrázek 20 - Mapa účinnosti elektrického pohonu s maximální rychlostí 60 km/h [23]

### 3.2.1 Vícerychlostní převodovka od společnosti Antonov a ZF

Jednou z firem, která se tuto problematikou zabývá, je firma Antonov. Převodovka je na obr. 21. Firma má v plánu zařadit za elektromotor třístupňovou převodovku. Dvouhřídelové uspořádání s ozubenými koly a dvojitou spojkou pro automatické a plynulé řazení. Jejich koncepce navíc umožňuje zvýšit počet stupňů až na 4. Firma dnes už testuje pět prototypů v nákladních elektrických vozidlech Smith. Této firmě vyšlo dle testů, že účinnost je u vícerychlostní převodovky lepší až o 20% než u jednorychlostní. Jen u dvourychlostní je skoková změna v účinnosti 10%. Dalším důsledkem vícerychlostní převodovky je možnost vyrábět pohonné jednotky menších rozměrů při zachování stejných výkonových parametrů. Díky znásobení kroutícího momentu a rychlosti dokáže převodovka od firmy Antonov zmenšit potřebnou velikost elektrického motoru, baterií a výkonové elektroniky při zachování daného výkonu a dojezdu. Hmotnost prototypu byla 55 kg a délka 416 mm. Firma uvádí, že sériový model bude menší, a to o přibližně 10 kg lehčí a 40 mm kratší. Vícerychlostní převodovka nabízí kromě úspory energie i vyšší cestovní rychlost a svižnější rozjezd. Dále může být pohonné ústrojí méně robustní, a to kvůli tomu, že můžeme použít pohon s nižším kroutícím momentem. Další výhodou je, že motor bude moci déle pracovat v optimálních otáčkách, což má za následek menší opotřebení soustavy. Nevýhodou může být větší počet mechanických částí, které je potřeba pravidelně mazat a u kterých může dojít k poruše. [4] [9]





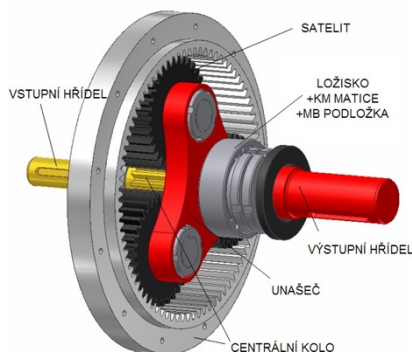
Obrázek 21 – Převodovka od firmy Antonov [9]

Další firmou, která věří v budoucnost elektromobilů s vícerychlostními převodovkami, je firma ZF. Manažer pro ZF Powertrain Technology se domnívá, že v budoucnu budou mít elektromobily 3-4 rychlosti převodu. ZF pracuje na nové formě hybridní převodovky s integrovaným elektromotorem, který by měl být představený v roce 2020. Mohl by nahradit řešení, které je v současné době používáno u hybridů BMW řady 3 a 7. Dále například u hybridu BMW i8 pohání elektromotor přední kola pomocí dvourychlostní převodovky firmy GKN, která zařadí první rychlost v režimu eDrive a druhou rychlost při smíšeném režimu. [47]

### 3.3 Planetová převodovka

Planetová převodovka obsahuje planetové převody nebo jejich soustavu, pokud se jedná o vícerychlostní převodovku. Tato převodovka obsahuje centrální kolo a unášeče, které rotují kolem hlavní osy, dále jsou zde satelity, které vykonávají dva pohyby. Jsou unášeny unášečem kolem hlavní osy a současně rotují kolem vlastní osy. Uspořádání je na obr. 22. Planetové převodovky mohou dosahovat velkého převodového poměru při souosé hnací i hnané hřídeli. Výhodou tohoto řešení je, že má menší rozměry oproti klasickým převodovkám větší životnost než kola v klasické převodovce, což má za následek možnost použití více satelitů, čímž značně odlehčíme ložiska a to vede ke zvýšení trvanlivosti převodu. Účinnost je až 97%. Nevýhodou je vyšší cena v důsledku potřeby přesnější výroby i montáže. Dále mají vyšší počet ozubených kol, z čehož vyplývá i vyšší počet ložisek. To má za následek nutnost vyššího mazání. [24]

Jednou ze společností, která využila planetovou převodovku pro elektrické dopravní prostředky, je společnost Accel Group. Ta představila nábojový elektromotor pro elektrokola s vestavěnou planetovou převodovkou s pěti rychlostmi. Dále planetovou převodovku využívá Plug-In Hybrid Chevrolet Volt a elektromobil Chevrolet Spark EV. [38]



Obrázek 22 - Planetová převodovka [24]

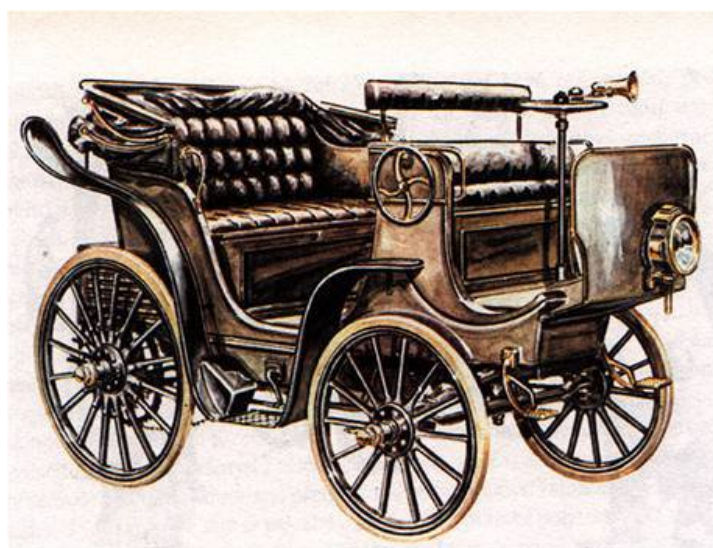
### 3.4 Porovnání typů převodovek pro elektromobily

Z hlediska hmotnosti a spolehlivosti je výhodnější volit převodovku jednorychlostní, jelikož obsahuje méně mechanických dílů, tím pádem je i lehčí a menší a má menší nároky na mazání. Dalším faktorem je účinnost. Nejde jednoznačně říct, jestli je účinnější pohon s jednorychlostní, nebo vícerychlostní převodovkou, jelikož hodně záleží na provozním prostředí a konkrétně na tom, zda se jedná převážně o městský, mimoměstský nebo kombinovaný provoz. Nejvyšší smysl použití vícerychlostní převodovky je u malých městských automobilů, kde se projevují výhody právě vícerychlostní převodovky, jako je vyšší účinnost oproti jednorychlostní, jelikož jsou převážně provozována při malých rychlostech ve městě. Planetová převodovka má vyšší účinnost oproti klasické, ale je dražší a je třeba ji více promazávat.

## 4 Historie elektromobilů

I když se může zdát, že elektromobily jsou vynálezem poslední doby, opak je pravdou. Nejde přesně určit, kdo stojí za vynálezem elektromobilu, jelikož kolem roku 1800 byla většina vynálezců nadchnuta elektrickou energií. Za zrod elektromobilů by se dal považovat rok 1828, ve kterém maďarský vynálezce Ányos Jedlik vynalezl prototyp elektrického motoru a ihned ho napadlo použít ho pro vozidlo se čtyřmi koly. Po šesti letech, v roce 1834, sestrojil Thomas Davenport prototyp malého autíčka na kolejích, který měl pouze jezdit dokola na stole. Tento prototyp ovšem neuvezl ani váhu vlastních baterií a byl investory smeten ze stolu. Následně nastal útlum, a to hlavně kvůli malé kapacitě baterií a nemožnosti nabíjet tyto baterie. Průlomem bylo vynalezení olověné baterie, kterou vynalezl francouzský fyzik Gaston Planté. [16]

Olověnou baterii použil i proslulý český elektrotechnik František Křižík, který svůj první elektromobil dokončil roku 1895 obr. 23. Tento elektromobil měl výkon 5 koní a náhon na zadní nápravu. Původně se používala k řízení páka, která byla následně vystřídána volantem, pohyb vpřed se obsluhoval pedály. Baterie byly uloženy nad zadní nápravou. Jeho nástupce následně vybavil automobil dvěma elektromotory, každý z nich měl výkon 3 koní. Další vůz tohoto vynálezce disponoval benzínovým agregátem, který zajišťoval zvýšený dojezd. Tímto způsobem to dnes řeší například BMW u svého modelu i3. [16]



Obrázek 23 – Elektromobil Ing. Františka Křižíka [16]

Další elektrotechnik, který se zabýval elektromobily, je z Ruska. I. V. Romanov představil v roce 1899 svůj dvousedadlový elektromobil, který dosahoval až rychlosti 35 km/h s dojezdem 60 km, což byly slušné hodnoty. Tento elektromobil měl dva motory uložené vzadu a každý z nich měl výkon 6 koní, motory byly s kolem spojeny přímo. [13] Ale pravý převrat se stal v USA, kde v roce 1896 vznikla první prodejna elektromobilů American Electric. V této době se elektromobil pyšnil světovým rekordem v maximální dosažené rychlosti, což dostalo elektromobily do povědomí lidí jako plnohodnotné náhrady za spalovací stroje. Jeden z těchto rekordů vytvořil Belgičan Camille Jenatzy, který v roce 1899 ve voze Jamais Contente překonal rychlost 100 km/h. [16]

Tento elektromobil byl tvarem karosérie inspirován vzducholoděmi obr. 24. Byl vybaven sty dvouvoltových baterií. Kvůli hmotnosti se karosérie skládala z nýtovaných plechů ze slitiny hliníku, wolframu a hořčíku. Na zadní nápravu byly namontované dva elektromotory s kombinovaným výkonem 50 kW. Převod výkonu byl řešen pouze řetězem z hřídeli elektromotoru na kolo, jak je vidět na obrázku 24 vpravo. Používal pneumatiky namísto kol z pevné gumy, které poskytli dva průkopníci, Edouard a Andre Michelin.[17]



Obrázek 24 – Elektromobil Jamais Contente, obrázek zadní nápravy s převodem a elektromotorem [17]

Po třech letech dosáhl elektromobil Torpédo KID rychlosti téměř 170 km/h. Následoval neúspěšný pokus použít elektromobily s vyměnitelnou baterií jako taxíky ve velkých městech USA. Benzínový konkurent začal získávat silnější pozici. To bylo zásluhou Henryho Forda a jeho Modelu T, který měl oproti elektromobilu cenovku přibližně 400 dolarů. Na tu se dostal díky rychlé výrobě, levným součástkám nezahrnujícím baterii. Elektromobily v té době stály na showroomech okolo 1700 dolarů. Další ránou pro

elektromobily bylo nalezení nových ložisek ropy a vynález elektronického startéru, díky kterému odpadlo složité startování spalovacích motorů klikou. [16]

Kvůli ropné krizi si lidé v Japonsku mohli koupit mezi lety 1949 – 1951 malé elektrické auto - obr. 25 vlevo. Firma, která auto vyrobila, se nazývala Tama Electric Motorcar Company. Tato Tokijská značka patřila Nissanu a dá se říct, že je to předchůdce Nissanu Leaf. Dojezd tohoto automobilu byl 65 km, maximální rychlost 35 km/h a výkon elektromotoru 4,5 hp. Motor byl DC sériově buzený. Elektromobily se zabývala i francouzská firma Compagnie Normande d'Etudes pour l'Application de Procédés Mécaniques. Tato firma postavila velmi slušný hybrid, který se jmenoval Arbel. Karoserie automobilu byla z laminátu a pod ní byl čtyřválcový motor o objemu 1,1 litru, který měl výkon 45 koňských sil. Automobil měl čtyři elektromotory zabudované u jednotlivých náprav automobilu. Tento vůz měl jeden pedál a brzdil automaticky při sundání nohy z plynu. Jeho maximální rychlost byla 152 km/h a průměrná spotřeba benzínu byla 7,3 l/100 km. [18]



Obrázek 25 – Tokijský elektromobil vlevo a anglický Enfield 8000 [18]

V letech 1973 – 1977 se vyráběl v Anglii automobil Enfield 8000 - obr. 25 vpravo, byl to dvou sedadlový automobil poháněný osmi 12 V olověnými bateriemi. Vůz vyráběla společnost Enfield Automotive, na jedno nabití ujel zhruba 65 km a dosahoval maximální rychlosti 77 km/h. Poháněn byl 48 V DC elektromotorem o výkonu 6 kW s přímým pohonem kol. Bylo vyrobeno pouze 120 kusů. Ve stejné době vznikl v Itálii Elcar Zele 1000, 1500, 2000, který byl taktéž dvoumístný, měl dojezd 96 km a maximální rychlost 72 km/h. Tento elektromobil poskytoval šest rychlostních stupňů vpřed a dva vzad. Zele 2000 umožňoval přepnout zesílení magnetického pole motoru. Zeslabením pole se snížil točivý moment, ale zvýšila se maximální rychlost. Za tímto vozem stála firma Zagato. [40] V roce 1994

předělala firma Solectria vůz Geo Metro na elektromobil. Tento vůz byl v Evropě znám jako Suzuki Swift. Byl to sedan pro 4 osoby s dojezdem 80 km. Avšak v závodu Tour de Sol, jehož trasa vedla z New Yorku do Filadelfie, dokázal ujet rekordních 321 km. Maximální rychlost byla 110 km/h. Poháněn byl třífázovým AC elektromotorem s jednorychlostní převodovkou. Měl třináct 12 V baterií. [41] První elektromobil, který se dal označit za praktický, se objevil v roce 1992 a jednalo se o model Ecostar. Tato dodávka vyráběná Fordem dosahovala maximální rychlosti 112 km/h a na jedno nabití ujela 130 až 160 km, ale při testu, kdy se držela konstantní rychlost 40 km/h, ujela 320 km. Poháněn byl třífázovým elektromotorem o výkonu 75 koní s točivým momentem 143 Nm., byl umístěn pod kapotou jako klasický spalovací motor. Pohonné ústrojí obsahovalo jednorychlostní převodovku. [42] Na žádost Švýcarů se začal v roce 1992 na základech Favoritu vyrábět český elektromobil Škoda Eltra 151L jak v klasickém, tak v Pick-up provedení obr - 26. Vůz měl 14 olověných baterií s napětím 6 V a kapacitou 10 kWh o hmotnosti 420 kg a byl poháněn elektromotorem o výkonu 20 koní a 49 Nm se spotřebou 20 kWh. Dojezd byl až 80 km a maximální rychlost činila okolo 80 km/h. Celkem bylo vyrobeno 1 100 vozů, většina vozů skončila ve Švýcarsku. Velkou zajímavostí tohoto elektromobilu je fakt, že se může jednat o jediný elektromobil v historii, který použil standartní manuální převodovku z benzínového favoritu, jen bez pátého rychlostního stupně. [43] O rok později představila Toyota svůj hybridní vůz Prius, který dobíjel baterie pouze pomocí rekuperace při brzdění. I když se nejedná o čistě elektromobil, hned prvním rokem bylo prodáno neuvěřitelných 18 000 ks. [18]



Obrázek 26 – Elektromobil Škoda Eltra [20]

Společnost Toyota dokázala prodat 8 milionů kusů hybridních automobilů a z toho 5 milionů tvořil právě Prius. Toto čísla svědčí o tom, že se elektromobily dostaly do

povědomí lidí. Dalším výrobcem, který vyráběl elektromobily, byl General Motors, a to od roku 1997 až do roku 1999. Jednalo se o první sériově vyráběný elektromobil - obr. 27. Od začátku výroby se počítalo s tím, že je to elektromobil, tudíž se nejednalo o přestavbu stávajícího automobilu. Tento elektromobil patřil k jedněm z prvních automobilů, které použily hliník při konstrukci rámu. Pro zvýšení účinnosti měl velmi nízký koeficient odporu, a to 0,19. Elektromobil poháněl třífázový indukční elektromotor s výkonem 102 kW při 7000 od/min. Výkon byl přenášen k předním kolům pomocí integrované jednorychlostní převodovky. Baterie vážily 535 kg měly kapacitu 16,5 kWh a dojezd přibližně 100 km. [39] Na trh vstupuje v roce 2008 společnost Tesla Motors sportovním autem budoucnosti Tesla Roadster, který stál lehce přes 2,5 mil Kč. Tento model měl dojezd 320 kilometrů a zrychlení z 0 na 100 km/h za 3,9 vteřiny. [19]



*Obrázek 27 - General Motors EV1 interiér a exteriér [39]*

## 5 Dopravní prostředky s elektrickým pohonem

### 5.1 Dvoustupá vozidla pod 3,5 t

#### 5.1.1 Tesla

Automobilka vstoupila na trh v roce 2008, kdy představila svůj první elektromobil Tesla Roadster. Dnes vyrábí Model S, SUV Model X a Model 3. U názvů těchto elektromobilů - např. P100D- písmeno „P” jako Performance edition znamená výkonnější verzi, „D” znamená pohon všech čtyř kol AWD a číslo značí počet kWh baterie.

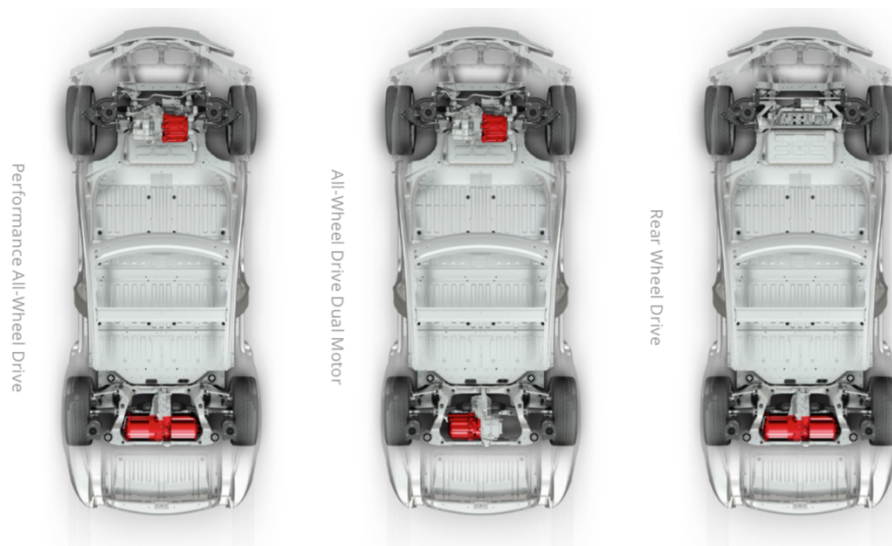
##### 5.1.1.1 Model S

Tento elektromobil se dělí na více modelů jak podle kapacity baterie, tak podle výkonu. Od roku 2014 pohání tyto vozy dva nebo jeden třífázový střídavý asynchronní elektromotor s měděným rotorem. Motory jsou řízeny frekvenčním měničem a rekuperačním brzdovým systémem. Zadní náprava má tradiční otevřený diferenciál, přičemž zadní a přední náprava nejsou mechanicky spojeny, distribuce energie je řízena elektricky. Motor vpředu má jednorychlostní jednostupňovou převodovku, zatímco motor vzadu má jednorychlostní dvoustupňovou převodovku. Uložení motorů na podvozku je vidět na obrázku 28. Bližší technické specifikace jsou uvedeny v tabulce 4. [25] [26] [27]

Tabulka 4 - Technická data Tesla Model S [27]

Maximální výkon	Až 568 kW
Maximální točivý moment	Až 931 Nm
Maximální rychlost	250 km/h
Kapacita baterie	85 - 100 kWh
Dojezd	Až 540 km
Zrychlení z 0 na 100 km/h	2,4 s
Hmotnost	2,24 t
Rozměry (délka x šířka x výška)	4979 x 2187 x 1445 mm
Cena	Od 1 735 000 Kč





Obrázek 28 – Uspořádání uložení motorů elektromobilu Tesla Model S

### 5.1.1.2 Model X

Model X se také vyrábí v různých řadách. Stejně jako u Modelu S si zákazník může vybrat z různých kapacit baterií a náhonem pouze na přední nápravu nebo náhonem na všechna 4 kola. Typy motorů a převodovek jsou totožné s Modelem S. Bližší technické specifikace jsou uvedeny v tabulce 5. [27]

Tabulka 5 - Technická data Tesla Model X [27]

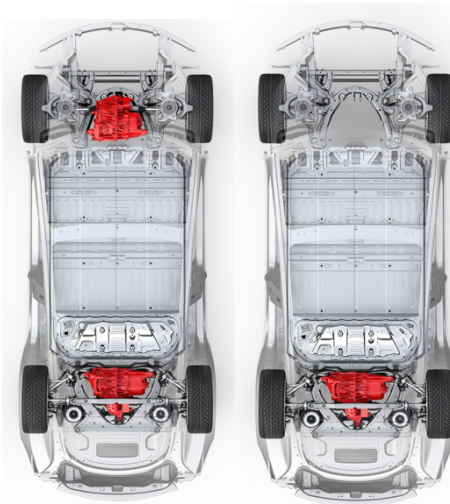
Maximální výkon	Až 568 kW
Maximální točivý moment	Až 931 Nm
Maximální rychlost	250 km/h
Kapacita baterie	85 - 100 kWh
Dojezd	Až 475 km
Zrychlení z 0 na 100 km/h	2,8 s
Hmotnost	2,51 t
Rozměry (délka x šířka x výška)	5037 x 2271 x 1626 mm
Cena	Od 1 826 900 Kč

### 5.1.1.3 Model 3

U tohoto modelu Tesla změnila typ motoru na synchronní reluktanční motor s permanentními magnety na přední nápravě, pokud je poháněna pouze přední náprava, ale u náhonu obou náprav je na přední nápravě ASM a na zadní zase PMSRM. Uložení motoru v obou provedeních je na obrázku 29. Výrobce udává, že převodovka u tohoto modelu má životnost 1 milion mil. Jedná se o převodovku jednorychlostní. Na obrázku 30 je převodovka po 1 milionu mil. Bližší technické specifikace jsou uvedeny v tabulce 6. [27]

Tabulka 6 - Technická data Tesla Model 3 [27]

Maximální výkon	Až 258 kW
Maximální točivý moment	- Nm
Maximální rychlost	Až 260 km/h
Kapacita baterie	50 kWh (350 V)
Dojezd	Až 500 km
Zrychlení z 0 na 100 km/h	3,2 s
Hmotnost	1,85 t
Rozměry (délka x šířka x výška)	4694 x 2089 x 1443 mm
Cena	Od 716 900 Kč



Obrázek 29 - Uspořádání uložení motorů elektromobilu Tesla Model 3 v provedení AWD a náhonu pouze na předek [27]



Obrázek 30 - Převodovka Tesla Model 3 po 1 milionu mil [54]

#### 5.1.1.4 Model Y a Roadster

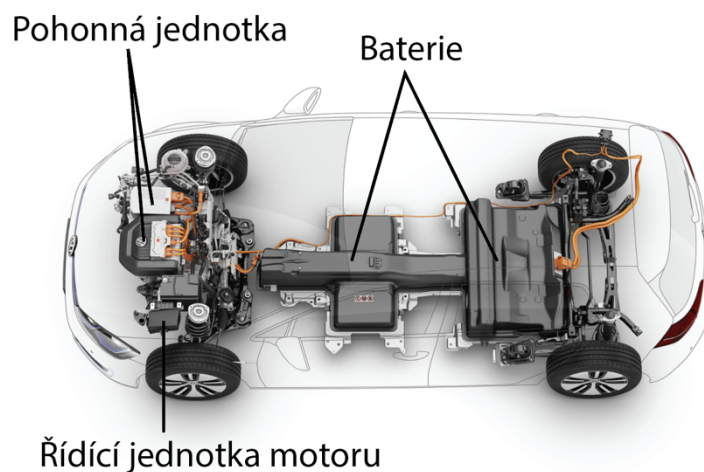
Další modely, které Tesla představí, jsou Model Y a Roadster. Model Y bude malé SUV podobné modelu X, ovšem s nižší cenou a menším dojezdem. Posledním modelem, který firma bude zatím vyrábět, je nový Roadster jedná se elektromobil, který by se dal považovat za super sport, zrychlení z 0 na 100 km/h je za 1,9s. Dojezd firma uvádí 1000 km a maximální rychlost přes 402 km/h. [27]

#### 5.1.2 Volkswagen e-Golf

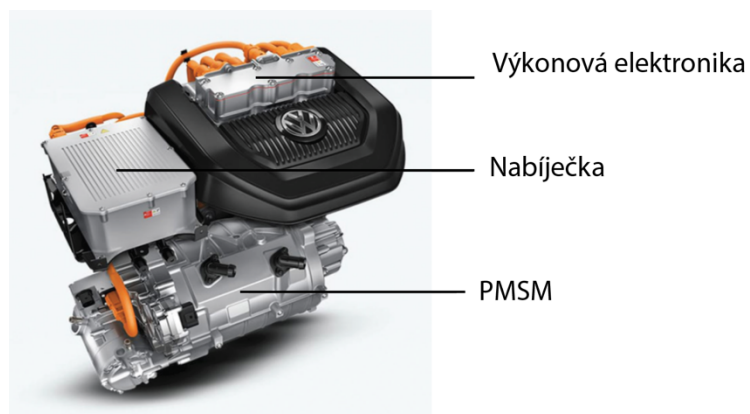
Tento elektromobil je postaven na nejúspěšnějším modelu od Volkswagenu, a to modelu Golf. Vzhled je naprosto identický s klasickým Golfem, ani podvozek neprošel zásadní změnou, proto se dá říct, že baterie byly uloženy tam, kde se vešly v prostoru uprostřed elektromobilu a pod zadními sedadly, jak je vidět na obrázku 31. VW e-Golf je poháněn střídavým synchronním elektromotorem s permanentními magnety o maximálních otáčkách 12000 ot./min, který je uložen vpředu. Má jednorychlostní převodovku a náhon na přední kola. Motor, převodovka a diferenciál jsou vidět na obrázcích 32 a 33. Baterii tvoří 264 článků, lithium-iontová baterie pochází od firmy Samsung a váží 318 kg. Další informace jsou v tabulce 7. [28] [29]

Tabulka 7 - Technická data VW e-Golf [29]

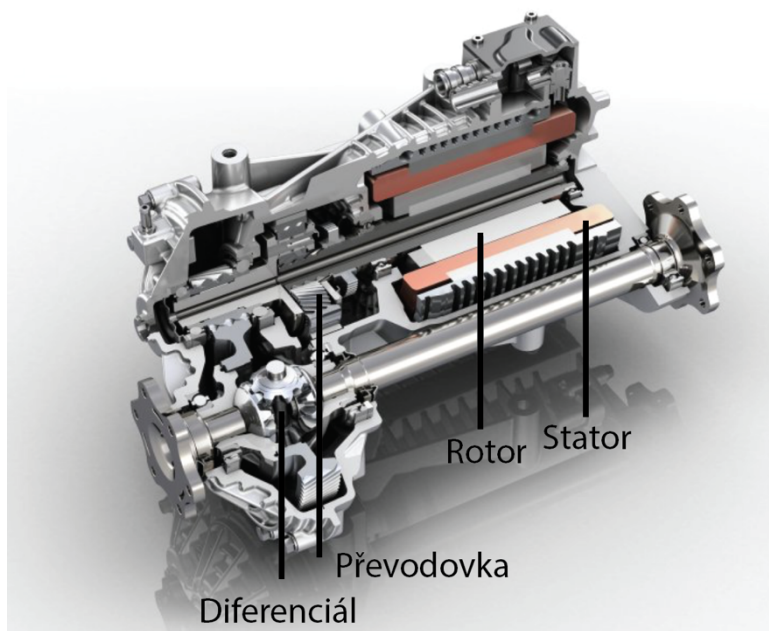
Maximální výkon	100 kW
Maximální točivý moment	290 Nm
Maximální rychlost	150 km/h
Kapacita baterie	35,8 kWh (323 V)
Dojezd	200 – 300 km
Zrychlení z 0 na 100 km/h	9,6 s
Hmotnost	1,6 t
Rozměry (délka x šířka x výška)	4270 x 1799 x 1482 mm
Cena	Od 993 900 Kč



Obrázek 31 - Rozmístění baterií a pohonu u VW e-Golf [29]



Obrázek 32 - Pohonná jednotka VW e-Golfu [14]



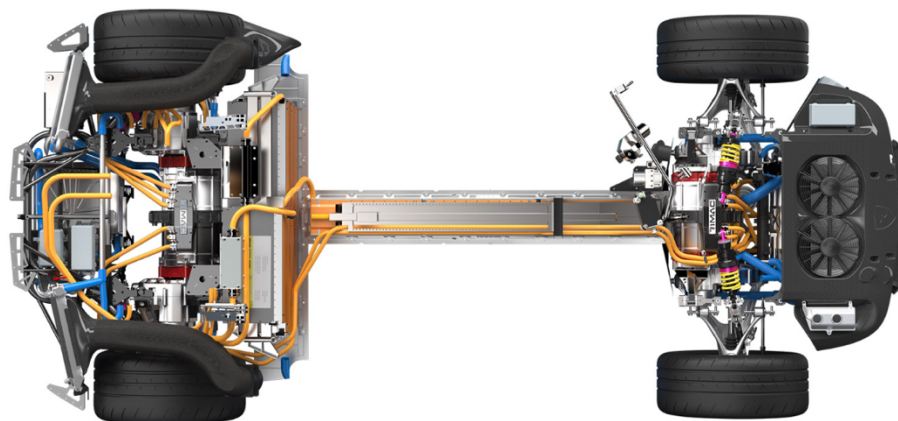
Obrázek 33 - Synchronní motor s PM a převodovkou a diferencíalem [15]

### 5.1.3 Rimac Concept One

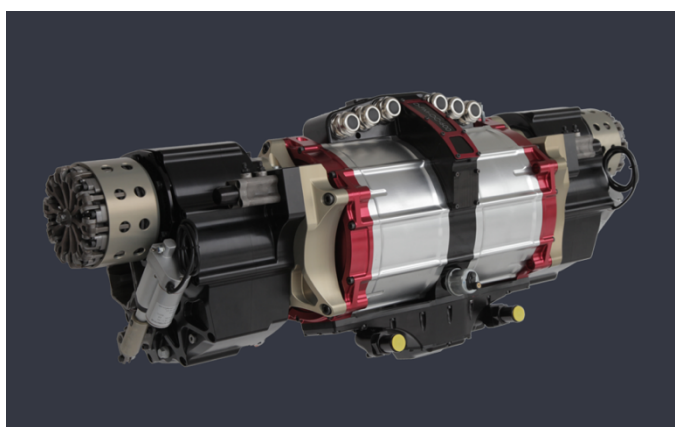
Jedná se o elektrický super sport. Hnací soustava je rozdělena do čtyř subsystémů, každý obsahuje nezávislý inverter, elektromotor a převodovku pro každé kolo nezávisle. Zatímco přední dva elektromotory mají jednorychlostní převodovky, zadní elektromotory mají dvojrychlostní převodovku s dvojitou spojkou na každé straně - obr. 34 a 35. Další informace jsou v tabulce 8. [30]

Tabulka 8 - Technická data Rimac Concept One [30]

Maximální výkon	913 kW
Maximální točivý moment	1600 Nm
Maximální rychlost	355 km/h
Kapacita baterie	90 kWh
Dojezd	330 km
Zrychlení z 0 na 100 km/h	2,5 s
Hmotnost	1,85 t
Rozměry (délka x šířka x výška)	4548 x 1854 x 1198 mm
Cena	V přepočtu více než 27 mil. Kč



Obrázek 34 - Rozložení pohonu Rimac Concept One [30]



Obrázek 35 - Motory a převodovka zadní nápravy Rimac Concept One [30]

#### 5.1.4 MW Motors Luka EV

Tento elektromobil se liší od ostatních především vzhledem a motorem umístěným v kole. Jak se píše na webových stránkách výrobce: „STYLE FROM THE PAST, TECHNOLOGY FROM THE FUTURE“, elektromobil je vidět na obrázku 36. Jedná se o sériový elektromobil poháněný čtyřmi BLDC elektromotory uloženými v kole. Každý má výkon 12,5 kW, čímž vzniklo hodně zavazadlového prostoru. Elektromobil se řadí mezi levnější elektromobily. Díky nízké hmotnosti elektromobilu má Luka EV spotřebu 6,8 kWh / 100 km. Díky této spotřebě a menšímu výkonu stačí i menší baterie na dojezd 300 km. Na obrázku 37 můžeme vidět, že na uchycení motoru byla použita dvě ramena. Další informace jsou v tabulce 9. [31]

Po kontaktování výrobce potvrdil, že neodpružená hmotnost je nevýhodou tohoto řešení, jelikož jsou kladené větší nároky na tlumiče. Tato nevýhoda je nejvíce znát při rychlém průjezdu zatáčkou, kde je zvlněný asfalt. Další nevýhodou jsou vysoké nároky na

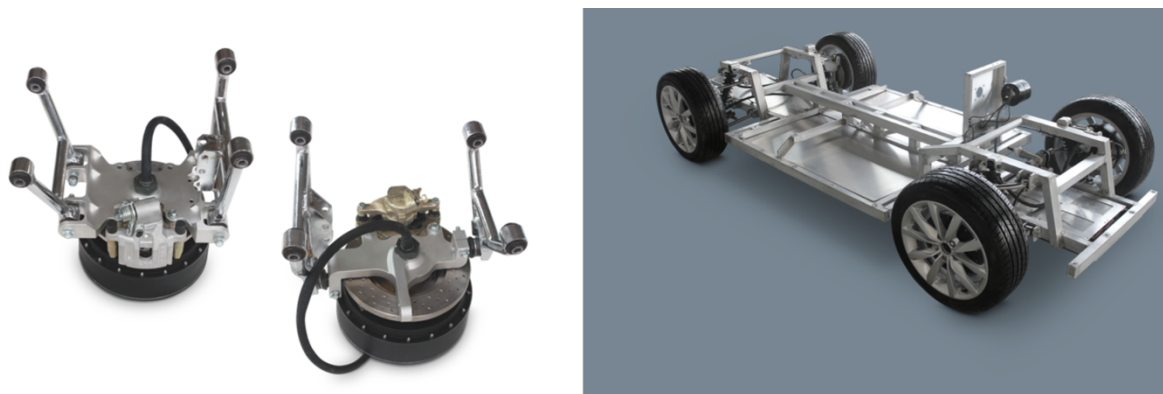
rozměry motoru, odolnost vůči vibracím, hmotnost a vysoké nároky na axiálně-radiální síly působící na kolo. Výhodou je, že motory nemají žádný reduktor a žádné olejové náplně, tím pádem téměř žádné ztráty. Jdou nezávisle regulovat, jsou ideálně rozloženy v konstrukci podvozku, jde o ideálně hmotnostně vybalancované auto a motory jsou absolutně bezúdržbové. Dále výrobce uvedl, že je velmi obtížné najít vhodný motor pro uložení do kola z důvodu malého množství výrobců. Motory, které použily, byly vyrobeny na míru. Závady motoru zatím neměli, jen se jednou povolily šrouby držící motor pohromadě.

Tabulka 9 - Technická data Luka EV [31]

Maximální výkon	50 kW
Maximální točivý moment	- Nm
Maximální rychlost	146 km/h
Kapacita baterie	21,9 kWh
Dojezd	300 km
Zrychlení z 0 na 100 km/h	9,6 s
Hmotnost	815 kg
Rozměry (délka x šířka x výška)	4050 x 1620 x 1220 mm
Cena	V přepočtu cca 770 000 Kč



Obrázek 36 - Elektromobil Luka EV [31]



Obrázek 37 - BLDC motor a podvozek elektromobilu Luka EV [31]

### 5.1.5 Chevrolet Spark EV

Jedná se o malý městský elektromobil s náhonem na pření kola. Elektromobil je vybaven elektronicky řízenou, plně automatickou převodovkou s variabilními otáčkami. Skládá se ze dvou náprav, motoru, planetové převodovky, diferenciálu a vysokonapěťového pomocného kapalinového čerpadla. Uspořádání je vidět na obrázku 38 a 39. Motor je zde střídavý třífázový s permanentními magnety. Elektromobil je vybaven palubní nabíječkou pro střídavé a stejnosměrné napětí. Bližší informace v tabulce 10. [48]

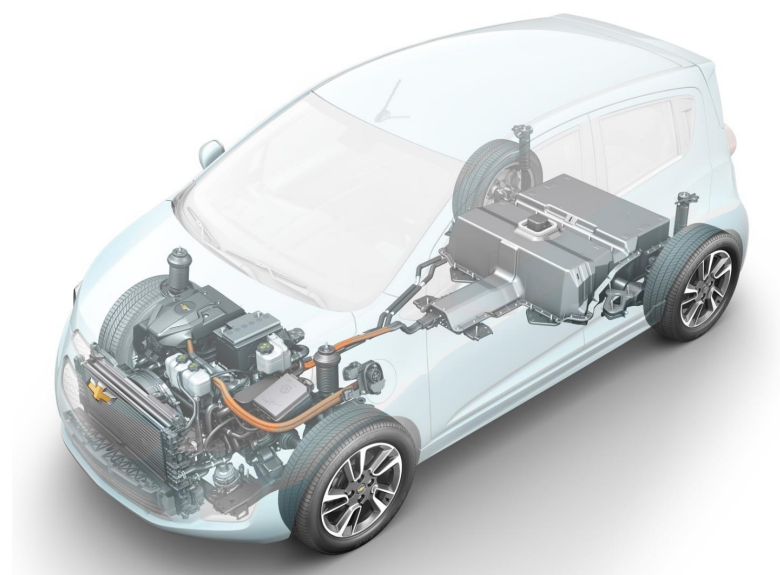
Tabulka 10 - Technická data Chevroletu Spark EV [49]

Maximální výkon	105 kW
Maximální točivý moment	443 Nm
Maximální rychlost	145 km/h
Kapacita baterie	21 kWh
Dojezd	132 km
Zrychlení z 0 na 100 km/h	7,5 s
Hmotnost	1356 kg
Rozměry (délka x šířka x výška)	3721 x 1626 x 1628 mm
Cena	V přepočtu cca 560 000 Kč





Obrázek 38 - Pohonná sestava Chevroletu Spark EV [48]



Obrázek 39 - Rozložení komponentů v Chevroletu Spark EV [48]

### 5.1.6 Mercedes-Benz SLS AMG Coupe Electric Drive

Jedná se o první elektrický super sport - obrázek 40. Tento elektromobil je poháněn čtyřmi synchronními elektromotory s permanentními magnety, z nichž každý váží 45 kg, mají maximální rychlost 13 000 otáček za minutu a selektivně pohánějí čtyři kola pomocí speciálního uspořádání axiální převodovky pro každou nápravu. Elektromobil má kapalinou chlazenou vysokonapěťovou lithium-iontovou baterii s maximálním napětím 400 V. Elektromotory jsou chlazené dvěma chladicími okruhy a baterie jedním, s možností využití klimatizace při hrozbě přehřátí a tím možností prodloužit životnost baterie. Dále má elektromobil moderní strukturu skeletu karoserie, akumulátor je uložen ve skořepinové konstrukci z uhlíkových kompozitů, která je páteří kupé s křídlovými dveřmi a odpružení je

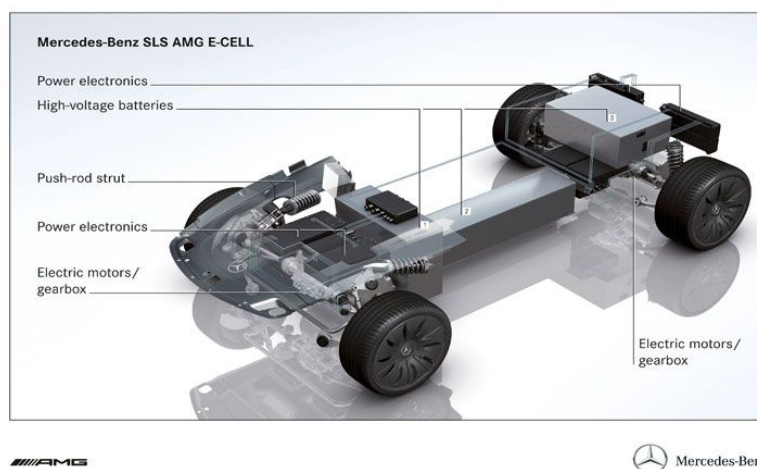
typu Push-rod, které můžeme vidět třeba u formulí. To vše je vidět na obrázku 41 a další informace jsou v tabulce 11. [50]

Tabulka 11 - Technická data Mercedes-Benz SLS AMG Electric Drive [50]

Maximální výkon	552 kW
Maximální točivý moment	1000 Nm
Maximální rychlost	250 km/h
Kapacita baterie	60 kWh
Dojezd	250 km
Zrychlení z 0 na 100 km/h	3,9 s
Hmotnost	2110 kg
Rozměry (délka x šířka x výška)	4640 x 1940 x 1260 mm
Cena	V přepočtu cca 10 700 000 Kč



Obrázek 40 - Mercedes-Benz SLS AMG Electric Drive [50]



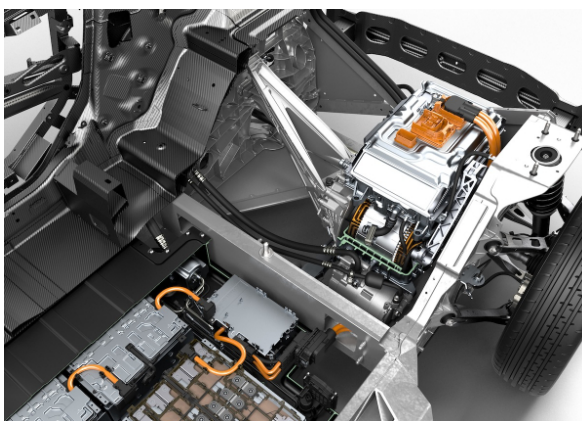
Obrázek 41 - Kostra Mercedesu SLS AMG ED [55]

### 5.1.7 BMW i3

Tento elektromobil má poháněnou zadní nápravu pomocí synchronního motoru s permanentními magnety, jednorychlostní převodovkou a diferenciálu, pohonná jednotka je znázorněna na obrázku 43. Díky rozložení pohonné jednotky a baterií, která je vidět na obrázku 42 je rozložení váhy 50:50. [60]

Tabulka 12 – Technická data BMW i3 [59]

Maximální výkon	125 kW
Maximální točivý moment	250 Nm
Maximální rychlost	150 km/h
Kapacita baterie	42 kWh
Dojezd	360 km
Zrychlení z 0 na 100 km/h	7,2 s
Hmotnost	1345 kg
Rozměry (délka x šířka x výška)	4011 x 1775 x 1598 mm
Cena	Od 936 554 Kč



Obrázek 42 - Uložení pohonné jednotky a baterií [60]



Obrázek 43 - Pohonná jednotka BMW i3 [59]

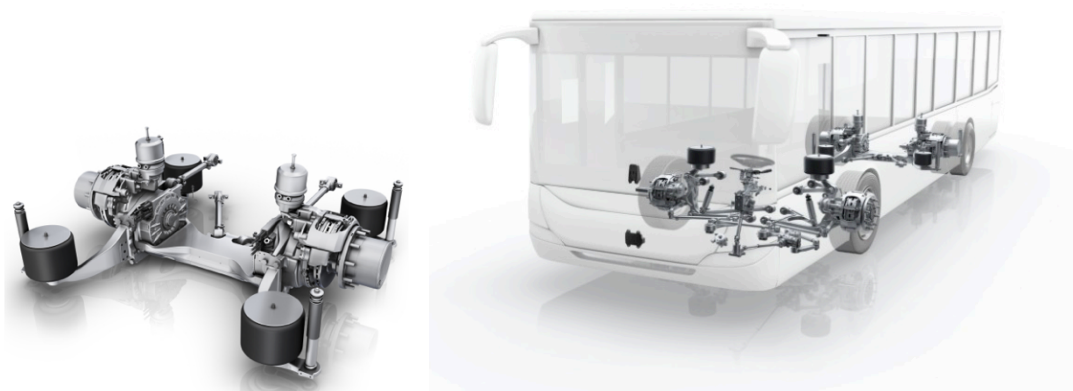
## 5.2 Dvoustopá vozidla nad 3,5 t

### 5.2.1 ZF AxTrax AVE a CeTrax

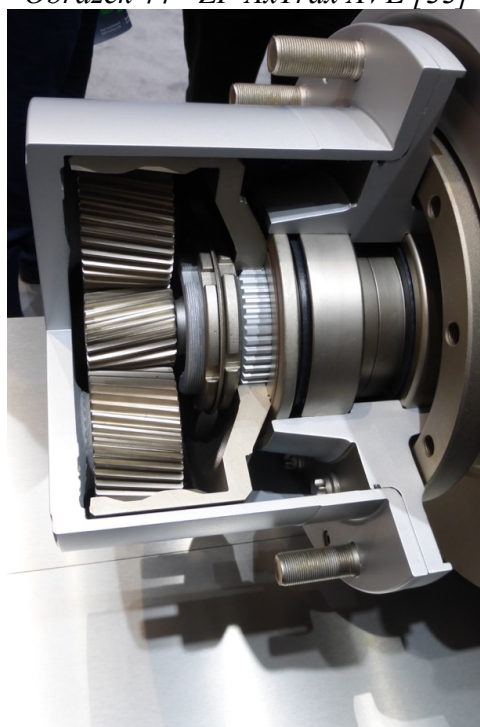
Systémová řešení společnosti ZF mají zjednodušit přechod na autobusy s elektrickým pohonem. Elektrická portálová náprava AxTrax AVE a centrální elektrický pohon CeTrax jsou kompatibilní se všemi modely městských autobusů. [33]

#### 5.2.1.1 ZF AxTrax AVE

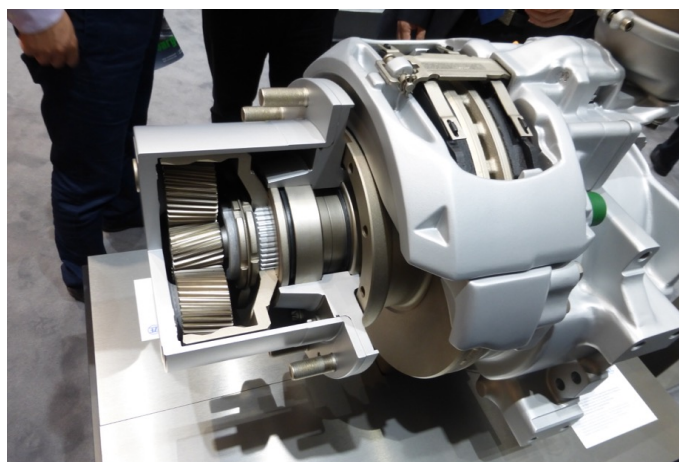
Jedná se o kompletní systémové řešení pohonu elektroautobusů, včetně všech požadovaných komponent, jako jsou pokročilé střídače, řízené měniče a zbytek výkonové elektroniky včetně kompatibilního softwaru od jednoho poskytovatele. Řešení je vidět na obrázku 44 a převodovka je vidět na obrázcích 45 a 46. Instalační prostor potřebný pro elektrickou nápravu AxTrax AVE je přibližně stejný jako u konvenční nápravy, což pro výrobce znamená velké úspory nákladů, jelikož nemusí vyvíjet nové podvozky pro elektroautobusy. AxTrax AVE může být kombinován s téměř jakýmkoliv konvenčním zdrojem energie včetně baterií, generátorů, palivových článků nebo dokonce trolejovým vedením. Je také vhodný pro sériové hybridní verze. To dává výrobcům a provozovatelům veřejné dopravy maximální flexibilitu při volbě zdroje napětí. Každé kolo je poháněno kompaktním, vysokorychlostním, kapalinou chlazeným asynchronním motorem pro udržení nízké hmotnosti nápravy. Vzhledem k tomu, že není zapotřebí žádný samostatný motor nebo kloubová hřídel, jelikož je toto všechno obsaženo v paketu tohoto řešení jako celek, snižuje se tím potřebný prostor a hmotnost vozidla. Tento prostor navíc nabízí místo pro výkonnější baterie nebo pro modernizaci interiéru za účelem vyšší přepravní kapacity cestujících. AxTrax AVE navíc nevyžaduje žádné speciální komponenty kol. Lze použít obě kombinace s ráfky, které se používají v běžném autobuse, stejně jako standartní kotoučové brzdy. Brzdy jsou namontované ve stejné poloze s nízkou údržbou jako u standartních náprav. [33]



*Obrázek 44 - ZF AxTrax AVE [33]*



*Obrázek 45 - Pohon ZF AxTrax AVE*

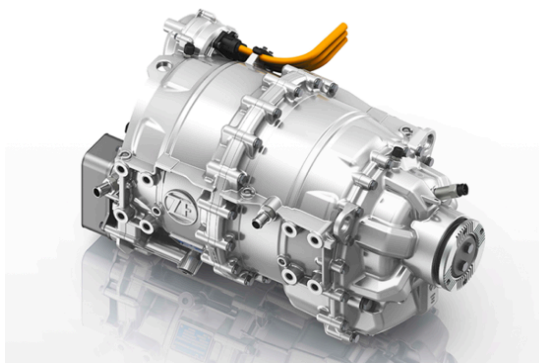


*Obrázek 46 - Pohon ZF AxTrax AVE*

První výrobce autobusů, který využil toto řešení, je britský výrobce Alexander Dennis Ltd. Autobus navržený společností ADL je založen na produktové řadě Enviro400 společnosti ADL. Jedná se o dvoupatrový autobus. Tato konfigurace zahrnuje bezpečný systém. Ten přeměňuje vodík na elektřinu, která pohání AxTrax AVE. [34]

### 5.2.1.2 ZF CeTrax

ZF navíc nabízí nový elektrický pohon CeTrax jako systémové řešení pro nízkopodlažní a vysokopodlažní autobusy. Pohon je vidět na obrázku 47. Díky řešení Plug-and-Drive může být pohon integrován do stávajících podvozků autobusů, aniž by bylo nutné provádět jejich zásadní změny, a to ani náprav, diferenciálu nebo statiky. CeTrax je konfigurován s maximálním výkonem až 300 kW a maximálním točivým momentem 4400 Nm. Nabízí značné hmotnostní výhody a výbornou účinnost. CeTrax také obsahuje kompletní řešení včetně měniče, střídače a další. [33]



Obrázek 47 - ZF CeTrax [33]

### 5.2.2 Tesla Semi

Jedná se o chystaný první elektrický tahač. Tento tahač utáhne až 36 300 kg. Tahač bude pohánět čtveřice elektromotorů stejných, jako má Tesla Model 3, tedy PMSRM. Spotřeba elektrické energie na 1 míli by měla být menší než 2 kWh. Baterie budou uloženy v podlaze kabiny. Tahač má velmi nízký koeficient aerodynamického odporu 0,36 (Bugatti Chiron 0,38). Jelikož se nejedná o již dostupné vozidlo, konkrétní informace nejsou ještě dostupné. Na obrázku 48 jsou vidět dva prototypy, které byly oficiálně představeny v roce 2017. Dostupné informace jsou v tabulce 13. [56]

Tabulka 13 – Technická data Tesla Semi [56]

Maximální výkon	- kW
Maximální točivý moment	- Nm
Maximální rychlost	- km/h
Kapacita baterie	- kWh
Dojezd	500 - 800 km (záleží na zvolené kapacitě)
Zrychlení z 0 na 100 km/h	5 s bez zátěže (klasický tahač 15 s), 20 s se zátěží 35t (klasický tahač 60 s)
Hmotnost	- kg
Rozměry (délka x šířka x výška)	- mm
Cena	3 215 000 – 3 860 000Kč v závislosti na konfiguraci



Obrázek 48 - Tesla Semi [56]

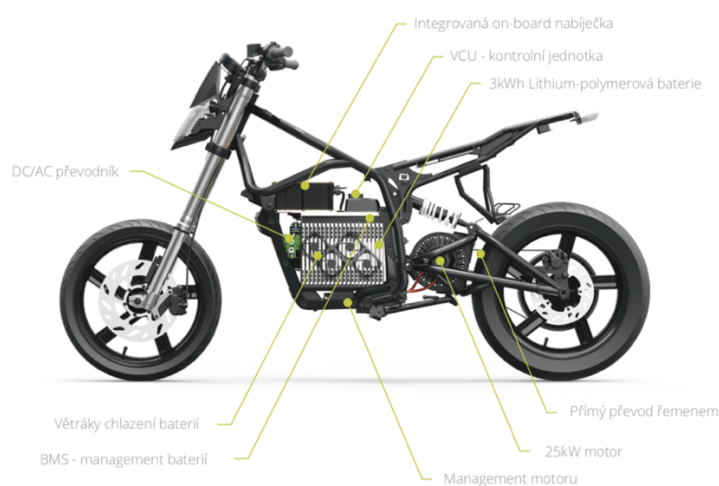
## 5.3 Jednostopá vozidla

### 5.3.1 Volta motorbikes BCN

Jedná se o elektrické motocykly, které mají stejnosměrný kartáčový motor uložený v rámu - viz obr. 49. Převod je přímý pomocí řemene. Každý z modelů má možnost volby nastavení jízdního režimu mezi Sport, City a ECO. Při nich se omezuje maximální rychlost a točivý moment, čímž prodlužují dojezd. Další informace jsou v tabulce 14.[32]

Tabulka 14 - Technická data Volta motorbikes [32]

Maximální výkon	25 kW
Maximální točivý moment	67 Nm
Maximální rychlost	90 - 120 km/h (záleží na modelu)
Kapacita baterie	3 nebo 4 kWh
Dojezd	70 - 90 km
Zrychlení z 0 na 100 km/h	- s
Hmotnost	135 kg
Rozměry (rozteč kol x výška sedadla)	1450 x 805 mm
Cena	od 220 000 Kč



Obrázek 49 - Uspořádání pohonu u Volta motorbikes [32]



## Závěr

Cílem práce bylo vypracovat přehled technických řešení pohonů pro vozidla s elektrickým pohonem a porovnat je mezi sebou. První kapitola je věnována popsání jednotlivých způsobů uložení pohonné soustavy ve vozidle s elektrickým pohonem. Zde se jako nevýhodnější jeví použít motory instalované přímo ke kolům. Tím se sníží hmotnost a zvýší účinnost díky absenci mechanických součástí. Problémem může být cena, jelikož je zde využít vyšší počet elektromotorů, a dále se s tímto řešením musí počítat už od samotného návrhu elektromobilu a je velice obtížné toto řešení využít u již existujících automobilů se spalovacím motorem. Vybrat optimální způsob uložení pohonu u elektromobilu není úplně možné, jelikož závisí na tom, k čemu je daný elektromobil určen. Další kapitola popisuje používané motory pro elektromobily. Zde se dnes už ve většině případů využívají střídavé motory a jen zřídka motory BLDC. Dále začíná přibývat elektromobilů, které využívají synchronní reluktanční motory s permanentními magnety kvůli vyšší účinnosti, robustní konstrukci a velkému rozsahu použitelných otáček bez nutnosti použití převodových systémů. Třetí kapitola se zabývá převodovkami pro vozidla s elektrickým pohonem. Zde se dnes nejčastěji využívá jednorychlostní dvoustupňové převodovky kvůli jednodušší mechanické konstrukci, nižšímu tření a hluku. Mají menší mechanické ztráty a v neposlední řadě vyšší spolehlivost a nižší hmotnost. Vícerychlostní převodovka pro elektromobily je spíše vizí budoucnosti a je zapotřebí dalších testů, než se začne komerčně využívat. U každého způsobu řešení je uveden příklad vozidla, který daný systém využívá.

Hlavní výhodou řešení s centrálně umístěným motorem s převodovkou a diferenciálem je jeho univerzálnost použití. Díky uspořádání podobnému automobilům se spalovacím motorem lze použít u většiny již vyrobených modelů těchto automobilů, a proto je velmi využívané u výrobců, kteří vyrábí především spalovací automobily. Naopak výrobci, kteří vyrábí zásadně elektromobily nebo výrobci, kteří chtějí elektromobil s vysokým výkonem, řešení s jedním motorem nevyužívají. Využívají řešení s pohonem přední a zadní nápravy nebo individuální pohon kol.

## Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] VARAHA IYER, Lakshmi a Bruce MINAKER. On-board direct-drive surface permanent magnet synchronous machine with fractional-slot concentrated windings for electric vehicles. Ieeexplore.ieee.org [online]. 2016 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7726858>
- [2] KAMEŠ, Josef. Hybridní a elektrický pohon automobilů. 1. Praha: Josef Kameš, 2015. ISBN 2013-11-14-1.
- [3] DUSIL, Tomáš. Elektromobily: Proč se obejdou bez vícestupňové převodovky?. Auto.cz [online]. 2017 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/elektromobily-proc-se-obejdou-bez-vicestupnove-prevodovky-109262>
- [4] TECHMAGAZIN. Budou mít elektromobily převodovku?. Techmagazin.cz [online]. 2012 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <http://www.techmagazin.cz/524>
- [5] UN-NOOR, Fuad a Sanjeevikumar PADMANABAN. A Comprehensive Study of Key Electric Vehicle (EV) Components, Technologies, Challenges, Impacts, and Future Direction of Development [online]. 2017 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://1url.cz/QM4GU>
- [6] Elektromotory umístěné v náboji kola mohou být přínosem. Technický týdeník [online]. 2017 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: [https://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv/elektromotory-umistene-v-naboji-kola-mohou-byt-prinosem\\_38632.html](https://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv/elektromotory-umistene-v-naboji-kola-mohou-byt-prinosem_38632.html)
- [7] What are the advantages of using two motors in a formula electric car?. Quora [online]. 2018 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.quora.com/What-are-the-advantages-of-using-two-motors-in-a-formula-electric-car>
- [8] Efficiency of Geared vs. Single Speed transmission. Tesla Motors Club [online]. 2015 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://teslamotorsclub.com/tmc/threads/efficiency-of-geared-vs-single-speed-transmission.42313/>
- [9] GROHMANN, Jan. Převodovka prodlouží dojezd elektromobilů. Hybrid [online]. 2011 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/prevodovka-prodlouzi-dojezd-elektromobilu>
- [10] Les moteurs roues une solution ecologique. Alltrends [online]. 2013 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <http://alltrends.over-blog.net/article-les-moteurs-roues-une-solution-ecologique-120678429.html>
- [11] Last Borg Warner Transmission now in route to Roadster. Tesla Motors Club [online]. 2016 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://teslamotorsclub.com/tmc/threads/last-borg-warner-transmission-now-in-route-to-roadster-1125.74743/>
- [12] ŠIMON, Josef. BLDC aneb DC motor s nulovými náklady na údržbu. Odborné časopisy [online]. 2011 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/bldc-aneb-dc-motor-s-nulovymi-naklady-na-udrzbu--10016>
- [13] MAURICE, A. Kelly. Russian Motor Vehicles: The Czarist Period 1784 to 1917 [online]. 2009 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://1url.cz/aM4lo>

- [14] 2016 VW e-Golf electric engine\_o [online]. 2017 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: [https://www.diritovw.com/blog/what-is-the-vw-e-golf/2016-vw-e-golf-electric-engine\\_o/](https://www.diritovw.com/blog/what-is-the-vw-e-golf/2016-vw-e-golf-electric-engine_o/)
- [15] Charging the 12V battery if car is not driven much [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.myvwgolf.com/forum/viewtopic.php?f=12&t=242&start=10>
- [16] WAGENKNECHT, Martin. Historie elektromobilů: 1. díl – úsvit e lektromobilů. FDrive [online]. 2016 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://fdrive.cz/clanky/1-era-elektromobilu-185>
- [17] SHERMAN, Don. Original speed demon: The first car to hit 100 km/h. Drive [online]. 2011 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.drive.com.au/motor-news/original-speed-demon-the-first-car-to-hit-100kmh-20110127-1a61m.html>
- [18] WAGENKNECHT, Martin. Historie elektromobilů: 2. díl – když dojde ropa. FDrive [online]. 2016 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://fdrive.cz/clanky/historie-elektromobilu-2-dil---kdyz-dojde-ropa-354>
- [19] WAGENKNECHT, Martin. Istorie elektromobilů: 3. díl – pod 500km dojezd na silnice nelez. FDrive[online]. 2016 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://fdrive.cz/clanky/historie-elektromobilu-3-dil-pod-500km-dojezd-na-silnice-nelez-412>
- [20] Elektromobily ŠKODA. Electro auto [online]. 2005 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <http://www.electroauto.cz/skoda.html>
- [21] WHITEHEAD, Andrew a Chris HILTON. Protean Electric's In-Wheel Motors Could Make EVs More Efficient. Spectrum ieee [online]. 2018 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://spectrum.ieee.org/transportation/advanced-cars/protean-electrics-inwheel-motors-could-make-evs-more-efficient>
- [22] E. ZOIA, David. Developer Protean Says In-Wheel Electric Motors Nearing Production. Wardsauto[online]. 2013 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.wardsauto.com/sae-world-congress/developer-protean-says-wheel-electric-motors-nearing-production>
- [23] KIERACIŃSKA, Anna a Arkadiusz HAJDUGA. The use of variable-speed mechanical transmission in electric drives. Aaejournal [online]. 2017 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <http://www.aaejournal.com/The-use-of-variable-speed-mechanical-transmission-in-electric-drives,99427,0,2.html>
- [24] Převodovky. Spssol [online]. 2010 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <http://www.spssol.cz/rsimages/DIGI1/html/cad/Převodovky/Modul.html>
- [25] Model S – technické specifikace. Tesla Fan [online]. 2014 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.teslafan.cz/clanky/model-s-technicke-specifikace>
- [26] 2018 TESLA MODEL S. Mobile guide auto web [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://mobile.guideautoweb.com/en/specifications/tesla/model-s/75d/2018/>
- [27] Tesla [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.tesla.com>
- [28] ENGLISH, Andrew. Volkswagen e-Golf review - is the battery Golf our current favourite?. Telegraph [online]. 2017 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.telegraph.co.uk/cars/volkswagen/volkswagen-e-golf-review/>
- [29] VolksWagen [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.vw.com/>
- [30] Rimac automobili [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.rimac-automobili.com/en/>

- [31] MW motors [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://mwmotors.cz/luka-ev/>
- [32] Volta motorbikes [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.voltamotorbikes.com/en/>
- [33] ZF [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.zf.com/>
- [34] First application of ZF's AxTrax AVE electric portal axle in a fuel cell configuration; bus by ADL [online]. 2019 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.greencarcongress.com/2019/01/20190116-zf.html>
- [35] Direct drive mechanism. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Direct\\_drive\\_mechanism](https://en.wikipedia.org/wiki/Direct_drive_mechanism)
- [36] Performance Evaluation of an In-Wheel Motor Cooling System in an Electric Vehicle/Hybrid Electric Vehicle. *Energies* [online]. 2014 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://1url.cz/EM4ln>
- [37] EVINO. Of the Saleen Tesla gear ratio. Tesla Forums [online]. 2014 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: [https://forums.tesla.com/en\\_AU/forum/forums/saleen-tesla-gear-ratio](https://forums.tesla.com/en_AU/forum/forums/saleen-tesla-gear-ratio)
- [38] Accel ukázal nábojový elektromotor pro elektrokola s vestavěnou planetovou převodovkou. *Hybrid* [online]. 2017 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/accel-ukazal-nabojovy-elektromotor-pro-elektrokola-s-vestavenou-planetovou-prevodovkou>
- [39] General Motors EV1. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/General\\_Motors\\_EV1](https://en.wikipedia.org/wiki/General_Motors_EV1)
- [40] Zagato Zele. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Zagato\\_Zele](https://en.wikipedia.org/wiki/Zagato_Zele)
- [41] Solectria Force. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Solectria\\_Force](https://en.wikipedia.org/wiki/Solectria_Force)
- [42] Ford Ecostar. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Ford\\_Ecostar](https://en.wikipedia.org/wiki/Ford_Ecostar)
- [43] Vzácnou Škodu Favorit s elektropohonem zachránili z Německa. Nyní je na prodej. *Novinky.cz* [online]. 2018 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.novinky.cz/auto/460773-vzacnou-skodu-favorit-s-elektropohonem-zachranili-z-nemecka-nyni-je-na-prodej.html>
- [44] A. MILLER, Michael, Alan G. HOLMES, Brendan M. CONLON a Peter J. SAVAGIAN. The GM "Voltec" 4ET50 Multi-Mode Electric Transaxle. *Jstor* [online]. 2011 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: [https://www.jstor.org/stable/26278209?seq=5#metadata\\_info\\_tab\\_contents](https://www.jstor.org/stable/26278209?seq=5#metadata_info_tab_contents)
- [45] HU, Minghui, Jianfeng ZENG, Shaozhi XU, Chunyun FU a Datong QIN. Efficiency Study of a Dual-Motor Coupling EV Powertrain. *Ieeexplore* [online]. 2014 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6878490/references#references>
- [46] MUTOH, Nuboyoshi. Front-and-Rear-Wheel-Independent-Drive Type Electric Vehicle. *Mdpi* [online]. 2009 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: [https://res.mdpi.com/wevj/wevj-03-00017/article\\_deploy/wevj-03-00017.pdf?filename=&attachment=1](https://res.mdpi.com/wevj/wevj-03-00017/article_deploy/wevj-03-00017.pdf?filename=&attachment=1)

- [47] BOERIU, Horatiu. Multi-Speed Transmissions Coming To Electric Vehicles. *BMW blog* [online]. 2014 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.bmwblog.com/2014/12/02/multi-speed-transmissions-coming-electric-vehicles/>
- [48] Chevrolet Spark Electric Vehicle. *Service Technical College* [online]. 2013 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://1url.cz/OM4FM>
- [49] CHEVROLET Spark EV 2013 - 2016. *Autoevolution* [online]. 2013 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: [https://www.autoevolution.com/cars/chevrolet-spark-ev-2013.html#aeng\\_chevrolet-spark-ev-2013-100-kw-136-hp](https://www.autoevolution.com/cars/chevrolet-spark-ev-2013.html#aeng_chevrolet-spark-ev-2013-100-kw-136-hp)
- [50] Mercedes-Benz SLS AMG Coupé Electric Drive: Electrifying – the world's most powerful electric super sports car. *Media daimler* [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://media.daimler.com/marsMediaSite/ko/en/9904727>
- [51] BURNS, Matt. Mercedes details upcoming all-electric SLS AMG gullwing. *TechCrunch* [online]. 2009 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://techcrunch.com/2009/07/16/mercedes-details-upcoming-all-electric-sls-amg-gullwing/>
- [52] KŮS, Václav. Elektrické pohony a výkonová elektronika. V Plzni: Západočeská univerzita, 2006. I SBN 80-704-3422-8.
- [53] BARTOŠ, Václav, Josef ČERVENÝ, Josef HRUŠKA, Anna KOTLANOVÁ a Bohumil SKALA. *Elektrické stroje*. Plzeň: Západočeská univerzita, 2006. ISBN 80-704-3444-9.
- [54] Tesla Model 3 Transmission. *Twitter* [online]. 2018 [cit. 2019-05-27]. Dostupné z: <https://twitter.com/Tesla/status/1051911793373638661>
- [55] Mercedes-AMG zvažuje nástupce elektrického supersportu SLS AMG Electric Drive. *Auto.cz* [online]. 2018 [cit. 2019-05-27]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/mercedes-amg-zvazuje-nastupce-elektrickeho-supersportu-sls-amg-electric-drive-126216>
- [56] Tesla Semi. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2019-05-27]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Tesla\\_Semi](https://cs.wikipedia.org/wiki/Tesla_Semi)
- [57] PAWELSKI, Zbigniew. *PROTOTYPE OF ELECTRIC BUS OF AMZ KUTNO* [online]. 2014 [cit. 2019-05-30]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/287705399\\_PROTOTYPE\\_OF\\_ELECTRIC\\_BUS\\_OF\\_AMZ\\_KUTNO/figures](https://www.researchgate.net/publication/287705399_PROTOTYPE_OF_ELECTRIC_BUS_OF_AMZ_KUTNO/figures)
- [58] HSR Motors. *HSR Motors* [online]. [cit. 2019-06-04]. Dostupné z: <https://hsrmotors.com/products/driveunits>
- [59] *Hybridfordonscentrum* [online]. [cit. 2019-06-04]. Dostupné z: [http://hybridfordonscentrum.se/wp-content/uploads/2014/05/20140404\\_BMW.pdf](http://hybridfordonscentrum.se/wp-content/uploads/2014/05/20140404_BMW.pdf)
- [60] More details on BMW's i3; electric and connected. *Greencarcongress* [online]. [cit. 2019-06-04]. Dostupné z: <https://www.greencarcongress.com/2013/07/bmwi3-20130710>.