

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Trakční motory

Vedoucí práce: Ing. Roman Pechánek, Ph.D.

2013

Autor: Milan Dudek

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Milan DUDEK
Osobní číslo: E10B0204P
Studijní program: B2612 Elektrotechnika a informatika
Studijní obor: Elektrotechnika a energetika
Název tématu: Vývojové trendy trakčních motorů
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 :

1. Proveďte literární a patentovou rešerši trakčních motorů používaných v železniční dopravě.
2. Uveďte základní vlastnosti, principy, parametry a konstrukční řešení daných strojů.
3. Uveďte základní principy a možnosti lineárních motorů v železniční dopravě.
4. Zhodnoťte vývoj trakčních motorů v železniční dopravě v blízké budoucnosti.



Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah pracovní zprávy: 20 - 30 stran

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická


Seznam odborné literatury:

1. Veřejně přístupné informační zdroje, databáze www.ieee.org
2. Toliyat, A. H., Kliman, B. G.: Handbook of electric motors, CRC Press, 2004, ISBN: 100-8247-4105-6.
3. Boldea, I.: Linear Motion Electromagnetic Devices, Taylor & Francis, 2001, ISBN: 9789056997021

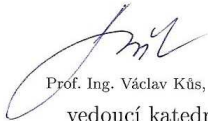
Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Roman Pechánek, Ph.D.**
Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky

Datum zadání bakalářské práce: **15. října 2012**

Termín odevzdání bakalářské práce: **7. června 2013**


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




Prof. Ing. Václav Kús, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2012

Anotace:

Tato bakalářská práce se zaměřuje na rešerši trakčních motorů. Pojednává také o historii trakce a trakčních motorů. Jsou v ní zobrazeny typy a principy různých motorů používaných k trakci, jak v minulosti, tak současnosti.

Klíčová slova:

Trakční, motor, elektromotor, maglev, magnetická levitace, magnetické pole, lokomotiva, trakce, asynchronní, synchronní, permanentní magnety, stejnosměrný.

Abstract:

This bachelor thesis focuses on the search of traction motors. It mentioned the history of traction and traction motors. The types and principles of the various engines that are used or have been used for traction are shown too.

Key words:

Traction motor, electric motor, maglev, magnetic levitation, magnetic field, locomotive, traction, asynchronous, synchronous, permanent magnet, DC

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.

V Plzni dne 31. 5. 2013

Milan Dudek

.....

Poděkování:

Rád bych poděkoval Ing. Romanovi Pechánkovi Ph.D. za vstřícnost a ochotu při spolupráci, za cenné odborné rady a poskytnuté informace k dané literatuře, které dopomohly ke zpracování této bakalářské práce.

Obsah

1. Úvod	9
2. Historie trakce	10
2.1. Historie trakčních motorů	10
3. Trakční motory	10
3.1. Stejnsměrné motory	12
3.1.1. Sériové buzení	14
KTM-15250 – tento sériový trakční motor vyrábí firma KIRLOSKAR ELECTRIC.....	16
3.2. Střídavé motory	18
3.2.1. Asynchronní motory.....	18
3.2.2. Parametry a konstrukční řešení asynchronního motoru	20
TM ve vlacích:	20
3.2.3. Synchronní s permanentními magnety	24
3.2.4. Parametry synchronního motoru s permanentními magnety.....	26
3.3. Maglevy	27
3.3.1. Historie	27
3.3.2. Levitace	28
3.3.3. Elektromagnetická levitace (EMS)	29
3.3.4. Elektrodynamická levitace (EDS).....	33
4. Vývoje trakčních motorů v blízké budoucnosti	35
5. Závěr.....	37
6. Použitá literatura	38
7. Seznam příloh.....	41

Seznam použitých značek a indexů:

U_i	Indukované napětí
k	konstanta daná konstrukcí motoru
Φ	magnetický indukční tok statorového vinutí
ω	úhlová rychlost
U	napětí
R_a	odpor v obvodu celé kotvy
I_a	proud v obvodu kotvy
ΔU_k	úbytek napětí na kartáčích (udává se 1V/kartáč)
P_e	elektrický výkon
P_m	mechanický výkon
M_i	moment stroje
R_s	odpor v obvodu kotvy
U_N	jmenovité napětí
I_N	jmenovitý proud
M_N	jmenovitý moment
M_{max}	maximální moment
n	mechanická rychlost
n_N	jmenovité otáčky
n_{max}	maximální otáčky
n_s	synchronní rychlost točivého pole statoru
s	skluz
f	frekvence
p	počet polopárů
$\cos \varphi$	účinník

1. Úvod

Trakční motor je nedílnou součástí našeho života od vzniku první elektrické lokomotivy. Mnoho lidí ho každý den potřebuje, aniž by si přímo uvědomovali, že ho využívají pro své každodenní cestování ať už za prací či zábavou. Bez trakce bychom si cestování již nedovedli představit. Bylo by zapotřebí mnoho autobusů na našich silnicích, aby dokázaly nahradit celou železniční dopravu. Nebýt trakce Česká republika by se ocitla ve velmi smogovém prostředí, jako tomu je např. ve velkých světových metropolích, v nichž jezdí příliš mnoho automobilů se spalovacími motory a do vzduchu tak uniká oxid uhličitý.

Tato bakalářská práce zachycuje vývoj trakčních motorů. Nejprve se zaměřuje na historické i novodobé použití trakčních motorů. Zmíněno je i historie lineárních motorů, neboli maglevů. Dále se zaměřuje na principy magnetické levitace využívané v trakci a také na technické řešení lineárních synchronních trakčních motorů. Samozřejmostí této práce jsou parametry jak rotačních, tak i lineárních trakčních motorů. Poslední část práce podává informace o budoucím vývoji trakčních motorů.

2. Historie trakce

Za předvoj trakce na území České republiky lze považovat koňskou dráhu, na jejíž stavbu měl výhradní privilegium František Josef Gerstner. Zahájení stavby dráhy z Českých Budějovic do Lince u Netřebic s rozchodem koleje 1 106mm bylo v roce 1825. Provoz koněspřežné dráhy byl zahájen v roce 1828. První parní lokomotiva s názvem „Moravia“ se na území České republiky objevila poprvé 11. 11. 1838. Její cesta mířila z výchozí stanice Vídeň do Brna. Do Prahy se parní lokomotiva dostala až o sedm let později. Nicméně zahájení elektrického provozu v Čechách respektive tehdejšího Rakouska - Uherska spadá až na začátek dvacátého století. Konkrétně se jedná o trať z Tábora do Bechyně v roce 1903. Lokomotivu poháněla soustava 2 x 700Vss s dvou vodičovým trolejovým vedením. Jednotka byla poháněna dvojpólovým derivačním strojem 80kW se třemi uhlíkovými držáky. Tuto trať vlastnilo družstvo bechyňských drah. [1][2]

2.1. Historie trakčních motorů

Jeden z nejstarších motorů, který byl použit, je sériový motor. Jeho nejlepší vlastností je snadná regulace otáček. To znamená, že v době, která ještě neznala frekvenční měniče, to byla velmi užitečná věc.

Zpočátku použití se zdálo, že nejlepší konstrukcí pro pohon lokomotiv bude tří fázový asynchronní motor s kotvou na krátko. Nicméně se později objevily problémy. Protože nutností asynchronního motoru je regulace. V době, kdy ještě nebyly dostupné žádné informace o frekvenčních měničích, bylo velmi obtížné asynchronní motor provozovat. Také dodání proudu činilo problém, protože pro tří fázový asynchronní motor byla nutná potřeba tří trolejí, což bylo konstrukčně náročné. [2]

3. Trakční motory

Trakční motor je elektrický otáčivý stroj, který pohání dvojkolí lokomotiv. Trakční motory jsou téměř ve všech lokomotivách a to jak elektrických tak i dieselových. Fakt, že v dieselových mašinách nemůže být trakční motor, je mylný. Opak je pravdou. Ojedinele ve speciálních nebo už vyřazených typech lokomotiv ho nenajdeme. Například u těchto typů lokomotiv výrobce ČKD Praha bychom hledali trakční motor marně 700-703, 710, 725, 726, 810, 820, 842, 850-854.



Obr.3.-1 Lokomotiva se spalovacím motorem typu 810.187-50 [3]

Voltáž na elektromotorech odpovídá dle zapojení daného motoru a na hodnotě rozjezdových odporů. Hodnota jmenovitých proudů dosahuje řádově stovky ampér (300 až 700 A), přičemž záleží na druhu elektromotoru. Výhoda trakčních motorů spočívá v tom, že je lze krátkodobě proudově přetížít, což je vhodné při rozjezdu lokomotivy, která zvýší svůj výkon oproti jmenovitým hodnotám. Zajisté hodnota špičkových proudů nesmí překročit danou mez, kterou udává nadproudová ochrana. Např. u lokomotivy řady 150/151 je hodnota trvalého proudu TM 715 A, tzn., že při sérioparalelním řazení trakčních motorů je příkon lokomotivy 4 290 kW (výkon 4 000 kW). Nadproudová ochrana při výkonu na sérioparalelu zasahuje při překročení proudu 1 150 A, takže pokud jsou motory krátkodobě zatíženy např. na 1 100 A, je příkon lokomotivy 6 600 kW (výkon cca 6 150 kW), tzn., že lokomotiva má přibližně o 54% vyšší výkon. [cit. 3]

Typy elektromotorů užívané pro trakční účely:

- Rotační
 - Stejnoseměrné
 - Sériové
 - Střídavé
 - Asynchronní
 - Synchronní s permanentními magnety
 - Univerzální – pracující na střídavý i stejnosměrný proud
- Lineární
 - Maglevy

Největšímu praktickému využití se jak v minulosti, tak i v současnosti těšily motory stejnosměrné se sériovým buzením a motory střídavé třífázové, což jsou motory asynchronní. Velkému technickému rozvoji se dostává i lineárním motorům, ale využity v provozu jsou zatím jen v Číně. V Německu a Japonsku se sice tato dráha nachází, ale prozatím je využívána jen pro zkušební účely. Užití daného trakčního motoru se musí bedlivě prostudovat, protože je spousta vnějších vlivů, které ovlivňují správný chod motoru. Uvedme si například rozdílné kontinentální podmínky provozu. Rozdílné použití může být zde u nás v České republice a jiné bude například v Rusku, kde panují odlišné klimatické podmínky. Z toho vyplývá, že motor v Rusku by musel zvládat nižší okolní teplotu. Dále by musel mít daleko lepší krytí, zvládat delší dobu plného provozu kvůli rozsáhlosti Ruska, aj. Trakční motory lze rozdělit na tramvajové, vlakové a pro použití v podzemních drahách. Liší se svou velikostí, krytím, výkonem, atd. Parametry i srovnání trakčních motorů si ukážeme níže.

3.1. Stejnosměrné motory

Motor se skládá ze tří částí. První částí je stator, tj. segment, který se nepohybuje. K vytvoření magnetického pole jsou zde umístěny hlavní póly, jež mohou být buzeny buď cívkami nebo permanentními magnety. Pól se skládá z pólového nástavce a jádra. Ke zlepšení komutace stroje se mohou přidávat tzv. pomocné póly, které jsou umístěny mezi hlavními póly. Druhou pohyblivou část představuje rotor. Kotva je složena z izolovaných dynamových plechů, v jejichž drážkách po obvodu je umístěno vinutí. K měděným lamelám komutátoru jsou připojeny jednotlivě cívky vinutí. Třetí část tvoří rotační přenosové ústrojí, tzv. komutátor a kartáče. Komutátor je nasazen na hřídeli motoru. Jeho úkolem je komutovat cívku. Respektive zkratovat a následně připojit cívku v opačné polaritě. Zkratování cívky se musí provádět při nulovém napětí. Komutátor v režimu dynamo slouží jako usměrňovač a v motorickém režimu jako střídač. Přivedení proudu se zajistí pomocí kartáčů, které dosedají na komutátor. [6] [11]

Princip točení hřídele lze vysvětlit na ss stroji, kde vinutí kotvy tvoří pouze dva vodiče spojené do jednoho závitu umístěného na rotoru a vyvedené na komutátor. Statorové magnetické pole vytváří dvojce hlavních pólů opačné polaritě, viz obr. 3.1. -1. Na komutátor dosedají kartáče, kterými je rotor napájen. Interakcí

magnetického pole statoru a rotoru dochází k otáčení rotoru. Motor může sloužit k přeměně mechanické energie na elektrickou (režim dynamo) nebo elektrické na mechanickou (motorický režim).[6] [11]

Indukované napětí tohoto stroje lze vypočítat z jednoduchého vztahu:

$$U_i = k \cdot \Phi \cdot \omega \quad [\text{V}] \quad (1)$$

kde: $\omega = \frac{\pi \cdot n}{30} \quad [\text{rad/s}]$

Svorkové napětí stejnosměrného stroje je rozděleno podle toho, ve kterém režimu pracuje.

Motorický režim: $U = U_i + R_a \cdot I_a + \Delta U_k \quad [\text{V}] \quad (2)$

Generátorický režim: $U = U_i - R_a \cdot I_a - \Delta U_k \quad [\text{V}] \quad (3)$

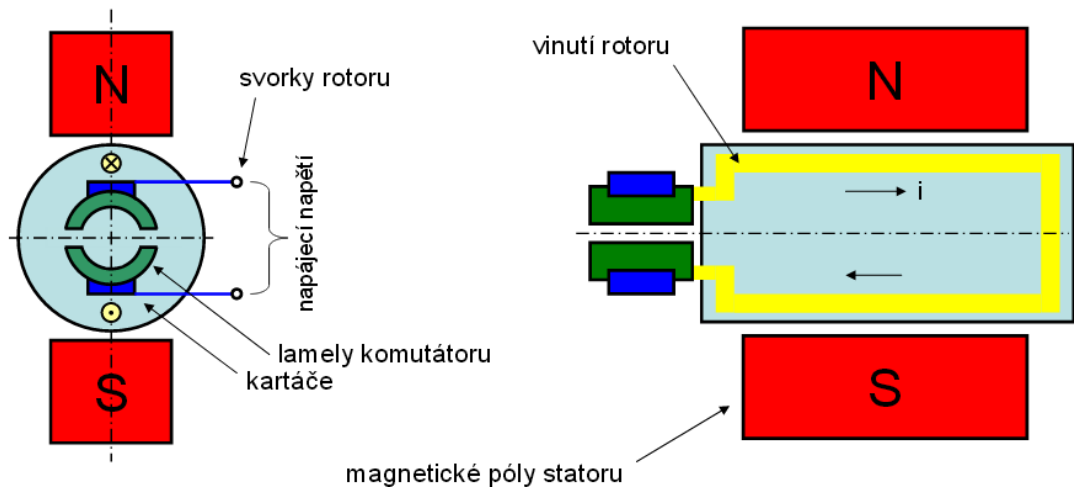
U výpočtu momentu vycházíme z toho, že výkon elektrický je roven výkonu mechanickému, přičemž v tomto tvrzení je důležité si uvědomit, že zanedbáváme ztráty. [5]

$$P_e = P_m \rightarrow U_a \cdot I_a = M_i \cdot \omega \rightarrow k \cdot \Phi \cdot \omega \cdot I_a = M_i \cdot \omega \quad (4)$$

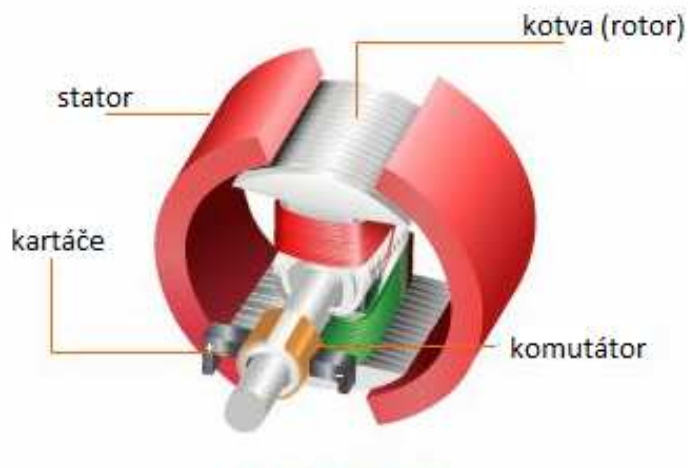
$$M_i = k \cdot \Phi \cdot I_a \quad [\text{N} \cdot \text{m}^{-1}] \quad (5)$$

Nevýhodou uspořádání „kartáč komutátor“ je, že se proud do rotoru musí přivést přes rotující komutátor a kartáče. Jelikož mezi stojícími uhlíky a rotujícími lamelami komutátoru vzniká jiskření, tím se ničí povrch stykových částí a to vede k většímu opotřebení. Další nevýhodou je jejich konstrukční složitost, viz obr. 3.1. - 1. [5]

Výhodami stejnosměrného motoru jsou výborné dynamické vlastnosti, možnost řízení otáček v celém rozsahu. Výroba stejnosměrných motorů se pohybuje od zlomků W až do několika MW. [5]



Obr. 3.1.-1 Schéma ss motoru [4]



Obr. 3.1. -2 SS motor

3.1.1. Sériové buzení

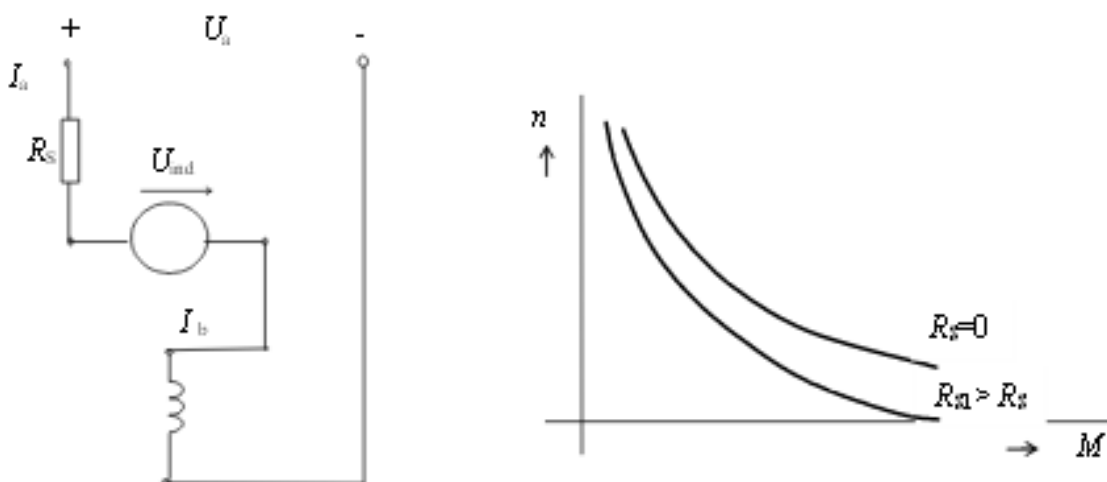
Stejnou směrný motor se sériovým buzením je velmi rozšířeným typem v lokomotivách či ve vózech diesellové trakce s elektrickým přenosem výkonu.

Statorové vinutí je spojeno sériově na stejný zdroj elektrické energie, jako rotorové vinutí. Tím je spojeno buzení statorového magnetického pole a jeho velikost v prostoru rotoru s rotorovým polem. Vlastností při rozběhu lze řídit sériovým odporem v kotvě motoru. Moment závisí na proudu, který rotorem prochází. [6]

Otáčky se mohou řídit několika různými způsoby. Za prvé pomocí změny odporu v obvodu kotvy (R_S). Další možností je změna napětí na kotvě pomocí řízeného usměrňovače nebo pulzního měniče. Tuto operaci lze zrealizovat i změnou buzení pomocí paralelně připojeného rezistoru k budícímu vinutí. V trakci lze provést ještě

jeden způsob a to s vícemotorovými pohony tak, že jednotlivé řazení motorů se pospojuje do paralelních nebo sériových skupin. V tomto případě nastávají skokové změny napětí na kotvách motorů. [6]

Otáčky při zvětšující se zátěži klesají. Změnu směru otáčení lze realizovat velice snadno a to pomocí přepólováním konců statorového budicího vinutí v zapojení. Tím se změní smysl statorového budicího magnetického toku. [6]



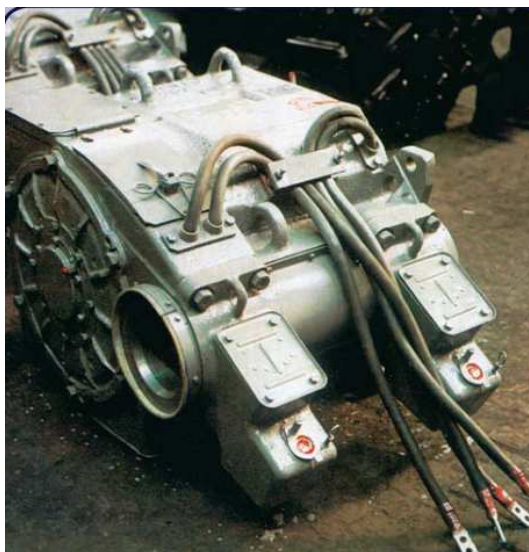
Obr. 3.1.1. -1 Stejnoseměrný motor se sériovým buzením [6]

3.1.2. Parametry a konstrukční řešení ss motoru se sériovým vinutím

TM ve vlacích:

TE 015C – vyroben je firmou SKD TRADE a.s. a je to sériově buzený čtyřpólový stroj s cizí ventilací. Na lokomotivě je upevněn na hnanou nápravu s odpruženým závěsem. Stator u tohoto typu motoru je ocelolitinový s odnímatelnými ložiskovými štíty. Izolace vydrží teplotu 180°C čili třída izolace je H. Propustnost vody a prachu určuje IP 22. Motor váží 1750kg. [16]

U_N [V]	I_N [A]	Otáčky [ot/min]	Příkon [kW]	Výkon [kW]	Účinnost [%]	M [N/m]
800	350	3100	315	298	94,6	1200



Obr. 3.1.2. -1 Stejnoseměrný motor s cizím buzením typu TE 051C [16]

Dalším motorem, který firma SKD TRADE a.s. vyrábí, je:

Typ	U_N [V]	I_N [A]	n_N / n_{max} [ot/min]	Výkon [kW]	M_{max} [N/m]
TE019A03	250	800	365/2660	176	4600

TDM 5003 – čtyřpólový stejnosměrný motor s pomocnými póly vyrobený firmou PRAGOIMEX a.s. Motor má cizí chlazení. Izolace je zkonstruovaná na pracovní teplotu 180°C (třída izolace H). Propustnost pevných těles a vody určuje ochrana IP 24. Hmotnost motoru je 1750 kg. Charakteristika a konstrukce motoru viz příloha 19. [29]

Typ	U_N [V]	I_N [A]	n_N / n_{max} [ot/min]	Příkon [kW]	Výkon [kW]	Účinnost [%]	M_N [N/m]
TDM 5003	534	660	795/3600	352	322	92,3	3946

Dalšími variantami stejnosměrných motorů od firmy PRAGOIMEX a.s.:

Typ	U_N [V]	I_N [A]	n_N / n_{max} [ot/min]	Výkon [kW]	Účinnost [%]	M_N [N/m]
TDM 5009	430	800	648/3120	320	93	4724

Jeho charakteristika a konstrukční řešení viz příloha 20. [29]

KTM-15250 – tento sériový trakční motor vyrábí firma KIRLOSKAR ELECTRIC. Provozní teplota izolace je 180°C (třída izolace H). [31]

U_N [V]	n_N / n_{max} [ot/min]	Výkon [kW]
750	895/2150	630



Obr. 3.1.2. -2 Stejnoseměrný trakční motor typu KTM-15250 [31]

TM v tramvajích:

TE 022J – opět jej vyrábí firma SKD TRADE a.s. Tento motor disponuje sériovým buzením se čtyřmi póly. Vybaven je komutačními póly, Na kotvě má vlnové vinutí s cizí ventilací. Jeho izolační materiál na statoru a rotoru vydrží 155°C, proto patří do izolační třídy F. Hmotnost tramvajového trakčního motoru je 340 kilogramů. [17]

U_N [V]	I_N [A]	Otáčky [ot/min]	Výkon [kW]	M_N [N/m]
300	150	1760	40	220



Obr. 3.1.2. -2 Ss motor se sériovým buzením typu TE 022J [17]

Mezi další tramvajové motory firmy SKD TRADE patří:

Typ	U_N [V]	I_N [A]	n_N / n_{max} [ot/min]	Výkon [kW]	M_N [N/m]
TE 023 A01	300	175	1672/4350	42,7	264

Obrázek tohoto motoru v příloze 17. [30]

Typ	U_N [V]	I_N [A]	n_N / n_{max} [ot/min]	Výkon [kW]	M_N [N/m]
TE 028 A01	300	380	1857/4300	103,5	533

Jeho obrázek a konstrukce viz příloha 18. [30]

TM v metru:

DK 117 – používá se pro pražská vozidla metra typu 81–71M, která jezdí na stejnosměrné síti 750 V. Tento typ motoru se dříve vyráběl v Rusku, ale nyní pohon repasovala firma Škoda Electric a.s. [22]

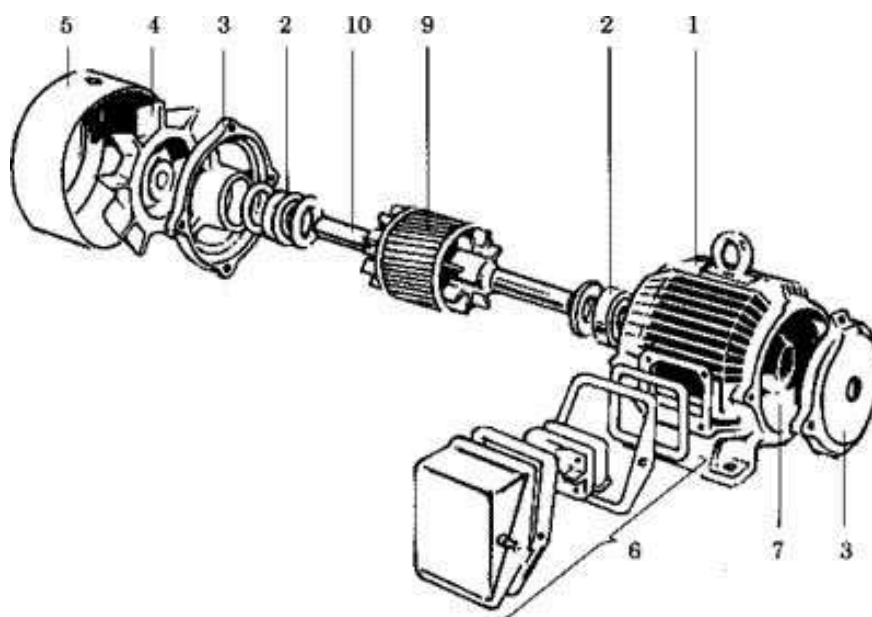
U_N [V]	I_N [A]	Výkon [kW]
375	330	110

3.2. Střídavé motory

Střídavé trakční pohony jsou zatím jedny z nejpoužívanějších motorů respektive se jedná o asynchronní motor. Trakční motor synchronního typu se v železniční trakci téměř vůbec nevyskytuje. Více se vyskytuje v infrastruktuře měst. Synchronní motor s permanentními magnety pohání tramvajové jednotky.

3.2.1. Asynchronní motory

Asynchronní motor se mimo trakční účely hojně používá i pro průmyslové strojní zařízení. Výhodou je jeho nenáročnost na údržbu, jednoduchá konstrukce a malá vzduchová mezera pohybující se řádově 100 μ m. AM má dvě hlavní složky statorové a rotorové. Asynchronní motor lze nazývat i indukčním motorem, protože jeho principem je indukce napětí v rotorové části. [5] [7]



Obr. 3.2.1. - 1 Asynchronní motor – popis [7]

Stator je pevně přichycen do stacionární motorové části. Skládá se z tělesa pláště (1), ložiska (2), v němž je uložen rotor (9), ložiskový štít (3) pro uložení ložisek, ventilátor (4) pro chlazení motoru a krytu ventilátoru (5) proti náhodnému kontaktu s rotujícím ventilátorem. Na straně statoru má motor svorkovnici (6) pro připojení kabelů. Uvnitř statoru jsou umístěné železné tenké plechy (7) z kovu o tloušťce 0,3 až 0,5 mm. Na hřídeli rotoru se nachází drážky, které se skládají z nalisovaných plechů a do nich se vkládají nejčastěji měděné tyče. Pro lepší efektivitu probíhajícího momentu a snížení hlučnosti motoru jsou vhodné šikmé drážky. Zpravidla se zešikmení provádí o jednu drážkovou rozteč. Konce tyčí jsou spojeny vodivými kroužky, čemuž se říká kotva nakrátko nebo klecový rotor. Mimo využití tyčí lze rotor realizovat pomocí vinutí, které se vyvede na kroužky. Vinutí kotvy může být spojeno do hvězdy či trojúhelníku. Častěji se však využívá zapojení do hvězdy. Pomocí sběrných kartáčů doléhajících na kroužky se následně může zapojit odpor, jenž je vhodný pro rozběh motoru. Rotor s tímto systémem zapojení se nazývá rotor s kroužkovou kotvou. [9] [7] [5]

Roztočení asynchronního motoru závisí na elektromagnetickém působení točivého magnetického pole statoru a proudů vytvořených ve vinutí rotoru tímto magnetickým polem. Točivé magnetické pole ve vinutí statoru U_{m1} (magnetické napětí statoru) se vytvoří přivedením proudu ze sítě. Nejčastěji bývá třífázové, kde vinutí ve fázích jsou prostorově pootočená o 120° a protéká jím trojfázový harmonický proud. Stojící rotorové vodiče klece nakrátko protíná magnetické pole statoru. Jelikož rotorové vodiče jsou spojeny kruhy dokrátka, může jím téci proud. Díky tomu se vytvoří magnetické pole rotoru U_{m2} (magnetické napětí). Točivý moment vznikne vektorovým součtem magnetických napětí. [5] [8]

$$\vec{M} = \vec{U}_{m1} + \vec{U}_{m2} \quad [N \cdot m^{-1}] \quad (6)$$

Následkem spolupůsobení těchto dvou polí vzniká deformace pole ve vzduchové mezeře. Samozřejmě magnetické pole má siločáry, které udávají směr točení tím, že siločáry mají tendenci být co nejkratší, tudíž se strhnou k jedné straně a motor se roztočí. [5]

Rychlost otáčení hřídele je dána napětím zdroje, frekvencí, počtem polopárů a skluzem. [5]

$$n = (1 - s) \cdot n_s \text{ [ot/min]} \quad (7)$$

$$\text{kde: } n_s = \frac{60 \cdot f_s}{p} \text{ [ot/min]}$$

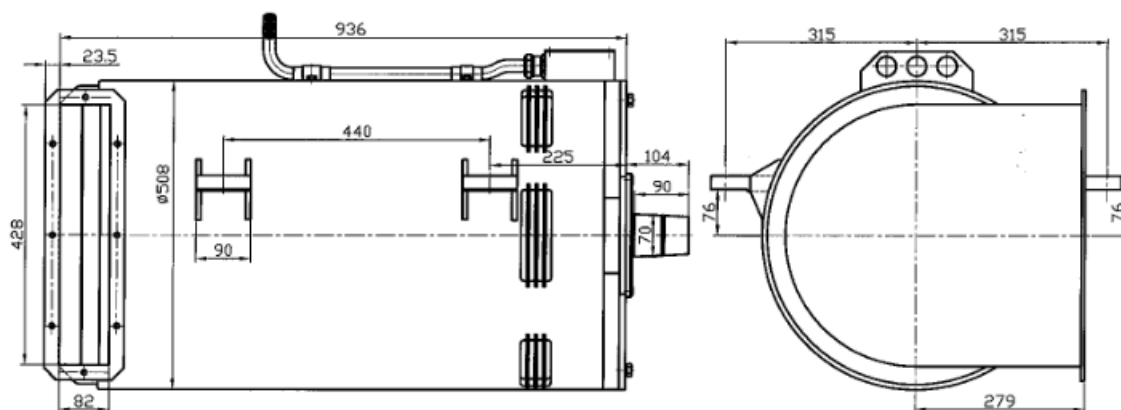
$$s = \frac{n_s - n}{n_s} \text{ [-]}$$

3.2.2. Parametry a konstrukční řešení asynchronního motoru

TM ve vlcích:

TAM 1057 C6 – vyrábí jej firma PRAGOIMEX a.s. Jedná se o šestipólový dvouložiskový uzavřený motor s kotvou nakrátko. Cirkulace vzduchu se provádí pomocí cizí ventilace. Třída izolace 200 umožňuje pracovní teplotu do 200°C. Odolnost vůči cizím tělesům (prachu) a vody popisuje krytí IP 56. Motor váží 830kg. [20]

U_N [V]	I_N [A]	n_N / n_{\max} [ot/min]	Výkon [kW]	Účinnost [%]	M_N / M_{\max} [N/m]	$\cos \phi$ [-]	f [Hz]
400	530	1039/3400	300	94	2760/5509	0,87	53



Obr. 3.2.2. -1 Konstrukční schéma asynchronního motoru typu TAM 1057 C6 [20]

Další asynchronní motory vyráběné firmou PRAGOIMEX a.s.:

Typ	U_N [V]	I_N [A]	n_N / n_{\max} [ot/min]	Výkon [kW]	Účinnost [%]	M_N / M_{\max} [N/m]	$\cos \phi$ [-]	f [Hz]
TAM 1084C6	660	400	786/3400	366	94,6	4455/7317	0,844	40

Jeho konstrukce je k nalezení v příloze 12. [29]

ML 3942 K/4 – motor vyrábí firma ŠKODA ELECTRIC a.s. Disponuje šesti póly. Rotor nakrátko chladí vlastní ventilace. Díky vakuově tlakové impregnaci (VPI) se satorové vinutí provozuje při 200°C (třída izolace 200) a lze ho krátkodobě přehřát do 240°C. Krytí IP 54 určuje ochranu proti vodě a proti vniknutí pevných těles. Hmotnost motoru je 775kg. Ovšem motor vyráběn firmou Škoda není nejvýkonnější. Např. typ MD 4549 K/6 (viz níže) dokáže vyvolat výkon o 1280 kW, ale promítne se to do váhy motoru, který disponuje hmotností přes dvě tuny (2300 kg). Charakteristika a konstrukce motoru viz přílohy 1 a 2. [23] [19]

U_N [V]	I_N [A]	n_N / n_{max} [ot/min]	Výkon [kW]
1727	142	1660/4200	340



Obr. 3.2.2. -2 Asynchronní motor Škoda [23]

Další asynchronní motory od firmy ŠKODA ELECTRIC a.s.

Typ	U_N [V]	I_N [A]	n_N / n_{max} [ot/min]	Výkon [kW]	Krytí	Hmotnost [kg]
MLU 4245 K/6	1130	2 x 157	1986/3975	500	IP 54	1200

Jeho charakteristika a konstrukce viz příloha 3, 4 a 5. [23]

Typ	U_N [V]	I_N [A]	n_N / n_{max} [ot/min]	Výkon [kW]	krytí	Hmotnost [kg]
MD 4549 K/6	1350	672	1544/3064	1280	IP 20	2300

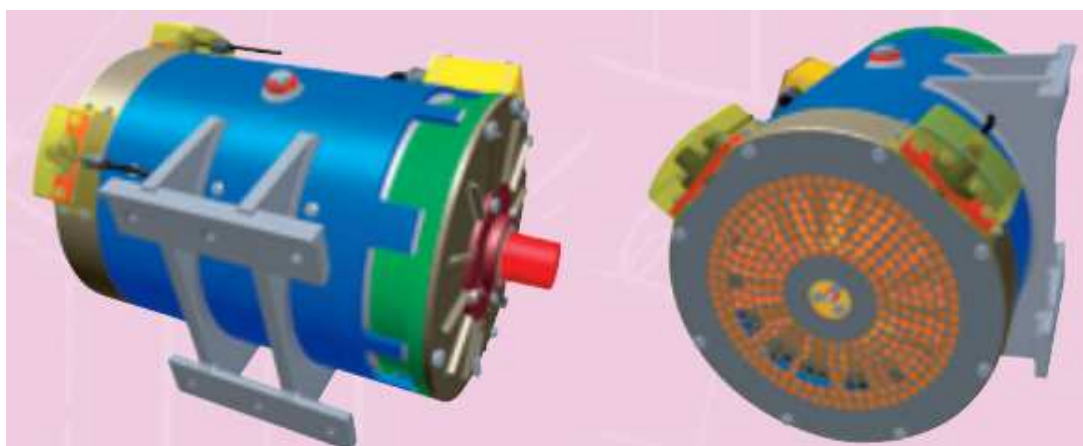
Jeho charakteristika a konstrukce viz příloha 6, 7 a 8. [23]

Typ	U_N [V]	I_N [A]	n_N / n_{max} [ot/min]	Výkon [kW]	krytí	Hmotnost [kg]
ML 4550 K/6	1130	2 x 518	1825/3700	1600	IP 20	2480

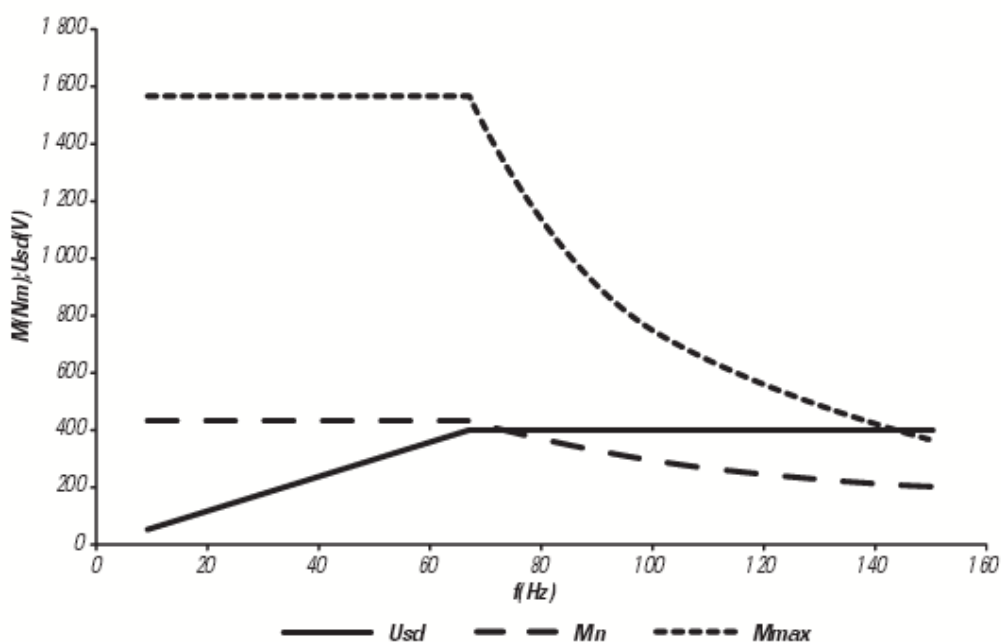
TM v tramvajích

ATM 090 – vyráběn je firmou SKD TRADE a.s. Jedná se o asynchronní motor čtyřpólový, dvou ložiskový a s kotvou nakrátko, který je chlazen pomocí vlastního chlazení. Jeho součástí jsou i čidla otáček. Teplota na izolační prvky nesmí přesáhnout 200°C (třída izolace 200). Krytí IP 56 zabrání vniku intenzivně stříkající vodě (např. déšť) a vniku prachu, i když to není zcela prachotěsné. Hmotnost motoru činí 320kg. [18]

U_N [V]	I_N [A]	n_N / n_{max} [ot/min]	Výkon [kW]	Účinnost [%]	M_N / M_{max} [N/m]	$\cos \phi$ [-]	f [Hz]
400	153,9	1972/4340	90	90	439/1566	0,9	67



Obr. 3.2.2. -3 Asynchronní motor typu ATM 090 [18]



Obr. 3.2.2. -4 Charakteristika AM, závislosti $U=f(f)$ a $M=f(f)$ [18]

TAM 1020 C – tento typ čtyřpólového, dvou ložiskového asynchronního motoru s kotvou nakrátko je vyroben firmou PRAGOIMEX a.s. Izolace má tepelnou zátěž 200°C (třída izolace 200). Ochrana vůči vodě a pevným tělesům určuje IP 56.

Motor má hmotnost 300 kg. Konstrukce motoru viz příloha 13. [29]

U_N [V]	I_N [A]	n_N / n_{max} [ot/min]	Výkon [kW]	Účinnost [%]	M_N / M_{max} [N/m]	$\cos \phi$ [-]	f [Hz]
400	125	2057/4400	65	93,8	302/876	0,8	70

Další asynchronní motory tramvaj vyráběné firmou PRAGOIMEX a.s.:

Typ	U_N [V]	I_N [A]	n_N / n_{max} [ot/min]	Výkon [kW]	Účinnost [%]	M_N / M_{max} [N/m]	$\cos \phi$ [-]	f [Hz]
TAM 1003 C/R	400	141	2064/5200	76	93	351/1675	0,84	70

Jeho konstrukce viz příloha 14. [29]

Typ	U_N [V]	I_N [A]	n_N / n_{max} [ot/min]	Výkon [kW]	Účinnost [%]	M_N / M_{max} [N/m]	$\cos \phi$ [-]	f [Hz]
TAM 1004 C	400	160	1972/4340	90	89,9	436/1612	0,905	67

Jeho konstrukce v příloze 15 a 16. [29]

TM v metru:

ML 3647 K/4 – vyrábí jej firma ŠKODA ELECTRIC a.s. Uvnitř motoru se nachází čtyřpólový asynchronní motor s kotvou nakrátko s vlastní ventilací. Vyrábí se v otevřené konstrukci a na každé straně motoru je hřídel připravena pro montáž spojky. Třída impregnace 200 ale může být přetížena na 240°C. Krytí IP 20 je nízké z toho důvodu, že metro jezdí v tunelu, tudíž není vystavováno vlivům počasí. Hmotnost motoru je 880kg. Charakteristika a konstrukce se nachází v přílohách 9, 10 a 11. [23]

U_N [V]	I_N [A]	n_N / n_{max} [ot/min]	Výkon [kW]
995	189	1775/3600	260



Obr. Asynchronní motor s kotvou nakrátko typu ML 3647 K/4 [23]

Další výrobek od firmy ŠKODA ELECTRIC a.s.

Typ	U_N [V]	I_N [A]	n_N / n_{max} [ot/min]	Výkon [kW]	krytí	Hmotnost [kg]
ML 3844 K/4	440	290	1238/3490	170	IP 20	660

Firma BRUSH se zabývá výrobou asynchronních trakčních motorů. Mají velmi široké portfolio výroby motorů. Produkují motory o výkonech až do 1000 kW. V příloze 21 jsou uvedeny druhy motorů. [32]

Velkým výrobcem indukčních trakčních motorů je firmou ABB. Firma produkuje motory výkonově od 600 kW do 1800 kW, do maximálního napětí 3 kV a do maximálních otáček 5000 ot/min. Hmotnosti motorů jsou do 2700 kg. Závislost momentu na otáčkách je zobrazeno v příloze 22. [33]

3.2.3. Synchronní s permanentními magnety

Velký zvrat v užívání synchronních motorů přinesly až aplikace s permanentními magnety. Tyto motory se využívají v Japonsku pro příměstské vlaky e-train, kde výkon jednoho motoru činí 160kW. V trakci se nadále používají pro tramvaje či podzemní dráhy. V Čechách tento trakční motor jezdí zatím pouze v pražské metropoli. Motor s permanentními magnety byl umístěn do nízkopodlažní tramvajové jednotky 15T ForCity od firmy Škoda Transportation. [12]



Obr. 3.2.2. -1 Tramvaj 15T ForCity, Praha [13]

Synchronní motory s permanentními magnety se dají rozdělit dle konstrukce rotoru do dvou skupin.

První realizaci tvoří stroj, který má satorové trojfázové vinutí uloženo v drážkách magnetického obvodu, podobně jako asynchronní motor. Permanentní magnety nese rotor, který je umístěn uvnitř satoru. Proto se nazývá tento motor s vnitřním rotorem. Rotor ve většině případů je odlehčen dutinami, protože magnetický tok se uzavírá v povrchové vrstvě. Každý pól permanentních magnetů je tvořen jednotlivými segmenty o velikostech desetín až jednotky centimetru. [12]

Druhou koncepci tvoří stroj, jehož trojfázový sator je obepínán rotorem s permanentními magnety. Tento druh motoru se nazývá motor s vnějším rotorem. Konstrukce tohoto typu se používá v aplikacích, kdy se přímo do konstrukce kola integruje motor. V technickém řešení je tedy sator pevně spojen s osou kola. Kdežto rotor, který obepíná sator je součástí kola. [12]

Princip rozjezdu je založen na napájení satorového vinutí z třífázové soustavy napětí. Následně se vytvoří magnetické otáčivé pole satoru. Magnetické účinky satorového točivého pole jsou podobné jako u otáčejícího se magnetu. Frekvence napájecího napětí satoru a konstrukce motoru určuje rychlost otáčení magnetického

pole. Frekvence, která řídí otáčky je u trakce výstupem z výkonových polovodičových měničů napětí s říditelnou výstupní frekvencí. Na rotoru jsou umístěny póly permanentních magnetů, které jsou silově vázány s magnetickým polem statoru. Tedy vlivem magnetických sil je rotor unášen. Jeho rychlost je totožná s rychlostí statorového pole, což je typická vlastnost pro synchronní motor. [12]

Permanentní magnety jsou tvořeny ze speciálních slitin na bázi dvou skupin materiálu. Prvá báze souvisí s prvky Neodymu – Železo – Bór (NdFeB) a druhá báze prvků je Samarium – Kobalt (SmCo). Výhodou těchto permanentních magnetů je veliká remanentní magnetická indukce, která u slitin NdFeB dosahuje až 1,25 T. U slitin SmCo dosahuje magnetická indukce menších hodnot do 1 T, zatímco běžné permanentní magnety na bázi feritu mají magnetickou indukci pouze 0,3 T. Magnety ze slitin NdFeB se užívají častěji, ale oproti SmCo jsou náchylnější na korozi, což zkracuje i jejich životnost. Délka života permanentních magnetů se řádově udává na desítky let. U těchto magnetů se musí dbát i na provozní teplotu, protože ponechání magnetů ve vyšších teplotách, než jsou jejich maximální provozní teploty, začnou ztrácet svoje magnetické vlastnosti. U slitin SmCo je provozní teplota do 300°C a u NdFeB do 100°C. [12]

3.2.4. Parametry synchronního motoru s permanentními magnety

TM v tramvajích

HLU 3436 P/44 -VA – tento trakční motor je vyráběn firmou ŠKODA TRANSPORTATION a.s. pro pohon tramvajových jednotek ForCity. Motor, který má 44 pólů je zcela zakrytovaný a kapalinou chlazený. Pro stálý provoz je třída izolace H (180°C), která umožňuje krátkodobé přetížení na 240°C. Vysoká třída izolace se vytvořila díky menší vrstvě impregnace pryskyřicí statorového vinutí metodou tlakové impregnace ve vakuu (vacuum-pressure-impregnation). Ochrana vůči vodě a pevným tělesům určuje IP 54. Hmotnost pohonu činí 252kg. Charakteristika motoru viz příloha 23. [21]

U_N [V]	I_N [A]	n_N / n_{max} [ot/min]	Výkon [kW]
392	142	196/706	46,6



Obr. 3.2.4. -1 Synchronní motor s permanentními magnety typu HLU 3436 P/44 - VA [21]

3.3. Maglevy

3.3.1. Historie

Na první pohled by se mohlo zdát, že se jedná o převratnou novinku. Není to pravdou. První patent na magnetickou levitaci (maglevu) připadá němci Alfredu Zehdenovi z roku 1902 a 1907. Následovalo mnoho vynálezců např. Hermann Kemper (r. 1934), J. R. Powel a G. D. Danby (r. 1963) a další. První prototyp EMS levitace byl představen roku 1935 a zkonstruoval jej Hermann Kemper. Avšak první tratí uzpůsobenou pro jízdu lokomotiv s lineárním motorem byla zkušební trať v Německu. Trať vznikla v Hamburku roku 1979 při příležitosti výstavy International Transportation Exhibition a měřila 908 metrů. Další zkušební tratě se nacházejí v zemi vycházejícího slunce. Japonsko vlastní dvě zkušební tratě a to Miyazaki a Yamanashi. Na trati Miyazaki byla první testovací jízda uskutečněna v roce 1977, kde profil kolejnice tvořilo „T“ zatímco na nynějších tratích jsou kolejnice konstruovány do profilu „U“. Překročení rychlosti 500km/h se zde uskutečnilo v prosinci roku 1979, kde tuto hranici překročila jednotka ML-500, která neměla místo pro cestující. S pasažéry se na Miyazaki v roce 1995 dosáhlo rychlosti 411 km/h s jednotkou označenou MLU002N. Na druhé testovací trati Yamanashi, jenž má délku 42,8 km, se první test uskutečnil v roce 1997. Testy prováděné na této trati jsou zaměřeny na možnost pohodlné, bezpečné a stabilní jízdy při rychlostech kolem 500 km/h; ověření poruchovosti a životnosti vozidel, minimální poloměry, stoupání i klesání trati; osové vzdálenosti kolejí; výkonnost jednotek v tunelech v závislosti na průřezu tunelu a proudění vzduchu v tunelu; technické parametry

výhybek; dopad na životní prostředí; ekonomické studie. Do budoucna se plánuje výstavba trati, která by nahradila leteckou dopravu na trase Tokyo - Osaka. Nejprve však do roku 2027 by měl být zahájen provoz mezi městy Tokyem a Nagooou a tato část tratě by byla ujeta za 40 minut. Dále by měla trať vést z Nagoy do Osaky. Vzdálenost této dráhy (Tokyo – Nagoa - Osaka) má být 514 km a vlak by ji zvládnul za 67 minut, což je časově srovnatelné s leteckou dopravou. Ve skutečném provozu se maglev používá od roku 2002 v Číně, přesněji v Šanghaji, a slouží jako příměstská dráha mezi městem a letištěm. Dráha činí tři desítky kilometrů a „vznášející se vlak“ ji urazí za 8 minut. V Německu mají stále jen zkušební trať v Dolním Sasku u obce Lathen (Emslandu). [14] [24] [25]

3.3.2. Levitace

Levitace znamená vznášení objektů nad Zemí. Objekt musí překonat gravitační účinky, ale překonání gravitace ještě není zdaleka vše. Objekt musí zůstat v rovnovážné poloze, což se zajistí tím, že součet všech sil působících na těleso se musí rovnat nule. V případě nedodržení této podmínky se těleso zřítí k Zemi *nebo jinému „působivějšímu“ objektu vstupující do interakce.* [cit. 15] Malá odchylka tělesa z rovnovážné polohy je možná. Převážně to jsou velice jemná mechanická vychýlení, která se nakonec vrátí zpět do rovnovážné polohy. [15]

Levitace může být akustická, kde se užívá ke vnášení objektu zvuk. Další levitace, které si pouze vyjmenujeme, jsou optické, aerodynamické a hybridní. Ovšem tyto druhy se neuvžívají pro trakční účely. Naším hlavním úkolem je magnetická levitace, jež má několik fyzikálních principů:

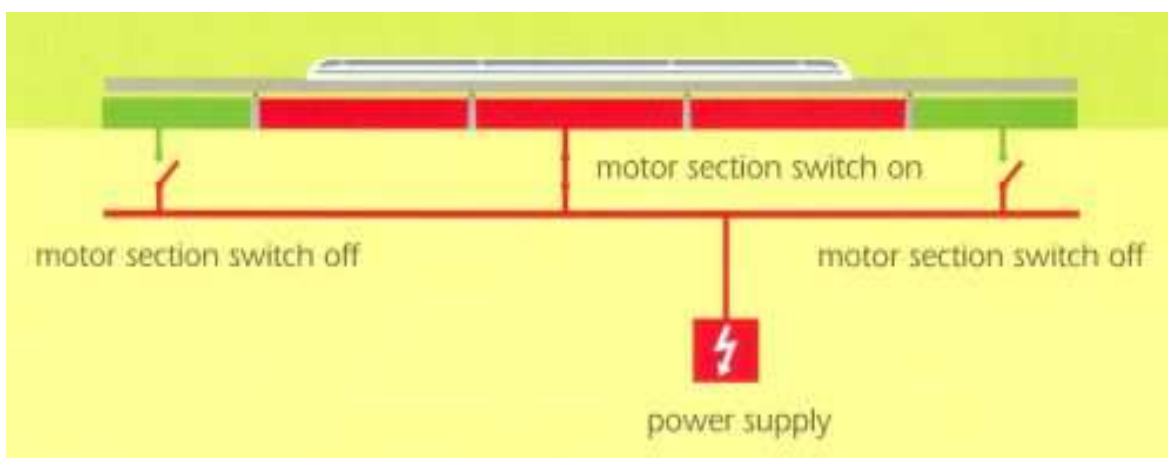
- Levitace s permanentními magnety
- Levitace s použitím diamagnetika
- Levitace transformační
- Elektromagnetická levitace (EMS)
- Elektrodynamická levitace (EDS)

Použití magnetické levitace se využívá pro širokou škálu průmyslových odvětví. Mimo trakci se využívá ve speciálních zařízeních, kde je potřeba užití bezkontaktních vysokorychlostních ložisek. Své využití najde i v hutním průmyslu zejména u rafinace kovů. Zde se použije bezkontaktního indukčního tavení. Dále se využívá v oblastech vybavovacích mechanismů rychlovypínačů,

v elektromagnetických dělech a katapulty pro starty raketoplánů, v pulzních elektromechanických měničích, atd. [14]

Levitace s permanentními magnety, s použitím diamagnetika a transformační jsou nestabilními levitacemi, proto se nevyužívají k trakčním účelům. Mezi využívané a spolehlivé principy levitací se řadí elektromagnetická a elektrodynamická levitace.

Výkon respektive rychlost těchto vlaků závisí jen na odporu vzduchu a následně na spotřebě elektrické energie. Vlak na principu maglevu má menší energetické náklady než např. elektrický německý rychlovlak ICE. Tedy při rychlostech přes 400 km/h maglev spotřebovává více energie, protože musí překonávat odpor vzduchu, ale i přesto je spotřeba o 30% nižší. Důvodem nízké spotřeby je, že elektrická energie není po celé délce trati jako u lokomotiv s rotačními motory, ale jen tam, kde se nachází vlak. Čili jede-li vlak, zapne napájení v místě, kde se vlak nachází a jakmile vozidlo z příslušného úseku vyjede, napájení se vypne a následně se zapne napájení dalšího úseku. [26]

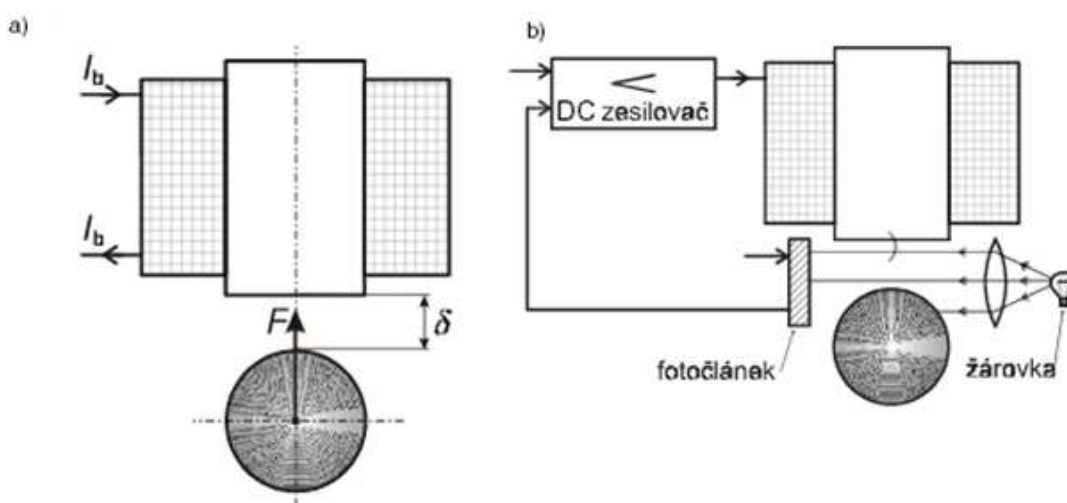


Obr. 3.3.2. -1 Schéma napájení lineárního motoru [27]

3.3.3. Elektromagnetická levitace (EMS)

EMS (Electro – Magnetic Suspension) je založena na principu přitahování feromagnetického objektu za pomoci stejnosměrného elektromagnetu. Princip nestabilní levitace je znázorněn na obr. 3.3.3. -1 a), kde se při menší síle elektromagnetu než je hmotnost tělesa ($F < F_m$) stane, že odpadne (zřítí se k Zemi) objekt. Anebo může nastat druhá varianta. Při větší síle elektromagnetu než je hmotnost tělesa ($F > F_m$), se objekt přitáhne a opět by následoval havarijní stav

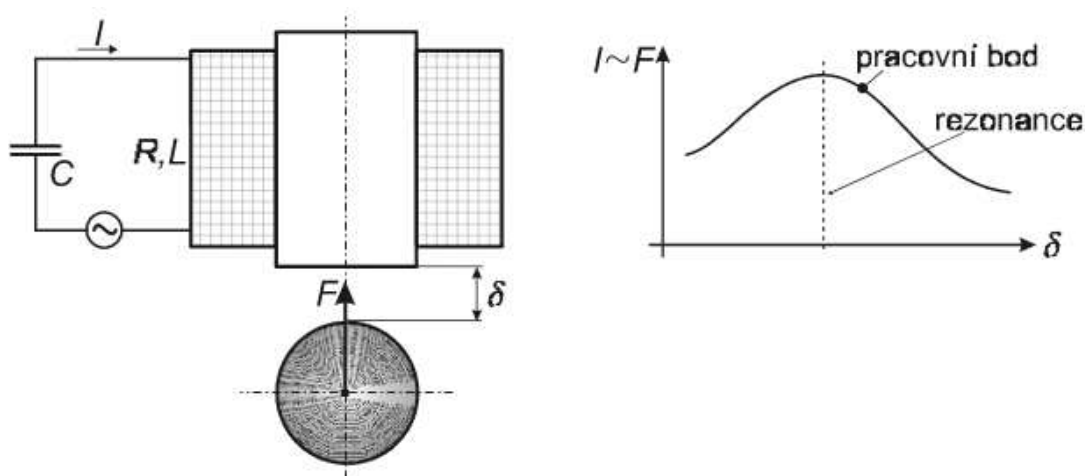
vlaků. K odstranění nestabilního stavu se musí zavést zpětná vazba (regulace) k budicímu proudu, která je znázorněna na obr. 3.3.3. -1 b). Zpětnovazební regulace pracuje tak, aby nastavovala budicí proud úměrně k magnetickému tahu zajišťující rovnováhu daného tělesa. Dále je z obrázku vidět jednoduché schéma zpětné vazby s optickým čidlem polohy. Toto čidlo se skládá z fotoelektrického článku (z přijímače – např. fotorezistor, fotodioda,...; z vysílače – např. dioda) čili napětí na výstupu závisí na poloze daného tělesa. [14]



Obr. 3.3.3. -1 EMS: a) nestabilní, b) stabilní se zpětnovazebním regulátorem budícího proudu [14]

Následující možností samočinné regulace je za pomoci střídavého elektromagnetu s laděným obvodem RLC znázorněno na obr. 3.3.3. -2. Elektromagnet považujeme za RL obvod a k tomu sériově zapojíme kondenzátor mající kapacitu C určenou tak, aby pracovní bod obvodu RLC se vyskytoval blízko za rezonancí. Princip této regulace spočívá v tom, že při oddálení tělesa od elektromagnetu klesá indukčnost cívky, pracovní bod se začne přibližovat k rezonanci a následně se zvětší budicí proud, díky kterému se těleso začne přibližovat k elektromagnetu. Opačným jevem je konvergence tělesa k elektromagnetu, čímž se zvyšuje indukčnost cívky a obvod se více oddálí od rezonance, respektive se rozladí. K vyrovnání sil se uskuteční pokles budícího proudu a přitažlivé síly. Druh této regulace se v traktu nepoužívá kvůli nevýhodám časové konstanty obvodu RLC a jejímu indukčnímu charakteru obvodu pro stabilní polohu objektu čili nízkému účinníku. Nevýhoda časové konstanty RLC spočívá v její velikosti, tzn., že síly působící na těleso jsou slabě

tlumeny a při vzniku poruchy stabilní polohy vznikají kmity, které mohou někdy divergovat. [14]

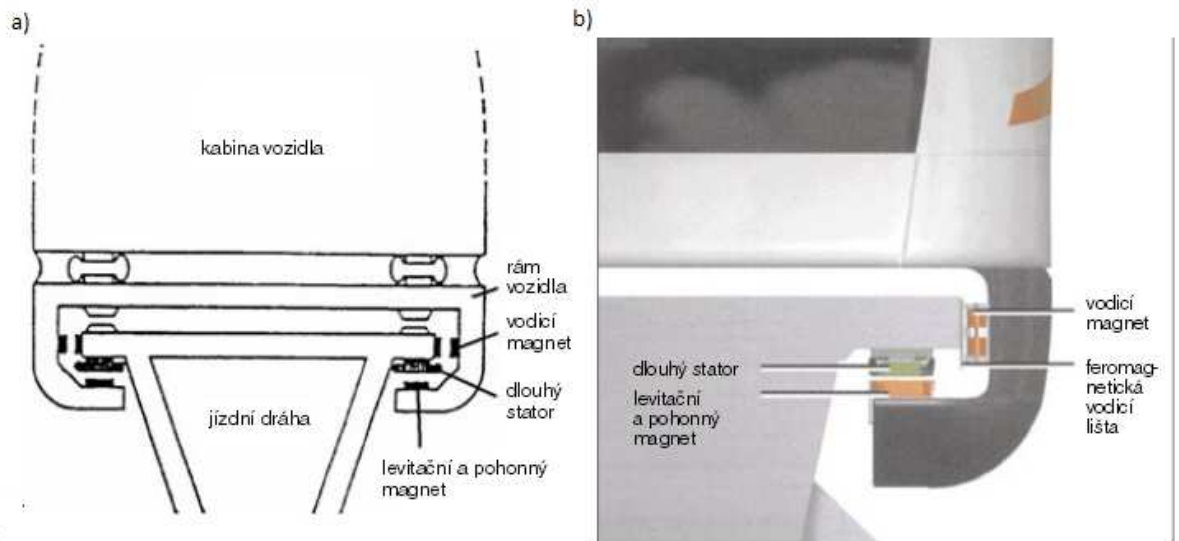


Obr. 3.3.3. -2 EMS: stabilizace polohy tělesa obvodem RLC [14]

Levitace EMS pracuje na menších rozměrech vzduchové mezery přibližně 5 až 10 cm. Tato vlastnost je nevýhodou, protože kvůli menší vzduchové mezeře jsou kladeny vyšší nároky na konstrukci vozidla i dráhy, což vede i k vyšším finančním nákladům. Oproti EDS má výhodu v tom, že vozidlo levituje i v klidovém stavu. Z toho vyplývá absence rozjezdových kol, není nutností vybavovat jednotky supravodiči, z čehož není nutnost náročného kryotechnického zařízení. Pro jednotky na tomto principu je nutností již zmiňovaná zpětnovazební regulace. [14]

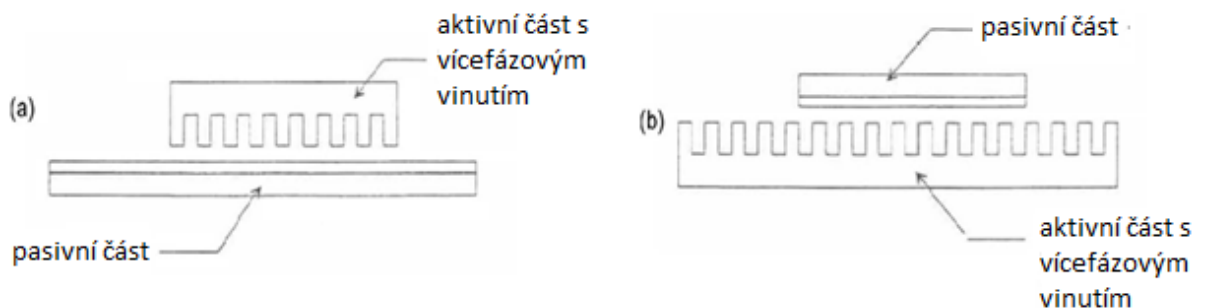
V Evropě se EMS levitací zabývá Německá republika a nazývají to projektem Transrapid. Tento projekt je přímo využíván na Šanghajské příměstské levitující dráze. [14]

Konstrukce lineárního motoru na principu EMS vypadá následovně na obr.3.3.3.–2. S rámem vozidla obepínající jízdní dráhu jsou spojeny levitační a pohonné magnety. Při průjezdu zatáčkou jsou nutností vodící magnety zabudované po stranách podvozku. Postranní magnety umožňují udržení vozidla v požadované poloze a směru. [14]



Obr. 3.3.6. -3 a) Řez vozidlem a jízdní dráhou b) Detail pohonného a vodícího systému [14]

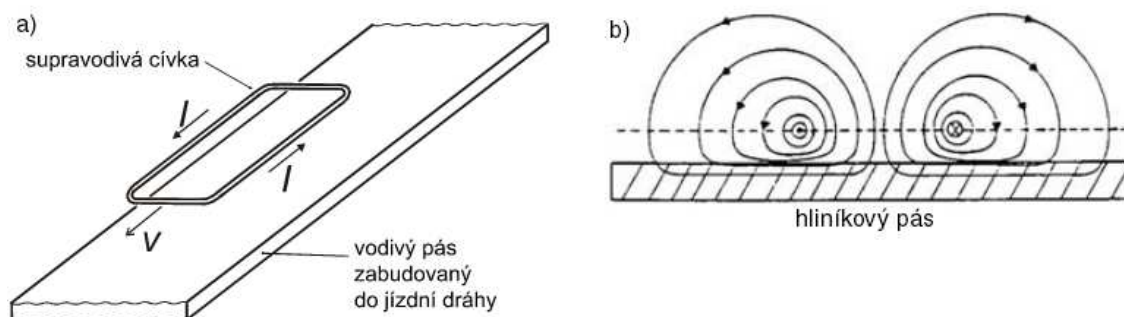
Pohon pro magnetické superexprese se liší oproti pohonům pro městské magnetické vozy ve stavbě statoru. Základ pohonu pro oba typy je tzv. lineární synchronní motor. Superexprese jsou na principu „dlouhého statoru“. Dlouhý stator se dá pochopit z klasického synchronního motoru, kde stator je lineárního tvaru a rozkládá se po celé délce jízdní dráhy. Rotor tvoří ss elektromagnety umístěné s rámem vozidla a zároveň zastávají funkci levitace. Napájení statorového vinutí lze regulovat. Napětí 0 – 7800 V, proud 0 – 1200 A a kmitočet 0 – 215 Hz. U městských typů vozidel se nachází tzv. krátký stator. Krátký stator znamená, že stator je umístěn ve vozidle a je napájen z troleje (1500 V stejnosměrných). Rotorem je myšlen hliníkový pás, který je umístěn v jízdní dráze. Rozdíly dlouhého a krátkého statoru viz Obr. 3.3.3. – 4. [14]



Obr. 3.3.3. -4 a) Krátký stator b) Dlouhý stator [10]

3.3.4. Elektrodynamická levitace (EDS)

EDS (Electro – Dynamic Suspension) znamená levitace pomocí odpuzování (neboli repulsivní typ levitace). Zakládá se na principu odpuzování stejnosměrného elektromagnetu od pohyblivého vodivého (hliníkového) pásu, ukazuje to obr.3.3.4.-1a). Obdélníková cívka je integrována na vozidle a napájí ji stejnosměrný budící proud. Nad vodivým pásem se nachází cívka. Když mezi cívkou a vodivým pásem nepůsobí žádné síly, přičemž magnetické pole cívky vniká do vodivého pásu, znamená to, že cívka se vůči pásu nepohybuje. Naopak jestliže se cívka pohybuje, začnou se indukovat vířivé proudy ve vodivém pásu, jejichž magnetické pole je ve vzájemném spolupůsobení s magnetickým polem budící cívky. Působící síly na cívku jsou dvojího druhu. Jednak síla způsobující levitaci čili síla odpuzující cívku od pásu. Druhá síla brzdí pohyb cívky. K pohybu vozidla je zapotřebí překonat tento druh síly. Na obr. 3.3.4. -1 b) je znázorněno, jak na sebe působí magnetické pole vířivých proudů a magnetické pole cívky → působí proti sobě čili výsledné magnetické pole je velmi slabé. [14]



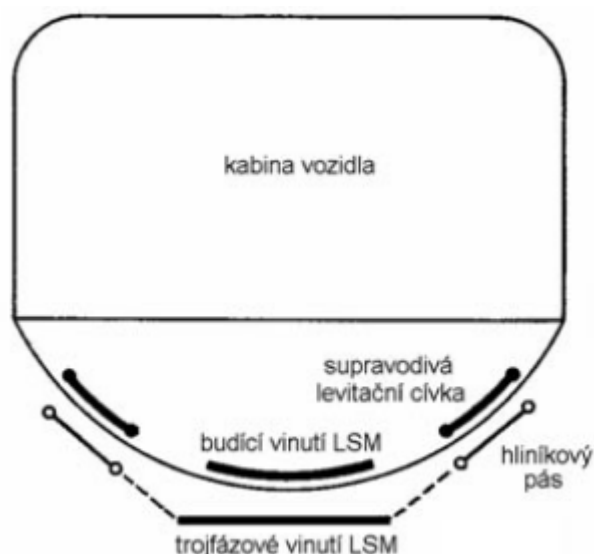
Obr. 3.3.4. -1 EDS: a) pohybující se supravodivý magnet nad vodivým pásem,
b) magnetické pole pohybujícího se supravodivého magnetu [14]

Kdyby magnetické pole bylo velmi slabé, nemohl by se provozovat levitující vlak, který v současné době jezdí v Japonsku. Řešení přináší supravodiče. Supravodivé cívky dovolí naindukovat velmi silné magnetické pole. S tím souvisejí i extrémně veliké budící proudy. Při splnění velikého magnetického pole je levitující síla dostatečná. Magnetické pole se skládá obdobně jako u předchozího levitujícího systému a to ze dvou složek → z magnetického pole vířivých proudů a z budícího magnetického pole. Znovu obě složky vedou k silové interakci, z čehož vzniká levitace. [14]

Princip EDS využívají Japonské železnice (JNR) a vyvíjejí tuto levitaci s firmami Mitsubishi, Toshiba a Hitachi pod názvem MLU. Dále se na tomto projektu aktivně podílejí další země jako Kanada, USA a Německo. [14]

Zde výška vzduchové mezery činí 10 až 15cm. Vozidlo na EDS principu potřebuje ke svému rozjezdu a zastavení kola ať už klasické železniční nebo pneumatické.

Na obr. 3.3.4. -2 je znázorněn hliníkový pás vedený v jízdni dráze. Hliníkový pás se používá s obdélníkovými otvory nebo se na konstrukci použijí cívky spojené dokrátka. [14]



Obr. 3.3.4. -2 Řez vozidlem a jízdni dráhou [14]

Vozidlo začne levitovat až kolem rychlostí 80 km/h, tzn., že v cívkách zabudovaných v jízdni dráze se začínají indukovat dostatečně velké proudy, které svým magnetickým polem zvednou vozidlo do vzduchu. Pohon vozidel zajišťuje lineární synchronní motor. U superexpresů se používá stejně jako u principu EMS dlouhý stator. Zde lze regulovat napájecí veličiny od nulových hodnot po 5800 V, 900 A a 28Hz. [14]

4. Vývoje trakčních motorů v blízké budoucnosti

Základní principy zmíněných motorů zůstávají stále platné, ale pomocí moderní regulace lze získat nové vlastnosti těchto motorů. Dále se vyvíjejí materiály, které lze použít pro tvorbu točivého magnetického pole. Vyvíjejí se nová ložiska, chlazení stroje. Vývoj trakčního motoru lze jednoduše popsat tak, že všechna řešení vývoje trakčního motoru slouží k tomu, aby měl co nejmenší joulovou ztrátu, mechanické ztráty a ztráty v železe. Čím menší budou tyto ztráty, tím méně bude potřeba elektrické energie na jejich hrazení a tím více se ušetří.

Trakční motory se výhradně užívají v železniční dopravě, ale nové trendy směřují i do automobilové dopravy. V automobilu by se spalovací motor využil už pouze jako „elektrocentrála“ běžící v optimálních otáčkách, která by dodávala elektrickou energii trakčním motorům a zbytku elektrické výbavy. Můžou např. zaznít otázky typu: Proč použít trakční motor v automobilu? Jaké to může mít výhody? Odpověď je jednoduchá. Zážehový nebo vznětový motor nejlépe pracuje v malém určitém rozsahu otáček. Oproti tomu trakční motor má daleko širší rozsah otáček, kde pracuje optimálně. Trakční motor by byl situován na levém i pravém předním kole nebo na všech čtyřech. U hybridu bychom z tohoto důvodu neviděli diferenciál.

Trakční motor vhodný pro automobily vyrábí firma Mission Motors viz obr. 4. Motory jsou dvojího druhu. Trakční asynchronní motor s kotvou nakrátko a synchronní motor s permanentními magnety. [28]

Asynchronní motor s kotvou nakrátko je čtyřpólový a olejem chlazený. Mezinárodní stupeň ochrany má IP 6K7 (prachotěsné a vydrží i dočasné ponoření v kapalině) nebo IP 6K9K (prachotěsné a vodotěsné i při extrémním tlaku). Hmotnost motoru činí 23 kg. [28]

U_N [V =]	I_N [A]	n_N / n_{max} [ot/min]	Výkon [kW]	Účinnost [%]	M_{max} [N/m]
150 - 450	550	9000/16000	65	90	70

Synchronní motor s permanentními magnety je šesti pólový a chlazený olejem. Má stejné možnosti krytí jako asynchronní motor s kotvou nakrátko. [28]

I_N [A]	n_N / n_{max} [ot/min]	Výkon [kW]	Účinnost [%]	M_{max} [N/m]
550	7000/15000	85	92	115



Obr. 4. Trakční motor do automobilů do firmy Mission Motors [28]

Inovace v lineárních motorech už není prioritou pouze Německa, Japonska a Číny, ale i další země mají své plány s lineárním pohonem. Principy ovšem zatím zůstávají. Čína však rozpoutala velkou diskuzi ohledně návrhu vakuových tunelů, ve kterých by vlak dosahoval rychlosti až 1000 km/h. Tato úvaha je možná, protože by se odstranil problém s odporem vzduchu vozidla. Možnosti provozu vakuových tunelů zkoumají čínské univerzity.

5. Závěr

Práci jsem zhotovil podle zadání, které jsem si vybral. Cílem bakalářské práce bylo seznámit čtenáře s jednotlivými trakčními motory, které se využívají pro pohon vlakových jednotek. Zároveň byly zmíněny české i zahraniční firmy vyrábějící motory a jejich parametry. Podrobnější schémata a charakteristiky motorů jsou přiloženy v přílohách. Zajímavostí, která pro lidstvo není novinkou, ale spíše náročnou úlohou finančních prostředků jsou maglevy. Na konci třetí kapitoly je probrána historie magnetické levitace. Následně jsou uvedeny druhy magnetických levitací. Dále jsou popsány principy elektromagnetické a elektrodynamické levitace, které se používají pro trakční účely. Ve čtvrté kapitole se dokladuje podle aktuální vědecké studie, že by v blízké budoucnosti mohl být v automobilech kromě spalovacího motoru i motor trakční.

6. Použitá literatura

- [1] BITTNER, Jaromír, KŘENEK, Jaroslav, SKÁLA, Bohumil, ŠRÁMEK, Milan. *Malý atlas lokomotiv 2011*. 1. Vydání Praha: Copyright Gradis Bohemia, s. r. o., 2010, ISNB 978-80-86925-08-0
- [2] FR. KŘIŽÍK, ELEKTROTECHNICKÝ ZÁVOD V PRAZE-KARLÍNĚ [online]. [cit. 2013-04-18]
http://bechyňka.wz.cz/bch100/krizik1903/page_12.htm
- [3] Atlas Lokomotiv [online]. [cit. 2013-04-18] dostupné z WWW:
<http://www.atlaslokomotiv.net/loko-810.html>
- [4] Škola Helbar [online]. [cit. 2013-05-20] dostupné z WWW:
http://skola.hellebrand.cz/text0910/ele/motory_ss.pdf
- [5] SKÁLA, Bohumil. *Elektrické stroje* 2012
- [6] VRÁNA, Václav, KOČMAN, Stanislav, KOLÁŘ Václav. *Stejnoseměrné stroje 2006* [online]. [cit. 2013-05-22] dostupné z WWW:
http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/hgf/elektrotechnika/sylab_stejnosemerne_stroje_bc.pdf
- [7] Pohon a technika [online]. [cit. 2013-05-21] dostupné z WWW:
<http://www.pohonnatechnika.cz/skola/motory/asynchronni-motor/princip-asynch-motoru>
- [8] SPŠ Ústí nad Labem [online]. [cit. 2013-05-22] dostupné z WWW:
<http://p.kobrlle.sweb.cz/stroje/as-skriptum.pdf>
- [9] KOVÁŘ, Jaroslav. *Časové relé pro automatický rozběh asynchronního motoru Y/D 2009*. [online]. [cit. 2013-05-22] dostupné z WWW:
https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/10440/kovar_jaroslav_BP.pdf?sequence=1
- [10] Betriebssysteme elektrischer Bahnen [online]. [cit. 2013-06-04] dostupné z WWW:
http://www.bahnsysteme.tuberlin.de/fileadmin/a3533/uploads/Sonstiges/He_Mn_PROCEEDINGS_OF_THE_IEEE_Vol.97_No.11_November_2009.pdf

- [11] Model Fun, [online]. [cit. 2013-05-22] dostupné z WWW:
<http://www.modelfun.cz/rcmagazin/motory-stejnoserne-vs-brushless/>
- [12] Vědecko – technický sborník ČD, [online]. [cit. 2013-05-23] dostupné z WWW: <http://www.cdtrail.cz/VTS/CLANKY/vts29/2908.pdf>
- [13] Škoda Transportation a.s. [online]. [cit. 2013-05-23] dostupné z WWW:
<http://www.skoda.cz/cs/produkty/tramvaje/tramvaj-forcity-praha/Contents.2/0/C5BF7723ED487B63001B5240A106F2AA/original.jpg>
- [14] MAYER, Daniel. *Magnetická levitace a její využití* [online]. 2003 [cit. 2013-05-27] dostupné z WWW:
<http://www.odbornecasopisy.cz/download/el010304.pdf>
- [15] WEISS, J., ROMAN, J. *Magnetická levitace* [online]. 2008 [cit. 2013-05-27] dostupné z WWW:
<http://fyzsem.fjfi.cvut.cz/2007-2008/Zima07/proc/levitron.pdf>
- [16] SKD TRADE a.s [online]. [cit. 2013-05-30] dostupné z WWW:
http://www.skd.cz/firma/tocive_stroje/TE015C.pdf
- [17] SKD TRADE a.s [online]. [cit. 2013-05-30] dostupné z WWW:
http://www.skd.cz/firma/tocive_stroje/TE022J.pdf
- [18] SKD TRADE a.s [online]. [cit. 2013-05-30] dostupné z WWW:
http://www.skd.cz/firma/tocive_stroje/ATM090.pdf
- [19] ŠKODA TRANSPORTATION a.s. [online]. [cit. 2013-05-30] dostupné z WWW: <http://www.skoda.cz/cs/produkty/trakcni-motory/trakcni-motory-pro-lokomotivy-a-predmestske-jednotky/>
- [20] PRAGOIMEX a.s. [online]. [cit. 2013-05-30] dostupné z WWW:
<http://www.pragoimex.cz/i/File/TAM%201057C6.pdf>
- [21] ŠKODA TRANSPORTATION a.s. [online]. [cit. 2013-05-30] dostupné z WWW: <http://www.skoda.cz/cs/produkty/tramvaje/tramvaj-forcity-praha/>
- [22] MetroWeb.cz, [online]. [cit. 2013-06-01] dostupné z WWW:
<http://www.metroweb.cz/metro/VOZIDLA/tech-vozy.htm>
- [23] ŠKODA ELECTRIC a.s. [online]. [cit. 2013-06-01] dostupné z WWW:
<http://www.skoda.cz/cs/o-spolecnosti/spolecnosti-skoda/skoda-electric-as/Contents.2/0/E525F378620334383998389E0CC4EC64/resource.pdf>

- [24] KADLEČEK, Jiří. Systém maglev v Japonsku [online]. [cit. 2013-06-02] dostupné z WWW: http://vrt.fd.cvut.cz/data/seminarky/2009zs/kadlecek-maglev_jap_2-text.pdf
- [25] RISK – MANAGEMENT.CZ [online]. [cit. 2013-06-02] dostupné z WWW: <http://www.risk-management.cz/index.php?clanek=80&cat2=1&lang=>
- [26] JAPONSKO [online]. [cit. 2013-06-02] dostupné z WWW: http://www.japonsko.tnet.cz/maglev_01.htm
- [27] SVAZ DOPRAVY ČESKÉ REPUBLIKY [online]. [cit. 2013-06-02] dostupné z WWW: <http://www.svazdopravy.cz/html/cz/maglev.html>
- [28] MISSION MOTORS [online]. [cit. 2013-06-05] dostupné z WWW: <http://ridemission.com/wp-content/uploads/2012/01/Motor-Spec-Sheet.pdf>
- [29] PRAGOIMEX a.s. [online]. [cit. 2013-06-05] dostupné z WWW: <http://www.pragoimex.cz/l.php?id=101>
- [30] SKD TRADE a.s. [online]. [cit. 2013-06-05] dostupné z WWW: <http://www.skd.cz/firma/index.htm>
- [31] KIRLOSKAR ELECTRIC [online]. [cit. 2013-06-05] dostupné z WWW: <http://www.kirloskar-electric.com/products/traction/dc-traction-motor-ktm-15250.html>
- [32] BRUSH [online]. [cit. 2013-06-05] dostupné z WWW: <http://www.brush.eu/products/10173.html>
- [33] ABB [online]. [cit. 2013-06-05] dostupné z WWW: [http://www05.abb.com/global/scot/scot234.nsf/veritydisplay/8d97662e6c8b457ac125784f00380271/\\$file/Fram%20induction.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot234.nsf/veritydisplay/8d97662e6c8b457ac125784f00380271/$file/Fram%20induction.pdf)

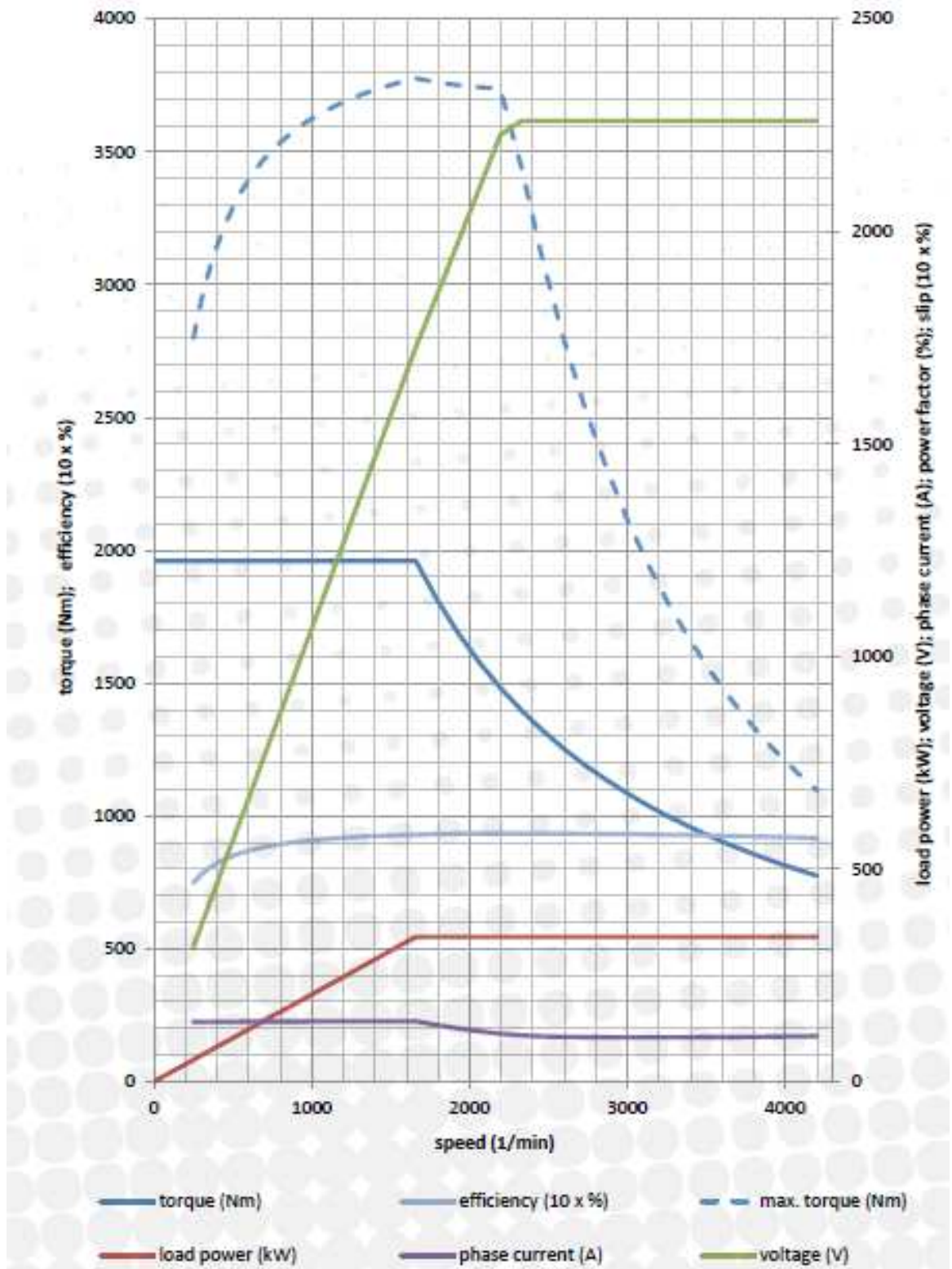
7. Seznam příloh

Příloha 1	Charakteristika asynchronního motoru vlaku typu ML 3942 K/4
Příloha 2	Schéma asynchronního motoru vlaku typu ML 3942 K/4
Příloha 3	Charakteristika asynchronního motoru vlaku typu MLU 4245 K/6
Příloha 4	Nárys asynchronního motoru vlaku typu MLU 4245 K/6
Příloha 5	Bokorys asynchronního motoru vlaku typu MLU 4245 K/6
Příloha 6	Charakteristika asynchronního motoru vlaku typu MD 4549 K/6
Příloha 7	Nárys asynchronního motoru vlaku typu MD 4549 K/6
Příloha 8	Bokorys asynchronního motoru vlaku typu MD 4549 K/6
Příloha 9	Charakteristika asynchronního motoru metra typu ML 3647 K/4
Příloha 10	Nárys asynchronního motoru metra typu ML 3647 K/4
Příloha 11	Bokorys asynchronního motoru metra typu ML 3647 K/4
Příloha 12	Schéma asynchronního motoru vlaku typu TAM 1084 C6
Příloha 13	Schéma asynchronního motoru tramvaje typu TAM 1020 C
Příloha 14	Schéma asynchronního motoru tramvaje typu TAM 1003 C/R
Příloha 15	Asynchronní motor tramvaje typu TAM 1004 C
Příloha 16	Schéma asynchronního motoru tramvaje typu TAM1004C
Příloha 17	Stejnoseměrný motor tramvaje typu TE 023 A01
Příloha 18	Stejnoseměrný motor tramvaje typu TE 028 A01
Příloha 19	Charakteristika a schéma stejnosměrného motoru vlaku typu TDM 5003
Příloha 20	Charakteristika a schéma stejnosměrného motoru vlaku typu TDM 5009

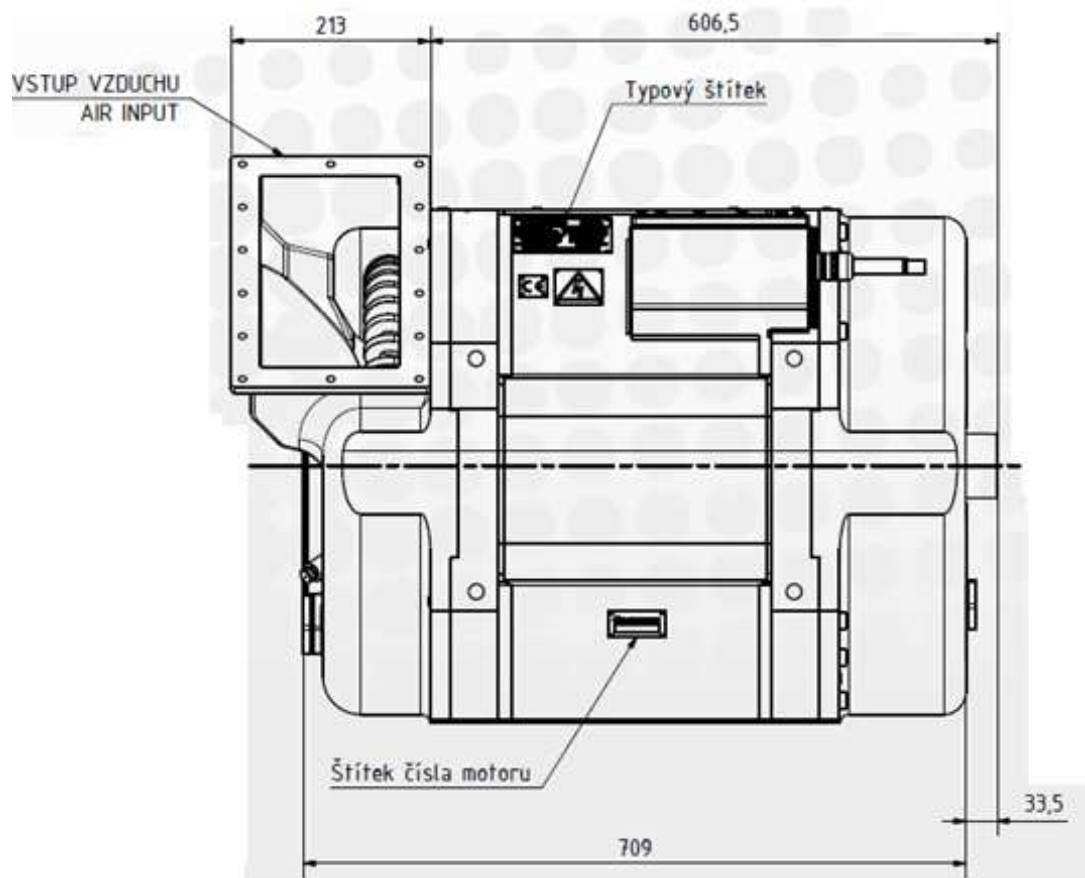
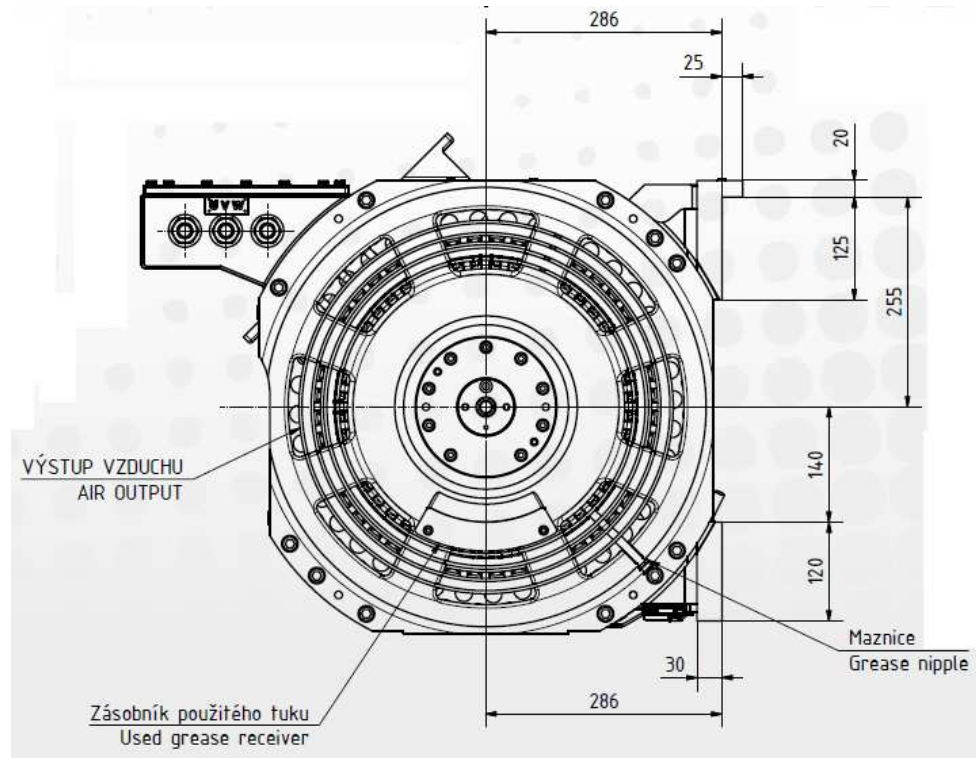
- Příloha 21** Typy motorů vyráběné firmou Brush
- Příloha 22** Charakteristika točivého momentu závislá na rychlosti otáček
trakčního asynchronního motoru
- Příloha 23** Charakteristika synchronního motoru s permanentními
magnety typu HLU 3436 P/44 – VA

Přílohy

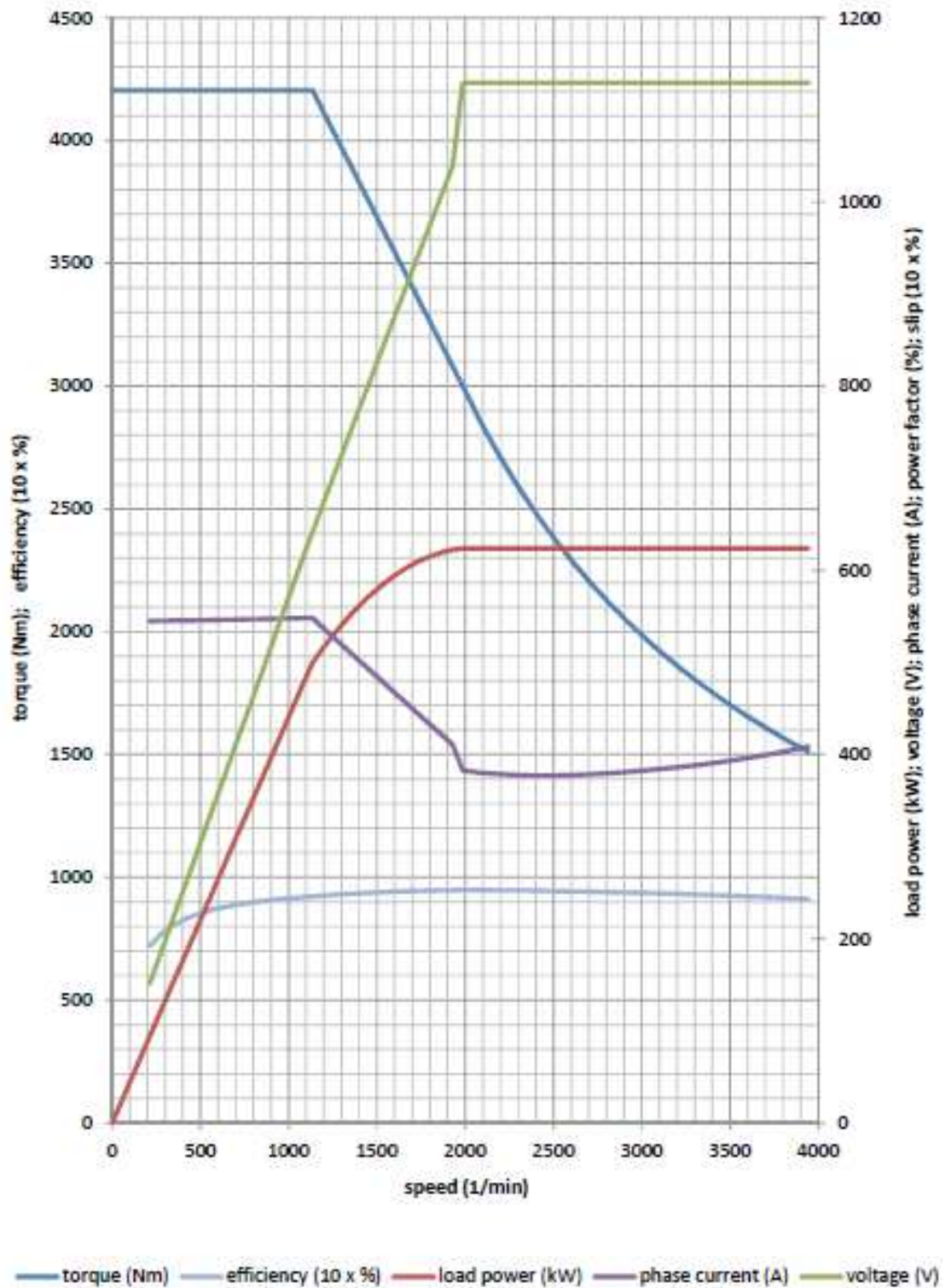
Příloha 1 – Charakteristika asynchronního motoru vlaku typu ML 3942 K/4



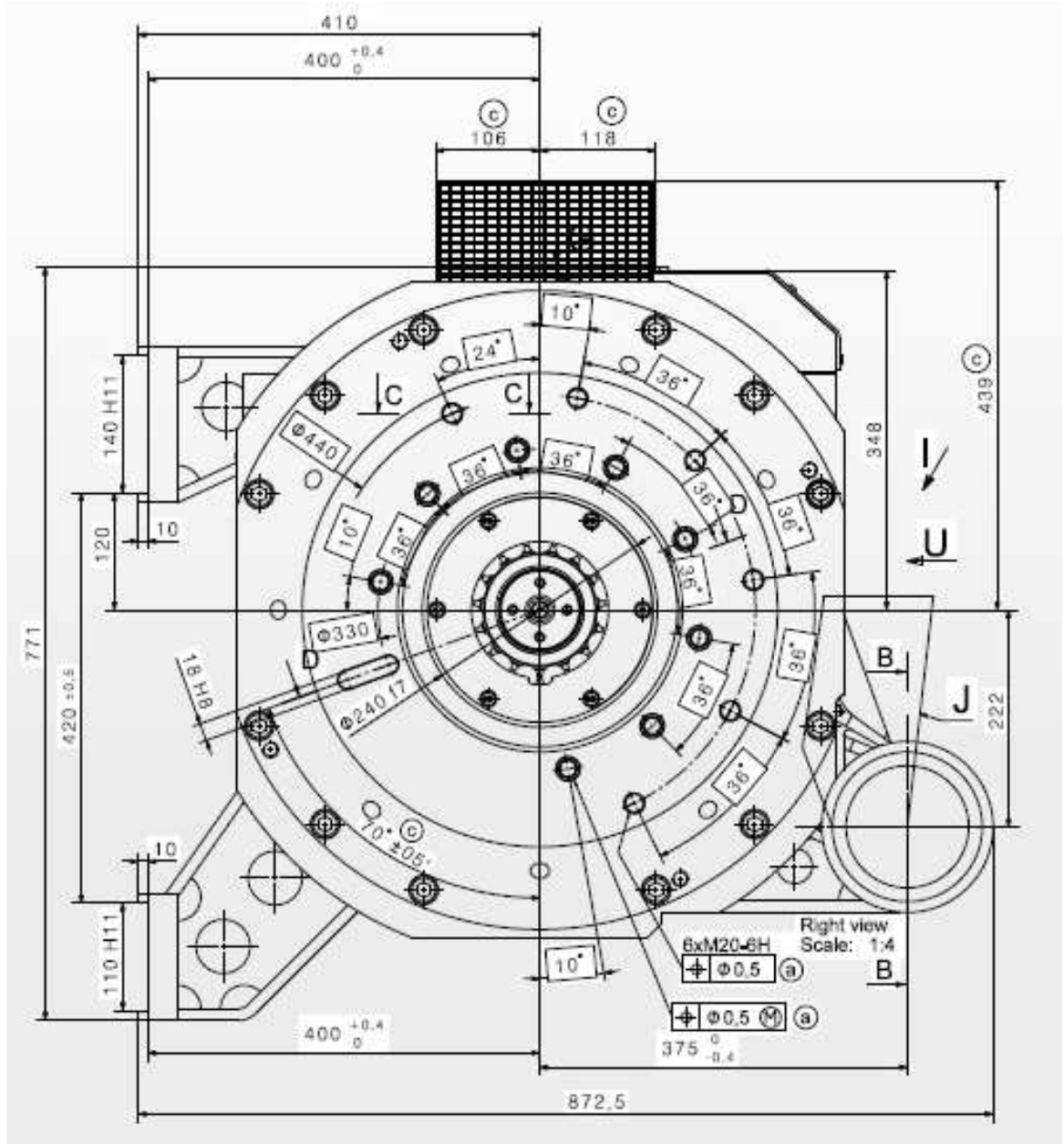
Příloha 2 – Schéma asynchronního motoru vlaku typu ML 3942 K/4



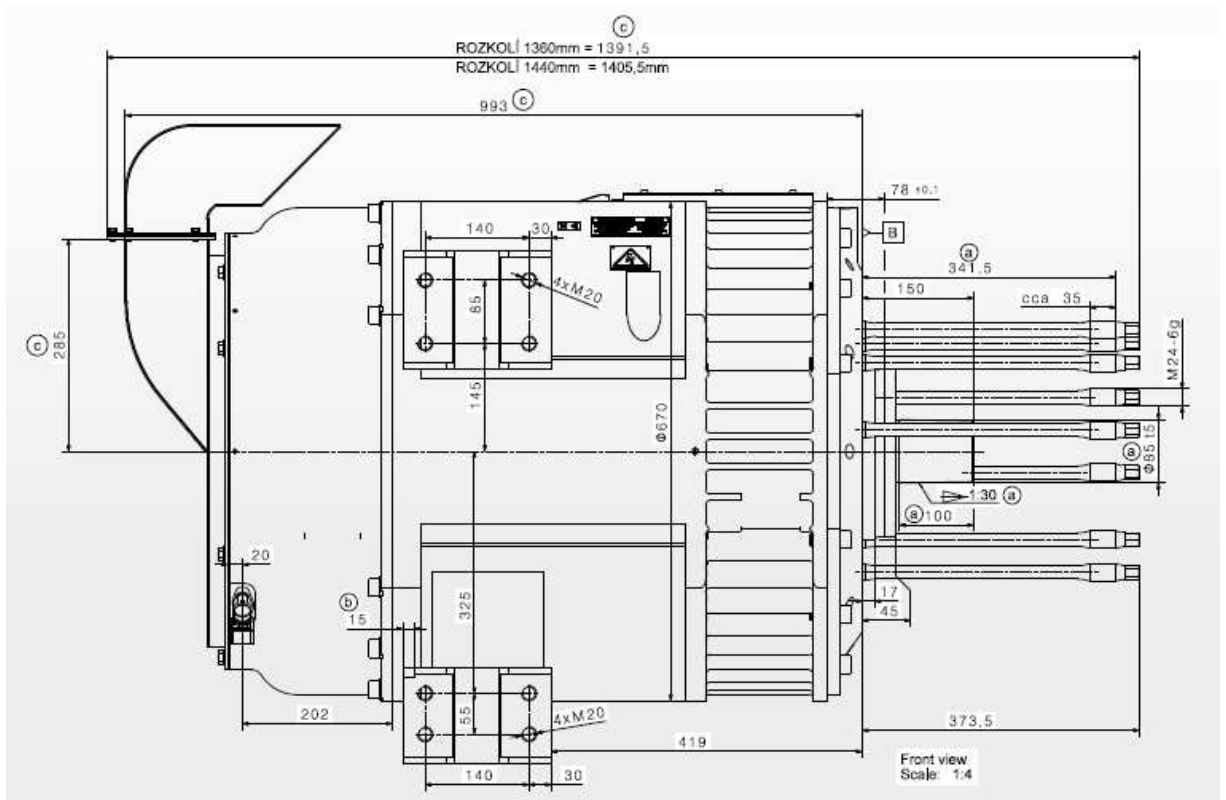
Příloha 3 – Charakteristika asynchronního motoru vlaku typu MLU 4245 K/6



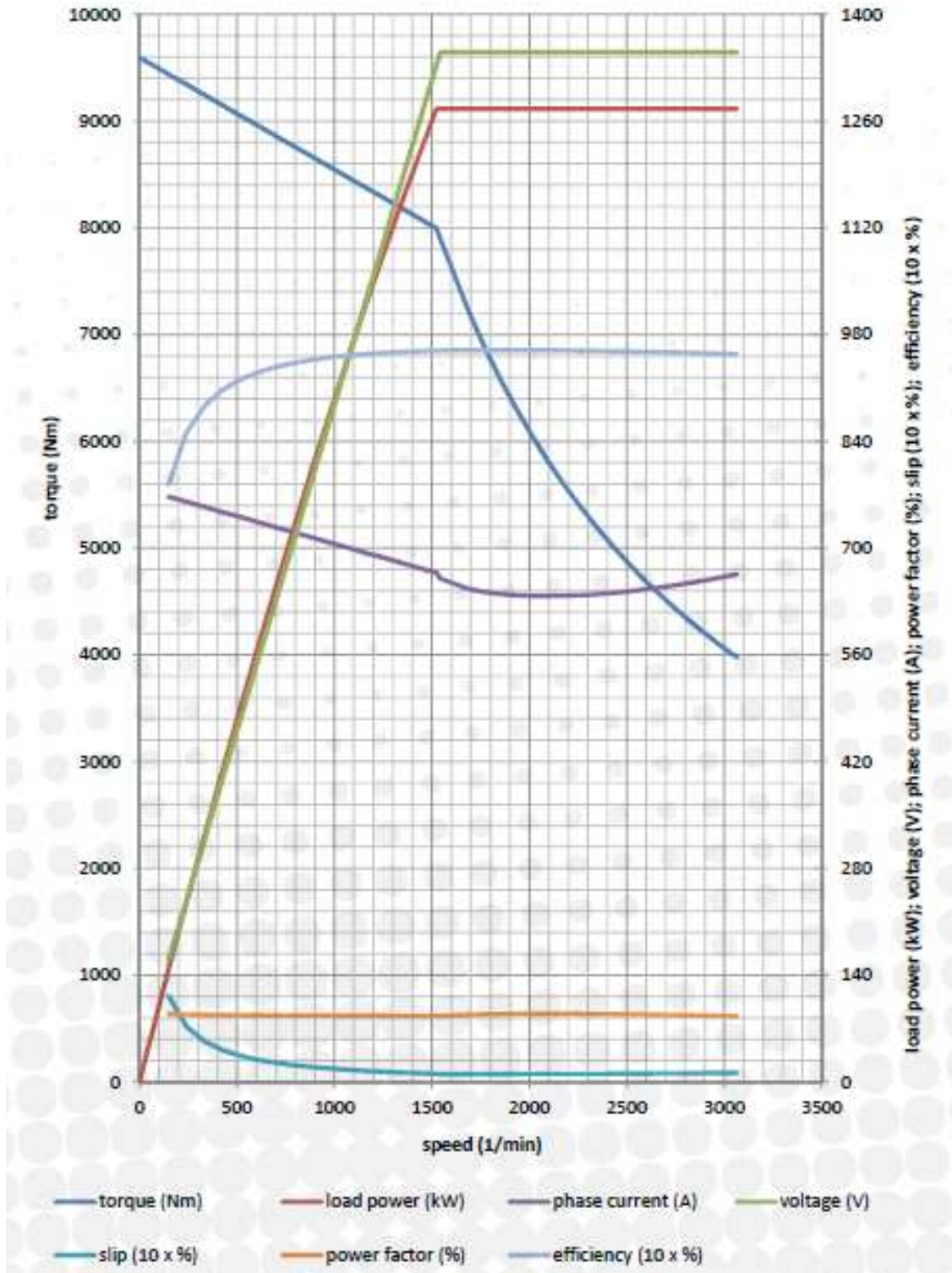
Příloha 4 – Nárys asynchronního motoru vlaku typu MLU 4245 K/6

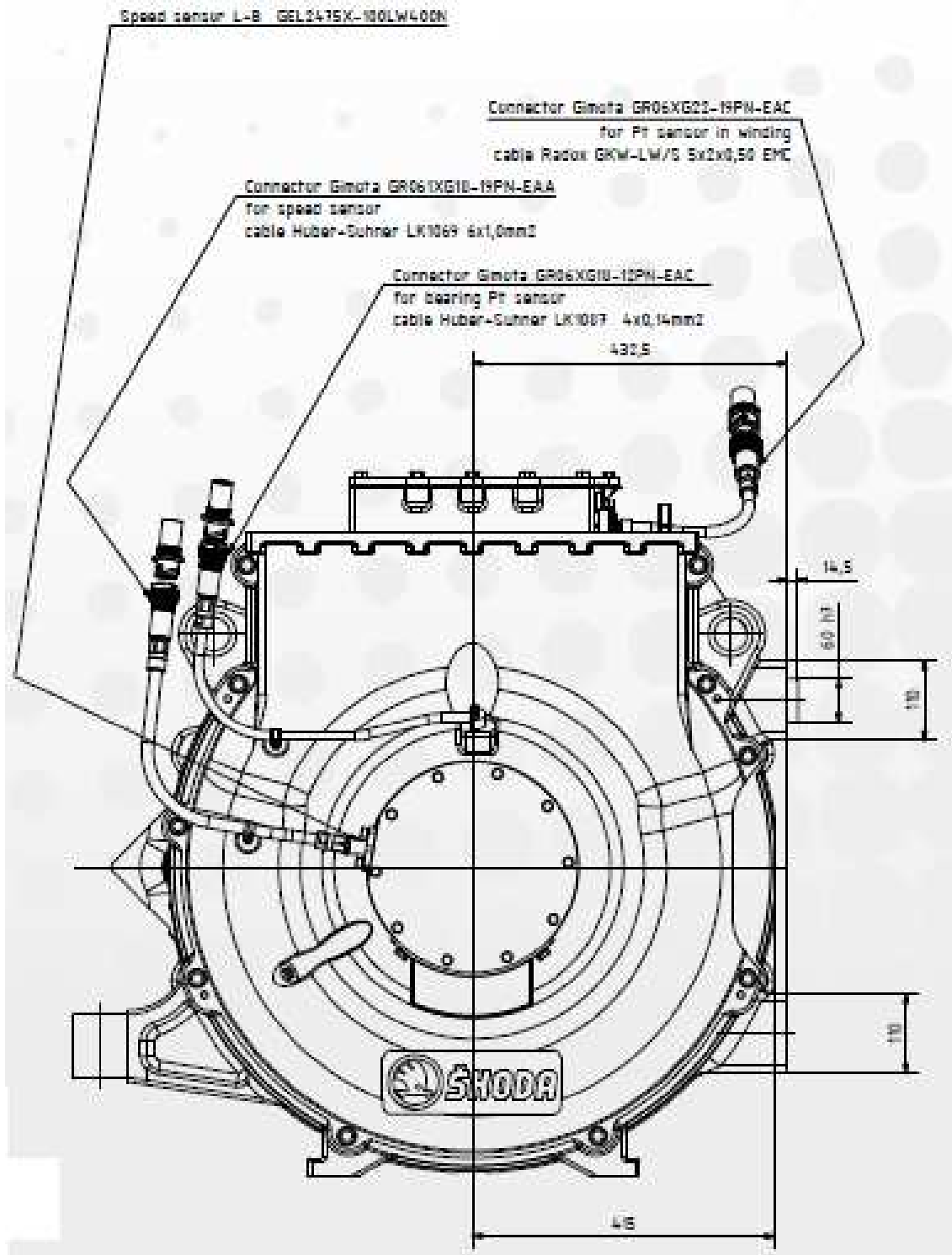


Příloha 5 - Bokorys synchronního motoru vlaku typu MLU 4245 K/6

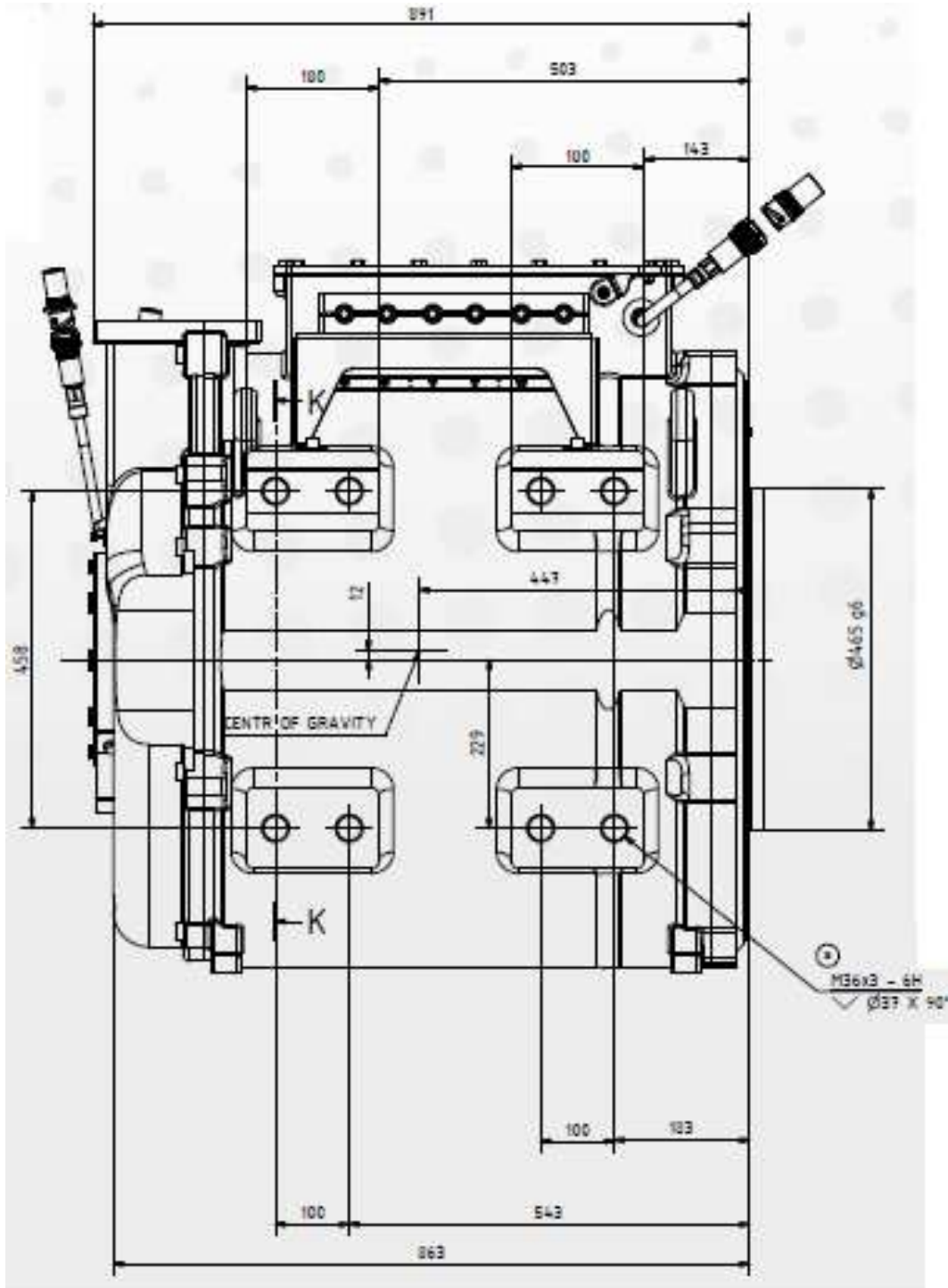


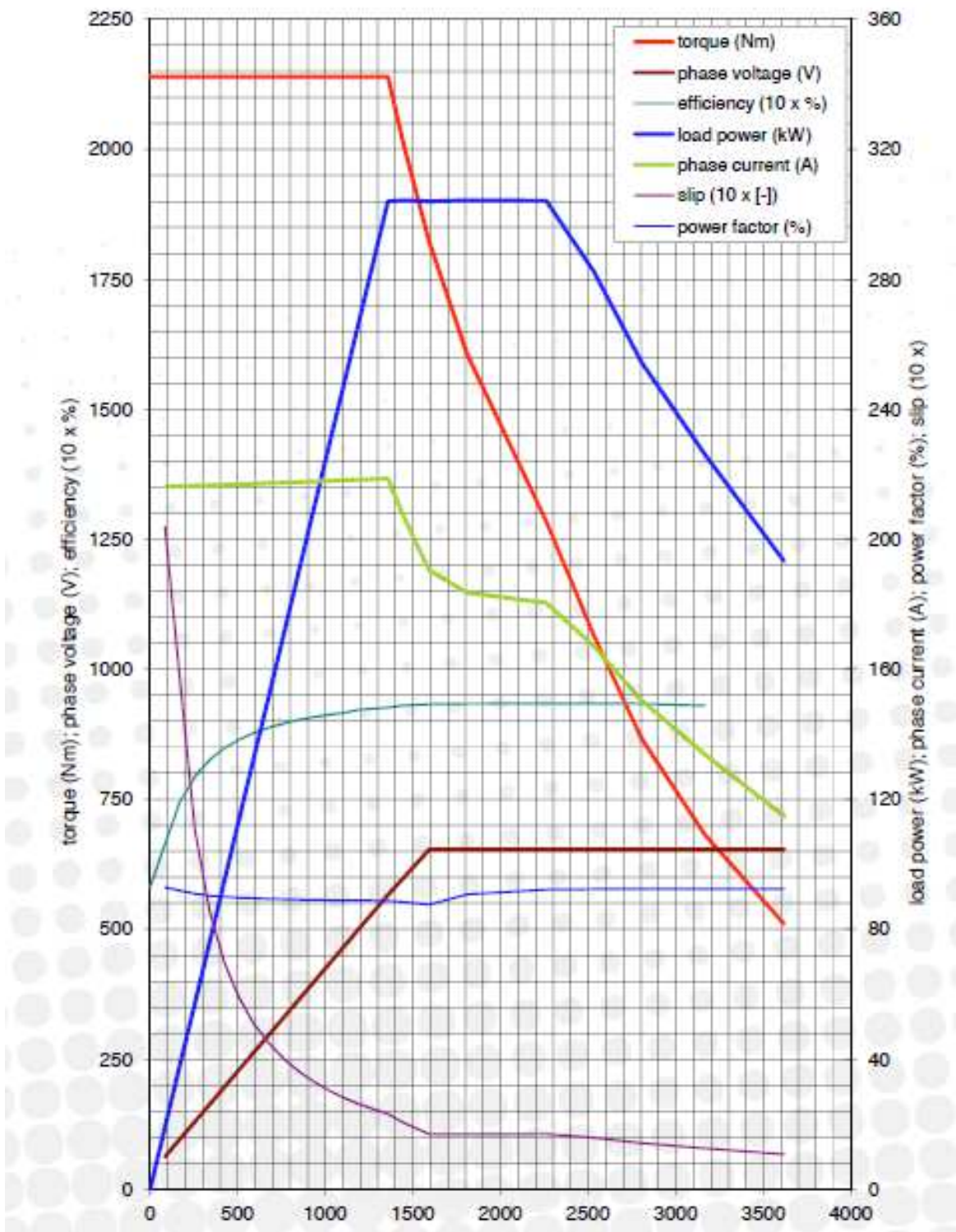
Příloha 6 - Charakteristika asynchronního motoru vlaku typu MD 4549 K/6



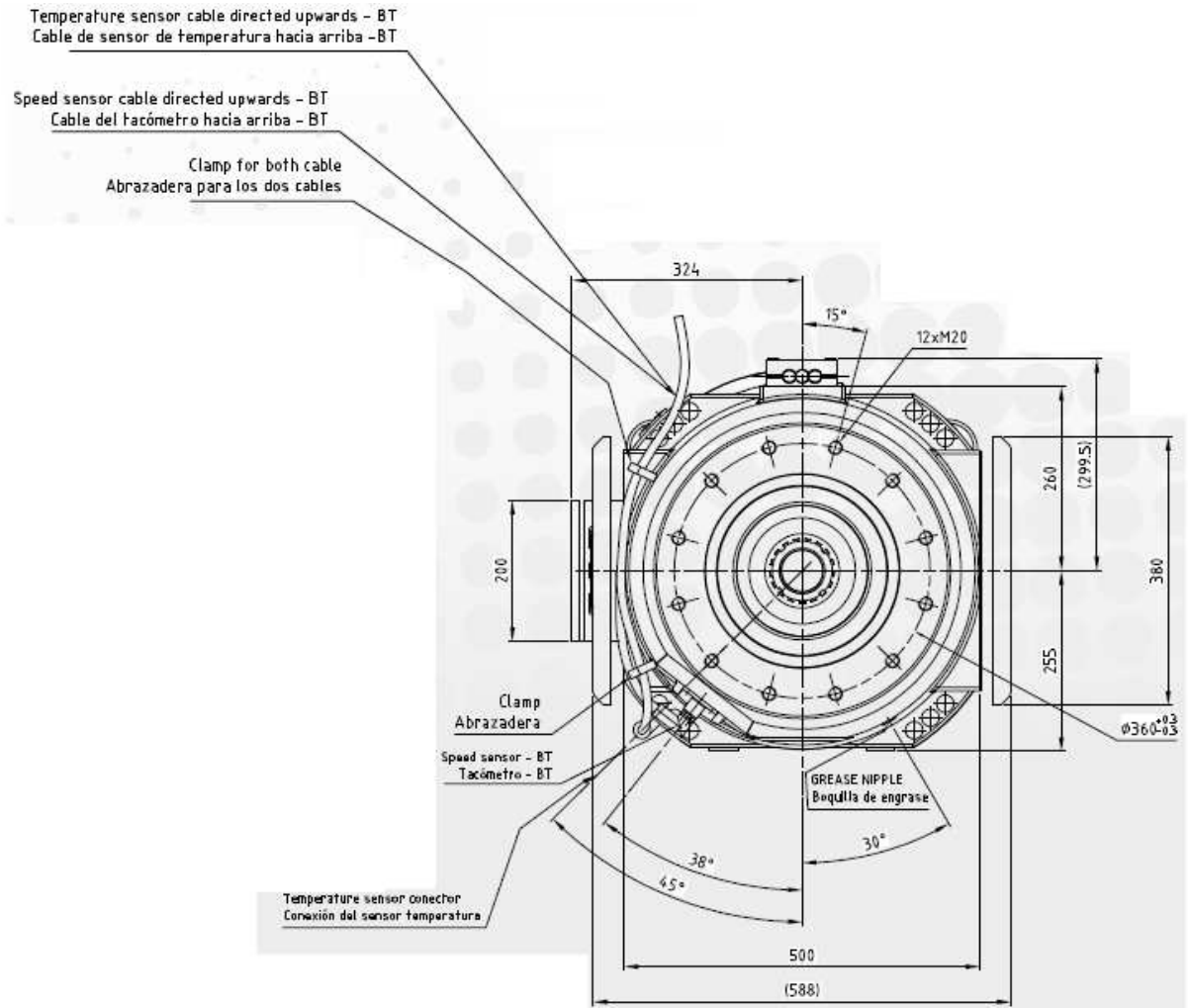
Příloha 7 - Nárys asynchronního motoru vlaku typu MD 4549 K/6

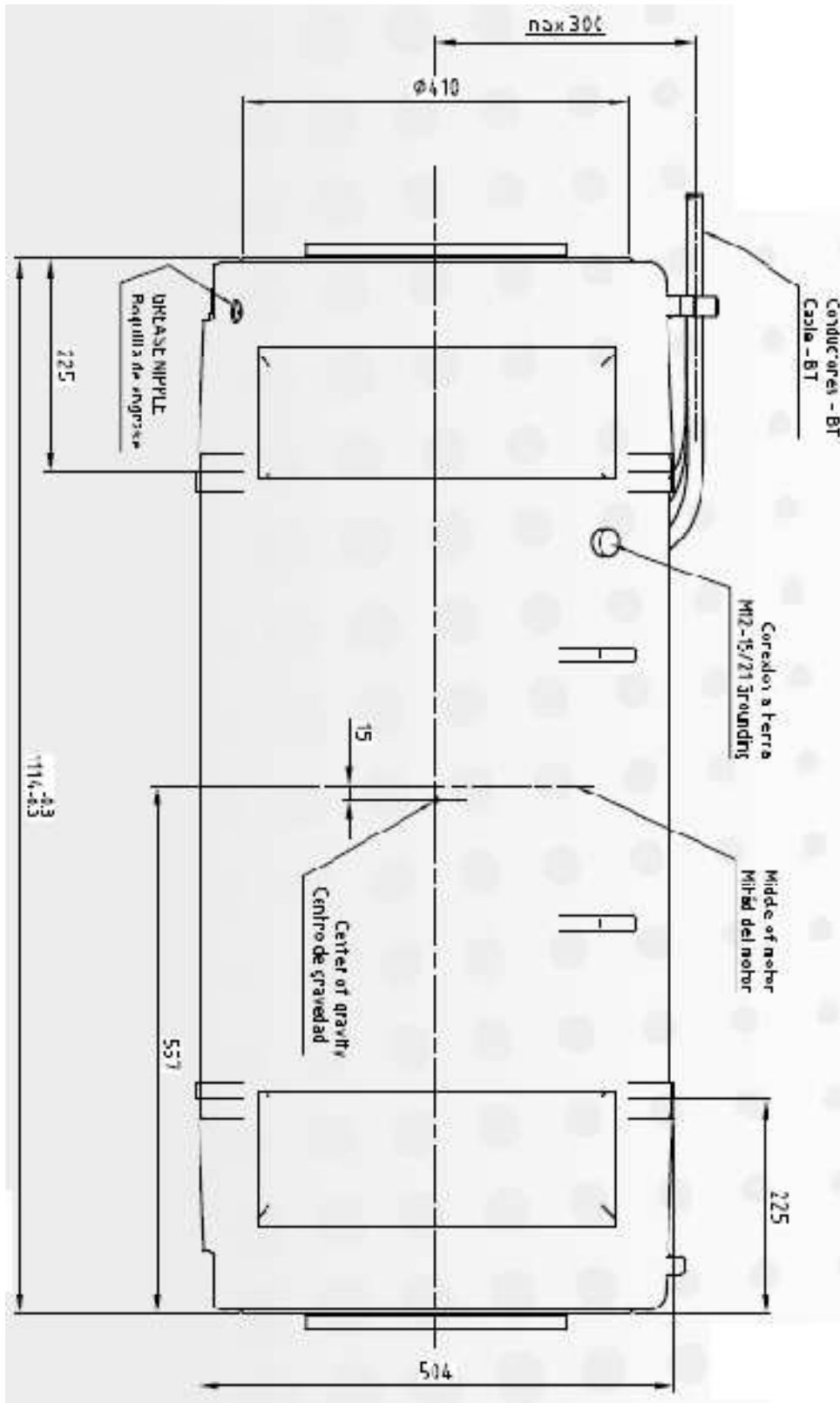
Příloha 8 – Bokorys asynchronního motoru vlaku typu MD 4549 K/6

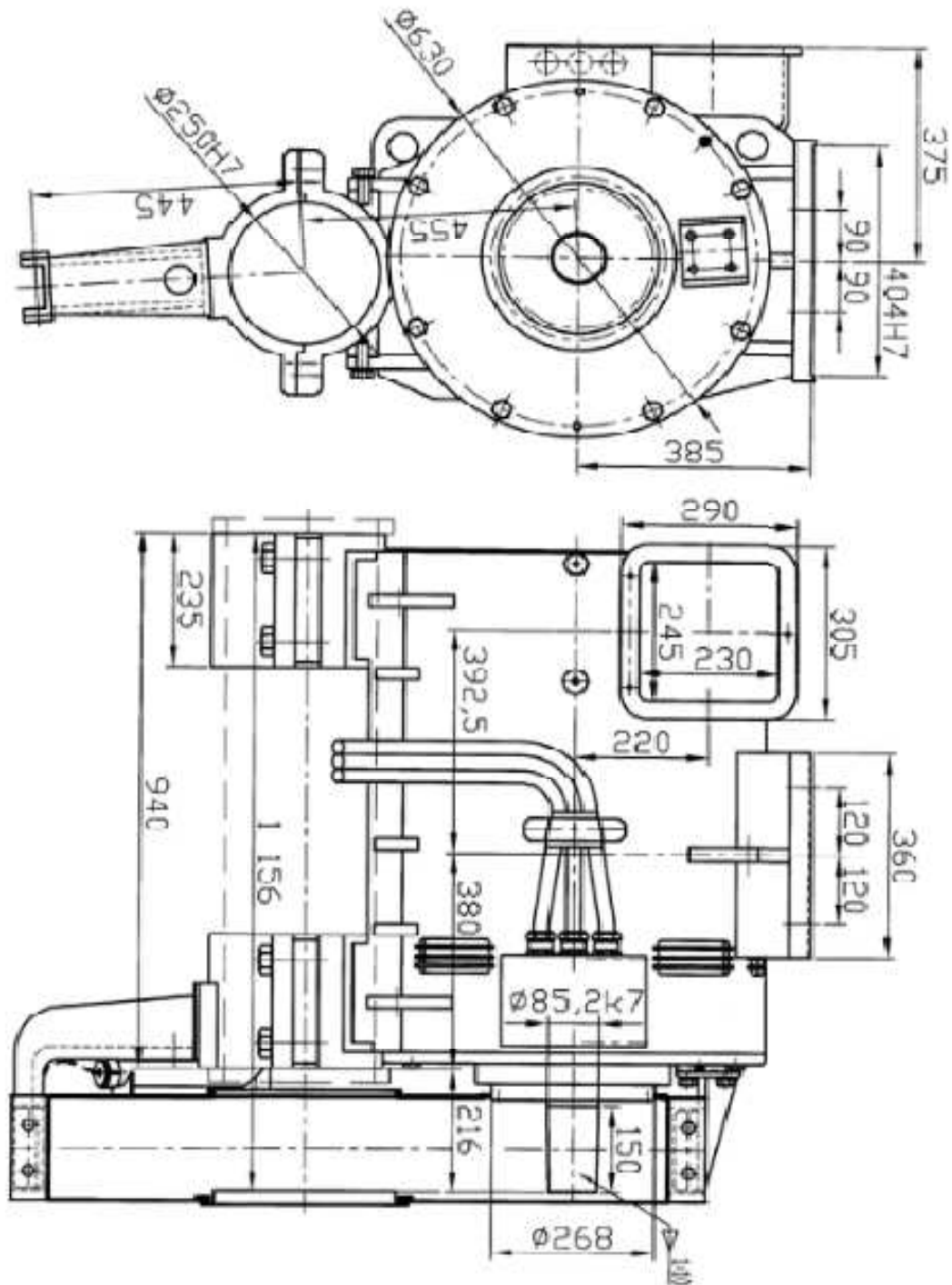


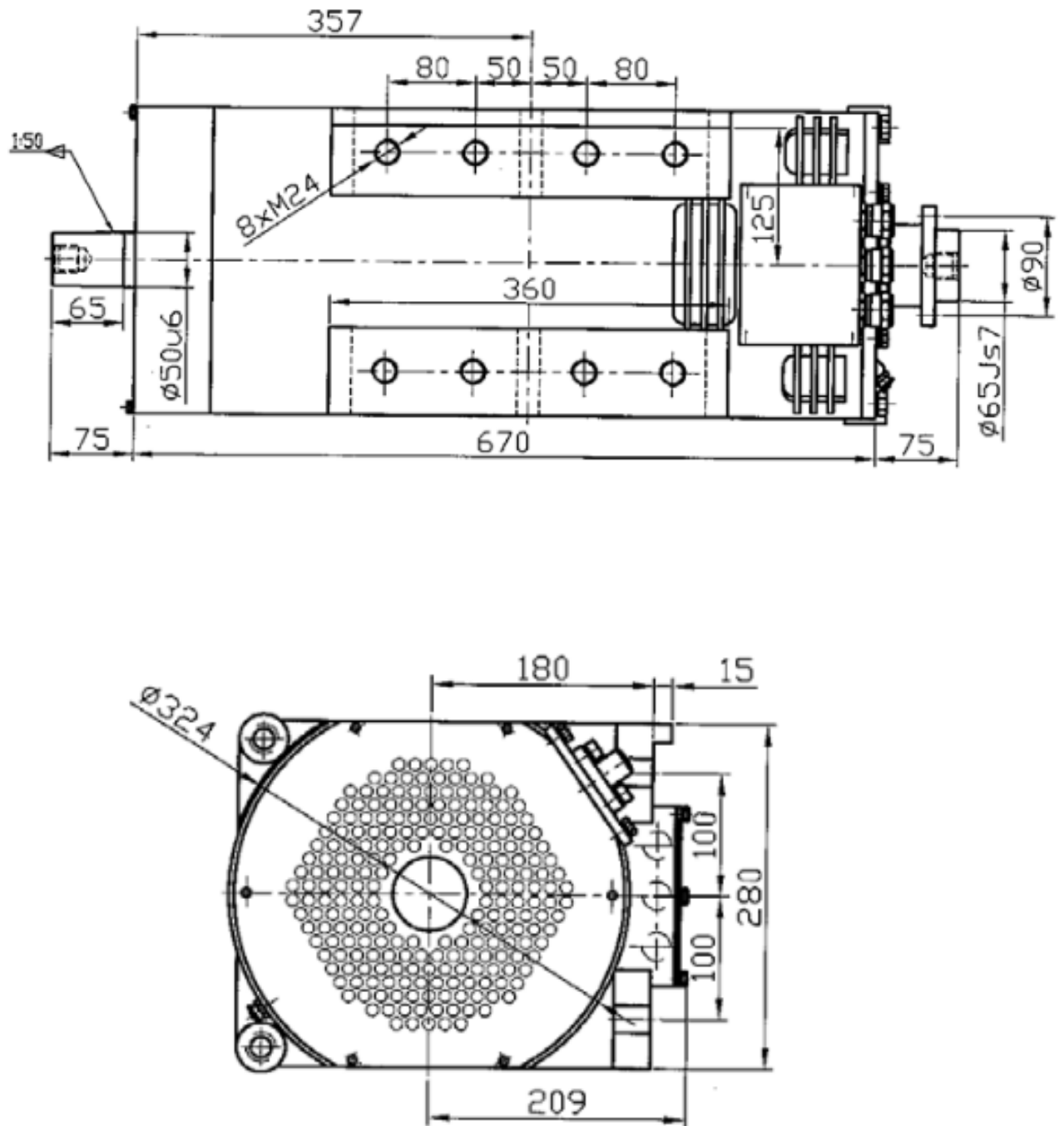
Příloha 9 – Charakteristika asynchronního motoru metra typu ML 3647 K/4

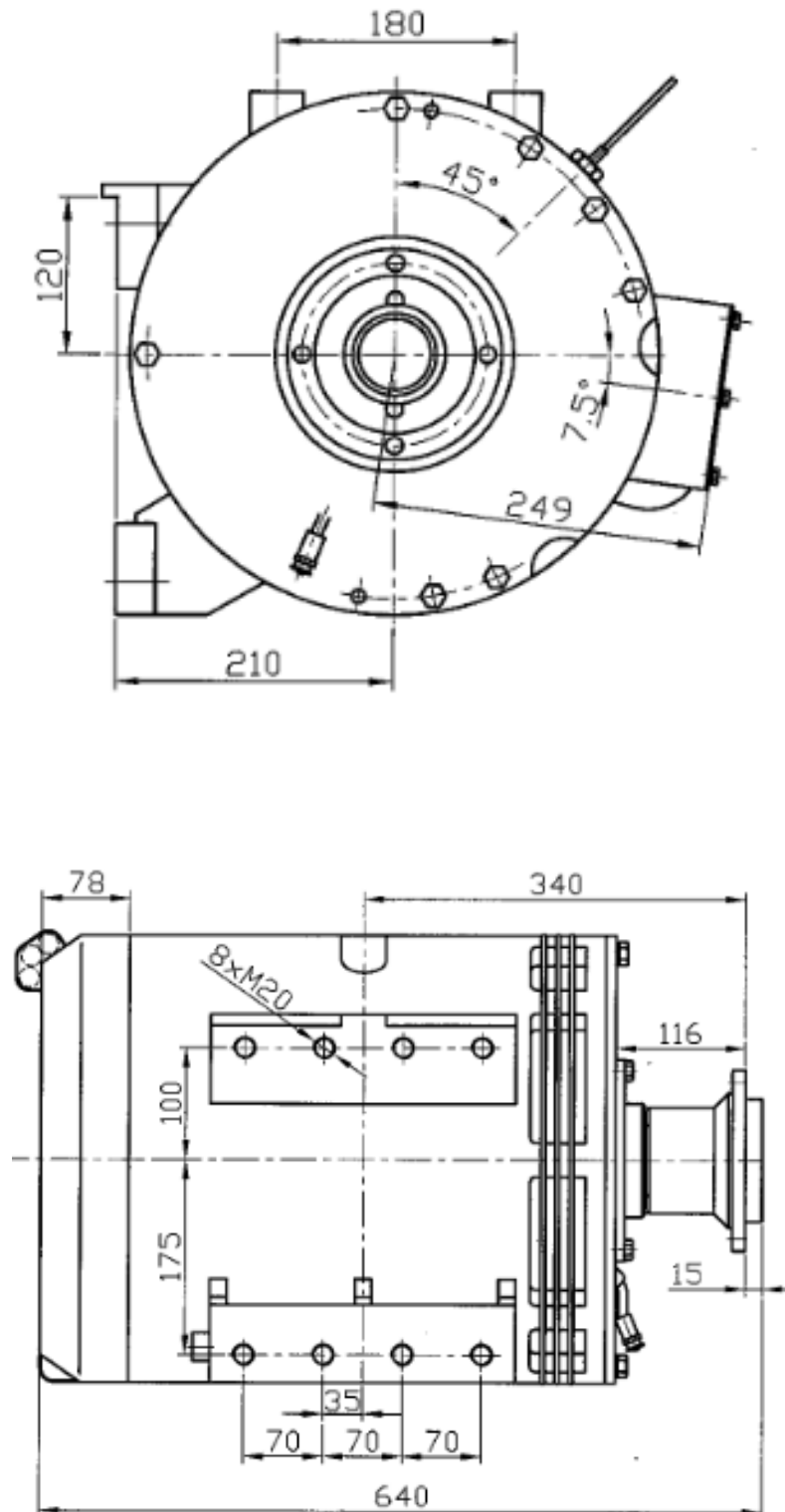
Příloha 10 – Názys asynchronního motoru metra typu ML 3647 K/4



Příloha 11 – Bokorys asynchronního motoru metra typu ML 3647 K/4

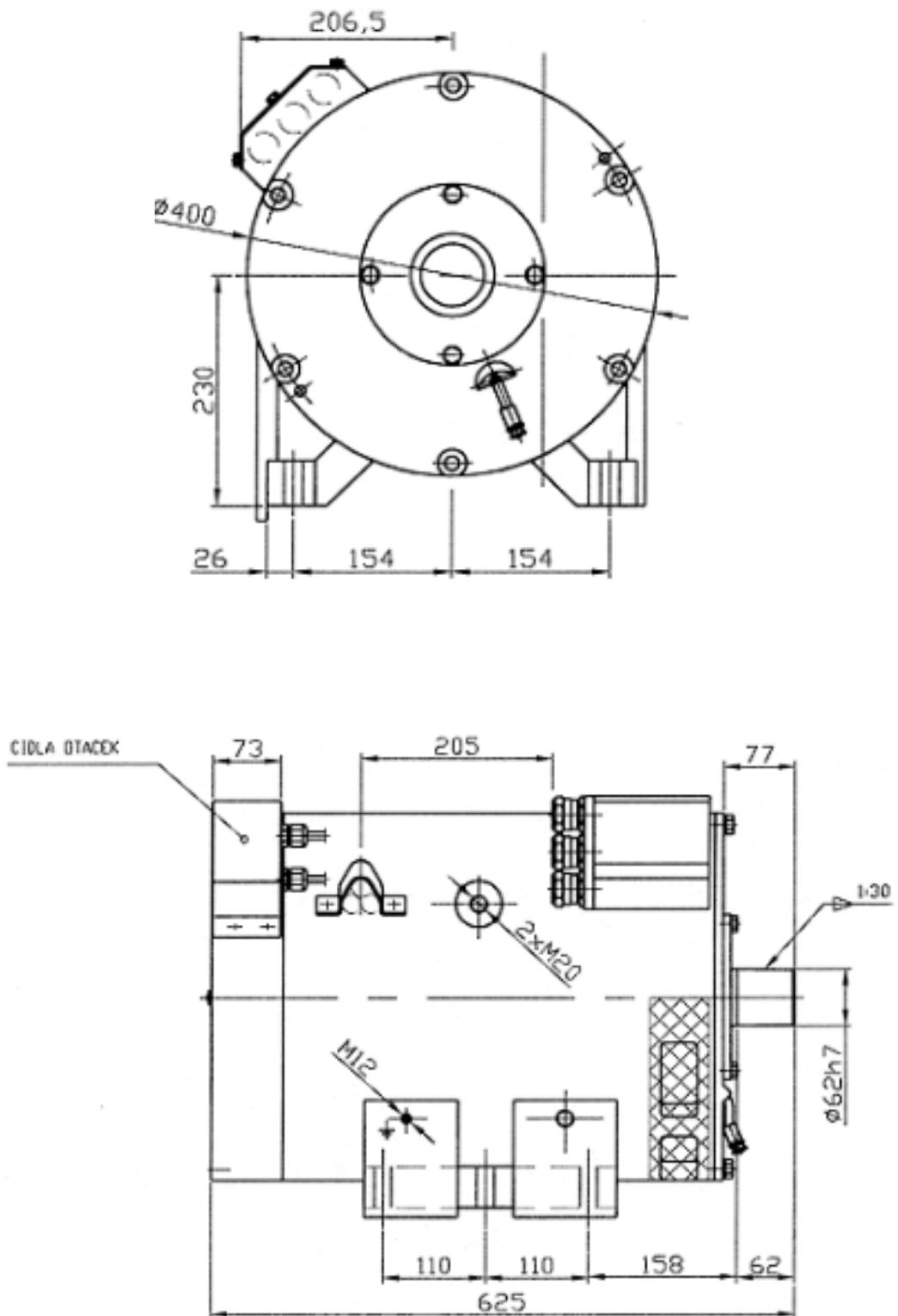
Příloha 12 – Schéma asynchronního motoru vlaku typu TAM 1084 C6

Příloha 13 – Schéma asynchronního motoru tramvaje typu TAM 1020 C

Příloha 14 – Schéma asynchronního motoru tramvaje typu TAM 1003 C/R

Příloha 15 – Asynchronní motor tramvaje typu TAM 1004 C



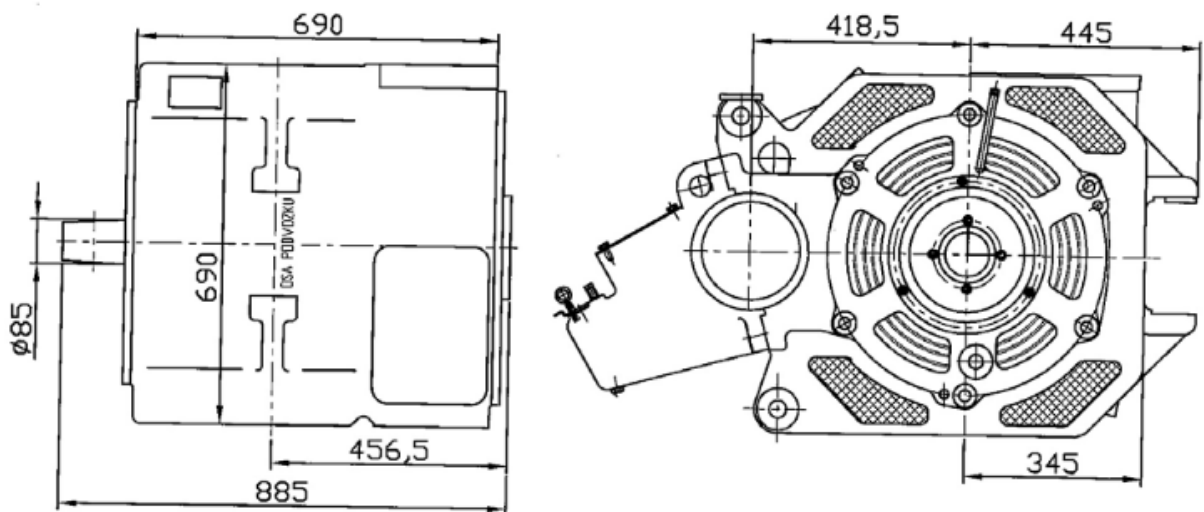
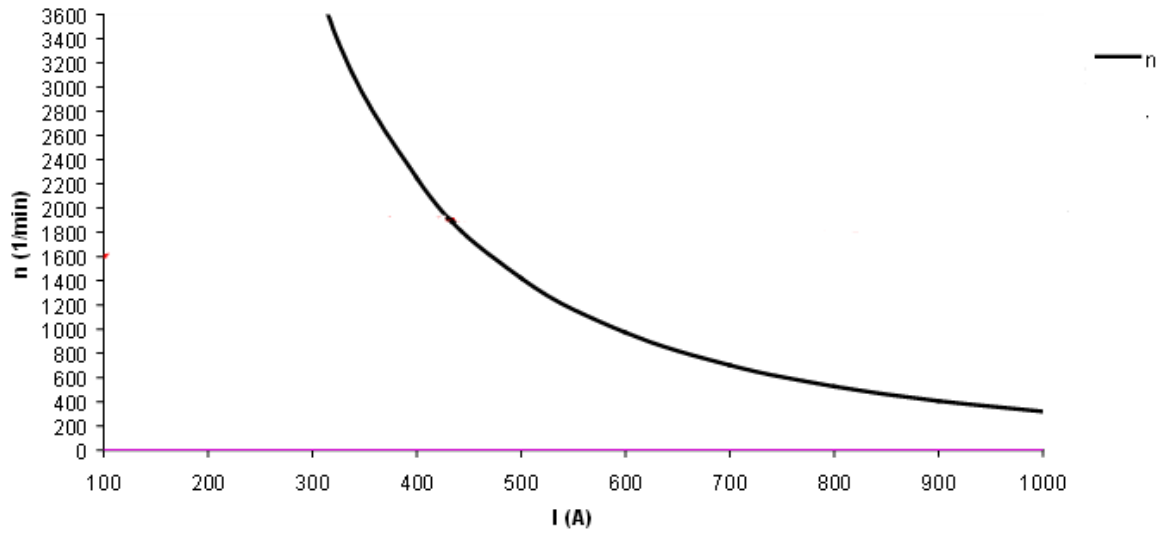
Příloha 16 – Schéma asynchronního motoru tramvaje typu TAM 1004 C


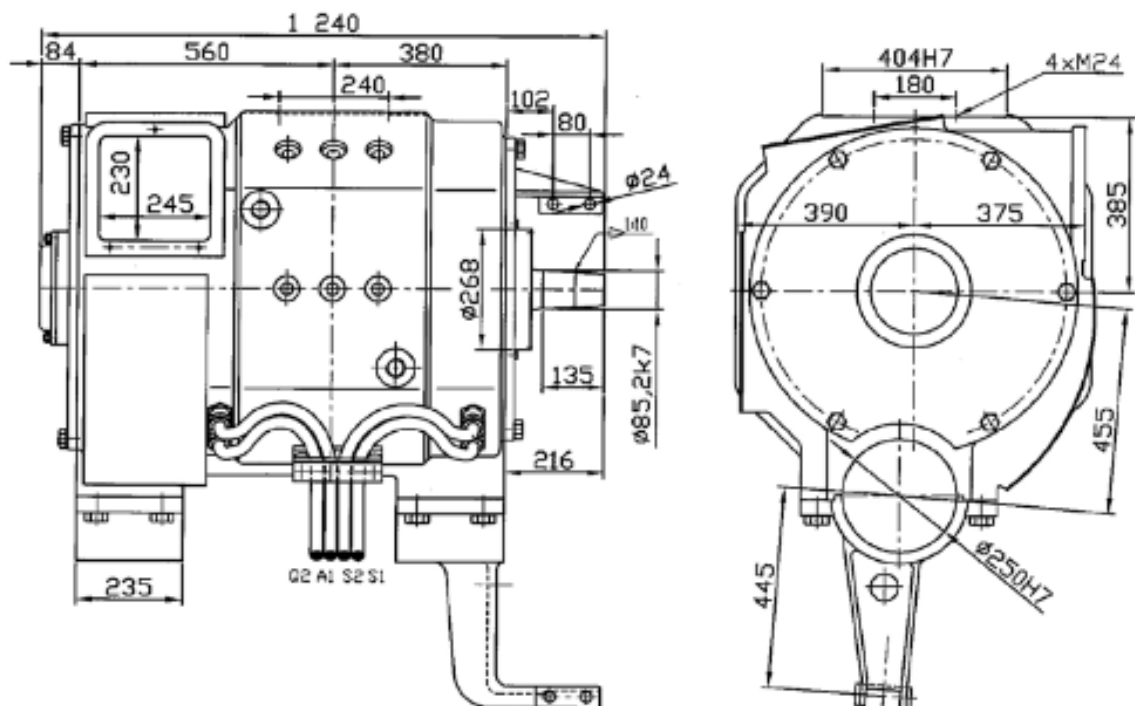
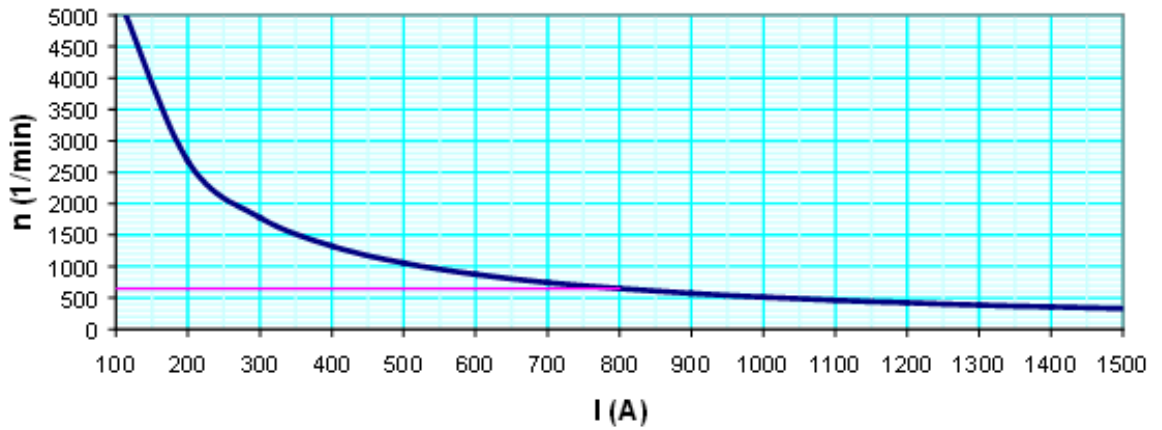
Příloha 17 – Stejnoseměrný motor tramvaje typu TE 023 A01



Příloha 18 – Stejnoseměrný motor tramvaje typu TE 028 A01



Příloha 19 – Charakteristika a schéma stejnosměrného motoru vlaku typu TDM 5003Trakční charakteristika při $P_1 = 352 \text{ kW}$ 

Příloha 20 – Charakteristika a schéma stejnosměrného motoru vlaku typu TDM 5009**Trakční charakteristika při $U = 430\text{ V}$** 

Příloha 21 – Typy motorů vyráběné firmou Brush

TRAINS



Class 323 motor for British Railways. Self ventilated motor 146 kW.



BLS motor for Swiss Railways. Force ventilated motor 213 kW.



SM90 motor for Dutch Railways. Force ventilated motor 278 kW.

METROS



Motor for Helsinki Metro. Self ventilated, fully enclosed motor 96 kW.

TRAMS



Motor for City Tram Amsterdam. Self ventilated, fully enclosed motor 36 kW.

BUSES



Double motor for Sprint Tram Amsterdam. Self ventilated motor 2 x 74 kW.



MDDM motor for Dutch Railways. Adtranz design. 334 kW.

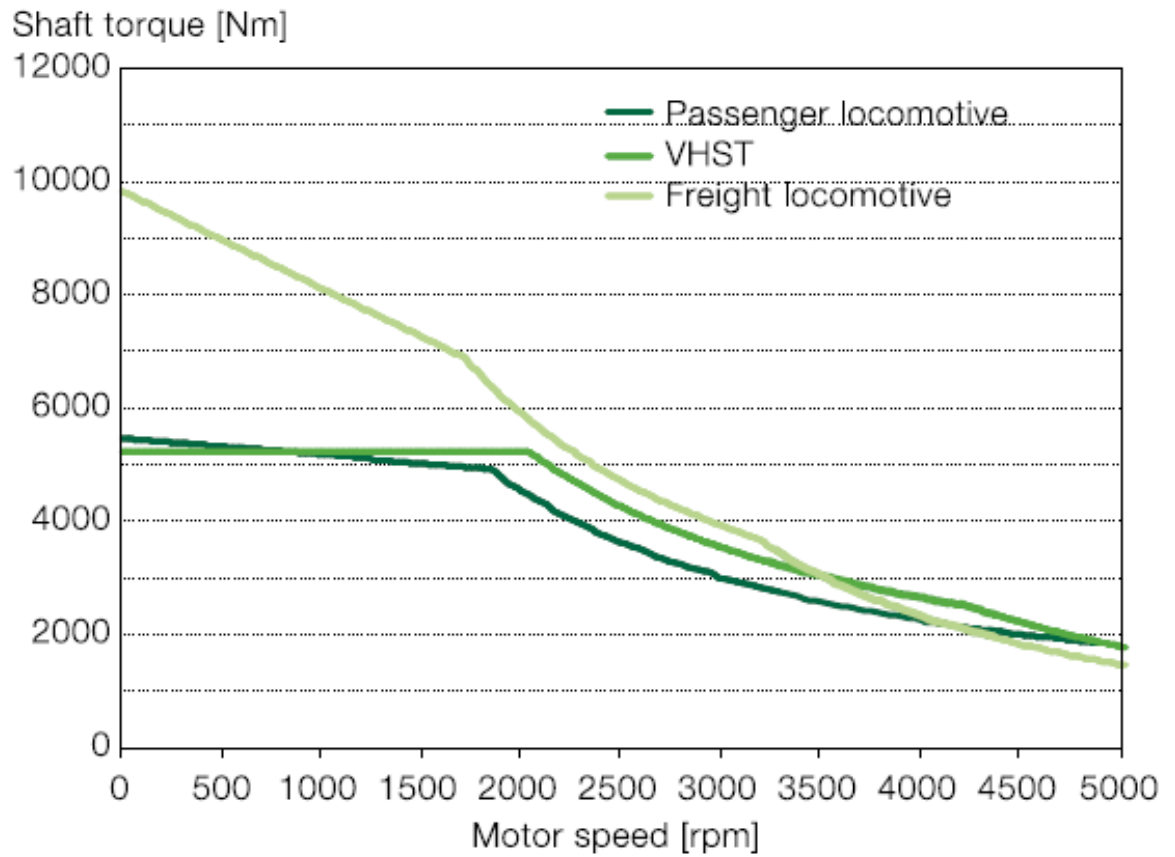


TGV motor for Thalys. Alstom design. 990 kW.

REFERENČNÍ SEZNAM STŘÍDAVÝCH TRAKČNÍCH MOTORŮ

Koncový uživatel	Aplikace užití	Typ	Výkon
BLS	Vlak	DMKT 47.8/32.5	213kW
Helsinki Metro	Metro	MDMKT 39/32.5	96kW
Bern	Vlak	DMKT 7.8/32.5	213kW
Docklands			
London			
APTS	Příměstský vlak	TM2111A	145kW
Eindhoven	Bus	MDMKT46/63	39kW
Korea	Bus	MDMKT 46/6.3	39kW
Alstom Stendal	Bus	MDMKT 46/6.3	39kW

Příloha 22 – Charakteristika točivého momentu závislá na rychlosti otáček trakčního asynchronního motoru



Příloha 23 – Charakteristika synchronního motoru s permanentními magnety typu HLU 3436 P/44 – VA

