

# ZKOUŠENÍ ELEKTRICKÝCH POHONŮ VE ZKUŠEBNĚ POWERTRAIN

## Bakalářská práce

*Studijní program:*

B2301 Strojní inženýrství

*Studijní obor:*

Strojní inženýrství

*Autor práce:*

**Oleg Kamenskiy**

*Vedoucí práce:*

Ing. Robert Voženílek, Ph.D.

Katedra vozidel a motorů





## Zadání bakalářské práce

# ZKOUŠENÍ ELEKTRICKÝCH POHONŮ VE ZKUŠEBNĚ POWERTRAIN

**Jméno a příjmení:** Oleg Kamenskiy  
**Osobní číslo:** S18000338  
**Studijní program:** B2301 Strojní inženýrství  
**Studijní obor:** Strojní inženýrství  
**Zadávací katedra:** Katedra vozidel a motorů  
**Akademický rok:** 2019/2020

### Zásady pro vypracování:

1. Navrhněte možná uspořádání zkušebny a způsoby zkoušení vybraných elektrických pohonů pro mobilní aplikace.
2. Pro zadaný elektrický pohon zpracujte konstrukční uspořádání zkušebny Powertrain.
3. Vybrané díly pevnostně ověřte.



*Rozsah grafických prací:*  
*Rozsah pracovní zprávy:*  
*Forma zpracování práce:*  
*Jazyk práce:*

výkresová dokumentace  
40 stran + CD  
tištěná/elektronická  
Čeština



### **Seznam odborné literatury:**

- [1] PEŠÍK, L.: *Části strojů. 1. díl.* Liberec, TU 2005. ISBN 80-7083-938-4.
- [2] PEŠÍK, L.: *Části strojů. 2. díl.* Liberec, TU 2005. ISBN 80-7083-939-2.
- [3] VÁVRA, T.: *Zkoušení průmyslových převodovek ve zkušebně Powertrain.* Bakalářská práce, TUL 2014.

**Vedoucí práce:**

Ing. Robert Voženílek, Ph.D.  
Katedra vozidel a motorů

**Datum zadání práce:**

1. listopadu 2019

**Předpokládaný termín odevzdání:**

1. února 2021

prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld  
děkan



Ing. Robert Voženílek, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Liberci dne 1. listopadu 2019

## Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Jsem si vědom toho, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti Technickou univerzitu v Liberci; v tomto případě má Technická univerzita v Liberci právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má bakalářská práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědom následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

13. července 2020

Oleg Kamenskiy

*Poděkování:*

*Zde bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Robertu Voženílkovi, Ph.D. za čas, rady při konzultacích a poskytnutí informací pro zpracování bakalářské práce a Ing. Josefu Břouškovi za poskytnutí potřebných katalogů a modelů zkoušeného prvku. Také bych chtěl poděkovat společnosti Autodesk za poskytnutí licencí na použití jejich CAD systémů.*

# **ZKOUŠENÍ ELEKTRICKÝCH POHONŮ VE ZKUŠEBNĚ POWERTRAIN**

Anotace

Cílem bakalářské práce je najít uspořádání zkušebny POWERTRAIN pro následující zkoušení elektrických pohonů. Úloha dané práce spočívá v korektním návrhu rámové konstrukce a její pevnostní kontroly pro správné uložení pohonu a vhodného spojení se zkoušecím prvkem. V práci je popsáno rozdělení druhů elektromotorů jejich aplikace pro eMobilitu.

Klíčová slova: Zkoušení, eMobilita, zkušebna POWERTRAIN, elektrické pohony, konstrukce, navrhování.

## **TESTING OF ELECTRIC DRIVES IN THE POWERTRAIN TESTING LABORATORY**

Annotation

The aim of the bachelor's thesis is to find organization of the POWERTRAIN testing laboratory for the following testing of electric drives. The task of the work consists in the correct design of the frame construction and its stress analysis for the correct placement of the drive and appropriate connection with the tested element. The division of types of electric motors and their applications for eMobility is described in this work.

Keywords: Testing, eMobility, POWERTRAIN testing laboratory, electric drives, construction, design.

## Seznam symbolů a jednotek

	Význam	Jednotka
C	Celkový počet pólů na pár	[-]
c	Celkový počet pólů na fázi	[-]
f	Frekvence	[Hz]
F	Síla	[N]
g	Gravitační zrychlení	[m/s <sup>-2</sup> ]
i	Převodový poměr	[-]
K	Kapacita	[kWh]
l	Vzdálenost	[m]
M	Točivý moment	[Nm]
m	Hmotnost	[kg]
n	Otáčky	[1/min]
N	Mechanické napětí	[MPa]
p	Počet fází	[-]
P	Výkon	[kW]
s	Skruz	[-],[%]
t	Čas	[s]
U	Napájecí napětí	[V]
V	Rychlost	[km/h]
η	Účinnost	[-],[%]
ω	Úhlová rychlost	[rad/s]

## Indexy a zkratky

s	Synchronní
poh	Celého pohonu
mot	Na motoru
př	Na převodovce
z	Ztrátový výkon
G	Gravitační síla
1	Vstupní
2	Výstupní
AC	Střídavý elektrický proud
ČSN	České technické normy
EPA	Agentura na ochranu životního prostředí
EV	Elektromobil
IEEE	Ústav elektrotechniky a elektroniky
IPM	Vnitřní permanentní magnet
KVM	Katedra vozidel a motorů
MKP	Metoda konečných prvků
PHEV	Přepínací hybridní elektromobil
PMSM	Synchronní motor s permanentními magnety
Př	Překlad z angličtiny
SRM	Spínaný reluktanční motor
TUL	Technická univerzita v Liberci



# OBSAH

1	ÚVOD .....	- 10 -
2	ROZDĚLENÍ ELEKTROMOTORŮ PRO POUŽITÍ V EMOBILITĚ.....	- 11 -
2.1	AC asynchronní (indukční) elektromotor .....	- 11 -
2.2	AC synchronní motor s permanentním magnetem.....	- 14 -
2.3	AC synchronní motor s vinutím na rotoru.....	- 18 -
2.4	Spínaný reluktanční motor (SRM).....	- 22 -
3	APLIKACE ELEKTROMOTORŮ V AUTOMOBILOVÉM PRŮMYSLU.....	- 24 -
3.1	Princip činnosti elektromotorů Tesla S .....	- 24 -
3.2	Princip činnosti elektromotorů SKODA CITIGOe IV .....	- 26 -
3.3	Princip činnosti hybridního auta Toyota Prius .....	- 27 -
4	ROZDĚLENÍ METOD ZKOUŠENÍ ELEKTROPOHONŮ.....	- 29 -
4.1	Dle druhu zkoušky .....	- 29 -
4.2	Dle využitých principů zkoušky .....	- 30 -
4.3	Dle uspořádání zkušebny.....	- 30 -
4.3.1	Uspořádání zkušebny "na přímo" .....	- 30 -
4.3.2	Uspořádání zkušebny "na nepřímo" .....	- 31 -
5	VOLBA PRVKŮ ZKOUŠENÉ SOUSTAVY A JEJICH PARAMETRY .....	- 32 -
5.1	Parametry zvoleného elektromotoru .....	- 32 -
5.2	Parametry převodovky firmy Benevelli.....	- 34 -
5.3	Měřící zařízení točivého momentu .....	- 35 -
5.4	Charakteristiky dynamometrů firmy Siemens.....	- 35 -
6	ŘEŠENÍ KONSTRUKČNÍ ÚLOHY PRO RÁMOVOU SOUSTAVU PRO ZKOUŠENÍ VE ZKUŠEBNĚ POWERTRAIN.....	- 38 -
6.1	Návrh rámu pro zkoušení ve zkušebně Powertrain.....	- 38 -
6.2	Pevnostní analýza rámu.....	- 41 -
7	ZÁVĚR.....	- 44 -
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	- 45 -
	SEZNAM VÝKRESŮ .....	- 48 -

# 1 ÚVOD

Mobilita dnes prochází zásadní transformací. Hlavními hybnými silami, které jí posouvají, jsou alternativní hnací ústrojí, autonomní vozidla a služby v oblasti mobility na vyžádání.

Elektromobily jsou hlavním trendem v automobilovém průmyslu, ale nyní je jasné, že stále potřebujeme širokou nabídku pohonných jednotek, které vydrží déle.

Krise motorové nafty, znečištění životního prostředí a urbanizace spolu se světem procházejícím digitálními transformacemi jsou faktory, které rychle mění automobilový průmysl.

V příštích několika letech se tempo změny mobility bude i nadále zrychlovat. Některá města již začala budovat svou inteligentní infrastrukturu, aby byla připravena na inovativní vozidla očekávaná v blízké budoucnosti. Kromě toho autonomie ve vozidlech neustále roste, což otevírá nové příležitosti, například zlepšení prediktivní údržby.

Se všemi nově vznikajícími trendy v oblasti eMobility se výše uvedené skutečnosti výrazně změní. Budoucnost se nyní začíná rozvíjet a přicházejí technologické poruchy. Automobilový průmysl je právě teď vzrušující sférou. Všechny tyto inovace však slibují lepší, ekologičtější budoucnost. [1]

## **2 ROZDĚLENÍ ELEKTROMOTORŮ PRO POUŽITÍ V EMOBILITĚ**

Elektrické motory se rozdělují do několika základních typů. Rozmanitost klasifikací elektromotorů je docela velká. Existují jedno nebo třífázové motory. Také některé motory používají stejnosměrný proud anebo střídavý atd. Rozdíl mezi jednotlivými druhy elektromotorů nemá podstatný vliv na změnu chování vozidel.

Proto výrobci elektromobilů neuvádí podrobné informace a technické charakteristiky do specifikací použitých motorů. Proto se tady budou probírat různé typy elektromotorů, které jsou běžně využívány v aktuálních modelech elektromobilů. [2]

### **2.1 AC asynchronní (indukční) elektromotor**

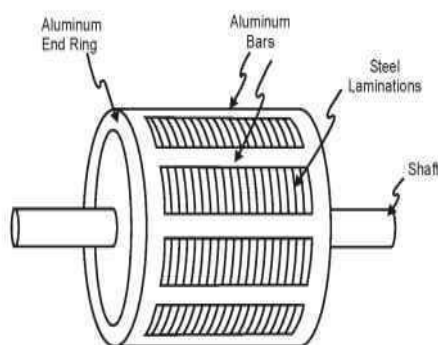
Indukční motor je zařízení napájené pomocí střídavého třífázového proudu. Ten proud vyvolává magnetické točivé pole vytvářené ve statoru bez potřeby dalších zdrojů elektrické energie. Spřažené točivé magnetické pole vytváří silové působení na rotor, které je příčinou rotačního pohybu na rotoru. [3]

Když je ve vinutí statoru 3-fázové napájení, vytvoří se v prostoru rotující magnetické pole. Toto rotující magnetické pole má rychlost, která je známá jako synchronní rychlost.

Toto rotující magnetické pole indukuje napětí v tyčích rotoru, a proto v rotorových tyčích začínají proudit zkratové proudy. Tyto proudy rotoru generují své vlastní magnetické pole, které bude interagovat s polem

statoru. Nyní se pole rotoru pokusí působit proti poli statoru, a proto se rotor začne pohybovat po rotujícím magnetickém poli.

Rotor zachycuje rotující magnetické pole, proud rotoru klesá na nulu, protože mezi rotujícím magnetickým polem a rotorem již není relativní pohyb. Proto v tomto okamžiku rotor zažívá nulovou tangenciální sílu, proto se rotor momentálně zpomaluje.



Obr. 1. Konstrukce Indukčního motoru s třífázovou klecovou kotvou. [5]

Př.1. Aluminum End Ring - Hliníkový koncový kroužek, Aluminum Bars - Hliníkové tyče, Steel laminations - Ocelové lamely, Shaft – Hřídel.

Po zpomalení rotoru se relativní pohyb mezi rotorem a rotujícím magnetickým polem obnoví, čímž se opět indukuje proud rotoru. Opět se tedy obnoví tangenciální síla pro rotaci rotoru, a proto se rotor opět začíná pohybovat po rotujícím magnetickém poli, a tak si rotor udržuje konstantní rychlost, která je menší než rychlost rotujícího magnetického pole, již nazýváme synchronní rychlost.

$$n_s = \frac{60 \cdot f}{p} \quad (1)$$

Kde:  $n_s$ - synchronní rychlost,  $f$ -frekvence otáčení,  $p$ -počet fází.

Skluz, který se mění od nuly při synchronních otáčkách až do 1, když je rotor zastaven, určuje točivý moment motoru. Protože vinutí s krátkým oběhem rotoru mají malý odpor, i malý skluz indukuje v rotoru velký proud a vytváří významný točivý moment. Při plném jmenovitém zatížení se skluz pohybuje od více než 5% u malých nebo speciálních motorů do méně než 1% u velkých motorů. Tyto odchylky rychlosti mohou způsobit problémy se sdílením zátěže, když jsou motory různých velikostí mechanicky připojeny. Skluz je měřítkem rozdílu mezi rychlostí rotujícího magnetického pole a rychlostí rotoru. [4]

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} \cdot 100 [\%] \quad (2)$$

## Výhody

- Vysoká spolehlivost díky jednoduché konstrukci.
- Vyžadují menší údržbu (protože neexistují žádné kluzné kroužky nebo kartáče).
- Dobrá regulace rychlosti (jsou schopny udržovat konstantní rychlost).
- Vysoká účinnost při přeměně elektrické energie na mechanickou energii (za chodu, ne během uvedení do provozu).
- Mají lepší regulaci tepla.
- Odolný proti výbuchu (protože neexistují žádné kartáče, které eliminují riziko jiskření).

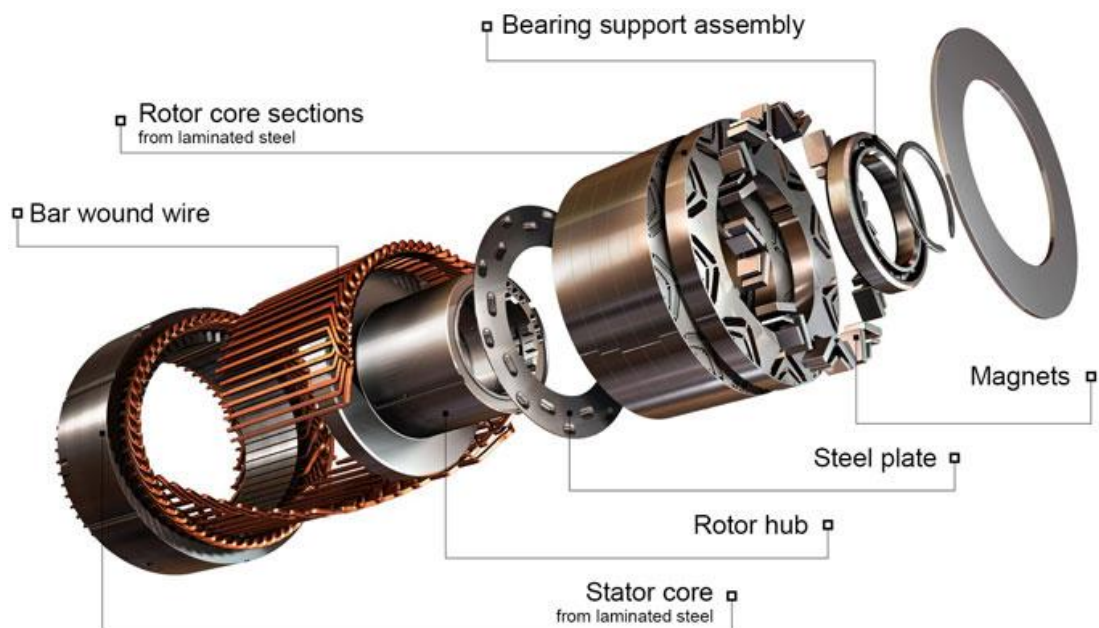
## Nevýhody

- Přestože jsou energeticky účinné při provozu na plný výkon, při spuštění spotřebovávají spoustu energie.
- Jsou citlivější na kolísání napájecího napětí. Když je napájecí napětí sníženo, indukční motor odebírá více proudu. Během napěťových rázů saturuje zvýšení napětí magnetické komponent indukčního motoru.
- Mají vysoký rozběhový proud a špatný rozběhový moment (rozběhový proud může být 5-9krát větší než plný zátěžový proud; rozběhový točivý moment může být 1,5-2krát větší než plný zátěžový moment). [5]

### **2.2 AC synchronní motor s permanentním magnetem**

Synchronní motor s permanentním magnetem (PMSM) je synchronní elektrický motor, jehož induktor se skládá z permanentních magnetů.

Hlavní rozdíl mezi synchronním motorem s permanentním magnetem a indukčním motorem je v rotoru. Výzkumy ukazují, že PMSM má účinnost přibližně o 2% více než vysoce účinný indukční elektromotor za předpokladu, že stator má stejnou konstrukci a pro řízení se používá stejný frekvenční měnič. Synchronní motor s permanentním magnetem, jako každý rotující elektrický motor, sestává z rotoru a statoru.

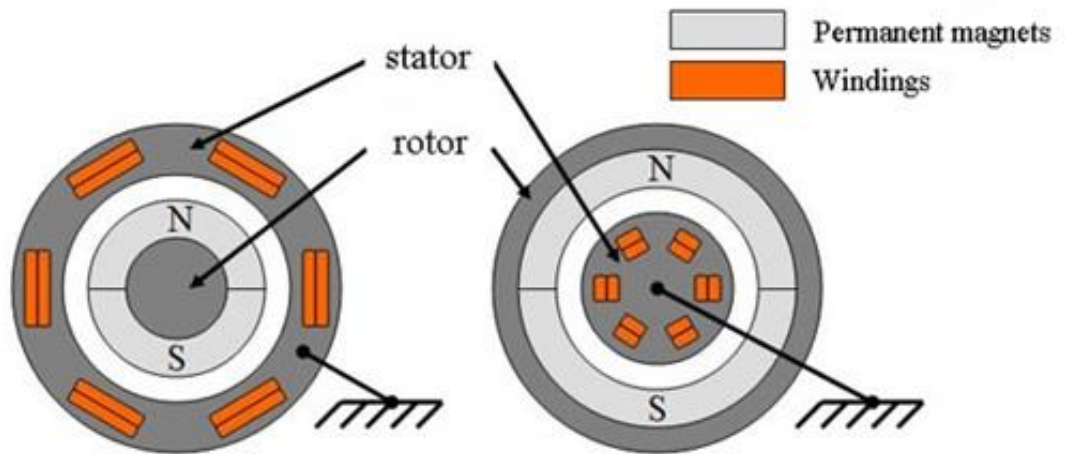


Obr. 2. Konstrukce rotoru PMSM. [6]

Př.2. Bar wound wire - vinutý drát kolem tyče, Rotor core sections from laminated steel - Sekce jádra rotoru z laminované oceli, Bearing support assembly - Ložisková opěrná sestava, Steel plate - Ocelová deska, Stator core from laminated steel - Statorové jádro z laminované oceli.

Rotor se skládá z permanentních magnetů. Jako permanentní magnety se používají materiály s vysokými feromagnetickými vlastnostmi.

Typicky je rotor umístěn uvnitř statoru elektromotoru, existují také struktury s vnějším a vnitřním rotorem.



Obr. 3. Konstrukce synchronního motoru s permanentním magnetem: vlevo - standard, vpravo – s vnějším rotorem. [6]

Př.3. Permanent magnets - Permanentní magnety, Windings – Vinutí.

Stator se skládá z vnějšího rámu a jádra s vinutími. Nejobvyklejší je provedení s třífázovým vinutím.

V závislosti na konstrukci statoru může být synchronní motor s permanentními magnety:

- s distribuovaným vinutím;
- s koncentrovaným vinutím.





Obr. 4. Vlevo - Stator elektromotoru s distribuovaným vinutím. Vpravo - Stator elektromotoru s koncentrovaným vinutím. [6]

Princip činnosti synchronního motoru je založen na interakci rotujícího magnetického pole statoru a konstantního magnetického pole rotoru. Princip práce rotujícího magnetického pole statoru synchronního motoru je stejný jako u třífázového indukčního motoru.

Magnetické pole rotoru, které interaguje se synchronním střídavým proudem na vinutí statoru, podle Ampérova zákona vytváří točivý moment, což nutí rotor konat rotační pohyb.

Permanentní magnety umístěné na rotoru PMSM vytvářejí konstantní magnetické pole. Při synchronní rychlosti rotace rotoru s polem statoru se póly rotoru vzájemně blokují s rotujícím magnetickým polem statoru. V tomto ohledu se PMSM nemůže spustit sám, když je připojen přímo k třífázové proudové síti (aktuální frekvence v energetické síti 50 Hz). [6]

## Výhody

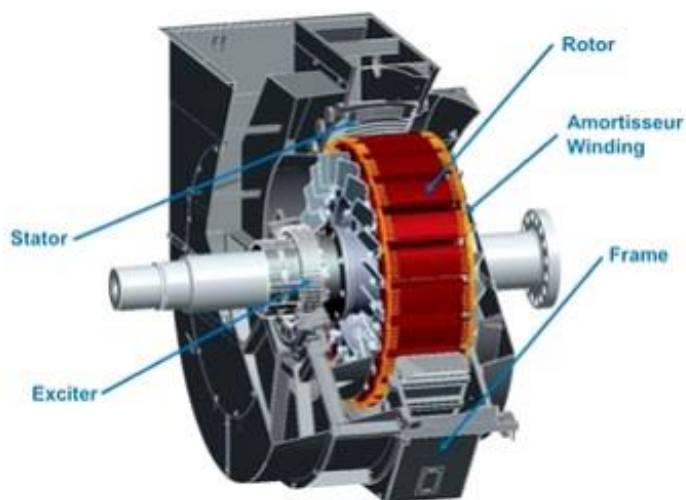
- Dají se použít bez převodovek v různém rozsahu otáček
- Účinnější
- Kompaktní
- Nejvhodnější pro aplikaci ve elektromobilu
- Poskytuje vysoký točivý moment i při minimálních otáčkách [7]

## Nevýhody

- Vysoká cena
- Nevratná demagnetizace
- Náročná údržba [8]

### **2.3 AC synchronní motor s vinutím na rotoru**

Synchronní motor je AC motor, ve kterém je rotace hřídele v ustáleném stavu synchronní s frekvencí aplikovaného proudu. Synchronní motor pracuje jako střídavý motor, ale zde je celkový počet otáček hřídelí roven celočíselnému násobku frekvence přiváděného proudu.



Obr. 5. Synchronní motor s vinutím na rotoru. [9]  
Př.5. Amortisseur Winding - Tlumič kmitů na vinutí, Frame – Rám,  
Exciter – Budič.

Synchronní motor se při práci nespolehá na indukční proud. U těchto motorů jsou na rozdíl od indukčního motoru na statoru přítomny vícefázové střídavé elektromagnety, které vytvářejí rotující magnetické pole. Rotor zde má budící vinutí a synchronizuje se s rotujícím magnetickým polem a otáčí se synchronně s frekvencí proudu aplikovaného na něj.

Stator a rotor jsou hlavními součástmi synchronního motoru. Zde má rám statoru krycí desku, ke které jsou připevněny obvodová žebra. K podepření stroje se používají patky, rámové držáky. K rozrušení vinutí pole pomocí DC se používají skluzové kroužky a kartáče.

Válcové a kulaté rotory se používají pro 6 pólové aplikace. Rotory s vyčnívajícími póly se používají tam, kde je vyžadováno větší množství pólů.

Fungování synchronních motorů závisí na interakci magnetického pole statoru s magnetickým polem rotoru. Stator obsahuje třífázová vinutí a je napájen třífázovým výkonem. Vinutí statoru tedy vytváří třífázové rotující magnetické pole. Rotor vstupuje do rotujícího magnetického pole vytvářeného vinutím statoru a otáčí se synchronizací. Nyní rychlost motoru závisí na frekvenci dodávaného proudu.

Rychlost synchronního motoru je řízena frekvencí přiváděného proudu.

Rychlost synchronního motoru lze vypočítat jako

$$n_s = \frac{60 \cdot f}{c} = \frac{120 \cdot f}{c} \quad (3)$$

kde,  $f$  = frekvence střídavého proudu (Hz),  $c$  = celkový počet pólů na fázi,  $C$  = celkový počet pólů na pár.

Pokud je použito zatížení větší než při poruše, motor se desynchronizuje. Výhodou třífázového vinutí statoru je určení směru otáčení. [10]

## Výhody

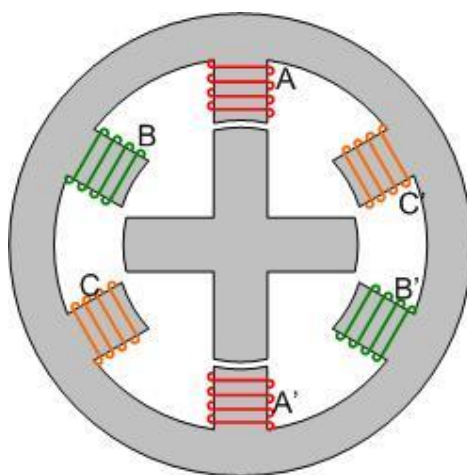
- Synchronní motory mohou být konstruovány s širšími vzduchovými mezerami než indukční motory, díky nimž jsou tyto motory mechanicky stabilnější.
- Schopnost řídit účiník je jednou z hlavních výhod synchronního motoru. Nadměrně nabuzený synchronní motor má špičkový účiník. Může pracovat paralelně s indukčními motory a dalšími zpožděnými zátěžemi účiníku, čímž se zvyšuje účinnost systému.
- Synchronní motory obvykle pracují s vyšší účinností (více než 90%), zejména v aplikacích s nízkými otáčkami a jednotkovým účiníkem ve srovnání s indukčními motory.

## Nevýhody

- Synchronní motor nelze spustit za zatížených podmínek. Jeho točivý moment je nulový.
- Není schopný se samostatně nastartovat. Byly přijaty speciální postupy pro jeho samostatné spouštění.
- Je nutné další vinutí tlumiče.
- Jsou vyžadovány sběrné kroužky a kartáče. [11]

## 2.4 Spínaný reluktanční motor (SRM)

SRM motory jsou speciální typ motoru s proměnlivou reluktancí určené pro nepřetržitý provoz. Správně navržené SRM motory jsou schopné docílovat vysokých točivých momentů s nízkou hmotností, díky čemuž jsou atraktivní pro aplikace ve vozidlech. Stroje jsou konstrukčně jednoduché, ale pro optimální výkon mohou vyžadovat relativně pokročilé řízení.



Obr. 6. Schéma spínaného reluktančního motoru. [12]

Počet pólů rotoru (v tomto případě 4) se liší od celkového počtu pólů statoru (6) a počet pólů pro fázi. Tato konstrukce je známá jako motor 6-4 SR a pracuje se 3 fázemi.

Popis funkce konstrukce motoru je vidět na Obr.6. V zobrazené poloze bude fáze B excitovaná. Magnetické pole vytvořené cívkou B způsobí rotaci rotoru ve směru hodinových ručiček, dokud se dva póly rotoru nevyrovnají s póly fáze B. V tomto okamžiku může být fáze B bez napětí a fáze C zapnuta. Rotor se bude dále otáčet, dokud nebude zarovnan s

cívkou C. Je třeba poznamenat, že magnetické pole vytvořené statorem se pohybuje proti směru hodinových ručiček, ale rotor se pohybuje ve směru hodinových ručiček.

Výpočet výkonu a točivého momentu může být proveden s ohledem na energii uloženou v magnetickém poli a přístup výpočtu se liší v závislosti na tom, zda byl použit lineární magnetický nebo nasycený nelineární magnetický materiál. [12]

#### Výhody

- Jednoduchá konstrukce
- Dají se použít za vysokých rychlostí
- Je vhodný pro nepřetržitý provoz

#### Nevýhody

- Vysoká hlučnost
- Nízká účinnost
- Náročná údržba [13]

## **3 APLIKACE ELEKTROMOTORŮ V AUTOMOBILOVÉM PRŮMYSLU**

Použití elektromotorů v automobilech od poloviny 20. století neustále roste. Ačkoli pokroky v oblasti výkonové a řídicí elektroniky a vývoje v oblasti vysokoenergetických magnetů zvýšily nákladovou efektivitu těchto systémů, bude zapotřebí mnohem více výhod, než bude dosaženo většího využití těchto strojů v automobilech. Tato kapitola pojednává o trendech a výzvách při zavádění těchto motorů do automobilových aplikací. [14]

### **3.1 Princip činnost elektromotorů Tesla S**

Elektrické pohony pro vozidla se dle společnosti Tesla Motors dělí z hlediska množství použitých motorů na jednomotorové a dvoumotorové. Dvoumotorový Model S přinesl vylepšení v konvenčních systémech pohonu všech kol. Má dva motory, jeden vpředu a jeden vzadu. U Modelu S dochází k nezávislému ovládní točivých momentů předních a zadních kol. Výsledkem je bezkonkurenční kontrola trakce za všech podmínek. Konvenční vozidla s pohonem všech kol využívají komplexní mechanické vazby k distribuci výkonu z jednoho motoru na všechna čtyři kola. Tím se snižuje účinnost trakce, kterou přináší změna počasí. Naproti tomu každý motor modelu S je lehčí, menší a účinnější než jeho protějšek zadní nápravy, poskytující obojí lepší dosah a rychlejší zrychlení. Pohon všech kol je standardem u modelů S 70D a k dispozici na přání jako model S 85. Model S Performance má standardní



pohon Drive Dual Motor, kde se propojuje zadní motor o vysokém výkonu s vysoce účinným předním motorem pro dosažení zrychlení elektromobilu z nuly na 100 km za hodinu za 3,1 sekundy.

	70D ALL WHEEL DRIVE	85 REAR WHEEL DRIVE	85D ALL WHEEL DRIVE	P85D ALL WHEEL DRIVE
Kapacita Baterie	70 kWh	85 kWh	85 kWh	85 kWh
Dojezd	EPA: 390 km	EPA: 426 km	EPA: 438 km	EPA: 407 km
0-100 km/h	5.4 s	5.6 s	4.4 s	3.3 s
Max. Výkon	386 kW	285 kW	386 kW	568 kW
Max. Točivý moment	525 Nm	441 Nm	658 Nm	931 Nm
Max. Rychlost	230 km/h	230 km/h	250 km/h	250 km/h

Tab. 1. Technické údaje baterie, výkonu a jednotky.



Obr. 7. Duální motor AWD (70D) pro model Tesla S. [15]

### 3.2 Princip činnosti elektromotorů ŠKODA CITIGO<sup>e</sup> IV

ŠKODA CITIGO<sup>e</sup> IV má pod svojí kapotou elektromotor o výkonu 61kW s pohonem předních kol. Hnací soustava má baterií s kapacitou 36,8 kWh v podlaze vozu. Mezi výhody elektromobilu patří nulová lokální emise, tichý chod, a relativně jednoduchý servis.

Co se týče technických údajů, tak ŠKODA CITIGO<sup>e</sup> IV může docílovat maximální točivý moment do 212 Nm. Z nuly do sta km/h se auto zrychluje za 12,5 s a má maximální rychlost 130 km/h.

Vůz CITIGO<sup>e</sup> IV výhradně spoléhá na elektrický pohon. Dobíjení se provádí buď na nabíjecích místech nebo z domácí zásuvky a energie se ukládá do výkonných bateriových modulů.

Pro získání většího množství elektřiny, elektromobil je vybaven rekuperačním systémem brzděné energie. Toto regenerativní brzdění zpomaluje auto, když je sešlápnutý brzdový pedál a pedál akcelérátoru je uvolněný – tehdy se rekuperovaná energie se vrátí do baterie vozidla.

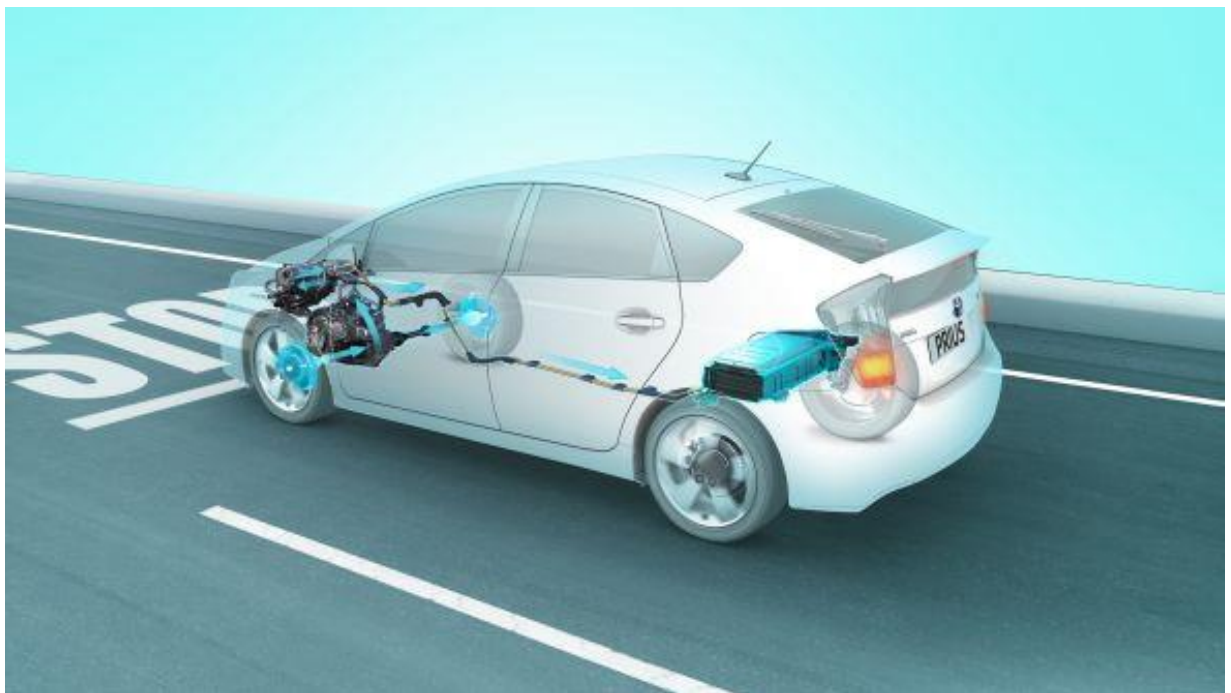


Obr. 8. Hnací soustava vozidla ŠKODA CITIGO<sup>e</sup> IV. [16]

### 3.3 Princip činnost hybridního auta Toyota Prius

Hybridní pohonný systém Toyota se skládá ze šesti základních komponent: benzínový motor, elektrický motor, elektrický generátor, řídicí jednotka výkonu a zařízení pro dělení výkonu, které používá speciální typ převodovky k hladkému rozdělování energie z motoru, motoru a generátoru.

Jako kompletní systém je Hybrid Synergy Drive inteligentní, úsporná technologie, která umožňuje bezproblémové a automatické přepínání mezi elektrickým a konvenčním výkonem motoru. Hybrid Synergy Drive, který se dokáže přizpůsobit různým jízdním podmínkám, inteligentně řídí energii přicházející z obou zdrojů a říká vozu, jak je kombinovat, aby byla zajištěna nejvyšší účinnost a výkon.



Obr. 9. Hnací soustava vozidla Toyota Prius. [17]

Jak již název napovídá, systém poskytuje skutečnou synergii mezi dvěma zdroji energie. Když je motor v chodu, nabíjí baterii prostřednictvím generátoru; pokud to jízdní podmínky dovolí, například v pomalém provozu, může generátor vypnout benzínový motor a nechat elektromotor převzít pohon za nulové emise. Sofistikovaný systém řízení motoru může rozpoznat, když je vozidlo zastaveno, a vypne motor, aby šetřil palivo a snížil emise, automaticky se v případě potřeby znovu nashutuje.

Baterii systém udržuje nabitou tak, aby Toyota s hybridním pohonem Synergy Drive neměla potřebu být připojena ke zdroji pro dobíjení. Toyota však vyrábí plug-in Prius pro použití v dojezdu více než 50 km v režimu EV s elektrickým pohonem - tento typ vozidla je znám jako hybridní elektrické vozidlo Plug-in Hybrid Electric Vehicle (PHEV), které může používat síťovou energii k doplnění palubního nabíjecího systému, ale stále má benzínový motor. [17]

## 4 ROZDĚLENÍ METOD ZKOUŠENÍ ELEKTROPOHONŮ

Metody zkoušení elektrických pohonů závisí především na požadovaných cílech zkoušky. Je důležité znát funkce celého hnacího pohonu a vzájemný účinek jednotlivých částí. Tato znalost je nezbytná pro analýzu otáček a točivých momentů na motoru.

### 4.1 Dle druhu zkoušky

#### a) Zkouška mechanických vlastností

Spočívá v dlouhodobém testování životnosti motoru, zhodnocení změn parametrů provozu, které se s časem mění a krátkodobé zkoušení účinnosti a přetížení. [18]

#### b) Zkoušení otáčení elektrického motoru.

Tento druh zkoušení je především určený pro stanovení směru otáčení motoru. Také je vhodné pro stanovení fázového otáčení nebo sledování obvodů pod napětím.

#### c) Testování izolačního odporu elektromotoru

Izolace elektromotoru vykazuje negativní teplotní koeficient, což znamená, že při zvyšování teploty odpor klesá. Řídící norma (IEEE43) pro zkoušky izolačního odporu vyžaduje teplotní korekci na 40 stupňů Celsia, která by mohla rychle změnit přijatelné naměřené hodnoty odporu na nepříjemně nízké hodnoty korigovaného odporu. [19]

#### d) Regenerační testování

Elektrické stroje, které jsou napájeny a poháněny vnějšími zdroji energie, indukují napětí, které lze měřit na připojovacích vedeních stroje. Indukované napětí je úměrné rychlosti a buzení. Průběh

indukovaného napětí poskytuje informace o vinutí a charakteristikách buzení po obvodu. Měření indukovaného napětí poskytuje jednoduchou metodu pro diagnostiku elektromagnetického chování motoru. [20]

#### e) Vibroakustická diagnostika

Využitím čidel snímajících vibrace, instalovaných přímo na zkoušením pohonu, je možné měřit disipovaný výkon přeměněný přímo v tento druh energie. Hlučnost testovacího zařízení zjistíme chodem „naprázdno“ (bez převodovky).

### **4.2 Dle využitých principů zkoušky**

Zařízení určená pro zkoušky pohonných ústrojí můžeme rozdělit do 2 základních skupin:

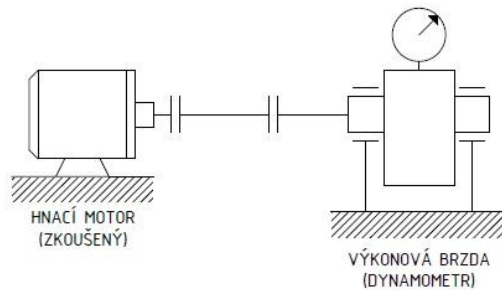
- 1) s přímým zatížením
- 2) s nepřímým zatížením

### **4.3 Dle uspořádání zkušebny**

Zkoušení motorů lze realizovat dvěma typy uspořádání, buď "na přímo" a "na nepřímo".

#### **4.3.1 Uspořádání zkušebny "na přímo"**

Metoda zkoušení motorů na přímo je sestavou, skládající se z akčního (hnacího) a reakčního (brzdícího) členu, které společně vyvolávají na zkoušeném motoru požadovaný zatěžovací moment. Představuje nejjednodušší řešení pro zkoušení elektromotorů.



Obr.10. Schéma uspořádání zkoušení motorů "na přímo".

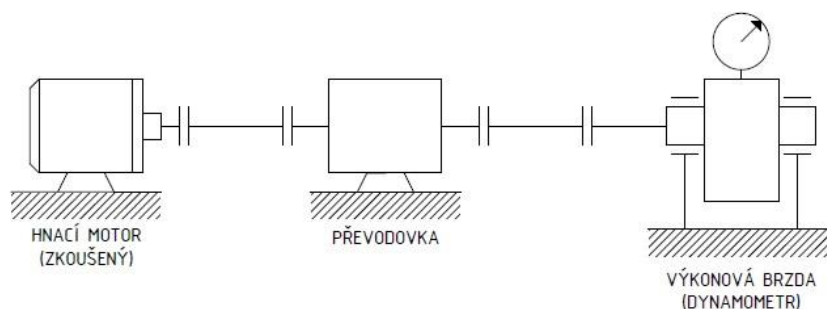
### 4.3.2 Uspořádání zkušebny "na nepřímo"

Metoda zkoušení motorů na nepřímo spočívá v připojení další části zkoušené soustavy (převodovky) k akčnímu a reakčnímu členu, které společně vyvolávají na dynamometru moment na výstupu převodovky. Zde se porovnají moment na vstupu motoru a výstupu převodovky, který bude menší požadovaného zatěžovací momentu kvůli účinnosti pohonu.

$$M_{\text{poh.2}} = M_{\text{mot.1}} \cdot \eta_{\text{poh}} \cdot i \quad (4)$$

$$\eta_{\text{poh}} = \eta_{\text{mot}} \cdot \eta_{\text{př}} \quad (5)$$

Kde  $M_{\text{mot.1}}$  je moment na vstupu motoru,  $M_{\text{poh.2}}$  je moment na výstupu pohonu,  $\eta_{\text{poh}}$  je účinnost celého pohonu,  $\eta_{\text{mot}}$  je účinnost motoru,  $\eta_{\text{př}}$  je účinnost převodovky a  $i$  je převodový poměr převodovky.



Obr. 11. Schéma uspořádání zkoušení motorů "na nepřímo".

## 5 VOLBA PRVKŮ ZKOUŠENÉ SOUSTAVY A JEJICH PARAMETRY

Prvky zkoušené soustavy byly zvoleny tak, aby jejich maximální provozní parametry se nacházely pod maximálními přípustnými hodnotami dynamometrů ve zkušebně POWERTRAIN.

### 5.1 Parametry zvoleného elektromotoru

Motor IPM-200-66 byl vybrán pro použití v autonomním elektromobilu, který bude vyroben jako projekt KVM TUL. Daný PMSM motor je potřeba vyzkoušet a ověřit jeho provozní vlastnosti jak krátkodobými, tak i dlouhodobými zkouškami. Parametry motoru se nachází pod maximálními přípustnými hodnotami dynamometru ve zkušebně POWERTRAIN. To znamená, že zvolený elektromotor se dá vyzkoušet ve zkušebně POWERTRAIN. (viz článek 5.4)

# IPM-200-66

## Functional Data

Peak Torque @ 650Arms	90 Nm
Voltage	48 - 80V
Peak Power	20kW - 32kW
Continuous Power	up to 13kW
Max Speed	8500 rpm
Peak Efficiency	94%
Weight (motor)	17kg

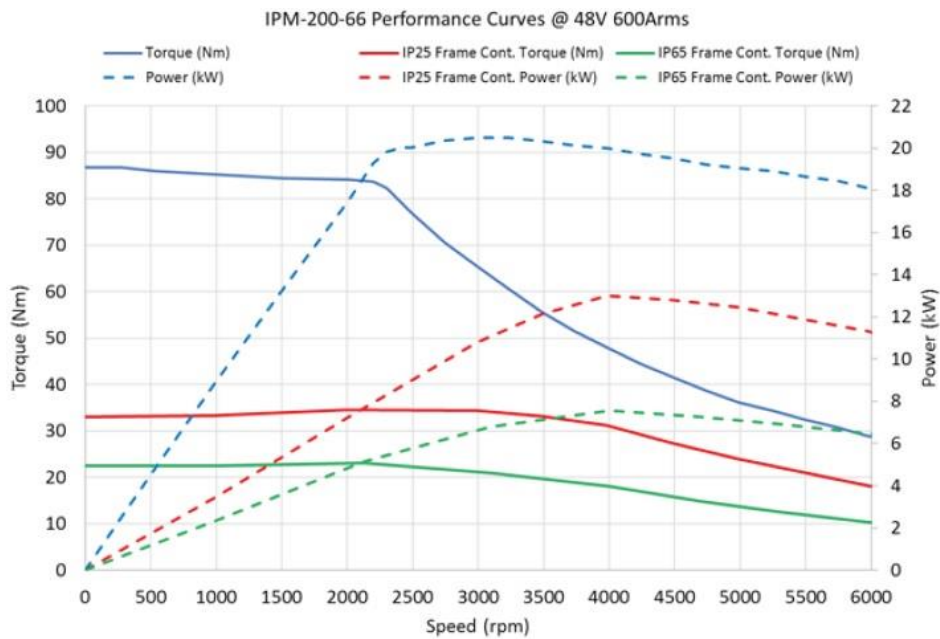


Obr.12. Tabulka maximálních hodnot a 3D model motoru:

IPM-200-66 od firmy Ashwoods. [21]

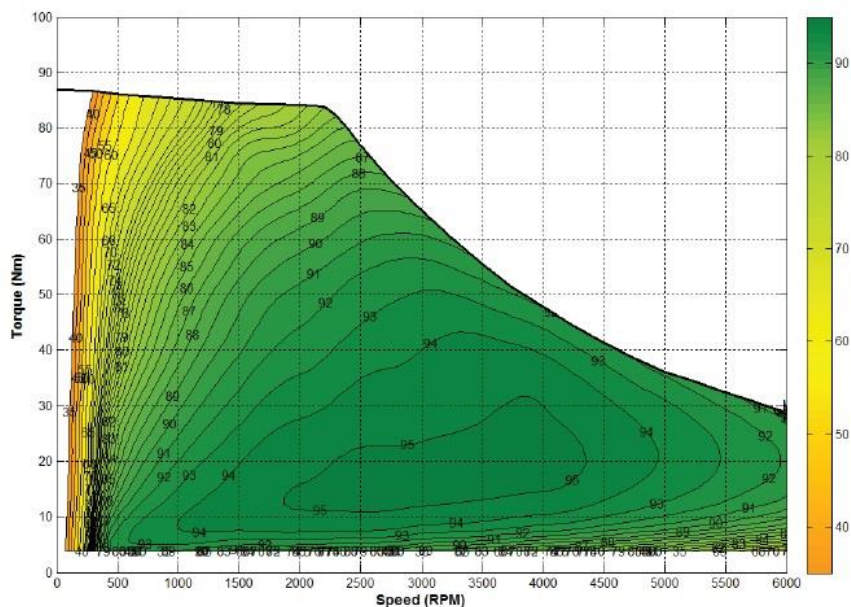
Dále jsou ukázány grafy pracovních parametrů a graf účinnosti.





Obr.13. Pracovní parametry elektromotoru firmy Ashwoods při napájecím napětí 48 V. [21]

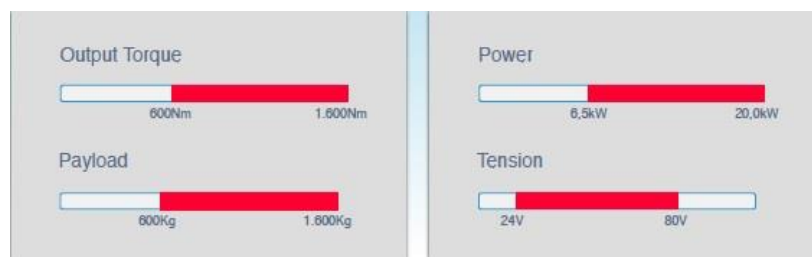
Př.12,13. Peak torque - Krátkodobý točivý moment, Voltage – Napětí,  
 Peak power - Krátkodobý výkon, Continious power - Nepřetržitý výkon,  
 Max speed - maximální rychlost, Peak efficiency - Krátkodobá účinnost,  
 Weight – Hmotnost.



Obr. 14. Graf účinnosti elektromotoru firmy Ashwoods. [21]

## 5.2 Parametry převodovky firmy Benevelli

Série TX2 představuje druh převodovek pro vozidla poháněná elektricky. Tyto převodovky slouží ke kompletnímu složení zkoušeného pohonu z elektromotoru, diferenciální převodovky, tuhé hnací nápravy a brzdového členu (dynamometru). Modulární systém zahrnuje různé typy motorů, převodové poměry, šířky rozchodu, náboje kol, uzávěrku diferenciálu, možnosti montáže, parkovací a servisní brzdy.



Obr. 15. Parametry zvolené převodovky firmy Benevelli. [22]

Př.15. Točivý moment na výstupu je schopen docílovat 600 až 1600 Nm a výkon 6,5 až 20 kW. Statické zatížení se nachází v hodnotách od 600 do 1600 Kg. Napájecí napětí kolísá v rozmezí od 24 do 80 V. Výkon je v rozmezí od 6,5 do 20 kW.

Pro uspořádání celého pohonu byla zvolena poloha instalace  $-90^\circ$ .



Obr.16. Variace způsobů připojení převodovky firmy Benevelli. [22]

### 5.3 Měřící zařízení točivého momentu

Měrná příruba typu T40 je určena pro měření točivého momentu.

Daný typ příruby vyrábí firma HBM a je připojená na výstupu dynamometru. Pro zkušebnu POWERTRAIN bylo zvoleno použít přírubu s hodnotami točivého momentu v rozmezích od 3 do 5 kNm, aby bylo možné měřit točivý moment o frekvencích 1 až 6 kHz se zpožděním do 400  $\mu$ s. Tato příruba má velkou výhodu v tom, že pro její montáž není potřeba disponovat velkým zástavbovým prostorem.



Obr.17. Tenzometrická příruba pro měření točivého momentu firmy HBM. [23]

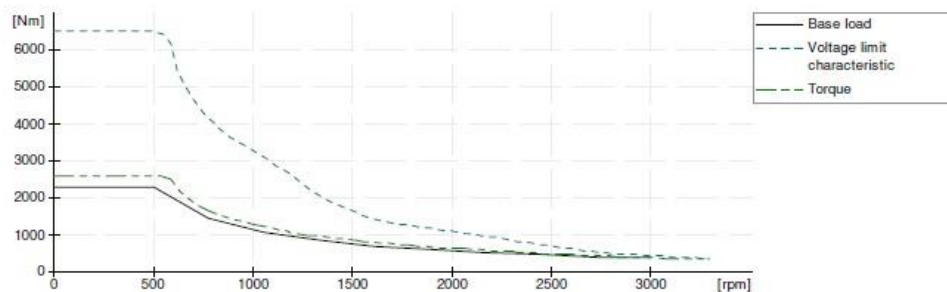
### 5.4 Charakteristiky dynamometrů firmy Siemens

Typ elektromotoru a jeho pohonu byl zvolen s ohledem na mezní přípustné parametry dynamometrů firmy Siemens používaných ve zkušebně POWERTRAIN. To znamená, že provozní charakteristiky zkoušeného pohonu se musí nacházet pod hodnotami, které dynamometry mohou změřit. Maximální hodnoty parametrů pro dynamometry jsou ukázány v tabulce níže.

Udaný výkon při 500 min <sup>-1</sup>	DYNAMOMETR SIEMENS 1PH8284	DYNAMOMETR SIEMENS 1PH8286
VÝKON [kW]	111	136
TOČIVÝ MOMENT [Nm]	2120	2598
MAX. PŘÍPUSTNÉ OTÁČKY [min <sup>-1</sup> ]	3000	

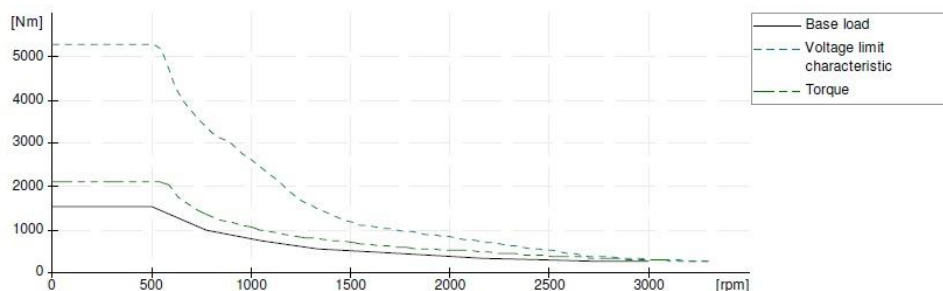
Tab. 2. Parametry dynamometrů zkušebny POWERTRAIN.

Při volbě motoru je také potřeba počítat s otáčkovými charakteristikami dynamometrů za různých hodnot výkonu.



Obr. 18. Otáčková charakteristika dynamometru s výkonem 136 kW. [18]

Z grafu je vidět, že točivý moment nabývá největších hodnot v rozsahu otáček 0 až 500 min<sup>-1</sup>. U asynchronních dynamometrů je umožněno krátkodobé přetížení, a proto je potřeba zaručit dostatečný odvod tepla. Dynamometry ve zkušebně Powertrain jsou vybaveny možností vodního chlazení.



Obr. 19. Otáčková charakteristika dynamometru 111 kW. [18]

Př.18,19. Base load - Základní zatížení, Voltage limit characteristic - Mezní charakteristika napětí, Torque - Točivý moment.

Při platnosti zákona zachování energie s počítáním ztrát se dá odhadnout rovnost výkonů ze vzorce uvedeném níže:

$$P_{mot.1} = P_{poh.2}/\eta_{poh} \quad (6),$$

kde účinnost pohonu  $\eta_{poh} < 1$ .

Dosazením vzorce  $P = M \cdot \omega$  (7)

Do vztahu (6) dostaneme (8)

$$\eta_{poh} \cdot M_{mot.1} \cdot \omega_1 = M_{poh.2} \cdot \omega_2 \quad (8)$$

a rozdíl mezi příkonem motoru a výkonem na výstupu pohonu se označí jako ztrátový výkon

$$P_z = P_1 - P_2 \quad (9),$$

který se za působení točivého pohybu v jednotlivých částech přemění na jinou formu energie (teplo, vibrace atd.). Ze vztahu (8) plynou pro pohon definovaný vstupními otáčkami na motoru a převodovým číslem  $i$  na převodovce vztahy:

$$\eta_{poh} \cdot M_{mot.1} = M_{př.2} \cdot \frac{\omega_2}{\omega_1} \quad (10)$$

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2} \quad (11)$$

$$M_{mot.1} = \frac{M_{př.2}}{\eta \cdot i} \quad (12)$$

## 6 ŘEŠENÍ KONSTRUKČNÍ ÚLOHY PRO RÁMOVOU SOUSTAVU PRO ZKOUŠENÍ VE ZKUŠEBNĚ POWERTRAIN

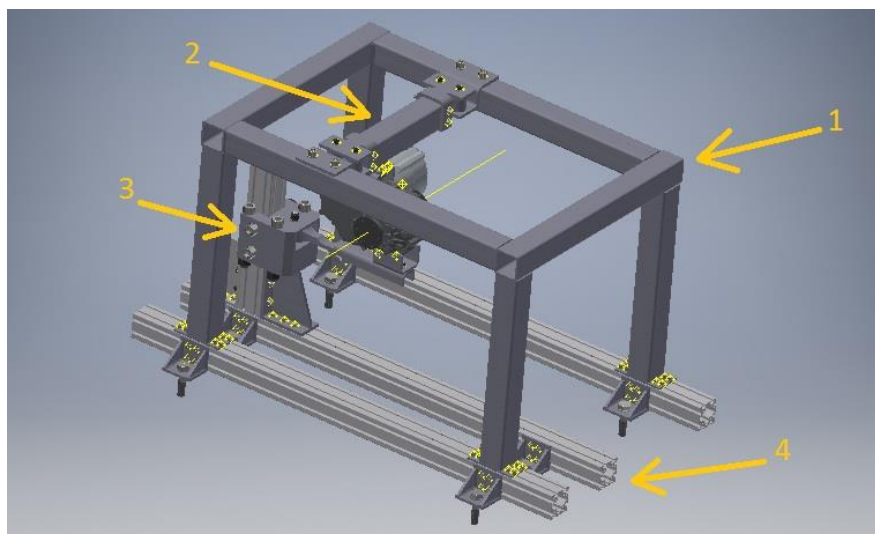
Jedním z cílů pro zpracování této bakalářské práce je řešení konstrukčního uspořádání zkušebny POWERTRAIN. Pro řešení stávající problematiky byl zvolen svařovaný rám z konstrukční oceli (např. ČSN 11 373), která byla zvolená na základě její dobrých mechanických vlastností a dobré svařitelnosti. Tento druh oceli je vhodný na pevné konstrukce a profily namáhané jak staticky, tak i dynamicky. Parametry materiálu jsou uvedeny v tabulce níže.

Mez kluzu	[MPa]	207
Pevnost v tahu	[MPa]	345
Modul pružnosti v tahu	[MPa]	$2,1 \cdot 10^5$
Poissonovo číslo	[-]	0,30

Tab. 3. Materiálové vlastnosti konstrukční oceli ČSN 11 373. [24]

### 6.1 Návrh rámu pro zkoušení ve zkušebně Powertrain

Návrh rámové konstrukce spočívá ve vytvoření čtyř základních částí.



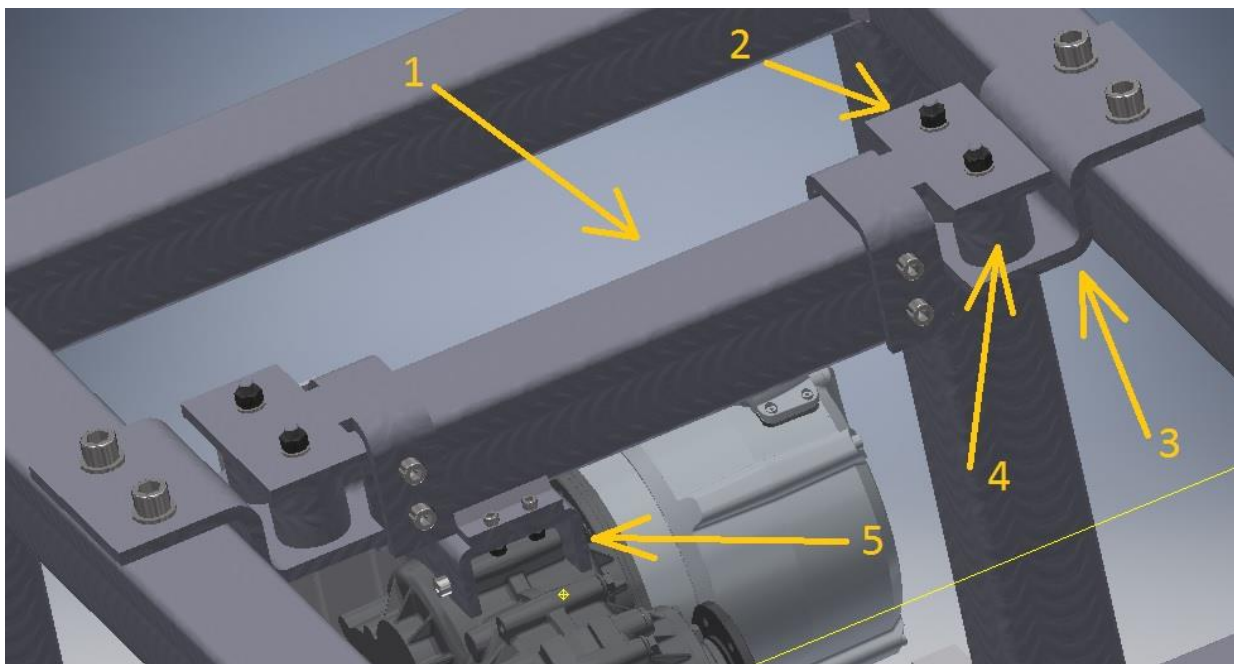
Obr. 20. Základní části rámové konstrukce.

1 - rámová klec, 2 – rameno pro uchycení soustavy elektromotoru a převodovky, 3 – momentová vzpěra a její uchycení, 4 – axiální uchycení celkové konstrukce na desce zkušebny POWERTRAIN.

První část celkové konstrukce byla vytvořena pomocí čtvercových ocelových profilů 80x80 mm s tloušťkou materiálu  $t = 6$  mm, které byly mezi sebou spojeny pomocí koutových svarů o stejných předponách o velikosti 10 mm. Pro ukotvení rámu na desce na nohou rámu jsou přivařeny konzoly, kde se nachází 8 děr pro šroubové spojení M8 s čtvercovými hliníkovými profily firmy Haberkorn o velikosti 80x80 mm. Na horních profilech, jenž jsou spojeny s horními podélnými profily, jsou 2 díry pro šroubový spoj M16, aby bylo umožněno spojení s ramenem pro uchycení soustavy elektromotor-převodovka přes plechové díly a silentbloky.

Návrh druhé části veškeré konstrukce spočívá v přípojení ramena k rámové kleci, aby byla umožněna jeho demontovatelnost. Toto řešení bylo zrealizováno pomocí plechových dílů 2,3 o tloušťce 10 mm (viz. Obr.21.). Plechový díl č.3 byl navržen pro ukotvení na rámové kleci pomocí dvou šroubových spojů. Na tento díl jsou připojeny dva silentbloky č.4 firmy KIPP pro snížení vibrací za zkoušení elektromotorů. Zároveň silentbloky slouží k propojení s plechovým dílem č.2, který ukotvuje samotné rameno č.1. Na daném rameně se nachází svarový spoj s plechovou konzolou o tloušťce 8 mm, na němž jsou 4 díry pro šrouby M6 s plechovým dílem č.5.

Tím dílem se zachycuje pomocí šroubového spojení M8 skříň převodovky, již je spojená se zkoušeným elektromotorem.

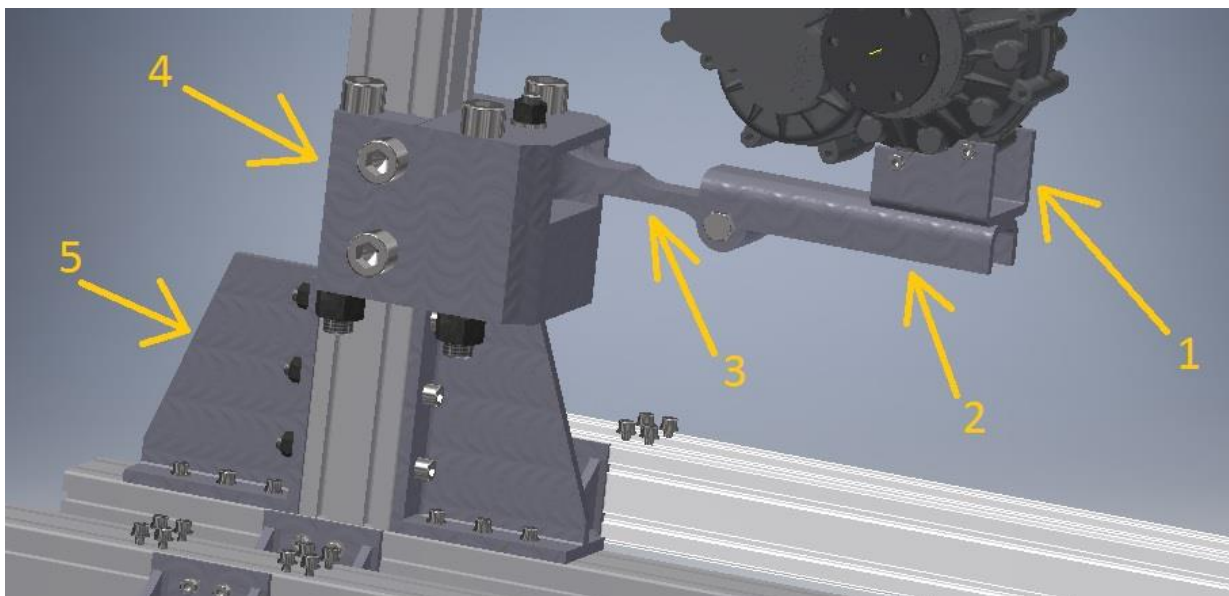


Obr. 21. Uspořádání ramena pro uchycení soustavy elektromotor-převodovka.

Třetí část sestavy slouží ke spojování skříně převodovky se vzpěrou č.3 (viz Obr.22.), jenž je spojená s převodovkou pomocí plechových dílů č.1,2. Díl č.1 o tloušťce 8 mm je spojen s výstupem převodovky pomocí stejných šroubů jako na vstupu pohonu. Zároveň je propojen s plechem pro vzpěru č.2 o stejné tloušťce pomocí dvou závitových spojů M8. Plech č.2 je pak zašroubován se vzpěrou pomocí šroubu M16. Momentová vzpěra, která slouží pro zachytávání točivého momentu na výstupu pohonu, je následně přišroubována k bloku uchycení této vzpěry. Blok je sestavou několika ocelových dílů spojených šrouby pro uchycení vzpěry k rámu, který se běžně používá ve zkušebně POWERTRAIN. Zároveň konstrukce byla dříve pevnostně ověřena. Blok je připojen k profilu pomocí dvou šroubovaných spojů M24. Následně k tomu profilu se spojuje další hliníkový profil na desce zkušebny POWERTRAIN. Tyto profily se navzájem spojují pomocí dvou



svařovaných konzolí č.5 a několika šroubovými spoji. Tím celková rámová konstrukce byla sešroubována k hliníkovým profilům, které jsou ukotveny na desce zkušebny POWERTRAIN pomocí úhlopříčné konzoly běžně využívané v laboratoři.



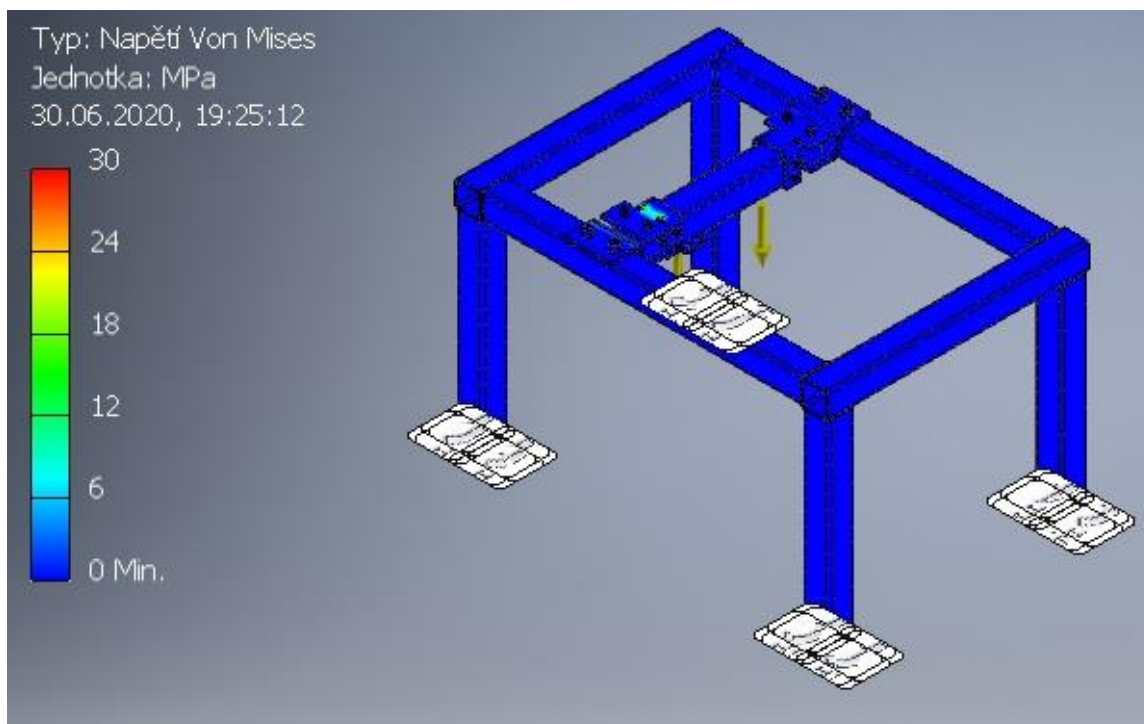
Obr. 22. Uspořádání momentové vzpěry a její uchycení.

## 6.2 Pevnostní analýza rámu

Pevnostní analýza byla provedena ve formě simulace pomocí MKP v softwaru Autodesk Inventor 2019. Za materiál byla zvolena konstrukční ocel ČSN 11 373 s hodnotami mechanických vlastností z tabulky č.3. Pro uchycení konstrukce byly použity pevné vazby na válcových površích na dolních konzolách jako náhrada šroubových spojů. Ohledně zatížení byla použita gravitační síla na veškerou konstrukci. Následně na místě propojení se vstupem zkoušeného pohonu byla použita síla vyvolaná tíhou motoru a převodovky.

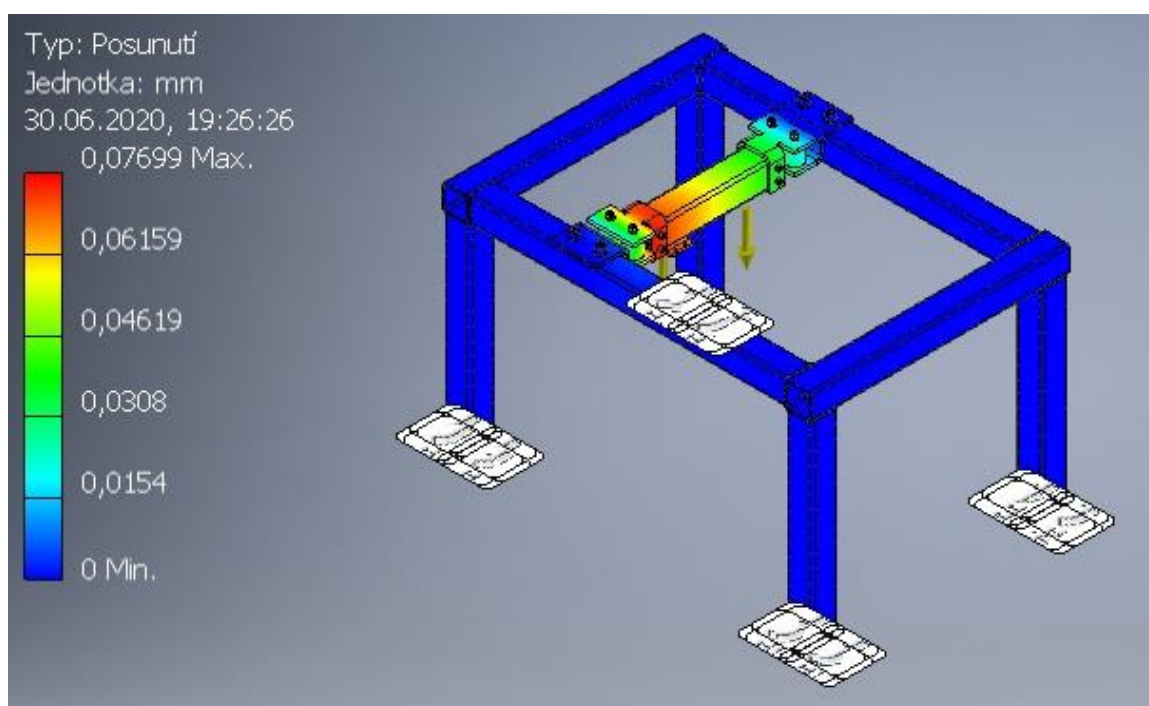
Hodnoty hmotnosti byly vzaty z obrázků č. 12,15.

$$F_G = (m_{př} + m_{mot}) \cdot g = (20 + 17) \cdot 9,81 = 362,97 \text{ N} \approx 370 \text{ N} \quad (13)$$



Obr. 23. Výsledky napětí Von Mises po statické analýze.

Na obrázku č.23 je vidět, že největší napětí je na plechách pro uchycení ramena přes silentbloky. Co se týče svařované rámové klece, z výsledků dá se říct, že tam skoro žádné zatížení není. Také se dá posoudit, že největší posunutí je místě propojení pohonu s rámem.



Obr. 24. Výsledky posunutí po statické analýze.

Momentová vzpěra nebyla pevnostně kontrolována, neboť je konstrukčně převzata z již existujícího řešení, které se používá v laboratoři. Momentová vzpěra zachytává točivý moment hnacího agregátu.

## 7 ZÁVĚR

V první části této bakalářské práce šlo o stanovení problematiky použití elektromotorů ve smyslu eMobility. Byly popsány různé typy elektromotorů, jejich konstrukce, principy funkce, výhody a nevýhody. Následně byly ukázány příklady jejich aplikací v elektromobilech značek Tesla, Škoda a hybridního auta značky Toyota.

Ve druhé části byly rozepsány veškeré možnosti zkoušení různých vlastností elektromotorů. Zatím byly popsány dva způsoby uspořádání zkušebny POWERTRAIN. Byly uvedeny popisy a technické charakteristiky zkoušeného pohonu a zařízení, které byly využity pro jejich zkoušení.

Zpracování třetí praktické části spočívalo v návrhu svařované rámové konstrukce pro uchycení pohonu z elektromotoru a převodovky a propojení s odpruženou deskou zkušebny POWERTRAIN a to včetně momentové vzpěry a bloku pro její uchycení. Dále bylo stanoveno v úloze této práce pevnostně ověřit rámovou klec. To bylo zrealizováno pomocí simulací metodou MKP v softwaru Inventor. Z výsledků se dá posoudit, že rám je v dostatečné míře bezpečný pro účely jeho použití.

Na konci k této práci byly přidány přílohy s vypracovanou technikou dokumentaci veškeré sestavy a jednotlivých plechových dílů, které byly speciálně navrženy pro zkoušení konkrétního pohonu.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

[1] <https://customerthink.com>. [Online] CustomerThink Corp. ,2020.

[Citace: 30.06.2020.]

<https://customerthink.com/7-trends-and-targets-that-will-influence-the-future-of-e-mobility/>

[2] [www.svetmotoru.cz](http://www.svetmotoru.cz). Časopis “Svět Motoru Speciál Technika“ 1/2020.

[Citace: 30.06.2020.]

[3] [cs.wikipedia.org](http://cs.wikipedia.org). [Online] Wikipedia. [Citace: 30.06.2020.]

[cs.wikipedia.org/wiki/Asynchronní\\_motor](http://cs.wikipedia.org/wiki/Asynchronní_motor)

[4] [en.wikipedia.org](http://en.wikipedia.org). [Online] Wikipedia. [Citace: 30.06.2020.]

[en.wikipedia.org/wiki/Induction\\_motor](http://en.wikipedia.org/wiki/Induction_motor)

[5] [www.electrical4u.com](http://www.electrical4u.com). [Online] Electrical4U, 2020. [Citace: 30.06.2020.]

<https://www.electrical4u.com/squirrel-cage-induction-motor/>

[6] [en.engineering-solutions.ru](http://en.engineering-solutions.ru). [Online] Engineering Solutions, 2020.

[Citace: 30.06.2020.] [en.engineering-solutions.ru/motorcontrol/pmsm/](http://en.engineering-solutions.ru/motorcontrol/pmsm/)

[7] [medium.com](http://medium.com). [Online] A Medium Corporation, 2020. [Citace: 30.06.2020.]

[medium.com/@Electricvehicles.in/advantages-disadvantages-of-diff-types-of-evs-motors-eaabba32856c](http://medium.com/@Electricvehicles.in/advantages-disadvantages-of-diff-types-of-evs-motors-eaabba32856c)

[8] [www.koolairint.com](http://www.koolairint.com). [Online] RTFANS, 2020. [Citace: 30.06.2020.]

[www.koolairint.com/what-are-the-disadvantages-of-pmsm-fans.html](http://www.koolairint.com/what-are-the-disadvantages-of-pmsm-fans.html)

[9] [www.hecoinc.com](http://www.hecoinc.com). [Online] HECO - All Systems Go. [Citace: 30.06.2020.]

<https://www.hecoinc.com/blog/what-is-an-ac-synchronous-motor>

[10] [www.elprocus.com](http://www.elprocus.com). [Online] Elprocus. [Citace: 30.06.2020.]

[www.elprocus.com/synchronous-motor-working-principle-types/](http://www.elprocus.com/synchronous-motor-working-principle-types/)

[11] [www.electricalarticle.com](http://www.electricalarticle.com). [Online] Electrical Article, 2020. [Citace: 30.06.2020.]

[www.electricalarticle.com/synchronous-machine-construction-classification-application-advantages-disadvantages/](http://www.electricalarticle.com/synchronous-machine-construction-classification-application-advantages-disadvantages/)

[12] [people.ucalgary.ca](http://people.ucalgary.ca). [Online] University of Calgary, 2020. [Citace: 30.06.2020.]

[https://people.ucalgary.ca/~aknigh/electrical\\_machines/other/sr.html](https://people.ucalgary.ca/~aknigh/electrical_machines/other/sr.html)

[13] [electricvehicles.in](http://electricvehicles.in). [Online] Electricvehicles.in, 2020. [Citace: 30.06.2020.]

<https://electricvehicles.in/advantages-disadvantages-of-diff-types-of-evs-motors/>

[14] <https://www.tandfonline.com>. [Online] Informa UK Limited, 2020. [Citace: 30.06.2020.]

<https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/09398368.2004.11463551>

[15] [www.tesla.com](http://www.tesla.com). [Online] Tesla, 2020. [Citace: 30.06.2020.]

<https://www.tesla.com/sites/default/files/tesla-model-s.pdf>

[16] [www.skoda-auto.cz](http://www.skoda-auto.cz). [Online] ŠKODA AUTO a.s., 2020. [Citace: 30.06.2020.]

<https://www.skoda-auto.cz/modely/nove-citigo/nove-citigoe-iv/nove-citigoe-iv-hnaci-soustava>

[17] [blog.toyota.co.uk](http://blog.toyota.co.uk). [Online] Toyota (GB) PLC, 2020. [Citace: 30.06.2020.]

<https://blog.toyota.co.uk/how-does-toyota-hybrid-synergy-drive-work>

[18] VÁVRA, T.: ZKOUŠENÍ PRŮMYSLOVÝCH PŘEVODOVEK VE ZKUŠEBNĚ POWERTRAIN. Bakalářská práce, TUL 2014. [Citace: 30.06.2020.]

[19] www.electricityforum.com. [Online] The Electricity Forum, 2020.

[Citace: 30.06.2020.]

<https://www.electricityforum.com/iep/electrical-test-equipment/electric-motor-testing>

[20] www.imc-tm.com. [Online]. imc Test & Measurement GmbH, 2020.

[Citace: 30.06.2020.]

<https://www.imc-tm.com/products/electric-motor-testing/types-of-testing/>

[21] ashwoodselectricmotors.com. [Online]. Ashwoods Electric Motors Limited, 2020. [Citace: 30.06.2020.]

<https://ashwoodselectricmotors.com/ipm-motors/>

[22] benevelli-group.com. [Online]. Benevelli Srl. [Citace: 30.06.2020.]

<https://benevelli-group.com/images/catalogs/TX2-Serie-Catalog.pdf>

[23] www.hbm.cz. [Online] HBP měřicí technika s.r.o., 2020.

[www.hbm.cz](http://www.hbm.cz).

[24] Knihovny materiálů Autodesk, [Online]. Autodesk Inc., 2020.

## **SEZNAM VÝKRESŮ**

Výkres č.1: KVM-BP-312-001, Zkušebna Powertrain

Výkres č.2: KVM-BP-312-002, Plechový díl č.1

Výkres č.3: KVM-BP-312-003, Plechový díl č.2

Výkres č.4: KVM-BP-312-004, Plechový díl č.3

Výkres č.5: KVM-BP-312-005, Plechový díl č.4

Výkres č.6: KVM-BP-312-006, Plechový díl č.5