ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA DOPRAVNÍ

Bc. Tomáš Sommer

Návrh pohonu lehkého městského elektromobilu

Diplomová práce

2022

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
Fakulta dopravní
děkan
Konviktská 20, 110 00 Praha 1

K616.....Ústav dopravních prostředků

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Bc. Tomáš Sommer

Studijní program (obor/specializace) studenta:

navazující magisterský – DS – Dopravní systémy a technika

Název tématu (česky): **Návrh pohonu lehkého městského elektromobilu**

Název tématu (anglicky): Design of a light city electric vehicle drive

Zásady pro vypracování

Při zpracování diplomové práce se řiďte následujícími pokyny:

- Seznamte se s problematikou městské elektromobility a jejími specifiky.
- Prostudujte typy motorů, využitelných pro potřeby pohonu městského elektromobilu (EV) a charakterizujte jejich vlastnosti.
- Definujtre požadavky na vlastnosti lehkého městského elektromobilu vyvíjeném na FD. Na základě definovaných požadavků a provedené rešerši navrhněte vhodnou konfiguraci pohonu a proveďte její realné sestavení.
- Sestavte navržený systém pohonu a optimalizujte nastevení řídící jednotky pro potřeby městského EV s ohledem na použité baterie.
- Vhodným způsobem ověřte nastavené parametry pohonu a jeho vlastnosti.
- Analyzujte výsledky, podrobte je diskusi, vypracujte závěr a doporučení pro další vývoj.

Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího DP

Rozsah průvodní zprávy: minimálně 55 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)

Seznam odborné literatury: VLK, F.: Převodová ústrojí motorových vozidel: spojky, převodovky, rozvodovky, diferenciály, hnací hřídele, klouby. Brno, 2000. ISBN 978-802-3852-75-2

FIRST, Jiří a kol. Zkoušení automobilů a motocyklů: příručka pro konstruktéry. Vyd. 1. Praha: S&T CZ, 2008. 348 s. ISBN 978-80-254-1805-5

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Josef Mík, Ph.D.**

Ing. Přemysl Toman

Datum zadání diplomové práce: **22. června 2021**
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání diplomové práce: **16. května 2022**
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

L. S.

doc. Ing. Petr Bouchner, Ph.D.
vedoucí
Ústavu dopravních prostředků

doc. Ing. Pavel Hrubeš, Ph.D.
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.

Bc. Tomáš Sommer
jméno a podpis studenta

V Praze dne ..... 22. června 2021

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval všem, kteří mi poskytli podklady pro vypracování této práce. Zvláště pak děkuji Ing. Josefu Míkovi Ph.D a Ing. Přemyslu Tomanovi za odborné vedení, rady a konzultování Diplomové práce. Nakonec je mou milou povinností poděkovat svým rodičům a blízkým za morální a materiální podporu, které se mi dostávalo po celou dobu studia.

PROHLÁŠENÍ

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na ČVUT v Praze Fakultě dopravní.

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 16. 5. 2022 ……

podpis

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

Návrh pohonu lehkého městského elektromobilu

Diplomová práce

Květen 2022

Tomáš Sommer

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá návrhem pohonu pro malý městský elektromobil. Na začátku práce bude probrána potřebná teorie k zvládnutí dané problematiky. Následně pak bude vybrán nejlépe vyhovující elektromotor a k němu vhodná převodovka včetně dalších komponent. Pohonná jednotka bude navržena tak, aby co nejlépe vyhovovala navrženým požadavkům na elektromobil, který bude vyvíjen na ČVUT Fakultě dopravní. Na konci práce bude pohonná jednotka nastavena a vhodným způsobem odzkoušena, aby se ověřily nastavené parametry pohonné jednotky.

Klíčová slova: elektromobilita, elektrický motor, převodovka, controller, baterie, držák pohonné jednotky, platforma vozu, konstrukce

ABSTRACT

The diploma thesis is focused on the design of light city electric vehicle drive. At the beginning of the work, an important theory to master the issue will be explained. In the next part, the best drive system, gearbox and other important components will be selected. The drive system will meet the requirements for an electric car, which will be designed at the CTU Faculty of Transportation sciences. At the end of work, the drive system will be set up and then tested to verify the set parameters.

Keywords: electric motor, gearbox, controller, battery, holder of drive unit, car platform, construction, electromobility

OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK 8

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A FYZIKÁLNÍCH VELIČIN 8

1 Úvod 9

2 Pohon elektrických vozidel 10

3 Historie elektromobilů 12

4 Pohonná jednotka 14

4.1 Umístění pohonu 14

4.1.1 Pružnost motoru 15

5 Hlavní konstrukční části pohonu 18

5.1 Převodovka 18

5.1.1 Diferenciál 19

6 Hnací hřídele a klouby 23

6.1 Příčné hnací hřídele 23

7 Elektromotor 25

7.1 Počátky vzniku elektromotoru 25

7.2 Základní charakteristika a rozdělení elektromotorů 26

7.3 Pracovní oblast elektromotorů 27

7.3.1 Motorický režim 27

7.3.2 Generátorický režim 27

7.3.3 Brzdný režim 27

7.3.4 Elektrodynamická brzda 28

7.4 Stejnosměrné elektromotory 28

7.4.1 Sériové zapojení vinutí 29

7.4.2 Derivační zapojení vinutí 29

7.5 Střídavé elektromotory 30

7.5.1 Synchronní střídavé elektromotory 31

7.5.2 Asynchronní elektromotory 32

8 Vybrané modely dnešních elektromobilů 35

8.1 Škoda Enyaq 35
8.1.1 Škoda Enyaq iV 60 35
8.1.2 Škoda Enyaq iV 80 36
8.1.3 Škoda Enyaq iV 80x 37
8.2 Volkswagen ID 37
8.2.1 Volkswagen ID.3 38
8.3 Renault Twizy 39
8.4 Tazzari 41
8.4.1 Tazzari MINIMAX 41
8.5 Tabby EVO 43
8.6 BMW 44
8.6.1 BMW i3 44
8.7 Aixam 46
8.7.1 Aixam City 47
8.8 Srovnávací tabulka specifikací vybraných modelů 48
9 Požadavky na malý městský elektromobil EVgen 49
9.1 Srovnávací grafy s navrhovaným vozem EVgen 50
9.1.1 Graf porovnávající závislost hmotnosti na kapacitě baterií 50
9.1.2 Graf porovnávající výkony pohonných jednotek 51
9.1.3 Graf porovnávající maximální rychlosti na kapacitě baterií 52
10 Praktická část 53
11 Výběr motorové jednotky 54
11.1 Motor ME 1507 54
11.2 Motor ME 1202 55
11.3 Motor ME 30 - 31001 56
11.4 Porovnávací tabulka vybraných pohonných jednotek 57
11.5 Controller Sevcon Gen 4 Size 6 58
12 Výběr převodovky 60
12.1 Převodovka Comex pro elektrická vozidla 61

12.1.1 Výpočet maximální teoretické rychlosti a dosažitelné rychlosti dle zvoleného převodového poměru ... 63
12.2 Konečný výběr pohonné jednotky ... 68
13 Sestavení pohonné jednotky ... 69
13.1 Návrh držáku motoru a převodovky ... 69
13.1.1 První návrh držáku ... 69
13.1.2 Finální návrh držáku pohonné jednotky ... 70
13.1.3 Sestavení držáku pohonné jednotky ... 72
13.2 Zapojení controlleru Sevcon ... 76
13.2.1 Kontrola zapojení rozvodné desky controlleru Sevcon ... 77
13.3 Zapojení prototypového bateriového packu ... 80
13.4 Zapojení elektroinstalace pohonné jednotky ... 81
13.4.1 Celkové schéma zapojení pohonné jednotky ... 81
13.5 Základní nastavení ... 82
13.5.1 Nastavení proudových a napěťových hranic pro pohonné baterie ... 83
13.5.2 Nastavení motorových hodnot ... 84
13.5.3 Nastavení teploty ... 85
14 Odzkoušení pohonné jednotky ... 87
14.1 Měření dopředného směru ... 87
14.1.1 Výsledky ... 87
14.2 Měření zpětného směru ... 89
14.2.1 Výsledky ... 89
15 Budoucí další postup ... 92
16 Závěr ... 94
POUŽITÉ ZDROJE ... 96
SEZNAM OBRÁZKŮ ... 108
SEZNAM TABULEK ... 111
SEZNAM PŘÍLOH ... 112
SEZNAM GRAFŮ ... 113

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

- Ni-Fe – Nikl železné baterie
- WLTP – Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedures (měřící metodika pro zjištění spotřeby vozidla)
- PMSM – Permanent magnet Synchronous Motor (Synchronní motor s permanentními magnety)
- IPM – Internal Permanent magnet rotor (Vnitřní rotor s permanentním magnetem)

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A FYZIKÁLNÍCH VELIČIN

- f_1 – frekvence napájecího střídavého napětí
- p – počet pólů elektromotoru
- ω_0 – uhlová rychlost asynchronního motoru s kotvou nakrátko
- M_t (M) - točivý moment [N.m]
- P - výkon [kW]
- n - otáčky za minutu [ot./min]
- kWh – spotřeba elektrické energie za hodinu
- DC – stejnosměrný proud
- AC – střídavý proud
- I – proud [A]
- U – napětí [V]
- m - hmotnost [kg]
- V –objem [cm^3]
- S – obsah [m^2]
- O – obvod [m]
- η – účinnost [%]
- ρ - hustota [$kg.m^{-3}$]
- v – rychlost [$m.s^{-1}$]
- c_x - součinitel aerodynamické odporu
- f – součinitel valivého odporu
- g – tíhové zrychlení [$m.s^{-2}$]

1 Úvod

Vozidla poháněná elektrickou energií prodělala v posledních letech obrovský rozmach. V dnešní době prakticky neexistuje automobilka, která by neměla ve svém výrobním portfoliu alespoň jeden elektromobil. Tento nový vývoj vznikl především kvůli zavádění nových emisních limitů, které jsou dnes velice přísné. Jejich nedodržování je postihováno velmi vysokými pokutami. A právě jako alternativa, jak snížit produkované emise se nabízí zmíněný elektromobil, který dle EU neprodukuje žádné emise. Tento fakt pomáhá automobilkám snižovat celkovou produkci emisí na množství svých nabízených vozů. Proto výrobci vozidel začali s výrobou elektrických vozů. Ty nabízejí další nové vlastnosti oproti konvenčním vozidlům na spalovací motor.

Vlastnostmi elektromobilů jsou například nízká hlučnost, příznivá výkonová charakteristika, vyšší cena nebo také omezený dojezd. [1]

Ovšem i přes některé tyto méně výhodné vlastnosti se elektromobil stále více stává populárnějším individuálním dopravním prostředkem uvnitř měst. Je to dáno především zvýhodňováním elektromobilů. Ty mohou například uvnitř města parkovat zdarma. Cílem těchto zvýhodňování je snaha zlepšit životní prostředí v daných oblastech a tím také zredukovat počet vozidel na spalovací motor.

Dnes automobilky produkují nejrůznější druhy elektromobilů. Jedná se například o klasické osobní vozy nebo i velká SUV. Na prodejním trhu však nalezneme také malá městská elektrická vozidla jako například Renault Twizy. Tyto malá vozidla jsou velmi zajímavým řešením do historických center měst, kde je málo prostoru na manévrování v úzkých ulicích. Díky své velikosti vůz může vjet do míst, kam se typický rodinný vůz dostane jen stěží.

V této diplomové práci bude navrhnut nejvhodnější pohon pro malý městský elektromobil. Na začátku práce bude nejprve řešena problematika spojená s návrhem pohonné jednotky pro elektromobil. Následně z těchto získaných informací bude navržen nejvhodnější pohon pro malý městský elektrický vůz. Ten bude poté sestaven a vhodným způsobem odzkoušen.

2 Pohon elektrických vozidel

V dnešní době je elektrický pohon velmi řešené téma. V praxi se můžeme setkat s vozidly, která využívají elektromotor spojený se spalovacím motorem, nebo také jíž čistě elektrické vozidlo. Pohonná jednotka elektromobilu se navrhuje pro různé aplikace a možnosti, které se na vozidlo požadují. [2]

Zajímavou možnosti je umístění elektromotoru přímo do náboje kola, který je vidět níže na obrázku 1. Dojde tím ke snížení ztrát z důvodu nepoužití převodovky, diferenciálu a hnacích hřídelí, které přenáší výkon na kolo. Díky tomu dochází ke zlepšení účinnosti celého pohonného systému a tím i ke zvýšení dojezdu vozidla. Dalšími výhodami je snížení hmotnosti či přesné ovládání točivého momentu na jednotlivých kolech. Ovšem toto řešení má svoji velkou nevýhodu. Hlavním problémem je samotná hmotnost motorů a s tím spojena vysoká neodpružená hmotnost. Těžká kola se mohou následně negativně projevit na jízdních vlastnostech elektromobilu. Proto se výrobci raději přiklánějí k použití jednoho motoru na nápravu, tedy dvě hnací kola. Motory bývají spojeny s jednostupňovou převodovkou obsahující diferenciál. Z převodovky je výkon na kola přenášen klasickými již známými komponentami. [2,3]

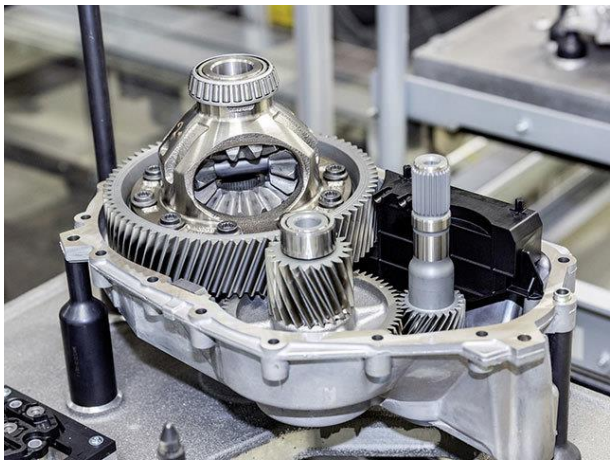
Obrázek 1. Schéma umístění motoru v kole [1]

Z nichž je nejdůležitější a naprosto nepostradatelnou komponentou elektrický motor, který nabízí výjimečné vlastnosti. Ty jsou závislé především na jeho použitém typu. Těch je ovšem v dnešní době hned několik. Občas bývá použit reluktanční motor nebo střídavý indukční motor. Ale ve většině případů se používají kvůli vysoké účinnosti, klasické střídavé synchronní

motory s permanentními magnety. Ty jsou poté doplněny příslušným elektronickým řízením. Příklad synchronního motoru můžete vidět na obrázku 2. [2]

Obrázek 2. Synchronní motor, 1,8kW 60 V [2]

Synchronní motory jsou nejčastěji používané kvůli jejich důležité vlastnosti. Motor má vysoký točivý moment, který je téměř v celém spektru otáček. Díky tomu lze použít převodovky, které obsahují mnohem měně převodových stupňů. V mnoha případech se jedná pouze o jednostupňové převodovky se stálým převodovým poměrem. Které jsou dále doplněny o diferenciál. Příklad takové převodovky je možné vidět na obrázku 3 níže. [2, 4]



Obrázek 3. Rozebraná jednostupňová převodovka Volkswagen ID 3 [4]

Takto sestrojené pohonné jednotky potřebují pro zástavbu do vozidla mnohem méně prostoru. To umožnuje nové možnosti v konstrukci vozidel, která mohou díky malé velikosti pohonné jednotky obsahovat například dva úložné prostory. Další výhodou je nižší hmotnost oproti konvenčnímu spalovacímu motoru. [2]

3 Historie elektromobilů

První informace o elektromobilech lze nalézt již v roce 1835. Ale až v roce 1899 byl vyroben elektromobil La Jamais Contente. Ten byl schopen na svou dobu dosáhnout rychlosti 105 km/h, později i 160 km/h. Taková rychlost byla v té době nemyslitelná pro vozidla se spalovacím motorem. Elektromobil měl motory umístěné u zadních kol a byl poháněn olověnými bateriemi. Jeho konstruktérem byl Belgičan Camille Jenatzy. Tento legendární elektromobil je vidět na obrázku 4. V této době měl také velký podíl na elektrifikaci český vynálezce František Křižík. [2, 5]

Obrázek 4. První elektromobil La Jamais Contente [4]

Křižík dokázal postavit svůj první elektromobil již v roce 1895. Byl poháněn stejnosměrným elektromotorem. Poté následoval další typ vozu, který měl pro prodloužení dojezdu vestavěn spalovací motor. Jednalo se tedy o využití hybridního pohonu. Další vývoj probíhal na území Ruska. Zde elektrotechnik Romanov v roce 1899 představil dvousedadlový stroj s dojezdem až 60 km s rychlostí až 35 km/h. [5]

Tento velký nástup elektromobilů byl však v roce 1908 přerušen Henry Fordem. Ten v USA zahájil sériovou výrobu vozu Ford T. A zahájil tak masivní výrobu automobilů. Tato událost přerušila výrobu elektrických vozidel na dlouhá desetiletí. Vůz Ford T je vyobrazen na obrázku 5. [2, 5]

Obrázek 5. Ford T Touring [5]

Až s nástupem velkých továrních podniků, jako byly například závody ČKD, Tatra a Škoda, začala vznikat speciální elektrická vozidla. Ty sloužila pro přeprava nákladů uvnitř podniku. Jednalo se o plošiny cca 2 metry dlouhé a cca 1.5 metru široké. Na jejich konci byl pak umístěn řidič. Elektrický motor byl napájen články Ni-Fe. Nabíjení pak probíhalo na konci směny.

Obnovení výroby elektromobilů nastalo na konci minulého století. Kvůli vzrůstajícímu tlaku na zlepšení životního prostředí. Nástupem elektromobilů dochází ke snižování emisí uvnitř velkých měst. [2, 5]

4 Pohonná jednotka

Oproti klasickému spalovacímu pohonu nabízí elektrická pohonná jednotka mnohem větší variabilitu umístění uvnitř vozidla. Jak bylo zmíněno v předchozí kapitole, elektromotor má velký točivý moment v celém spektru otáček. Tato skutečnost dovoluje použít převodovky s nižším počtem převodových stupňů. Ve většině případů se jedná o převodovky s jedním stálým převodovým poměrem. Avšak v některých případech může být motor připojen napřímo. Absence převodových stupňů snižuje celkovou hmotnost pohonné jednotky a zvyšuje tím účinnost pohonu. Největší účinnosti dosahují motory umístěné přímo v kolech vozidla. [2, 6]

4.1 Umístění pohonu

Elektrický pohon nabízí nové možnosti v umístění do vozidla. Ve vozidle může být jeden motor, který je následně napojen na převodovku s diferenciálem. Čímž je vytvořen pohon jedné nápravy. Tedy poměrně klasická koncepce s jedním motorem a pohonem například předních kol. [2, 7, 8]

Změna v konstrukci pohonu nastává až s pohonem všech kol. Klasické řešení, které by obsahovalo kardan napojený na převodovku a rozvodovku, lze nahradit dalším elektromotorem. Ten je poté napojen na svojí samostatnou převodovku a následně spojen s klasickými komponentami na hnaná kola. Tímto řešením odpadá problém související s umístěním kardanu ve vozidle.

Oba elektrické motory jsou pak pouze elektronicky zapojeny do řídící elektroniky tak, aby se mohly obě nápravy jednotlivě ovládat. Jeden z mnoha automobilů, který toto rozložení využívá je například Škoda Enyaq ve verzi s pohonem všech kol. O její pohon se stará dvojice elektromotorů umístěných na jednotlivých nápravách. Pohonné ústroji je možné vidět na obrázku 6.

Další výhody, které plynou z nahrazení kardanu druhým elektromotorem, je ušetření hmotnosti a zvýšení účinnosti provozu. Díky tomu nedochází k tak velkým ztrátám výkonu. [2, 7]

Obrázek 6. Škoda Enyaq s pohonem všech kol [6]

Nejvíce účinným řešením je umístění motorů přímo do každého kola. Výhodou je vysoká účinnost a možnost ovládat každé kolo zvlášť. Avšak má to i své nevýhody. A tou je váha motoru. Která extrémně navyšuje neodpruženou hmotnost. Což může zhoršovat jízdní vlastnosti. Proto výrobci umisťují motory na nápravu, které pohánějí obě hnaná kola. [2, 3]

Používané elektromotory bývají ve výkonovém rozsahu 20 až 120 kW při 4000 až 16 000 ot/min. Přitom točivý moment se pohybuje kolem 40 až 200 Nm. Pokud ale v pohonu není využit žádný převod a motor je přímo zapojen na diferenciál. Pohybují se výkony mezi 30 až 120 kW při 4000 až 12 000 ot/min. Točivý moment pak bývá 90 Nm až 300 Nm. Motory v kolech pak dosahují 15 až 60 kW při 2000 ot/min a točivém momentu 600 Nm.
Vysoká pružnost elektromotorů umožňuje velmi rychlé a cílené ovládání točivého momentu na hnaných kolech. A tím značně ovlivňuje dynamiku jízdy vozidla. [2, 6, 7]

4.1.1 Pružnost motoru

Pružnost udává schopnost chování motoru při změně zatížení. Jedná se o bezrozměrnou veličinu a je vypočítávána z vnější otáčkové charakteristiky. Pro názornou ukázku jsou níže uvedeny grafy 1 a 2 otáčkových charakteristik střídavého synchronního a čtyřdobého zážehového spalovacího motoru.
Obecné vzorce pro výpočet pružnosti motoru jsou uvedeny níže. Pružnost se stanoví jako součin z momentové a otáčkové pružnosti. [63]

Otáčková pružnost E_n

- n_j = otáčky motoru při maximálním výkonu
- n_{Mtmax} = otáčky motoru při maximálním točivém momentu

$$E_n = \frac{n_j}{n_{Mtmax}} \tag{1}$$

Momentová pružnost E_m

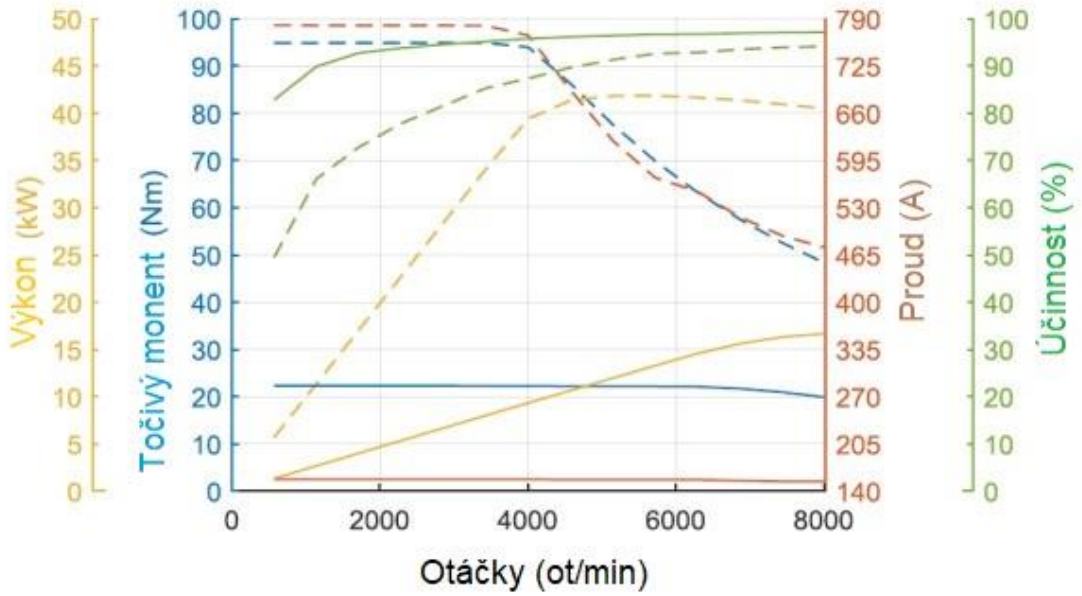
- M_{tmax} = maximální točivý moment
- M_{tj} = točivý moment při maximálním výkonu

$$E_m = \frac{M_{tmax}}{M_{tj}} \tag{2}$$

[63]

Maximální točivý moment střídavých synchronních elektromotorů je již od nula ot/min. To zavádí problém spojený s výpočtem přes již zmíněné vzorce (1, 2). Pokud by byly dosazeny nulové otáčky, došlo by k dělení nulou. A tedy k nekorektním výsledkům. Z tohoto důvodu bude pružnost vysvětlena pomocí procentuálního zastoupení točivého momentu v závislosti na otáčkovém spektru.

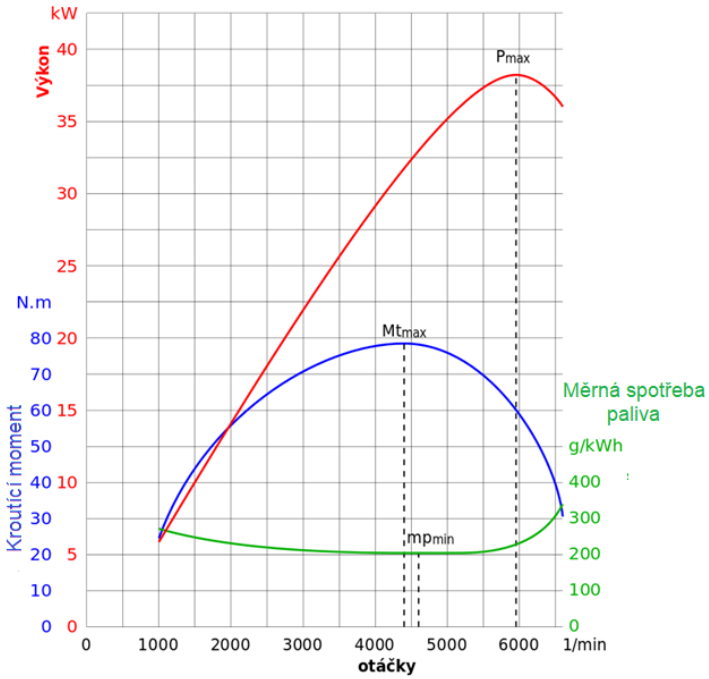
Graf 1.Otáčková charakteristika synchronního motoru Engiro o maximálním výkonu 42 kW [1]



V případě stanovení pružnosti jsou důležité pouze dvě křivky z grafu 1. Nejprve se jedná o modrou přerušovanou křivku maximálního točivého momentu a poté přerušovanou oranžovou křivku maximálního výkonu daného motoru. Další křivky v grafu nejsou pro stanovení pružnosti motoru důležité. Avšak dále je vyznačena také křivka účinnosti

(přerušovaná zelená) a křivka maximálního odběru proudu (přerušovaná červená). Nepřerušované křivky znázorňují trvalé hodnoty zmíněných parametrů.

Graf 2.Otáčková charakteristika spalovacího čtyřdobého zážehového motoru o obsahu 800 cm^3 a výkonu 38kW – Daewo Matiz [2]



Z otáčkové charakteristiky, synchronního motoru z grafu 1, je možné vyčíst maximální moment již z nulových otáček. Maximální moment přetrvává až do cca 4000 ot/min. Pokud je tedy motor schopen dosahovat až 8000 ot/min, tak maximální moment je procentuálně zastoupen z cca 50 % z celého otáčkového spektra motoru.

Naproti tomu motor použitý v Daewo Matiz, dle své otáčkové charakteristiky z grafu 2, je schopný dosahovat 7000 ot/min. Maximálním moment však nabízí ve velmi úzkém otáčkovém spektru mezi 4000 a 4500 ot/min. Maximální moment je tedy zastoupen z necelých 10 % z celého otáčkového spektra.

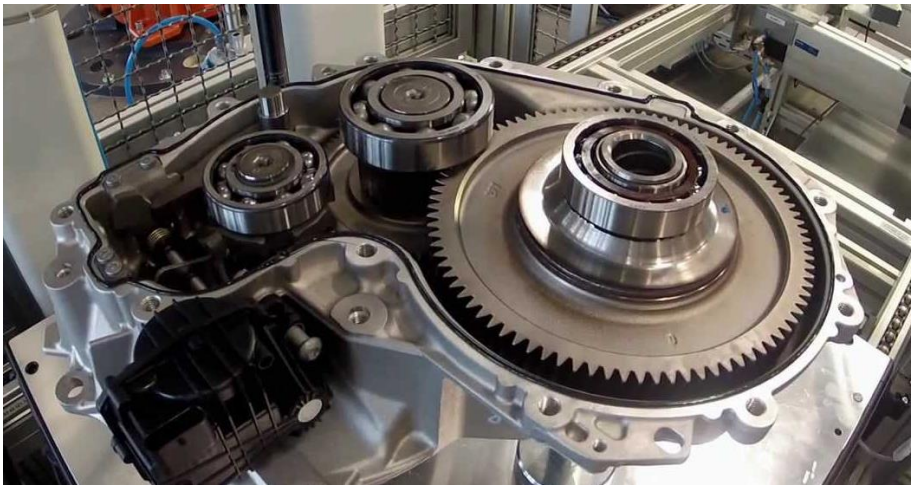
Dle těchto procentuálních zastoupení maximálních momentů u obou motorů. Lze říci, že pružnost elektrického motoru je na mnohem vyšší úrovní. Motor je tak velmi málo náchylný na kolísání otáček vlivem změny zatížení.

5 Hlavní konstrukční části pohonu

Elektrické vozidlo, stejně jako klasické konvenční vozidlo se spalovacím motorem, se skládá z několika konstrukčních částí. V nadcházejících kapitolách budou popsány ty nejdůležitější: převodovka, hnací hřídele a elektrický motor. [6]
Návrh pohonných baterií není hlavním předmětem této práce a budou zmíněny okrajově v pozdější kapitole jako vstup pro stavbu pohonu.

5.1 Převodovka

Oproti převodovkám ve vozidlech se spalovacím motorem mají ty v elektromobilech jednodušší konstrukci. Nejčastěji se jedná o převodovky s proměnlivým nebo jedním stálým převodovým stupněm. Odpadají tak potřeby řazení mezi jednotlivými rychlostními stupni. Tato skutečnost je umožněna samotnými vlastnostmi elektromotoru. Který umožňuje velký výkon již z nulových otáček. Zároveň tento výkon dokáže poskytovat v celém svém otáčkovém spektru. Dále je převodovka doplněna o diferenciál, ze kterého už jsou napojeny hnací hřídele. Na následujícím obrázku 7 je vyobrazena převodovka z BMW I3. [2,6]



Obrázek 7. Převodovka BMW I3 [7]

Na obrázku je vidět převodovka s jedním stálým převodovým poměrem. Nejmenší kolo, které se skrývá pod ložiskem v levé části obrázku, je poháněno od motoru. Následně přes jedno vložené kolo, převádí výkon motoru na diferenciál. Ten v převodovce tvoří největší konstrukční část. Je z něj vidět pouze talířové kolo. Zbytek diferenciálu je ukryt pod ním. Na obrázku 8 je vyobrazena převodovka již kompletně připravená pro zástavbu či spojení s elektromotorem. [8]

Obrázek 8. Převodovka BMW I3 [8]

5.1.1 Diferenciál

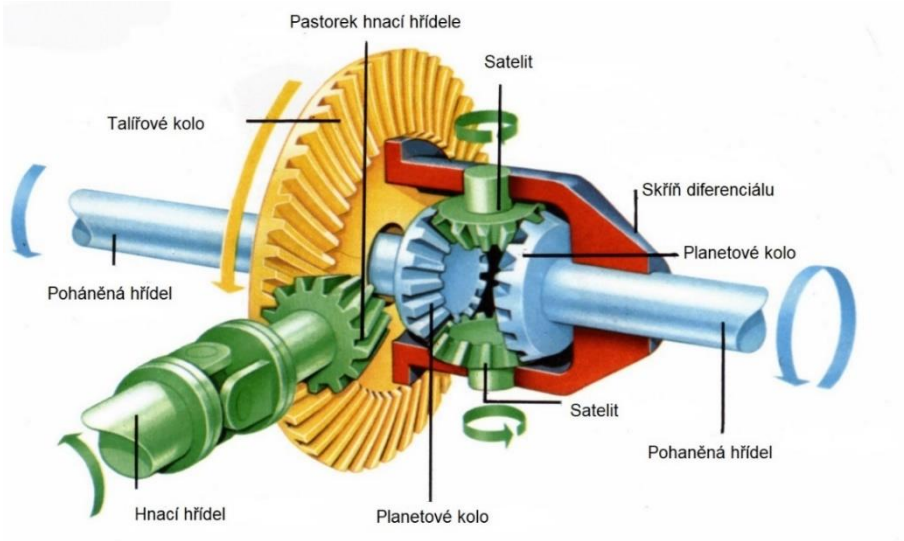
Diferenciál je zařízení skládající se z ozubených kol, které do sebe v určité kombinaci zapadají. Pomocí převodového ústrojí je diferenciál schopen vyrovnávat rozdílné otáčky poháněných kol při jízdě ve směrovém oblouku. Další jeho vlastností je dělení točivého momentu na hnaná kola. Ukázka diferenciálu je na obrázku 9 níže. [6]

Obrázek 9. Příklad diferenciálu Spicer [9]

Při provozu automobilu ve směrovém oblouku se kola, která jsou umístěna vně oblouku, otáčejí rozdílnou rychlostí než kola uvnitř. Kola, která poháněna nejsou, mají možnost volného otáčení. Proto se mohou otáčet různými otáčkami. U těchto kol je tedy možnost opisování rozdílných poloměrů zaručena. Ovšem hnaná náprava tuto možnost nemá. Kola jsou spojená hnacími hřídelemi, které mají shodné otáčky. Pro zajištění bezpečného projetí směrového oblouku je zapotřebí, aby se kola mohla navzájem vůči sobě otáčet. Pokud to zajištěno

nebude, vozidlo bude v oblouku špatně řiditelné. Jeho pneumatiky se budou nadměrně opotřebovávat, a nakonec vzrostou ztráty výkonu vlivem smýkání. [6, 9]

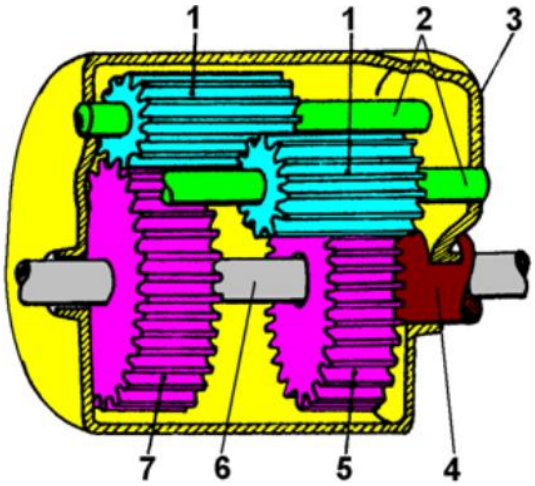
Z těchto důvodů byl zkonstruován diferenciál, který umožňuje rozdělování točivého momentu a rozdílné otáčky hnaných kol. Diferenciál se skládá z klece, ke které je pevně připevněno talířové kolo. To je poháněno od pohonné jednotky a má tak stejné otáčky. Do klece diferenciálu jsou přivedené hnací hřídele kol. Na jejich konci, uvnitř klece, je na ně pevně přichyceno planetové kolo. Ty jsou v kleci umístěna proti sobě. Planetová kola jsou následně spojena satelity, které jsou volně umístěny na hřídeli. Ta je umístěná napříč a je pevně zaklesnuta do klece diferenciálu. Díky umístěným satelitům je zajištěna možnost rozdílných otáček hnaných kol. Rozkreslení diferenciálu je vyobrazeno na obrázku 10. [6, 9]



Obrázek 10. Rozkreslení konstrukčních částí diferenciálu s kuželovým ozubením [10]

Pokud vozidlo pojede v přímém směru, bude se klec otáčet stejnou rychlostí a hnaná kola také. Satelity uvnitř klece budou stát. Pokud ale u jednoho kola vznikne požadavek na rozdílné otáčky, začnou se satelity pohybovat a tím rozdělovat otáčky na kola. Jedno kolo vozidla se začne o určitý počet otáček zpožďovat, zatímco druhé kolo je o tento určitý počet otáček zrychleno. [6,9]

Konstrukčních řešení diferenciálu je více. Avšak nejvíce rozšířeným typem pro osobní vozidla je diferenciál s kuželovým ozubením. Ten může být opatřen systémem zvyšující tření. Kdy satelitům je zamezeno snadnému protáčení použitím speciálních ploch s vysokým třením. Tyto diferenciály se nazývají samosvorné. Nákladní vozidla využívají diferenciály s čelním ozubením, který se neobejde bez mechanické uzávěrky. Tento typ využívá výrobce Tatra. Dalším zajímavým řešením je šroubový diferenciál Torsen, který je občas využíván u osobních vozidel. Na následujícím obrázku 11 je vyobrazen čelní diferenciál. [6]



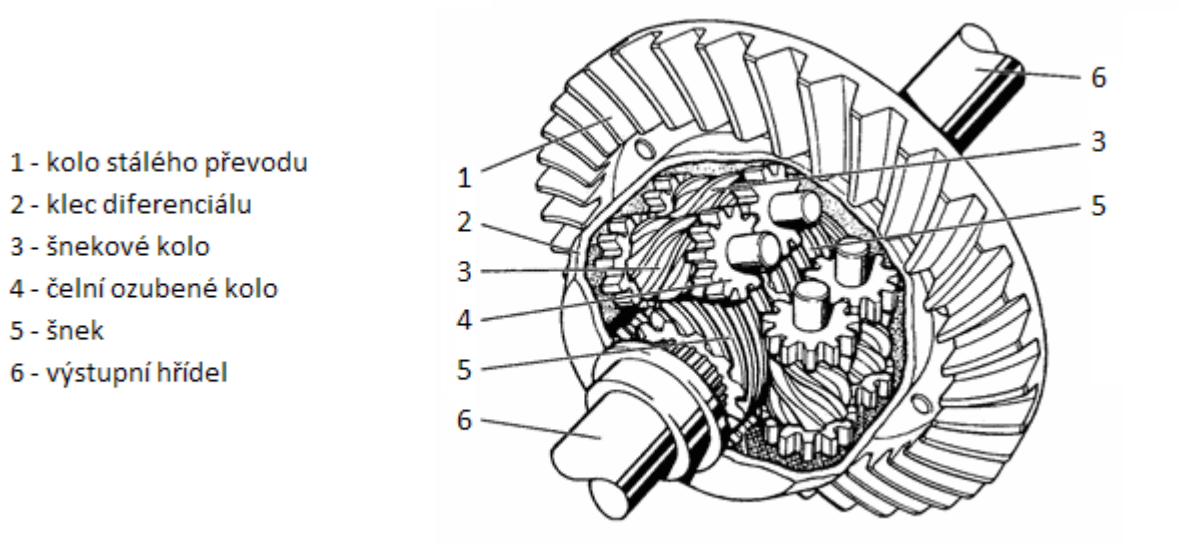
Obrázek 11. Diferenciál s čelním ozubením [11]

1 – Satelit
2 – Hřídele satelitů
3 – Skříň diferenciálu
4 – Dutý hřídel
5 – Planetové kolo
6 – Průchozí plný hřídel
7 – Planetové kolo
[10]

Planetové kolo s číslem 7 je vloženo na hřídel (6), která prochází skříní diferenciálu. Ta míří k zadnímu dvoustrannému stálému převodu. Druhé planetové kolo, označeno číslem 5, je na duté hřídeli (4). Ta je poháněna pastorkem dvoustranného stálého převodu. Výhodu diferenciálu je dobré využití prostoru. [10]

Čelní diferenciál se nejčastěji používá u převodu dvoustranného, nebo u převodu dvojnásobného dvoustranného vnitřního a vnějšího. U obou těchto převodů se diferenciál umisťuje před stálý převod. U nás využívaný ve vozech Tatra. [10]

Druhým typem je šroubový diferenciál Torsen. Tyto diferenciály mají oproti kuželovým převodům šneková soukolí. Pokud vozidlo jede v přímém směru otáčí se diferenciál jako jeden celek a momenty na kolech jsou stejné. Ovšem ve směrovém oblouku se začnou otáčet šneky a šneková kola vzhledem ke skříni diferenciálu. Diferenciál je vyobrazen na obrázku 12. [11]



Obrázek 12. Šnekový diferenciál Torsen [12]

Nevýhodou šnekových diferenciálů je jejich velká složitost na konstrukci, na výrobní přesnost ozubení a také potřeba kvalitních materiálů. Z tohoto důvodu se využívají jen velice zřídka.

6 Hnací hřídele a klouby

Hnací hřídele slouží ke stálému připojení mezi komponentami, které jsou od sebe fyzicky oddělené. Jedná se o případy propojení převodovka – rozvodovka, rozvodovka – kolo. V případě elektrických vozidel dochází ke spojení pouze mezi diferenciálem a jednotlivými koly. To je dáno díky použití druhého motoru na nápravu. Není tedy potřeba řešit propojení mezí zadní a přední nápravou. Pokud by se jednalo o pohon všech kol. Z tohoto důvodu se u elektrických vozidel nepoužívá podélná hnací hřídel. Proto nebude v této kapitole její konstrukce řešena. Avšak konstrukce je velice podobná s příčnými hnacími hřídelemi. Příklad příčné hnací hřídele je vidět na obrázku 13. [6, 12]

Na obrázku je možné vidět příklad konstrukce hnací hřídele na voze Škoda Octavia. V tomto případě je možné pro ukázku využít hřídel z vozidla vybaveného konvenčním pohonem. Protože i elektrická vozidla jsou vybavena hřídelemi podobné konstrukce. Což se dále odvíjí od výkonu daného motoru. [6, 12]

Obrázek 13. Hnací hřídel [13]

6.1 Příčné hnací hřídele

Jak bylo nastíněno, příčné hnací hřídele přenášejí moment mezi diferenciálem a hnacími koly. Další funkcí je pohltit rozdíly délek náprav při pružení vozidla.

Oproti příčným hřídelím používané na zadní nápravě je konstrukce na přední nápravě složitější, protože musí být řiditelná.

Hnací hřídele pro přední kola musí splňovat tři následující požadavky. Přenos momentu z diferenciálu na kola, kompenzace délky při pružení a zajištění stejné funkce pří jeho vychýlení. [6, 12]

Kompenzace délky je řešena pomocí posuvného kloubu. Ten umožňuje pohyb v rozmezí 25 až 50 mm. Tím se může pohodlně přizpůsobovat délka při pružení náprav. Dalším pohybem, který musí hnací hřídele zvládnout je pohyb kola pro možnost řízení. Tedy hnací hřídel musí být schopna velkých úhlových změn. Zpravidla se jedna o 40 až 50 stupňů. Proto jsou hnací hřídele vybaveny klouby, které tyto pohyby umožňují. [6, 12]

Nejčastěji používané klouby na hnací hřídeli se nazývají homokinetické (stejnoběžné). Konstrukce umožňuje velké vyhnutí bez ztráty točivého momentu. Díky lehkému chodu zabraňují v přenášení reakčních sil pohonu do řízení vozidla. [6, 12]

Prakticky se používají dva typy stejnoběžných kloubů. První je pevný stejnoběžný kloub. Jeho místo je u hnaného kola. Na straně diferenciálu se umisťuje stejnoběžný posuvný kloub. Ten slouží pro vyrovnání délek při pružení vozu. Oba tyto klouby jsou vyobrazeny na obrázcích 14 a 15. [6, 12]

Obrázek 14. Homokinetický kloub [14]

Obrázek 15. Posuvný homokinetický kloub – opravná sada VW [15]

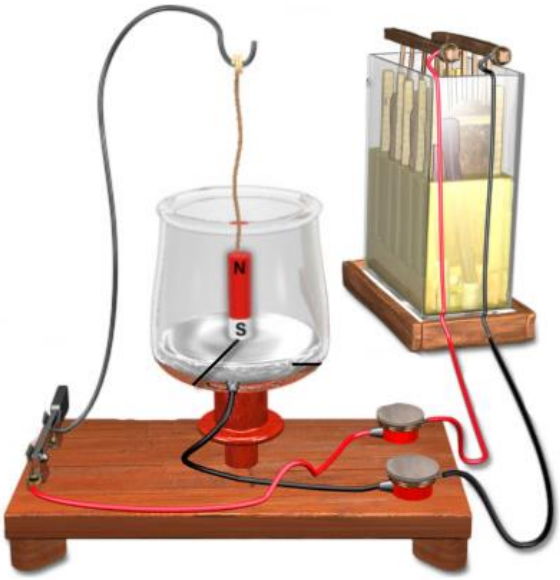
7 Elektromotor

Elektromotor je nejdůležitější součást samotného elektromobilu. Definuje jeho jízdní vlastnosti i jízdní komfort. Určitým vlivem se podílí i na celkovém dojezdu vozidla. Ten je ovšem převážně dán kapacitou a typem použitých baterií.
V nadcházející kapitole bude elektromotor vysvětlen podrobněji. Na začátku bude popsána jeho historie a posléze i jeho používané typy určené do elektrických vozidel.

7.1 Počátky vzniku elektromotoru

S vynálezem prvního elektromotoru se pojí důležité a velmi známé jméno. Michael Faraday byl významný chemik a fyzik, který jako první dokázal vyvinout první primitivní elektromotor. Ovšem tento objev by nebyl možný bez dalších vynálezců. [13]
Až do konce 18. století studovali tamní učenci elektrické a magnetické jevy odděleně. Pokusy, které učenci dělali, neměly skoro žádné praktické využití. Sloužily spíše pro pobavení pro urozenou šlechtu. Zabývali se především studiem elektrostatiky.
Nejznámější vynálezci této doby jsou například Benjamin Franklin (vynález bleskosvodu), Luigi Galvani (pokusy se žabími stehýnky) či v neposlední řadě Charles August de Coulomb, který se zabýval zákonem silového působení elektrických nábojů.
Velký zlom nastal v roce 180. Vědci začali využívat elektřinu a magnetismus. Jedním z nich byl italský vědec Alessandro Volta. Jeho galvanický článek spustil nové možnosti pro další vědce.
Díky objevu galvanického článku se vynálezci mohli dále zabývat vlastnostmi a účinky elektrického proudu. Zkoumali, jak prochází kovovými vodiči, kapalinami a plyny. V roce 1820 objevil dánský fyzik Hans Christian Oersted nezávisle s francouzským fyzikem André Marie Ampère souvislost mezi elektřinou a magnetismem. Dokázali, že pokud vodičem prochází elektrický proud vzniká kolem tohoto vodiče magnetické pole. Na tento objev navázal již zmíněný fyzik Michael Faraday. [14]
První elektromotor byl velmi primitivní, avšak položil základ dnešním moderním motorům. Původní elektromotor tvořila skleněná nádobka naplněná rtutí, v níž byl umístěn tyčový magnet. Shora do rtuti se pověsil drát. Jako zdroj napětí byl použit galvanický článek, který se jedním pólem připojil na zavěšený drát a druhým pólem se umístil na kontakt vytvořený na stěně nádobky. Elektrický proud začal procházet mezi zavěšeným drátem a stěnou nádobky. Proud tedy procházel přímo přes rtuť a vzniklé magnetické pole začalo uvádět rtuť do kruhového pohybu. Následně rtuť začala otáčet zavěšeným drátem. Tím se dodávaná elektrická energie mění na pohybovou. Ovšem účinnost této přeměny je nepatrná, avšak velmi

důležitá pro budoucí vývoj elektromotorů. První elektromotor je vyobrazen na obrázku 16. [13, 14, 15]



Obrázek 16. Faradayův motor 1821 [16]

Dalšími vědci, kteří se postarali o zdokonalení elektromotoru jsou například Peter Barlow a Moritz Herman. Herman v letech 1834–1860 vylepšil motor člunu na stejnosměrný proud. Zdrojem elektrické energie bylo 320 galvanických článků. Jejichž cena byla tak vysoká, že později donutila vědce pokusy ukončit. [16]

7.2 Základní charakteristika a rozdělení elektromotorů

Elektromotory jsou mechanické stroje, které přeměňují elektrický proud na pohybovou energii. Účinnost elektromotorů je velmi vysoká. Pohybuje se mezi 75–90 %. Energie se vytrácí například na Joulovo teplo, Foucaultové proudy, hysterezi a jiskření. S porovnáním s klasickými konvenčními spalovacími motory má elektromotor vyšší účinnost. Avšak elektromotory stále doplácejí na fakt, že potřebují zdroj elektrické energie. Ten je stále největším problémem. Ovšem v dnešní době modernizací a nových technologií, došlo u baterií k pokroku. Proto se nyní stále více dostávají do velkého zájmu v automobilovém průmyslu. [13, 16]

Každý elektromotor se skládá ze dvou hlavních částí, z rotoru a statoru. Stator je nepohyblivá část, v které se otáčí rotor. Elektrický proud prochází vinutím statoru a vinutím rotoru. Tím se vytváří dvě magnetická pole, která na sebe vzájemně působí přitažlivými a odpudivými silami. Tím dochází k otáčení rotoru. Velkou výhodu je také možnost reverzace otáček.

Motor se tedy může otáčet na obě strany. Záleží pouze na polaritě připojeného elektrického zdroje. [16, 17, 18]

Elektromotory můžeme zjednodušeně rozdělit dle určitých kritérií. Rozdělení můžeme vidět v tabulce č.1 níže. [16]

Tabulka 1. Rozdělení elektromotorů [1]

Podle druhu proudu	Stejnosměrné		Střídavé	
Podle zapojení vinutí statoru a rotoru	Sériové	Derivační		
Podle napájecího proudu			Jednofázové	Třífázové
Podle vzájemného působení magnetických polí			Synchronní	Asynchronní

Elektromotory můžeme dále dělit dle tvaru samotného motoru. Jestli se jedná o patkové, přírubové nebo vestavné. Také můžeme dělit podle způsobu chlazení nebo podle krytí. Tedy jak je motor odolný například proti vlhkosti či prachu. [18]

7.3 Pracovní oblast elektromotorů

Jedinečnou vlastnosti elektromotorů jsou jejich pracovní režimy. Motory mohou pracovat hned v několika různých případech. Tyto režimy budou nyní krátce vysvětleny v následujících podkapitolách. [18]

7.3.1 Motorický režim

Jedná se o nejzákladnější pracovní režim. Elektromotor odebírá elektrickou energii z použitého zdroje a přeměňuje danou elektrickou energii na pohybovou. Výsledkem je roztočení rotoru motoru. [18, 19]

7.3.2 Generátorický režim

Rotor motoru je roztáčen druhým zařízením například se jedná o parní turbínu, parní stroj, kliku nebo vrtuli větrné elektrárny. Mechanická energie z druhého zařízení je motorem převedena na elektrickou energii. Následná vyrobená elektrická energie může být uložena do akumulátorů nebo přímo dodávána do elektrické sítě. Tento režim se také jinak nazývá rekuperace. [18, 19]

7.3.3 Brzdný režim

Motor odebírá ze zdroje elektrický proud. Odebraný proud následně působí proti směru otáčení rotoru, který je roztáčen mechanickou vnější silou. Elektrická i mechanická energie

je přeměněna na teplo, které vzniká převážně na jednotlivých lamelách (kotvě) motoru. To může při dlouhodobém využívání režimu daný motor poškodit. Proto se tento režim smí využívat pouze krátkodobě. [18, 19]

7.3.4 Elektrodynamická brzda

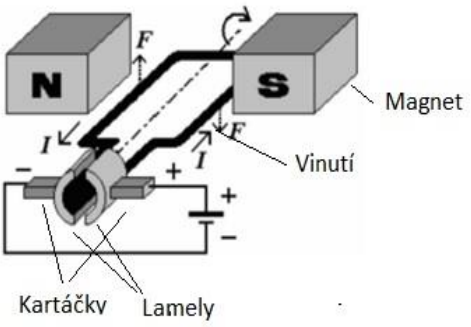
Tento režim se využívá ke zpomalení a zkrácení doběhu motoru. Elektrodynamická brzda odebírá z napájecího zdroje malou část elektrické energie. Stator motoru je napájen proudem, jehož hodnota je menší než efektivní hodnota jmenovitého proudu. Vytváří spřažený magnetický tok, ve kterém se otáčí rotor. V jednotlivých vinutí rotoru se indukuje napětí. Vzniklý proud se uzavírá zkratovanými vodiči rotoru. Vzniklá elektrická energie se přeměňuje na teplo. Pří klesajících otáčkách elektrodynamická brzda ztrácí svoji účinnost. Pokud se stroj otáčí nízkou rychlostí je použití elektrodynamické brzdy málo účinné. Naopak při vysokých otáčkách motoru je účinnost brzdy velmi vysoká a její použití opodstatněné. [19, 20]

7.4 Stejnosměrné elektromotory

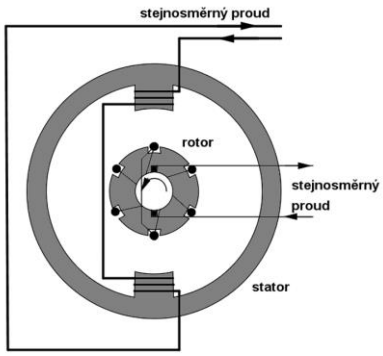
Stejnosměrný motor tvoří stator a rotor. Pro pochopení principu činnosti bude princip zjednodušeně popsán.

Pro představu bude stator tvořen dvěma magnety. Magnety jsou umístěny proti sobě tak, aby jeden měl severní a druhý jižní magnetický pól. Namísto magnetů lze také použít elektromagnety. Ty budou následně napájené stejnosměrným proudem, aby opět vzniknul severní a jižní magnetický pól.

Rotor elektromotoru má tvar válce, který je vyroben z železných plechů. Na povrchu válce jsou prostory pro navinutí jednotlivých vinutí. Každé vinutí je vyvedeno na komutátor. Ten je dle počtu vinutí složen z jednotlivých elektricky izolovaných lamel. Na lamely přiléhají z pravidla dva kartáčky umístěné proti sobě. Ty doléhají vždy na jednu lamelu. Pokud ke kartáčkům připojíme stejnosměrný proud, pak bude proud procházet po každé jedním konkrétním vinutím. To je vždy napojeno na příslušné lamely. Průchodem proudu vinutí, začne vznikat magnetické pole, které pootočí rotor. V tu chvíli dojde k posunutí lamel a kartáčky začnou dosedat na sousední lamelu. Proud pak bude protékat dalším vinutím. Tento děj se bude opakovat do doby, kdy bude zajištěn přívod elektrické energie na kartáčky. Schéma principu činnosti s použitím permanentních magnetů nebo elektromagnetů je vyobrazeno na obrázku 17 a 18, které jsou uvedeny níže. [16, 17, 18]



Obrázek 17. Princip činnosti stejnosměrného motoru s použitím permanentních magnetů [17]



Obrázek 18. Princip činnosti stejnosměrného motoru s použitím elektromagnetů [16]

Dle způsobu zapojeni vinutí rozdělujeme stejnosměrné motory na sériové a derivační. [16, 17]

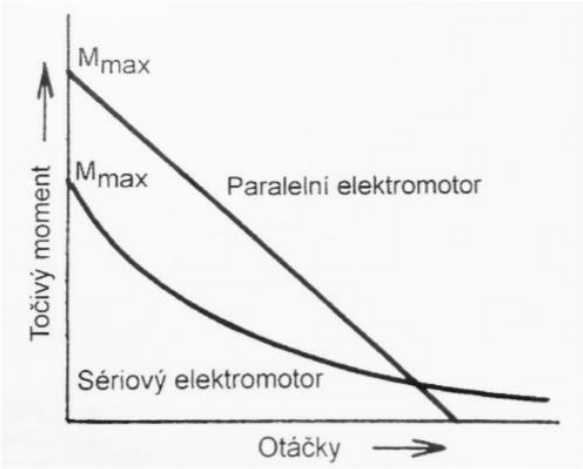
7.4.1 Sériové zapojení vinutí

Jednotlivá vinutí motoru jsou zapojena do série. Charakteristikou těchto motorů je změna otáček na základě zatížení, přičemž s klesajícími otáčkami stoupá výkon motoru. Proto se tyto motory používají tam, kde je potřeba velkého výkonu z nulových otáček (např.: tramvaje, elektrické lokomotivy, výtahy nebo jeřáby). Charakteristika těchto motorů je uvedena společně s derivačními motory v grafu 3. [16, 17]

7.4.2 Derivační zapojení vinutí

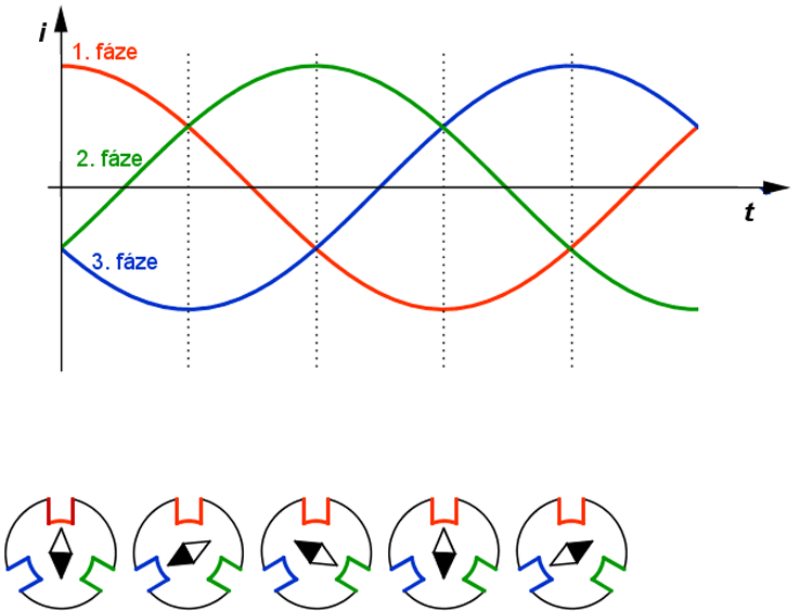
Jednotlivá vinutí motoru jsou zapojen paralelně. Na rozdíl od sériového zapojení vinutí, tyto motory s rostoucím zatížením své otáčky prakticky nemění. Používají se tedy u zařízení, kde požadujeme stálou rychlost otáčení, a to při jakékoli zátěži. Například se může jednat o čerpadla, obráběcí stroje nebo textilní stroje. Charakteristika motoru je uvedena v grafu 3. [16, 17]

Graf 3. Charakteristiky paralelního a sériového stejnosměrného elektromotoru [3]



7.5 Střídavé elektromotory

U střídavých elektromotorů, podobně jako u stejnosměrných motorů, je stator tvořen elektromagnety. Ty jsou navzájem pootočeny o 120°. Do prostoru mezi elektromagnety je umístěna magnetka. Jedná se o malý otočně uloženy magnet. Díky napájení jednotlivých vinutí elektromagnetu se magnetka otáčí. Pro názornější představu je níže uveden obrázek 19, kde je znázorněn postup napájení jednotlivými fázemi střídavého proudu. [16]



Obrázek 19. Princip činnosti střídavého proudu [18]

Z obrázku je patrné že magnetka se natočí vždy k elektromagnetu, do kterého je přiveden proud. Magnetka se otáčí se stejnou frekvencí jako je frekvence střídavého proudu. Motory, které využívají tohoto principu, nazýváme synchronní. Dalším a dnes jíž velmi používaným

typem střídavého elektromotoru je asynchronní. Oba tyto typy dále budou více popsány v následujících kapitolách. [16, 21]

Nevýhodou střídavých elektromotorů pro pohon elektrických vozidel je nutnost použití elektronické regulace. Jejím úkolem je přeměnit stejnosměrné napětí na střídavé. Obvykle je tak dosaženo postupným spínáním tyristoru. Tím se pravoúhlý průběh mění na přibližně sinusový a motor se tak může začít otáčet. K regulaci tahové síly a otáček motoru musí být proměnná frekvence i napětí. Ovšem tato nevýhoda je vyvážena vysokým výkonem, nízkou hmotností, malou velikostí a bezúdržbovým provozem střídavých motorů. [8]

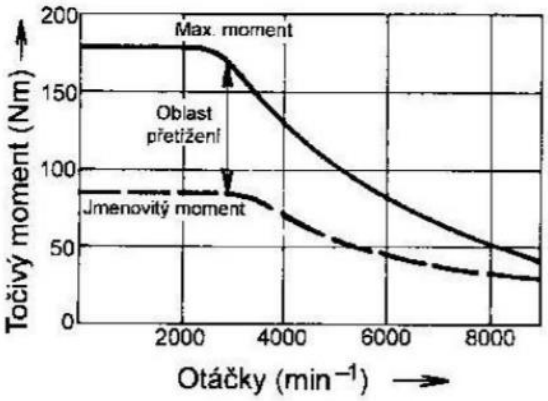
7.5.1 Synchronní střídavé elektromotory

Tento typ motorů se skládá ze dvou základních částí z rotoru a statoru. Rotor motoru je vybaven buď permanentními magnety (permanentní buzení) nebo cívkou, která je napájená stejnosměrným proudem. Rotor tak dokáže sledovat otáčky točivého momentu magnetického pole. Stator je vybaven třífázovým vinutím. Pro rozběh je zapotřebí připojení jednotlivých třech fází. Pokud bychom chtěli motor zapojit pouze na jednofázovou síť je nutné motor dovybavit pomocným vinutím. [8, 16, 18]

Výhodu těchto motorů je vysoká účinnost, vysoký točivý moment v celém otáčkovém spektru a samotná přesnost otáček. Které jsou dány frekvencí elektrické energie z jednotlivých fází. Motory se používají k pohonu čerpadel, kompresorů nebo v přečerpávacích elektrárnách, kde mohou pracovat ve dvou pracovních režimech. V prvním pracují v motorickém režimu, tedy přečerpávají vodu. V druhém případě pracují v generátorickém režimu pro výrobu elektrické energie. Motory se také často využívají k pohonu elektrických vozidel. [8, 16, 18, 23]

Nevýhodou motorů je zastavení při vysoké zátěži. Je to dáno magnetickou silou, která je v celém spektru neustále stejná. Typický průběh točivého momentu synchronního motoru je vyobrazen v grafu 4. [16, 18, 23]

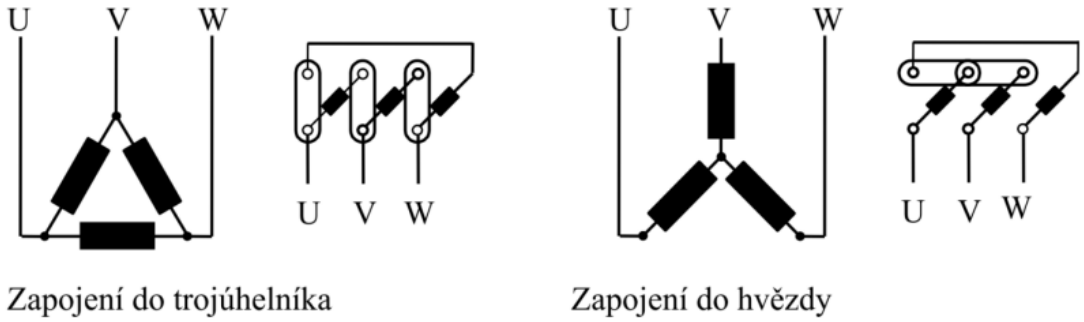
Graf 4. Typický průběh točivého momentu synchronního elektromotoru [3]



7.5.2 Asynchronní elektromotory

V dnešní době se jedná o velmi rozšířený typ motoru. Jeho jediným problémem byla v dřívějších dobách regulace otáček. To se ale změnilo s příchodem frekvenčních měničů, které jsou schopny měnit frekvenci a tím i otáčky motoru. Nejvýznamnějším rozdílem oproti stejnosměrným i synchronním motorům je, že se do rotoru nepřivádí žádný elektrický proud. Proud prochází pouze vinutím statoru. [16]

Stator motoru se skládá ze tří statorových cívek, které vytvářejí kruhové točivé magnetické pole. Pro vznik točivého magnetického pole je zapotřebí třech fází. Připojením pouze jedné fáze by se motor teoreticky nemohl začít otáčet. Tento problém je řešitelný s použitím pomocného vinutí, které je následně připojeno přes elektrický kondenzátor. Ten se krátkodobě připojuje k fázi. Kondenzátor způsobí fázový posun a tím vytvoří eliptické magnetické pole. Ovšem jsou také asynchronní motory s trvale připojeným pomocným vinutím přes kondenzátor. Dále existují dva možné způsoby připojení statorových cívek. Ty mohou být zapojeny do hvězdy nebo do trojúhelníka. Tyto dva typy zapojení jsou vyobrazeny níže na obrázku 20. [16, 23]



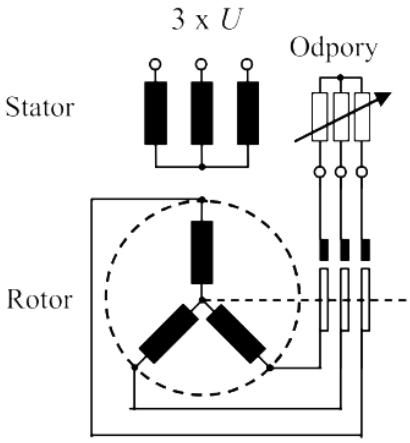
Obrázek 20. Zapojení statorových cívek a svorek [17]

Výhodou těchto zapojení je rozdíl odběru proudu při určitém napětí. Například zapojení do hvězdy má pro určité napětí až o 1,7krát menší odběr proudu než zapojení do trojúhelníku. Tohoto faktu je využíváno při rozběhu větších motorů. Jedná se zpravidla o motory s výkonem až 4kW. Při připojení je motor nejdříve zapojen do hvězdy. A po dosažení provozních otáček se motor přepojí do trojúhelníka. [16, 18, 23]

Cívky statorového vinutí jsou zapojeny ke třem dvojicím svorek, které je možné vidět na obrázku 20. Na obrázku je také možné vidět příslušné zapojení cívek dle potřebného způsobu zapojení. Pro přepínání mezi režimy můžeme využít například přepínač s označenými polohami. [16, 18, 23]

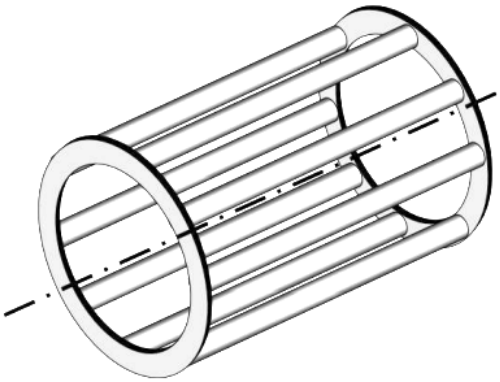
Další částí je rotor. Ten může být dvojí konstrukce. V prvním případě je rotor tvořen třífázovým vinutím, které je vloženo do drážek rotoru. Vinutí jsou zapojena do hvězdy a příslušné vodiče

se nevyvádějí ven. Další možností je vývody vyvést na kluzné kontakty. Ty jsou vytvořeny ze tří kroužků a na ně doléhají uhlíkové kartáče. Ty se nadále pospojují přes vnější odpory, které se mohou měnit. Jejich změnou lze vylepšit rozběh motoru. Zapojení je možné vidět na obrázku 21. Dále musí platit, že počet pólů rotorového vinutí je shodný s počtem pólů statoru. Tento typ konstrukce motoru je pojmenován jako kroužkový asynchronní motor. [16, 18, 23]



Obrázek 21. Zapojení kroužkového asynchronního motoru [17]

Ovšem tento elektromotor je kvůli kluznému kontaktu příliš náročný na údržbu. Proto vznikl druhý typ konstrukce s kotvou nakrátko. Konstrukce neobsahuje kluzné kontakty a ani kartáče. Rotor je tvořen takzvanou klecí. Ta je tvořena neizolovanými tyčemi, které jsou na konci spojeny kruhy. Tyče mohou být hliníkové nebo měděné. Tento typ konstrukce je znázorněn na obrázku 22. Jedná se o méně náročný elektromotor na údržbu. [16, 18, 22, 23]



Obrázek 22. Klecový rotor [17]

Po připojení napájecího napětí na statorové cívky o známe frekvenci f a počtu pólů elektromotoru p vytvoří magnetické pole o uhlové rychlosti ω_0 . Pro úhlovou frekvenci platí vztah:

$$\omega_0 = 2\pi \frac{f_1}{p} \tag{3}$$

Vzniklé magnetické pole indukuje ve vinutí nebo v kleci rotoru proud. Ten vyvolá sílu působící kolmo na vodiče rotoru. Tato dvojice sil následně vyvolá kroutící moment, který začne otáčet rotorem motoru. Rychlost rotoru je vždy o trochu menší, než je rychlost magnetického pole. Je to dáno tím, že pokud by rotor dosáhl stejných otáček jako magnetické pole, přestala by působit na jednotlivé tyče síla. Tím by došlo k pozvolnému zpomalování rotoru. Ovšem jakmile rotor začne zpomalovat, začnou na jednotlivé rotorové smyčky působit různě velká magnetická pole. Tím indukovaný proud a síla na rotor opět vzrůstá. Výsledkem je opětovný růst otáček. Rotor se otáčí vždy menší rychlostí, než jsou synchronní otáčky. Rozdíl mezi synchronními otáčkami a otáčkami rotoru známe jako skluz.

Motory jsou dále vybaveny chladícím ventilátorem, protože část použité energie v motoru je ztracena ve formě tepla. Ventilátor bývá nasunut přímo na rotor motoru. [16, 18, 22]

8 Vybrané modely dnešních elektromobilů

V této kapitole budou analyzovány některé vybrané modely dnešních nabízených elektromobilů. U vozidel budou vyhledány informace o použitém motoru, bateriích a konstrukčním uspořádání. Mezi vozidly budou i značky tuzemské výroby. Ve výčtu automobilů budou zmíněné převážně menší elektrické vozy, které se svými specifikacemi blíží co nejvíce představě navrhovaného elektromobilu. Ten by měl být schopen převézt dvě osoby včetně nákladu akceptovatelnou rychlostí.

Pro zajímavost bude uveden nejnovější elektromobil od automobilky Škoda Auto. Ten spadá do kategorie SUV a je tak z hlediska svých specifikací mimo zjišťované spektrum vozů. Je zde zmíněn z důvodu schopnosti konkurovat vozidlům s konvenčním spalovacím pohonem. Tento vůz bude zmíněn již na začátku probíraných vozů a posléze budou následovat již vozy, které nejvíce odpovídají představě o navrhovaném lehkém elektromobilu.

8.1 Škoda Enyaq

Škoda Enyaq je vůz v kategorii SUV. Jedná se o první elektrický vůz vyvíjeny ve Škoda Auto primárně určený pro pohon elektromotorem. Je nabízen ve třech výkonových variantách, přičemž v nejsilnější variantě je vybaven pohonem všech kol. Ve zbývajících dvou případech má vůz primárně poháněnou zadní nápravu. Cena vozu začíná na 1 124 900kč a jeho rozměry jsou 4649 x 1879 x 1616 mm. Hmotnost vozu 2150 kg. Ukázka vozu je znázorněna na obrázku 23. [23, 24]

Obrázek 23. Škoda Enyaq [19]

8.1.1 Škoda Enyaq iV 60

Jedná se o nejslabší výkonovou variantu. Vůz je vybaven synchronním elektromotorem o výkonu 132 kW spojený s jednostupňovou převodovkou. Pohonná jednotka je vyobrazena na obrázku 24. [23, 24]

Specifikace:

Spotřeba 15,9 – 16,6 kWh/100 km

Max. rychlost 160 km/h

Zrychlení 8,8 s na 100 km/h

Max. točivý moment 310 Nm

Baterie 58 kWh

Umožnuje rychlé nabíjení 50 kW

Dojezd 411 km (dle WLTP)

[23, 24]

Obrázek 24. Pohonná jednotka Škoda Enyaq iV 60 [19]

8.1.2 Škoda Enyaq iV 80

Jedná se o nejsilnější verzi motoru s výkonem 150 kW, který je spojen s jednostupňovou převodovkou. Vozidlo má stále jeden synchronní elektromotor, který je umístěn na zadní nápravě. Jedná se tedy o pohon pouze zadních kol. Vizuálně je pohon shodný s nejslabší motorizací vyobrazené na obrázku 24. [23, 24]

Specifikace:

Spotřeba 16,2 – 18,1 kWh/100 km

Max. rychlost 160 km/h

Zrychlení 8,8 s na 100 km/h

Max. točivý moment 310 Nm

Baterie 77 kWh

Umožnuje rychlé nabíjení 50 kW

Dojezd 534 km (dle WLTP)

[23, 24]

8.1.3 Škoda Enyaq iV 80x

Nejvrcholnější verze Škody Enyaq, která má pohon všech kol. Je doplněna o další elektromotor, který je napojen na přední nápravu. Kombinovaný výkon je 195 kW a oba motory jsou spojeny opět s jednostupňovou převodovkou. Motor na zadní nápravě je synchronní a má výkon 150kW s točivým momentem 310 Nm. Vpředu na nápravě je asynchronní motor o výkonu 80 kW a točivým momentem 162 Nm. Část pohonné jednotky je vyobrazena na obrázku 25. [23, 24]

Specifikace:

Spotřeba 17,0 – 18,7 kWh/100 km
Max. rychlost 160 km/h
Zrychlení 6,9 s na 100 km/h
Max. točivý moment 310 Nm
Baterie 77 kWh
Umožnuje rychlé nabíjení 50 kW
Dojezd 495 km (dle WLTP)
[23, 24]

Obrázek 25. Pohonná jednotka Škoda Enyaq iv 80x [19]

8.2 Volkswagen ID

Automobilka Volkswagen vyrábí sérii modelů s onačením ID. Jejich vozy nesou postupné označení ID.3 až ID.5. V paletě nalezneme i sportovní modely jako model ID.4GTX. Z pohledu nejmenších vozidel nabízí již dnes už velmi známy model Volkswagen e-up!. Ten byl v několika posledních letech modernizován. Nejaktuálnější verze má dojezd až 260 km a je nabízena od roku 2020. Avšak jedná se o model, který byl na začátku výroby tvořen na spalovací motor. Vozidlo nebylo primárně určeno na pohon elektromotorem.

Proto bude blíže popsán vůz z nové flotily, které bylo konstruováno už od základu jako čistě elektrický model. Bude se tedy jednat o vozidlo ze skupiny ID. Z té bude vybráno nejmenší vozidlo ID.3. [25, 26]

8.2.1 Volkswagen ID.3

Vůz je nabízen ve dvou výbavových stupních. První nese název Pro Perfomance a druhý Pro S. V plánu je i sportovní provedení GTX.
Rozměry vozidla 4261 mm x 1809 mm x 1552 mm. Pohotovostní hmotnost je 1794 kg, a je schopno uvézt dle stupně výbavy 416 kg až 514 kg. Elektromotor je umístěn na zadní nápravě a žádná specifikace neumožňuje pohon všech kol. Jedinou výjimkou by měl být nový sportovní model GTX se dvěma elektromotory a pohonem všech čtyř kol. Cena vozu začíná na 1 183 900 Kč. Ukázka vozu a pohonné jednotky je vidět na obrázku 26 a 27 níže. Zajímavostí pohonné jednotky je její kompaktnost. Díky svým malým rozměrům se da vložit i do sportovní tašky. [25, 26, 27]

Obrázek 26. Volkswagen ID.3 [20]

Pro Performance

Dojezd (dle WLTP): až 426 km
Zrychlení 0–100 km/h: 7,3s
Doba nabíjení: střídavý proud 11kW 0 % - 100 %: 6h 15min
stejnosměrný proud 100kW 5 % -80 %: 35 min
Spotřeba: 14,5 -15,4 kWh/100 km
Kapacita baterie – 58 kWh
Ohřev/chlazení baterie
Výkon: 150 kW
Točivý moment: 310 Nm
Maximální rychlost 160 km/h
[25, 26, 27]

Pro S

Dojezd (dle WLTP): až 549 km

Zrychlení 0-100 km/h: 7,9 s

Doba nabíjení: střídavý proud 11kW 0 % - 100 %: 7h 30 min

: stejnosměrný proud 100kW 5 % -80 %: 38 min

Spotřeba: 13,5 -14,1 kWh/100 km

Kapacita baterie – 77 kWh

Ohřev/chlazení baterie

Výkon: 150 kW

Maximální rychlost 160 km/h

[25, 26, 27]

Obrázek 27. Pohonná jednotka Volkswagen ID.3 [21]

8.3 Renault Twizy

Návrh vozidla, které je navrhováno na ČVUT FD je inspirováno více vozy. Jedním z nich je právě i tento malý městský elektromobil Renault Twizy. Vůz je schopný převézt pouze jednu osobu s malým množstvím zavazadel. Vůz je určen převážně pro pohyb ve městě, tomu je i přizpůsobená maximální rychlost na 80 km/h. Délka vozidla je 2338 mm pří šířce 1381 mm přes boční zrcátka. Výška vozu je 1454 mm. Hmotnost vozu včetně akumulátorů je 474 kg. Samotný vůz bez baterií váží 375 kg. Maximální užitná hmotnost je 690 kg. Vůz je vyobrazen na obrázku 28. [28, 29]

Obrázek 28. Renault Twizy [22]

Vůz je poháněn střídavým asynchronním motorem, který je spojen s jednostupňovou převodovkou se stálým převodovým stupněm značky COMEX. Pohonná jednotka je umístěna na zadní nápravě a je ji možno vidět na obrázku 29. [28, 29]

Obrázek 29. Pohonná jednotka pro Renault Twizy [23]

Zajímavostí vozidla, který každý uživatel ihned odhalí, je absence klik dveří včetně kompletních uzamykatelných zámků. Dveře se otevírají zevnitř vozu zatažením za kliku. Poté se dveře vyklopí směrem nahoru. To je velká výhoda ve stísněných prostorech, kdy klasické dveře lze otevřít jen málo. Cestující je pak nucen se někdy velmi malým prostorem protáhnout. Tato nevýhoda je u tohoto vozů minulostí. Avšak jeho nevýhodou jsou permanentně otevřená boční okna. Interiér je plně otevřen a je tak vystaven povětrnostním vlivům. S tím ale výrobce počítal, a proto je celý interiér tvořen z plastu včetně sedadla pro cestujícího. Na pravé straně pak nalezneme jedinou uzamykatelnou schránku, která má objem 5 litrů. Na levé je pak schránka menší, která ovšem nabízí 12 V zásuvku a USB-A. Dále je u schránky oválné tlačítko s voličem směru jízdy. Objem zavazadlového prostoru je 31 litrů. [28, 29]

Specifikace:

Dojezd: 100 km (dle ECE-15), spotřeba 63Wh/km, reálny dojezd 70 až 80 km

Kapacita baterií: 6,1 kWh

Výkon: 13kW (17kW)

Maximální točivý moment: 57 Nm

Cena od 319 900 kč

[28, 29]

8.4 Tazzari

Značka Tazzari se nejprve zabývala výrobou strojů pro úpravy lyžařských sjezdovek, výrobou čerpadel a domíchávače betonu určené k připojení k automobilovému podvozku. Na konci devadesátých let Tazzari přišlo s myšlenkou výstavby čistě elektrického vozidla.

V současnosti koncern Tazzari nabízí několik malých elektrických vozidel jako malý nákladní vůz Minimax CUBO či Zero 4 Buggy. Ovšem nejzajímavější model pro stavbu vozidla na ČVUT FD je model MINIMAX. Tento model bude následně podrobněji popsán. Na obrázku 30 jsou vidět modely CUBO a Zero 4 Buggy. [30, 31]

Obrázek 30. Modely Zero 4 Buggy (vlevo) a Minimax CUBO (vpravo) [24]

8.4.1 Tazzari MINIMAX

Jedná se o vozidlo zastupující stejnou skupinu vozidel jako Renault Twizy. Jedná se o malé městské vozidlo umožňující přepravu dvou osob rychlostí až 80 km/h. Vozidlo se vyrábí ve dvou verzích a to MINIMAX 45 a MINIMAX 80. Rozdíl je ve výkonu motoru a v maximální rychlosti. Kapacitu baterií lze nakombinovat stejně jako možnost nabíjení či další komfortní prvky výbavy. Délka vozidla je 2 129 mm při šířce 1200 mm. Výška vozidla je 1668 mm. Hmotnost vozidla je mezi 425 a 450 kg bez baterií. Pohonná jednotka je oproti ostatním výrobcům umístěna v přední časti vozidla a je tedy poháněná přední náprava. Skládá se ze střídavého asynchronního motoru spojeného s jednostupňovou převodovkou.

Minimax 45 spadá do kategorie L6e, proto je možné ho řídit s řidičským oprávněním skupiny AM. Verze MINIMAX 80 spadá do kategorii L7e a řízení je možné již pouze s řidičským oprávněním skupiny B.

Tazzari MINIMAX je možné vidět na obrázku 31 níže. Jeho pohonná jednotka je pak vyobrazena na obrázku 32. [31, 32, 33, 34, 35]

Obrázek 31. Tazzari MINIMAX [25]

Specifikace:

Výkon motoru: 6kW/10kW nebo 11,5kW/15kW dle verze

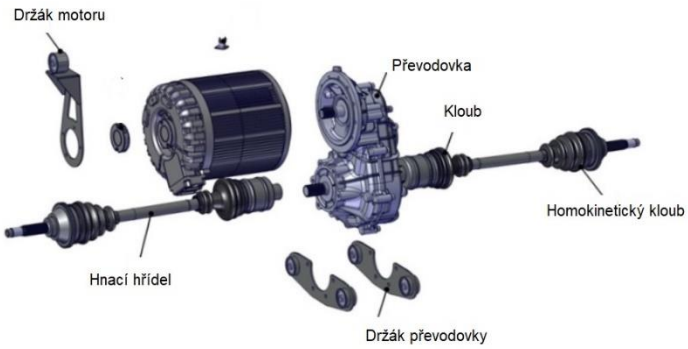
Baterie: 8kWh nebo 16kWh dle výbavy

Max. rychlost: 45 nebo 80 km/h dle verze

Nabíjení: 2kW, 3,3kW, 6,6kW při 230 V výkon nabíjení dle výbavy

Dojezd: 112 km nebo 224 km dle výbavy

Cena: od 13 990€ (345 413 kč) [31, 32, 33, 34]



Obrázek 32. Pohonná jednotka Tazzari [26]

8.5 Tabby EVO

Jedná se jen o podvozek bez karoserie konstruovaný v Silicon Valley v Kalifornii. Výrobce nabízí možnost koupit si platformu pro výrobu elektrického vozu. Platforma obsahuje vše potřebné pro pohyb vozidla. Tedy motor, převodovku, konstrukční části pohonu, baterie, řízení a dvě sedadla v případě dvousedadlové verze. K dispozici je i platforma se čtyřmi sedadly. Nenabízí tedy kompletní vozidlo. Cena se pohybuje od 13 880€ do 24 961€. Pohonná jednotka je umístěna na přední nápravě a skládá se ze střídavého asynchronního motoru. Ten je spojen s jednostupňovou převodovkou.

Vozidlo může spadat do tří kategorií L7e, L6e nebo M1

Náhled platformy je vidět na obrázku 33 níže. Je na něm vyobrazená kompletní platforma vozu s ukázkou rozložení baterií a umístění pohonu.

[35, 36, 37]

Obrázek 33. Tabby EVO dvousedadlová verze [27]

Specifikace:

Hmotnost: 770 kg

Rozměry: 3420 x 2480 x 2090 mm

Baterie: LiFePO4, 185 Ah, 82 V (12,8kWh)

Max. rychlost: 100 km/h

Dojezd: 80 km

Motor: střídavý asynchronní 80 V, 19kW(29,5kW), 128 Nm

Převodovka: jednostupňová s poměrem 5,8:1

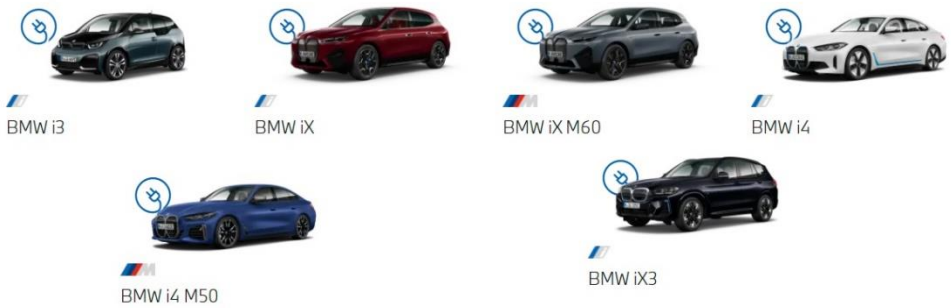
Nabíjení: Vhodný nabíječ vstup 220 V 10 A – výstup 80 V 25 A [35, 36]

8.6 BMW

Automobilka BMW nabízí v dnešní době již několik elektrických modelů. Pro návrh vozidla je ovšem nejzajímavějším model BMW i3. Jedná se o nejmenší elektromobil, který automobilka nabízí. Je také jedním z prvních elektrických vozidel nabízených německou automobilkou. V současné době vůz oslavil již desáté výročí.

Za svoji dobu na trhu vůz již prošel modernizacemi. Ty se týkaly například v navýšení dojezdu či výkonu motoru. Níže bude popsána nejnovější verze BMW i3.

Všechny nabízené elektrické modely BMW jsou vyobrazeny na obrázku 34 níže. Jedná se pouze o náhled a označení typu modelu. V současné době jsou již další dva nové modely, které ještě nebyly zveřejněny. Avšak jedná se o modely i7 a iX7. [38,39]



Obrázek 34. Nabízené modely BMW v současné době [28]

8.6.1 BMW i3

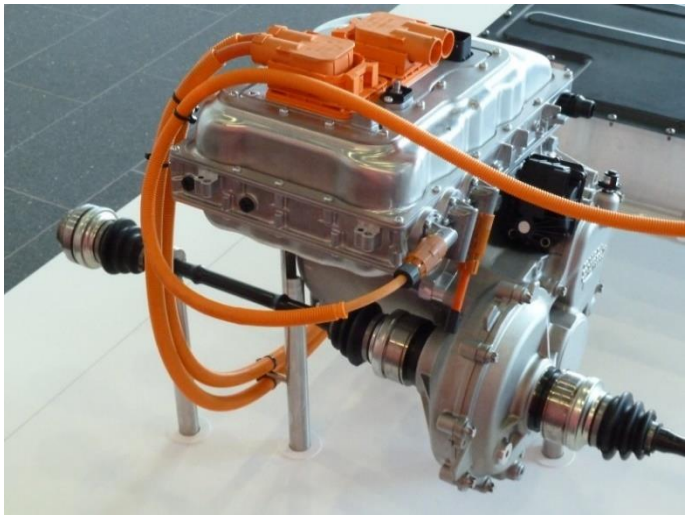
BMW i3 je nejmenším elektrickým vozidlem z nabídky automobilky BMW. Jedná se o jeden z prvních elektromobilů, které byly uvedeny na českém trhu. V době jeho uvedení vyvolal velké rozbroje mezi veřejností nejen kvůli designu ale také v použitém pohonu. Vozidlo je vyobrazeno na obrázku 35. [38, 39]

Obrázek 35. BMW i3 model roku 2021 [29]

Vozidlo nabídne poměrně velké místo pro cestující, ovšem pouze na předních sedadlech. Zadní sedadla nabízejí méně místa pro dospělého člověka, avšak pro děti je místo dostačující. Zavazadlový prostor nabídne 260 litrů a po sklopení zadních sedadel až 1100 litrů. Vůz dále zaujme neotřelým designem interiéru, kde nejvíce ohromí palubní deska vozu. Ta je zdobena přírodními materiály, které posádce evokují pocit luxusu. Ovšem nejzajímavější je absence B – sloupku. Díky tomu se přední dveře otevírají po směru jízdy a zadní proti. Výsledkem řešení je komfortnější nastupovaní cestujícího na zadní sedadla. Ukázka otevírání dveří je vyobrazena na obrázku 36. [38, 39, 40]

Obrázek 36. Ukázka otevírání dveří BMW i3 [30]

i3 je nabízen ve dvou modelových provedeních. Z nichž jedna je naladěna jako sportovní. Obě verze mají stejně výkonné baterie, avšak rozdílné výkony pohonné jednotky. Ta se skládá z jednostupňové převodovky, která je vyobrazena v této práci výše na obrázku 9, a střídavého synchronního motoru s permanentními magnety. Kompletní pohonná jednotka je umístěna na zadní nápravě vozidla, kde se stará o pohon zadních kol. Ani u sportovní verze není možnost pohonu všech kol. Technické specifikace jsou popsány níže. Celková pohonná jednotka včetně controlleru je vyobrazena na obrázku 37. [38, 39, 40]



Obrázek 37. Pohonná jednotka BMW i3 [31]

Specifikace

BMW i3

Výkon – 125(170) kw

Max. moment – 250 Nm

Max. rychlost – 150 km/h

Zrychlení na 100 km/h - 7,3 s

Baterie – 120 Ah 37,9 kWh Li-Ion

Nabíjení (0 – 100%) s 3,7 kW – 13h

Dojezd – 308–285 km/h

Spotřeba – 15,3 až 16, 3 kWh/100 km

Pohotovostní hmotnost – 1 345 kg

Max. povolená hmotnost – 1710 kg

Rozměry- 4011 x1775x1598

Cena – od 1 049 100 Kč

BMW i3s

Výkon – 135(184) kw

Max. moment – 270 Nm

Max. rychlost – 160 km/h

Zrychlení na 100 km/h – 6,9 s

Baterie – 120 Ah 37,9 kWh Li-Ion

Nabíjení (0–100 %) s 3,7 kW – 13h

Dojezd – 283–279 km/h

Spotřeba – 16,2 – 16,6 kWh/100 km

Pohotovostní hmotnost – 1 365 kg

Max. povolená hmotnost – 1730 kg

Rozměry- 4006 x1791x1590

Cena – od 1 149 200 Kč

[39]

8.7 Aixam

Aixam je výrobce malých vozidel pro osobní přepravu, které je možno řídit od patnácti let. Automobilka byla založena roku 1983 v Savojsku ve Francii. První model 325D uvedla roku 1984. O rok později následoval model 400D. [41, 42]

Automobilka v roce 2021 začala vyrábět řadu Aixam A.7XX, která má omezenou rychlost na 45 km/h. Díky této rychlosti lze v některých zemích vozidlo řídit i bez řidičského průkazu. To je výhoda pro lidi, kteří z nějakého důvodu zcela přišli o řidičské oprávnění. [41, 42]

Výrobce nabízí vozidla poháněna spalovacím i elektrickým motorem. Vozy poháněné čistě elektrickou energií spadají do řady eAixam, která nabízí pět modelů. Jsou to modely City Sport, City Pack, Coupe premium, Coupe GTI a Crossover. Všechny modely jsou vyobrazeny na obrázku 38. Dále bude popsána pouze verze Aixam City Pack. [42]

Obrázek 38. Přehled modelů vozidel Aixam [32]

8.7.1 Aixam City

Vozidlo nabízí převoz dvou osob včetně jejich zavazadel, která se dají uložit do zavazadlového prostoru v zadní části vozidla. Ten má objem 680 litrů. Karoserie je tvořena akrylovým tělem umístěném na hliníkovém rámu. Rozměry vozidla jsou 2762 x 1500 mm (D x Š) s rozvorem 1795 mm. [42, 43, 44]

Pohonná jednotka je umístěna v přední části vozidla, kde pohání kola přední nápravy. Pohonná jednotka se skládá z elektromotoru a automatické převodovky s variátorem. Vozidlo Aixam City Pack je vyobrazeno na obrázku 39 a jeho specifikace jsou uvedeny níže. [42, 43, 44]

Obrázek 39. Aixam City Pack [32]

Specifikace City Pack

Výkon - 6 kW

Točivý moment – 50 Nm

Baterie – Lithium 14 kWh

Spotřeba – 13,46 kWh

Dojezd – 75 km, maximální 90 km

Nabíjení – 3,5 h

Převodovka – VSD – řízená automatická převodovka s variátorem

Provozní hmotnost – 425 kg

Max. povolená – 675 kg

Max. rychlost – 45 km/h

Cena – od 435 000 Kč

8.8 Srovnávací tabulka specifikací vybraných modelů

V této kapitole bude uvedena tabulka 2 se specifikacemi všech modelů pro jejich srovnání.

Tabulka 2. Srovnávací tabulka vybraných modelů

	Škoda Enyaq iV 60	Škoda Enyaq iV 80	Škoda Enyaq iV 80x	Volkswagen iD.3 Pro Perfomance	Volkswagen ID.3 Pro S	BMW i3	Bwm i3s
Motor	synchronní	synchronní	synchronní + asynchronní	synchrornní	synchronní	synchronní	synchronní
Výkon (kW)	132	150	195	150	150	125 (170)	135 (184)
Točivý moment (Nm)	310	310	310	310	310	250	270
Převodovka	jednostupňová	jednostupňová	jednostupňová	jednostupňová	jednostupňová	jednostupňová	jednostupňová
Baterie (kWh)	58	77	77	58	77	37.9	37.9
Dojezd (km)	411	534	495	426	549	308 - 285	283 - 279
Nabíjení (kW)	50	50	50	11AC nebo 100DC	11AC nebo 100DC	3,7kW	3,7kW
Spotřeba (kWh/100km)	15,9 - 16,6	16,2 - 18,1	17,0 - 18,7	14, 5 - 15, 4	13,5 - 14,5	15,3 - 16,3	16,2 - 16,6
Max. rychlost (km/h)	160	160	160	160	160	150	160
Hmotnost (kg)	2150	-	-	1794	-	1345	1365
Rozměry (mm)	4649 x 1879 x 1616	4649 x 1879 x 1616	4650 x 1879 x 1616	4261 x 1809 x 1552	4262 x 1809 x 1552	4011 x1775x1598	4006 x1791x1590
Cena (kč)	od 1 124 900	od 1 254 900	od 1 319 900	od 1 183 900	-	od 1 049 100	od 1 149 200

	Renault Twizy	Tazzari MINIMAX	Tabby EVO	Aixam City Pack
Motor	asynchronní	asynchronní	asynchronní	-
Výkon (kW)	13 (17)	6(10) nebo 11,5kW	19 (29,5)	6
Točivý moment (Nm)	57		128	50
Převodovka	jednostupňová	jednostupňová	jednostupňová	převodovka s variátorem
Baterie (kWh)	6.1	8 nebo 16	12.8	14
Dojezd (km)	100	112 nebo 224	80	75
Nabíjení (kW)	-	2 nebo 3,3 nebo 6,6	3.2	-
Spotřeba (kWh/100km)	63 Wh/km	-	-	13.46
Max. rychlost (km/h)	80	45 nebo 80	100	45
Hmotnost (kg)	474	425 - 450 bez baterií	770	425
Rozměry (mm)	2338 x 1381x 1454	2129 x 1200 x 1668	3420 x 2480 x 2090	2762 x 1500
Cena (kč)	od 319 900	od 345 413	od 338 117	od 435 000

9 Požadavky na malý městský elektromobil EVgen

Cílem projektu je postavit prototyp podvozku malého městského elektromobilu, který již nese jméno EVgen. Vozidlo bude založeno na konstrukci nejmenších elektrických vozidel jako jsou Renault Twizy, platforma Tabby, Aixam City a Tazzari Minimax. Předpokladem je následná výroba více kusů těchto vozidel. Samozřejmostí je tedy pozdější homologace pro provoz. Ovšem na začátku bude na vozidlo umístěná registrační značka, určená pro prototyp tedy pro zkušební provoz. Příklad takové značky je znázorněn na obrázku 40 níže.

Obrázek 40. Podoba registrační značky pro zkušební provoz [32]

Cílem je, aby vozidlo bylo využíváno studenty a zaměstnanci ČVUT pro nejrůznější potřeby, jako přeprava mezi fakultami nebo při práci na nejrůznějších projektech. Dále by mohlo usnadnit přepravu malých nákladů.

Vozidlo bude uzpůsobeno pro přepravu dvou osob včetně jejich osobních věcí nebo malého nákladu, který bude v zavazadlovém prostoru. Ten by měl být dostatečně velký nejen pro standardní brašnu.

Dalším požadavkem, který zlepšuje aktivní bezpečnost bude dostatečná agilita v městském provozu. A zároveň schopnost vozidla dosáhnout rychlosti přes 50 km/h, aby zbytečně nebrzdilo městský provoz. Dojezd vozidla by se měl pohybovat kolem 80 km. Tedy dostačující pro provoz mezi fakultami. Ovšem pokud budeme brát v úvahu, vystavění dobíjecích stanic na vyhovujících místech. To je například už v tuto dobu dostupné u fakulty dopravní v Praze v Horské ulici. Díky tomu bude možné vždy v cíli cesty vůz připojit na dobíjecí stanici.

Pohonná jednotka bude ve vozidle umístěna v přední částí podobně jako v platformě Tabby EVO. Točivý moment bude převáděn na přední kola. Baterie budou umístěné v podlaze vozidla. Pro větší přehlednost jsou základní cílené parametry vozu EVgen uvedené v tabulce 3.

Tabulka 3. Základní požadavky na navrhovaný elektromobil

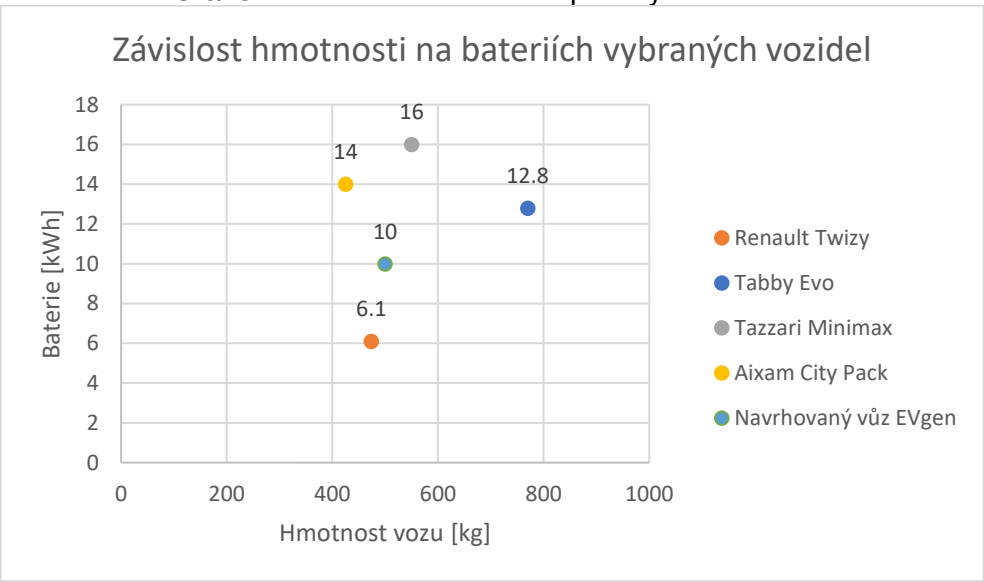
Požadavky	Navrhovaný vůz Evgen
Motor	synchronní/asynchronní do 100 V
Výkon (kW)	10 až 15
Točivý moment (Nm)	do 100 Nm na motoru
Převodovka	jednostupňová
Baterie (kWh)	cca 10 / cca $I_{vybíjení}$ 200 A
Dojezd (km)	cca 80 km
Nabíjení (kW)	220V/16A
Spotřeba (kWh/100km)	-
Max. rychlost (km/h)	80
Hmotnost (kg)	do 500 Kg
Rozměry (mm)	dle kat. L7e
Cena (kč)	-

9.1 Srovnávací grafy s navrhovaným vozem EVgen

Pro srovnání s navrhovaným vozem budou využity předchozí vozy, které se nejvíce podobají navrženým parametrům. Bude se jednat o vozy Aixam, Minimax, Tabby a Renault Twizy. Uvedeny budou tři grafy srovnávající několik parametrů. Nejprve se bude jednat o srovnání závislosti hmotnosti na kapacitě baterií. Dále bude uveden graf zobrazující výkon pohonné jednotky. Jako poslední bude zhotoven graf znázorňující závislost maximální rychlosti na kapacitě baterií.

9.1.1 Graf porovnávající závislost hmotnosti na kapacitě baterií

Graf 5. Závislost hmotnosti na použitých bateriích



V grafu 5 jsou vyobrazeny závislosti hmotnosti na použitých bateriích. Kdy nejlepším vozem dle baterie je Tazzari minimax. Avšak u něho byla uvedena hmotnost pouze bez baterií. Proto

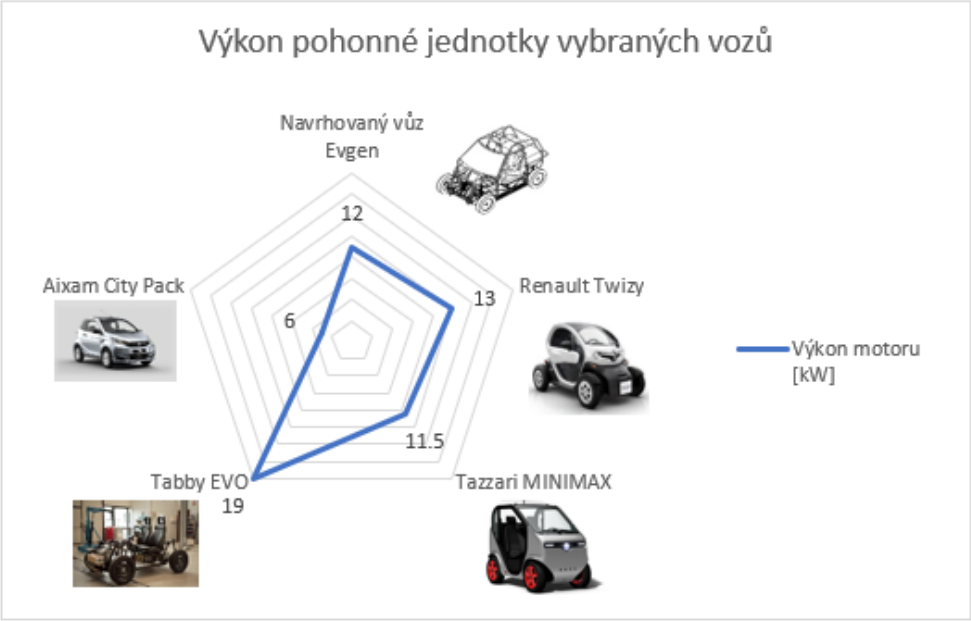
bylo k této hmotnosti připočteno alespoň 100 Kg, které mají simulovat jejich hmotnost. Avšak jedná se pouze o odborný odhad a není přesně známé jaká je hmotnost včetně baterií.

Dalším vozem, který vyniká je Aixam City, který nabízí velkou kapacitu při malé hmotnosti. Nejhůře si vedl vůz Renault Twizy. Ten má na svoji váhu poměrně nízkou kapacitu baterií. Naproti ostatním modelům má Platforma Tabby hmotnost 770 Kg a kapacitu baterií 12.8 kWh. Vůz Evgen byl, dle svých navrhovaných požadavků, umístěn mezi vozy Aixam a Renault Twizy.

9.1.2 Graf porovnávající výkony pohonných jednotek

V této časti bude uveden paprskovitý graf 2 s výkonem pohonných jednotek vybraných vozů.

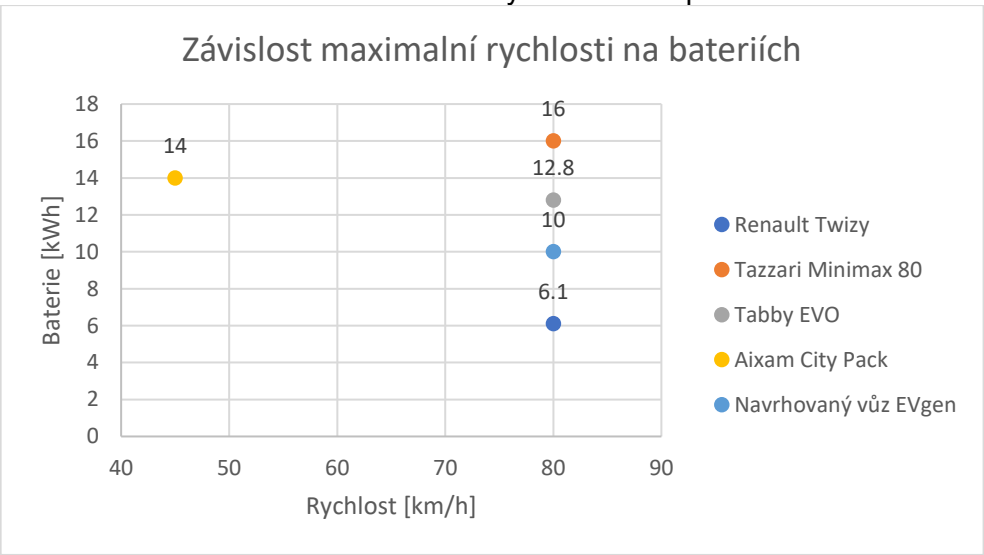
Graf 6. Výkon pohonné jednotky vybraných vozidel



V grafu 6 je vidět srovnání výkonu pohonných jednotek vybraných vozů včetně umístěného návrhu vozu EVgen. Nejvýkonnější je platforma Tabby a nejméně výkonný je vůz Aixam City Pack. Navrhovaný vůz byl výkonově umístěn k vozům Renault Twizy a Tazzari minimax. Z důvodu dosahovaných maximálních rychlosti 80 km/h.

9.1.3 Graf porovnávající maximální rychlosti na kapacitě baterií

Graf 7. Závislost maximální rychlostí na kapacitě baterií



V grafu 7 je vidět závislost maximálních rychlostí na kapacitě baterií. Většina porovnávaných vozů dosahuje rychlosti až 80 km/h.

Nejmenší kapacitu baterií měl vůz Renault Twizy, avšak dosahuje vyšší maximální rychlosti oproti vozu Aixam City Pack. Návrh vozu EVgen se umístil mezi vozy Renault Twizy a Tabby EVO.

Dále měly všechny srovnávané vozy převodovky, které měly pouze jeden převodový stupeň. Toto je, dle již probírané rešerše, velmi obvyklé, a tak nebylo důvodem se blíže zaměřovat při budoucím výběru na vícestupňové převodovky.

Cílem projektu je navrhnout modulární výzkumnou platformu lehkého městského elektromobilu, která bude používána v rámci ČVUT. Avšak tato práce má za cíl navrhnout odpovídající pohonnou jednotku dle již zmíněných požadavků.

10 Praktická část

V nadcházejících kapitolách bude vybrána nejvhodnější pohonná jednotka. Pro ni bude dále navržena konstrukce, ve které se bude umisťovat do vozidla. Následně celá pohonná jednotka bude elektronicky zapojena. Na konci této praktické části bude jednotka odzkoušena pro ověření funkčnosti všech komponentů.

11 Výběr motorové jednotky

Výběr motorové jednotky pro lehký elektrický vůz EVgen byl ovlivněn již proběhlou rešerší. Po zvážení dalších možností byly zvoleny motory synchronní s permanentními magnety. Důvodem byla jejich větší dostupnost a možnost zakoupení již v připravených pohonných kitech. Ty obsahovaly veškeré komponenty důležité pro uvedení motorů do pohybu. Zároveň tím byl eliminován problém s kompatibilitou všech komponentů.

Dalším parametrem výběru bylo pasivní chlazení motoru, které by usnadnilo návrh konstrukce vozu. Vodní chlazení by konstrukci jen zbytečně komplikovalo. Toto rozhodnutí bylo také založené na podobných vozech, které vodní chlazení též neobsahují.

Dle těchto kritérií byly nalezeny tři odpovídající motorové jednotky, které byly součástí pohonných kitů. [45, 46, 47, 48]

11.1 Motor ME 1507

Motor amerického výrobce Motenergy ME 1507 je radiální synchronní vzduchem chlazený motor s permanentními magnety (PMSM). Rotor je tvořen permanentním magnetem (IPM). Je navržen na napájení 100 V nebo méně. Motor je bezúdržbový s velmi dlouhou životností poskytující ochranu IP 65. Výstupní hřídel je hladká s perem. Specifikace motoru jsou vyobrazeny v tabulce 4 a na obrázku 41 je vyobrazen motor. [45, 46]

Tabulka 4. Specifikace pohonné jednotky ME 1507 při 100 V DC [2]

Počet pólů	5
Hmotnost	21.4 Kg
Trvalý výkon	13 kW
Špičkový proud	600 A
Trvalý proud	157 A
Trvalý točivý moment	32 Nm
Maximální točivý moment	120 Nm
Maximální otáčky	8000 ot/min
Maximální teplota	140 °C
Účinnost	92 %
Vnitřní fázový odpor při 25 °C	0,0027 Ω
Setrvačnost rotoru	960 Kg * cm^2
Konstantní moment	0,22 Nm/Amp

Obrázek 41. Motor ME 1507 [34]

11.2 Motor ME 1202

Motor je stejné konstrukce jako motor předešlý. Ovšem jeho výhoda je možnost připojení motoru přímo na převodovku. Výstupní hřídel motoru je se slepou drážkovanou hřídelí 19, která je kompatibilní s převodovkou Comex. Jeho použitím by usnadnilo problém spojený s kompletací s převodovkou. Motor je navržen pro napájení od 24 do 72 V. Specifikace pohonné jednotky jsou vypsány v tabulce 5 a na obrázku 42 je vyobrazen motor. [47, 48, 49]

Tabulka 5. Specifikace pohonné jednotky ME 1202 pří 72 V DC [3, 4, 5]

Počet pólů	4
Hmotnost	16,3 Kg
Trvalý výkon	10 kW
Špičkový proud	450 A (600 A do controlleru)
Trvalý proud	120 A (180 A do controlleru)
Trvalý točivý moment	18 Nm
Maximální točivý moment	67,5Nm
Maximální otáčky	6500 ot/min
Maximální teplota	- °C
Účinnost	92 %
Vnitřní fázový odpor při 25 °C	0,027Ω
Setrvačnost armatury	45 Kg * cm^2
Konstantní moment	0,12 Nm/Amp

Obrázek 42. Motor ME 1202 [35]

11.3 Motor ME 30 - 31001

Tento motor je stejné konstrukce jako motor ME 1202. Jedná se o střídavý synchronní motor s permanentními magnety. Motor je ale vylepšená verze starého. Tento motor je možno napájet až nominálním napětím 120 V a má tak větší výkon. Přetrvávají stejné výhody jako u předešlého ME 1202. Je vyroben tak, aby bylo možné napojit ho na stejnou převodovku Comex a tím ušetřit nemalé problémy se spojením. Motor je vyobrazen na obrázku 43. Z obrázku je patrné, že motor je k nerozeznání od staré verze ME 1202. V Tabulce 6 jsou vypsány specifikace motoru. [50, 51]

Tabulka 6. Specifikace pohonné jednotky ME 30-31001 při 96 V DC [6, 7]

Počet pólů	4
Hmotnost	19,5 Kg
Trvalý/špičkový výkon	12 kW/37kW
Špičkový proud po 1 min	550 A (650 A do controlleru)
Trvalý proud	180 A (220 A do controlleru)
Trvalý točivý moment	-
Maximální točivý moment	-
Maximální otáčky	6500 ot/min
Maximální teplota	- °C
Účinnost	89 %
Vnitřní fázový odpor při 25 °C	-
Setrvačnost armatury	45 Kg * cm^2
Konstantní moment	0,15 Nm/Amp

Obrázek 43. Motor ME 30 - 31 001 [36]

11.4 Porovnávací tabulka vybraných pohonných jednotek

V tabulce 7 jsou uvedeny všechny nasbírané technické informace k vybraným jednotkám pro lepší názornost jejich výkonových rozdílů.

Tabulka 7. Porovnávací tabulka vybraných pohonných jednotek [4, 6, 8]

	ME 1507 (100 V)	ME 1202 (72 V)	ME 30 – 31001 (96 V)
Počet pólů	5	4	4
Hmotnost	21.4 Kg	16,3 Kg	19,5Kg
Trvalý výkon	13 kW	10 kW	12kw
Špičkový proud	600 A	450 A (600 A do controlleru)	550 A (650 A do controlleru)
Trvalý proud	157 A	120 A (180 A do controlleru)	180 A (220 A do controlleru)
Trvalý točivý moment	32 Nm	18 Nm	-
Maximální točivý moment	120 Nm	67,5 Nm	-
Maximální otáčky	8000 ot/min	6500 ot/min	6500 ot/min
Maximální teplota	140 °C	- °C	-
Účinnost	92 %	92 %	89 %
Konstantní moment	0,22 Nm/Amp	0,15 Nm/Amp	0,18Nm/Amp
Cena za kit	77 905 Kč	65 569 Kč	76 160 Kč

Z těchto tří motoru byly vybrány dva motory a to ME 1202 a ME 30 - 31001. Motor ME 1507 byl z výběru vyřazen kvůli problematickému spojení s převodovkou, které by nesplňovalo požadavek na kompaktní konstrukci.

Ze dvou zbývajících motorů byl po zvážení všech parametrů zvolen motor silnější ME 30 – 31001. Tato volba byla učiněna právě z důvodu vyššího výkonu.

Motor byl zvolen i přes jeho vyšší provozní napětí za cenu mírného nárustu hmotnosti bateriového packu. Ten v případě použitých článků $LiFePO_4$ 105Ah 96 V váží 64 kg. V případě 72 V váží 48 kg. Rozdíl v hmotnostech je 16 kg. [62] Tento rozdíl byl uznán jako akceptovatelný z pohledu nárustu kapacity baterií, výkonu a točivého momentu vybraného motoru.

Momentová charakteristika vybraného motoru nebyla výrobcem zveřejněna, avšak je předpokládán podobný průběh, který je uveden předcházející kapitole v grafu 4 pro synchronní střídavý elektromotor.

11.5 Controller Sevcon Gen 4 Size 6

Tento controller je obsažen v každém ze tří zmíněných setů a je potřebný k rozběhu střídavého motoru. Bez něj by nebylo možné motor rozběhnout stejnosměrným proudem.

Controller Sevcon gen 4 je navržen pro řízení střídavých asynchronních nebo synchronních motorů s permanentními magnety. Díky tomu je controller velmi variabilní a umožnuje uživateli vybrat motor pro jakoukoli aplikaci. Controller je vyobrazen na obrázku 44 níže.

Controller Sevcon Gen4 size 6 má zaručenou kompatibilitu se všemi zkoumanými motory. Výhodou je jednoduchá montáž, pasívní chlazení a jeho vhodné zástavbové rozměry. Controller je hlavním řídícím prvkem pohonné jednotky a jedná se o velice sofistikovanou součást. Controller je možné programovat a diagnostikovat přes příslušný software. [52]

S tímto typem controlleru byly v rámci jiných projektů na ústavu K 616 FD sestaveny obdobné pohonné jednotky s aplikací pro motocykl. A tak autor této práce mohl načerpat zkušenosti a seznámit se s ovládáním.

Specifikace

Ochrana těsnosti IP 66

Možnost diagnostiky CAN

Bez senzorové ovládání

Jmenovité napětí 72 – 96 V DC

Provozní napětí 39,1 – 119 V DC

Proud (120 s) 550 A

Boost (10 s) 660 A

[52]

Obrázek 44. Controller Sevcon Gen 4 Size 6

12 Výběr převodovky

Výběr převodovky probíhal souběžně s výběrem pohonné jednotky, kvůli představě o kompletaci motoru a převodovky. Hlavní požadavek na výběr převodovky byl kladen na kompaktnost provedení a možnosti propojení s motorem.

Právě při výběru pohonné jednotky byla vybrána převodovka, která byla kompatibilní se zvolenou pohonnou jednotkou. Jednalo se o převodovku italské značky COMEX, která je přímo určena pro lehké elektrické vozy.

Po podrobnějším hledáním informací bylo zjištěno že značka COMEX vyrábí dva druhy převodovek. Z nichž druhý model využívá výrobce Aixam pro svá vozidla. Převodovka umožnuje řazení mezi směry vpřed a vzad včetně neutrálu. A právě díky možnosti řazení je převážně určena pro spalovací motor. Aixam dále pohonné ústrojí doplňuje variátorem. Aby zajistil proměnný převodový poměr pro spalovací motor, který nedosahuje tak velkých otáček oproti elektrickému motoru. Převodovku můžete vidět na obrázku 45 a její specifikace v tabulce 8. [53]

Obrázek 45. Převodovka COMEX s možností řazení [38]

Tabulka 8. Specifikace převodovky COMEX s řazením [9]

Počet rychlostí	dvourychlostní doplňována variátorem
Převodový poměr	8,05:1/10,12:1/11,23:1/12,25:1
Max. točivý moment	700 Nm
Max. otáčky	7000 ot/min
Řazení	Vpřed, neutrál, vzad
Účinnost	95 %
Ozubení	Šikmé
Možnosti instalace	0° až 35°
Olej	SAE 80W90
Množství oleje	1 l
Suchá hmotnost	9,6 Kg

Nevýhodou této převodovky je velmi problematické propojení s motorem a díky tomu tato převodovka nebyla zvolena. Přednost dostal druhý model, který byl přímo konstruován pro elektrický motor. Bližší informace jsou popsány níže.
Zvažovány byly i možnosti použití rozvodek, které jsou používané pro velké pracovní čtyřkolky. Příklad rozvodové skříně CF 188 je vidět na obrázku 46 a její specifikace jsou v tabulce 9. [54]

Obrázek 46. Rozvodovka CF 188 [39]

Tabulka 9. Specifikace rozvodovky CF 188 [10]

Použití	Čtyřkolky o obsahu 500 až 800 cm^3
Počet zubů na hrušce	9
Počet zubů na talířovém kole	33
Převodový poměr	1: 3,667
Číslo dílu	0180 – 330000 nebo CF 188 - 330000

Výhoda rozvodovky je možnost uchycení ozubeného kola na přírubu. To nabízí možnost dalšího z převodování. Originálně je na přírubě přidělán brzdový kotouč.
Důvod, proč nebyly podrobněji probírány, byla absence klasického diferenciálu a stále přetrvávající problém s připojením motoru.

12.1 Převodovka Comex pro elektrická vozidla

Jedná se o převodovku italského výrobce se stálým převodovým poměrem. Je k dostání ve dvou převodových variantách. Převodovka je vyobrazena na obrázku 47 a rozebraná na obrázku 48. Její specifikace jsou vyobrazeny v tabulce 10. [53, 55]

Obrázek 47. Převodovka COMEX pro elektrická vozidla [38]

Obrázek 48. Rozebraná převodovka Comex [40]

Tabulka 10. Specifikace převodovky COMEX pro elektrická vozidla [9]

Počet rychlostí	Jednorychlostní
Převodový poměr	9,8:1 nebo 13,4:1
Max. točivý moment	1000 Nm
Max. otáčky	7000 ot/min
Účinnost	96 %
Ozubení	Šikmé
Možnosti instalace	0° až 180°
Olej	SAE 80W90
Množství oleje	0,8 l
Suchá hmotnost	11,3 Kg
Cena	20 864 Kč

Tato převodovka se jevila dle zjištěných parametrů jako nejvhodnější pro použití v navrhovaném vozidle. Byly tedy provedené kontrolní výpočty. Ty jsou uvedeny v další kapitole. Ta je zaměřena na určení maximální teoretické rychlosti a dosažitelné rychlosti na základě zvoleného převodového poměru.

12.1.1 Výpočet maximální teoretické rychlosti a dosažitelné rychlosti dle zvoleného převodového poměru

Vypočet teoretické maximální rychlosti bude uveden pro ověření, zda vozidlo bude schopné dosáhnout rychlosti 80 km/h pod vlivem působení jízdních odporů.
Výpočet bude tedy probíhat na základě vyrovnání tažné síly a působících jízdních odporů. Mezi ně bude zahrnut valivý a aerodynamický odpor. Výpočet bude proveden dle rovnice

$$F_t = O_a + O_v \tag{4}$$

, kde:

- F_t = tažná síla vozu.
- O_a = aerodynamický odpor
- O_v = odpor valivý.

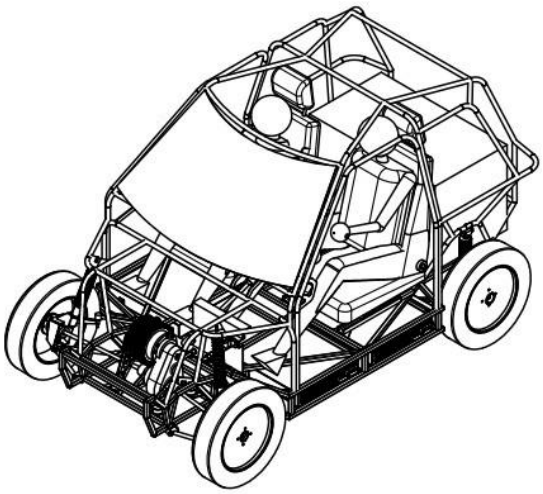
Po rozepsaní jednotlivých sil dostaneme rovnici:

$$\frac{P}{v} \times \eta = \frac{1}{2} \times \rho \times S \times c_x \times v^2 + f \times m \times g \tag{5}$$

, kde:

- P = výkon motoru [W], zvolen maximální špičkový výkon motoru 37 kW a nominální výkon 12 kW
- v = rychlost vozidla [$m.s^{-1}$], zjišťovaná hodnota. Výsledek bude uveden v km/h.
- η = účinnost [%], odhadovaná účinnost celého hnací agregátu 90 %
- ρ = hustota vzduchu [$kg.m^{-3}$], zvolena hodnota 1,29 $kg.m^{-3}$
- S = čelní plocha vozidla [m^2], bude určena
- c_x= součinitel odporu vzduchu [-], bude určen
- f = součinitel valivého odporu [-], zvolena byla hodnota 0,015 pro běžné pneumatiky používané u osobních vozů [64]. Zvolena byla vyšší hranice pro zajištění nejpřísnějších výsledků.
- m = hmotnost vozidla [kg], hodnota byla určena na 500 kg.
- g = tíhové zrychlení [$m.s^{-2}$], určena na hodnotu 9,81 $m.s^{-2}$.

Pro výpočet bylo třeba dále určit zbývají dva parametry, které byly pro výpočet nezbytné. Jako první bylo třeba zjistit součinitel aerodynamického odporu, který ale nebylo možné nijak stanovit z důvodu nedokončené karoserie. Dokončen byl pouze návrh rámu samotného vozu, který je vyobrazen na obrázku 49.



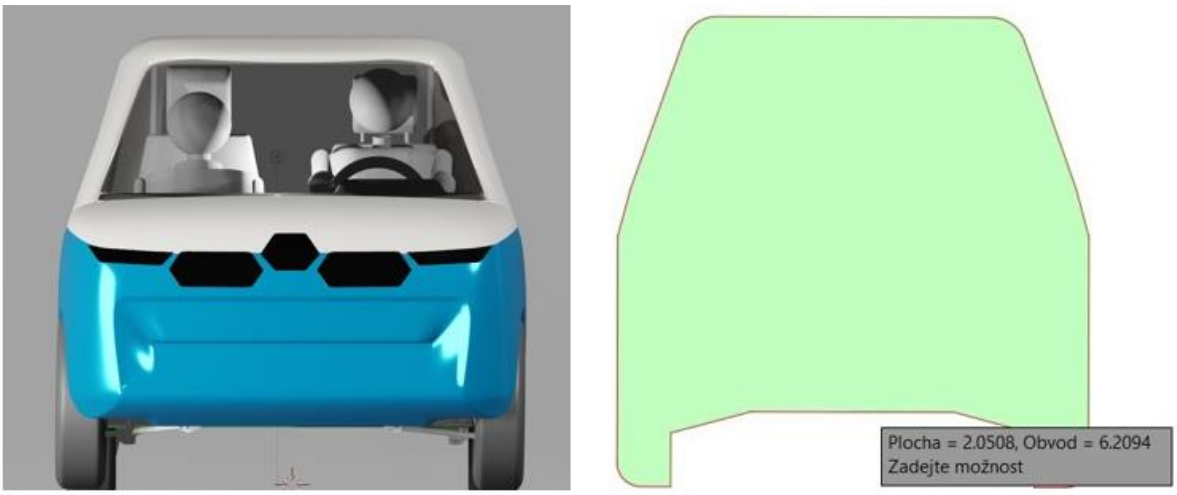
Obrázek 49. Navržený rám lehkého městského elektromobilu EVgen

Díky tomu nebylo možné model umístit do virtuálního větrného tunelu a získat korektní výsledky. Simulovaný proud vzduchu by protékal skrz model vlivem použité trubkové konstrukce. Proto bylo zapotřebí tento koeficient na základě již podobně dostupných modelů odhadnout. Odhad koeficientů byl založen na několika vozech, u kterých byl následně vyhledán. Koeficienty vybraných vozu jsou vyobrazeny v tabulce 11.

Tabulka 11. Součinitel aerodynamického odporu vybraných vozidel [11, 12, 13, 14]

Model vozu	Koeficient
Renault Twizy	0,64
Renault Twingo	0,37
Suzuki Swift	0,32
Škoda Citigo	0,325
VW e-UP!	0,308
Průměr	0,3926

Z vyhledaných hodnot byl vypočítán průměr aerodynamického odporu, který byl poté použit pro výpočet. Průměr součinitele aerodynamického odporu byl vypočítán na hodnotu 0,3926. Dále byla zjištěna hodnota čelní plochy z designové studie. Ta již měla dokončený design čela vozu, avšak kompletní vozidlo dokončeno nebylo. Design čelní plochy byl vytvořen kolegou, který se zabývá návrhem rámové konstrukce vozidla. Ta je vyobrazena na obrázku 50.

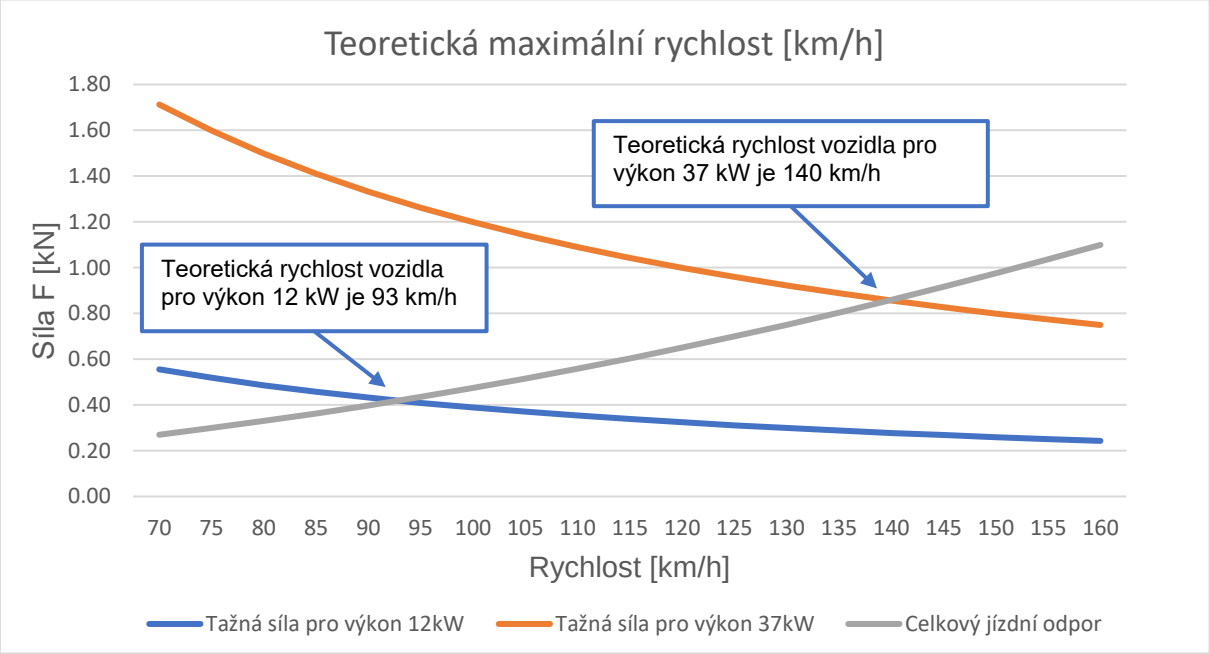


Obrázek 50. Hodnota čelní plochy navrhovaného vozidla

Jak je z obrázku patrné hodnota čelní plochy je 2,05 m^2. Tato hodnota byla následně dosazena.

Ostatní zbylé hodnoty již byly známy, a proto bylo přistoupeno k samotnému výpočtu. Jeho výsledkem je graf 8 dosažených teoretických maximálních rychlostí pro špičkový a nominální výkon motoru.

Graf 8. Určení teoretické maximální rychlosti



Dle grafu 8 je výsledná rychlost pro špičkový výkon 140 km/h a pro nominální 93 km/h. Výpočet rychlosti pro nominální výkon byl použit z důvodu, že motor pravděpodobně nebude dlouhodobě špičkový výkon poskytovat. Vozidlo tedy nebude schopné maximální rychlost pro špičkový výkon dlouhodobě udržet. Avšak je velice pravděpodobné, že vozidlo této rychlosti

nedosáhne vlivem použité převodovky a limitních otáček motoru. Avšak dle výkonu by této rychlosti vozidlo mohlo dosáhnout.

Dále bude proveden výpočet dosažitelné maximální rychlosti na základě použitého převodového poměru. Výpočet byl založen na maximálních otáčkách motoru a obvodu použitého kola, respektive pneumatiky. Ta byla zvolena na rozměr 165/65 R15. Z této informace byl následně vypočítán průměr a poté obvod výchozího kola. Maximální otáčky byly určeny na 7000 ot/min. Ty byly uvedeny na technickém štítku umístěném na zadní straně motoru. Ten je vyobrazen na obrázku 51.

Obrázek 51. Technický štítek uvedený na motoru

Výpočet probíhal postupně pro dostupné převodové poměry dosazováním otáček do vzorce. Otáčky byly dosazovány vždy po 500 ot/min. Celkem tak bylo vypočítáno 15 hodnot pro každý převodový poměr.

Pro ukázku bude uveden výpočet obvodu kola (7) a obecný vzorec (8) pro výpočet rychlosti pro dané otáčky.

Výpočet obvodu kola a obecný vzorec pro vypočet rychlosti

Zvolený rozměr kola byl 165/65 R 15. Průměr byl vypočítán sečtením profilu pneumatiky a průměru kola. Výsledný obvod byl stanoven dle výpočtů:

$$D = (\check{s}\acute{\imath}\check{r}ka \times profil \times 2) + pr\mathring{u}m\check{e}r \times 25{,}4 = (165 \times 65\% \times 2) + 15 \times 25{,}4 = 595{,}50\ mm \quad (6)$$

$$O = \pi \times D = 3{,}142 * 595{,}50 = 1871\ mm \quad (7)$$

, kde

- D = průměr kola [mm]
- O = obvod kola [mm]

Výsledný obvod kola byl stanoven na 1871 mm. Tato hodnota byla následně využita u výpočtu rychlosti pro jednotlivé otáčky. Výpočet probíhal dle vzorce:

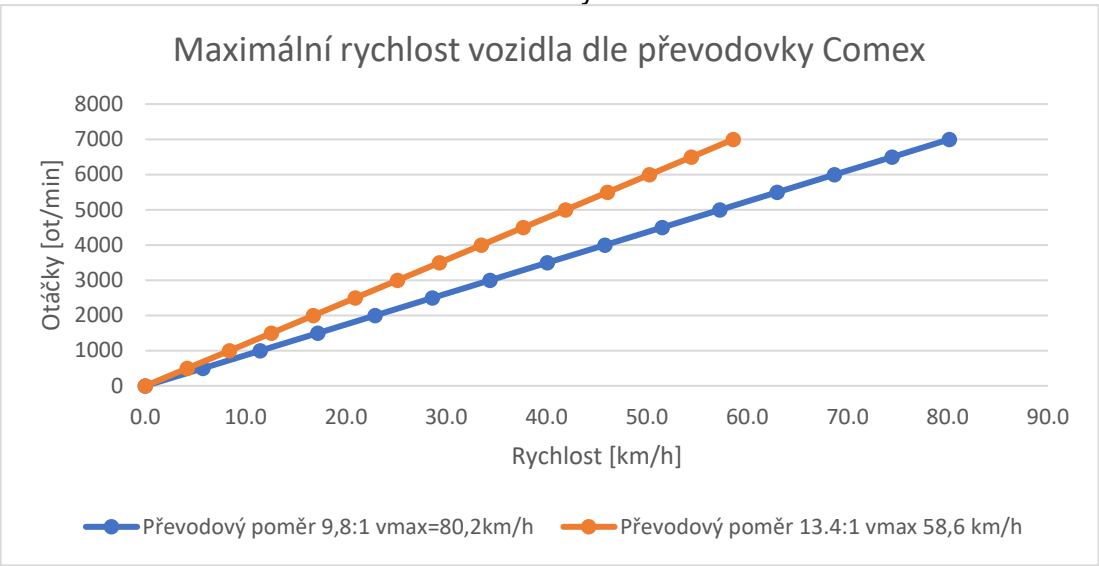
$$v_x = \frac{n_x}{60 \times z} \times \frac{O}{1000} \times 3{,}6 \quad (8)$$

, kde

- V_x = rychlost vozidla dle dosazených otáček [km/h]
- n_x = otáčky motoru [ot/min], dosazovány po 500 ot/min
- z = převodový poměr, dosazováno 9,8 nebo 13,4
- O = obvod kola [mm]

Výsledkem výpočtů je graf 9, ve kterém jsou uvedeny dvě křivky. Ty reprezentují vývoj rychlosti závislý na otáčkách a zvolném převodovém poměru.

Graf 9. Maximální rychlost vozidla



Jak je z grafu 9 patrné, vyšší rychlosti vozidlo dosáhne při použití menšího převodového poměru. Ovšem za cenu menší síly při rozjíždění na maximální rychlost. Tento fakt byl však nevýznamný, protože na vozidlo nejsou dle požadavků kladeny vysoké nároky na zrychlení.

Více jsou kladeny na možné dosažení vyšší maximální rychlosti, která by se měla pohybovat kolem 80 km/h. Důvodem je předpoklad, že vozidlo by se mohlo pohybovat i po komunikacích, kde je maximální rychlost vyšší než 50 km/h. I přesto, že vozidlo je primárně určeno pro městský provoz. Z tohoto důvodu byl zvolen převodový poměr 9,8:1 s možnou dosažitelnou rychlostí 80,2 km/h. Tato rychlost se nejvíce blíží vypočítané teoretické maximální rychlosti pro nominální výkon. Ta byla vypočítána na rychlost 93 km/h.

Vstupní hodnoty byly zjištěny pouze z dostupných návrhů, které nejsou konečné. Hodnoty se tak v budoucnu mohou lišit. Také využitý špičkový výkon 37 kW při výpočtech, nejspíše nebude moci být využíván delší dobu. Z důvodu zajištění delší životnosti motoru. Avšak reálné podmínky provozu nelze přesně definovat. Je tedy možné, že konečná maximální rychlost vozidla bude od této vypočítané hodnoty odlišná. Avšak nebude se výrazně lišit.

Na základě zjištěných informací byla převodovka zakoupena s převodovým poměrem 9.8:1 pro zajištění co nejvyšší maximální rychlosti. Dalším důvodem zvolení této převodovky, je bezproblémová kompatibilita s vybraným motorem. A tím tak odpadají problémy spojené s kompletací pohonné jednotky.

Dále byly objednány hnací hřídele, které byly nalezeny u stejného prodejce jako převodovka. Hřídele byly součástí setu, ve kterém mimo nich byly těhlice i náboje kol. Cena setu byla 12 436 Kč a je vyobrazen na obrázku 52. [56, 57, 58, 59]

Obrázek 52. Zakoupený set hnacích hřídelí [41]

12.2 Konečný výběr pohonné jednotky

Ze všech vybraných pohonných jednotek bylo po zvážení rozhodnuto o pohonné jednotce s motorem ME 30-31001. Důvodem byl větší výkon oproti motoru ME 1202 a méně problematické spojení s převodovkou Comex. Která je více než vhodná pro lehký městský elektromobil. Používá ji například automobilka Renault do svého modelu Twizy.

Převodovka byla vybrána s převodovým poměrem 9,8:1 a jako poslední k ní byly vybrány hnací hřídele. Tímto posledním dílem bylo ukončeno vybírání pohonné jednotky a zbývalo už jen dané komponenty objednat a nechat dopravit na zvolené místo.

Kompletní pohonná jednotka je vyfocena po přijetí na ČVUT na Fakultě dopravní na obrázku 53, kde proběhlo první zkušební sestavení. Kompletace byla úspěšná. I přes riziko nekompatibility hnacích hřídelí z důvodu malého počtu informací, které byly o hřídelích zjištěny. To se během kompletace nepotvrdilo. Hnací hřídele byly kompatibilní s vybranou převodovkou Comex a také dodanými náboji kol. Všechny díly byly kompatibilní a mohlo se přejít na další fáze návrhu lehkého elektrického vozu EVgen.

Obrázek 53. Zkušebně sestavená pohonná jednotka včetně hnacích hřídelí, těhlic a nábojů

13 Sestavení pohonné jednotky

13.1 Návrh držáku motoru a převodovky

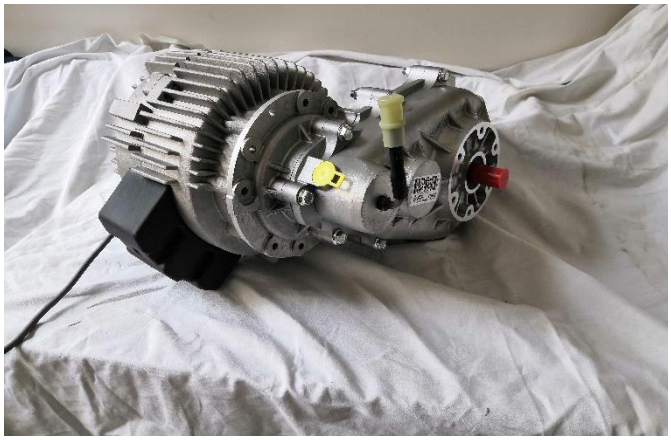
Nejprve bylo zapotřebí zvolit umístění pohonné jednotky ve vozidle. Po zvážení možností byla zvolena koncepce s předním pohonem, a tudíž umístěním celého pohonu v přední části vozu. Díky zvolené převodovce, lze pohonnou jednotku ve vozidle umístit vertikálně s motorem umístěným v horní části pohonu. Její zkušební sestavení v položeném stavu je vyobrazeno na obrázku 54 níže.

Díky tomu ve vozidle bude v přední části větší deformační zóna v případě nehody. Zároveň ve vzniklém prostoru by před pohonnou jednotkou mohla být umístěna malá schránka na povinnou výbavu vozu.

Další myšlenkou bylo umístění motoru a převodovky do držáku, který následně bude přes pružné bloky (silentbloky) přidělán do rámu vozidla. To zajistí jednodušší demontáž z vozidla, kdy se celý držák odšroubuje a následně z vozu vyjme. Silentbloky zároveň umožní odfiltrování vibrací spojené s chodem pohonné jednotky.

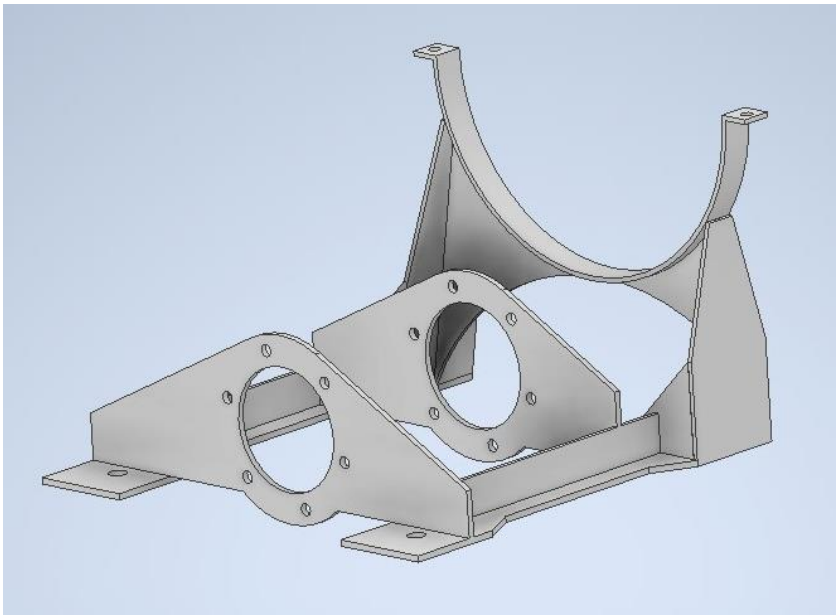
13.1.1 První návrh držáku

Díky konstrukci převodovky a motoru je možné naprosto bezproblémového spojení za pomoci příruby na převodovce. Po spojení vznikne kompaktní celek, který je možné vidět na obrázku 54. Jedná se o zakoupenou pohonnou jednotku určenou pro lehké elektrické vozidlo EVgen.



Obrázek 54. Pohonná jednotka

Jak je tedy z obrázku patrné motor nemá další uchycovací body. Ovšem převodovka v místě napojení hnací hřídelí nabízí možnost uchycení na šest šroubů na každé své straně. Těchto připevňovacích bodů bylo následně využito a v programu Inventor byla navrhnuta první konstrukce, kterou můžete vidět na obrázku 55.



Obrázek 55. První verze držáku motoru

Z obavy velké hmotnosti motoru, a ne příliš dimenzované příruby převodovky byl motor ještě podepřen svojí vlastní vzpěrou. Tím bylo zajištěno odlehčení příruby převodovky a zabránění možné destrukce vlivem vibrací, které v provozu vozidla mohou vznikat. Vzpěra má však pouze podpírací charakter a k motoru by byla přichycena pouze za pomocí stahovacího řemínku či jinak podobné možnosti.

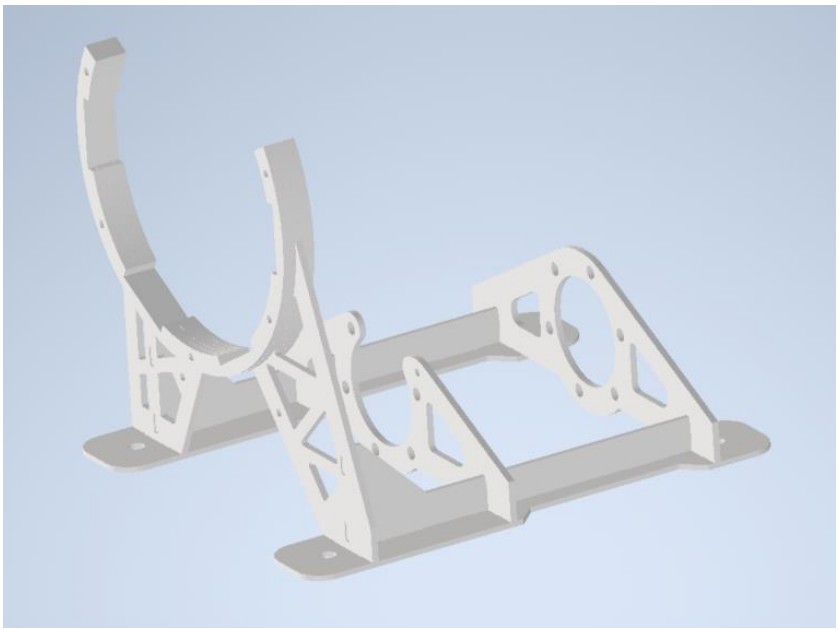
Avšak po dokončení návrhu byly zjištěny drobné problémy. Jednalo se například o problém s plně dokončenými plechy pro uchycení převodovky. Byl opomenut fakt, že z převodovky v místě přichycení vystupují hřídele pro připojení hnacích hřídelí. Vlivem tohoto by převodovku nebylo možné zasunout mezi dané plechy.

Dalším problémem byly jednotlivé díly z plného materiálu bez odlehčovacích otvorů. Zbytečně by tak byla velká hmotnost samotného držáku. Vznikaly by tak problémy s budoucí manipulací. Jako poslední problém se jevil samotný tvar jednotlivých plechů, které měly příliš ostré hrany. Hrozila tak možná budoucí poranění.

13.1.2 Finální návrh držáku pohonné jednotky

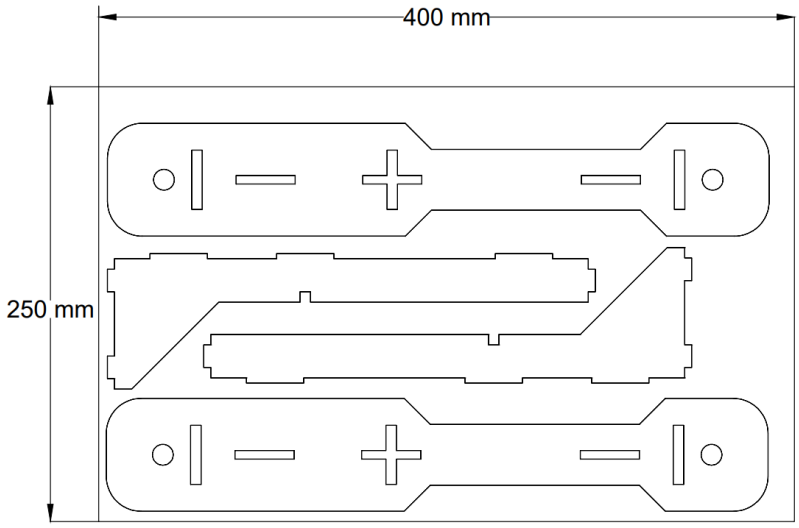
Dle předešlé konstrukce byla podpěra motoru a celkově celý držák kompletně přepracován. Jako první byla použita lepší základna, která se skládá ze dvou plechů o tloušťce 4 mm. Na ně jsou kolmo přivařeny vzpěry opět tloušťky 4 mm. Na tyto vzpěry je poté přichycena sestava plechů o tloušťce 5 mm. Z nichž dva jsou tvarovány pro přichycení převodovky a třetí slouží jako vzpěra motoru. Hlavní rozdíl oproti staré verzi je prořízlý plech pro převodovku, který zajištuje možnost budoucí demontáže. Celý držák pak bude přichycen na čtyřech místech přes pružné bloky k rámu vozidla.

V poslední fází návrhu byly v jednotlivých součástech vyřezány odlehčovací otvory pro snížení celkové hmotnosti. Dále byly na jednotlivých součástech vyrobené zámky, tak aby jednotlivé díly do sebe zapadly a následné svaření bylo jednodušší. Kompletní držák je vidět na obrázku 56.

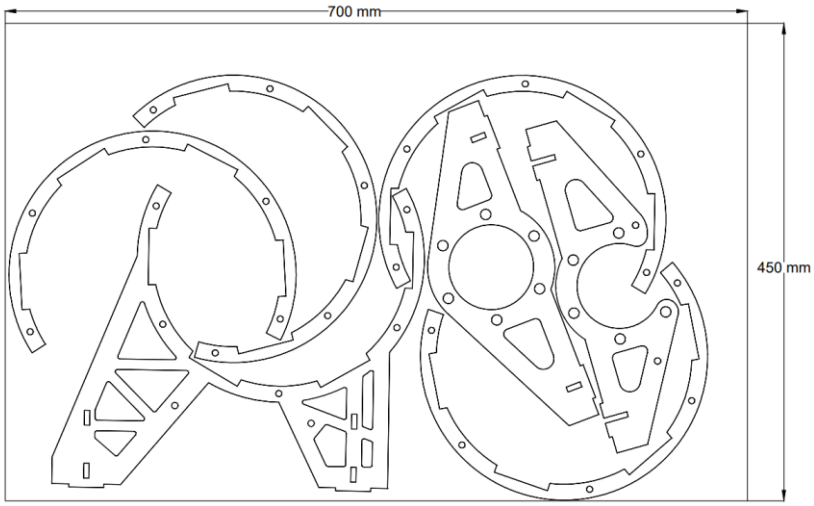


Obrázek 56. Finální podoba držáku pohonné jednotky

Na dalších obrázcích 57 a 58 je vidět rozmístění jednotlivých dílů držáku na plechy tloušťky 4 a 5 mm. Tyto výkresy budou posléze odeslány do vybrané firmy. Ta následně dané díly vyřeže za pomocí vodního paprsku. Díky tomu budou díly velmi přesné a následná kompletace bude jednodušší. Tyto výkresy jsou také ve formě přílohy 1 a 2, které jsou součástí této diplomové práce.



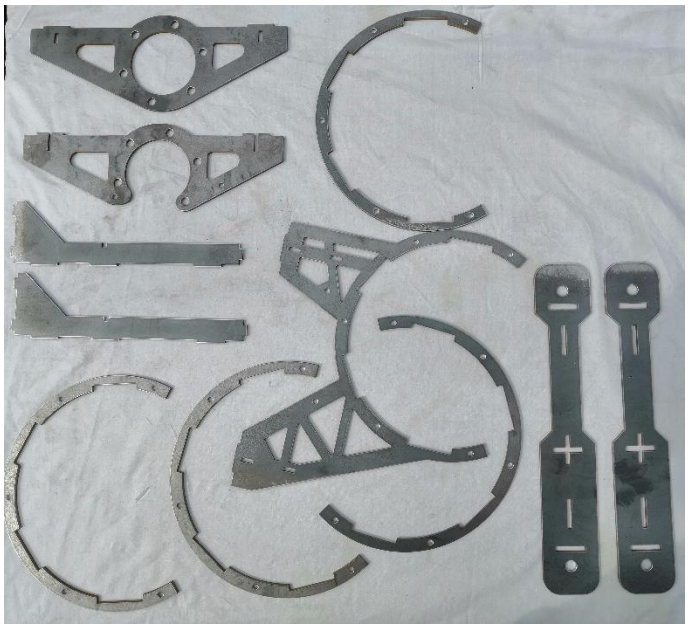
Obrázek 57. Rozmístění součástí držáku motoru na plech 4 mm [42]



Obrázek 58. Rozmístění součástí držáku motoru na plech 5 mm [43]

13.1.3 Sestavení držáku pohonné jednotky

Po vyřezání byly díly zkontrolovány na přesnost rozměrů. Poté byly všechny díly obroušeny od ostrých hran. Následně byla také odstraněna již lehká povrchová koroze na jednotlivých dílech. Takto ošetřeny díly jsou vyobrazeny na obrázku 59.



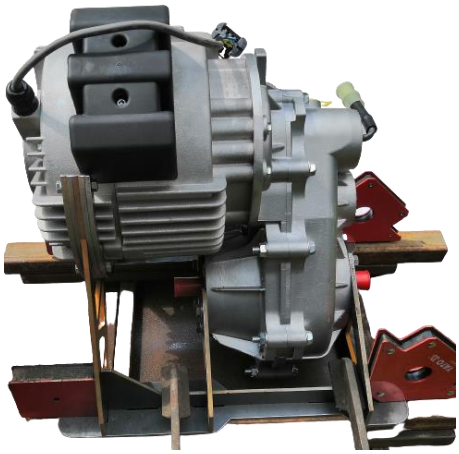
Obrázek 59. Vyřezané díly držáku pohonné jednotky

Poté následovalo kontrolní sesazení, kde byla odhalena zásadní konstrukční chyba v návrhu. Ta spočívala v nevyřezaném průchodu v dílu držící převodovku. Průchod byl vyřezán pouze v jednom z nich. Návrh opomněl fakt, že převodovku nelze během montáže či demontáže nějak natáčet. A tím tedy navléknout do nevyřezaného dílu a poté zasunout do vyřezaného. Pokud by průchod nebyl vytvořen, nebylo by možné převodovku vyjmout nebo naopak vložit do držáku. Neumožnovala by to výstupní hřídel z převodovky. Proto byl dodatečně výřez vytvořen, aby hřídel následně bezproblémově prošla. Tato úprava je vyobrazena na obrázku 60.

Obrázek 60. Úprava jednoho držáku převodovky

Po této úpravě následovalo opětovné sestavení na rovné ocelové desce. Do konstrukce byla vložena převodovka a poté i motor. Další zkušební sestavení neodhalilo žádné zásadní konstrukční chyby. Jednalo se pouze o dvě menší úpravy před začátkem svařování. Bylo nutné

dodatečné ubroušení jednoho žebra na převodovce, které bránilo správnému natočení motoru na připravené vstupy pro šrouby. Žebro se zasekávalo o chladící žebro na motoru.
Další chyba souvisela také s tímto natočením, kdy natočení motoru bránil samotný jeho držák. Motor se zasekl v místě, kde se na něj šroubují napájecí kabely a nešel vlivem držáku otočit dále. Držák byl patřičně obroušen, aby se motor dal více natočit. Takto sestavený držák je vyobrazen na následujícím obrázku 61.



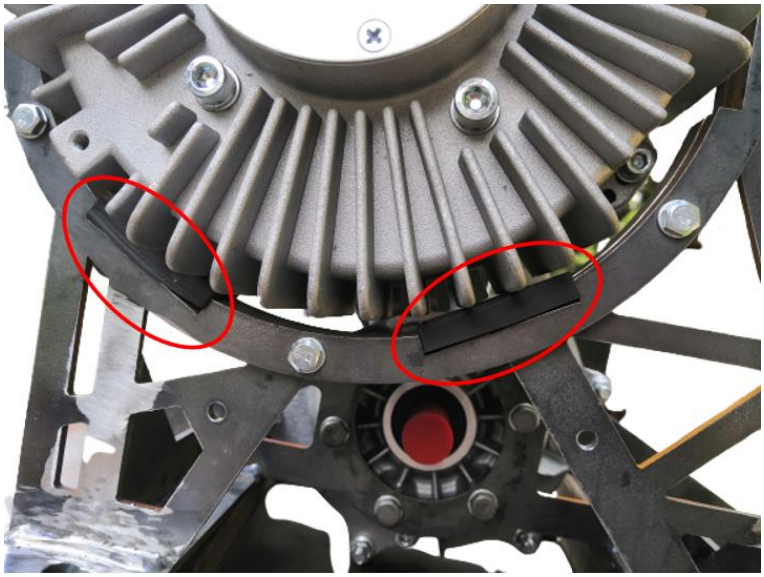
Obrázek 61. Kompletně sestavený držák včetně umístěné pohonné jednotky před zavařením

Po takto provedeném sestavení držáku a jeho přitažení k rovné desce následovalo bodování konstrukce s ohledem na namontované komponenty. Po dokončení bodování byl z držáku odmontován motor s převodovkou. Následně byl držák plně svařen. Pro svařování byla využívána technologie MIG. Svařený držák bez umístěných komponentů je vyobrazen na obrázku 62.

Obrázek 62. Svařený držák pohonné jednotky

Jako poslední následovalo zhotovit pryžové bloky které vymezují mezeru mezi podpěrou a motorem. V podpoře motoru byly již navrženy výřezy kam pryžové bloky mají zapadnout. Avšak při jejich výrobě bylo důležité vytvořit bloky tak, aby jemně motor podpíraly. V opačném

případě by motor celou svojí váhou namáhal přírubu převodovky. Celkem bylo potřeba vyrobit čtyři bloky. Po jejich zhotovení byly bloky zasunuty při montáži motoru do již připravených výřezů. Namontované pryžové bloky jsou vyobrazeny na obrázku 63.



Obrázek 63. Umístění dvou pryžových bloků

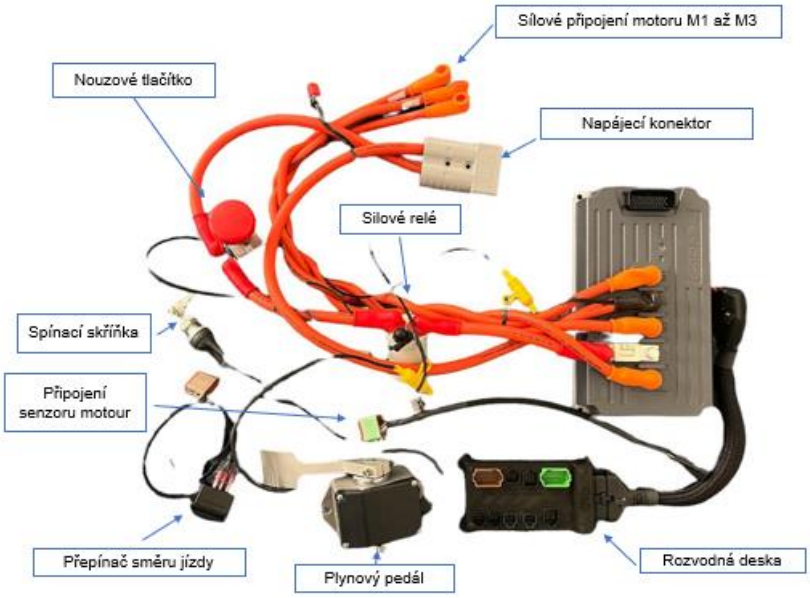
Plně dokončený držák včetně namontované převodovky a motoru je vyobrazen na obrázku 64.

Obrázek 64. Kompletně sestavená pohonná jednotka umístěna v dokončeném držáku

13.2 Zapojení controlleru Sevcon

Controller sevcon má pro připojení motoru označeny silové výstupy M1 až M3. Tyto výstupy byly následně propojeny se stejně označenými vstupy na motoru. Dále byly na controller připojeny silové napájecí kabely kladného a záporného pólu z bateriového packu. Na silový kladný kabel bylo dále zapojeno spínací relé a nouzové vypínací tlačítko.

Pro připojení periferií, jako spínací skříňky, potenciometru pedálu, analogových vstupů a výstupů, CAN bus a ovládání silového relé, obsahuje controller 35 pinový konektor. Ten byl propojen s rozvodnou deskou obsahující konektory pro připojení zmíněných periferií. Pro lepší přehled v zapojení bylo vytvořeno schéma, které je vyobrazeno na obrázku 75 v nadcházející kapitole 13.4.1. Na obrázku 65 níže je popsaná kompletní elektroinstalace včetně controlleru před zapojením. Reálné zapojení je vyobrazeno na obrázku 76 v nadcházející kapitole 13.4.1.



Obrázek 65. Kompletní popsaná elektroinstalace včetně controlleru

Dalším krokem bylo vyrobit napájecí kabel, který bude následně připojen na baterie a spojován s napájecím konektorem. Ten je vyobrazen na obrázku 66 výše. Prodejce, od kterého byla pohonná jednotka zakoupena, poslal i proti kus tohoto konektoru. Tím byla ušetřena práce s hledáním kompatibilního konektoru a mohlo se přejít k výrobě napájecího kabelu. Hotový napájecí kabel od bateriového packu je vyobrazen na obrázku 66 níže.

Obrázek 66. Napájecí kabel od bateriového packu

13.2.1 Kontrola zapojení rozvodné desky controlleru Sevcon

Controller Sevcon nabízí pro připojení důležitých systému 35 pinový konektor pro komunikaci. Například se jedná o komunikaci se senzorem v motoru, který předává informaci o poloze rotoru. Dále nabízí například vstupy pro kontrolní panel. V neposlední řadě se v pinech skrývá i možnost diagnostiky a nastavování daného controlleru. Tyto všechny informace jsou rozmístěny na určitých pinech. Každý pin má tedy přesně svoji funkci. Tyto údaje jsou zaneseny v datasheetu daného controlleru.

Výrobce, od kterého byla pohonná jednotka zakoupena, si pro rozmístění pinů vytváří svojí vlastní rozvodnou desku. Tu je možné vidět na obrázku 67.

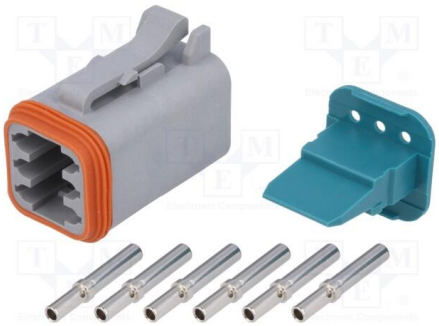
Obrázek 67. Rozvodná deska od výrobce pohonné jednotky

Jak je z obrázku patrné, jsou na ni umístěny konektory s vyvedenými piny. Obsahuje například konektor pro senzor motoru či konektor pro ovladač plynu. Mimo jiné obsahuje i konektor CAN Bus pro komunikaci. Ovšem výrobce použil konektor, který není kompatibilní s konektorem na komunikačním zařízení. To slouží jako mezi článek v komunikaci mezi počítačem a controllerem. Komunikační zařízení se do počítače připojuje přes USB. V počítači

se následně spustí příslušný program, v kterém se může controller přizpůsobovat. Komunikační zařízení je vidět na obrázku 68.

Obrázek 68. Komunikační zařízení CAN

V rozvodné desce je pro CAN Bus určen 6 pinový konektor Amphenol AT – 06 - 6s, který je vyobrazen na obrázku 69.



Obrázek 69. Typ konektoru pro CAN bus od výrobce pohonné jednotky [44]

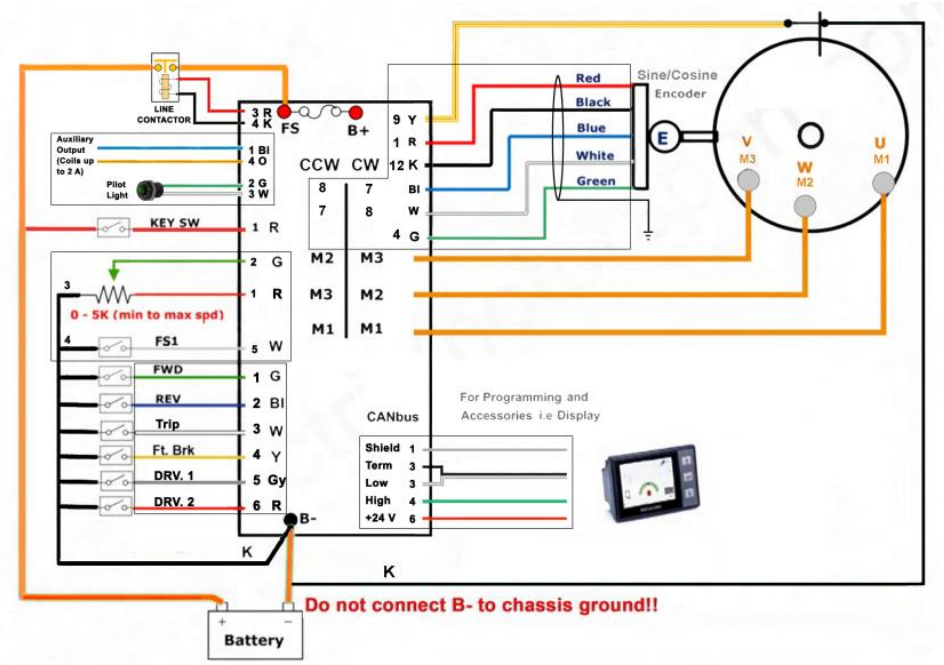
Ovšem komunikační zařízení má konektor typu D-sub DE-9. Proto bylo zapotřebí vyrobit konektorovou redukci. Pro výrobu bylo třeba zjistit zapojení jednotlivých konektorů. Tedy zjistit jaké informace jsou na jednotlivých pinech.

Zapojení konektoru D-sub DE-9 bylo nalezeno na stránkách firmy, od které byla zakoupena převodovka a hnací hřídele. Toto zapojení můžete vidět na obrázku 70. [60]

	Pin no. X1	Signal
	1	-
GEN4 N°24	2	CAN-Low
-BAT N°36	3	GND
	4	-
	5	-
	6	-
GEN4 N°13	7	CAN-High
	8	-
	9	-

Obrázek 70. Zapojení konektoru D-sub na komunikačním zařízení [45]

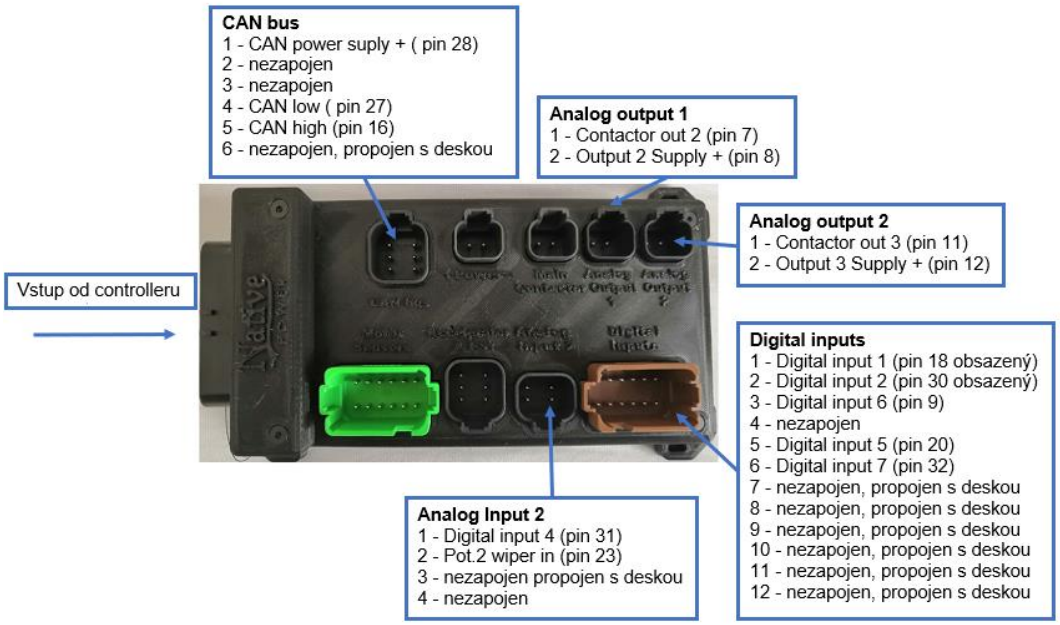
Zapojení konektoru na desce od výrobce nebylo přibaleno a ani na stránkách nebylo nalezeno. Byl tedy napsán požadavek o zaslání datasheetu k jejich desce. Ten byl po nějaké době obdržen. Zapojení desky je vidět na obrázku 71.



Obrázek 71. Zapojení rozvodné desky zaslané výrobcem pohonné jednotky [46]

Jak je z obrázku patrné zapojení 6 pinového konektoru pro CAN bus je zde popsané. Ovšem zapojení bylo nejasné. Proto bylo rozhodnuto pro ověření zapojení jednotlivých pinů. K tomu byl použit multimetr s akustickou funkcí průchodnosti. Za jeho pomoci se zjišťovalo zapojení konektoru pro CAN bus. Dále byla zjištěna i zapojení ostatních nevyužitých konektorů, které jsou na schématu vyznačeny také nepřehledně. Jednalo se o konektory označeny jako Analog output a input. Na ně je následně možno zapojit například informační displej.

Jako vstupní zdroj k ověření informací na pinech v jednotlivých konektorech byl použit datasheet od controlleru Sevcon. [61] Pro lepší orientaci a následnou údržbu bylo vytvořeno a ověřeno schéma zapojení rozvodné desky viz obrázek 72.



Obrázek 72. Zapojení jednotlivých pinů desky

Nyní byly veškeré informace pro tvorbu redukce ověřeny a zbývalo danou redukci pouze vyrobit. Potřebné konektory byly objednány a následně použity k výrobě redukce. Zhotovená redukce je vyobrazena na obrázku 73.

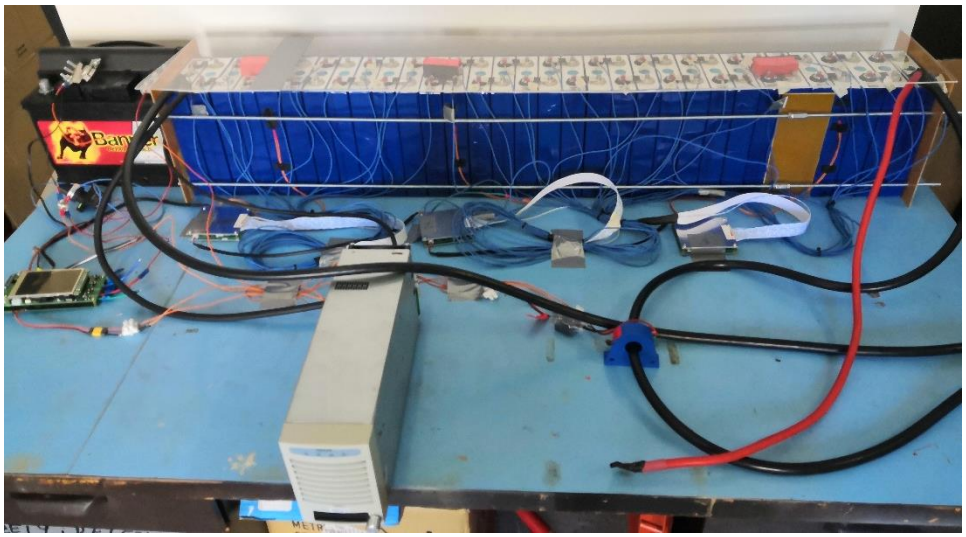
Obrázek 73. Redukce z Amphenol na D-sub pro CAN bus

13.3 Zapojení prototypového bateriového packu

Zapojení bateriového packu nebude v této kapitole podrobně popisováno, protože není hlavním předmětem této práce. Návrh a konstrukce bateriového packu bude věnována samostatná bakalářská práce týmového kolegy. Avšak v této práci bude zmíněná hlavní charakteristika bateriového packu.

Pohonné články jsou typu $LiFePO_4$. Celkem bylo zakoupeno 32 článků, tak aby jejich nominální napětí bylo 96 V. Jejich kapacita je 105Ah. Trvalý vybíjecí proud baterií je 105 A a maximální vybíjecí proud je stanoven na 210 A.

Všechny zakoupené články byly zapojeny sériově a dále každý jednotlivý článek napojen na BMS. Jedná se o zařízení, které se stará o kontrolu napětí na jednotlivých článcích. Sestavené pohonné baterie jsou vyobrazeny na obrázku 74.



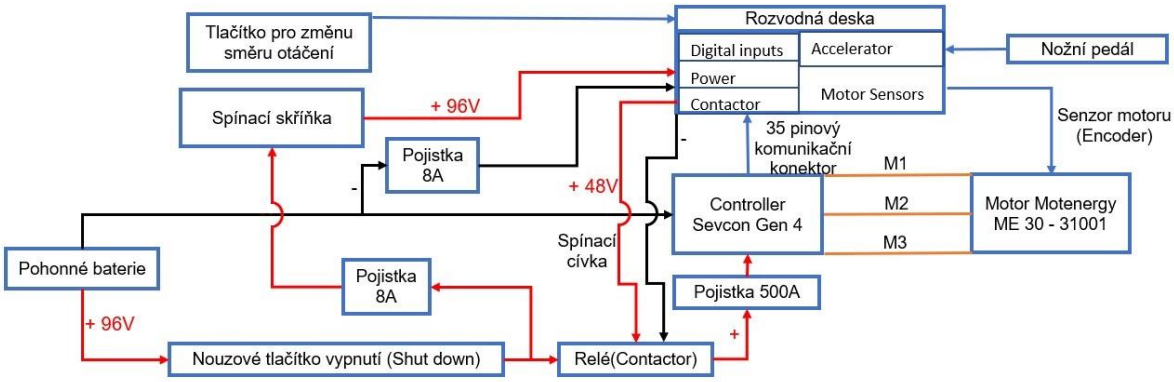
Obrázek 74. Sestavený prototyp bateriového packu včetně zapojení BMS

13.4 Zapojení elektroinstalace pohonné jednotky

Po dokončení prototypového bateriového packu a sestavení držáku pohonné jednotky bylo možné kompletně zapojit pohonnou jednotku včetně controlleru. A provést vyzkoušení všech komponentů, které pohonná jednotka obsahuje.

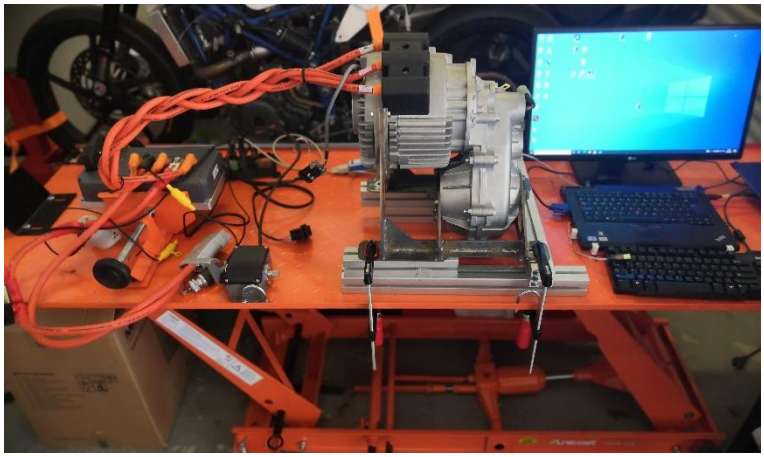
13.4.1 Celkové schéma zapojení pohonné jednotky

V této kapitole bylo vypracováno přehledné elektroinstalační schéma zapojení celé pohonné jednotky. Schéma je vyobrazeno na obrázku 75.



Obrázek 75. Elektrické schéma zapojení pohonné jednotky

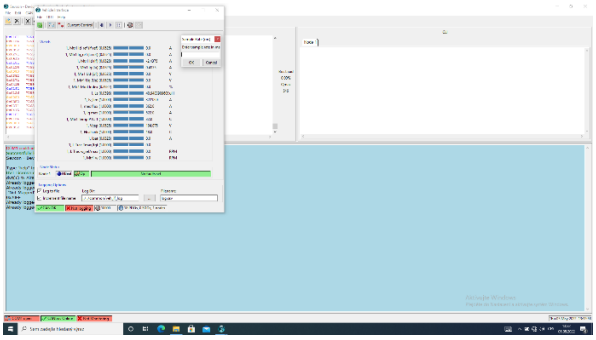
Kvůli velkému zpoždění projektu nebylo možné pohonnou jednotku včetně dalších komponent zapojit v rámu vozidla. Proto byla pohonná jednotka prozatímně zapojena na zvedacím stole, který slouží pro zdvihání motocyklů. Pro lepší manipulaci byl na něm umístěn také diagnostický počítač pro možnost nastavení controlleru. Reálné zapojení pohonné jednotky je vyobrazeno na obrázku 76.



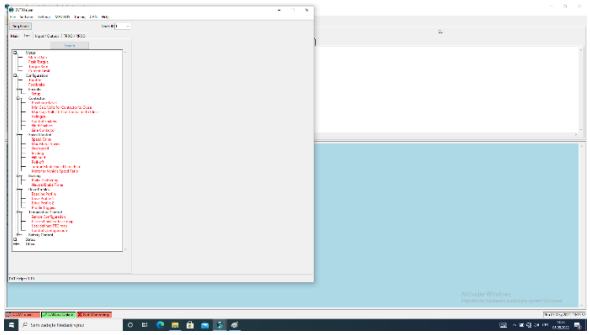
Obrázek 76. Reálné zapojení pohonné jednotky

13.5 Základní nastavení

Nastavení se provádělo přes diagnostické rozhraní CAN bus za pomoci vyrobené redukce a použitého převodníku napojeném na počítač. V počítači byl následně spuštěn program Sevcon DVT Configuration. V něm byly poté nastaveny nejdůležitější hodnoty pro bezproblémový chod pohonné jednotky s vlivem na bezpečnost a zachování životnosti pohonné baterie. Na následujícím obrázku 77 a 78 je vyobrazena hlavní nabídka programu DVT Sevcon se spuštěnými živými daty z controlleru a nastavovací nabídkou.



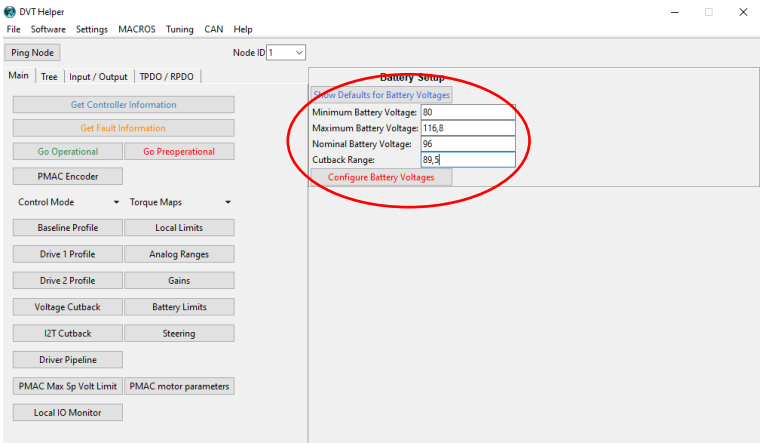
Obrázek 77. Spuštěný program DVT Sevcon s živými daty



Obrázek 78. Spuštěný program s nastavovací nabídkou

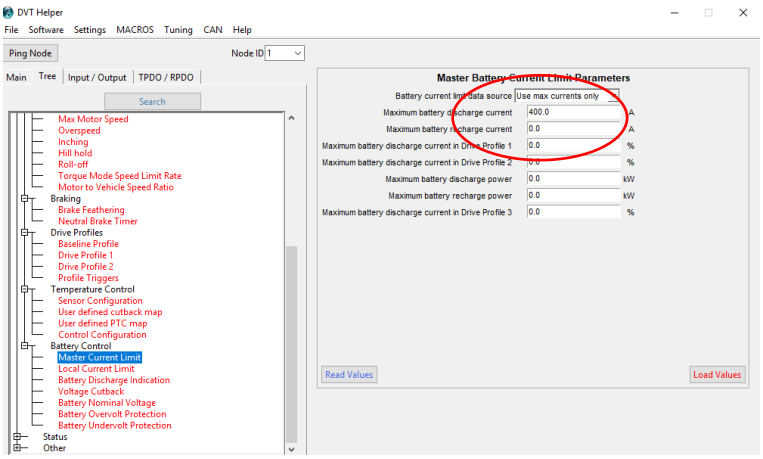
13.5.1 Nastavení proudových a napěťových hranic pro pohonné baterie

Jako první bylo třeba nastavit základní hranice napětí. Které jsou důležité pro ochranu baterií. Jednalo se o velikosti nominálního napětí 96 V, minimálního napětí 80 V, maximálního napětí 116,8 V a omezovacího napětí 89,5 V pro bateriový pack. Tyto hodnoty byly nastaveny na kartě „main“ v nabídce „Battery limits“. Toto nastavení má za cíl ochránit baterie proti nadměrnému vybití. Nastavení bylo nutné uzpůsobit pro zvolený bateriový pack. Změna hodnot je vyobrazena na obrázku 79.



Obrázek 79. Nastavení napěťových hranic

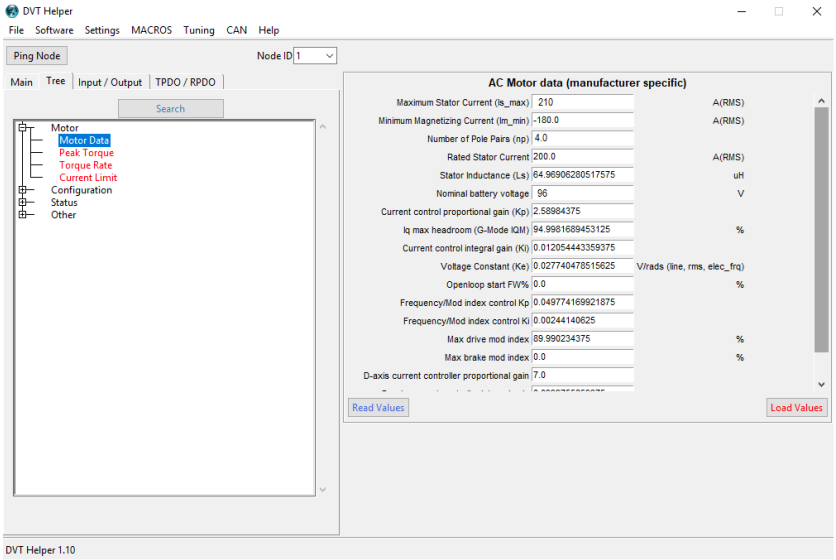
Dále bylo třeba nastavit maximální vybíjecí proud, který controller bude odebírat z baterií. Jak bylo uvedeno v předešlé kapitole, baterie jsou schopné dát proud až 210 A. Nastavení probíhalo v kartě „tree“ na položce „master current limit“ v nabídce „Battery control“. Toto nastavení je uvedeno a zvýrazněno na obrázku 80. Uvedená defaultní hodnota 400 A, která byla nastavena výrobcem, bylo třeba změnit na hodnotu 210 A pro zajištění ochrany baterií.



Obrázek 80. Nastavení maximálního proudového odběru

13.5.2 Nastavení motorových hodnot

Dále bylo třeba nastavit či zkontrolovat správné hodnoty pro motor. Ty byly uvedeny v nabídce „Motor“ a označena jako „Motor data“. Nastavovací karta je uvedena na obrázku 81.



Obrázek 81. Nastavovací okno Motor data

Hodnoty, které byly změněny či zkontrolovány jsou následující:

- Maximum Stator Current – změněna z 550 A na 210 A
- Nominal battery voltage – zkontrolována hodnota 96 V
- Number of Pole Pairs – zkontrolována hodnota 4 póly
- Overspeed RPM – zkontrolována 7000 ot/min

V další fázi byly ověřeny maximální dosažitelné otáčky za přístupu elektrické energie z baterií přesněji z controlleru. Ty byly již nastavené na 6500 ot/min. Z těchto nastavení je tedy patrné,

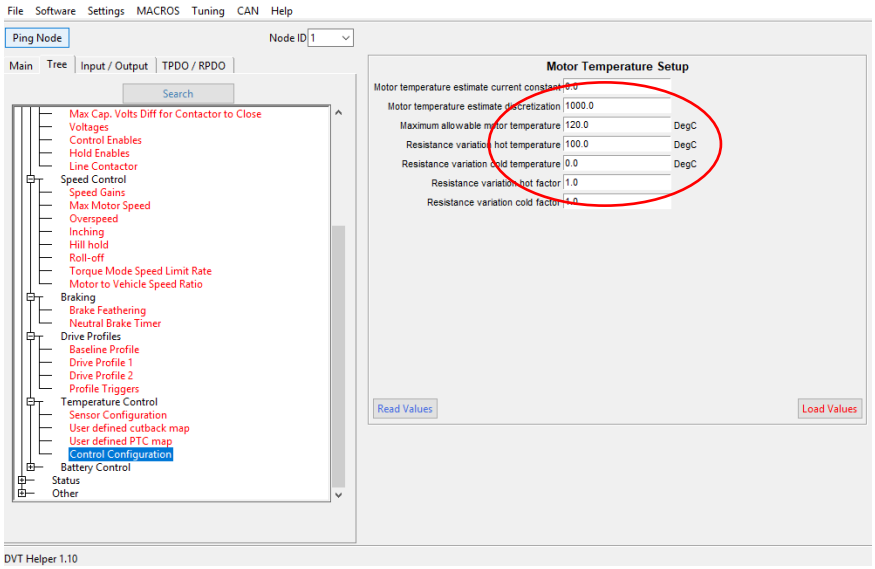
že bylo zvoleno ochranné pásmo v rozmezí 500 ot/min. Kontrola nastavení probíhala na kartě „Speed control“ v položce „Roll-off“.

Dále bylo pro zpětný chod nastaveno prvotní otáčkové omezení 2000 ot/min tj. cca 20 km/h. Otáčková hodnota byla získána z grafu 8. Otáčkové omezení bylo nastaveno z důvodu omezení maximální rychlosti pro zpětný chod za účelem zvýšení bezpečnosti.

13.5.3 Nastavení teploty

Jako poslední bylo provedeno nastavení maximálních teplot, kdy musí dojít k odpojení motoru. A tím zabránit jeho zničení.

Bohužel maximální teploty nebyly od výrobce u motoru uvedeny. Proto bylo nahlédnuto do dokumentace k motoru, který byl zamýšlen jako druhá volba, tedy motoru Motenergy ME 1202. Ovšem zde výrobce maximální hodnotu také neuváděl. Bylo tedy zapotřebí nahlédnout do dokumentace k poslednímu motoru. Jednalo se o motor ME 1507. Zde již byla maximální teplota uvedena na 140 °C. Tato hodnota se však jevila jako příliš vysoká, a proto byla raději nastavena teplota 120°C pro zajištění větší ochrany. Nastavení probíhalo v nabídce „Temperature control“ na položce „Control configuration“. To je vyobrazeno a zvýrazněno na obrázku 82.



Obrázek 82. Nastavení maximální teploty

Tím bylo hrubé základní nastavení dokončeno. Je ovšem pravděpodobné, že po dostavbě vozidla bude nutná další optimalizace nastavení, která budou zapotřebí pro správnou funkci pohonné jednotky.

Protože práce na výrobě rámu a bateriovém boxu nabraly velké zpoždění, nelze pohonnou jednotku otestovat ve vozidle pod zatížením. Proto bylo přistoupeno k testu prototypu v laboratoři na ČVUT FD.

V laboratoři byla následně celá pohonná jednotka zkušebně zapojena a zkontrolována funkčnost všech komponent. Byla ověřena funkce nouzového vypínacího tlačítka, spínací skříňky, spínacího relé, nožního pedálu a tlačítka pro změnu směru jízdy.

Po připojení k pohonné baterii byly všechny komponenty plně funkční. Po otočení klíčku se na controlleru, při současném sepnutí relé, rozsvítila stavová zelená led. Po zvolení směru jízdy a následném stisknutí pedálu se motor začal otáčet. Při změně směru se motor začal otáčet opačně. Tímto bylo ověřeno správné prototypové zapojení kabelů a mohlo se přejít k dalšímu testovaní.

Z důvodů, které byly již výše zmíněny se nemohla pohonná jednotka připojit na zátěž. Bylo tak přistoupeno k pilotnímu měření, které mělo za cíl pouze ověřit správnou funkci prototypově zapojené pohonné jednotky. Měření měla za cíl měřit proudový odběr závislém na otáčkách.

Je předpokládáno, že proud nedosáhne zdaleka ani 50 A právě z důvodu nepřipojené zátěže. Měření probíhala tři pro oba směry. V nadcházející kapitole jsou vidět výsledky těchto měření.

14 Odzkoušení pohonné jednotky

Měření byla provedena vždy 3 pro jeden směr. Jako měřící zařízení sloužila jednotka BMS, která je schopna měřit okamžitý proudový odběr. Další zařízení byl klešťový ampérmetr a jako poslední bylo spuštěno nahrávání dat přímo v controlleru. Nahrávání probíhalo přes program DVT Sevcon. Nahraný soubor obsahoval více dat. Mezi nimi se skrývaly data okamžitých otáček v závislosti na odebíraném proudu. Všechna získána data byla následně zpracována v následujících dvou kapitolách.

Na obrázku 83 níže je vyobrazena jednotka BMS na které probíhalo měření.

Obrázek 83. Jednotka BMS

14.1 Měření dopředného směru

Celkem byla provedena 3 měření. Při měření byl kladen cíl na dosažení stálých otáček, které se měly pohybovat kolem 3000 ot/min. V tomto otáčkovém pásmu byly otáčky kratší dobu ponechány. U prvního měření byl lehce přidán plyn pro naměření proudové špičky. Zbývající dvě měření byla cílena na udržení konstantních otáček.

Během měření byla jednotka BMS natáčena na záznamové zařízení pro zpětné zdokumentování. Na klešťovém apérmetru byla nastavena funkce měření maximálního proudu. Tím byla docílena minimalizace ztráty dat z těchto zařízení.

Pro nahrávání dat z controlleru byl použit čas 10 ms, po kterém se vždy zapíše hodnota. Výsledný soubor byl následně uložen ve formát csv. Jeho zpracování probíhalo v excelu a jeho výsledkem je vždy graf.

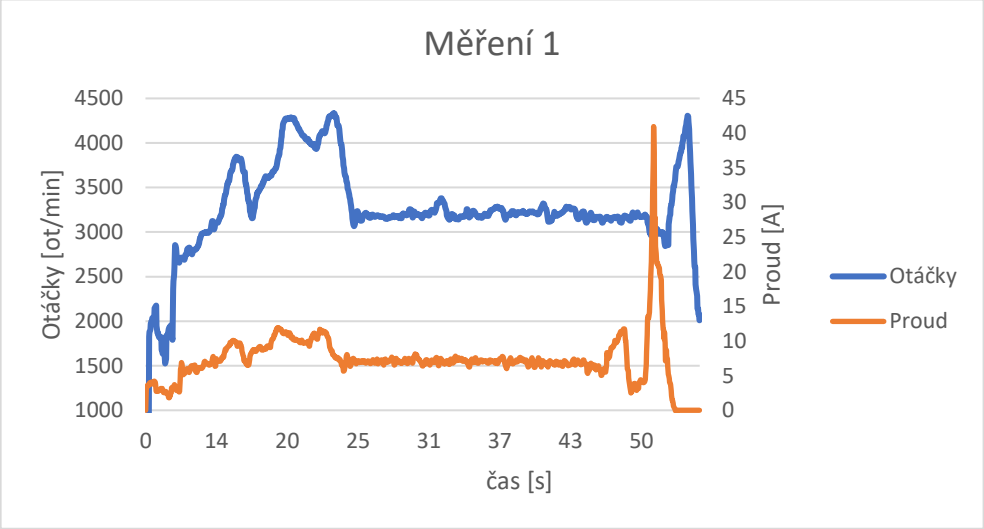
14.1.1 Výsledky

Výsledky z BMS a ampérmetru jsou znázorněny ve společné tabulce 12. Výsledky z controlleru jsou zpracovány v jednotlivých grafech. Důvod umístění hodnot v jednotlivých grafech je kvůli odlišným dobám měření.

Tabulka 12. Výsledky měření z BMS a ampérmetru

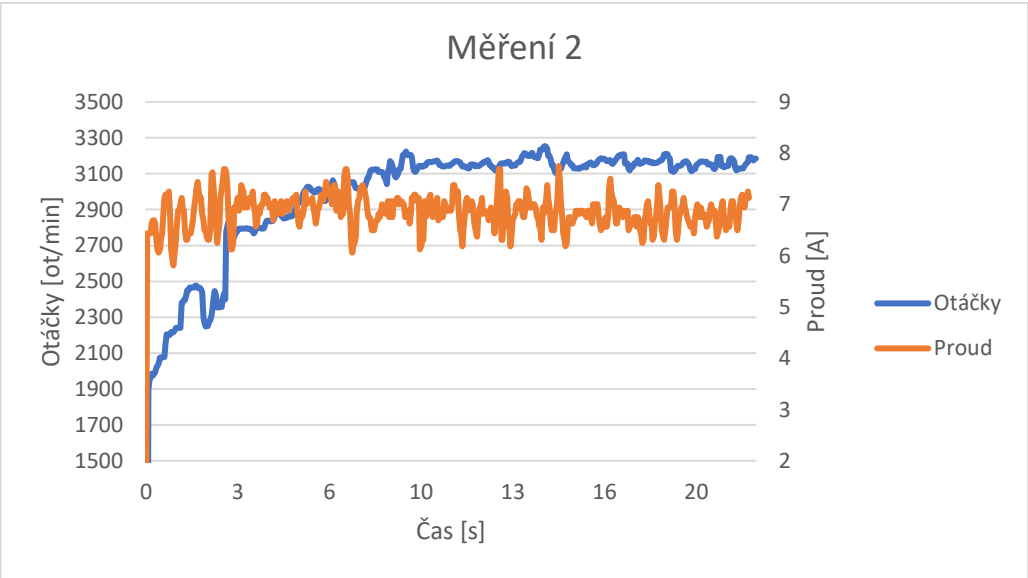
Naměřené proudové hodnoty						
Měřící přístroj	Klešťový ampérmetr			BMS		
číslo měření	1	2	3	1	2	3
otáčky[ot/min]	3000	3000	3100	-	-	-
Proud [A]	7 až 8	7 az 7,5	8	7,5 až 9	7,2 až 8	6,5 až 7,5
Špička [A]	12	8,2	8,5	12,26	8,6	8,1

Graf 10. První měření odběru proudu



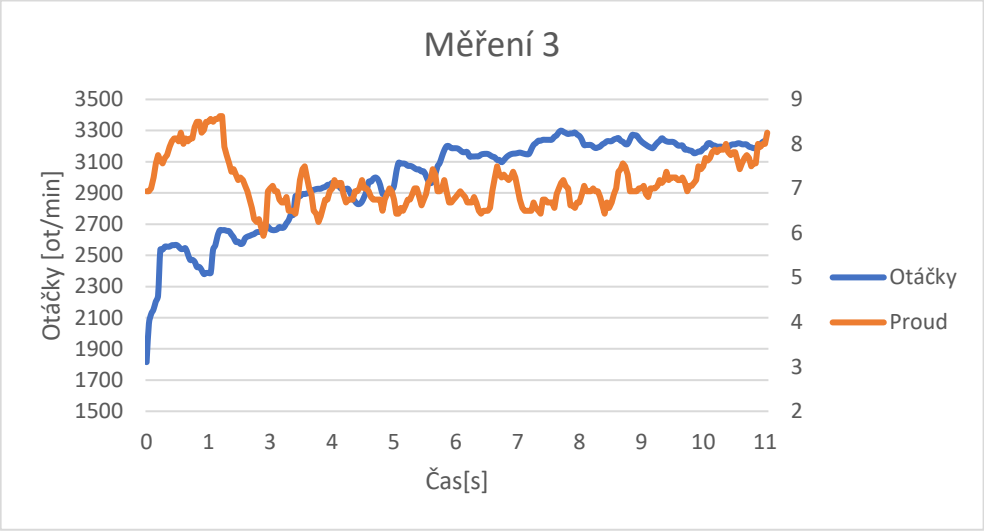
V prvním měření na grafu 10 je možno pozorovat delší dobu ustálení otáček. To bylo způsobeno nerovnoměrným přidáváním plynu. Poté je možno vidět ustálení otáček kolem 3000 ot/min při kterém motor odebíral okolo 7 A. Na konci měření byla naměřena špička s hodnotou 41 A. Tato špička byla v datech pouze po dobu 20 ms. Je možné že přístroje za tak krátkou dobu nebyly schopny hodnotu změřit. Zbylé přístroje naměřily maximálně 12.26 A.

Graf 11. Druhé měření



V druhém měření v grafu 11 již je vidět rychlejší náběh na dané otáčky. A jejich delší stále měření. Proudový odběr kolísal v otáčkovém spektru mezi 6 a 8 A.

Graf 12. Třetí měření



V třetím měření v grafu 12 byla naměřena opět kolísavá hodnota mezi 6 a 8 A. Klešťový ampérmetr a jednotka BMS naměřily velice podobné hodnoty.
Celkově byla všechna proudová zatížení mezi 6 a 8 A po dosažení konstantních otáček. Ty se pohybovaly kolem 3000 ot/min.

14.2 Měření zpětného směru

Měření zpětného směru probíhala podobně jako v prvním případě. Ovšem pro zpětný chod bylo nastaveno otáčkové omezení na 2000 ot/min. Z tohoto důvodu nebylo možné dosáhnout větších proudových odběrů jako v předešlých měření.

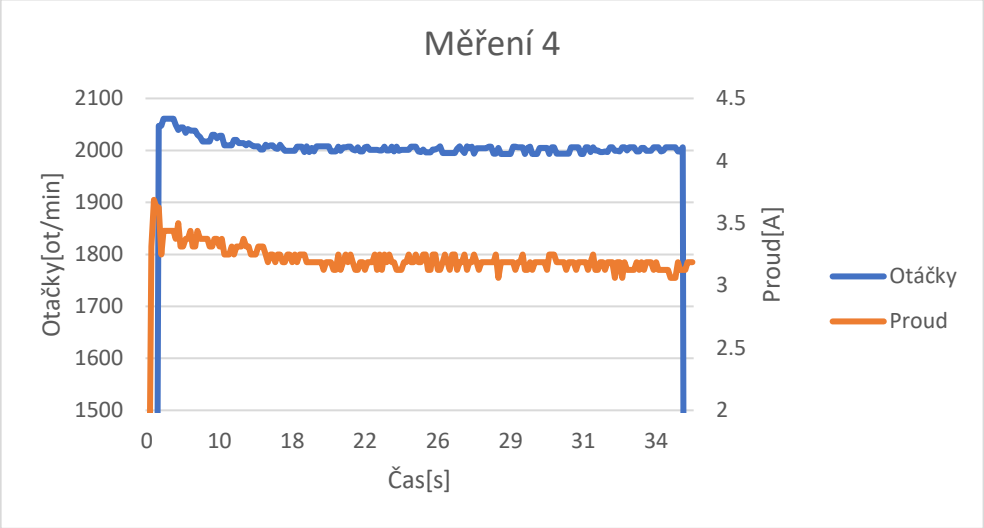
14.2.1 Výsledky

Výsledky z BMS a ampérmetru jsou umístěny ve společné tabulce 13. Výsledky z controlleru jsou zpracovány opět v jednotlivých grafech.

Tabulka 13. Výsledky měření z BMS a ampérmetru pro druhý směr

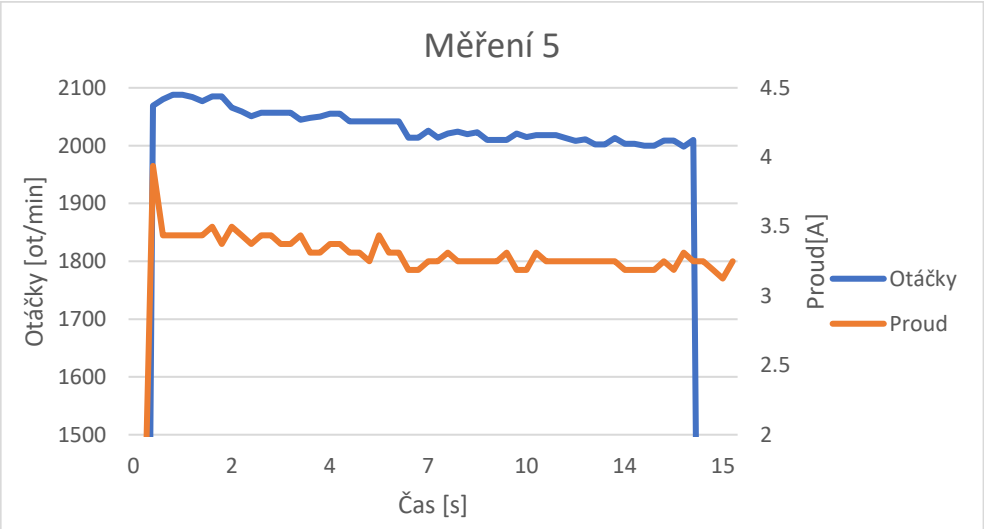
Naměřené proudové hodnoty pro druhý směr						
Měřící přístroj	Kleštový ampérmetr			BMS		
Číslo měření	4	5	6	4	5	6
Otáčky[ot/min]	2000	2000	2000	2000	2000	2000
Proud [A]	5,3	5,2	5,68	4,3	4,4	4,4
Špička [A]	7,2	7,2	7,5	-	5,9	5,8

Graf 13. Čtvrté měření



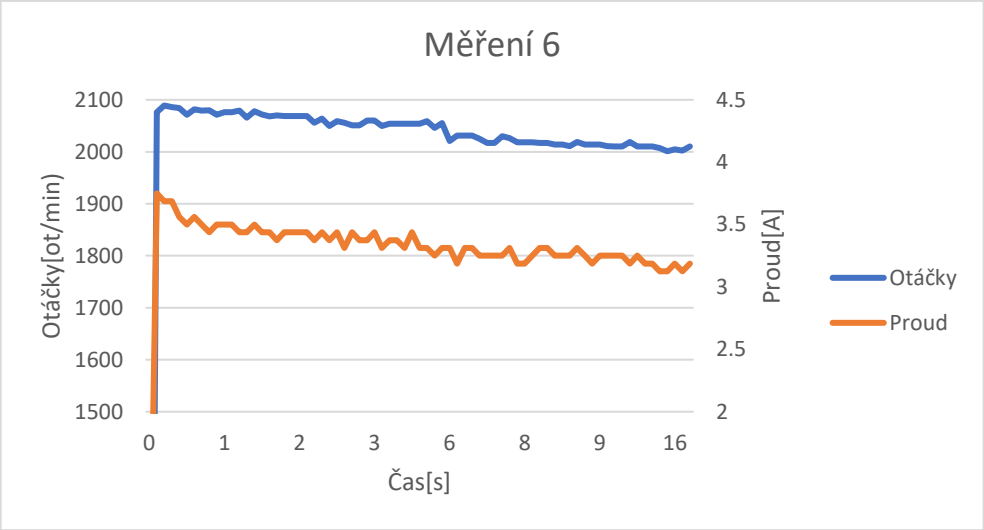
Jak je z grafu 13 patrné je na začátku měření velmi rychlý náběh s malou špičkou 3,8 A na začátku. Poté je dále vidět ustáleny charakter mezi 3 A a 3,5 A. Zbývající měřící zařízení naměřila hodnoty 5,3 A a 4,3 A. Přičemž náběhová špička byla naměřena až 7,2 A.

Graf 14. Páté měření



Podobně jako v předešlém grafu 13 je na začátku v grafu 14 velmi rychlý náběh s výraznější špičkou 4 A na začátku. Poté je vidět ustálený charakter mezi 3 A a 3,5 A. Zbývající měřící zařízení naměřila hodnoty 5,2 A a 4,4 A. Přičemž náběhová špička byla stejná jako v předešlém měření 7,2 A.

Graf 15. Šesté měření



Poslední měření má opět stejný charakter jako předcházející dvě. Na začátku v grafu 15 je pozorovatelná proudová špička 3,6 A a poté opět ustálený charakter mezi 3 a 3,5 A. Zbylá zařízení naměřila také podobné výsledky jako v předcházejících případech. Jednalo se o hodnoty 5,68 a 4,4 A. Počáteční špička byla neměřena 7,5 a 5,8 A.

Ve všech měření byl naměřen stálý proudový odběr kolem 3,5 A. Špičky měření se pohybovaly různě z důvodu odlišné rychlosti vychýlení plynového pedálu. Avšak v těchto měření byl zaznamenám větší nesoulad v naměřených hodnotách. Hodnoty naměřené controllerem byly více odlišné od hodnot naměřené ampérmetrem a BMS. Ampérmetr a BMS naměřily vždy vyšší proud.

Dále je z měření patrné, že nastavený limit 2000 ot/min nebyl v žádném měření výrazně překročen. Nastavení proběhlo tedy korektně. A lze předpokládat, že ostatní změněné parametry byly uloženy do controlleru.

Lze konstatovat, že test pohonné jednotky proběhl úspěšně. Během testování nevznikly žádné problémy, které by neumožnovaly další testy. Žádný z komponentů se nadměrně neohříval a vše pracovalo naprosto korektně. Pohonná jednotka je tak připravena k další manipulaci, která je spojená se stavbou navrhovaného vozu EVgen.

15 Budoucí další postup

V další fázi budoucí práce je třeba jednotku demontovat z jejího držáku a ten následně povrchově upravit či dodatečně obrousit. Poté opět do držáku zpětně komponenty namontovat a vložit do rámu, který bude na základě návrhu vytvořen. Dalším krokem bude zapojení pohonné jednotky v rámu vozu. Je možné, že bude potřeba některé silové kabely prodloužit či raději nahradit delší variantou. Protože každé dodatečné prodlužování je zdrojem potenciálních problémů. Ty by mohly vůz ohrozit na jeho funkci. Ovšem při montáži nejdříve bude potřeba vyřešit umístění controlleru. Ten svojí velikostí zabere poměrně značnou plochu. Jako první bude potřeba pro něj navrhnout desku, ke které bude přišroubován. Daná deska by měla být z materiálu, který dobře odvádí teplo. Důvodem je, že celý spodek controlleru je chladičem pro elektroniku, nacházející se uvnitř. Ta se provozem zahřívá, a proto je důležité zajistit dostatečný odvod tepla. Proto by controller měl být umístěn na pozici, kde k němu bude stálý přívod náporového vzduchu. Ten by vznikal při jízdě vozidla. To ovšem zavádí další nárok na návrh vzduchového kanálu, který bude přivádět studený vzduch.

Dále je třeba rozpojit celý pohonný akumulátor. Ten bude poté finálně vložen do bateriových boxů, které budou umístěny v podlaze vozu. Celkem se bude jednat o dva boxy. V nichž budou jednotlivé články umístěné na plocho. K nim bude potřeba zajistit delší propojovací plechy mezi články a upravit kabeláž včetně konektorů patřící k BMS. Dále bude zapotřebí vyřešit problematiku elektronického propojení bateriových boxů. Je třeba vyřešit silové propojení a propojení s BMS. Pro silové propojení bude muset být navrhnut či nalezen vyhovující konektor. Jehož obsluha nebude přítěží pro uživatele vozu. Pro připojení k BMS bude také třeba vyřešit zapojení jednotlivých kladných pólu od článků baterie. Zda bude využit více pinový konektor nebo bude modul BMS umístěn přímo v boxu. Poté by stačilo propojit pouze moduly mezi boxy, které komunikují po dvou kabelech. Centrální BMS, do níž jsou zapojeny jednotlivé moduly, posléze umístit mimo tyto boxy. Celkem je pro 32 článků zapotřebí třech modulů. Každý z modulů je na 12 článků. Z důvodu použití dvou boxů, by bylo nutné zakoupit další modul. Proto se nabízí ekonomičtější řešení. A to veškerou elektroniku z bateriových boxů vyjmout a propojit vše za pomoci více pinových konektorů vně boxů.

V neposlední řadě je třeba zamyslet se nad řešením chlazení bateriový boxů. Výrobce článků uvádí, že chlazení není potřeba pokud nejsou články nadměrně zatěžovány. To by v případě návrhu mělo být splněno, protože byly nastaveny omezující parametry, které výrobce uváděl. Avšak i přes tato tvrzení by vybudování chladících kanálů vozidlu jen prospěly a při nejmenším by prodloužily životnost pohonným bateriím. Proto by v návrhu měl být zakreslen vzduchový kanál. Ten by mohl být veden například od kol či z přední části vozidla. Vše se ale odvíjí od prostorového uspořádání a na konečném výsledném prostoru, který není ještě přesně znám.

Po dokončení všech těchto podmínek či doporučení bude třeba daný pohonný systém přizpůsobit uživatelům. Nastavit například více jízdních profilů. Mohlo by se jednat o profily normal, eko nebo sport. Tyto profily by zvýhodňovaly určité parametry na úkor jiných pro zajištění odpovídajících zvolených podmínek. Například režim eko by byl naladěn na co největší dojezd na úkor zrychlení vozidla či maximální rychlosti. Naproti tomu režim sport by zvýhodňoval maximální výkon a maximální točivý moment. Změna těchto parametrů by zlepšila zrychlení a maximální rychlost. Avšak dramaticky by snížila dojezd. Ovšem nastavení režimu sport by mělo být stále nastaveno s rezervami, aby pohonné baterie nebyly nadměrně namáhány. V neposlední řadě režim normal by vyvažoval oba již zmíněné jízdní režimy.

16 Závěr

Na začátku této diplomové práce byla popsána teorie potřebná k pochopení probírané problematiky. Byl vysvětlen princip činnosti elektrického motoru s důrazem na dnes nejvíce využívané v elektrických vozech. Jednalo se převážné o střídavé elektromotory, které nabízejí mnohem větší výkon oproti motorům využívající komutátor s uhlíky. Tyto motory mají také mnohem větší účinnost a jsou prakticky bezúdržbové. Jejich další výhodou je vysoký točivý moment od nulových otáček a maximální dosažitelné otáčky. Tento fakt umožnuje použít převodovky i s jedním stálým převodovým stupněm. Díky tomu je kompletní pohonná jednotka velice kompaktní a umožňuje velmi dobré umístění ve vozidlech. Elektromobily tím získají více prostoru pro zavazadla nebo jinou důležitou výbavu pro vozidlo. Vozy mají také díky střídavému motoru lepší parametry zrychlení. Naproti tomu nedosahují tak vysokých maximálních rychlostí, které jsou dány především použitím jednostupňových převodovek. Ovšem i přesto je maximální rychlost velkých elektromobilů dostačující. Zpravidla se jedná o rychlost 160 km/h, které dosahuje například Škoda Enyaq.

Nevýhodou střídavých motorů bylo dříve elektronické řízení, které je ale dnes na špičkové úrovni. V dnešní době tak jedinou nevýhodou je jejich napájení. O to se dříve staraly baterie, které byly velmi těžké a nedosahovaly takových výkonů oproti dnešním bateriím. Dnes se jedná především i lithiové články nabízející vysoký výkon při nízké hmotnosti. Díky nim se dnes elektromotory dostaly do popředí a mohla vzniknout nová vozidla poháněná na elektřinu. To je velmi důležité, protože důraz na ekologii a na snižování produkce oxidu uhličitého je dnes kladen enormní tlak.

Na základě získaných znalostí o elektrických motorech a používaných převodovkách do elektrických vozidel byla nalezena pohonná jednotka pro navrhovaný lehký elektromobil EVgen. Pohon splňuje všechny požadavky, které byly na vůz kladeny. EVgen bude schopen s navrženým pohonným systémem jet rychlostí až 80 km/h a být dostatečně agilní v městském provozu. Navržená pohonná jednotka se skládá z motoru Motenergy ME 30 – 31001, controlleru Sevcon Gen4 size 6 a převodovky Comex s jedním stálým převodovým poměrem 9,8:1. Výkon pohonné jednotky je ve špičce až 37 kW při 6500 ot/min.

Dalším krokem byl návrh držáku pro pohonnou jednotku. Ten bude umístěn na silentbloky do budoucího vozidla. Po navržení, byly díly držáku vyřezány za pomocí vodního paprsku. Posléze byl z jednotlivých dílů sestaven navržený držák, který byl poté svařen. Po svaření byl do něj vložen motor s převodovkou. Komponenty, do držáku po menších konstrukčních úpravách, pasovaly naprosto korektně. Rozměrově byl držák velmi přesný. Není důvod se obávat nějakých značných problémů, které by mohly vzniknout při zástavbě do rámu.

Dále byla nastavena pohonná jednotka. Nastavení se týkalo důležitých parametrů, které byly nezbytné pro ochranu motoru a pohonných baterií. Při změně daných parametrů byly také

kontrolovány již nastavené hodnoty provedené výrobcem. Celé toto přizpůsobování nastavení probíhalo v softwarovém prostředí programu DVT Sevcon za pomocí komunikačního zařízení a sestrojené redukce. Změněny byly hlavně hodnoty týkající se pohonných baterií. Byly doplněny napěťové parametry a maximální proudový odběr. Ten byl ze 400 A, který nastavil výrobce, změněn na 210 A. Dále byly zkontrolovány hodnoty maximálních otáček včetně limitních otáček, kde byl mezi nimi nastaven bezpečnostní limit 500 ot/min. Poté byla nastavena také kritická teplota při, které dojde k odstavení pohonné jednotky. Ta byla zvolena na 120°C. Po nastavení a zkontrolovaní všech nezbytných parametrů se mohlo přistoupit k ověření funkčnosti.

Z důvodu zdržení práce na výrobě rámu nemohl být motor vyzkoušen s připojenou zátěží vozidla. Proto byl motor prototypově zapojen v laboratoři na ČVUT FD a následně vyzkoušen bez připojené zátěže. Při zkoušce se ověřovalo, zda pohonná jednotka pracuje korektně. Také se sledovala správná funkce spínacího relé po zapnutí klíčku nebo funkčnost nouzového tlačítka. V neposlední řadě byl vyzkoušen chod motoru po přepnutí ovladače pro směr jízdy. Pro ověření korektního stavu pohonné jednotky bylo provedeno několik měření. Ta byla cílena na proudový odběr při stálých otáčkách pro oba směry. V případě jednoho směru byla nastavena maximální hodnota otáček na 2000 ot/min. Tento směr bude v budoucnu sloužit pro zpětný chod. Při měření byly naměřeny hodnoty, které se v žádném případě nevymykají nastaveným parametrům. Maximální proudový odběr byl naměřen s hodnotou 41 A. Hodnoty jsou nyní nižší z důvodu nepropojení s vozidlem EVgen, které zatím dosud nebylo dokončeno. Nastavené maximální otáčky nebyly také výrazně překročeny.

Motor bez připojené zátěže pracoval naprosto korektně a je v současné době připraven pro zástavbu do budoucího rámu lehkého elektrického vozidla Evgen.

Věřím, že veškeré poznatky získané při tvorbě této diplomové práce využiji i v budoucnu ve své další praxi.

POUŽITÉ ZDROJE

Tištěná literatura

[1] KAMEŠ, Josef. *Alternativní pohon automobilů*. Praha: BEN, 2004. ISBN 80-7300-127-6.

[2] KAMEŠ, Josef. *Hybridní a Elektrický pohon automobilů*. 2.vydání. Praha, 2015. ISBN 2013-11-14-1.

[6] VLK, František. *Převodová ústrojí motorových vozidel*. Brno: VLK, 2000. ISBN 80-238-5275-2.

[8] VLK, František. *Alternativní pohony motorových vozidel*. Brno: VLK, 2004. ISBN 80-239-1602-5.

[23] CHAU, K.T. *Electric Vehicle Machines and Drives*. Singapur: John Wiley, 2015. ISBN 978-1-118-75252-4.

[27] Volkswagen ID.3 Pro S: Zimu nemá rád. *Svět motorů*. 2022, **2022**(8), 2.

[35] FIRST A KOL., Jiří. *Zkoušení automobilů a motocyklů*. Praha: S&T CZ s.r.o, květen 2008. ISBN 978-80-254-1805-5.

Internetové zdroje

[3] Motor v kolech. Je ideálním řešením pro elektromobily?. *Nazeleno.cz* [online]. 16. 7. 2012 [cit. 2022-03-11]. Dostupné z: https://www.nazeleno.cz/technologie-1/hybridy-a-elektromobily/motor-v-kolech-je-idealnim-resenim-pro-elektromobily.aspx

[4] The gearbox of an electric car: how is it made?. *MoDo* [online]. 10.3.2020 [cit. 2022-03-11]. Dostupné z: https://modo.volkswagengroup.it/en/mobotics/the-gearbox-of-an-electric-car-how-is-it-made

[5] BERGMANN, Petr. Historie elektromobilů může být až překvapivě zajímavá! Znáte skutečnou pravdu?. *Elektrickevozy* [online]. 20. 9. 2021 [cit. 2022-03-11]. Dostupné z: https://elektrickevozy.cz/clanky/historie-elektromobilu-od-prvniho-elektromotoru-po-soucasnost

[7] DUCHOŇ, Jiří. Škoda Enyaq IV – Elektroéra. *Automobilrevue* [online]. 12.10.2020 06:45 [cit. 2022-03-11]. Dostupné z: https://www.automobilrevue.cz/rubriky/testy/predstavujeme/skoda-enyaq-iv-elektroera_48198.html

[8] E-transmission BMW i3 production. *YouTube* [online]. 18. 10. 2013 [cit. 2022-03-11]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=wBcw0aLZcak

[9] Differential | How does it work?. *YouTube* [online]. 11. 11. 2020 [cit. 2022-03-15]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=nC6fsNXdcMQ&t=29s

[10] Čelní diferenciál [online]. [cit. 2022-03-15]. Dostupné z: https://slideplayer.cz/slide/11516467/

[11] Šnekový diferenciál Torsen [online]. [cit. 2022-03-16]. Dostupné z: https://slideplayer.cz/slide/13247319/

[12] NĚMEC, V. *Kloubové hřídele a klouby* [online]. 28. 8. 2013 [cit. 2022-03-16]. Dostupné z: https://www.spszengrova.cz/wp-content/uploads/2020/04/Kloubové-hřídele-klouby-UT.pdf

[13] ROMANOVA, Michaela. Elektromotory: Jejich historie, vývoj i využití v moderním automobilismu. *iFaster* [online]. 24. 6. 2020 [cit. 2022-02-23]. Dostupné z: https://www.ifaster.cz/elektromotory/

[14] KUSALA, Jaroslav. Pradědeček elektromotor. *Třípól* [online]. 11. 10. 2011 [cit. 2022-02-23]. Dostupné z: https://www.3pol.cz/cz/rubriky/biografie/131-pradedecek-elektromotor

[15] Faraday Motor – 1821. *Magnet Academy* [online]. 10. 12. 2014 [cit. 2022-02-23]. Dostupné z: https://nationalmaglab.org/education/magnet-academy/history-of-electricity-magnetism/museum/faraday-motor-1821

[16] KRÁLOVÁ, Mgr. Magda. Elektromotory. *Techmania Science Center* [online]. [cit. 2022-02-23]. Dostupné z: http://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/elektromagneticka-indukce/elektromotory

[17] OWEN, Jared. How does an Electric Motor work? (DC Motor). *YouTube* [online]. 10. 6. 2020 [cit. 2022-02-23]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=CWulQ1ZSE3c

[18] *Elektromotory* [online]. [cit. 2022-02-23]. Dostupné z: https://www.spslan.cz/files/1cc2eb91316dd52bf50dd77e977caa60.pdf

[19] Elektromotor. *Wikipedia* [online]. 15. 1. 2022 [cit. 2022-02-23]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Elektromotor

[20] Elektrodynamická brzda. *Wikipedia* [online]. 2. 10. 2015 [cit. 2022-02-23]. Dostupné z: https://sk.wikipedia.org/wiki/Elektrodynamická_brzda

[21] Magnetka [online]. [cit. 2022-02-23]. Dostupné z: http://www.gymrumburk.cz/personal/lib/exe/fetch.php?media=seifert:ujep:fpi:p11-magnetismus.pdf

[22] How does an Induction Motor work ?. *YouTube* [online]. [cit. 2022-02-23]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=LtJoJBUSe28&t=2s

[23] Škoda Enyaq. *Skoda-auto* [online]. [cit. 2022-03-16]. Dostupné z: https://www.skoda-auto.cz/modely/enyaq/enyaq-iv?state=NEW&aid=qesza1lp-02wm-xqq9-lfsr-xjykm0m93zih&or=www.google.com&gclid=EAIaIQobChMIl5qIxfDM9gIVW49oCR308AGZEAAYASAAEgI-5PD_BwE&gclsrc=aw.ds

[24] MIČKA, Jan. Škoda Enyaq 4x4 nedosáhne výkonu 195 kW jen tak. Přečtěte si nutné podmínky. *Autorevue* [online]. 7. 6. 2021 [cit. 2022-03-16]. Dostupné z: https://www.autorevue.cz/skoda-enyaq-iv-80x-s-pohonem-4x4-cena-v-cr-vybava-vykon-motory

[25] HORČÍK, Jan. Volkswagen ID.3 dobře jezdí trochu žere, uzemní ho i špatně dovřený kufr. *Hybrid.cz* [online]. 9. 3. 2021 [cit. 2022-03-22]. Dostupné z: https://www.hybrid.cz/test-volkswagen-id3-dobre-jezdi-trochu-zere-uzemni-ho-i-spatne-dovreny-kufr/

[26] Volkswagen ID.3. *Hybrid.cz* [online]. [cit. 2022-03-22]. Dostupné z: https://www.volkswagen.cz/modely/id3/informacni-materialy

[28] Renault Twizy. *Renault* [online]. [cit. 2022-03-22]. Dostupné z: https://cdn.group.renault.com/ren/cz/pdf/brochures/twizy-brochure.pdf

[29] Renault Twizy. *Fdrive.cz* [online]. [cit. 2022-03-22]. Dostupné z: https://fdrive.cz/clanky/test-renault-twizy-kterak-se-stat-stredem-pozornosti-4366

[30] *Tazzari EV - Stories* [online]. [cit. 2022-03-23]. Dostupné z: https://www.tazzari-zero.com/storia-tazzari-ev-auto-elettriche-sviluppo-produzione/

[31] PAVLŮSEK, Ondřej. Tazzari Zero: Městský elektromobil z Itálie. *Auto.cz* [online]. 2009 [cit. 2022-03-23]. Dostupné z: https://www.auto.cz/tazzari-zero-mestsky-elektromobil-z-italie-5539?mv=0

[32] *Tazzari MINIMAX* [online]. [cit. 2022-03-23]. Dostupné z: https://configurator.tazzari-zero.com/tazzari-configuratore/configure/34170/

[33] *Tazzari MINIMAX* [online]. [cit. 2022-03-23]. Dostupné z: https://www.electrive.com/2021/11/24/tazzari-presents-light-electric-vehicle-trio/

[34] *Tazzari MINIMAX* [online]. [cit. 2022-03-23]. Dostupné z: https://www.tazzari-zero.com/gamma-citycar-elettriche/

[36] Tabby EVO. *Open Motors* [online]. [cit. 2022-03-24]. Dostupné z: https://www.openmotors.co/product/tabbyevo/

[37] Tabby EVO. *Makezine.com* [online]. [cit. 2022-03-24]. Dostupné z: https://makezine.com/2015/05/13/osvehicles-tabby-evo-build-open-source-ev-hour/

[38] KRAB JEŘÁBEK, Petr. BMW i3 60 Ah: Futuristické auto po sedmi letech. *Garaz.cz* [online]. [cit. 2022-03-30]. Dostupné z: https://www.garaz.cz/clanek/test-ojetiny-bmw-i3-60-ah-21006778

[39] BMW i3. *Bmw.cz* [online]. [cit. 2022-03-30]. Dostupné z: https://www.bmw.cz/cs/all-models/bmw-i/i3/2021/bmw-i3-technical-data.html#tab-0-0

[40] BMW i3. *En.wikipedia.org* [online]. [cit. 2022-03-30]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/BMW_i3

[41] *Aixam* [online]. [cit. 2022-04-03]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Aixam

[42] *Aixam City* [online]. [cit. 2022-04-03]. Dostupné z: https://www.aixam.cz/cs/e-city/pack#fiche-technique

[43] SRB, Luboš. *Aixam E City: elektroauto pro hobity a mladistvé* [online]. 2018 [cit. 2022-04-03]. Dostupné z: https://elektrickevozy.cz/clanky/aixam-e-city-elektroauto-pro-hobity-a-mladistve

[44] *Aixam City* [online]. [cit. 2022-04-03]. Dostupné z: https://www.alza.cz/aixam-e-city-pack-d5092438.htm#parametry

[45] *Pohonná jednotka ME 1507* [online]. [cit. 2022-04-06]. Dostupné z: https://www.electricmotorsport.com/motor-drive-systems/brushless-pmac-turn-key-systems/convection-cooled-pmac-systems/me1507-sevcon-gen4-120v-300a-motor-drive-system.html

[46] *Motor ME 1507* [online]. [cit. 2022-04-06]. Dostupné z: http://www.motenergy.com/mepmbrmo.html

[47] Motor ME 1202. *Motenergy.com* [online]. [cit. 2022-04-06]. Dostupné z: http://www.motenergy.com/mepmtrmo.html

[48] Pohonná jednotka ME 1202. *Kit-elec-shop.com* [online]. [cit. 2022-04-06]. Dostupné z: https://www.kit-elec-shop.com/gb/synchronous-motors/4631-synchronous-motor-me1202-pmsm-brushless-hollow-axis.html

[49] Pohonná jednotka ME 1202. *electricmotorsport.com* [online]. [cit. 2022-03-20]. Dostupné z: https://www.electricmotorsport.com/motor-drive-systems/brushless-pmac-turn-key-systems/differential-mounted-golf-car-pmac-drive-systems/pmac-g7235-72v-350a-atv-golf-car-nev-motor-drive-system-930.html

[50] Pohonná jednotka ME 30 - 31001. *electricmotorsport.com* [online]. [cit. 2022-04-6]. Dostupné z: https://www.electricmotorsport.com/motor-drive-systems/brushless-pmac-turn-key-systems/differential-mounted-golf-car-pmac-drive-systems/pmac-g8055-72v-96v-550a-atv-golf-car-nev-motor-drive-system.html

[51]] Motor ME 30 - 31001. *electricmotorsport.com* [online]. [cit. 2022-04-6]. https://www.electricmotorsport.com/me30-31001-brushless-motor-48-120v-6500rpm-12-kw-cont-37-kw-pk.html

[52] Controller Sevcon Gen 4 Size 6. *Electric motorsport.com* [online]. [cit. 2022-04-06]. Dostupné z: https://www.electricmotorsport.com/sevcon-gen4-72-80-550-1568.html

[53] Převodovka COMEX. *Comex* [online]. [cit. 2022-04-09]. Dostupné z: file:///D:/Stažené%20soubory/Scheda_tecnica_-_Riduttori_differenziali_1.pdf

[54] Rozvodovka CF 188. *Tunemout.eu* [online]. [cit. 2022-04-09]. Dostupné z: http://tunemout.en.gasgoo.com/auto-products/2329777.html

[55] Převodovka Comex Twizy. *Kit.Elec Shop* [online]. [cit. 2022-04-09]. Dostupné z: https://www.kit-elec-shop.com/gb/mechanical-transmission/2071-iskra-or-comex-differential-gearbox-for-renault-twizy-80.html

[56] Hnací hřídele. *Kit.Elec Shop* [online]. [cit. 2022-04-09]. Dostupné z: https://www.kit-elec-shop.com/gb/mechanical-spare-parts/4928-set-of-cardan-shafts-for-15kw-motor.html

[57] *Hnací hřídel Twizy* [online]. [cit. 2022-04-09]. Dostupné z: https://group-5.bildelsbasen.se/en-se/pb/Search/Car-parts/s1/Renault/RENAULT-TWIZY/All/Gear-box-&-Drive-axle-&-Middle-axle/Drive-shaft/Right-rear/ID-38320948/OEM-396001350R/

[58] *Hnací hřídel Twizy* [online]. [cit. 2022-04-09]. Dostupné z: https://www.b-parts.com/en/store/products/4582357/right-rear-driveshaft-renault-twizy-mam_-45-396001350r-2012/

[59] Hnací hřídel Aixam. *Ebay.com* [online]. [cit. 2022-04-09]. Dostupné z: https://www.ebay.co.uk/itm/Double-Coupling-Ligier-Aixam-Microcar-Grecav-Chatenet-Eke-Length-600-

Cv/223955121386?_trkparms=aid%3D1110006%26algo%3DHOMESPLICE.SIM%26ao%3D1%26asc%3D20201210111314%26meid%3D6556f21a859f4659bc365aff48da8aa9%26pid%3D101195%26rk%3D5%26rkt%3D12%26mehot%3Dpf%26sd%3D223584000829%26itm%3D223955121386%26pmt%3D1%26noa%3D0%26pg%3D2047675%26algv%3DSimplAMLv9PairwiseUnbiasedWeb&_trksid=p2047675.c101195.m1851

[60] Zapojení konektoru VGA pro komunikační zařízení. *Kit.elec shop* [online]. [cit. 2022-04-09]. Dostupné z: https://www.kit-elec-shop.com/gb/parts-for-controllers/2084-can-programming-cable-for-sevcon-gen4-controller.html

[61] Manual Sevcon Gen4. *Www.thunderstruck-ev.com* [online]. [cit. 2022-04-09]. Dostupné z: https://www.thunderstruck-ev.com/images/Gen4%20Product%20Manual%20V3%204.pdf

[62] Baterie $LiFePO_4$. *Resacs.cz* [online]. [cit. 2022-04-21]. Dostupné z: https://www.resacs.cz/baterie-lifepo4-3-2v-105ah/

[63] Otáčková charakteristika Daewo Matiz. *Https://sk.wikipedia.org* [online]. [cit. 2022-05-08]. Dostupné z: https://sk.wikipedia.org/wiki/Pružnosť_motora

[64] *Valivý odpor pneumatiky* [online]. [cit. 2022-05-16]. Dostupné z: https://docplayer.cz/46606572-10-valivy-odpor-pneumatik.html

Zdroj tabulek

[1] KRÁLOVÁ, Mgr. Magda. Elektromotory. *Techmania Science Center* [online]. [cit. 2022-02-23]. Dostupné z: http://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/elektromagneticka-indukce/elektromotory

[2] Motorová data motoru ME 1507 [online]. [cit. 2022-04-06]. Dostupné z: https://sep.yimg.com/ty/cdn/yhst-129399866319704/ME1507MotorData.pdf

[3] Pohonná jednotka Motor ME 1202. *Kit-elec-shop.com* [online]. [cit. 2022-04-06]. Dostupné z: https://www.kit-elec-shop.com/gb/synchronous-motors/4631-synchronous-motor-me1202-pmsm-brushless-hollow-axis.html

[4]Pohonná jednotka Motor ME 1202. *electricmotorsport.com* [online]. [cit. 2022-03-20]. Dostupné z: https://www.electricmotorsport.com/motor-drive-systems/brushless-pmac-turn-key-systems/differential-mounted-golf-car-pmac-drive-systems/pmac-g7235-72v-350a-atv-golf-car-nev-motor-drive-system-930.html

[5] Motor ME 1202. *Motenergy.com* [online]. [cit. 2022-04-06]. Dostupné z: http://www.motenergy.com/mepmtrmo.html

[6] Pohonná jednotka ME 30 - 31001. *electricmotorsport.com* [online]. [cit. 2022-04-6]. Dostupné z: https://www.electricmotorsport.com/motor-drive-systems/brushless-pmac-turn-key-systems/differential-mounted-golf-car-pmac-drive-systems/pmac-g8055-72v-96v-550a-atv-golf-car-nev-motor-drive-system.html

[7]] Motor ME 30 - 31001. *electricmotorsport.com* [online]. [cit. 2022-04-6]. https://www.electricmotorsport.com/me30-31001-brushless-motor-48-120v-6500rpm-12-kw-cont-37-kw-pk.html

[8] *Pohonná jednotka ME 1507* [online]. [cit. 2022-04-06]. Dostupné z: https://www.electricmotorsport.com/motor-drive-systems/brushless-pmac-turn-key-systems/convection-cooled-pmac-systems/me1507-sevcon-gen4-120v-300a-motor-drive-system.html

[9] Převodovka COMEX. *Comex* [online]. [cit. 2022-04-09]. Dostupné z: file:///D:/Stažené%20soubory/Scheda_tecnica_-_Riduttori_differenziali_1.pdf

[10] Rozvodovka CF 188. *Tunemout.eu* [online]. [cit. 2022-04-09]. Dostupné z: http://tunemout.en.gasgoo.com/auto-products/2329777.html

[11] Renault Twizy. *Www.autozine.org* [online]. [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: https://www.autozine.org/Archive/Renault/new/Twizy.html

[12] Automobile drag coeficient. *Www.oebv.at* [online]. [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: https://www.oebv.at/system/files/celum/376739_drag%20coefficient.pdf

[13] Škoda CitygoE iv. *Www.hybrid.cz* [online]. [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: https://www.hybrid.cz/test-skoda-citigoe-iv-elektromobil-ktery-meni-cesky-trh/

[14] VW e-UP!. *Www..elektroforum.cz* [online]. [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: http://www.elektroforum.cz/viewtopic.php?t=14

Zdroj obrázků

[1] Motor v kolech. Je ideálním řešením pro elektromobily?. *Nazeleno.cz* [online]. 16. 7. 2012 [cit. 2022-03-11]. Dostupné z: https://www.nazeleno.cz/technologie-1/hybridy-a-elektromobily/motor-v-kolech-je-idealnim-resenim-pro-elektromobily.aspx

[2] Permanent Magnet Synchronous Electric Motor, 1.8KW 60V Geared Electric Motors. *Zhuiye* [online]. 16. 7. 2012 [cit. 2022-03-11]. Dostupné z: http://www.tricycle-

spareparts.com/sale-12013734-permanent-magnet-synchronous-electric-motor-1-8kw-60v-geared-electric-motors.html

[3] The gearbox of an electric car: how is it made?. *MoDo* [online]. 10.3.2020 [cit. 2022-03-11]. Dostupné z: https://modo.volkswagengroup.it/en/mobotics/the-gearbox-of-an-electric-car-how-is-it-made

[4] BERGMANN, Petr. Historie elektromobilů může být až překvapivě zajímavá! Znáte skutečnou pravdu?. *Elektrickevozy* [online]. 20. 9. 2021 [cit. 2022-03-11]. Dostupné z: https://elektrickevozy.cz/clanky/historie-elektromobilu-od-prvniho-elektromotoru-po-soucasnost

[5] Ford model T Touring. *Tipcars* [online]. [cit. 2022-03-11]. Dostupné z: https://www.tipcars.com/ford-ostatni/limuzina/benzin/ford-model-t-touring-44513129.html

[6] DUCHOŇ, Jiří. Škoda Enyaq IV – Elektroéra. *Automobilrevue* [online]. 12.10.2020 06:45 [cit. 2022-03-11]. Dostupné z: https://www.automobilrevue.cz/rubriky/testy/predstavujeme/skoda-enyaq-iv-elektroera_48198.html

[7] E-transmission BMW i3 production. *YouTube* [online]. 18. 10. 2013 [cit. 2022-03-11]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=wBcw0aLZcak

[8] BMW I3 GEARBOX. *RRR* [online]. [cit. 2022-03-11]. Dostupné z: https://rrr.lt/en/used-part/ego1594-7613560-bmw-i3-automatic-gearbox

[9] Strength and Durability for Cars, Trucks, and SUVs. *Spicer* [online]. [cit. 2022-03-15]. Dostupné z: https://spicerparts.com/parts/axle/automotive-performance/differential-case-assemblies

[10] DON'T NEGLECT YOUR DIFFERENTIAL! [online]. [cit. 2022-03-15]. Dostupné z: https://boisetunetech.com/boise-auto-blog/don-t-neglect-your-differential-

[11] Čelní diferenciál [online]. [cit. 2022-03-15]. Dostupné z: https://slideplayer.cz/slide/11516467/

[12] Šnekový diferenciál Torsen [online]. [cit. 2022-03-16]. Dostupné z: https://docplayer.cz/docs-images/27/10826250/images/26-0.png

[13] Hnací hřídel [online]. [cit. 2022-03-16]. Dostupné z: https://cdn.euautoteile.de/uploads/custom-catalog/eu/categories/500x500/10162.png

[14] Homokinetický kloub [online]. [cit. 2022-03-16]. Dostupné z: https://www.portalridice.cz/data/blog-article/photos/orig/homokineticky-kloub.jpg

[15] Kloub hnacího hřídele [online]. [cit. 2022-03-16]. Dostupné z: https://www.automotosport-kohout.cz/products/kloub-hnaciho-hridele2/

[16] Faraday Motor – 1821. *Magnet Academy* [online]. 10. 12. 2014 [cit. 2022-02-23]. Dostupné z: https://nationalmaglab.org/education/magnet-academy/history-of-electricity-magnetism/museum/faraday-motor-1821

[17] *Elektromotory* [online]. [cit. 2022-02-23]. Dostupné z: https://www.spslan.cz/files/1cc2eb91316dd52bf50dd77e977caa60.pdf

[18] KRÁLOVÁ, Mgr. Magda. Elektromotory. *Techmania Science Center* [online]. [cit. 2022-02-23]. Dostupné z: http://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/elektromagneticka-indukce/elektromotory

[19] Škoda Enyaq. *Skoda-auto* [online]. [cit. 2022-03-16]. Dostupné z: https://www.skoda-auto.cz/modely/enyaq/enyaq-iv?state=NEW&aid=qesza1lp-02wm-xqq9-lfsr-xjykm0m93zih&or=www.google.com&gclid=EAIaIQobChMIl5qIxfDM9gIVW49oCR308AGZEAAYASAAEgI-5PD_BwE&gclsrc=aw.ds

[20] Volkswagen ID.3. *Hybrid.cz* [online]. 7. 6. 2021 [cit. 2022-03-22]. Dostupné z: https://www.hybrid.cz/wp-content/uploads/2019/09/www.hybrid.cz_files_images_5911765_.preview.jpg

[21] *Pohonná jednotka Volkswagen ID.3* [online]. [cit. 2022-03-23]. Dostupné z: https://www.auto-horejsek.cz/images/novinky-osobni-vozy-volkswagen/2019/vw-elektromobil-id-3/vw-elektricky-pohon-id-3.jpg

[22] Renault Twizy. *Renault.com* [online]. [cit. 2022-03-22]. Dostupné z: https://cdn.group.renault.com/ren/master/renault-new-cars/product-plans/twizy/m09e-twizy/m09e-twizy-ph1/hero-zones/2560x1200-desktop/renault-twizy1-ph1-hero-zone-desktop-001.jpg.ximg.small.jpg/84578812dd.jpg

[23] Pohonná jednotka pro Renault Twizy. *Renault.com* [online]. [cit. 2022-03-22]. Dostupné z: https://bparts-eu.s3-eu-west-1.amazonaws.com/images/27237/original/images/27237/clean_image/8tbt20lk7hza2hb3a59htozhid6s48p5.jpg

[24] *Tazzari EV* [online]. [cit. 2022-03-23]. Dostupné z: https://www.tazzari-zero.com/gamma-citycar-elettriche/

[25] *Tazzari MINIMAX* [online]. [cit. 2022-03-23]. Dostupné z: https://configurator.tazzari-zero.com/tazzari-configuratore/configure/34170/

[26] Pohonná jednotka Tazzari. *Urban-ecomobility.com* [online]. [cit. 2022-03-24]. Dostupné z: https://www.urban-ecomobility.com/web/image/product.image/10766/image_1024/TAZZARI%20Transmission%20-%20JUNIOR%20%281%29?unique=f142690

[27] Tabby EVO. *Makezine.com* [online]. [cit. 2022-03-24]. Dostupné z: https://makezine.com/2015/05/13/osvehicles-tabby-evo-build-open-source-ev-hour/

[28]] BMW i3. *Bmw.cz* [online]. [cit. 2022-03-30]. Dostupné z: https://www.bmw.cz/cs/all-models/bmw-i/i3/2021/bmw-i3-technical-data.html#tab-0-0

[29] BMW i3. *S.yauto.cz* [online]. [cit. 2022-03-30]. Dostupné z: https://s.yauto.cz/m/obrazky/bih/0001/bmw-i3-253344-L-1.jpg

[30] BMW i3. *Chytraauta.cz* [online]. [cit. 2022-03-30]. Dostupné z: https://www.chytraauta.cz/wp-content/uploads/2017/07/bmw-i3-otevrene-dvere.jpg

[31] *Kompletní pohonná jednotka* [online]. [cit. 2022-03-30]. Dostupné z: https://cdn.bmwblog.com/wp-content/uploads/i3_motor_electronics.jpg

[32] *Aixam City* [online]. [cit. 2022-04-03]. Dostupné z: https://www.aixam.cz/cs/e-city/pack#fiche-technique

[33] Nové registrační značky. *Ministerstvo dopravy* [online]. [cit. 2022-03-30]. Dostupné z: https://www.mdcr.cz/Dokumenty/Silnicni-doprava/Registrace-vozidel/Nove-registracni-znacky#manipulacni

[34] Motor ME 1507. Motenergy.com [online].[cit. 2022-04-06]. Dostupné z: https://sep.yimg.com/ay/yhst-129399866319704/me1507-pmac-brushless-motor-1.gif

[35] Motor ME 1202. Motenergy.com [online].[cit. 2022-04-06]. Dostupné z: https://sep.yimg.com/ay/yhst-129399866319704/me1202-pmac-transaxle-mount-1.gif

[36] Motor ME 30 - 31001. *Kit-elec-shop.com* [online]. [cit. 2022-04-06]. Dostupné z: https://www.kit-elec-shop.com/25884-home_default/synchronous-motor-me1202-pmsm-brushless-hollow-axis.jpg

[37] *Controller Sevcon Gen 4 Size 6* [online]. [cit. 2022-04-06]. Dostupné z: https://electricdriveengineering.com.au/wp-content/uploads/2021/10/0U1A8223-Custom.jpg

[38] Převodovka COMEX. *Comex* [online]. [cit. 2022-04-09]. Dostupné z: file:///D:/Stažené%20soubory/Scheda_tecnica_-_Riduttori_differenziali_1.pdf

[39] Rozvodovka CF 188. *CFmoto* [online]. [cit. 2022-04-09]. Dostupné z: https://ae01.alicdn.com/kf/H9344e6abd27441f48c3fe63852cf978eN/CFMoto-500-188-600-196-X5-X6-X-lander-Rancher-Cforce-rear-differential-reducer-gearbox-0180.jpg

[40] Rozebraná převodovka. *Kit.elec shop* [online]. [cit. 2022-04-09]. Dostupné z: https://www.kit-elec-shop.com/20342-large_default/iskra-or-comex-differential-gearbox-for-renault-twizy-80.jpg

[41] Hnací hřídele. *Kit.Elec Shop* [online]. [cit. 2022-04-09]. Dostupné z: https://www.kit-elec-shop.com/gb/mechanical-spare-parts/4928-set-of-cardan-shafts-for-15kw-motor.html

[42] Příloha 1

[43] Příloha 2

[44] Konektor Amphenol AT-06- 6s. *Kit.elec shop* [online]. [cit. 2022-04-09]. Dostupné z: https://ce8dc832c.cloudimg.io/v7/_cdn_/BA/BA/70/00/0/502699_1.jpg?width=640&height=480&wat=1&wat_url=_tme-wrk_%2Ftme_new.png&wat_scale=100p&ci_sign=641ebe671a597042c8765296a531306d9d98e749

[45] Zapojení konektoru VGA pro komunikační zařízení. *Kit.elec shop* [online]. [cit. 2022-04-09]. Dostupné z: https://www.kit-elec-shop.com/17461-large_default/can-programming-cable-for-sevcon-gen4-controller.jpg

[46] Příloha 3

Zdroj grafů

[1] *Engiro- produkty* [online]. [cit. 2022-05-13]. Dostupné z: http://www.engiro.de/en/products/motors-and-generators

[2] Otáčková charakteristika Daewo Matiz. *Https://sk.wikipedia.org* [online]. [cit. 2022-05-08]. Dostupné z: https://sk.wikipedia.org/wiki/Pružnosť_motora

[3] FIRST, Ing. Jiří. *Energetická analýza pozemní dopravy* [online]. Praha, 2014 [cit. 2022-05-10]. ISBN 978-80-01-05664-6. Dostupné z: https://k616.fd.cvut.cz/download/first_energeticka_analyza_pozemni_dopravy.pdf

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1. Schéma umístění motoru v kole [1]
Obrázek 2. Synchronní motor, 1,8kW 60 V [2]
Obrázek 3. Rozebraná jednostupňová převodovka Volkswagen ID 3 [4]
Obrázek 4. První elektromobil La Jamais Contente [4]
Obrázek 5. Ford T Touring [5]
Obrázek 6. Škoda Enyaq s pohonem všech kol [6]
Obrázek 7. Převodovka BMW I3 [7]
Obrázek 8. Převodovka BMW I3 [8]
Obrázek 9. Příklad diferenciálu Spicer [9]
Obrázek 10. Rozkreslení konstrukčních částí diferenciálu s kuželovým ozubením [10]
Obrázek 11. Diferenciál s čelním ozubením [11]
Obrázek 12. Šnekový diferenciál Torsen [12]
Obrázek 13. Hnací hřídel [13]
Obrázek 14. Homokinetický kloub [14]
Obrázek 15. Posuvný homokinetický kloub – opravná sada VW [15]
Obrázek 16. Faradayův motor 1821 [16]
Obrázek 17. Princip činnosti stejnosměrného motoru s použitím permanentních magnetů [17]
Obrázek 18. Princip činnosti stejnosměrného motoru s použitím elektromagnetů [16]
Obrázek 19. Princip činnosti střídavého proudu [18]
Obrázek 20. Zapojení statorových cívek a svorek [17]
Obrázek 21. Zapojení kroužkového asynchronního motoru [17]
Obrázek 22. Klecový rotor [17]
Obrázek 23. Škoda Enyaq [19]
Obrázek 24. Pohonná jednotka Škoda Enyaq iV 60 [19]
Obrázek 25. Pohonná jednotka Škoda Enyaq iv 80x [19]
Obrázek 26. Volkswagen ID.3 [20]
Obrázek 27. Pohonná jednotka Volkswagen ID.3 [21]
Obrázek 28. Renault Twizy [22]
Obrázek 29. Pohonná jednotka pro Renault Twizy [23]
Obrázek 30. Modely Zero 4 Buggy (vlevo) a Minimax CUBO (vpravo) [24]
Obrázek 31. Tazzari MINIMAX [25]
Obrázek 32. Pohonná jednotka Tazzari [26]
Obrázek 33. Tabby EVO dvousedadlová verze [27]
Obrázek 34. Nabízené modely BMW v současné době [28]
Obrázek 35. BMW i3 model roku 2021 [29]

Obrázek 36. Ukázka otevírání dveří BMW i3 [30]
Obrázek 37. Pohonná jednotka BMW i3 [31]
Obrázek 38. Přehled modelů vozidel Aixam [32]
Obrázek 39. Aixam City Pack [32]
Obrázek 40. Podoba registrační značky pro zkušební provoz [32]
Obrázek 41. Motor ME 1507 [34]
Obrázek 42. Motor ME 1202 [35]
Obrázek 43. Motor ME 30 - 31 001 [36]
Obrázek 44. Controller Sevcon Gen 4 Size 6
Obrázek 45. Převodovka COMEX s možností řazení [38]
Obrázek 46. Rozvodovka CF 188 [39]
Obrázek 47. Převodovka COMEX pro elektrická vozidla [38]
Obrázek 48. Rozebraná převodovka Comex [40]
Obrázek 49. Navržený rám lehkého městského elektromobilu EVgen
Obrázek 50. Hodnota čelní plochy navrhovaného vozidla
Obrázek 51. Technický štítek uvedený na motoru
Obrázek 52. Zakoupený set hnacích hřídelí [41]
Obrázek 53. Zkušebně sestavená pohonná jednotka včetně hnacích hřídelí, těhlic a nábojů
Obrázek 54. Pohonná jednotka
Obrázek 55. První verze držáku motoru
Obrázek 56. Finální podoba držáku pohonné jednotky
Obrázek 57. Rozmístění součástí držáku motoru na plech 4 mm [42]
Obrázek 58. Rozmístění součástí držáku motoru na plech 5 mm [43]
Obrázek 59. Vyřezané díly držáku pohonné jednotky
Obrázek 60. Úprava jednoho držáku převodovky
Obrázek 61. Kompletně sestavený držák včetně umístěné pohonné jednotky před zavařením
Obrázek 62. Svařený držák pohonné jednotky
Obrázek 63. Umístění dvou pryžových bloků
Obrázek 64. Kompletně sestavená pohonná jednotka umístěna v dokončeném držáku
Obrázek 65. Kompletní popsaná elektroinstalace včetně controlleru
Obrázek 66. Napájecí kabel od bateriového packu
Obrázek 67. Rozvodná deska od výrobce pohonné jednotky
Obrázek 68. Komunikační zařízení CAN
Obrázek 69. Typ konektoru pro CAN bus od výrobce pohonné jednotky [44]
Obrázek 70. Zapojení konektoru D-sub na komunikačním zařízení [45]
Obrázek 71. Zapojení rozvodné desky zaslané výrobcem pohonné jednotky [46]
Obrázek 72. Zapojení jednotlivých pinů desky

Obrázek 73. Redukce z Amphenol na D-sub pro CAN bus
Obrázek 74. Sestavený prototyp bateriového packu včetně zapojení BMS
Obrázek 75. Elektrické schéma zapojení pohonné jednotky
Obrázek 76. Reálné zapojení pohonné jednotky
Obrázek 77. Spuštěný program DVT Sevcon s živými daty
Obrázek 78. Spuštěný program s nastavovací nabídkou
Obrázek 79. Nastavení napěťových hranic
Obrázek 80. Nastavení maximálního proudového odběru
Obrázek 81. Nastavovací okno Motor data
Obrázek 82. Nastavení maximální teploty
Obrázek 83. Jednotka BMS

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1. Rozdělení elektromotorů [1]
Tabulka 2. Srovnávací tabulka vybraných modelů
Tabulka 3. Základní požadavky na navrhovaný elektromobil
Tabulka 4. Specifikace pohonné jednotky ME 1507 při 100 V DC [2]
Tabulka 5. Specifikace pohonné jednotky ME 1202 pří 72 V DC [3, 4, 5]
Tabulka 6. Specifikace pohonné jednotky ME 30-31001 při 96 V DC [6, 7]
Tabulka 7. Porovnávací tabulka vybraných pohonných jednotek [4, 6, 8]
Tabulka 8. Specifikace převodovky COMEX s řazením [9]
Tabulka 9. Specifikace rozvodovky CF 188 [10]
Tabulka 10. Specifikace převodovky COMEX pro elektrická vozidla [9]
Tabulka 11. Součinitel aerodynamického odporu vybraných vozidel [11, 12, 13, 14]
Tabulka 12. Výsledky měření z BMS a ampérmetru
Tabulka 13. Výsledky měření z BMS a ampérmetru pro druhý směr

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 – Rozmístění součástí držáku motoru na plech 4 mm
Příloha 2 – Rozmístění součástí držáku motoru na plech 5 mm
Příloha 3 – Rychlý průvodce pro spuštění pohonné jednotky

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1.Otáčková charakteristika synchronního motoru Engiro o maximálním výkonu 42 kW [1]
Graf 2.Otáčková charakteristika spalovacího čtyřdobého zážehového motoru o obsahu 800 cm^3 a výkonu 38kW – Daewo Matiz [2]
Graf 3. Charakteristiky paralelního a sériového stejnosměrného elektromotoru [3]
Graf 4. Typický průběh točivého momentu synchronního elektromotoru [3]
Graf 5. Závislost hmotnosti na použitých bateriích
Graf 6. Výkon pohonné jednotky vybraných vozidel
Graf 7. Závislost maximální rychlostí na kapacitě baterií
Graf 8. Určení teoretické maximální rychlosti
Graf 9. Maximální rychlost vozidla
Graf 10. První měření odběru proudu
Graf 11. Druhé měření
Graf 12. Třetí měření
Graf 13. Čtvrté měření
Graf 14. Páté měření
Graf 15. Šesté měření