

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

# **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Současné typy pohonů v elektrické trakci**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2013/2014

**ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Martin RŮŽIČKA**  
Osobní číslo: **E11B0074P**  
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Elektrotechnika a energetika**  
Název tématu: **Současné typy pohonů v elektrické trakci**  
Zadávací katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

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

Student by měl v úvodní části popsat požadavky pro elektrické motory v elektrické trakci. Zejména výkonové, momentové a konstrukční požadavky.

1. Popište provedení stejnosměrných motorů pro trakční vozidla. Definujte provozní vlastnosti, konstrukci a údržbovou náročnost.
2. Popište provedení asynchronních motorů pro trakční vozidla. Definujte provozní vlastnosti, konstrukci a údržbovou náročnost.
3. Popište provedení synchronních motorů pro trakční vozidla. Definujte provozní vlastnosti, konstrukci a údržbovou náročnost. Zhodnoťte variantu s vnitřním rotorem a vnějším rotorem.
4. Porovnejte všechny typy pohonů, definujte momentové charakteristiky, konstrukční provedení (rozměry tlapových motorů, hmotnost a cenu).
5. Analyzujte budoucnost pohonů v elektrické trakci s ohledem na cenu a životnost.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah pracovní zprávy: 20 - 30 stran

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

1. Danzer, J.: Elektrická trakce I. Skripta ZCU, Plzeň 2000
2. Danzer, J.: Elektrická trakce II. Skripta ZCU, Plzeň 2001
3. List, V., Hak, J.: Technický průvodce 12, Elektrotechnika II. SNTL Prahob 1969
4. Černý, O., Doleček, R., Novák, J.: Synchronní motory s permanentními magnety pro trakční pohony kolejových vozidel.  
[www.cd rail.cz/VTS/CLANKY/vts29/2908.pdf](http://www.cd rail.cz/VTS/CLANKY/vts29/2908.pdf) [cit. 19/4/2013]

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Roman Pechánek, Ph.D.

Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky

Datum zadání bakalářské práce: 14. října 2013

Termín odevzdání bakalářské práce: 9. června 2014

Doc. Ing. Jifí Hammerbauer, Ph.D.  
děkan



Prof. Ing. Václav Kús, CSc.  
vedoucí katedry

V Plzni dne 14. října 2013

## **Abstrakt**

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na problematiku pohonů v elektrické trakci. Mapuje historický vývoj těchto pohonů až do současnosti a zabývá se především jejich provedením, konstrukcí a provozními vlastnostmi.

## **Klíčová slova**

Elektrická trakce, trakční motor, trakční pohon, stejnosměrný sériový motor, stejnosměrný cize buzený motor, asynchronní motor, synchronní motor, permanentní magnety, lineární motor.

## **Abstract**

The bachelor thesis presents issues of traction drives in electric traction. It deals with the historical progress these traction drives since their beginnings to the present. It also follows up their construction and features.

## **Key words**

Electric traction, traction drive, traction motor, DC motor, induction motor, synchronous motor, permanent magnet, linear motor.

## **Prohlášení**

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

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

.....

podpis

V Plzni dne 2.6.2014

Martin Růžička

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Romanu Pechánkovi, Ph.D. za cenné rady, připomínky a vstřícnost při vedení práce.

# Obsah

<b>OBSAH</b> .....	<b>8</b>
<b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....	<b>9</b>
<b>1 ÚVOD</b> .....	<b>11</b>
<b>2 POŽADAVKY NA ELEKTRICKÉ MOTORY V EL. TRAKCI</b> .....	<b>12</b>
<b>3 STEJNOSMĚRNÉ STROJE</b> .....	<b>15</b>
3.1 Úvod.....	15
3.2 SÉRIOVÝ MOTOR.....	15
3.2.1 Úvod.....	15
3.2.2 Náhradní schéma .....	15
3.2.3 Charakteristiky.....	16
3.2.4 Regulace rychlosti, brzdění.....	17
3.2.5 Konstrukce, údržbová náročnost.....	18
3.2.6 Závěr, příklad vozidla .....	18
3.3 CÍZE BUZENÝ MOTOR.....	19
3.3.1 Úvod, náhradní schéma .....	19
3.3.2 Charakteristiky.....	19
3.3.3 Regulace rychlosti, brzdění, údržbová náročnost .....	20
3.3.4 Závěr, příklad vozidla .....	21
<b>4 ASYNCHRONNÍ STROJE</b> .....	<b>22</b>
4.1 Úvod.....	22
4.2 NÁHRADNÍ SCHÉMA.....	23
4.3 MOMENTOVÁ CHARAKTERISTIKA .....	23
4.4 ŘÍZENÍ ASYNCHRONNÍCH MOTORŮ .....	24
4.5 PŘÍKLAD VOZIDLA S ASYNCHRONNÍM TRAKČNÍM MOTOREM .....	26
4.6 ZÁVĚR .....	27
<b>5 SYNCHRONNÍ STROJE</b> .....	<b>27</b>
5.1 Úvod.....	27
5.2 PERMANENTNÍ MAGNETY .....	27
5.3 PROVEDENÍ SYNCHRONNÍCH MOTORŮ PRO TRAKCI.....	28
5.4 REALIZOVANÁ VOZIDLA S TRAKČNÍMI PMSM .....	29
5.5 VÝHODY A NEVÝHODY TRAKČNÍCH MOTORŮ S PMSM .....	30
5.6 ZÁVĚR .....	31
<b>6 VZÁJEMNÉ POROVNÁNÍ VŠECH POHONŮ</b> .....	<b>31</b>
<b>7 BUDOUCNOST POHONŮ V ELEKTRICKÉ TRAKCI</b> .....	<b>32</b>
7.1 Úvod.....	32
7.2 LINEÁRNÍ ELEKTROMOTORY .....	33
7.2.1 <i>Maglev systém</i> .....	33
7.3 BUDOUCNOST STEJNOSMĚRNÝCH STROJŮ.....	36
7.4 BUDOUCNOST ASYNCHRONNÍCH MOTORŮ A MOTORŮ SYNCHRONNÍCH.....	36
<b>8 ZÁVĚR</b> .....	<b>37</b>
<b>SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ</b> .....	<b>39</b>
<b>PŘÍLOHY</b> .....	<b>1</b>



## Seznam symbolů a zkratek

$C_1$ .....	konstanta
$f$ .....	frekvence [Hz]
$I_0$ .....	proud naprázdno [A]
$I_1$ .....	proud statoru [A]
$I_2'$ .....	proud rotoru [A]
$I_b$ .....	budící proud [A]
$I_k$ .....	proud kotvy [A]
IP .....	Ingress protection (krytí)
$jX_\mu$ .....	magnetizační reaktance [ $\Omega$ ]
$jX_{\sigma 1}$ .....	rozptylová reaktance vinutí statoru [ $\Omega$ ]
$jX_{\sigma 2}'$ .....	rozptylová reaktance vinutí rotoru [ $\Omega$ ]
$M$ .....	moment [Nm]
$m_1$ .....	počet fází statoru [/]
Maglev .....	magnetická levitace
$M_m$ .....	maximální moment [Nm]
$M_n$ .....	jmenovitý moment [Nm]
$M_z$ .....	záběrný moment [Nm]
$n$ .....	otáčky mechanické [ot/min.]
$P$ .....	výkon [W]
PMSM .....	Permanent Magnet Synchronous Motor
$R_1$ .....	odpor vinutí statoru [ $\Omega$ ]
$R_2'$ .....	odpor respektující ztráty v rotoru [ $\Omega$ ]
$R_{Fe}$ .....	odpor respektující ztráty v železe [ $\Omega$ ]
$R_k$ .....	odpor kotvy [ $\Omega$ ]
$s$ .....	skluz [/]
$s_m$ .....	skluz odpovídající maximálnímu momentu [/]
$s_n$ .....	jmenovitý skluz [/]
$U_1$ .....	napájecí napětí statoru [V]
$U_i$ .....	Indukované napětí [V]
$U_k$ .....	napětí kotvy [V]
$\omega$ .....	úhlová frekvence [rad/s]

$\omega_1$  ..... úhlová frekvence pole statoru [rad/s]

$\Phi$  ..... magnetický tok [Wb]

# 1 Úvod

Tématem předkládané bakalářské práce je problematika pohonů elektrických trakčních vozidel. Práce se zabývá především provedením jednotlivých typů trakčních motorů, které jsou řazeny v souladu s historickým vývojem elektrické trakce.

Text práce je rozdělen do šesti hlavních částí. V první části práce jsou popsány nejdůležitější požadavky na elektrické motory v elektrické trakci. Zejména pak požadavky výkonové, konstrukční a momentové. Další tři části práce se věnují jednotlivým typům elektrických trakčních motorů v takovém pořadí, v jakém byly v historickém vývoji v elektrické trakci používány. Druhá část je tedy věnována stejnosměrným trakčním motorům, konkrétně stejnosměrnému sériovému motoru a stejnosměrnému motoru cize buzenému. Třetí část práce je zaměřena na asynchronní trakční motor, jehož využití v elektrické trakci umožnil významný pokrok ve vývoji výkonových elektronických součástek a měničů. Čtvrtá část práce se zabývá provedením synchronních motorů pro trakční vozidla, jejichž uplatnění v elektrické trakci bylo možné až s aplikací permanentních magnetů, jejichž problematika je v této části také zmíněna. V páté části práce jsou všechny výše zmíněné typy elektrických trakčních motorů srovnávány. Závěrečná část práce je věnována budoucnosti pohonů v elektrické trakci, převážně zaměřená na problematiku lineárních elektromotorů, které jsou v elektrické trakci využívány pro pohon vysokorychlostních vlaků na magnetickém polštáři.

## 2 Požadavky na elektrické motory v el. trakci

Při výběru vhodného trakčního motoru je třeba zohlednit celou řadu skutečností. V následujícím textu se pokusím shrnout nejdůležitější z požadavků na trakční motory.

Ze všeho nejdříve je třeba zmínit výkonové požadavky na elektrické trakční motory. Požadovaný výkon se zcela logicky liší v závislosti na tom, pro jaké vozidlo elektrické trakce je daný motor určen. Motory jednoznačně největších výkonů jsou využívány pro lokomotivy. Pro pohon trolejbusů, souprav metra a tramvají jsou používány motory výkonů podstatně menších. Jako konkrétní příklad můžeme vzít společnost Škoda Electric, která vyrábí trakční motory určené pro lokomotivy o výkonech v rozmezí 500 až 1600 kW, pro trolejbusy vyrábí trakční motory s výkonem pohybujícím se od 100 do 300 kW. Motory vyráběné touto společností pro soupravy metra disponují výkonem od 150 do 260 kW a konečně pro tramvaje, dopravní prostředek, se kterým se v Plzni setkáváme denně, se vyrábějí motory s výkonem od 46 do 135 kW. [8]



Obr. 1. Trakční motor Škoda určený pro vozy metra

V souvislosti s výkonem trakčních motorů nesmíme opomenout velmi důležitou součást elektrického pohonu a tím je chlazení. Požadavky na chlazení elektrických motorů v elektrické trakci jsou vysoké. Je tomu tak proto, že trakční motory jsou velkým zdrojem odpadního tepla a z toho důvodu tedy musí být dostatečně chlazeny, aby nedošlo k jejich poškození, případně i zničení. V zásadě se používají dva základní systémy chlazení. Jedná se o chlazení vlastní a chlazení cizí. Vlastní chlazení obstarává ventilátor na hřídeli stroje. Výhodou tohoto chlazení je jeho jednoduchost, také to, že není potřeba dalšího stroje. Další výhodou je, že v provozu stroje nemůže dojít ke ztrátě chlazení. Mezi hlavní nevýhody vlastního chlazení patří nesoulad mezi množstvím chladicího vzduchu a velikostí ztrát.

Ventilaci také nelze vypnout. Z těchto důvodů se vlastní ventilace hodí spíše pro pohony menších výkonů a vozidla bez těžkých a dlouhých rozjezdů, jelikož při rozjezdu jsou otáčky motoru nízké, tudíž i výkon ventilátoru je nízký, ale na druhou stranu ztráty a tím i velikost odpadního tepla jsou velké. Může tedy dojít k přehřátí motoru. To je jedním z důvodů, proč se využívá chlazení cizí. Cizí chlazení je na jednu stranu nákladnější, na stranu druhou ovšem odstraňuje některé nedostatky chlazení vlastního, především jeho výkon lze přizpůsobit skutečné spotřebě a není závislý na otáčkách motoru. Lze ho také přizpůsobit okolní teplotě provozního prostředí. Zjednodušeně řečeno, v zimním období, kdy se teploty pohybují velmi nízko, není potřeba tak velkého chladicího výkonu jako třeba v létě, kdy teploty šplhají k velmi vysokým hodnotám. Tuto problematiku vlastní chlazení nezohledňuje. Dále lze zajistit dochlazování motoru, například po předchozím přetížení, nebo též chlazení v klidu. Na rozdíl od vlastního chlazení je zde i větší čistota chladicího vzduchu, jelikož vzduch není brán zespodu, nýbrž se saje běžně ze střechy přes nejrůznější filtry. Společnost Škoda Electric vyrábí elektrické pohony například pro trolejbusy s cizím chlazením, pro tramvaje a soupravy metra s chlazením vlastním. Též se používá systém vodního chlazení. [2] [8]

Dalšími požadavky z hlediska konstrukce jsou zcela jistě požadavky na hmotnost a rozměry stroje. Rozměry stroje jsou omezeny velikostí skříně a jsou závislé na uložení motoru na vozidle. S rozměry stroje přirozeně roste i jeho hmotnost, a jelikož hmotnost trakčního motoru je značná, jsou zde značné i požadavky na jeho vypružení. Motor může být vzhledem k podélné ose vozidla uložen buď příčně tak, že osa motoru je rovnoběžná s osou poháněné nápravy, nebo podélně. Klasickým řešením je tzv. tlapový pohon. Zvláštním případem uložení motoru může být tzv. kolový motor. Tento motor je konstrukčně sloučen s kolem. Využívá se u nízkopodlažních vozidel. Jako příklad tohoto uspořádání můžeme uvést plně nízkopodlažní tramvaj 15T ForCity, která je poháněna šestnácti trakčními synchronními motory s permanentními magnety. [2] [4]

V souvislosti s uložení trakčního motoru je požadováno příslušné a dostatečné krytí. Stupeň krytí je vyjádřen v tzv. IP kódu, definovaného mezinárodním standardem. Příkladem krytí trakčního motoru je IP 44, kde první číslice udává stupeň ochrany před nebezpečným dotykem a vniknutím cizích částic, druhá číslice pak udává stupeň krytí před vniknutím vody. Krytí trakčních motorů před vniknutím vody je logické vzhledem k jejich umístění v podvozku vozidel, kde může snadno dojít ke kontaktu s vodou. [13]

Dalším požadavkem na moderní trakční elektromotory je zcela jistě nízká údržbová náročnost. V minulosti téměř výhradně používaný stejnosměrný motor není z tohoto pohledu tou nejlepší volbou, jelikož obsahuje komutátor a především sběrací ústrojí (kartáče), které vyžadují pravidelnou a poměrně častou kontrolu. Na druhou stranu, vezmeme-li v úvahu asynchronní trakční motor, tak ten přirozeně komutátor ani sběrací ústrojí nemá, tudíž je o mnoho spolehlivější a méně náročný na údržbu. Právě z tohoto důvodu je v trakci hojně využíván. Je velmi spolehlivý a má dlouhou životnost. [2] [3]

V dnešní době je jedním z hlavních kritérií při výběru trakčního pohonu také cena. Je přirozené, že přednost budou dostávat ty pohony, které budou při srovnatelných vlastnostech pro zákazníka ekonomicky výhodnější, tedy levnější. Právě z tohoto důvodu nevidím příliš optimisticky rozvoj lineárních motorů v elektrické trakci. Důvodem jsou vysoké náklady na výstavbu dráhy. Co se týká synchronních strojů s permanentními magnety, i tady vidím jako problém a nevýhodu těchto strojů právě vysokou pořizovací cenu permanentních magnetů. Z tohoto cenového srovnání si myslím, že vycházejí nejlépe motory asynchronní. [9] [4]

Zapomenout nesmíme na momentové požadavky na trakční motory. Pro volbu motoru jsou zásadní jeho charakteristiky, tzv. trakční charakteristiky. Jedná se o závislost otáček na momentu a závislost otáček a momentu na proudu. Pro trakční motory je velmi důležitá plynulá regulace otáček a momentu stroje. Právě díky své měkké otáčkové charakteristice byl nejdříve, až do zavedení výkonové polovodičové techniky, používán stejnosměrný sériový motor. Jako jediný je tento motor možno řídit stupňovitou změnou napětí. Až později vývoj výkonových polovodičových součástek a měničů umožnil plynulou regulaci cize buzeného stejnosměrného stroje a především motoru asynchronního, který je dnes hojně využíván. [2]

## 3 Stejnoseměrné stroje

### 3.1 Úvod

Prvními stroji, které byly využívány jako pohony v elektrické trakci, jsou zcela přirozeně stroje stejnosměrné. Stejnoseměrné stroje naprosto dominovaly v elektrické trakci ještě v nedávné době. Ještě přibližně před 20 lety byly stejnosměrné stroje v elektrické trakci nejrozšířenější a i dnes jsou stále hojně rozšířeny, rozhodně nezanikly. Hlavní výhodou stejnosměrných motorů je ta vlastnost, že se dají poměrně snadno regulovat. Problémem a nedostatkem stejnosměrných motorů je komutátor. V následujícím textu se budeme zabývat dvěma typy stejnosměrných strojů, které našly v elektrické trakci největší uplatnění. Jedná se o stejnosměrný cize buzený motor a především stejnosměrný sériový motor, kterým se budeme zabývat jako prvním, popíšeme jeho provedení, provozní vlastnosti a údržbovou náročnost. [2]

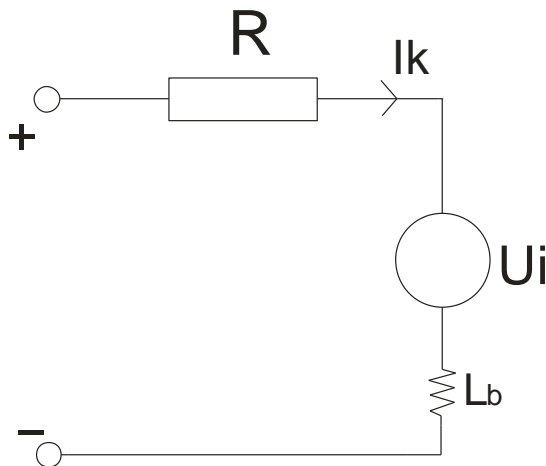
### 3.2 Sériový motor

#### 3.2.1 Úvod

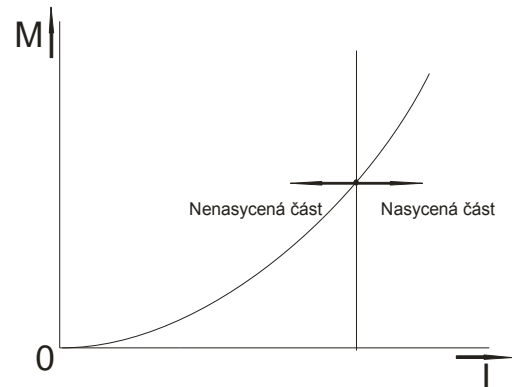
Stejnoseměrný sériový motor je klasickým trakčním motorem, který ještě v nedávné době byl prakticky jediným motorem, který byl v elektrické trakci využíván. Nejvýznamnější vlastností a velkou výhodou stejnosměrného sériového motoru je jeho měkká otáčková charakteristika, díky které je jediným motorem, který lze řídit celkem bez problémů stupňovitou změnou napětí. Kdyby tomu tak nebylo, tak i malé změny napětí by způsobovaly velké změny proudu a při stálém buzení i tomu odpovídající změny momentu, což je pro vozidla nepřijatelné. Při napájení stejnosměrným proudem je stejnosměrný sériový motor ideálním zdrojem momentu bez momentového zvlnění a po omezenou dobu je značně přetížitelný i v klidu. Díky těmto svým velmi dobrým vlastnostem byl posléze využíván i při napájení střídavým napětím. [2]

#### 3.2.2 Náhradní schéma

Náhradní schéma stejnosměrného sériového motoru je uvedeno na obrázku 2, kde můžeme vidět, že stejnosměrný sériový motor má budící vinutí zapojeno v sérii s vinutím kotvy. Z toho vyplývá, že zatěžovací proud (proud kotvy) je současně proudem budícím. [5]



Obr. 2. Náhradní schéma stejnosměrného sériového motoru [2]



Obr. 3. Momentová charakteristika stejnosměrného sériového motoru [7]

### 3.2.3 Charakteristiky

Nyní se budeme věnovat momentové charakteristice, která je velmi podstatná pro motory a udává velmi důležité vlastnosti. Jedná se o závislost momentu na proudu a je vyobrazená na obr. 3. [7]

Závislost momentu na proudu je dána rovnicí (1):

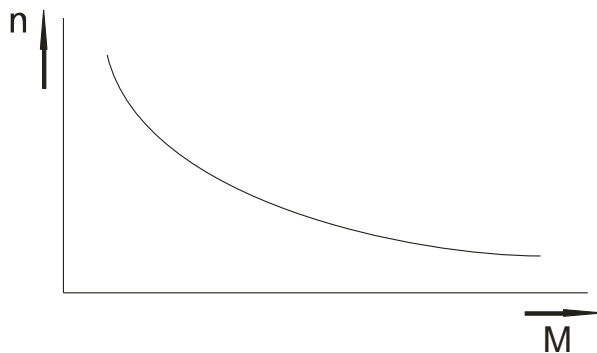
$$M = k \cdot \Phi \cdot I \quad (1)$$

Pro nenasycený stav, když magnetický obvod není nasyčen, je magnetický tok  $\Phi$  úměrný proudu a dle rovnice tudíž točivý moment sériového motoru roste s druhou mocninou zatěžovacího proudu. Z toho vyplývá, že pro poměrně velký přírůstek momentu nám v této části charakteristiky stačí poměrně malé zvětšení proudu. Je-li stroj již magneticky nasyčen, magnetický tok  $\Phi$  s proudem již neroste a je konstantní. Točivý moment sériového motoru roste tudíž pouze lineárně s proudem. Na charakteristice je tato oblast znázorněna přibližně přímkou, zatímco nenasycený stav je znázorněn parabolou. [5]

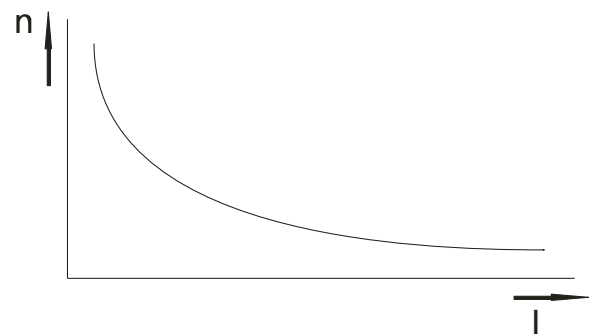
Další důležitou charakteristikou stejnosměrného sériového motoru je charakteristika mechanická. Jedná se o závislost točivého momentu motoru na jeho rychlosti. Mechanická charakteristika stejnosměrného motoru je uvedena na obr. 4. Jak můžeme vidět, točivý moment stejnosměrného sériového motoru je nepřímo úměrný druhé mocnině rychlosti. Z charakteristiky nadále vyplývá, že teoreticky pro nulový točivý moment vychází nekonečně velká rychlost při nulovém proudu a toku  $\Phi$ . Na druhou stranu nulové rychlosti odpovídá teoreticky nekonečně velký proud a nekonečně velký záběrný moment. Z těchto vlastností



vyplývá jedna velmi důležitá skutečnost a to, že stejnosměrný sériový motor se nesmí spouštět bez zatížení a nesmí běžet naprázdno. Rychlost při chodu naprázdno sice není přirozeně nekonečná, ale může být tak velká, že by se motor mohl poškodit. Záběrný moment stejnosměrného sériového motoru v praxi rovněž není nekonečný, nýbrž konečný. Aby se však snížil proud a k zamezení prudkého momentového rázu se stejnosměrný sériový motor spouští přes spouštěcí odpor. [5] [7]



Obr. 4. Mechanická charakteristika stejnosměrného sériového motoru [7]



Obr. 5. Rychlostní (otáčková) charakteristika stejnosměrného sériového motoru [7]

Poslední charakteristikou, kterou zde zmíníme v souvislosti se sériovým motorem, je rychlostní charakteristika. Jedná se o závislost rychlosti na proudu a je znázorněna na obr. 5. Z obrázku můžeme vidět, že rychlost se při zvyšujícím se zatížení poměrně hodně zmenšuje. Z toho také vyplývá, že sériové motory jsou velmi odolné vůči přetížení. Při přetížení se stroj přibudí a tím zmenší svoji rovnovážnou rychlost. Všechny tyto vlastnosti označujeme jako měkkou, nebo též sériovou rychlostní charakteristiku. [5]

### 3.2.4 Regulace rychlosti, brzdění

Nyní se budeme věnovat regulaci rychlosti. V první řadě je potřeba říct, že rychlost stejnosměrného sériového motoru je přibližně úměrná napětí. Z toho vyplývají možnosti její regulace. V zásadě se dá rychlost sériového motoru regulovat změnou napětí zdroje nebo spouštěcím odporem. Další variantou regulace rychlosti může být též tzv. „shuntování pólů“. Je to regulace zmenšováním budicího proudu, k budicímu vinutí se připojuje paralelně tlumivka. Řízení předřadnými odpory můžeme označit za výrazně ztrátové, „shuntování pólů“ je řízení hospodárné. U vozidel s více trakčními motory lze jednotlivé motory nebo motorové skupiny spojovat na dané trolejové napětí různým způsobem a měnit tak tím velikost jejich svorkového napětí. [7] [2]

Brzdění sériového motoru se provádí především jako brzdění do odporu. Je tomu tak proto, že brzdění rekuperací není možné při sériovém buzení. Z energetického hlediska není brzdění do odporu brzděním nejdokonalejším, jelikož energii nijak nevyužíváme, ale ztrácí se v odporu. Reverzace sériového motoru se provádí záměnou přívodů kotvy nebo buzení. [7]

### 3.2.5 Konstrukce, údržbová náročnost

Přejdeme-li ještě ke konstrukci a údržbové náročnosti, narazíme na slabé stránky stejnosměrného sériového motoru, které vycházejí z obecné podstaty stejnosměrných strojů. Jedná se především o komutátor a kartáče a z nich vyplývající nedostatky a omezení. Za všechno asi zmíníme nutnost častých a pravidelných kontrol těchto částí stroje v provozu. [2]

### 3.2.6 Závěr, příklad vozidla

Shrňme nyní výhody a nevýhody stejnosměrného sériového motoru. Sériový motor můžeme označit za ideální trakční motor, především díky jeho měkké otáčkové (rychlostní) charakteristice, dále pro jeho velký záběrný moment. Další velkou výhodou je možnost velkého přetížení sériového motoru díky samočinnému snížení rychlosti při přetížení. Nevýhodou sériového motoru je nemožnost brzdit rekuperací a přítomnost komutátoru.

Pro zajímavost můžeme na závěr kapitoly věnované sériovému motoru uvést příklad vozidla se sériovým motorem, se kterým se můžeme setkat každý den. Nejznámějším a také nejrozšířenějším vozidlem elektrické traktice se stejnosměrným sériovým motorem je jednoznačně československá tramvaj Tatra T3, vyráběná podnikem ČKD Praha. Tato tramvaj byla vyráběna od roku 1962 více jak třicet let. S počtem téměř 14 000 vyrobených kusů je zřejmě nejpočetněji vyráběným tramvajovým vozem na světě. V různých úpravách tento vůz můžeme vidat dodnes v běžném provozu, je také k vidění ve většině států bývalého východního bloku. V současné době jsou tramvaje T3 rekonstruovány a modernizovány a to hlavně z důvodů prodloužení životnosti a zvýšení hospodárnosti. [12] [2]

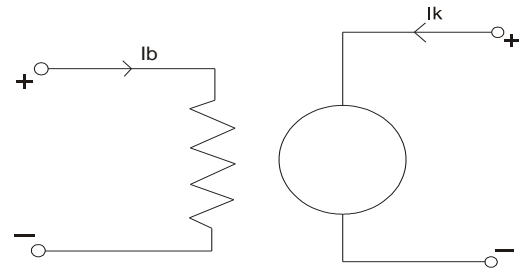


Obr. 6. Tramvaj T3 v provozu v Plzni (převzato z [16])

### 3.3 Cize buzený motor

#### 3.3.1 Úvod, náhradní schéma

Nyní přejdeme k druhému typu stejnosměrného motoru, kterému se budeme věnovat. Je jím stejnosměrný motor cize buzený. Náhradní schéma cize buzeného stejnosměrného motoru je uvedeno na obr. 7.

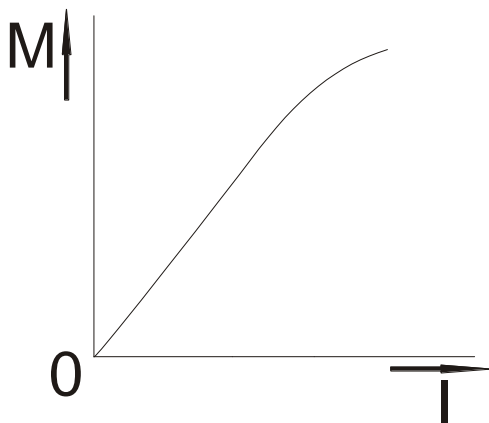


Obr. 7. Náhradní schéma cize buzeného motoru [14]

Hlavním rozdílem oproti stejnosměrnému sériovému motoru, jak můžeme vidět z obrázku, je to, že cize buzený motor má budící vinutí napájeno z jiného zdroje, než vinutí kotvy. Každé vinutí se řídí zvlášť. Cize buzený stejnosměrný motor má, na rozdíl od motoru sériového, tvrdé otáčkové charakteristiky. Znamená to, že i malé změny napětí působí při konstantním buzení velké změny proudu a tomu odpovídající změny momentu. Je jasné, že to je pro vozidla elektrické trakce nepřijatelné. Proto je nezbytné plynulé řízení napětí jak v obvodu kotvy, tak v obvodu buzení. Stejnoseměrný cize buzený motor nelze řídit stupňovitou změnou napětí. [2] [14]

#### 3.3.2 Charakteristiky

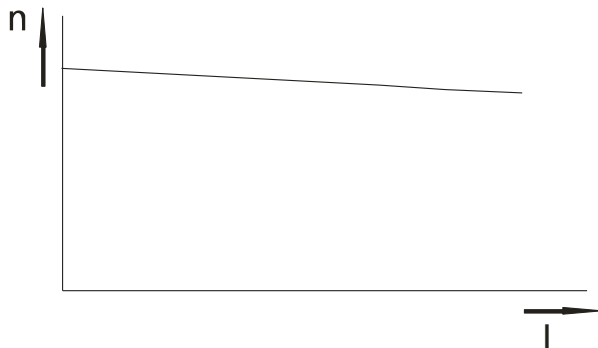
Nyní přejdeme k momentové charakteristice stejnosměrného cize buzeného motoru. Momentová charakteristika se dá popsat pomocí rovnice (1). Při konstantním budícím proudu je tedy i magnetický tok  $\Phi$  konstantní, moment tedy roste lineárně s proudem a momentová charakteristika je tedy přímková. Při vyšších proudech se může projevit odbuzení reakcí kotvy. [7]



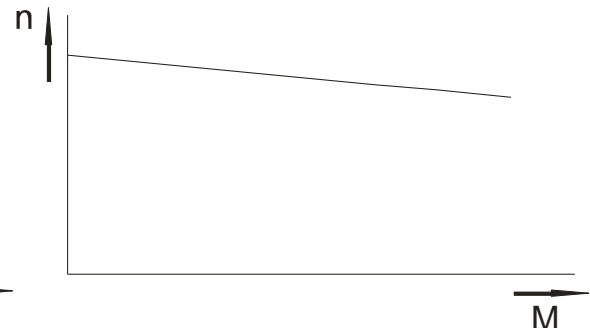
Obr. 8. Momentová charakteristika stejnosměrného cize buzeného motoru [7]

Již jsme mluvili o tom, že stejnosměrný cize buzený motor má rychlostní (otáčkovou) charakteristiku tvrdou. Její průběh je znázorněn na obr. 9. Z průběhu vidíme, že rychlost s narůstajícím proudem jen nepatrně klesá. Klesá z důvodu úbytku na kotvě. [14] [7]

Jelikož moment je přibližně úměrný proudu, mechanická charakteristika cize buzeného motoru je velmi podobná rychlostní charakteristice a je zobrazena na obr. 10. Opět zde vidíme, že otáčky s narůstajícím momentem klesají jen nepatrně. [7]



Obr. 9. Rychlostní (otáčková) charakteristika stejnosměrného cize buzeného motoru [7]



Obr. 10. Mechanická charakteristika stejnosměrného cize buzeného motoru [7]

### 3.3.3 Regulace rychlosti, brzdění, údržbová náročnost

Dále se budeme zabývat regulací rychlosti. K pochopení způsobů regulace rychlosti nám pomůže rovnice (2) popisující motor v ustáleném stavu:

$$U_k = R_k \cdot I_k + U_i \quad (2)$$

Jelikož indukované napětí můžeme vyjádřit dle známé rovnice (3):

$$U_i = k \cdot \Phi \cdot \omega \quad (3)$$

Můžeme upravit původní rovnici (2) na tvar:

$$U_k = R_k \cdot I_k + k \cdot \Phi \cdot \omega \quad (4)$$

Z rovnice (4) nyní vyjádříme otáčky  $\omega$ :

$$\omega = \frac{U_k}{k \cdot \Phi} - \frac{R_k}{k \cdot \Phi} \cdot I_k \quad (5)$$

Jelikož moment můžeme popsat známou rovnicí (6):

$$M = k \cdot \Phi \cdot I \quad (6)$$

Dále rovnici (5) upravíme:

$$\omega = \frac{U_k}{k \cdot \Phi} - \frac{R_k}{(k \cdot \Phi)^2} \cdot M \quad (7)$$

Z této rovnice již vidíme, že rychlost stejnosměrného cize buzeného motoru lze regulovat v zásadě dvěma způsoby. Prvním je regulace změnou napětí na kotvě, druhým způsobem je regulace změnou magnetického toku  $\Phi$ , tedy změnou budícího proudu. Při nízkých otáčkách se reguluje rychlost tak, že se motor plně nabudí a rychlost se reguluje změnou napětí na kotvě. Tak se postupuje až do jmenovitých otáček. Dále již nemůžeme zvyšovat napětí, tudíž

napětí již nezvyšujeme, ale začneme motor odbuzovat. Při regulaci odbuzováním nám však využitelný moment klesá. Regulace napětím je regulace s konstantním momentem, regulace odbuzováním je regulace s konstantním výkonem. Motor se tedy nejprve rozbíhá s konstantním momentem, poté s konstantním výkonem. Graficky je tento proces znázorněn na obrázku. [14] [7]

Brzdění stejnosměrného cize buzeného motoru se dá v zásadě provádět třemi způsoby. Jednak brzdění do odporu, které se provádí tak, že chceme-li motor zabrzdit, odpojíme ho od napětí a připojíme k němu odpor. Ze spotřebiče se nám stane zdroj (z motoru dynamo), obrátí se směr proudu a kinetická energie se ztrácí v odporu. Z energetického hlediska tento způsob je velmi nevýhodný, jelikož není nijak využita energie, ale pouze se ztrácí na odporu. Druhým způsobem je brzdění protiproudem, které je ovšem z energetického hlediska ještě horší, neboť energii do odporu dodává motor i síť. V podstatě brzdění protiproudem není nic jiného, než rozběh motoru na druhou stranu. Konečně se dostáváme ke třetímu způsobu a tím je brzdění rekuperací, které se využívá. Je to brzdění energeticky nejpříjemnější, jelikož kinetická energie se nám předává zpátky do sítě. Nevýhodou ovšem je, že brzdění rekuperací je drahé, jelikož potřebujeme zdroj proměnného napětí. Princip zjednodušeně spočívá v tom, že snížíme napětí a z motoru se nám tudíž stane dynamo, ze zdroje spotřebič a obrátí se nám směr proudu. [14]

Reverzace stejnosměrného cize buzeného motoru se provádí změnou polaritu na svorkách kotvy nebo změnou polaritu na svorkách budícího vinutí. Nesmí se však změnit polarita obou vinutí současně. [7]

Co se týče údržbové náročnosti, platí to samé, co bylo zmíněno u motoru sériového. Opět je zde problém s komutátorem a kartáči.

### 3.3.4 Závěr, příklad vozidla

Na závěr můžeme shrnout, stejně tak jak jsme to udělali u sériového motoru, výhody a nevýhody motoru cize buzeného. Hlavní výhodou cize buzeného motoru je snadná a plynulá regulace rychlosti. Dále pak oproti sériovému motoru možnost brzdění rekuperací. Nesmíme zapomenout ani na bezkontaktní reverzaci. Nevýhodou je nutnost plyně regulovatelného zdroje pro napájení kotvy a buzení, což bylo možné až když byly k dispozici výkonové polovodičové měniče.

Na úplný závěr ještě pro úplnost zmíníme příklad vozidla se stejnosměrným cize buzeným motorem. Jedná se například o českou lokomotivu Škoda řady 163. Lokomotiva je osazena čtyřmi trakčními stejnosměrnými šestipólovými cize buzenými motory. Tato lokomotiva byla vyráběna mezi lety 1984 až 1992, její maximální rychlost je 140 km/h a setkat se s ní můžeme na železnici dodnes. [10] [2]



Obr. 11. Lokomotiva Škoda řady 163 (převzato z [10])

## 4 Asynchronní stroje

### 4.1 Úvod

Asynchronní motory jsou v současné době nejvíce používanými a nejrozšířenějšími elektromotory. Jejich masivní rozšíření a použití je dáno některými příznivými vlastnostmi, které tyto motory mají. Asi nejvýznamnější je konstrukční jednoduchost, z čehož vyplývá další v dnešní době velmi důležitá vlastnost, kterou jsou nízké výrobní náklady. V neposlední řadě jsou asynchronní motory v porovnání s ostatními spolehlivější a jejich nároky na údržbu jsou ze všech elektromotorů nejmenší. [7] [6]

Mezi nevýhody asynchronních motorů bychom mohli zařadit obtížnější regulaci rychlosti a také velký proudový náraz při rozběhu, který se snažíme různými způsoby omezovat. [7]

V elektrické trakci dlouho dominovaly motory stejnosměrné. Bylo tomu tak hlavně pro jejich příznivé vlastnosti, ale hlavně také proto, že překážkou pro používání motorů asynchronních v elektrické trakci byla již výše zmíněná regulace otáček. Možnost plynulé a hospodárné regulace otáček asynchronního motoru přinesl až rozvoj vypínatelných polovodičových součástek.

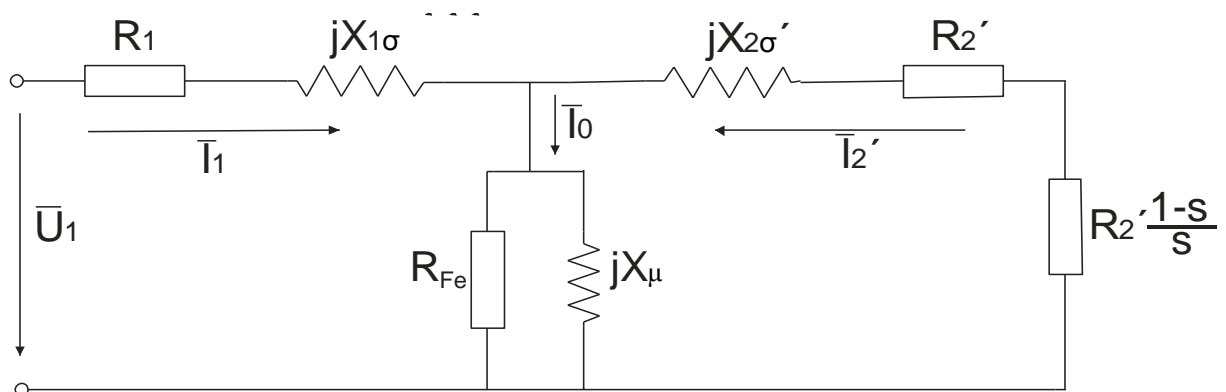
V současné době trakčních vozidel s asynchronními motory existuje již velké množství a dá se říct, že naprostá většina dnes vyráběných trakčních vozidel je vybavena pohony s asynchronním motorem.

Pro trakční účely se využívají třífázové asynchronní motory s kotvou nakrátko napájené z měničů proměnným napětím a kmitočtem. [21]

## 4.2 Náhradní schéma

Abychom mohli rozebrat některé důležité vlastnosti asynchronního motoru, vyjdeme z jeho náhradního schématu. Náhradní schéma asynchronního stroje, které platí pro harmonické napájení, ustálené stavy a je vztaženo na jednu fázi, je znázorněno na obr. 12. [6]

Popíšeme si nyní jednotlivé parametry náhradního schématu.  $U_1$  je napájecí napětí jedné fáze satorového vinutí. Odpor  $R_1$  reprezentuje odpor vinutí satoru, na kterém průchodem proudem  $I_1$  vzniká satorový úbytek napětí,  $jX_{\sigma 1}$  je rozptylová reaktance vinutí satoru. Fiktivní odpor  $R_{Fe}$  a magnetizační reaktance  $jX_{\mu}$  reprezentují magnetický obvod stroje, proud příčné větve  $I_0$  je nazýván proudem naprázdno.  $jX_{\sigma 2'}$  je rozptylová reaktance vinutí rotoru, Jouleovy ztráty v rotoru reprezentuje odpor  $R_2'$ . Velmi důležitým a podstatným prvkem náhradního schématu je odpor  $R_2' \frac{1-s}{s}$ , který přímo reprezentuje výkon stroje na hřídeli. [5] [6] [7]



Obr. 12. Náhradní schéma asynchronního motoru s klecí nakrátko [6]

## 4.3 Momentová charakteristika

Při rozboru momentu asynchronního stroje vyjdeme z náhradního schématu, především z fiktivního odporu reprezentujícího výkon stroje na hřídeli.

Vyjdeme ze známé rovnice:

$$P = M \cdot \omega \quad (8)$$

Po dosazení dostáváme rovnici pro moment stroje:

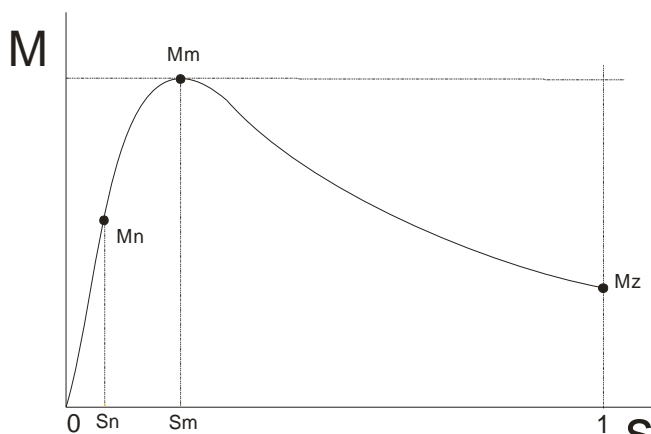
$$M = \frac{m_1}{\omega_1} \cdot \frac{R_2'}{s} \cdot I_2' \quad (9)$$

V této rovnici máme moment stroje vyjádřen v závislosti na dvou proměnných daných zatížením stroje ( skluz a proud rotoru). Po vyjádření proudu rotoru získáváme výslednou rovnici pro moment asynchronního stroje.

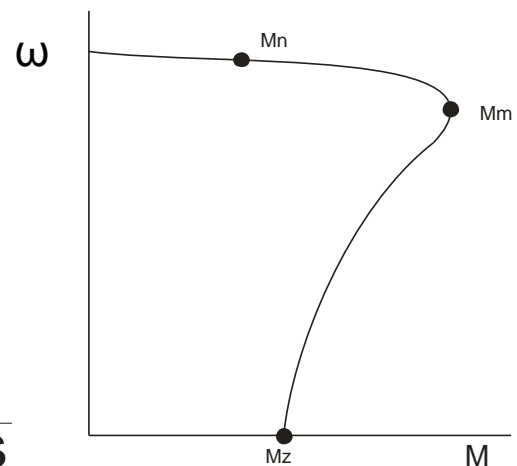
$$M = \frac{m_1}{\omega_1} \cdot \frac{R_2'}{s} \cdot \frac{U_1^2}{(R_1 + C_1 \cdot \frac{R_2'}{s})^2 + (X_{1\sigma} + C_1 X_{2\sigma}')^2} \quad (10)$$

Zde můžeme na první pohled vidět nepříjemnost vyplývající z této rovnice. Moment asynchronního motoru při konstantním skluzu je úměrný čtverci napětí, což je nevýhoda tohoto motoru. Tento problém se projevuje hlavně při rozběhu stroje, jelikož velký záběrný proud způsobuje pokles napětí v síti, horší však je kvadratický pokles momentu. [6] [7]

Graficky znázorněná momentová charakteristika asynchronního motoru v závislosti na skluzu je na obr. 13. Vyznačeny jsou významné hodnoty momentu a skluzu. Asynchronní trakční motor pracuje pouze ve stabilní části momentové charakteristiky, v oblasti mezi nulovým momentem a momentem zvratu.



Obr. 13. Momentová charakteristika asynchronního motoru v závislosti na skluzu



Obr. 14. Rychlostní charakteristika asynchronního motoru [14]

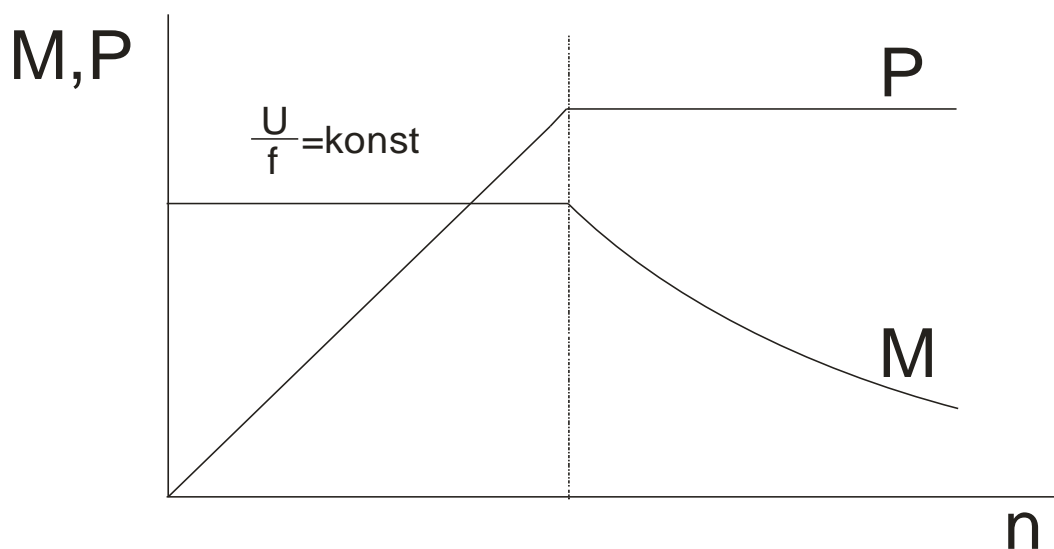
#### 4.4 Řízení asynchronních motorů

Nyní přejdeme k řízení asynchronních motorů. Jak vyplývá z výše uvedeného, asynchronní motor se nedá smysluplně a hospodárně řídit napětím. Jelikož řízení rychlosti skluzem je ztrátové a přepínáním počtu pólů lze regulovat pouze skokově, vychází nám jako jediný možný způsob plynulého a hospodárného řízení asynchronních motorů řízení současnou změnou napětí a frekvence.



Asynchronní motor má v obvyklé pracovní oblasti tzv. tvrdou rychlostní charakteristiku, jeho rychlost se se zatížením poměrně málo mění. Její průběh můžeme vidět na obr. 14. [14]

Při řízení pomocí kmitočtu se dynamické vlastnosti motoru blíží stejnosměrným motorům s cizím buzením. K pochopení řízení pomocí frekvenčních měničů nám pomůže obr. 15. Z obr. je názorně vidět způsob řízení asynchronního motoru. Z klidu se motor rozbíhá s konstantním momentem a výkon stroje se zvyšuje lineárně, za současného zvyšování napětí a frekvence a při konstantním poměru těchto veličin. Napětí ovšem nelze zvyšovat neustále, dosáhneme-li napětí jmenovitého, nemůžeme již jej dále zvyšovat. Od tohoto okamžiku s napětím již nehýbeme a zvyšujeme pouze frekvenci. To má za následek odbuzování motoru, otáčky dále rostou, nicméně moment klesá. Výkon stroje je konstantní. [14]



Obr. 15. Řízení rychlosti asynchronního motoru

V dalším textu se budeme věnovat brzdění asynchronních motorů. Asynchronní motory se dají brzdít třemi způsoby. Jedná se o brzdění protiproudem, brzdění generátorické (rekuperací) a brzdění stejnosměrným proudem. Posledními dvěma možnostmi se ovšem nedá brzdít až do klidu. [7]

Brzdění protiproudem se provádí přepnutím dvou přívodů statoru, tím se obrátí smysl točení točivého pole, obrátí se i smysl momentu a motor se brzdí. Motor pracuje v oblasti brzdy, při hodnotách skluzu větších než 1. Aby se motor po zabrzdění nerozeběhl na druhou stranu, musí být při nulové rychlosti odepnut od sítě. [7] [14]

Při brzdění stejnosměrným proudem (elektrodynamické brzdění) se stator odpojí od sítě a budí se stejnosměrným proudem. Tím statorové vinutí vytvoří stojící magnetické pole, které indukuje v kotvě motoru napětí a stroj se brzdí jako generátor. Při nulové rychlosti otáčení je brzdňný moment nulový, není proto možné brzdít tímto způsobem až do klidu. Většinou je právě elektrodynamická brzda hlavní provozní brzdou vozidla s asynchronním trakčním motorem. Při brzdění vrací energii zpět do sítě, nebo ji maří v odporníku. Doplněna je mechanickou brzdou, kotoučovou s elektromechanickým ovládním. Zajišťuje dobrzdění vozidla do zastavení. [7] [14]

Generátorické brzdění (brzdění rekuperací) se využívá například při jízdě z kopce, kdy se dostane asynchronní motor do nadsynchronních otáček, skluz je menší než 1 a stroj pracuje jako asynchronní generátor, dodává energii zpátky do sítě a brzdí svým generátorickým momentem, kterým brání zvyšování otáček do vyšší nadsynchronní rychlosti. Při napájení ze střídače lze udržet motor v lineární oblasti generátorické části jeho momentové charakteristiky snížením napájecího kmitočtu a tak brzdít rekuperací v širokých mezích otáček. Opět, jako v předchozím případě, nelze brzdít tímto způsobem až do nulových otáček. [7]

#### 4.5 Příklad vozidla s asynchronním trakčním motorem

Jako příklad vozidla s asynchronním trakčním motorem uvedeme tramvaj Škoda 03T „Astra“, která je součástí tramvajového vozového parku PMDP. Jedná se o čtyřnápravovou tramvaj s neseným středním nízkopodlažním dílem. Tramvaj je určena pro napájení z troleje 600 Vss, nebo 750 Vss. Vybavena je čtyřmi asynchronními trakčními motory Škoda o výkonech 85 kW s vlastním chlazením. Asynchronní motory jsou napájeny napěťovým IGBT střídačem. Hlavní provozní brzdou je elektrodynamická brzda o maximálním výkonu 750 kW. [19]



Obr. 16. Tramvaj Škoda 03T (převzato z [20])

## 4.6 Závěr

Na závěr kapitoly můžeme shrnout některé důležité vlastnosti, výhody a nevýhody použití asynchronních motorů v elektrické trakci.

Hlavní výhodou asynchronních trakčních motorů je v současné době jejich cena. Ze všech elektromotorů jsou nejlacinější. Tato vlastnost je navíc podpořena vysokou spolehlivostí, jednoduchostí a nízkými požadavky na údržbu. Z těchto výše uvedených důvodů jsou asynchronní motory dnes instalovány do trakčních vozidel v drtivé většině.

Nic na tom nemění ani nevýhody s asynchronními motory spojovány. Dříve se jednalo zejména o obtížnou regulaci rychlosti, což dnes již není problémem, díky výkonovým polovodičovým měničům. Další nevýhodou je velký proudový náraz při rozběhu, který lze ovšem různými způsoby omezovat. Dále asynchronní motory způsobují trvalé jalové zatížení napájecí sítě.

## 5 Synchronní stroje

### 5.1 Úvod

Dosud jsme se věnovali stejnosměrným strojům, které zcela dominovaly v elektrické trakci ještě před 20 lety, a konstrukčně jednodušším asynchronním strojům, které se začaly uplatňovat s rozvojem techniky výkonových polovodičových měničů. Uplatnění synchronních strojů malých a středních výkonů v elektrické trakci přinesla až aplikace permanentních magnetů ze vzácných zemin. Synchronní motory s těmito permanentními magnety se označují a budeme je dále nazývat PMSM (Permanent Magnet Synchronous Motor). Již několik let se využívají tyto stroje v jiných oblastech, jako je například servotechnika a robotika, v poslední době ovšem díky svým příznivým vlastnostem nalézají uplatnění i v elektrické trakci. [4]

### 5.2 Permanentní magnety

Permanentní magnety představují hlavní a klíčovou součást PMSM. V zásadě jsou vyráběny ze dvou typů speciálních slitin. První skupinou jsou materiály na bázi prvků Neodym – Železo – Bór, druhou skupinou jsou materiály na bázi prvků Samarium – Kobalt.

Velkou výhodou permanentních magnetů z těchto typů speciálních slitin, oproti běžným permanentním magnetům na bázi feritu, je velká remanentní magnetická indukce, která se v závislosti na konkrétním typu slitiny pohybuje od 1 T u magnetů SmCo, až do 1,25 T u magnetů NdFeB, přičemž remanentní indukce běžných permanentních magnetů se pohybuje přibližně okolo 0,3 T. Častěji jsou používány magnety NdFeB. Mají větší hodnotu remanentní magnetické indukce a jsou cenově výhodnější. Jejich nevýhodou oproti magnetům SmCo je menší odolnost vůči korozi a zní vyplývající menší životnost, udávají se maximálně desítky let.

Značným problémem a nevýhodou u permanentních magnetů vyrobených z těchto speciálních slitin je ztráta magnetických vlastností při zvýšené teplotě. Z tohoto důvodu je maximální provozní teplota u magnetů SmCo přibližně 300 °C, u magnetů NdFeB dokonce ještě přibližně třikrát menší, což vyžaduje nutnost výborného chlazení, nebo tepelné izolace permanentních magnetů. Další nevýhodou permanentních magnetů je jejich vysoká pořizovací cena.

Výhodou strojů s permanentními magnety je absence budícího vinutí a tudíž i absence ztrát v budícím vinutí, menší hmotnost a větší výkon v relativně malém objemu. [4]

### 5.3 Provedení synchronních motorů pro trakci

PMSM pro elektrickou trakci můžeme v zásadě rozdělit do dvou konstrukčních skupin:

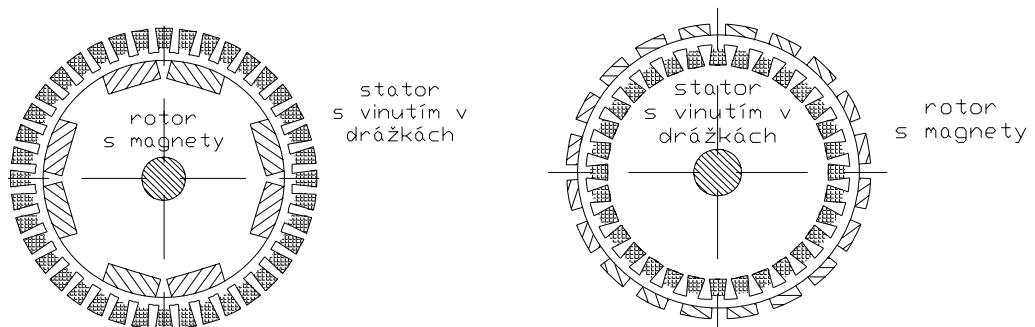
- Konstrukce PMSM s vnitřním rotorem:

Jedná se o klasickou koncepci PMSM. Trojfázové statorové vinutí je uloženo v drážkách železného magnetického obvodu. Permanentní magnety jsou umístěny na rotoru, který je umístěn uvnitř statoru. Póly permanentních magnetů jsou tvořeny dílčími segmenty, jejichž rozměry se pohybují maximálně v jednotkách centimetrů. Na rotor se segmenty upevňují lepením. Statorové vinutí je napájeno z trojfázové soustavy napětí, tudíž se ve statoru tvoří točivé magnetické pole, jehož rychlost je dána frekvencí napájecího napětí statoru a konstrukcí stroje. Póly permanentních magnetů na rotoru jsou silově vázány na točivé pole statoru. Rotor je unášen vlivem magnetických sil, jeho rychlost je totožná s točivým magnetickým polem statoru, což je hlavním charakteristickým rysem synchronního motoru. Je tedy zřejmé, že rychlost otáčení rotoru je možno regulovat změnou frekvence napájecího statorového napětí.

Proto jsou trakční synchronní motory vždy napájeny z výkonových polovodičových měničů napětí s říditelnou výstupní frekvencí. [4]

- Konstrukce PMSM s vnějším rotorem:

Při tomto řešení je trojfázový stator obklopen rotorem s permanentními magnety. Využívá se v případech, kdy je motor přímo integrován v konstrukci kola. Rotor je součástí kola a stator je spojen s jeho osou. [4]



Obr. 17. Konstrukce PMSM s vnitřním rotorem (převzato z [4])

Obr. 18. Konstrukce PMSM s vnějším rotorem (převzato z [4])

## 5.4 Realizovaná vozidla s trakčními PMSM

V České republice byl zatím vyroben pouze jeden typ vozidla s trakčními PMSM. Tímto typem vozidla je plně nízkopodlažní tramvaj 15T ForCity, která byla vyvinuta a vyrobena firmou Škoda Transportation. Tramvaj byla určena pro Dopravní podnik hl. m. Prahy. Vidět ji však můžeme také v lotyšské Rize, kam bylo dodáno více než 20 těchto vozů. Na jaře roku 2013 společnost Škoda Transportation podepsala kontrakt na poskytnutí licence k technologiím na výrobu tohoto typu tramvaje čínské firmě CSR Sifang Quingdao, tudíž tramvaje ForCity bude možno vidět v provozu i v Číně, a to až v počtu 400 kusů. [11] [4]

Tramvaj je vybavena šestnácti trakčními PMSM o výkonu 45kW, zajišťujícími pohon všech šestnácti kol. Celkový výkon tramvaje činí 720kW. Co se týče provedení motorů, jsou použity motory s vnitřním rotorem. Jistě zajímavým údajem je zrychlení z 0 na 60 km/h za 12,5 sekundy. Vize je taková, že do roku 2017 bude v pražských ulicích jezdit 250 těchto plně nízkopodlažních tramvajů, což by mělo představovat jednu třetinu vozového parku. [4] [11]

Dále můžeme zmínit další ve světě realizovaná vozidla s trakčními PMSM. Jedná se například o tramvaj Citadis od firmy Alstom, která umožňuje provoz jak na tramvajových, tak železničních tratích. Tato tramvaj je osazena motory o výkonech 100kW. [4]



Obr. 19. Nízkopodlažní tramvaj 15T ForCity s trakčními PMSM (převzato z [11])

Dalším vozidlem je japonský příměstský vlak e-train. Výkon jednoho motoru u tohoto typu vozidla činí 160kW. [4]

PMSM jsou použity i ve vozech metra. Jedná se o kolové pohony o výkonu 65kW, vyrobeny jsou firmou Siemens a zajímavé na nich je to, že vozy metra jimi poháněné jezdí na pneumatikách. Setkat s nimi se můžeme ve Francii. [4]

Jedny z nejvýkonnějších PMSM, které byly v současnosti vyrobeny, jsou pohony pro francouzské vysokorychlostní vlaky AGV s výkonem 1 MW. [4]

## 5.5 Výhody a nevýhody trakčních motorů s PMSM

V závěru shrňme výhody a nevýhody PMSM do několika stručných bodů. Hlavními výhodami jsou: [4]

- oproti stejnosměrným a asynchronním motorům výrazná úspora hmotnosti a objemu
- možnost konstruovat pomaloběžné výkonné motory
- velká momentová přetížitelnost
- vyšší účinnost vlivem absence ztrát v budícím vinutí rotoru
- efektivní řešení pro plně nízkopodlažní vozidla

Mezi hlavní nevýhody PMSM patří:

- složitější konstrukce a technologie výroby
- nutnost výborného chlazení, případně izolace permanentních magnetů z důvodu nezvratné demagnetizace působením vysokých teplot

- vysoká cena

## 5.6 Závěr

Z počátku se mohlo zdát, že trakční pohony s PMSM jsou pouze specifickým řešením, určeným pro úzkou skupinu aplikací, především pak pro nízkopodlažní vozidla MHD. V poslední době se však oblast jejich působení výrazně rozšířila i na výkonnější hnací železniční vozidla. Důvodem je zcela jistě zdokonalování konstrukce motorů a v neposlední řadě také pokles ceny permanentních magnetů ze speciálních slitin. I přesto všechno je velmi pravděpodobné, že PMSM zřejmě nenahradí v trakci pohony s asynchronními motory zcela. Do jaké míry převezmou jejich úlohu, ukáže zřejmě několik příštích let. [4]

Dle mého názoru i nadále budou v elektrické trakci dominovat motory asynchronní, a to hlavně z důvodu ceny a spolehlivosti. Synchronní stroje si zcela jistě své místo v elektrické trakci najdou, především, jak již bylo řečeno, u nízkopodlažních vozidel MHD, nicméně si myslím, že jejich zastoupení v celkovém objemu výroby nebude, i přes klesající cenu permanentních magnetů, nijak závratné.

## 6 Vzájemné porovnání všech pohonů

V této části práce se budeme zabývat porovnáváním vlastností výše uvedených typů trakčních motorů, a to na základě informací a skutečností uvedených v předchozích kapitolách této práce. Porovnávat tedy budeme trakční motory stejnosměrné, asynchronní a synchronní. Cílem tohoto porovnání je určit, ve kterých kritériích hodnocení trakčních motorů jednotlivé typy vynikají a na druhou stranu samozřejmě také zdůraznit nedostatky jednotlivých typů v porovnání s ostatními. Porovnávat trakční pohony lze z mnoha kritérií a pohledů. Pokusím se nastínit ta kritéria, která dle mého úsudku jsou kritérii nejdůležitějšími.

Prvním kritériem pro porovnání trakčních motorů jsou bezesporu jejich rozměry a s nimi související hmotnost. Z tohoto srovnání vychází nejlépe motory synchronní, jejichž rozměry jsou z důvodu absence budícího vinutí ještě menší, než rozměry motorů asynchronních a samozřejmě i motorů stejnosměrných. S menšími rozměry jde ruku v ruce i nižší hmotnost, což je další významná výhoda.

Velice důležitá je cena. Z tohoto porovnání zcela logicky vynecháme motory stejnosměrné, jelikož v dnešní době se prakticky již do vozidel neinstalují. Zbývají nám tedy k porovnání z hlediska ceny motory asynchronní a synchronní a zde je jednoznačným vítězem asynchronní motor. Je konstrukčně jednodušší a vyrábí se sériově, tudíž jeho cena je velmi příznivá. Je to nejlevnější trakční motor. Vysoká cena synchronních motorů je způsobena použitím permanentních magnetů a složitější technologií výroby.

Údržbová náročnost a spolehlivost je dalším důležitým kritériem. Porovnáme-li naše tři typy motorů, jako první vyřadíme jednoznačně motor stejnosměrný. Důvody jsou zřejmé, jedná se především o kartáče a komutátor. Synchronní motory logicky kvůli tomu, že ještě nejsou používány pro trakční účely dlouhou dobu, nemohou ve spolehlivosti konkurovat motorům asynchronním, které jsou, co se týká kritéria spolehlivosti a údržbové náročnosti, vítězem.

Zajímavé na porovnání jsou jmenovité otáčky, které se u asynchronních strojů pohybují v rozmezí přibližně 800 až 2000 otáček za minutu, což neumožňuje bezpřevodokový pohon. U synchronních strojů ovšem je možná konstrukce výkonných pomaluběžných motorů, které právě naopak jsou vhodné pro tyto bezpřevodokové pohony a mohou být využívány jako kolové pohony integrované přímo v kolech. Například trakční PMSM vyráběný společností Škoda Electric má jmenovité otáčky 196 ot./min. [22]

Stejnoseměrné motory v dnešní době rozhodně nepatří mezi moderní trakční motory, setkáváme se s nimi v některých starších typech vozidel a je jen otázkou času, kdy budou nahrazeny úplně. Synchronní motory jsou vhodné díky některým vlastnostem pro konstrukci nízkopodlažních vozidel, jejich nevýhodou je cena. Z porovnání těchto motorů jednoznačně pro nejšířší uplatnění, po zvážení všech kladných i záporných vlastností, vychází nejlépe asynchronní motor.

## **7 Budoucnost pohonů v elektrické trakci**

### **7.1 Úvod**

V poslední kapitole práce se pokusím nastínit můj pohled na budoucnost elektrické trakce z pohledu elektrických pohonů. Nejprve se budeme věnovat lineárním elektromotorům,



jakožto nejmodernějšímu způsobu trakční dopravy. V dalších částech této kapitoly zhodnotíme budoucnost klasických trakčních pohonů používaných běžně i u nás.

## 7.2 Lineární elektromotory

Co se týče budoucnosti elektrických pohonů, je potřeba zmínit lineární elektromotory. Zvláštností lineárního elektromotoru je, že nevykonává pohyb rotační, nýbrž pohyb posuvný. Jde tedy o netočivý stroj, který nemá žádné rotující součásti. Stator lineárního elektromotoru je rozvinutý po celé délce pojezdové dráhy. V elektrické trakci je tento způsob pohonu využíván pro pohon vlaků na magnetickém polštáři. Jedná se o tzv. Maglev systém. [9]

### 7.2.1 Maglev systém

Mezi základní charakteristiky systému Maglev patří:

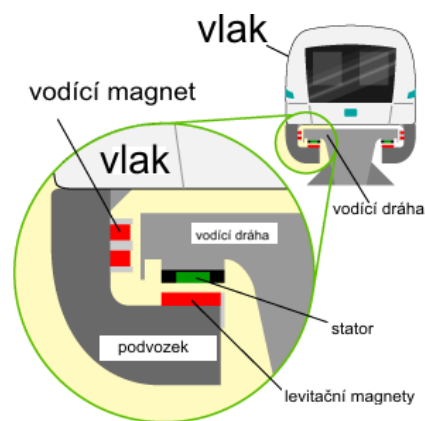
- Vysoká provozní rychlost dosahující 400 až 500 km/h
- Jízda bez kol – vlak Maglev nemá kola, místo kol a kolejnice je zde systém bezkontaktní levitace (ve skutečnosti některé typy kola mají, slouží k rozjezdu)
- Stabilní a pohodlná jízda
- Velké zrychlení, vysoký brzdný výkon
- Vysoká bezpečnost
- Šetrnost k životnímu prostředí

Jedná se tedy o vysokorychlostní, pohodlný, k životnímu prostředí šetrný a bezpečný systém. [9]

System bezkontaktní levitace a vedení vlakových soustav Maglev pracuje na principu elektromagnetické levitace. Jedná se o dva typy magnetů. První z nich, magnety levitační, zvedají vozidlo na vodící dráhu. Magnety vodící udržují soupravu na vodící dráze a vyrovnávají stranové odchylky. Levitační a vodící magnety jsou uspořádány po obou stranách vozidla a po celé jeho délce. [9]



Obr. 20. Vlak Transrapid typu Maglev (převzato z [17])



Obr. 21. Systém bezkontaktní elektromagnetické levitace [9]

Jako pohonu je využíváno synchronního lineárního motoru s dlouhým státorem. Ten se používá nejen k urychlování, ale též k brzdění soupravy. Statorové trojfázové vinutí není osazeno na vozidle, nýbrž po obou stranách vodící dráhy. Motor nevytváří točivé magnetické pole, ale elektromagnetické přímočaře se pohybující pole. Levitační magnety ve vozidle fungují stejně jako rotor elektromotoru. Průchodem střídavého proudu třífázovým vinutím se generuje přímočaře posouvající se elektromagnetické pole, které posouvá soupravou. Velikou výhodou je, že rychlost lze plynule regulovat od stavu v klidu až po maximální provozní rychlost. Rychlost se reguluje změnou kmitočtu střídavého proudu. Při brzdění dochází k reverzaci pole, z motoru se stane generátor, který pak bezkontaktně brzdí vozidlo. Elektromagnety jsou buzeny supravodivými cívkami. Tyto cívkky nejsou využívány jen k levitaci, ale také k pohonu, slouží jako rotor lineárního synchronního motoru. Pro dosažení elektrodynamické levitace, musí být vozidlo uvedeno do pohybu. Jestliže vozidlo stojí, nedochází k levitaci, protože se neindukují žádné proudy. Tento typ je vybaven koly a rozjíždí se stejně jako běžný vlak. Druhý typ, který využívá elektromagnetické levitace (německý Transrapid), může levitovat i v klidu, nemá tedy kola vůbec. [15] [9]

Vzhledem k tomu, že statická část stroje se nachází podél celé pojezdové dráhy, bývají pořizovací náklady u velkých pohonů vybavených lineárními elektromotory, mezi které rozhodně systém Maglev patří, velmi vysoké. Na druhou stranu, co se týká provozních nákladů a nákladů na údržbu, ty jsou naopak relativně nízké. Důvodů je hned několik:

- Potřeba méně provozního personálu provozního dispečinku při plně automatickém řízení
- Nižší spotřeba energie ve srovnání se srovnatelnými dopravními systémy

- Snižuje se mechanické opotřebení z důvodu bezkontaktní technologie
- Nahrazení mechanických součástí, které podléhají opotřebení, elektronickými a elektromagnetickými komponenty

Přejdeme nyní k otázce bezpečí a pohodlí. Díky bezkontaktní technologii je jízda vlaku velmi stabilní a pohodlná. Cestující tak nemusejí za jízdy používat bezpečnostní pásy, dokonce se mohou vlakem bezpečně procházet i při velmi vysokých rychlostech. Díky tomu, že vlak pevně obepíná vodící dráhu, je prakticky vyloučeno vykolejení. Nikdy nemůže dojít k čelní srážce, jelikož se jedná o dvojkolejný provoz. Dále ani ke srážce zezadu nemůže dojít, neboť vlak je napájen pouze v jednom úseku, ostatní úseky nejsou napájeny. [9]

Co se týká oblasti interakce s životním prostředím, je třeba zmínit několik věcí. Díky bezkontaktním technologiím není sama jízda ani pohon zdrojem hluku. Při rychlostech zhruba kolem 200 km/h projíždí vlak obydlenými oblastmi tiše, při rychlostech nad 200 km/h je zdrojem nižší hlučnosti než osobní automobil jedoucí rychlostí přibližně třikrát menší. Dalším velkým plusem je absence znečišťujících látek a emisí spalin podél trati, v neposlední řadě také nároky na zábory území pro vodící dráhu jsou nízké. Elektromagnetické pole, které vytváří vlak Maglev rovněž neohrožuje ani cestující, ani životní prostředí. Je daleko slabší, než elektromagnetické vyzařování běžného elektrického spotřebiče. [9]

System Maglev může najít uplatnění například ve velkých městských aglomeracích. Díky velké rychlosti může přiblížit centrum aglomerace okolním městům tím, že zkrátí dobu, za kterou je možno urazit vzdálenost mezi jakýmkoliv městem a centrem aglomerace. Díky velké rychlosti přepravy může systém Maglev celkem dobře konkurovat i letecké dopravě a může najít uplatnění v přepravě mezi vzdálenými městy.

Přestože vysokorychlostní vlaky systému Maglev můžeme považovat za nejvyspělejší systém dopravy, není příliš rozšířen. Masovému rozšíření tohoto systému brání zejména vysoké náklady na vybudování vodící dráhy. Do jaké míry se budeme s tímto systémem setkávat a do jaké míry bude rozšířen, ukáže budoucnost. V současné době se chystá výstavba vysokorychlostních železnic na magnetickém systému v Japonsku. Jedná se o železnici mezi městy Tokio, Osaka a Nagoya. Cena tohoto projektu je odhadována na 114 miliard dolarů. Se stavbou se má začít v roce 2014 a kompletně má být dokončena v roce 2045. Důvodem takto

dlouhé doby výstavby je fakt, že trasy musí být co nejrovnější. Z tohoto důvodu se počítá s výstavbou mnoha mostů a s vybudováním masivních tunelů pod horami. [18] [9]

Dle mého názoru technologie Maglev je technologií budoucnosti. Její rozšíření ovšem bude velmi záviset na financích, jelikož se jedná o technologii velmi drahou. Dá se tedy předpokládat, že masivní rozšíření po celém světě není otázkou několika let, nicméně v některých oblastech by uplatnění najít mohla.

### 7.3 Budoucnost stejnosměrných strojů

Stejnosemřné stroje v minulém století v elektrické trakci zcela dominovaly. Z toho je jasné, že i přesto, že dnes se již vozidla s těmito motory nevyrábějí, budeme stejnosměrná vozidla potkávat s určitostí ještě několik let. V okolí Plzně se na železnici ještě asi dlouho budeme potkávat s lokomotivou řady S 499.02 (242), nebo v plzeňských ulicích s trolejbusy Škoda 14 TrM. Je však jasné, že podíl vozidel se stejnosměrnými motory bude v provozu stále menší, nicméně rozhodně zatím nepatří do muzea.



Obr. 22. Lokomotiva řady S 499.02



Obr. 23. Trolejbus Škoda 14 TrM

### 7.4 Budoucnost asynchronních motorů a motorů synchronních

Budoucnost těchto dvou typů trakčních motorů je zcela odlišná od budoucnosti motorů stejnosměrných. Zatímco stejnosměrné motory již prakticky pouze dožívají a nové už se nevyrábí, situace u asynchronních a synchronních motorů je jiná.

Asynchronní motory se dnes vyrábějí ve velkých sériích a jsou dnes jednoznačně vedoucími motory na trhu trakčních motorů. Naprostá většina motorů, které se vyrábějí za trakčními účely, jsou motory asynchronní, což díky sériové výrobě přispívá k jejich ještě nižší ceně. Z tohoto důvodu (z důvodu ceny), a s přihlédnutím k jejich vysoké spolehlivosti a

nízkým nárokům na údržbu si myslím, že asynchronní motory budou ještě dlouhou dobu naprosto dominantní a nemyslím si, že je v blízké budoucnosti nějaký jiný typ motoru nějak významně nahradí.

Synchronní motory se využívají pro trakční účely poměrně krátce. Využití nalézají převážně u plně nízkopodlažních konstrukcí kolejových vozidel, převážně tramvají. V tomto odvětví skutečně najdou uplatnění, nicméně jelikož cena těchto motorů je poměrně vysoká, myslím si, že nenahradí v nejbližší době motory asynchronní a budou pouze specifickým řešením pro konkrétní požadavky.

## 8 Závěr

Cílem práce bylo popsat provedení jednotlivých typů trakčních motorů, které jsou dnes v elektrické trakci používány a zmapovat jejich historický vývoj. V úvodní části práce jsou shrnuty a uceleny nejrůznější požadavky na moderní trakční elektromotory. Další kapitoly jsou věnovány popsání jednotlivých typů trakčních motorů chronologicky v pořadí, ve kterém našly na trakčních vozidlech uplatnění. V těchto kapitolách je stručně nastíněna konstrukce, problematika řízení, regulace a další vlastnosti těchto motorů. U každého typu motoru je také uveden příklad vozidla, které je tímto motorem vybaveno. Rozsáhlejší příklady vozidel se stejnosměrnými a asynchronními motory jsou též uvedeny v přílohách práce. Následující kapitola se věnuje porovnání motorů, které byly popisovány v kapitolách předcházejících. Zde se snažím zdůraznit přednosti některých typů motorů před jinými a naopak také nedostatky některých typů oproti typům ostatním. Poslední část práce je věnována budoucnosti elektrických pohonů v elektrické trakci. Úvodní pasáž této kapitoly je věnována dnes velmi moderní a aktuální problematice lineárních elektromotorů a nastínění problematiky vysokorychlostních vlaků provozovaných na principu magnetické levitace. V dalších pasážích této závěrečné části práce se znovu zabývám klasickými elektromotory. Je zde nastíněna jejich možná budoucnost s ohledem na současný vývoj a vlastnosti těchto motorů s přihlédnutím k ceně a dalším okolnostem. V přílohách práce je uveden produktový katalog trakčních motorů firmy Škoda Electric, ve kterém můžeme vidět současnou nabídku trakčních motorů na trhu. Dále jsou v přílohách věnovány dvě části poměrně podrobné analýze trakčních motorů ve vozidlech elektrické trakce v Plzni. V jedné z částí příloh je zobrazeno uložení trakčního motoru v trolejbusu. Přílohy se také věnují vysokorychlostním

vlakům, některým vybraným českým lokomotivám a zapomenout nesmíme ani na bateriový elektrobus Škoda PERUN.

Práce je stručným souhrnem a uceleným přehledem problematiky trakčních pohonů. Cílem práce není obsáhnout veškerou problematiku a informace týkající se dané problematiky, ale z velkého množství informací a z množství nejrůznějších zdrojů vytvořit ucelený a hlavně přehledný souhrn, který bude sloužit zájemcům o danou problematiku.

## Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] PITTERMANN, Martin. *Elektrické pohony: základy*. Vyd. 1. Plzeň: Západočeská univerzita, 2008.
- [2] DANZER, Jiří. *Elektrická trakce I*. 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000
- [3] DANZER, Jiří. *Elektrická trakce II*. 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2001
- [4] Černý, O., Doleček, R., Novák, J.: *Synchronní motory s permanentními magnety pro trakční pohony kolejových vozidel*.  
Dostupné z: [www.cd rail.cz/CLANKY/vts29/2908.pdf](http://www.cd rail.cz/CLANKY/vts29/2908.pdf) [cit. 19-11-2013]
- [5] BAŠTA, Jan, CHLÁDEK, Jaroslav a MAYER, Imrich. *Teorie elektrických strojů*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1968. 582 s.
- [6] BARTOŠ, Václav. *Elektrické stroje I, II*. 1. vyd. Plzeň: VŠSE, 1986. skripta 240 s.
- [7] MĚŘIČKA, Jiří, HAMATA, Václav a VOŽENÍLEK, Petr. *Elektrické stroje*. Vyd. 2, dotisk. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2001. 311 s.
- [8] *Trakční motory* [online]. [cit. 21-2-2014]. Dostupné z: <http://www.skoda.cz/cs/produkty/trakcni-motory/>
- [9] *Šanghajský vlak Maglev* [online]. [cit. 17-2-2014]. Dostupné z: <http://www.svazdopravy.cz/html/cz/maglev.html>
- [10] *Atlas Lokomotiv* [online]. [cit. 18-2-2014]. Dostupné z: <http://www.atlaslokomotiv.net/list.php>
- [11] *Tramvaj Forcity* [online]. [cit. 19-11-2013]. Dostupné z: <http://www.forcitytram.cz/>
- [12] DOLEJŠÍ, Milan. *Tramvaje T3: V práci jsou 50 let, v důchodu však jen jednou nohou*. [online]. 2012 [cit. 20-2-2014]. Dostupné z: <http://www.ceskatelevize.cz/ct24/regiony/203637-tramvaje-t3-v-praci-jsou-50-let-v-duchodu-vsak-jen-jednou-nohou/>
- [13] VRÁNA, Václav. *Elektrické stroje-rozdělení, druhy, provedení, vlastnosti, dimenzování*. [online]. 2004 [cit. 21-2-2014]. Dostupné z: [http://feil.vsb.cz/kat420/vyuka/hgf/rozvody\\_lomy/04\\_el\\_stroje.pdf](http://feil.vsb.cz/kat420/vyuka/hgf/rozvody_lomy/04_el_stroje.pdf)
- [14] ZEMAN, Karel. *Elektrické pohony-výtah z přednášek 2013*.
- [15] MIKUTA, Petr. *Magneticky levitované dopravní systém - zhodnocení a prognóza*. Plzeň, 2012. Bakalářská práce (Bc.). Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická. Vedoucí práce Daniel Mayer.

- [16] ŠLEHOFER, Jan. *Plzeňské tramvaje*. [online]. [cit. 11-3-2014]. Dostupné z: <http://www.plzensketramvaje.cz/?page=downloads.htm>
- [17] *Transrapid-Galery* [online]. [cit. 11-3-2014]. Dostupné z: [http://www.transrapid.de/cgi/en/basics.prg?session=58926742531ef270\\_99967&a\\_no=19](http://www.transrapid.de/cgi/en/basics.prg?session=58926742531ef270_99967&a_no=19)
- [18] *Maglev rychlovlaky* [online]. [cit. 11-3-2014]. Dostupné z: <http://www.vysokorychlostni-zeleznice.cz/maglev-rychlovlaky/>
- [19] *Tříčláňková nízkopodlažní tramvaj Škoda 03 T* [online]. [cit. 19-3-2014]. Dostupné z: [http://fstroj.uniza.sk/web/kdmt/predmety/mhd/\\_alebo\\_aj/03\\_T/ASTRA%20CJ.pdf](http://fstroj.uniza.sk/web/kdmt/predmety/mhd/_alebo_aj/03_T/ASTRA%20CJ.pdf)
- [20] [http://strassenbahn-online.de/Betriebshof/LF050/03T-05T\\_Plzen/index.html](http://strassenbahn-online.de/Betriebshof/LF050/03T-05T_Plzen/index.html)
- [21] DANZER, Jiří. *Elektrická trakce II. Vozidla s asynchronním trakčním motorem*. 2. vyd. Plzeň: Západočeská Univerzita, 2009
- [22] *Škoda Electric - Product catalog 2012, Traction motors*
- [23] *Virtuální muzeum PMDP* [online]. [cit. 23-5-2014]. Dostupné z: [http://www.artofreality.com/images/ukazky/DP\\_Plzen/15/](http://www.artofreality.com/images/ukazky/DP_Plzen/15/)
- [24] *Plzeňské městské dopravní podniky, a.s. – E-mailová komunikace*
- [25] *Plzeňské trolejbusy* [online]. [cit. 23-5-2014]. Dostupné z: <http://www.plzensketrolejbusy.cz/>
- [26] *Trolejbusy* [online]. [cit. 23-5-2014]. Dostupné z: <http://www.skoda.cz/cs/produkty/trolejbusy/>
- [27] *Reklamní leták společnosti Škoda Electric*
- [28] *Katalog společnosti Solaris Bus*
- [29] *Elektrické a hybridní autobusy* [online]. [cit. 23-5-2014]. Dostupné z: <http://www.skoda.cz/cs/produkty>
- [30] *AGV Full speed ahead to the 21th century - katalog firmy Alstom*
- [31] *Zefiro* [online]. [cit. 23-5-2014]. Dostupné z: <http://www.bombardier.com/en/transportation/products-services/rail-vehicles/high-speed-trains/zefiro.html>
- [32] *Bombardier Zefiro - Google images* [online]. [cit. 23-5-2014].



## Přílohy

### Příloha A – Produktový katalog trakčních motorů firmy Škoda Electric



#### AC TRACTION MOTOR FOR ELECTRIC LOCOMOTIVE AND EMU

Type	Output	Nominal voltage	Nominal current	RPM	Max. RPM	Insulation class	Covering / cooling	Weight	Cooling system	Air flow
	[kW]	[V]	[A]	[RPM]	[RPM]					
ML 3942 K/4	340	1727	142	1660	4200	200	IP20/IC17	775	forced	0,70
ML 4144 K/6	500	1130	2 × 160	1992	3975	200	IP20/IC01	1150	self	-
MLU 4245 K/6	500	1130	2 × 157	1986	3975	200	IP54/IC41	1200	self	-
1 MD 4553 K/4	500	1497	242	466	3220	200	IP20/IC17	2900	forced	1,00
MD 4549 K/6	1280	1350	672	1544	3064	200	IP20/IC17	2300	forced	1,80
ML 4550 K/6	1600	1130	2 × 518	1825	3700	H	IP20/IC17	2480	forced	0,90

- Czech Republic (109 E locomotive, EMU 471)
- Lithuania (EMU 575)
- Ukraine (EMU 675)
- Slovakia (109E locomotive, EMU 671)
- Turkey (TCDD)
- USA (Alstom TLS)
- Germany (Talent 2)

Obr. A. 1 Produktový katalog firmy Škoda – trakční motory pro lokomotivy [22]



#### AC TRACTION MOTOR FOR METRO

Type	Output	Nominal voltage	Nominal current	RPM	Max. RPM	Insulation class	Covering / cooling	Weight	Cooling system
	[kW]	[V]	[A]	[RPM]	[RPM]				
ML 3844 K/4	170	440	290	1238	3490	200	IP20/IC01	660	self
ML 3647 K/4	260	995	189	1775	3600	200	IP20/IC41	880	self

- Hungary (Budapest)
- Ukraine (Kiev)
- Russia (St. Peterburg, Kazan)
- Czech Republic (Prague)
- Mexico (Monterrey, Mexico City)

Obr. A. 2 Produktový katalog firmy Škoda – trakční motory pro vozy metra [22]



AC TRACTION MOTOR FOR TRAM AND LRV

Type	Output [kW]	Nominal voltage [V]	Nominal current [A]	RPM [RPM]	Max. RPM [RPM]	Insulation class	Covering / cooling	Weight [kg]	Cooling system
MLU 3426 K/6	50	420	85	1769	4500	200	IP54/IC9W7	289	liquid
8 MLU 3436 K/4	90	400	163	1973	4800	200	IP54/ IC41	318	self
ML 3534 K/4	95	374	188	1788	4552	200	IP20/IC01	405	self
MLU 2945 K/4-VA	100	420	183	2219	4800	200	IP54/IC37W	385	liquid
2 MLU 3343 K/4	105	400	208	1785	5100	200	IP55/ IC41	375	self
7 MLU 3436 K/4	115	500	169	2480	4800	200	IP54/ IC41	318	self
1 MLU 3441 K/4	120	640	141	2374	5576	200	IP54/ IC41	342	self
MLU 3443 K/4	125	570	169	1773	4250	200	IP54/ IC41	370	self

- Austria (Graz)
- Czech Republic (Prague, Pilsen, Brno, Ostrava)
- China (Changchun)
- Germany (Cologne, Kassel, Bonn, Schwerin)
- Poland (Krakow I, II, III, Wroclaw)
- Korea (Incheon)
- Turkey (Istanbul)
- USA (Tacoma, Portland, Philadelphia)

Obr. A. 3 Produktový katalog firmy Škoda – trakční motory pro tramvaje[22]




AC TRACTION MOTOR FOR TROLLEYBUS


Type	Output [kW]	Nominal voltage [V]	Nominal current [A]	RPM [RPM]	Max. RPM [RPM]	Insulation class	Covering / cooling	Weight [kg]	Cooling system	Air flow m <sup>3</sup> /s
ML 3444 K/4	120	300	310	1473	4200	200	IP20/ IC17	415	forced	0,15
ML 3450 K/4	160	420	297	1477	4400	200	IP20/ IC17	535	forced	0,17
4 ML 3444 K/4	160	520	231	1928	4305	200	IP20/ IC17	415	forced	0,30
MLU 3649 K/4	160	420	285	802	2162	200	IP54/ IC41	750	self	-
ML 3842 K/6	175	408	334	1185	2600	200	IP20/ IC01	650	self	-
19 ML 3550 K/4	240	420	410	1473	4225	200	IP20/ IC17	585	forced	0,30
24 ML 3550 K/4 *	240	420	408	797	2292	200	IP20/ IC17	690	forced	0,30
ML 3846 K/6	250	425	421	1374	2600	200	IP20/ IC01	740	self	-

\* with gear box

- USA (San Francisco)
- Czech Republic
- Italy (Bologna, Milano, Modena, Pescara, Avelino, Lecce)
- Greece (Athens)
- Canada (Vancouver)
- Latvia (Riga)
- Venezuela (Barquisimeto)

Obr. A. 4 Produktový katalog firmy Škoda – trolejbusové trakční motory[22]


34



## PMS TRACTION MOTOR

Type	Output	Nominal voltage	Nominal current	RPM	Max. RPM	Insulation class	Covering / cooling	Weight	Cooling system
	[kW]	[V]	[A]	[RPM]	[RPM]			[kg]	
HLU 3436 P/44-VA *	46,6	392	142	196	706	H	IP54/IC37W	252	liquid

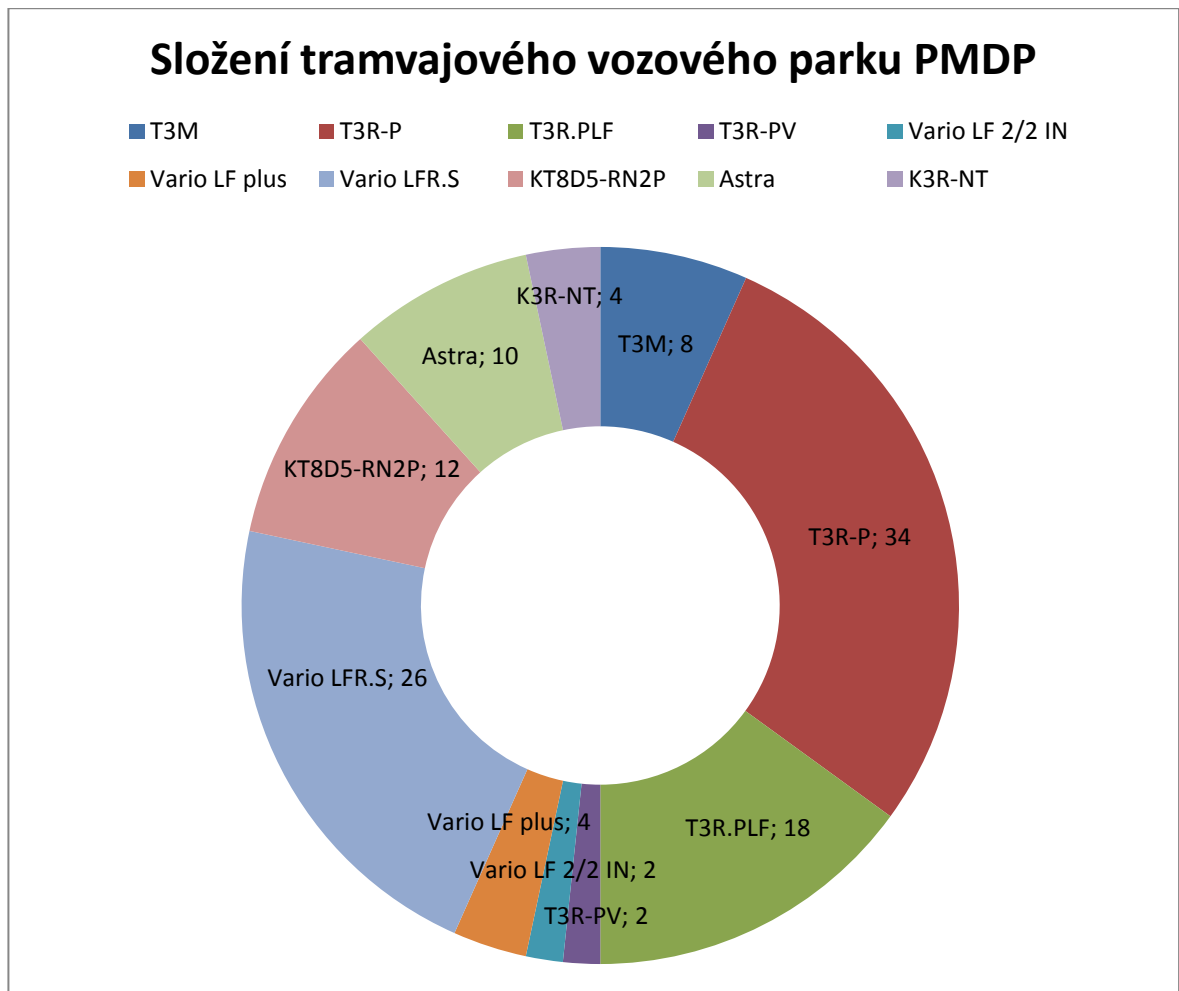
\* Permanent Magnet Synchronous Motor

- Czech Republic (Prague)
- Latvia (Riga)

Obr. A. 5 Produktový katalog firmy Škoda – synchronní motor s permanentními magnety[22]

## Příloha B – Skladba tramvajového vozového parku PMDP

Plzeňské městské dopravní podniky v současné době v pravidelném provozu provozují 120 tramvají nejrůznějších typů. Složení tramvajového vozového parku můžeme vidět na následujícím grafu.



Obr. B. 1 Složení tramvajového vozového parku PMDP [24]

Nyní si představíme jednotlivé typy tramvají detailněji. Pro lepší orientaci uvedeme jejich fotografie a podíváme se, jaké typy motorů jsou v nich použity.

V první části se budeme věnovat vozidlům se stejnosměrným motorem.

Jako první se budeme věnovat tramvaji, která sice ve své původní podobě již v Plzni k vidění není, ale jedná se o legendu mezi tramvajemi, a z toho důvodu si zaslouží čestné místo v úvodu přehledu. Řeč je o klasické tramvaji Tatra T3. Díky modernizaci tramvajového parku se stala Plzeň 4. listopadu 2012 prvním městem s tramvajovou dopravou v České republice, kde byl zcela ukončen provoz tramvají Tatra T3 s klasickou odporovou výzbrojí. Nevýhodou

odporové výzbroje byly velké ztráty. Díky modernizaci a nové elektronické výzbroji se dosahuje až třetinové úspory energie. Od roku 1964 do roku 1987 bylo do Plzně postupně dodáno 127 těchto tramvají. Zajímavostí je, že poslední tramvaj Tatra T3, která v Plzni jezdila, najezdila celkem 1 750 000 km. [23]



Obr. B. 2 Tatra T3 (vlevo), Tatra T3M (vpravo) [16]

Jako další si uvedeme tramvaj typu T3M. Tramvaj typu T3M vznikla modernizací původní tramvaje Tatra T3. Kromě celé řady úprav interiéru a opravy vozové skříně byla tramvaj osazena i novou elektrickou výzbrojí na bázi IGBT, která představuje až třiceti procentní úsporu energie. Modernizace probíhala v letech 1994-1998. V současné době jsou i tyto tramvaje postupně vyřazovány z provozu a nahrazovány novými. [23]

Dalším typem tramvaje, který vznikl modernizací tramvaje Tatra T3, je typ T3R-P. Modernizace těchto tramvají proběhla v letech 2001-2005. Vzhled tramvají se stejně jako u předchozího typu modernizací příliš nezměnil, velkými změnami prošel především interiér. Významnou věcí je opět nová úspornější elektrická výzbroj, která umožňuje plynulejší rozjezdy a brzdění a také provozování tramvají v soupravě i s těmi nejmodernějšími. [23]

Dalším typem tramvaje je tramvaj T3R-PLF. Tato tramvaj vychází ze standardů nastavených na vozech T3R-P, avšak kladen je komfort na bezbariérový přístup do vozidla. Jsou použity nové skříně, které mají 33% podíl nízké podlahy ve střední části vozu a také nové komfortnější podvozky. [23]



Obr. B. 3 Tatra T3R-P (vlevo), Tatra T3R-PLF (vpravo) [16]

Dalšími vozy jsou vozy T3R-PV. Tyto vozy jsou shodné s vozy T3R-P, avšak místo opravy skříně zde bylo nutné použít skřín novou, která se mírně liší v konstrukci.

Další typickou plzeňskou tramvají je tramvaj KT8D5.RN2P. Jedná se o tříčlánkový, částečně nízkopodlažní vůz, který vznikl v letech 2007-2010 modernizací tramvaje KT8D5. Střední článek byl nahrazen novým nízkopodlažním, vůz je vybaven novou elektrickou výzbrojí. [23]



Obr. B. 4 Tramvaj KT8D5.RN2P (vlevo), tramvaj K3R-NT (vpravo) [16]

K3R-NT je tříčlánková, částečně nízkopodlažní tramvaj, vznikla modernizací tramvají řady T3. Jedná se o složení tramvaje ze dvou vozů T3, každému z nich byla odříznuta přední, či zadní část, a do středu byl vložen nově vyrobený nízkopodlažní článek. Tramvaj je vybavena moderní elektrickou výzbrojí s rekuperací. [23]

Možná trochu překvapivě musíme mezi tramvaje se stejnosměrnými motory zařadit i Vario LFR.S, které navazuje na úspěšnou řadu modernizovaných tramvají T3. V této tramvaji je použita stejnosměrná výzbroj od firmy Škoda. Modernizace těchto tramvají proběhla v letech 2010-2014. [23]

Výše byly uvedeny všechny typy tramvají se stejnosměrným motorem, které můžeme v Plzni

v běžném provozu vidět.

Nyní se budeme věnovat tramvajím s asynchronními motory. V Plzni v současné době jezdí 3 typy tramvají s asynchronním motorem. Jedná se o typickou a notoricky známou tramvaj Astra a pak také o nové tramvaje Vario LF Plus a Vario LF 2/2 IN. [23]

LTM 10.08 je oficiální název tramvaje známé pod obchodním názvem Astra. Jedná se o tříčlánkovou nízkopodlažní tramvaj. Střední nízkopodlažní článek tvoří 50% plochy celého vozu. Asynchronní výzbroj dává tramvaji nebývalou dynamiku, nevýhodou jsou však pevně uložené podvozky bez možnosti natáčení. Asynchronní trakční motory a napěťový střídač IGBT s rekuperací snižují nároky na spotřebu energie. Ventilace asynchronních motorů je vlastní, motory jsou v tramvaji 4 a jejich trvalý výkon je 4 x 90kW. [23] [19]

Vario LF plus je druhým typem asynchronní tramvaje v Plzni. Tramvaje jsou vyráběny od roku 2010 a jedná se o částečně nízkopodlažní vozy. Jedná se o vozidlo odvozené od typu Vario LFR.S, které je však vybaveno asynchronní elektrickou výzbrojí s výkonnějšími trakčními motory. [23]

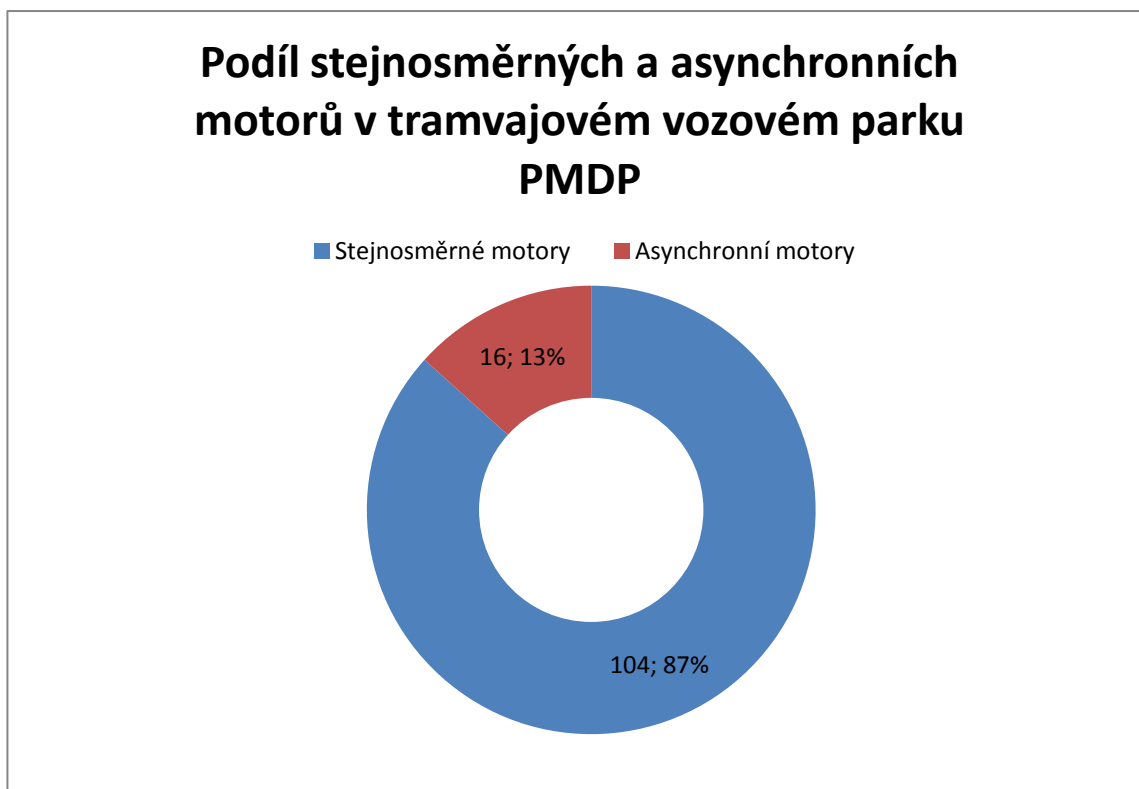
Posledním typem tramvaje, který můžeme v Plzni vidat, je Vario LF 2/2 IN. Vůz je vybaven asynchronní elektrickou výzbrojí. Jedná se o obousměrné vozidlo. [23]



Obr. B. 5 Vario LF 2/2 IN (vlevo), Vario LF plus (vpravo) [16]

Závěr z této exkurze do tramvajové vozovny je možná poněkud překvapující. Ve srovnání s trolejbusy, u kterých naprosto převládají asynchronní motory, mezi tramvajemi sice máme 3 typy tramvají, které jsou asynchronními motory vybaveny, nicméně v celkovém měřítku je to pouze zlomek. Většina tramvají, které můžeme v plzeňských ulicích vidět, je stále vybavena stejnosměrnými motory. Tramvaje vybavené synchronními motory s permanentními magnety můžeme vidět v Praze, nebo třeba v Rize, v Plzni tyto tramvaje nejezdí. Pro ilustraci je

uveden graf podílu asynchronních a stejnosměrných motorů v plzeňských tramvajích.



Obr.B. 6 Podíl stejnosměrných a asynchronních motorů [16] [24]

V následující tabulce jsou uvedeny konkrétní typy motorů, které jsou ve všech plzeňských tramvajích instalovány. V tabulce si můžeme všimnout závislosti poměru výkonu a hmotnosti jednotlivých motorů v závislosti na jejich typu. Používané asynchronní motory mají v porovnání s motory stejnosměrnými při srovnatelné, nebo i menší hmotnosti přibližně dvojnásobný výkon.

Tab. B.1 Používané typy tramvajových trakčních motorů PMDP [24]

Typy tramvajových motorů							
typ	druh	jm. výkon (kW)	jm. napětí (V)	jm. proud (A)	otáčky (1/min)	max. otáčky (1/min)	hmotnost (kg)
TE 022	ss sériový	40	300	150	1750	4200	320
TE 023	ss sériový	45	300	175	1720	4350	287
ML 3336K/4	asynchronní	85	337	186	1974	4500	255
TAM 1003C/R	asynchronní	80	400	143	2068	neuveďeno	300

Tabulka 2 je věnována umístění konkrétních motorů na jednotlivých typech vozidel. Jak si můžeme všimnout, nejvíce typů tramvajů používá stejnosměrný sériový motor TE 022 o jmenovitém výkonu 40 kW. Stejnoseměrný motor TE 023 je umístěn pouze na vozidle KT8D5.RN2P. Motor ML 3336K/4 je používán na vozech Astra, vozy Vario LF plus a Vario



LF 2/2 IN mají motory TAM 1003C/R.

Tab. B. 2 Jednotlivé typy motorů na konkrétních vozidlech [24]

TE 022	T3M, T3R-P, T3R-PV, K3R-NT, T3R.PLF, Vario LFR.S
TE 023	KT8D5.RN2P
ML 3336K/4	LTM 10.08 (Astra)
TAM 1003C/R	Vario LF plus, Vario LF 2/2 IN

Tabulka 3 znázorňuje počty vozidel s jednotlivými typy motorů. Z tabulky můžeme vidět, že i v současné době je zcela dominujícím motorem v tramvajovém provozu stejnosměrný sériový motor TE 022 se sériovým buzením.

Tab. B.3 Počty vozidel využívajících jednotlivé typy motorů [24]

Typ motoru	Počet vozů, které tento motor využívají
TE 022	92
TE 023	12
ML 3336K/4	10
TAM 1003C/R	6

### Přílohy C – Skladba trolejbusového vozového parku PMDP

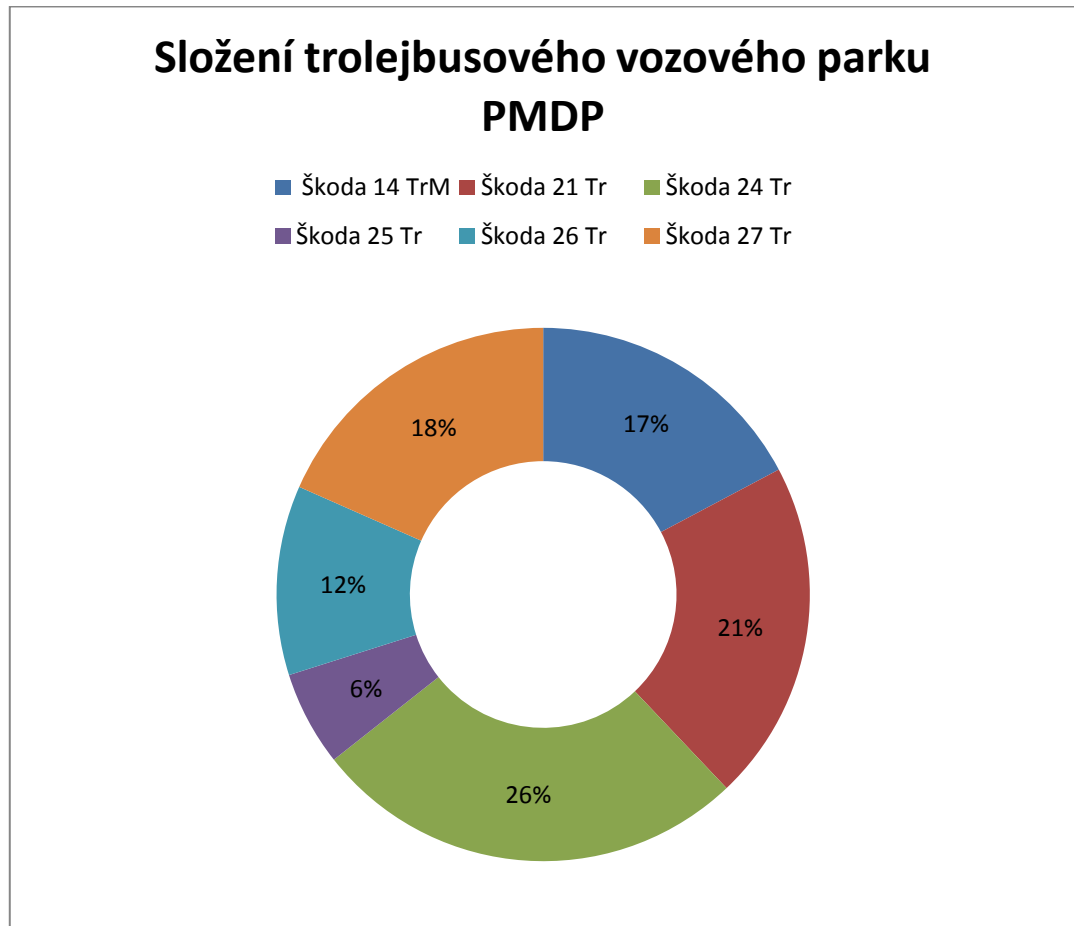
Trolejbusový vozový park PMDP se aktuálně skládá z 87 vozů. Jedná se o tyto typy:

- Škoda 14 TrM      15 vozů
- Škoda 21 Tr      18 vozů
- Škoda 24 Tr      23 vozů
- Škoda 25 Tr      5 vozů
- Škoda 26 Tr      10 vozů
- Škoda 27 Tr      16 vozů      [24]

Vozy typu 14 Trm jsou modernizovanou verzí československého trolejbusu Škoda 14 Tr, vyráběného v letech 1981-1998. Modernizací prošly v letech 1997-2005. Jedná se o nejstarší provozované trolejbusy v Plzni, setkat se s nimi můžeme téměř na všech linkách. Vozy Škoda 14 TrM jsou vybaveny stejnosměrnými sériovými čtyřpólovými motory. [23]

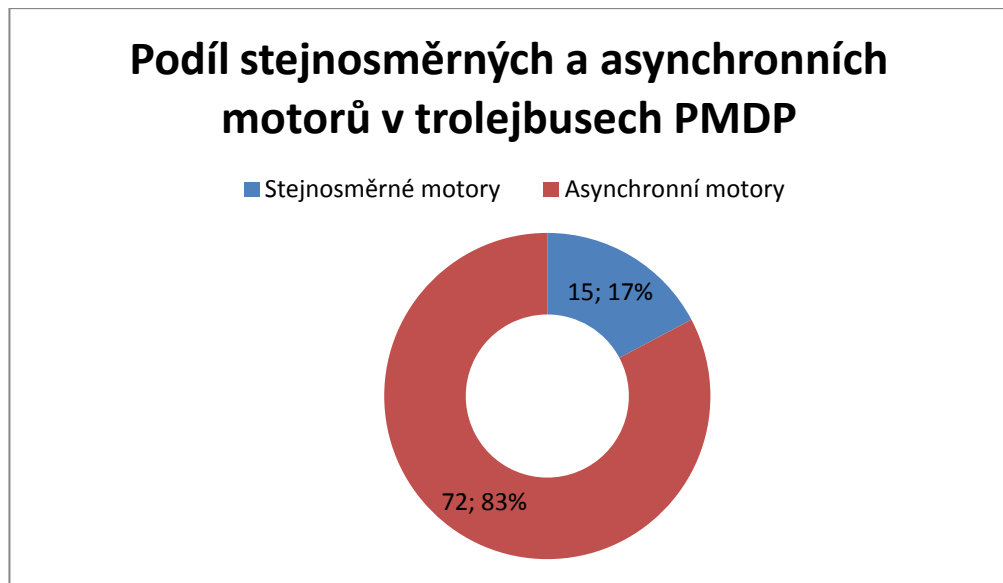
Druhým nejstarším plzeňským trolejbusem je trolejbus Škoda 21 Tr ACI. Tento typ již je vybaven asynchronní elektrickou výzbrojí. V Plzni se objevil poprvé v roce 1999. Vozidla jsou též vybavena pomocným dieslovým agregátem, který umožňuje jízdu v úsecích, kde není trolej. [23]

Asynchronními trakčními motory s mikroprocesorově řízeným napěťovým střídačem s možností rekuperace jsou osazeny všechny zbývající plzeňské trolejbusy. Jedná se o vozy Škoda 24 Tr, Škoda 25 Tr, Škoda 26 Tr a Škoda 27 Tr. [23]



Obr. C. 1 Složení vozového parku trolejbusů PMDP [24]

Na rozdíl od tramvají, v trolejbusové dopravě již naprosto převládají motory asynchronní. S výjimkou vozů Škoda 14 TrM jsou všechny ostatní typy vybaveny asynchronními motory. Z celkového počtu 87 trolejbusů tak pouze 15 vozů je vybaveno stejnosměrným motorem. Tento podíl je vyobrazen na následujícím grafu.



Obr. C. 2 Podíl stejnosměrných a asynchronních motorů v trolejbusech PMDP [24]

Následující tabulka se věnuje konkrétním typům motorů, které jsou v plzeňských trolejbusech instalovány. Jak můžeme vidět, na rozdíl od tramvají je zde jednoznačná převaha motorů asynchronních. Další zajímavostí může být velký počet jednotlivých typů motorů. Zatímco u tramvají několik typů vozů používá stejný trakční motor, u trolejbusů je každý typ osazen jiným trakčním motorem. Kloubové trolejbusy typu 25 Tr a 27 Tr mají logicky motory o vyšších výkonech, než kratší typy trolejbusů.

Tab. C.1 Typy používaných trolejbusových trakčních motorů [24]

Typ vozidla	motor	typ	jmenovitý výkon
Škoda 14 TrM	stejnosměrný sériový	1 AL 2943 rP	120 kW
Škoda 21 Tr	asynchronní	MLU 3649 K/4	160 kW
Škoda 24 Tr	asynchronní	20 ML3550K/4	210 kW
Škoda 25 Tr	asynchronní	18 ML3550K/4	240 kW
Škoda 26 Tr	asynchronní	4 ML3444K/4	160 kW
Škoda 27 Tr	asynchronní	2 ML3846K/6	250 kW



Obr. C.3 Trolejbus Škoda 14 TrM [23]



Obr. C.4 Trolejbus Škoda 21 Tr [23]



Obr. C.5 Trolejbus Škoda 24 Tr [26]



Obr. C.6 Trolejbus Škoda 25 Tr [26]



Obr. C.7 Trolejbus Škoda 26 Tr [26]



Obr. C.8 Trolejbus Škoda 27 Tr [26]

**ŠKODA 24Tr Irisbus**

**Two-axle 12 m length low-floor trolleybus**

- Length 11 990 mm
- Width 2 500 mm
- Height incl. Lowered poles 3 460 mm
- Outer turning circle diameter 22 600 mm
- Inner turning circle diameter 19 000 mm
- Ramp clearance front/rear 7/7\*
- Curb weight 11 990 kg
- Total passenger capacity 91
- Seats 30 + 1
- Type of bus body Iveco – Irisbus
- Front axle Irisbus (independent wheels)
- Rear axle ZF-EBZ
- Total gear ratio 9,82
- Suspension pneumatic

**Electrical equipment**

**Technical interests:**

- IGBT technology
- Asynchronous drive, maintenance-free
- 4 quadrant service (drive and brake)
- Energy recuperation during braking (15 % – 30 %)
- Continuous regulation of moments until zero speed
- Comfort diagnostic system
- Operation on both trolley polarities
- Possible operation on lower power supply

**Roof container SJ 3.1**

- Nominal output power of main traction inverter 204 kVA
- Nominal output power of auxiliary inverter 10 kVA
- Nominal current of board 220 A
- 24V battery charger
- „Double“ electrical insulation inside container
- Protection Classification
- Cooling

**Traction motor**

- Asynchronous traction motor SKODA20ML3550K/4
- Nominal power 210 kW external
- Cooling
- Insulation class 200

**Collectors**

- Manual TSS 5.3, Lekov
- Semiautomatic TSS 2.6, Lekov

**Heating**

- Water, with electric boiler, double insulation

**Compressor**

- Screw type with water separator Atmos LE25

**Technical interests:**

**Diesel-electric generator**

- Air pollution EURO 5
- Nominal power 100 kW
- Generator with permanent magnets

**Air-Conditioning**

- for driver
- for passengers

**ŠKODA**  
 ŠKODA ELECTRIC a.s.  
 Tylova 1/57 | 301 28 Pilsen | Czech Republic  
 Phone.: +420 37 818 1155 | Fax.: +420 37 818 1452  
 E-mail: electric@skoda.cz  
 www.skoda.cz

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

Obr. C. 9 Technické údaje – trolejbus Škoda 24 Tr Irisbus [27]

## Přílohy D – Umístění trakčního pohonu na trolejbusu Škoda 27 Tr

Plzeňská firma Škoda Electric odstartovala v tomto roce sériovou výrobu nových trolejbusů pro bulharské hlavní město Sofii. Celkem dodá do Bulharska 50 nízkopodlažních kloubových trolejbusů typu Škoda 27 Tr.

Umístění trakčního motoru na trolejbusu ukazují následující obrázky. Trakční motorová jednotka je umístěna na podvozku před zadní nápravou. Jedná se o šestipólový asynchronní motor s kotvou nakrátko. Chlazení trakčního motoru zajišťuje externí ventilátor. Zajímavou informací mohou být rozměry trakční motorové jednotky, které jsou 1159x775x555mm. Hmotnost motoru je 800kg.



Obr. D. 1 Trolejbus Škoda 27 Tr (vlevo) [26], umístění trakčního motoru (vpravo)



Obr. D. 2 Trakční motor trolejbusu Škoda 27 Tr



*Obr. D. 3 Trakční motor trolejbusu Škoda 27 Tr*



*Obr. D. 4 Trakční motor trolejbusu Škoda 27 Tr*


## Přílohy E – SOLARIS Bus

Polský výrobce trolejbusů. Jako příklad zde uvedeme trolejbus SOLARIS Trollino 18 AC MetroStyle, kterých společnost dodala mezi lety 2009 a 2013 celkem 25 do rakouského Salzburgu.

Nás především zajímá trakční motor. Jedná se o šestipólový asynchronní motor s kotvou nakrátko s vlastní ventilací.

**Technická data**

<b>Rozměry:</b>	
Délka	18 000 mm
Šířka	2 550 mm
Výška	3 135 – 3 590 mm
Vnitřní světelná výška	2 370 mm
Rozvor náprav	5 130 mm / 6 770 mm
Přední převis	2 700 mm
Zadní převis	3 400 mm
Přední nájezdový úhel	7°
Zadní nájezdový úhel	7°
Maximální nástupní výška (dveře 1 a 2)	320 mm
Maximální nástupní výška (dveře 3 a 4)	340 mm
<b>Nápravy</b>	
Počet náprav	3
Přední náprava	ZF RL 75 EC (nezávislé zavěšení kol)
Střední náprava	ZF AVN 132
Hnací náprava	ZF AV 132
<b>Karoserie</b>	
Konstrukce skeletu	neruzová ocel
Opláštění bočních stěn	neruzová ocel a hliníkové panely
Uspořádání dveří	1-2-2-2
Počet míst k sezení	38+1
<b>Elektrické vybavení</b>	
Trakční zařízení	INTEGRA 2120 Sa (Cegelec a.s.)
Řízení	mikroprocesorový regulátor (Cegelec a.s.)
Komunikace trakčního zařízení	prostřednictvím CAN-Bus
Trakční motor	TME-43-33-6
Sběrač	TSS 10.2
Nouzový agregát	PME 50/250/80; diesel-elektrický; 57,6 kW
Dieselmotor	TD2011L04; objem válce 3 619 cm <sup>3</sup>
Klimatizace	KL 20E; 4,3 kW (při +42 °C)
Klimatizace salonu	2 x UL500EM



3/2013

Cegelec Praha  
Chodovská 3  
141 00 Praha 4  
Česká republika  
E-Mail: cegelec@cegelec.cz  
www.cegelec.cz

Solaris Bus & Coach S.A.  
ul. Obornicka 46, Bolechow-Osiedle  
62-005 Owieńska  
Polsko  
E-Mail: solarisbus@solarisbus.com  
www.solarisbus.de

Obr. E. 1 Technická data trolejbusu SOLARIS Trollino 18 AC MetroStyle [28]

## Přílohy F – Bateriový elektrobuses Škoda PERUN



Obr. F. 1 Bateriový elektrobuses Škoda PERUN [29]

**ŠKODA PERUN**

<p><b>Základní technické parametry</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Délka vozidla 12 000 mm</li> <li>• Šířka vozidla 2 550 mm</li> <li>• Výška vozidla 3 250 mm</li> <li>• Rozvor 5 900 mm</li> <li>• Maximální rychlost 70 km/h</li> <li>• Brzdový systém EBS (ABS + ASR)</li> <li>• Celková obsaditelnost 82</li> <li>• Počet míst k sezení 27+1</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Přední náprava ZF RL 85/A (tuhá náprava)</li> <li>• Hnací náprava ZF 132AV/80 (portálová)</li> </ul>	<p><b>Technické parametry</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Městský nízkopodlažní bateriový autobus</li> <li>• Moderní IGBT technologie</li> <li>• Nulové emise</li> <li>• Komfortní diagnostický systém</li> <li>• Modulární systém baterií</li> <li>• Různé způsoby dobíjení vozu</li> <li>• Řešení na míru zákazníka</li> <li>• Rekuperace brzděné síly</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ekologické vozidlo</li> <li>• Nízké provozní náklady</li> </ul>	<p><b>Elektrovýzbroj</b></p> <p><b>Trakční motor</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Výrobce Škoda Electric</li> <li>• Typ asynchronní</li> <li>• Nominální výkon 160 kW</li> <li>• Nominální napětí 3 x 420 V</li> </ul> <p><b>Trakční baterie</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Typ Li-Pol / Li-Ion</li> <li>• Bezúdržbová</li> <li>• Jmenovité napětí 600 V / 650 V</li> <li>• Celková energie 222 kWh / 78 kWh</li> </ul> <p><b>Dobíjení (DC)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dobíjení ze zásuvky (Combo Standard) 0,5 C (200 A) / 1,6 C</li> <li>• Rychlodobíjení 1 C (370 A) / 6 C</li> <li>• Automatická obsluha dobíjení</li> </ul> <p><b>Výkonová elektronika</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• IGBT technologie</li> <li>• Kapalinové chlazení</li> </ul> <p><b>Možnosti</b></p> <p><b>Topení</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Elektrické, vodní 25 kW</li> </ul> <p><b>Klimatizace</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pro řidiče Konvekta KL20</li> <li>• Pro cestující Konvekta UL500</li> </ul>
---	---	--

1 Výkonová elektronika  
2 Klimatizace  
3 Trakční baterie  
4 Trakční motor

**ŠKODA ELECTRIC a.s.**  
 Týlova 1/57 | 301 28 Plzeň | Česká republika  
 Tel.: +420 37 818 1155 | Fax.: +420 37 818 1452  
 E-mail: electric@skoda.cz  
 www.skoda.cz

www.skoda.cz

Obr. F. 2 Technická data – Bateriový elektrobuses Škoda PERUN [27]



## Přílohy G – Vysokorychlostní vlaky od společnosti Alstom

Dosud jsme se věnovali vozidlům a motorům především od firmy Škoda. Významným výrobcem kolejových vozidel je mezinárodní koncern se sídlem ve Francii – společnost Alstom.

Asi každý z nás již někdy slyšel o vysokorychlostních vlacích TGV. Vysokorychlostní vlaky TGV byly vyvinuty v sedmdesátých letech právě společností GEC-Alsthom (nyní Alstom). První prototyp byl poháněn plynovou turbínou, později se však rozhodlo ve prospěch elektrické trakce.

V současné době společnost Alstom vyrábí vysokorychlostní vlaky AGV, které jsou nástupci vysokorychlostních vlaků TGV. Zaměříme se na motory, kterými jsou tyto vlaky poháněny. Společnost Alstom se rozhodla do vlaků AGV instalovat synchronní motory s permanentními magnety. Ve všech předchozích starších generacích TGV byly motory asynchronní. Tyto synchronní motory dosahují většího výkonu (1kW/kg). Hmotnost motoru je 730 kg. Pohonný systém je, na rozdíl od TGV, rozložen do motorů umístěných pod podlahou vozů pro cestující. Velmi zajímavé je umístění podvozků. Podvozky jsou umístěny mezi jednotlivé články vlaku a ke každému podvozku náleží dva motory. To je další významný rozdíl oproti předchozím generacím TGV, které byly vybaveny motory pouze v krajních řídicích vozech. To znamená, že bez ohledu na počet vložených článků má vlak TGV pouze dva motory. Vlaky AGV jsou společností Alstom nabízeny v několika verzích, od sedmivozových až do čtrnáctivozové verze. [30]



Obr. G. 1 Podvozek vlaku AGV (vlevo), vlak AGV italského soukromého dopravce NTV (vpravo) [30]

## Přílohy H – Společnosti Bombardier

Bombardier Transportation je divize kanadské společnosti Bombardier se sídlem v Berlíně. Jedná se o největší společnost zaměřenou na vývoj a výrobu železniční techniky.

Jako příklad vozidla od této společnosti můžeme uvést jednoho z konkurentů výše zmíněných vysokorychlostních vlaků AGV od firmy Alstom. Řeč je o vysokorychlostním vlaku Bombardier Zefiro 300. S vlaky Bombardier Zefiro 300 se budeme moci setkat v Itálii, jelikož je bude vlastnit italský národní dopravce Trenitalia. Na rozdíl od vlaků AGV jsou vlaky Bombardier Zefiro 300 vybaveny asynchronními trakčními motory.

Dalšími typy jsou vlaky Bombardier Zefiro 250 a Bombardier Zefiro 380, které byly prodány Čínským národním drahám. [31]



Obr. H. 1 Bombardier Zefiro 300 (vlevo) a Bombardier Zefiro 380 (vpravo) [32]

## Přílohy I – Vybrané lokomotivy na českých tratích

Nyní si uvedeme pro zajímavost několik příkladů lokomotiv, o nichž nebyla zmínka v textu a se kterými se můžeme na české železnici setkat. Uvedeme několik lokomotiv se stejnosměrnými motory a také lokomotivy s motory asynchronními.

Mezi lokomotivy se stejnosměrnými motory můžeme zařadit například:

Lokomotiva řady 363: 4x šestipólový stejnosměrný cize buzený motor

Lokomotiva řady 451: stejnosměrné čtyřpólové motory

Posunovací lokomotiva řady 209: stejnosměrné čtyřpólové trakční elektromotory

Asynchronními motory jsou vybaveny lokomotivy:

Pendolino: 8x třífázový asynchronní elektromotor o hmotnosti 1668 kg

Lokomotiva řady 471: střídavé třífázové asynchronní motory

[10]



Obr. I.1 Lokomotiva řady 363 [10]



Obr. I. 2 Lokomotiva řady 451[10]



Obr. I. 3 Pendolino [10]



Obr. I.4 Lokomotiva řady 471[10]



Obr. I. 5 Posunovací lokomotiva řady 209[10]