

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

**ÚDRŽBA A OPRAVY MOTORŮ
TRAMVAJÍ V PODMÍNKÁCH
DOPRAVNÍHO PODNIKU HL. M.
PRAHY**

Jiří Louček

Bakalářská práce
2020

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Jiří Louček**
Osobní číslo: **D16258**
Studijní program: **B3709 Dopravní technologie a spoje**
Studijní obor: **Dopravní prostředky: Kolejová vozidla**
Téma práce: **Údržba a opravy motorů tramvají v podmínkách Dopravního podniku hl. m. Prahy, a.s.**
Zadávací katedra: **Katedra dopravních prostředků a diagnostiky**

Zásady pro vypracování

S modernizací tramvají provozovaných v Dopravním podniku hl. m. Prahy, a.s. je spojena potřeba nových předpisů pro údržbu a opravy motorů, které by nahradily stávající, již nevyhovující předpisy. Součástí bakalářské práce je zpracování rešerše současného stavu údržby motorů vybraných tramvají. Dále provedení analýzy poruch moderních tramvají s cílem vypracování ideového návrhu pracoviště pro zkoušení a opravy motorů.

Vypracujte:

1. Technický popis pojezdu sledovaných tramvají.
2. Rešerši současného stavu údržby motorů tramvají.
3. Analýzu údržbových zásahů u motorů tramvají typu 15T.
4. Koncepční návrh pracoviště pro zkoušení motorů.

Rozsah pracovní zprávy: **35 stran**
Rozsah grafických prací: **podle pokynů vedoucího BP**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

- [1] Technická dokumentace k tramvajím.
[2] Vyhláška Ministerstva dopravy č. 173/1995 Sb., kterou se vydává dopravní řád drah.
[3] STUHLÝ V. a kol.: Údržba a opravy II. Praha: Nakladatelství dopravy a spojů, 1988. 285 s.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Stanislava Liberová, Ph.D.**
Katedra dopravních prostředků a diagnostiky

Datum zadání bakalářské práce: **18. února 2020**
Termín odevzdání bakalářské práce: **18. května 2020**

L.S.

doc. Ing. Libor Švadlenka, Ph.D.
děkan

Ing. Jakub Vágner, Ph.D.
vedoucí katedry

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 9/2012, bude práce zveřejněna v Univerzitní knihovně a prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 3. srpna 2020

Jiří Louček

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucí mé práce paní Ing. Stanislavě Liberové Ph.D. za odborné vedení a cenné rady, svému zaměstnavateli Dopravnímu podniku Hlavního města Prahy, že mi umožnil vypracovat tuto práci a také své rodině, která mě během celého studia podporovala.

Jiří Louček

Anotace

Práce se zabývá návrhem ideového zkušebního stanoviště pro trakční motory tramvaje 15T. Cílem bylo analyzovat stav údržby motorů v současnosti a jak by mohla probíhat v budoucnosti. Následně bylo vybráno možné řešení návrhu zkušebního stanoviště včetně výběru a provedení některých prvků zkoušek trakčního motoru.

Klíčová slova

tramvaj, údržba, měření, diagnostika, trakční motor, moment, kilometrový proběh, vibrodiagnostika, zkušební stanoviště, ovládací stanoviště

Title

Maintenance and repairs of engines tram in the conditions of the transport company Capital City of Prague

Annotation

The work deals with design of an ideological test stand for traction motors of a 15T tram. The aim was to analyze the current state of engine maintenance and how it could take a place in the future. Subsequently, a possible solution for the design of the station was selected, including the selection and execution of some elements of the traction motor tests.

Keywords

Tram, maintenance, measurement, diagnostics, traction motor, torque, mileage, vibrodiagnostics, test station, control station

Obsah

Seznam obrázků	7
Seznam tabulek	9
Seznam zkratek	10
1 Úvod	11
2 Pojezdy tramvajových vozů	12
2.1 Tramvaj Škoda 14T	12
2.1.1 Celkové řešení podvozku.....	12
2.1.2 Rám podvozku	13
2.1.3 Dvojkolí.....	14
2.1.4 Blatníky.....	14
2.1.5 Převodová skříň 14T.....	16
2.1.6 Sekundární vypružení.....	17
2.1.7 Trakční motor 8MLU 3436 K/4.....	18
2.1.8 Zubová spojka ZK 110.....	19
2.1.9 Vypružené kolo SAB V60 s pryžovým odpružením.....	19
2.1.10 Nápravový sběrač proudu.....	19
2.1.11 Brzdy.....	22
2.2 Tramvaj Škoda ForCity 15T.....	25
2.2.1 Celkové řešení podvozku.....	25
2.2.2 Rám podvozku	27
2.2.3 Dvojkolí.....	28
2.2.4 Kolébka podvozku.....	28
2.2.5 Blatníky.....	30
2.2.6 Vypružení 15T.....	30
2.2.7 Zubová spojka	31
2.2.8 Trakční motor 4HLU 3436 P/44 VA	31
2.2.9 Nápravový sběrač proudu AB 399 Frost.....	32
2.2.10 Tramvajové kolo 15T – BONATRANS.....	33
2.2.11 Brzdy.....	33
3 Údržba motoru tramvaj v DP	35
3.1 Vozovny Dopravního podniku.....	35
3.1.1 DO – denní ošetření	36
3.1.2 KP – kontrolní prohlídka a VKP – velká kontrolní prohlídka	36
3.2 Ústřední dílny Dopravního podniku	37
3.2.1 PÚ – pravidelná údržba, PO – pravidelná oprava a GO – generální oprava.....	38
4 Analýza údržbových zásahů u synchronních motorů tramvaje Škoda ForCity 15T	40

4.1	Diagnostika závad trakčního motoru 4HLU 3436.....	40
4.2	Opravy synchronního trakčního motoru 4HLU 3436.....	42
5	Návrh zkušebního stanoviště trakčních motorů 15T	44
5.1	Parametry synchronního trakčního motoru 4HLU 3436 P44-VA	45
5.2	Typy zkoušek.....	46
5.2.1	Mechanická zkouška.....	46
5.2.2	Zkouška chodu.....	47
5.2.3	Elektrické zkoušky	47
5.3	Požadavky DP na zkoušení synchronního trakčního motoru 4HLU 3436 P44 VA.....	47
5.4	Zatěžování trakčního motoru	49
5.4.1	Zatěžování trakčního motoru pomocí dynamometru	49
5.4.2	Zatěžování asynchronním motorem.....	53
5.5	Měření momentu.....	56
5.5.1	Přírubový snímač TF od firmy Magtrol	56
5.5.2	Přírubový snímač momentu T40B od firmy HBM.....	57
5.6	Vibrodiagnostika trakčního motoru	57
5.6.1	Stanovení frekvencí závad ložiskové jednotky s kuličkovými ložisky a ložiskové jednotky s válečkovými ložisky.....	58
5.6.2	FFT analýza	60
5.7	Shrnutí návrhu zkušebního stanoviště.....	64
5.7.1	Zkušební místo.....	64
5.7.2	Ovládací stanoviště	64
6	Závěr.....	66
	Literatura.....	67
	Seznam příloh	69

Seznam obrázků

Obr. 1 Tramvaj Škoda 14T.....	12
Obr. 2 Trakční podvozek 14T [1]	13
Obr. 3 Rám podvozku 14T [1].....	14
Obr. 4 Dvojkolí 14T [2]	15
Obr. 5 Blatník 14T [2]	16
Obr. 6 Převodová skříň 14T [3].....	16
Obr. 7 Převodová skříň 14T – řez [3].....	17
Obr. 8 Sekundární vypružení 14T [4].....	17
Obr. 9 Sekundární vypružení 14T – řez [4]	18
Obr. 10 Trakční motor 8MLU3436 K/4 [5]	18
Obr. 11 Zubová spojka ZK 110, var. 1 [6]	20
Obr. 12 Zubová spojka ZK 110, var. 2 [6]	21
Obr. 13 Vypružené kolo SAB V60 – řez [7].....	21
Obr. 14 Vypružené kolo SAB V60 [7]	22
Obr. 15 Nápravový sběrač proudu 14T [1].....	22
Obr. 16 Brzdová jednotka K.P.T. 001-14T [8].....	23
Obr. 17 Kolejnicová brzda HS 70 [9].....	24
Obr. 18 Škoda ForCity 15T.....	25
Obr. 19 Čelní podvozek 15T [10]	26
Obr. 20 Vnitřní podvozek 15T [10]	26
Obr. 21 Rám podvozku vnější [10]	27
Obr. 22 Rám podvozku vnitřní [10]	27
Obr. 23 Nápravnice 15T [11].....	28
Obr. 24 Vnější kolébka 15T [12].....	29
Obr. 25 Vnitřní kolébka 15T [12].....	29
Obr. 26 Podélné táhlo 15T [12].....	29
Obr. 27 Blatník 15T	30
Obr. 28 Zubová spojka 15T [14].....	31
Obr. 29 Trakční motor 4HLU 3436 P/44 VA [15].....	32
Obr. 30 Nápravový sběrač proudu ABB 399 Frost.....	32
Obr. 31 Tramvajové kolo 15T - BONANTRANS na nápravnici	33
Obr. 32 Kotoučová brzda K.P.T 010 15T namontovaná na pojezdu.....	34
Obr. 33 Kolejnicová brzda FC 63/15T [19].....	34
Obr. 34 Zdrojová a testovací jednotka TZDROJ 1415 připojena k trakčnímu motoru 4HLU 3436	40
Obr. 35 Ovládací panel zdrojové a testovací jednotky TZDROJ 1415.....	41
Obr. 36 Panel motoru 15T.....	42
Obr. 37 Vizualizace automatizovaného pracoviště pro montáž a demontáž TM 4HLU 3436.....	43
Obr. 38 Stávající zkušební stanoviště pro trakční motory.....	44
Obr. 39 Dynamometr ASD P od firmy VUES Brno s.r.o. [23]	50
Obr. 40 Rozměrový nákres dynamometru ASD S330-8/2801 [23].....	50
Obr. 41 Rozměrový nákres dynamometru ASD P330-8/2801 [23].....	51
Obr. 42 Momentová charakteristika motoru 4HLU 3436 P44/VA	53

<i>Obr. 43</i> Mechanická charakteristika asynchronního motoru [24]	54
<i>Obr. 44</i> Rozměry asynchronního motoru SIEMENS [25]	55
<i>Obr. 45</i> Rozměry asynchronního motoru VYBO Electric [26]	55
<i>Obr. 46</i> Přírubový snímač TF od firmy MAGTROL [28]	56
<i>Obr. 47</i> Snímač momentu T40 B [29]	57
<i>Obr. 48</i> Princip frekvenční analýzy [32]	62
<i>Obr. 49</i> Schéma analyzátoru vibrací [32].....	62
<i>Obr. 50</i> Příruba pro uchycení na podvozek	63
<i>Obr. 51</i> Způsob uchycení motoru k podvozku	63

Seznam tabulek

<i>Tab. 1 Stupně údržby</i>	<i>35</i>
<i>Tab. 2 Hodnoty trakčního motoru při zatěživateli S1 [15]</i>	<i>45</i>
<i>Tab. 3 Hodnoty trakčního motoru při zatěživateli S5 [15]</i>	<i>45</i>
<i>Tab. 4 Parametry dynamometrů [23]</i>	<i>52</i>
<i>Tab. 5 Parametry přírubového snímače od firmy Magtrol [27]</i>	<i>56</i>
<i>Tab. 6 Parametry přírubového snímače T40B od firmy HBM [30]</i>	<i>57</i>
<i>Tab. 7 Parametry ložisek</i>	<i>59</i>
<i>Tab. 8 Frekvence závad ložiskových jednotek</i>	<i>60</i>
<i>Tab. 9 Stavv ložisek</i>	<i>61</i>

Seznam zkratek

Zkratky

DPP	Dopravní podnik Praha
PS	Převodová skříň
TM	Trakční motor
KB	Kolejnicová brzda
DO	denní ošetření
KP	kontrolní prohlídka
VKP	velká kontrolní prohlídka
PÚ	pravidelná údržba
PO	periodická oprava
GO	generální oprava
ŠELC	Škoda Electric
TS	Technická specifikace
DC	stejnoseměrný proud
FFT	Fast Fourier Transform

1 Úvod

Kolejová doprava je již dlouhou dobu součástí složek městské hromadné dopravy v některých městech na celém světě. Po těchto kolejích nejezdí vlaky, ale tramvajová vozidla. Tramvaje jsou od různých výrobců, a proto se výrazně liší svým tvarem, elektrovýzbrojí a také mechanickou stránkou vozů. Údržba každého typu tramvaje je zcela odlišná. Po nástupu moderních tramvajů od Škody Transportation do Pražského Dopravního podniku nastává doba, kdy se v Dopravním podniku musí stanovit nové údržbové zvyklosti oproti letům minulým. Nové tramvaje jsou protkány elektronikou a novými řešeními technologických celků.

Dopravní podnik udržuje své tramvaje tak, jak je zvyklý, ze zkušeností z dob minulých. Proto by měl hledět do budoucna a údržbu rozšířit o zkoumání vývoje stavu tramvajových součástí před příchodem do periodických oprav. Znamenalo by to pro něj snadnější určení závad a možné finanční úlevy. Konstrukční celky by se tak nedostávaly do stavů, které končí jejich nenávratným poškozením. Proto by měl Dopravní podnik docílit toho, aby konstrukční celky procházely důkladnou diagnostikou již v pravidelných údržbách. Tím by byl získána data, na základě kterých by bylo možné provádět predikci stavu příslušných konstrukčních celků. Cílem tohoto procesu by mělo být stanovení optimálního údržbového systému včetně naskladnění příslušných náhradních dílů.

Výhoda stávající údržby spočívá v dlouholeté zkušenosti oprav konstrukčních celků starých typů tramvajů a samostatnosti Dopravního podniku. Nevýhodou je, že Dopravní podnik vychází z dlouholetých statistik a řídí se stále jen kilometrovým proběhem. Z toho důvodu nedokáže některým závadám předcházet včas a závada se projeví až po poruše, která často nastává v provozu, což je nežádoucí situace. Pro odstranění problému je následně třeba demontovat celý konstrukční celek, případně provést generální opravu.

Výhodou zavedení diagnostiky by bylo omezení havarijních stavů v provozu. Tyto stavy často vyřadí tramvaj na několik týdnů z provozu. Hlavním přínosem by bylo vytvoření souborů statistických dat, pomocí kterých by bylo možné předcházet takovým jevům. Následně by došlo k urychlení oprav. Pracovník by už dopředu dokázal určit, kde na konstrukčním celku se závada nachází a tím by mohl vyměnit jen ten daný poškozený díl. Nemusel by tedy zdlouhavě zkoumat, kde se závada na konstrukčním celku nachází.

Cílem této práce je vypracovat:

1. Technický popis pojezdu sledovaných tramvajů.
2. Rešerši současného stavu údržby motorů tramvajů.
3. Analýzu údržbových zásahů u motorů tramvajů typu 15T.
4. Koncepční návrh stanoviště pro zkoušení motorů.

Tato práce bude sloužit jako výchozí studie, jak by mohla údržba, opravy a zkoušení probíhat.

2 Pojezdy tramvajových vozů

Tato kapitola je zaměřena na uspořádání pojezdů moderních tramvajových vozů, které jsou v současné době provozovány DP. Popsána je zde jejich konstrukce a jednotlivé díly z kterých se pojezd skládá.

2.1 Tramvaj Škoda 14T

Tramvaj 14T je pětičlánková částečně nízkopodlažní tramvaj, která je vyrobena v plzeňské Škodě Transportation (Obr. 1).



Obr. 1 Tramvaj Škoda 14T

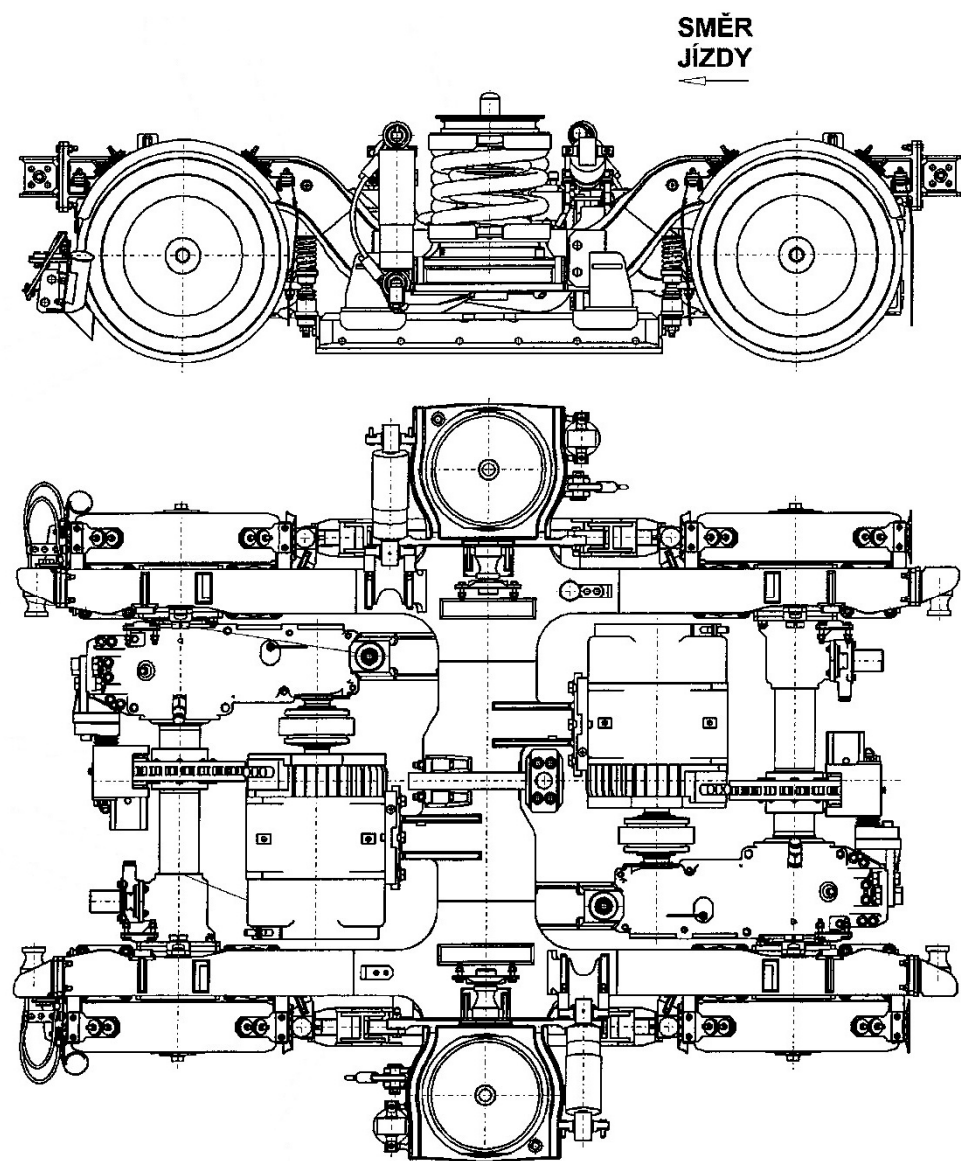
2.1.1 Celkové řešení podvozku

Tramvaj je opatřena třemi trakčními podvozky s asynchronními trakčními motory (Obr. 2). Podvozek je dvounápravový s vnitřním rámem, bez kolébky. V příčné ose podvozku je uloženo sekundární vypružení vozidla, které je složeno ze dvou sad ocelových šroubových pružin a pryžových dorazů a je vybaveno hydraulickými tlumiči. Přenos tažné a brzdné síly mezi podvozky a skříní je zajištěn ojnicí. Příčný pohyb podvozku vůči skříní je omezen pryžovými prvky. Na nápravy jsou namontována vypružená tramvajová kola a která jsou uložena pomocí ložiskových skříní a pryžokovových prvků primárního vypružení v rámu podvozku. Podvozek je opatřen dvěma asynchronními trakčními motory a ty pohání jednotlivé nápravy. Motory jsou osazeny otáčkovými čidly a výkon je přenášen zubovou spojkou a dvoustupňovou převodovkou s čelními

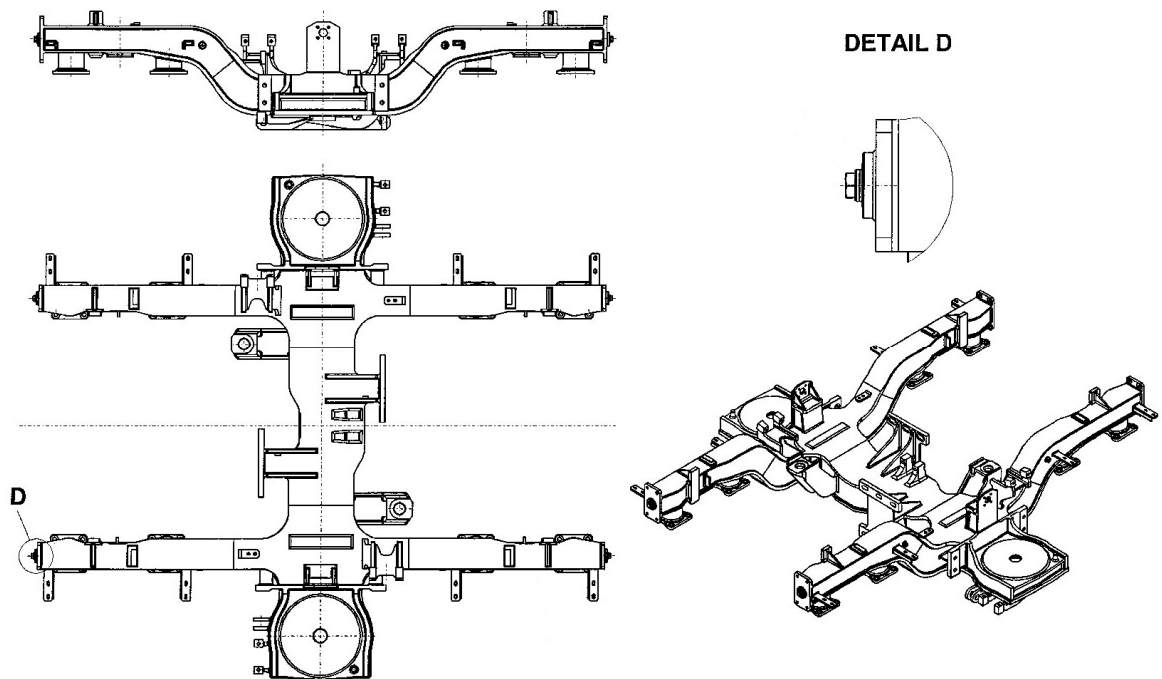
ozubenými koly se šikmým ozubením. Kola první nápravy jsou opatřena mazáním okolků. Podvozek je vybaven elektrohydraulickými kotoučovými brzdami, elektromagnetickými kolejnicovými brzdami a elektrodynamickou brzdou [1].

2.1.2 Rám podvozku

Rám je ve tvaru „H“, svařovaný z ocelových plechů. Je složen ze dvou podélníků a dvou příčníků (Obr. 3). Slouží jako nosná část podvozku, která nese mechanické a elektrické prvky. Tyto prvky jsou dvojkolí s převodovkami, trakční motory, kolejnicové brzdy, pryžokovové pružící prvky primárního vypružení, prvky sekundárního vypružení a narážky [1].



Obr. 2 Trakční podvozek 14T [1]



Obr. 3 Rám podvozku 14T [1]

2.1.3 Dvojkolí

Dvojkolí je jako hlavní díl pojezdu, slouží k vedení a nesení vozidla na koleji a k přenosu sil mezi vozidlem a kolejnicemi (Obr. 4).

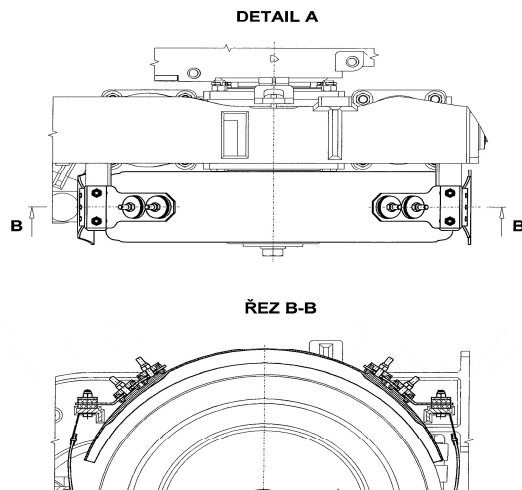
Na čepy nápravy jsou nalisována valivá ložiska a ty zprostředkovávají přenos všech sil z dvojkolí přes ložiskové komory na rám podvozku. Mezi rámem a ložiskovými komorami je primární vypružení. Primární vypružení umožňuje lepší přizpůsobení podvozku svislým nerovnostem na trati, a také se zlepšuje vyrovnávání kolových zatížení. Dvojkolí tvoří součást elektrického obvodu jako část vodiče proudu mezi trakčními motory a kolejnicí. Díky funkci nápravového sběrače proudu a propojek obručí s náboji kol je zabráněno poškození nápravových ložisek [2].

Dvojkolí se skládá z převodovky s nápravou, z valivých ložisek, brzdového kotouče, nalisovaných kol a nápravového sběrače proudu. Vnější kroužky valivých ložisek jsou uloženy v ložiskových komorách.

Na ložiskové komory jsou svými čepy nalisovány vždy dvě pryžokovové pružiny primárního vypružení. Tyto pružiny jsou svými přírubami přichyceny k rámu podvozku.

2.1.4 Blatníky

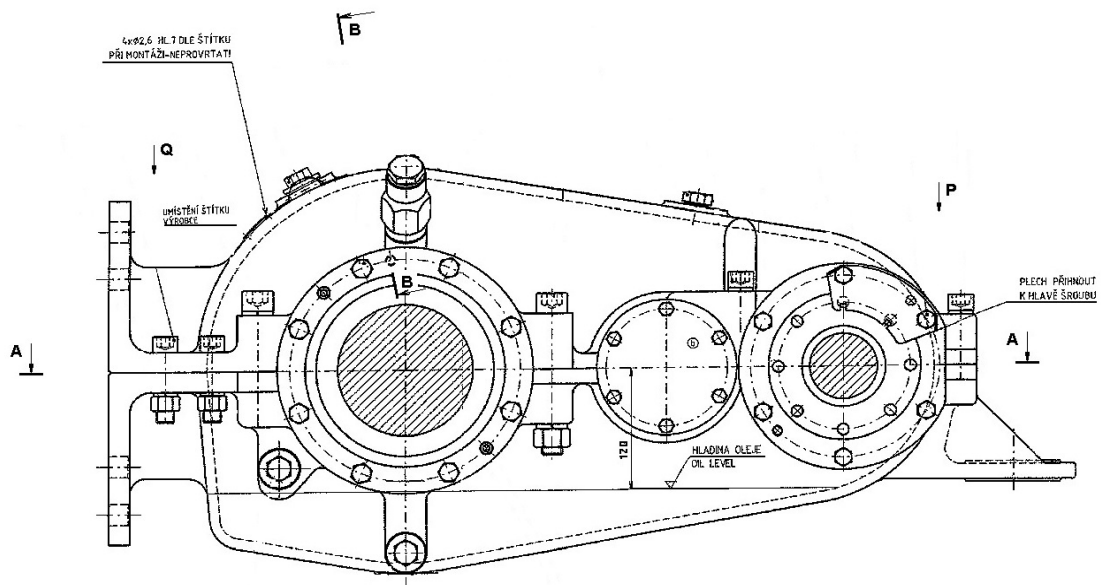
Na podvozcích jsou umístěny blatníky, které chrání podvozky a spodek vozidla před nečistotami a odšťikující vodou (Obr. 5). Držáky blatníků jsou přivařeny na rám podvozku a jsou pružně upevněny pomocí pryžových dílů mezi nosičem, blatníkem a držákem. Držáky a nosiče umožňují díky oválným otvorům seřizování polohy blatníku proti kolu ve dvou rovinách [2].



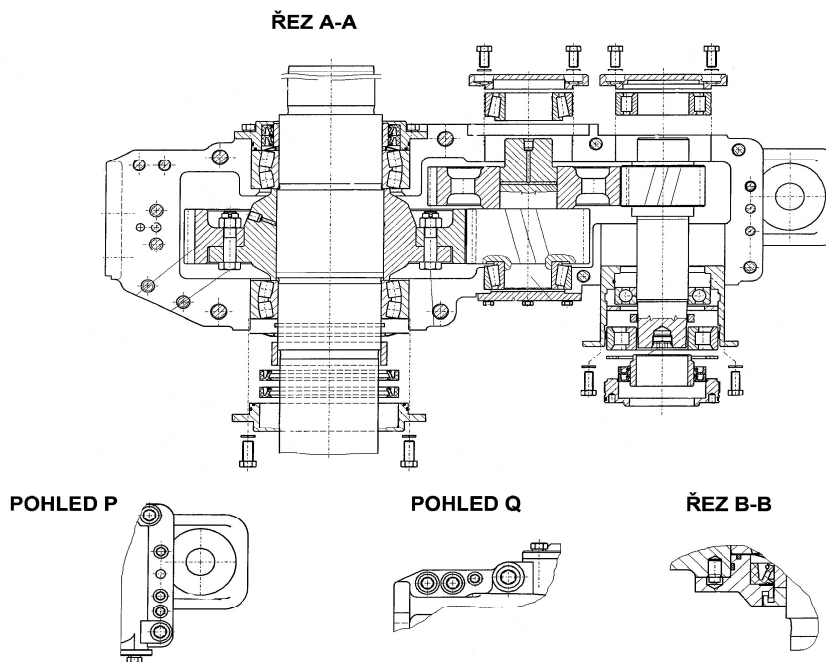
Obr. 5 Blatník 14T [2]

2.1.5 Převodová skříň 14T

Převodová skříň slouží k přenosu točivého momentu z trakčního motoru přes spojku na nápravu (Obr. 6). Převodová skříň je dvoustupňová s dvěma páry čelních ozubených kol, která jsou ve stálém záběru. Převodový poměr u této převodové skříně je 6,84. Ložiska jsou valivá. Mazání převodovky je zajištěno rozstříkem kol, ta se brodí v olejové lázni. Reakční sílu převodovky na rám podvozku přenáší svislá závěska s pryžokovovou pružinou. Na převodové skříně je namontována jednotka elektrohydraulické brzdy. Skříň je dimenzována na přenos sil vznikajících při brzdění elektrohydraulickou brzdou. Výměnu a kontrolu oleje zajišťují plnicí a vypouštěcí otvory [3].



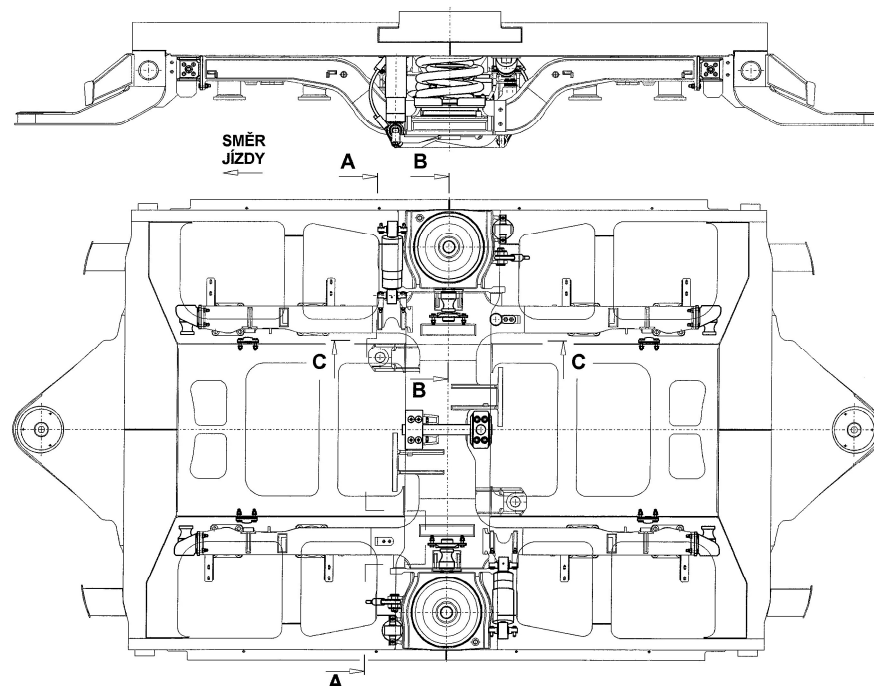
Obr. 6 Převodová skříň 14T [3]



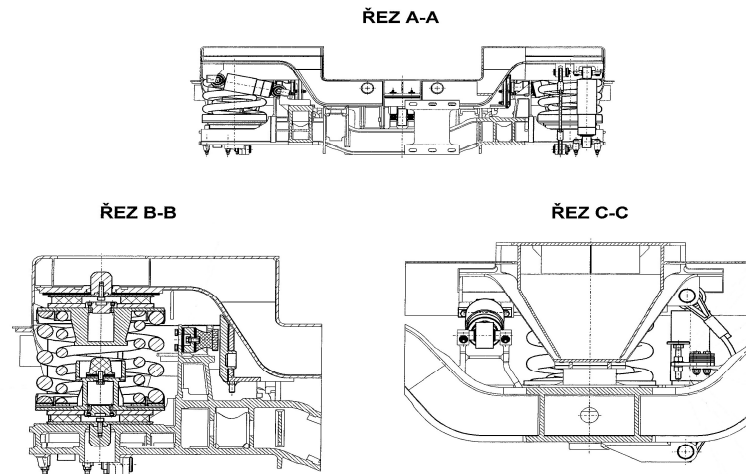
Obr. 7 Převodová skříň 14T - řez [3]

2.1.6 Sekundární vypružení

Sekundární vypružení je na každém podvozku provedeno pomocí dvou sad ocelových šroubových pružin a horizontálních a vertikálních hydraulických tlumičů (Obr. 8). Vypružení se nachází na příčnicku rámu podvozku. Tlumiče tlumí vzájemné pohyby mezi karosérií a podvozkem tramvaje. Na rámu podvozku jsou držáky, do nichž jsou tlumiče upevněny pomocí šroubů. Podvozek má kontakt se skříní pomocí snímačů zatížení [4].



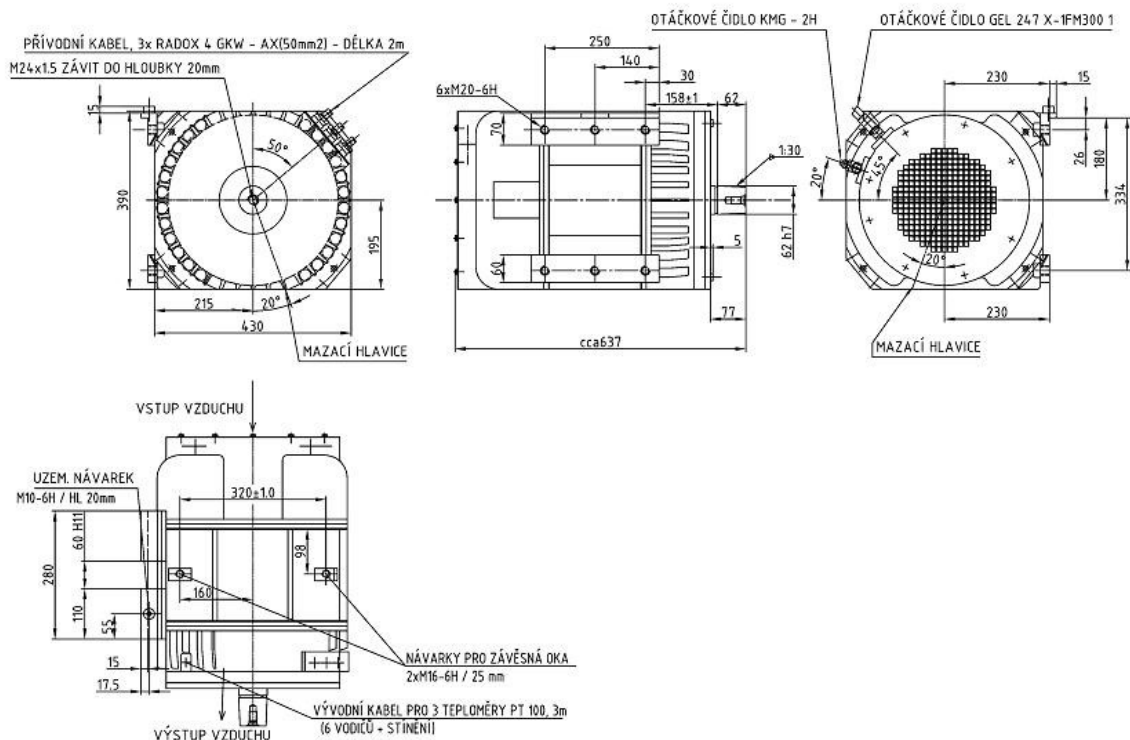
Obr. 8 Sekundární vypružení 14T [4]



Obr. 9 Sekundární vypružení 14T - řez [4]

2.1.7 Trakční motor 8MLU 3436 K/4

Trakční motor 8MLU 3436 K/4 je čtyřpólový asynchronní třífázový motor s kotvou nakrátko a vinutím statoru spojeným do hvězdy uvnitř motoru (Obr. 10). Tento motor je napájen z napěťového „IGBT“ střídače. Trakční motor pohání individuálně nápravy tramvaje. Pro přenos momentu má trakční motor vyveden kuželový konec hřídele na jedné straně. Chladicí vzduch vstupuje do motoru axiálně na straně, kde není vyveden hřídel a vystupuje na straně vyvedení hřídele.



Obr. 10 Trakční motor 8MLU3436 K/4 [5]

Stator motoru se skládá z magnetického obvodu složeného z výlisku izolovaných plechů. Tyto plechy jsou slisované mezi krajními plechy a ocelovými čely, které jsou vzájemně spojeny přivařenými trámci. Statorové vinutí je třífázové dvouvrstvé šablonové se stejnými cívkami upevněnými v otevřených drážkách nemagnetickými klíny.

Rotor má izolované plechy magnetického obvodu, které jsou nalisované na hřídeli bez pera s přesahem. Toto uložení zajišťuje velmi dobrý přenos krouticího momentu. Vinutí rotoru je složeno z měděné neizolované klece nakrátko, z měděných ocelových tyčí a z kruhů nakrátko, které jsou připájeny stříbrnou pájkou. Na zadní straně rotoru je nalisován ventilátor vnitřního chladicího okruhu. Na přední straně je labyrintový kroužek. Tyto dva komponenty jsou opatřeny drážkou pro vyvažovací tělíška, slouží ke statickému i dynamickému vyvážení rotoru.

Ložiskové štíty jsou odlitky, které mají zalitou ocelovou vložku pro vedení ložisek. V čelním štítu je osazeno kuličkové ložisko od firmy SKF a v zadním štítu je axiálně volné ložisko také od firmy SKF. Toto ložisko je opatřeno keramickou izolační vrstvou, která slouží jako ochrana proti ložiskovým proudům. Na motoru se také nacházejí čidla otáček a teploty [5].

2.1.8 Zubová spojka ZK 110

Zubová spojka ZK 110 slouží pro přenos krouticího momentu z trakčního motoru na převodovou skříň 14T. Existují dvě varianty, které se liší konstrukcí spojky.

První varianta je torzně tuhá spojka bez spínání, se samostředícím ozubením s evolventním profilem (Obr. 11). M_k se přenáší pomocí vnějšího ozubení na náboji a vnitřního ozubení na pouzdru. Tyto dvě ozubení jsou do sebe zasunuta.

Varianta dvě je složena ze dvou polovin zubové spojky, ke které je připojena příruba pomocí šroubů (Obr. 12). Tato spojka neumožňuje spínání a vypínání. Je také vybavena samostředícím ozubením jako varianta jedna, které zajišťuje torzní tuhost i úhlovou pohyblivost. M_k se také přenáší pomocí vnějšího (náboj) a vnitřního (pouzdro) evolventního ozubení, které je do sebe zasunuto. Největší rozdíl je, že na straně převodovky je mezi nábojem a pouzdem místo, které slouží k proklouznutí v případě dosažení maximálního M_k [6].

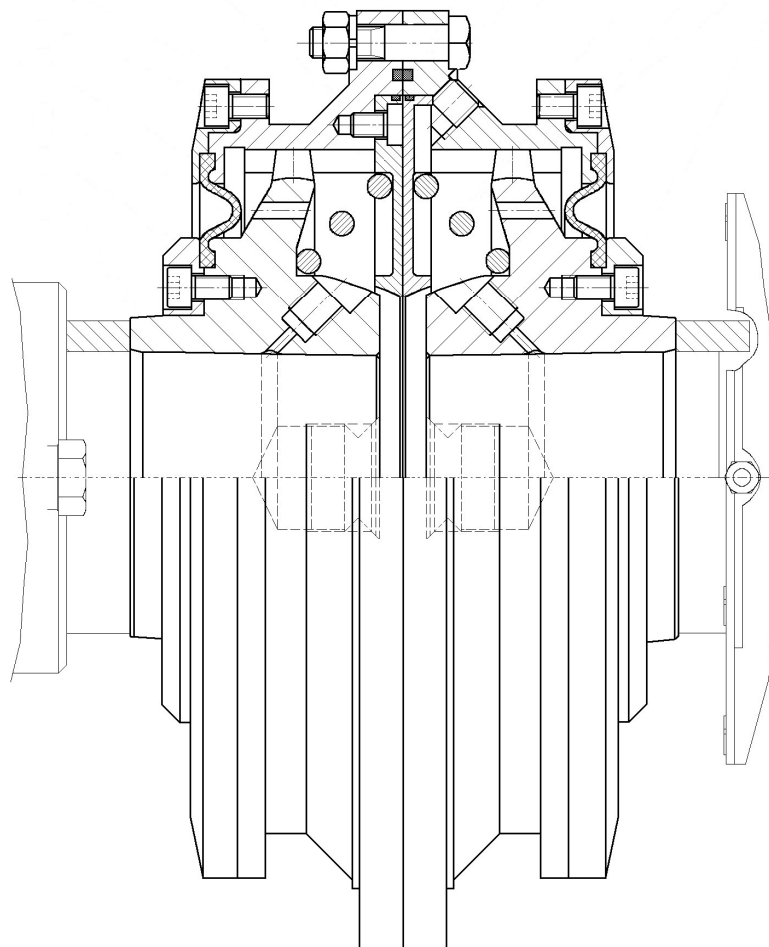
2.1.9 Vypružené kolo SAB V60 s pryžovým odpružením

Na tramvajích typu 14 T, jsou použita kola SAB V60 s nízkou hlučností o průměru 610 mm. Kolo má pryží odpruženou demontovatelnou obruč (Obr. 13) a je vybaveno čtyřmi zemními kabely a můstky, které spojují náboj kola s obručí. Náboj kola má válcové sedlo pro nalisování na nápravu [7].

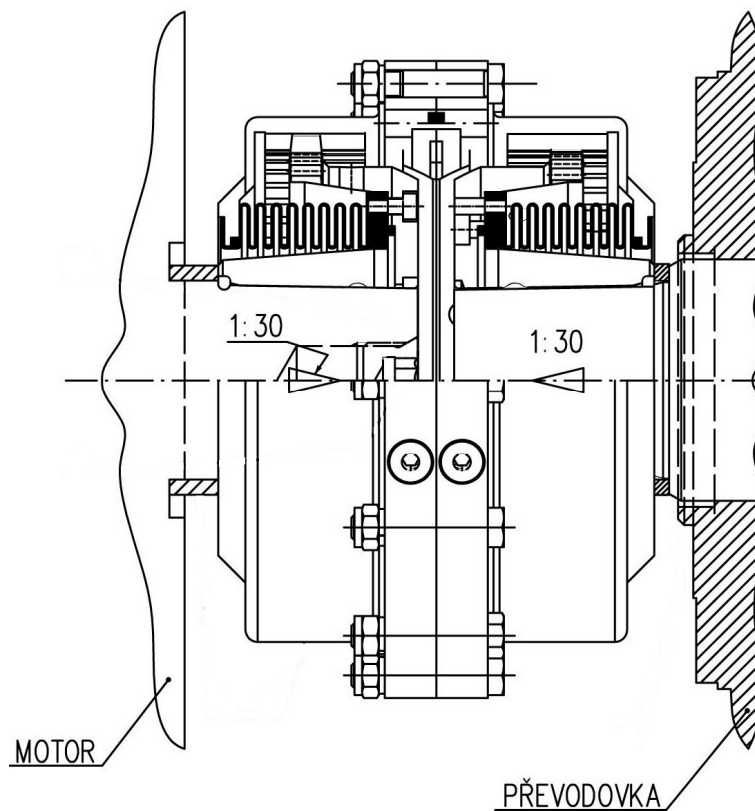
2.1.10 Nápravový sběrač proudu

Na dvojkolí je namontován izolovaný sběrač proudu (Obr. 15), aby nedocházelo k poškození nápravových ložisek průchodem elektrického proudu. Ve skříni sběrače je posuvně uložen uhlík, který je přitlačován ke sběracímu kroužku pomocí pružiny. Skříň je přes izolační desku

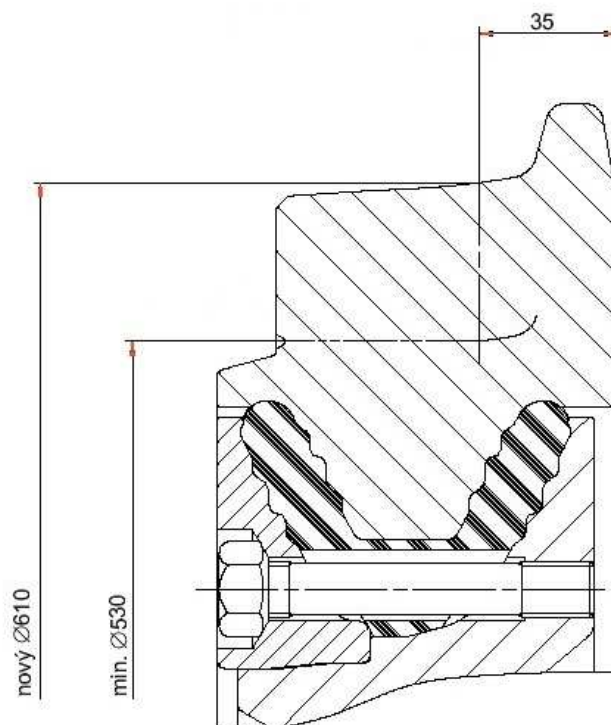
přichycena na tělese sběrače. Tím je přes sběrač, nápravu, kola a kolejnici uzavřen elektrický obvod trakčního motoru.



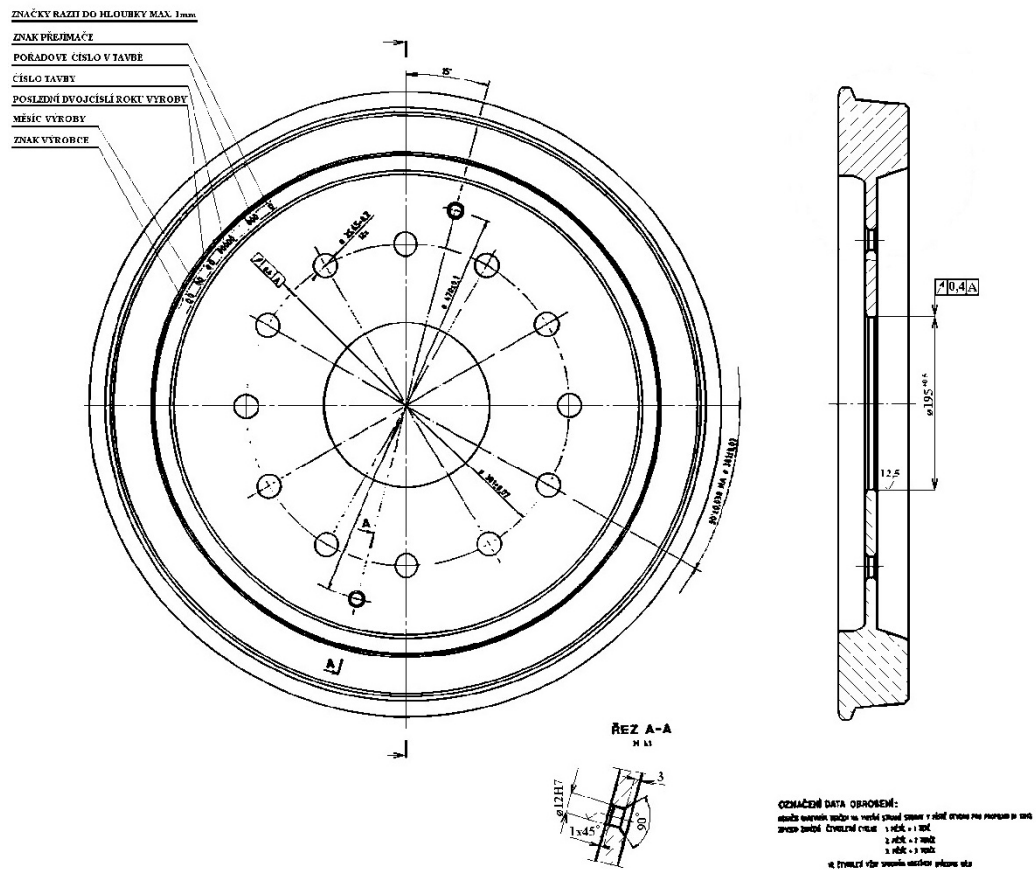
Obr. 11 Zubová spojka ZK 110, var. 1 [6]



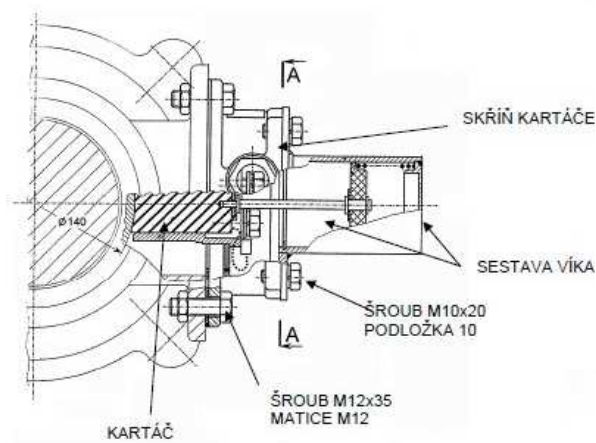
Obr. 12 Zubová spojka ZK 110, var. 2 [6]



Obr. 13 Vypružené kolo SAB V60 - řez [7]



Obr. 14 Vypružené kolo SAB V60 [7]



Obr. 15 Nápravový sběrač proudu 14T [1]

2.1.11 Brzdy

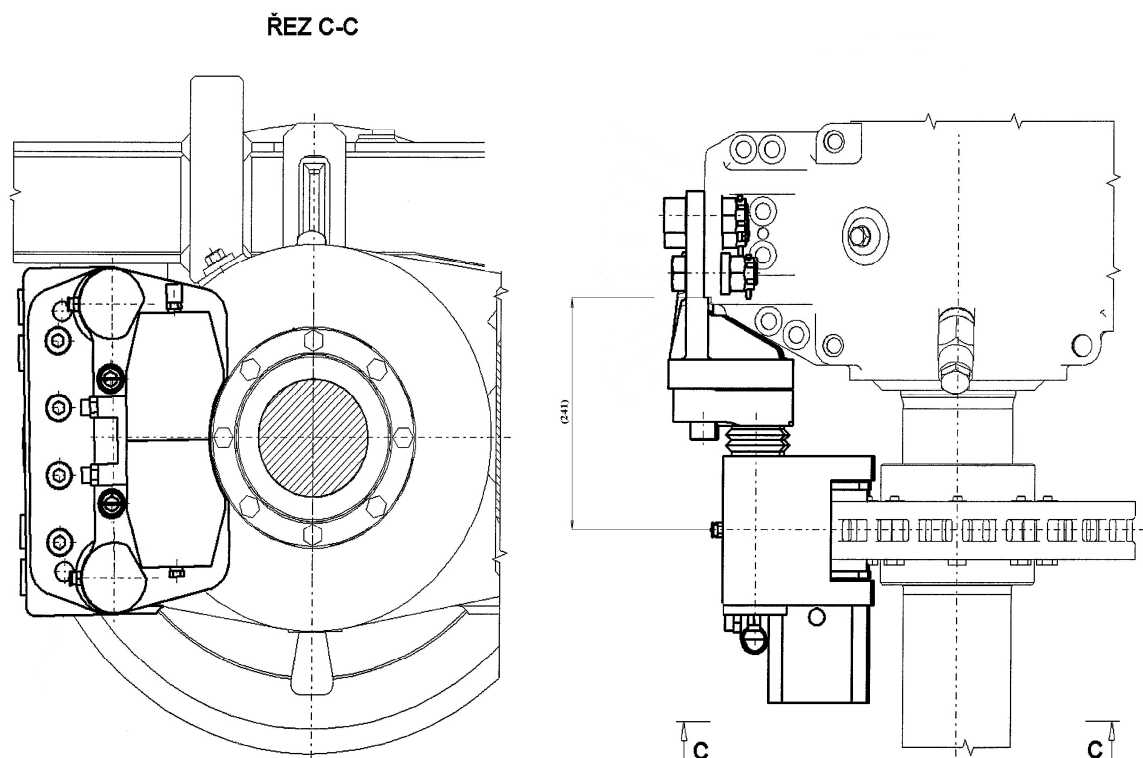
Podvozek tramvaje 14T obsahuje tři druhy brzd a to elektrodynamickou brzdu motorovou, kotoučovou brzdu a elektromagnetickou kolejnicovou brzdu. Elektrodynamická brzda opět funguje tak, že motory brzdí v generatorickém režimu. Její účinnost klesá po 4 km·h⁻¹.

Kotoučová brzda 14T

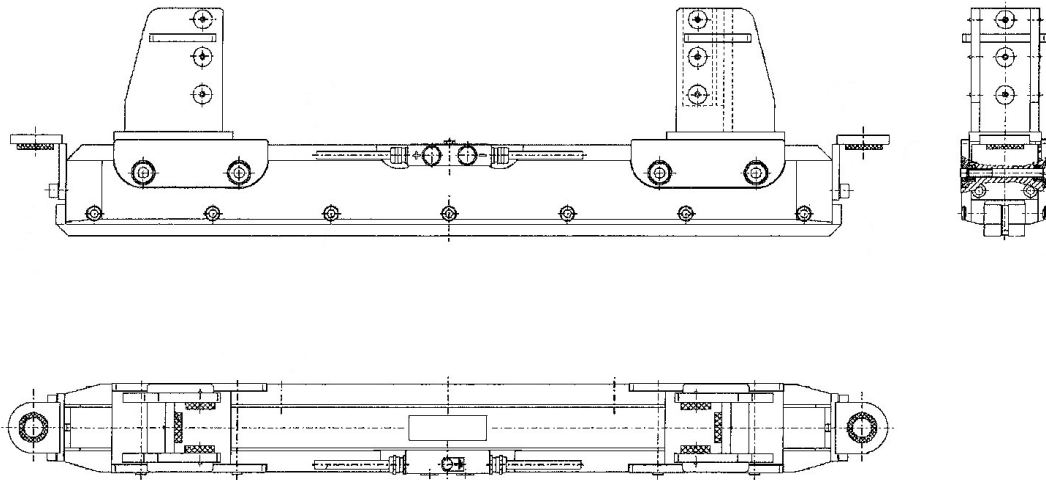
Trakční podvozek tramvaje 14T je osazen kotoučovou brzdou typu K.P.T. 001-14T, která je kompletním elektrohydraulickým střadačovým systémem s protismykem (Obr. 16). Tuto brzdou vyrábí firma DAKO. Brzdová jednotka je upevněna na převodovce a brzdový kotouč je nalisována na nápravě dvojkolí. Řídící jednotka tohoto agregátu je upevněna ve skříni tramvaje spolu s hydraulickým čerpadlem a agregátem brzdy. Elektronická řídicí jednotka ovládá všechny brzdové jednotky z prvního článku tramvaje. Brzda je také řízena snímačem impulzů, který je umístěn na trakčním motoru [8].

Elektromagnetická kolejnicová brzda HS 70

Konstrukce a princip fungování kolejnicové brzdy odpovídá elektromagnetu (Obr. 17). Základem brzdy je magnetická cívka. Přivedením proudu do této cívky se vytvoří magnetické pole. Tím se zmagnetizují všechny části kolejnicové brzdy, tzn. jádro cívky, bočnice a kolejnicové botky. Pokud má kolejnicová brzda vhodnou vzdálenost od kolejnice (zpravidla 7–8 mm), tím se přitáhne kolejnicová brzda ke kolejnici pomocí vlastní magnetické síly. Proto se dá říci, že kolejnicová brzda je jakýsi druh kotvy. Zpravidla fungují všechny kolejnicové brzdy na stejném principu. Vždy se jedná o elektromagnet, jen se liší konstrukční velikostí a přitažnou silou. Tato kolejnicová brzda má přitažnou sílu 70 kN a cívka je napájena z 24V okruhu tramvaje [9].



Obr. 16 Brzdová jednotka K.P.T. 001-14T [8]



Obr. 17 Kolejnicová brzda HS 70 [9]

2.2 Tramvaj Škoda ForCity 15T

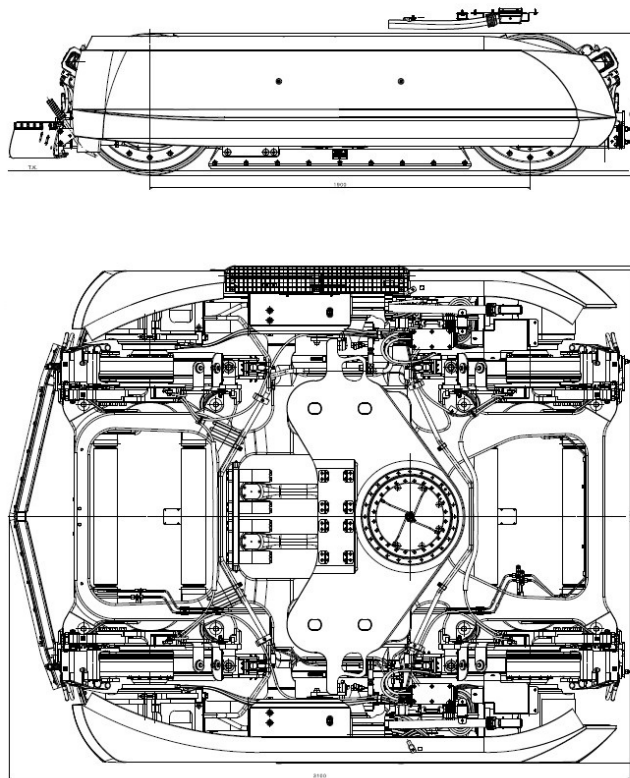
Tramvaj Škoda ForCity je zatím posledním vývojovým typem plzeňské Škody transportation (Obr. 18). Jedná se o nejmodernější tuzemskou tramvaj, která je používána i v zahraničí. Jedná se o jednosměrnou tříčlánkovou nízkopodlažní tramvaj se čtyřmi trakčními podvozky s nezávislým pohonem všech kol.



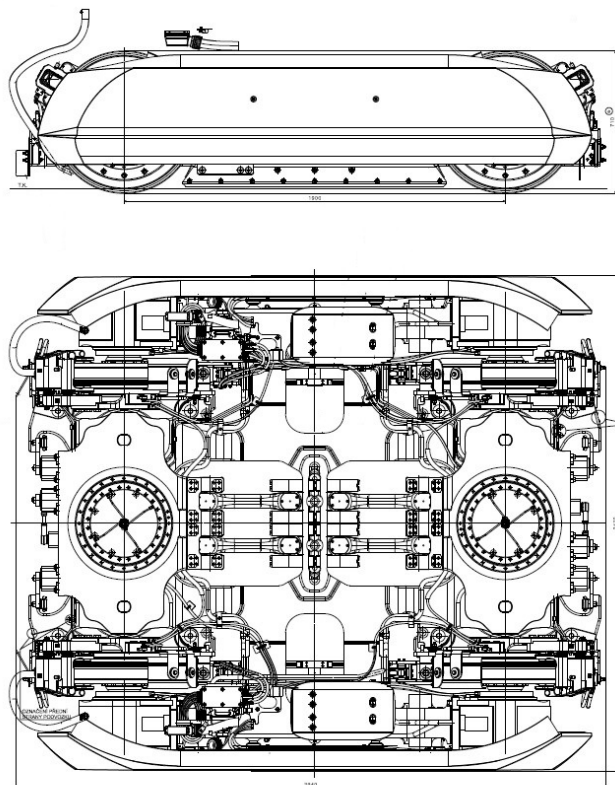
Obr. 18 Škoda ForCity 15T

2.2.1 Celkové řešení podvozku

Podvozek tramvaje 15T, jak již bylo zmíněno výše, má nezávislý pohon všech kol. Všechny podvozky jsou hnané, a proto díky této koncepci rozlišujeme podvozky dvojího druhu, čelní a vnitřní. Čelní podvozky jsou první a čtvrtý, a jsou umístěny na krajích tramvaje. Pod skříní jsou uloženy otočně. Toto otočné uložení má bod otáčení mimo střed podvozku, jde o vyosení směrem ke středu vozu. Vnitřní podvozky jsou druhý a třetí ve směru jízdy a jsou uloženy mezi 1. a 2. a 2. a 3. článkem. Na prvním vnějším podvozku (Obr. 19), ve směru jízdy je umístěn ochranný rám, který slouží jako ochrana proti přejetí osob a větších předmětů. Vnitřní podvozky (mezivozové), mají dva body otáčení a skříně jsou uloženy každá zvlášť pomocí otočových ložisek (Obr. 20). Podvozek se skládá z rámu podvozku, jedné kolébky u podvozků čelních a dvou u podvozků vnitřních, primárního a sekundárního vypružení, dvojkolí, brzd a čtyř synchronních střídavých trakčních motorů [10]. Podvozky, jsou také vybaveny zákryty, které mají za úkol chránit podvozek od nečistot. Přímo za těmito zákryty jsou schovány trakční motory a kolejnicové brzdy. Dle data výroby se rozlišuje několik druhů těchto zákrytů.



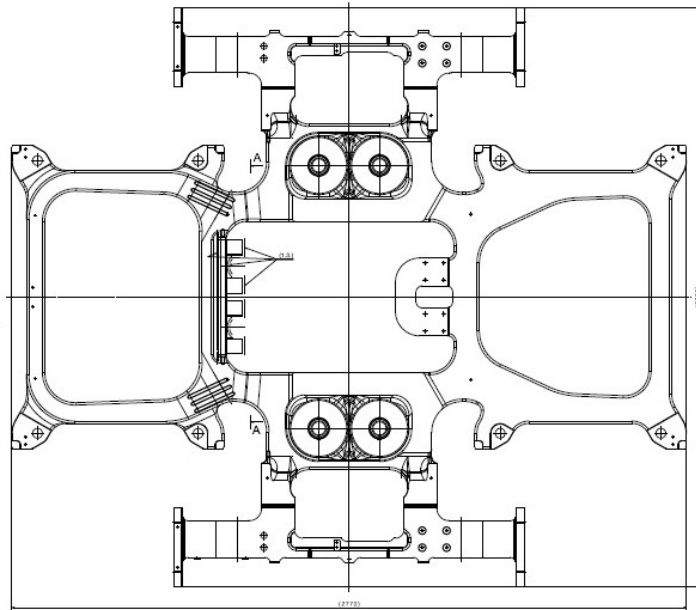
Obr. 19 Čelní podvozek 15T [10]



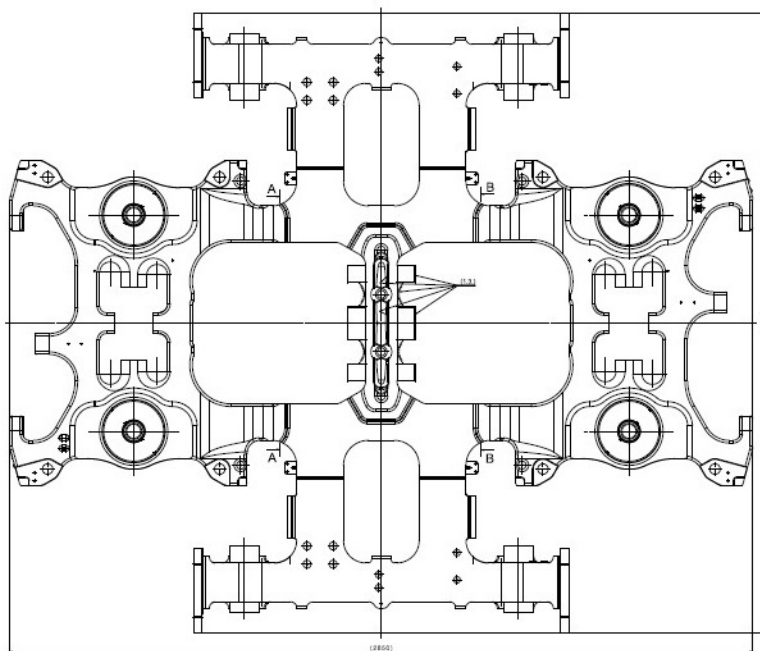
Obr. 20 Vnitřní podvozek 15T [10]

2.2.2 Rám podvozku

Rám podvozku je jeden svařenec, který se skládá z odlitků a dalších menších svařovaných profilů. Rámy podvozků rozdělujeme na vnější (Obr. 21) a vnitřní (Obr. 22). Kolébka rámu je připojena k rámu pomocí táhel, která slouží pro přenos tažných a brzdných sil mezi skříní a podvozkem vozu. Rám nese také kabeláž, hydraulický a brzdný systém (brzdové jednotky), chladicí okruh trakčních motorů, komponenty pohonu (trakční motory) a dvojkolí. K rámu podvozku jsou také přišroubovány pružiny primárního vypružení (pryžkovové) [10].



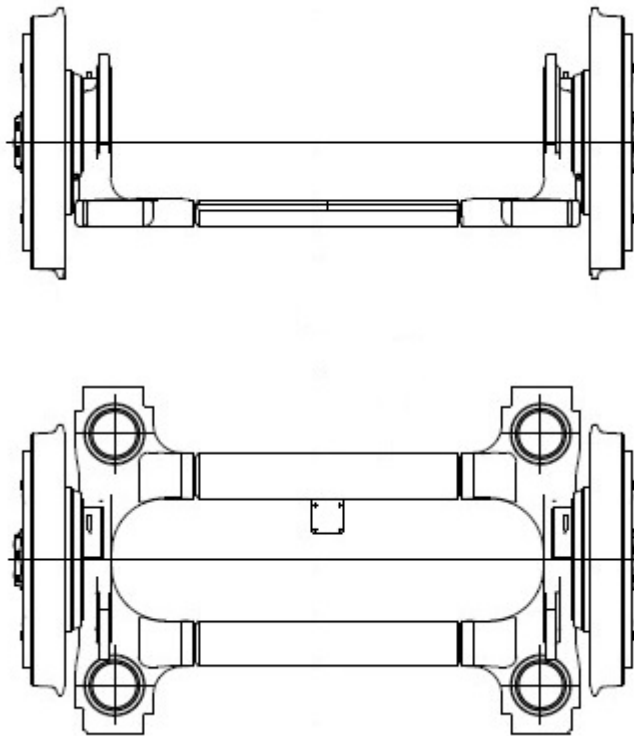
Obr. 21 Rám podvozku vnější [10]



Obr. 22 Rám podvozku vnitřní [10]

2.2.3 Dvojkolí

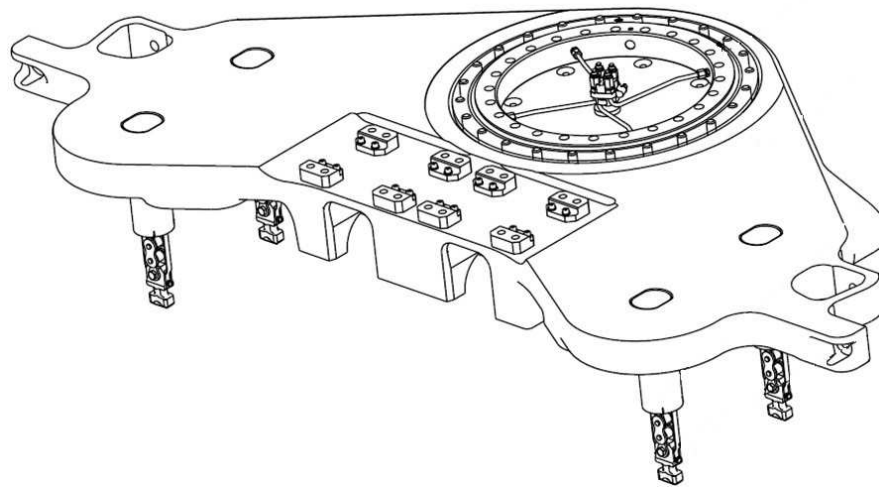
Tramvaj 15T, nemá klasické dvojkolí. Každé kolo má svoji vlastní krátkou nápravu, díky zvolenému řešení, je tramvaji umožněno projíždění oblouků bez podélných skluzů. Nápravnice nesou a vedou vozidlo na koleji, proto se na dvojkolí soustředí všechny síly a zatížení, které je dané hmotností vozidla, včetně cestujících a jednak s jeho vedením v příčném a podélném směru. Dvojkolí tvoří nápravnice, tramvajová kola s nápravovými ložisky a nápravové uzemňovací sběrače (Obr. 23). Nápravnice, je svařena z levého a pravého ramene a dvou spojnic. Jedna spojnice má patku. Ramena jsou odlitky, na kterých jsou otvory pro umístění silentbloků primárního vypružení, čepy pro uložení tramvajových kol s nápravovým ložiskem a otvory pro montáž kotoučové brzdy DAKO [11].



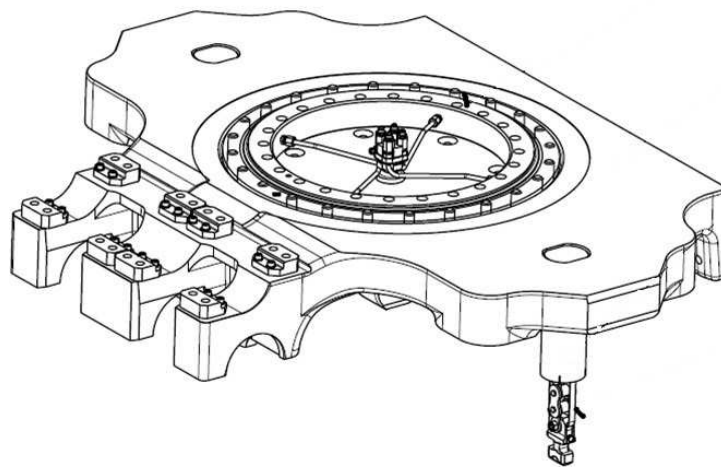
Obr. 23 Nápravnice 15T [11]

2.2.4 Kolébka podvozku

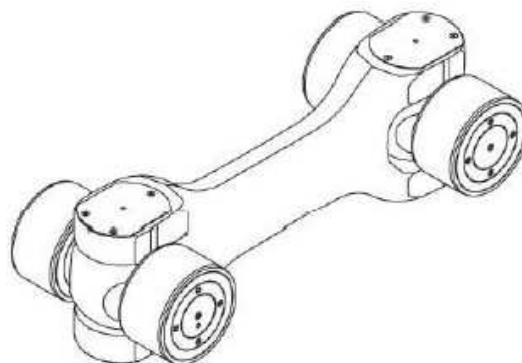
Každá tramvaj 15T má dva druhy podvozků, jak již bylo výše zmíněno. Čelní podvozky mají jednu odpruženou kolébku s otočným kuličkovým ložiskem, které umožňuje natáčení podvozku vůči skříní (Obr. 24). Vnitřní typ podvozku má odpružené kolébky dvěma kuličkovými otočnými ložisky, kdy na každé z nich je uchycen jeden z vozů (Obr. 25). Kolébka je odlita z manganové oceli. Každá kolébka je uložena na sadách pružin sekundárního vypružení. Na kolébce jsou také namontována podélná táhla, která přenášejí tažné a brzdné síly (Obr. 26). Táhla jsou připevněna pomocí třmenů. Pomocí táhel je spojena kolébka s rámem podvozku [12].



Obr. 24 Vnější kolébka 15T [12]



Obr. 25 Vnitřní kolébka 15T [12]



Obr. 26 Podélné táhlo 15T [12]

2.2.5 Blatníky

Nad všemi koly jsou pružně umístěny blatníky. Blatníky chrání podvozky před nečistotami. Mohou být vyrobeny z laminátu anebo mohou být vylisované z nerezového ocelového plechu. Jsou připevněny na konzolách pomocí šroubů a matic, plechových a pryžových podložek. Konzoly s přišroubovanými blatníky jsou upevněny na konzolách závěsu kolejnicové brzdy.



Obr. 27 Blatník 15T

2.2.6 Vypružení 15T

Podvozky tramvaje 15T jsou dvounápravové s dvojstupňovým odpružením. Odpružení je tvořeno primárním a sekundárním vypružením. Neodpružené hmoty jsou tvořeny koly, nápravnicemi, uzemňovači, brzdovými kotouči a samotným primárním vypružením [13].

Primární vypružení

Primární vypružení zajišťuje odpružení rámu podvozku a snižuje tak neodpružené hmoty a dynamické účinky na rám. Jako primární pružiny jsou použity pryžokovové kuželové pružiny. Ty jsou uloženy v otvorech na nápravnici.

Sekundární vypružení

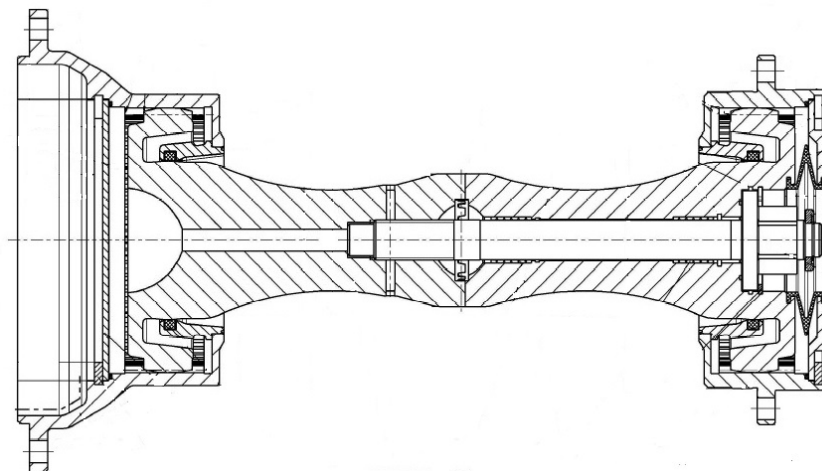
Sekundární vypružení působí mezi rámem a kolébkou. Výrazně ovlivňuje dynamické vlastnosti vozidla. Na sekundární vypružení, které přenáší hmotnost skříně tramvaje z kolébkou na rám podvozku, jsou použity vinuté ocelové pružiny a paralelně řazené tlumiče. Tlumiče jsou s kolébkou spojeny pomocí táhel. Vrchní plocha vinutých pružin je vybavena pryžokovovým prvkem, který tlumí přenos vibrací a hluku.

2.2.7 Zubová spojka

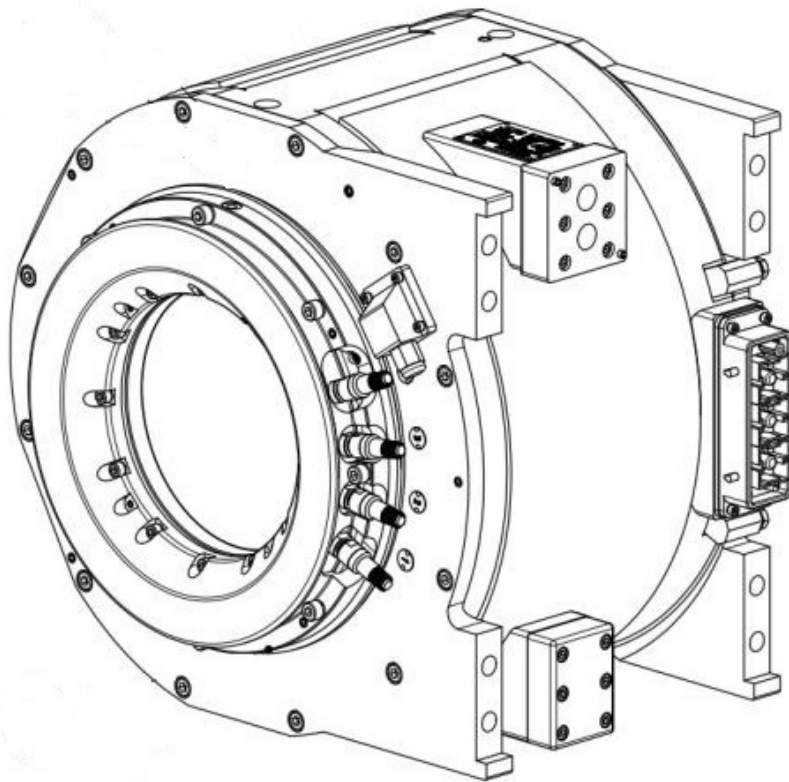
Protože jsou na tramvaji použity synchronní trakční motory, tak je pohon řešen jinak než na ostatních typech tramvajů v DP. Pohon každého kola na tramvaji zajišťuje samostatný trakční motor. Pro přenos točivého momentu z trakčního motoru na tramvajové kolo se používá mechanicky rozpojitelná zubová spojka (Obr. 28). Trakční motory jsou připevněny k rámu podvozku a v jejich dutině je na tramvajovém kole umístěna zubová spojka. Tato zubová spojka je neředitelná a neotočná spojka se samostředícím ozubením. Přenáší M_k tvarovým stykem do sebe zapadajícího vnějšího a vnitřního evolventního ozubení [14].

2.2.8 Trakční motor 4HLU 3436 P/44 VA

Tramvaj 15T je poháněna třífázovými synchronními motory s permanentními magnety na rotoru, který dosahuje jmenovitého výkonu 46,6 kW. Jedná se o typ 4HLU 3436 P/44 VA (Obr. 29). Tento motor slouží i jako elektrodynamická brzda. Motor přímo pohání kolo tramvaje přes zubovou spojku a je umístěn vně kola. Na jednom podvozku se nachází tím pádem čtyři trakční motory, pro každé kolo jeden. Chlazení trakčního motoru je zajištěno pomocí chladicího média. Chladič motoru se nachází v kostře motoru. Rotor je tvořen dutou hřídelí. Jednotlivé póly rotoru jsou tvořeny soustavou magnetů nalepených na tenkých feromagnetických destičkách. Stator se skládá z listěného statorového svazku, který je tvořen statorovými plechy a po obou stranách svazku, paketem krajních plechů s izolací. Ten se skládá ze dvou krajních plechů a sklotextitové izolace. Do párů drážek jsou vloženy statorové cívky, které jsou zajištěné v drážkách mezi póly sklotextitovými klíny. Takto vytvořený svazek s vinutím je po impregnaci zalisován s přesahem do ocelové kostry. Poloha je zajištěna pomocí kolíku v kostře. Kostra statoru je tvořena svařovanou kostrou, která obsahuje JHO, kde jsou vyfrézované kanály pro průchod chladicího média. Celek kostry je překryt ocelovou membránou a na spodní straně příložkami. Na straně je kostra opatřena návarky pro uzemnění [15].



Obr. 28 Zubová spojka 15T [14]



Obr. 29 Trakční motor 4HLU 3436 P/44 VA [15]

2.2.9 Nápravový sběrač proudu AB 399 Frost

Nápravový sběrač, též také nazýván jako uzemňovací kontakt, je axiálně působící kluzný kontakt. Ten je určen pro přenos zpětných proudů z tramvaje a k uzemnění vozidla. Sběrač vede proud přes speciální kartáč a obruč kola na kolejnici (Obr. 30). Aby nedocházelo ke zpětnému toku proudu ložisky na čepu nápravnice, na kterých je uloženo tramvajové kolo, je přes nápravový sběrač uzavřen elektrický trakční obvod vozidla. Sběrač, který je elektricky izolovaný od nápravnice, přemostňuje ložiska na nápravnici a tím zabraňuje jejich poškození [16].



Obr. 30 Nápravový sběrač proudu ABB 399 Frost

2.2.10 Tramvajové kolo 15T – BONATRANS

Tramvaj 15T používá pryží odpružená kola (Obr. 31). Kolo je složeno z několika hlavních součástí – kotouče, obruče kola a pryžových segmentů. Pryžové segmenty mají antivibrační a tlumicí vlastnosti, také mají vliv na snížení dynamických účinků na cestující a je díky nim dosaženo lepší jízdní stability [17]. Tramvajové kolo má průměr 666 mm.



Obr. 31 Tramvajové kolo 15T - BONANTRANS na nápravnici

2.2.11 Brzdy

Brzdový systém tramvaje 15T je koncipován tak, aby byl schopný zastavit plně obsazené vozidlo na maximálním sklonu koleje. Systém se opět skládá ze tří nezávislých brzdových prvků – elektrodynamické motorové brzdy, kotoučové brzdy a elektromagnetické kolejnicové brzdy.

Kotoučová třecí brzda K.P.T 010

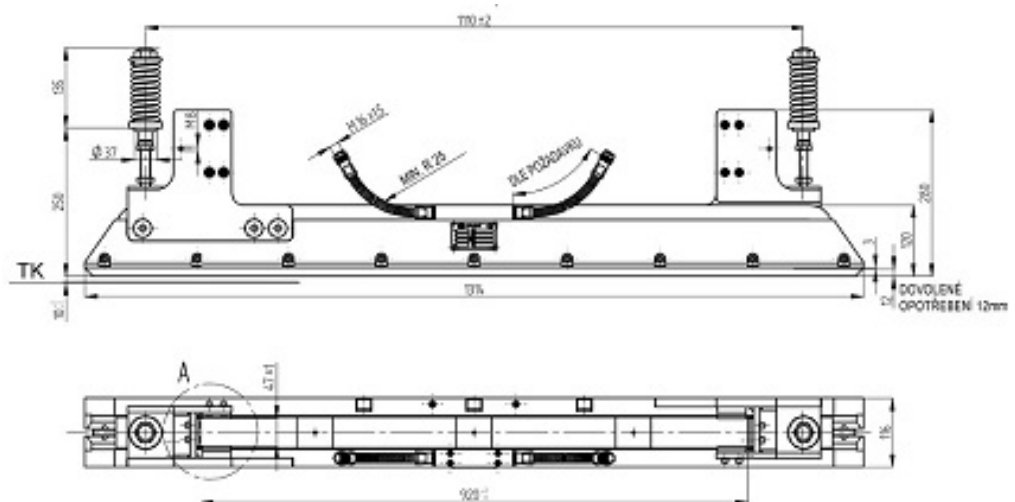
Kotoučová brzda doplňuje elektrodynamickou motorovou brzdou při dobrzdování z nízké rychlosti, při záchranném brzdění, jako brzda při stání ve stanici. V případě poruchy elektrodynamické brzdy motorové přebírá funkci hlavní brzdy tramvaje. Kotoučová brzda je střadačový, hydraulicky odbrzdovaný systém s elektricky poháněným tlakovým agregátem, jehož základem je brzdová jednotka (Obr. 32). Brzdová jednotka je střadačová elektrohydraulicky ovládaná s mechanismem ručního odbrzdění a samočinným jednostranně účinkujícím stavěčem odlehlosti. Je umístěna na nápravnici [18].

Elektromagnetická kolejnicová brzda FC 63/15T

Každý podvozek je vybaven párem elektromagnetických kolejnicových brzd FC 63/15T (Obr. 33) s napětím 24V DC. Ty jsou zavěšeny mezi nápravnicemi podvozku a jsou uchyceny na konzolách závěsu kolejnicové brzdy. Konzola je součástí vypružení podvozku. Kolejnicová brzda je pružně uchycena na dvou svislých závěsech s pružinami. Svislé závěsy zachovávají stálou nastavenou výšku kolejnicových brzd nad temenem kolejnice [19].



Obr. 32 Kotoučová brzda K.P.T 010 15T namontovaná na pojezdu



Obr. 33 Kolejnicová brzda FC 63/15T [19]

3 Údržba motoru tramvají v DP

Údržba trakčních motorů v Dopavním podniku se odvíjí od kilometrového proběhu tramvajového vozidla (Tab. 1). Údržbové zásahy probíhají, jak na vozovnách, tak následně v Ústředních dílnách Dopavního podniku. Rozsahy údržbových prací se také liší dle typu motoru a vybavenosti pracoviště na opravu agregátů. V současné době se opravuje 5 druhů trakčních motorů:

- TE022 – tramvaje T3
- TE023 – tramvaje KT8
- 8MLU 3436 K/4 – tramvaje 14T
- 4HLI 3436 P/44 VA – tramvaje 15T

Největší rozsahy oprav, se provádějí na stejnosměrných motorech, které jsou konstrukčně nejjednodušší (typ TE022 a TE023). Další typy motorů se týkají nových tramvají, které přibyly do flotily DP. Ty se v krátkodobém výhledu s ohledem na opotřebenění začnou také dostávat ve velké míře do opraven. Všechny tyto údržby probíhají dle platných předpisů DP.

Opravy a údržby musí provádět odborně způsobilý personál s odpovídajícím vybavením. Provedené operace musejí být zaznamenány dle platných předpisů v pasportu vozidla.

Tab. 1 Stupně údržby

Stupeň údržby:	Kilometrový proběh:
DO – denní ošetření	maximálně 400 km
KP – kontrolní prohlídka	20000 km ± 20 %
VKP – velká kontrolní prohlídka	100000 km ± 20 %
PÚ – pravidelná údržba	200000 km ± 20 %
PO – periodická oprava	600000 km ± 20 %
GO – generální oprava	2400000 km ± 20 % nebo 30 let v provozu

3.1 Vozovny Dopavního podniku

Ve vozovnách dopavního podniku probíhají první tři stupně údržby tramvají (Tab. 1), při kterých nedochází k demontáži trakčního motoru z pojezdu.

3.1.1 DO – denní ošetření

V rámci denního ošetření se motory čistí. V dalších krocích se kontroluje upevnění trakčních motorů na podvozku. Dále se provádějí vizuální kontroly šroubových spojů, v případě zjištění chybějícího šroubu nebo jeho povolení se daný šroubový spoj dotáhne. Je potřeba zkontrolovat další díly trakčního motoru. To znamená, zda nejsou poškozeny kryty trakčního motoru a upevňovací spony. Chybějící díly nebo poškozené díly se doplní.

3.1.2 KP – kontrolní prohlídka a VKP – velká kontrolní prohlídka

Kontrolní prohlídky a velké kontrolní prohlídky, se provádějí ve stejném rozsahu, jen každá po jiném kilometrovém nájezdu. Nejsou u všech trakčních motorů stejné. Rozdělují se dle typu trakčního motoru. To znamená, že na stejnosměrných trakčních motorech se provádějí stejné údržbové úkony, z důvodu podobné konstrukce a funkce. U asynchronních a synchronních motorů se dělají podobné údržbové úkony, ale také úkony, které nejsou u stejnosměrných potřeba a naopak.

Stejnosměrné trakční motory TE022 a TE023

Stejnosměrné trakční motory jsou na tramvajích T3 a KT8, takže se jedná o motory TE022 a TE023. V první řadě se provedou stejné úkony jako při denním ošetření.

Následují další operace:

- Kontrola úplnosti všech krytů a těsnosti vzduchovodů, které zajišťují chlazení jednotlivých trakčních motorů.
- Kontrola přívodních kabelů, ty nesmí být uvolněné a nesmí mít mechanicky poškozenou izolaci vodičů.
- Demontáž krytů trakčních motorů a vyčištění se a vyfoukání vnitřku trakčního motoru. Kryty trakčního motoru se zevnitř očistí se od prachu a nečistot. Zkontrolují se těsnění a pružinové uzávěry krytů.
- Kontrola prostoru komutátoru a sběrného ústrojí, které se za pomoci štětce očistí od uhlíkového prachu.
- Kontrola povrchu komutátoru. Komutátor při této kontrole musí mít kovově lesklý film a jednotlivé lamely komutátoru nesmí být opálené. V rámci této kontroly se tyto dvě komponenty kontrolují také na elektrický přeskok a správnou komutaci.
- Kontrola upevnění a stavu izolátorů, které se před kontrolou musí očistit.
- Kontrola samotného sběrného ústrojí. Zde se kontrolují držáky uhlíkových kartáčů, včetně jejich přítlačného zařízení. Zkouší se, zda přítlačná pružina není uvolněna. Kontrola sběracího ústrojí probíhá tak, že se odklopí přítlačná pružina sběrného uhlíkového kartáče a zajistí se. Vysune se sběrný uhlíkový kartáč z komory držáku a pohledem se zkontroluje připojení oka dracounu, délka uhlíkového kartáče a jeho dosedací plochy.
- Montáž očištěných krytů trakčního motoru. Kontrola těsnosti krytu.

- Čistění a zprůchodnění odtokových otvorů ve spodní části motoru.
- Měření izolačního stavu motoru, který musí odpovídat hodnotám, které jsou uvedeny ve specifikaci trakčního motoru.

V případě zjištění jakýchkoli poruch a vad dochází k jejich evidenci a nápravě již na vozovně. Pokud závada nejde odstranit na vozovně, je trakční motor vyvázán a odeslán do Ústředních dílen, kde proběhne detailní vyhodnocení závad a následná oprava.

Asynchronní trakční motory 8MLU 3436 K/4

Asynchronní trakční motory jsou díky své jednoduché konstrukci téměř bezúdržbové.

Operace kontroly:

- Kontrola upevnění trakčních motorů na podvozku
- Kontrola správného chodu.
- Kontrola přívodních vodičů, jejich upevnění a stav izolace, zda není někde mechanicky poškozena.
- Domazání ložisek (cca 20 g předepsaného tuku).
- Kontrola čidel brzd, otáček a teploty. V případě poškození dochází k výměně.

Když dojde ke zjištění mechanické závady, kterou není možno opravit v rámci vozovny, opět se trakční motor odesílá do Ústředních dílen DP.

Synchronní trakční motory 4HLU 3436

Synchronní trakční motory jsou úsporné na prostor a mají stejné úkony údržby v Kontrolní prohlídce i ve Velké kontrolní prohlídce.

Operace kontroly:

- Vizuální kontrola kompletnosti trakčního motoru, zda z vnějšku poškozen. Vizuální kontrola kompletnosti obsahuje kontrolu všech šroubových spojů, kontrolu všech spojů chladicího okruhu a kontrolu přívodních vodičů. Vodiče nesmějí mít poškozenou izolaci.
- Kontrola chodu trakčního motoru.
- Kontrola všech průchodků a jejich neporušenost (průchodky nesmí být rozbité nebo uvolněné), uvedené se kontroluje pohmatem. Pokud jsou uvolněné je potřeba je dotáhnout.

U synchronního motoru v tomto sledu probíhá také pravidelná údržba.

3.2 Ústřední dílny Dopravního podniku

V rámci Ústředních dílen DP se provádí tři stupně údržby, a to pravidelná údržba, periodická oprava a generální oprava. Tyto stupně údržby probíhají v rámci Ústředních dílen DP ve velké míře pouze u stejnosměrných TM TE022 a TE023. Asynchronní a synchronní motory ještě nemají zdaleka tak velký kilometrový proběh. Provádí se pouze pravidelná údržba na některých vozech

15T a 14T. U vozu 15T, jak je uvedeno výše, je rozsah pravidelné údržby stejný jako při Kontrolní prohlídce a Velké kontrolní prohlídce. U vozů 14T je v této kapitole pojednána pouze na pravidelná údržba, protože tyto vozy ještě nedospěly do fáze periodické opravy nebo generální opravy. V rámci pravidelné údržby a periodické opravy se agregáty demontují z pojezdů a odesílají se do opravny trakčních motorů. Pokud je u synchronních a asynchronních motorů objevena nějaká velká závada, tak se potom DP obrací na výrobce trakčních motorů, který provede servis.

3.2.1 PŮ – pravidelná údržba, PO – pravidelná oprava a GO – generální oprava

Stejnoseměrné trakční motory TE022 a TE023

Stejnoseměrné trakční motory, při tomto stupni údržby, vlastně prochází jakousi malou generální opravou. Pokaždé dochází k celkové demontáži motoru na jednotlivé součásti jako vinutí komutátoru, sběrné ústrojí, ložiska, kontakty, svorky. Jednotlivé díly kontroluje kvalifikovaný personál. Provádí se pouze vizuální kontrola. Pokud je nějaká součást poškozená, tak dochází k její výměně za novou nebo repasovanou součást. Díl jako je ložisko se vždy mění za nový. Motor se potom složí zpět do původního stavu a dostane nový lak. Nová ložiska se pečlivě promažou. Následně je trakční motor odeslán na zkušebnu točivých strojů, kde dojde k jeho funkční zkoušce.

Funkční zkouška spočívá v tom, že je motor upevněn do zkušební stolice a je připojen k zátěži. Tuto zátěž představuje druhý motor. Po proměření odporů a izolačního stavu motoru se provádí takzvaná oteplovací zkouška. Zkouška se provádí vlevo a vpravo v požadované době. Hlíďají se také otáčky motoru. Otáčky vlevo a vpravo by měly vykazovat rozdíl maximálně 50 otáček/min. Pokud ne, dochází k seřízení motoru. Po oteplovací zkoušce ještě proběhnou komutační zkoušky a zkouška zvýšenými otáčkami. Pokud motor vyhoví všem požadavkům ve specifikaci motoru, je opatřen datem uvolnění, otáčkovou kategorií a zelenou známkou. Ze zkušebny je odeslán na montovnu pojezdů, kde je zavázán do pojezdu.

Asynchronní trakční motory 8MLU 3436 K/4

U asynchronních trakčních motorů se v rámci pravidelné údržby provede vizuální kontrola kompletnosti trakčního motoru. Pokud je potřeba, tak je vyškolený pracovník dotáhne na požadovaný moment, promažou se ložiskové uzly a vyzkoušejí se čidla teploty, otáček a brzdová čidla. Pokud je čidlo nefunkční nebo je problém s ložiskovým uzlem, je motor odeslán na opravnu trakčních motorů, a zde dojde k výměně čidla nebo ložiskového uzlu. Po výměně špatných komponent se motor připojí k ověřovacímu zdroji, to znamená, že se motor protočí na obě strany a pracovník poslechem vyhodnotí, zda je v pořádku. Pomocí zdroje pracovník zkontroluje správnou funkci čidel. Tato funkce je kontrolována pomocí diod, které zobrazují stav vypnuto/zapnuto v tom pořadí, v jakém mají správně jít. Je zde i možnost připojení osciloskopu, který zobrazuje průběh signálu v měřených čidlech. Po této kontrole je motor uvolněn k montáži na vůz.

Motor neprochází kontrolou na zkušebně, protože DP v současné době nevlastní stanoviště na zkoušení asynchronních trakčních motorů.

4 Analýza údržbových zásahů u synchronních motorů tramvaje Škoda ForCity 15T

V současné době má DP ve své flotile 250 tramvajů Škoda 15T ForCity, které jsou poháněny synchronními trakčními motory, jak je uvedeno v kapitole 2.4.8. Servis trakčních motorů pro DP provádí Škoda Electric, která tento motor vyvinula. ŠELC provádí také záruční opravy trakčních motorů na vozech 15T. Jedná se o třífázový synchronní motor. Motory jsou na jednom pojezdu čtyři. To znamená, že v jedné tramvaji je 16 kusů trakčních motorů. Tyto motory jsou díky své konstrukci málo poruchové. Za rok 2018 se odvezlo do opravy 19 kusů trakčních motorů a za rok 2019 to bylo 51 trakčních motorů. 22 kusů z roku 2019, bylo poškozeno díky vniknutí vody při průjezdu vysokou vodou v některých podjezdech, kde se voda nashromáždila z důvodu přívalových srážek nebo poruch a havárií vodovodů. Tyto údaje nezahrnují motory, které jsou opravovány v rámci záruky.

DP se snaží, aby velkou část trakčních motorů byla schopna opravovat ve vlastní režii, jako je tomu u stejnosměrných trakčních motorů. Proto podniká kroky, které směřují k vlastní možnosti diagnostiky trakčních motorů a jejich kompletní opravě v Ústředních dílnách DP v Hostivaři. V rámci periodické opravy, dle předpisu výrobce, má docházet ke kompletní demontáži trakčního motoru a kontrole všech příslušných dílů motoru. K těmto potřebným úkonům se teprve vyvíjejí příslušná zařízení.

V této kapitole jsou dále uvedeny možnosti a postupy pro splnění úkolu provádění oprav.

4.1 Diagnostika závad trakčního motoru 4HLU 3436

Před provedením opravy motoru, musí být provedena jeho diagnostika. Tuto diagnostiku lze provádět na Zdrojové a testovací jednotce TZDROJ 1415 (Obr. 34), kterou vyrobila firma ELFIS ve spolupráci s DP. Tento zdroj slouží také pro diagnostiku trakčních motorů tramvajů 14T.



Obr. 34 Zdrojová a testovací jednotka TZDROJ 1415 připojena k trakčnímu motoru 4HLU 3436

Tento přístroj slouží jako zdroj střídavého proudu pro asynchronní a synchronní trakční motory, také umožňuje vyhodnocovat základní funkce čidel, která jsou integrována v obou typech trakčních motorů. O silovou část se stará frekvenční měnič o výkonu 22kVA. Pro ovládání zdroje, jsou nainstalovány čtyři voliče:

- stavový displej frekvenčního měniče
- volba typu trakčního motoru
- volba směru otáčení trakčního motoru
- volby otáček trakčního motoru

Další část se dá označit jako měřicí (Obr. 35). Tato část je opatřena třemi panely s převodníky pro teplotní čidla Pt100, panelem čidel motoru 14T a panelem čidel motoru 15T. Na zdroji se nachází také možnost připojení externího osciloskopu nebo obdobného měřicího přístroje. Tento osciloskop po připojení zobrazuje průběh signálu a frekvencí v čidlech trakčního motoru. Jedná se hlavně o čidla polohy.



Obr. 35 Ovládací panel zdrojové a testovací jednotky TZDROJ 1415

Vizualizační panel motoru 15T umožňuje kontrolovat rychlostní a polohové čidlo (Obr. 36). Rychlostní čidlo je realizováno jako dvoufázové impulsní čidlo. Funkčnost tohoto čidla je ověřována problikáváním diod. Pokud zapíná a vypíná jak má, dochází ke zmíněnému problikávání. V případě poruchy zůstane svítit jedna dioda.

Na trakčním motoru se nachází čidlo polohy. Toto čidlo zaznamenává absolutní polohu rotoru motoru pomocí čísla v příslušném segmentu. Těchto segmentů je 22 na otáčku motoru. Poloha je vysílána pomocí 16bitové sériové zprávy. Tuto zprávu zpracovává jednočipový mikropočítač jednotky. Displej zobrazuje číslo polohy v rozmezí 0-255, nebo některou z přednastavených chybových hlášek.

Díky tomuto přístroji, jsem schopni mechanicky ověřit správnost sestavení a ověřit správnou funkčnost čidel rychlosti a polohy. Také nám umožňuje diagnostikovat poškození jak čidel tak celého trakčního motoru.



Obr. 36 Panel motoru 15T

4.2 Opravy synchronního trakčního motoru 4HLU 3436

Mechanicky motor není nějak zvlášť složitý, ale má svá určitá citlivá místa a nároky na manipulaci při demontáži. Motor se musí překlápet z horizontální polohy do vertikální a musí se používat přípravky určené ke správné demontáži. Náročné je stažení statoru z rotoru, které se provádí pomocí jeřábu. V tomto případě, musejí být přítomni vždy minimálně dva kvalifikovaní pracovníci. Proto se DP snaží linku na opravy trakčního motoru 4HLU 3436 co nejvíce automatizovat. Takto automatizované pracoviště by nebylo tak náročné na obsluhu, a hlavně by mohlo být ovládáno pouze jedním kvalifikovaným pracovníkem (Obr. 37). V dnešních podmínkách to sice jde, ale jen demontáž a montáž by zabrala dvě pracovní směny. Jedna pracovní směna má 7,5 hodiny. V případě automatizovaného pracoviště by to znamenalo zkrácení časové náročnosti zhruba na polovinu.

Časová náročnost v prostředí stávajícího pracoviště:

1) Přípravné práce	0.5 h
2) Demontáž	2 h
3) Montáž	4 h
4) Dokončovací práce	0.5 h
5) Výměna ložiskových jednotek v každém štítě	2.5 h
6) Příprava a manipulace	5 h

Celkem to znamená dvě směny, jak již bylo výše uvedeno.

Na připravovaném automatizovaném pracovišti by byl čas zkrácen na polovinu, díky rozdělení pracoviště do tří zón.:

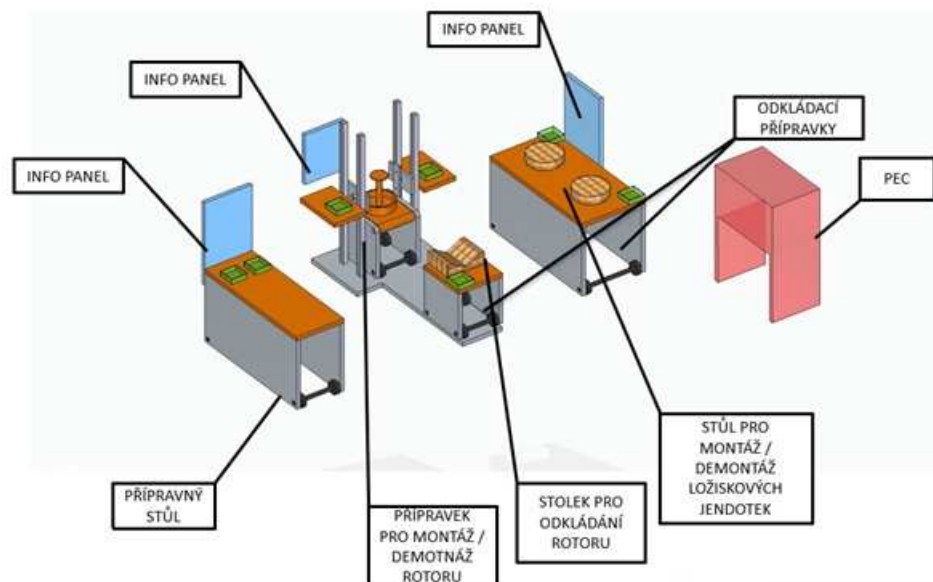
1. **Zóna přípravná** – na tomto místě by se provedli prvotní úkony, které jsou nezbytné k hladkému průběhu demontáže. Čištění motoru, demontáž zátek pro závěsná oka, demontáž konektoru napájení a konektoru teplotního čidla.

2. **Zóna pro demontáž a montáž** – na tomto stole by probíhala základní demontáž motoru. To znamená sejmutí štítu s ložiskovými jednotkami a vytažení rotoru ze statoru. Štíty se sejmou podle postupu daného výrobcem motoru. Za použití příslušných demontážních a montážních přípravků. Sejmutí statoru se provede také dle postupu výrobce. Spodní štít i s rotorem bude upnut ke stolu. Stůl umožňuje polohování motoru v horizontální a vertikální pozici. Stator je uchycen do speciálního přípravku, který stáhne stator z rotoru. Stator zůstane v této pozici upnut i pro následnou montáž. Rotor se dále odloží na stůl s prizmatem a sejmuté štíty jsou odloženy na pracoviště pro výměnu ložisek.
3. **Zóna pro demontáž a montáž ložiskových jednotek** – v této zóně proběhne výměna ložiskových jednotek. Štíty jsou odloženy do odkládacích prizmat, které jsou upevněny ke stolu tak, aby se dalo s ložiskovou jednotkou otáčet a aretovat si příslušnou polohu. Výměna ložiskových jednotek probíhá dle postupu daného výrobcem a s použitím přípravků. V rámci této zóny musí být zahrnuta i pec pro ohřev štítů.

Díky takto uspořádanému pracovišti může dojít k úspoře času na polovinu.

Časová náročnost automatizovaného pracoviště:

1) Přípravné práce	0.5 h
2) Demontáž	1.5 h
3) Montáž	2.5 h
4) Dokončovací práce	0.5 h
5) Výměna ložiskových jednotek v každém štítě	2 h



Obr. 37 Vizualizace automatizovaného pracoviště pro montáž a demontáž TM 4HLU 3436

5 Návrh zkušebního stanoviště trakčních motorů 15T

V současné době disponuje DP zkušebnou na stejnosměrné motory (TE022, TE023). V budoucnu by se zde měly zkoušet synchronní a asynchronní motory pro tramvaje 14T a 15T. Stávající provedení funguje tak, že zkoušený motor se zkontroluje mimo zkušební místo (Obr. 38). Zde se provádí měření vůlí a rozměrů trakčního motoru. Dále se motor přesune na zkušební stanoviště. Zkušební stanoviště funguje tak, že je zde umístěn jeden motor TE022 jako zátěžový motor. Proti němu je uchycen zkoušený stejnosměrný motor. Na motoru se dále měří činné odpory a izolace. Motor potom podstupuje hodinovou oteplovací zkoušku, po které nastavují se otáčky motoru. Otáčky pro chod doleva a doprava smějí mít rozdíl v otáčkách maximálně 50 otáček na jednu i druhou stranu. V posledních fázích dochází ke komutačním zkouškám a trakční motor prochází zkouškou vysokými otáčkami naprázdno. Pokud trakční motor vyhoví všem těmto zkouškám, je na něm provedena zkouška vysokým napětím a je vyjmut ze zkušební komory a uvolněn pro další operace.

Synchronní motory fungují na jiném principu než stejnosměrné motory se sériovým buzením, zatímco trakční motory pro tramvaje 15T jsou třífázové motory s permanentními magnety. DP disponuje dvěma nepoužívanými zkušebními místy, která by se rekonstruovala na nová zkušební stanoviště pro zkoušení synchronních trakčních motorů. Průběh zkoušky by stál na stejném základu jako u stejnosměrných motorů. To znamená zkoušený motor a proti němu motor nebo dynamometr, který bude zkoušený motor zatěžovat v průběhu zkoušky.



Obr. 38 Stávající zkušební stanoviště pro trakční motory

5.1 Parametry synchronního trakčního motoru 4HLU 3436 P44-VA

Trakční motor jako takový je popsán v kapitole 2.4.8. V následující části jsou popsány jeho výkonové a elektrické parametry. Jedná o motor pomaloběžný, který je určen pro pohon tramvajového vozu bez použití převodovky. Parametry jsou popsány dle normy Točivé elektrické stroje – Část1: Jmenovité údaje a vlastnosti ČSN EN 60034-1.

Hodnoty při zatěžiteli S1

Jedná se o provoz při konstantním zatížení, který je dostatečně dlouhý pro ustálení teploty stroje [21].

Tab. 2 Hodnoty trakčního motoru při zatěžiteli S1 [15]

Výkon	30 kW
Napětí	3× 300,5 V
Proud	85,4 A
Otáčky	197 ot/min
Účinnost	83,20 %
Moment	1460 N/m
Množství protékajícího chladícího média	13 l/min
Vstupní teplota chladícího média	66 °C

Hodnoty při zatěžiteli S5

S5 znamená přerušovaný chod s elektrickým brzděním [21]. Trakční motor splňuje při zatěžiteli S5 – 77% hodnoty uvedené v Tab. 3.

Tab. 3 Hodnoty trakčního motoru při zatěžiteli S5 [15]

Jmenovité hodnoty:	
Jmenovitý výkon	46,6 kW
Jmenovité napětí	3×392 V
Jmenovitý proud	142 A
Jmenovité otáčky	196 ot/min.
Jmenovitá frekvence	72 Hz
Maximální moment	2270 Nm
Maximální odbuzení:	
Výkon	46,6 kW
Napětí	3×392 A
Proud	84 A
Maximální otáčky	706 ot/min.
Frekvence	259 Hz
Moment	630 Nm

5.2 Typy zkoušek

Na trakční motor se budou aplikovat mechanické a elektrické zkoušky, které vycházejí z typových a výrobních kusových zkoušek. Tyto zkoušky jsou uvedeny v normě Drážní zařízení – Elektrická zařízení drážních vozidel – Část 1: Všeobecné provozní podmínky a všeobecná pravidla ČSN EN 60077-1, které obsahují všeobecné provozní podmínky a všeobecná pravidla pro elektrická zařízení drážních vozidel.

Typová zkouška

Typová zkouška má ověřit, zda návrh daného zařízení odpovídá normě Drážní zařízení – Elektrická zařízení drážních vozidel – Část 1: Všeobecné provozní podmínky a všeobecná pravidla ČSN EN 60077-1 [20].

Výrobní kusová zkouška

Při výrobních kusových zkouškách se mají zjistit vady materiálů a provedení, a ověřit správná funkce zařízení. Zkoušky se musejí provádět na každém jednotlivém kusu zařízení včetně těch, které mají být podrobeny typové zkoušce [20].

Zkušebního zařízení se budou týkat výrobní kusové zkoušky, ke kterým budou přiřazeny některé typové zkoušky a mechanické prohlídky.

5.2.1 Mechanická zkouška

Mechanická zkouška je součástí Výrobní kusové zkoušky. Kontroluje se stav a kompletnost trakčního motoru. Určuje, zda nejsou na stroji závady, které by neumožňovaly správný chod trakčního motoru. Závady, které jsou odhaleny, musí být neprodleně odstraněny.

Při mechanické zkoušce je nutné dle norem kontrolovat:

- čistotu stroje – zvenku ani uvnitř nesmí ulpívat nečistoty a cizí předměty, které by mohly ohrozit chod stroje,
- kontrola vinutí – vinutí musí být na pohled čisté, správně usazené a nepoškozené. Dle požadavků technické specifikace musí být impregnováno v dané třídě a některé části, musí být opatřeny elektroizolačním lakem,
- dosedací plochy a šroubové spoje – provádí se kontrola dosedacích ploch, to znamená jejich rovinnost, drsnost, a to zda dosedají tak, jak mají a provádí se vizuální kontrola šroubových spojů,
- kontrola hřídelů – u synchronního motoru se bude kontrolovat dutý hřídel (průměr, drsnost a přesahy),
- označení statoru a rotoru – kontrola správnosti výrobních čísel,
- výkonnostní a jiné štítky, které slouží k identifikaci trakčních motorů,
- úplnost – kontrola celkového smontování motoru,
- házivost komutátoru,

- vůle v ložiskách,
- kontrola chladicího okruhu – těsnost trakčního motoru a správná cirkulace chladiva.

Tato mechanická prohlídka se bude provádět ještě mimo zkušební stanoviště, na předpřípravném stanovišti vně zkušební kabiny.

5.2.2 Zkouška chodu

Tyto zkoušky ověřují správnost sestavení a správné fungování trakčního motoru. Tato zkouška zahrnuje:

- kontrolu ložisek a mazání,
- kontrola volného chodu motoru,
- kontrola mechanické odolnosti,
- měření kritických otáček, hluku a vibrací.

5.2.3 Elektrické zkoušky

V rámci zkoušení trakčního motoru je nutné měřit i základní elektrické veličiny. Tyto zkoušky zahrnují:

- měření činného odporu,
- zkouška elektrické vodivosti,
- měření izolačního odporu,
- měření naprázdno,
- měření nakrátko – u synchronních strojů se měří závislost souměrného ustáleného proudu statoru na budícím proudu. Proud se měří v jednotlivých fázích statoru spojených nakrátko za měřicími přístroji, bez ohledu k vnitřnímu spojení vinutí statoru. Tuto charakteristiku je možno měřit pomocí hnacího kalibrovaného trakčního motoru, nebo při doběhu trakčního motoru,
- oteplovací zkouška,
- měření charakteristik při zatížení,
- zkouška přetížitelnosti.

5.3 Požadavky DP na zkoušení synchronního trakčního motoru 4HLU 3436 P44 VA

Mechanické zkoušky budou prováděny na venkovním přípravném stanovišti tak jako je tomu doposud. Zkoušky chodu a elektrické zkoušky bude řešit nové zkušební místo. Dále jsou popsány jednotlivé požadované úkony pro zkoušení trakčních motorů, které požaduje DP na svém novém zkušebním stanovišti.

1. Měření činného odporu statoru a vinutí za studena a za tepla pomocí speciálního zdroje

Tuto zkoušku bude vykonávat pracovník na zkušebním stanovišti trakčních motorů. A to za studena a následně za tepla po skončení hodinové oteplovací zkoušky. Tato zkouška se bude vykonávat za pomoci vhodné měřicí techniky (multimetr APPA 607) a zároveň musí být trakční motor odpojen od frekvenčního měniče, který se stará o pohon trakčního motoru. Tato zkouška se musí provádět odděleně pro každou fázi, kvůli kontrole uspořádání vinutí. Výsledek tohoto měření poskytne informaci o správnosti založení vinutí.

2. Měření izolačního odporu za studena a za tepla

Měření izolačního odporu se bude provádět na začátku zkoušky, když je motor ještě studený a poté na konci hodinové oteplovací zkoušky. Měřicí přístroj nebude součástí zkušebního zařízení. Odpor se bude měřit klasickým multimetrem APPA 607, tak jako to vykonávají pracovníci v současné době při měření stejnosměrných motorů.

3. Zkouška závitové izolace

Tato zkouška se provádí i na stejnosměrných trakčních motorech. Vykonávala by se opět za studena a za tepla za použití megmetru APPA 607. Při tomto měření musí být motor odpojen od svorkovnice zkušebního stanoviště. Zkouška se provádí kvůli ověření izolačních vlastností motoru.

4. Měření proudu naprázdno a nakrátko

Tuto zkoušku bude automaticky provádět zkušební stanoviště, pouze ve zredukovaném rozsahu, protože by hrozilo nebezpečí odmagnetování permanentních magnetů během zkoušky. Zkouška slouží ke stanovení ztrát a proudů nakrátko.

5. Měření kmitání, vibrace

Zkouška bude prováděna na zkušebním stanovišti. Pro tuto zkoušku je nutné mít vhodně zvolenou konstrukci upínací základny. Základna bude muset být mechanicky oddělena, aby nedocházelo k nežádoucím vlivům od zatěžovacího motoru nebo jiných částí zkušebního stanoviště. V podstatě bude suplovat uchycení na voze. Díky této konstrukci lze měřit vibrace, které je buzeno zkoušeným trakčním motorem.

6. Oteplovací zkouška (měření otáček)

Tato zkouška se bude vykonávat na zkušebním stanovišti. Jedná se o nejdelší část zkoušky motoru. Zkouška probíhá v kladném a záporném směru chodu motoru, tzn. 30 minut vpravo a 30 minut vlevo. Zkouška je prováděna při jmenovitých otáčkách motoru a jmenovitém výkonu, a musí být zatěžován jmenovitým výkonem trakčního motoru. Při zkoušce dochází k měření činného odporu vinutí, z tohoto měření se následně budou vypočítávat teplotní koeficienty. Díky tomu je možné sledovat závislost teploty vinutí na čase. Ověřuje se účinnost trakčního motoru.

7. Zkouška přetížitelnosti – proudová a momentová

Touto zkouškou se otestují vlastnosti motoru po dobu jeho přetížení. Ověří se konstrukční limity a dostupnost momentu, který trakční motor produkuje pomocí měřiče momentu.

8. Měření záběrného momentu a proudu

Toto měření bude prováděno na zkušebním stanovišti pomocí měřiče momentu na zátěžovém stroji a pomocí ukazatele proudu na ovládacím stanovišti.

9. Kontrola sledu fází

Fáze bude kontrolovat zkušební stanoviště. Výsledkem této kontroly je správné založení vinutí a správnost zapojení vývodů, které určují směr otáčení motoru.

10. Kontrola jmenovitého bodu

Kontrola jmenovitých parametrů daných výrobcem, které umožní charakterizovat stav trakčního motoru. Při tomto měření budou měřeny tyto veličiny – výkon, moment, otáčky, frekvence, napětí, proud, účinnost, skluz.

5.4 Zatěžování trakčního motoru

5.4.1 Zatěžování trakčního motoru pomocí dynamometru

Dynamometry jsou určeny k měření mechanického výkonu na hřídeli zkoušeného trakčního motoru a k vyvozování regulovaného brzdného a poháněcího momentu. Dynamometry mohou pohánět, a i brzdit zkoušený trakční motor v obou směrech otáčení.

Dynamometry jsou napájeny a řízeny pomocí frekvenčních měničů, díky kterým je umožněno brzdnou energii vrátit zpět do elektrické sítě prostřednictvím rekuperační jednotky, anebo ji využít pro napájení meziobvodů jiných ovládacích prvků. Předností některých typů dynamometrů je jejich nízký moment setrvačnosti, široký rozsah pracovních otáček a jejich provoz má nízké nároky na údržbu.

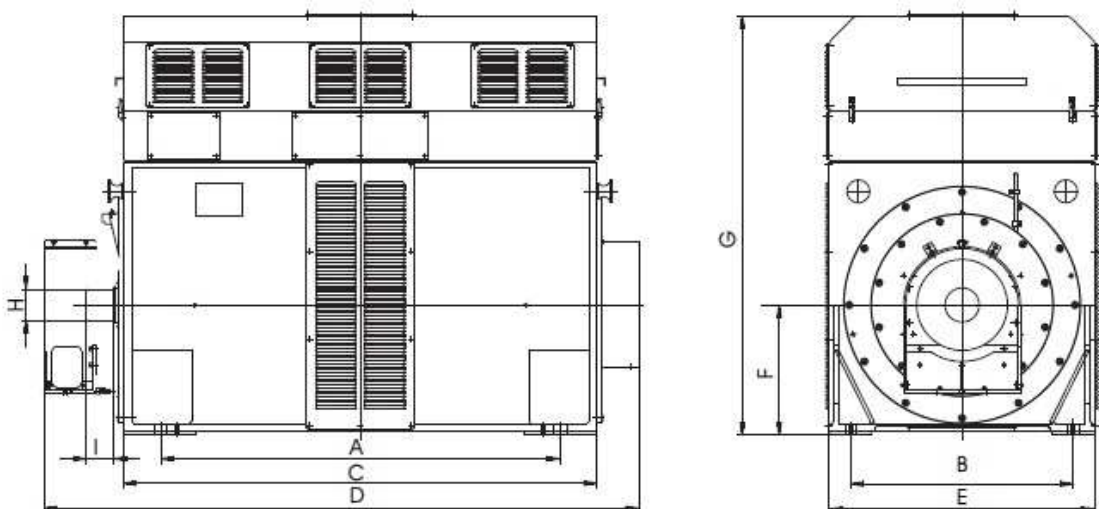
Dynamometry, které by vyhovovaly podmínkám pro zkoušení synchronního trakčního motoru 4HLU 3436 P44/VA má v nabídce např. firma VUES Brno s.r.o. Jedná se o asynchronní 8pólové dynamometry v provedení ASD P330-8/2801 nebo ASD S330-8/2801 (Obr. 39). Dynamometr ASD P měří moment snímačem síly umístěným mezi vnitřní naklápací částí a vnější kostrou stroje a druhý typ měří moment pomocí tenzometrické momentové hřídele. Ta je umístěna přímo na výstupním hřídeli dynamometru. Dynamometry, jsou schopné díky svým parametrům motor správně zatěžovat [22]. Motor se bude zkoušet při jmenovitých hodnotách, proto musí být toto zařízení dimenzováno na značně vysoký točivý moment 1460 N·m při nízkých otáčkách 196 ot/min. Trakční motor by byl spojen s dynamometrem klasickou spojkou používanou na voze, protože má dutou hřídel jako rotor a toto se jeví jako nejjednodušší řešení. Firma VUES Brno je

schopna dodat celou zkušební techniku, včetně ovládnání a stolu pro uchycení motoru a dynamometru.

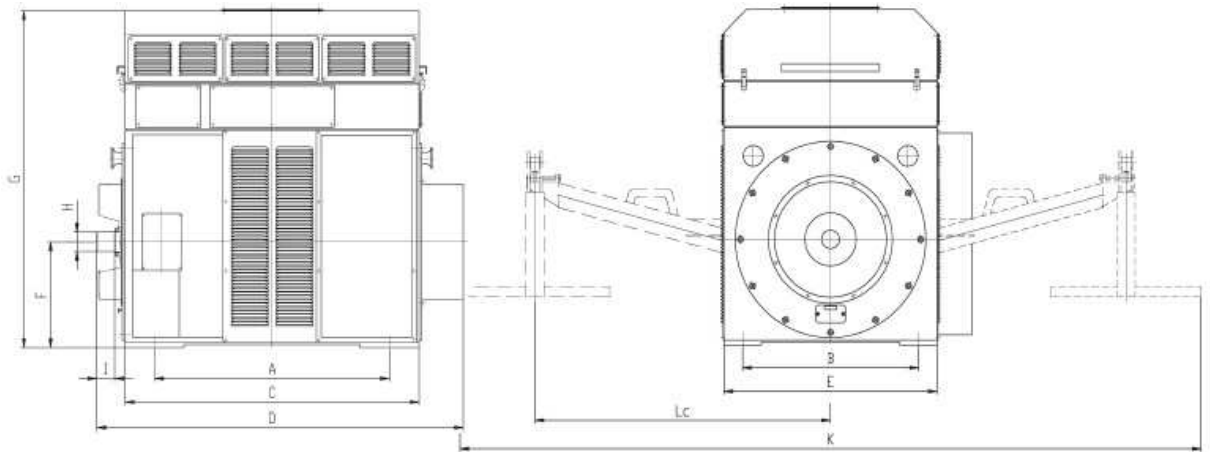
Nevýhodou těchto strojů jsou jejich rozměry (Obr. 40, Obr. 41). Pro zástavbu do stávajícího zkušební místa, jsou nevyhovující svou velkou hmotností a rozměry (Tab. 4). Při montáži jednoho nebo druhého dynamometru by bylo nutno vybourat stávající část zkušební stoly a vyrobit nebo objednat novou stolicí pro uchycení stroje a zkoušeného trakčního motoru. Náročnost zástavby bude najisto velmi vysoká a finančně náročná. V případě použití tohoto zařízení by bylo třeba najít jiné prostory, kde by bylo podobné zkušební stanoviště s použitím dynamometru vybudováno.



Obr. 39 Dynamometr ASD P od firmy VUES Brno s.r.o. [23]



Obr. 40 Rozměrový náčrt dynamometru ASD S330-8/2801 [23]



Obr. 41 Rozměrový nákres dynamometru ASD P330-8/2801 [23]

Výhody:

- Široké pracovní pole
- Kompaktní funkční technologie i s dodávaným příslušenstvím
- Nízké nároky na údržbu
- Rekuperací elektrické energie se snižují náklady na zkoušku

Nevýhody:

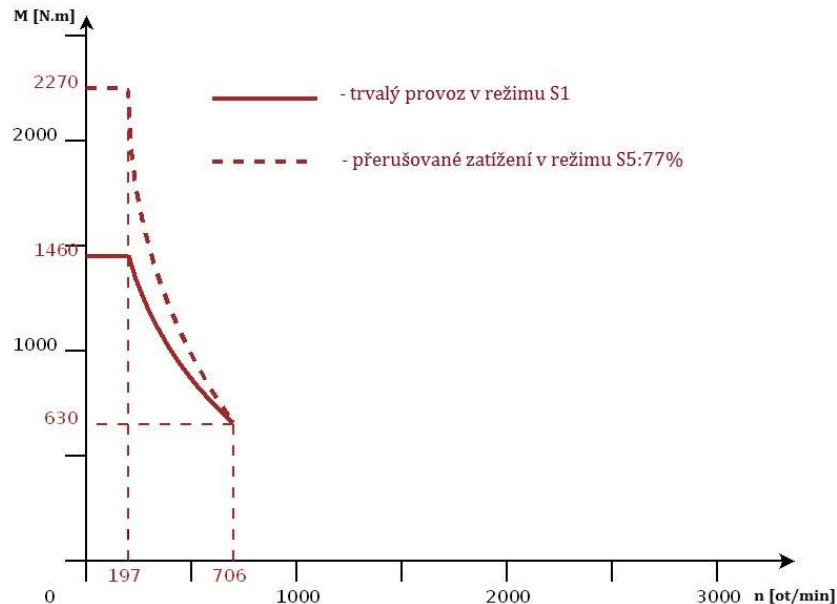
- Vysoká hmotnost
- Velké mechanické rozměry

Tab. 4 Parametry dynamometrů [23]

	ASD P330-8/2801		ASD S330-8/2801	
HODNOTY DYNAMOMETRU	Brzda	Motor	Brzda	Motor
Jmenovitý výkon Pn [kW]	330	315	330	315
Výkon v nmax Pn max [kW]	185	170	185	170
Jmenovitý moment Mn1 [Nm]	2801	2674	2801	2674
Moment v n2 Mn2 [Nm]	1576	1583	1576	1583
Moment v n max Mn max [Nm]	505	464	505	464
Maximální moment M max [Nm]	4000		4000	
Kalibrační moment M kal [Nm]	3500		3500	
Jmenovité otáčky n1 [min-1]	1125	1125	1125	1125
Otáčky n2 [min-1]	2000	1900	2000	1900
Maximální otáčky n max [min-1]	3500		3500	
Minimální provozní otáčky n min [min-1]	5		5	
Proud naprázdno I0 [A]	281		281	
Jmenovitý proud In1 [A]	606		606	
Jmenovité napětí Un1 [V]	390	400	390	400
Napětí v n2 Un2 [V]	400	400	400	400
Jmenovitá frekvence fn1 [Hz]	74	76	74	76
Frekvence v n2 fn2 [Hz]	132	129	132	129
Frekvence v nmax fnmax [Hz]	232	235	232	235
TECHNICKÁ DATA				
Kalibrační rameno LC [m]	1.0194			
Kalibrační hmotnost mKAL [kg]	350			
Snímače teploty - vinutí	KTY84		KTY84	
AS ložisko	Pt100		Pt100	
BS ložisko	Pt100		Pt100	
Moment setrvačnosti J [kgm ²]	6.75		6.75	
Hmotnost m [kg]	2460		2460	
Snímače otáček - typ	ROD426		ROD426	
Snímače síly - typ	3410/2000/C3		3410/2000/C3	
Jmenovitá síla FN [N]	20000		20000	
Spojka - typ	Moduflex		Moduflex	
MECHANICKÉ ROZMĚRY - [mm]				
A	850		850	
B	686		686	
C	1052		1052	
D	1301		1301	
E	820		820	
F	400		400	
G	1220		1220	
H	85H6		85H6	
I	70		70	
K	2700			

5.4.2 Zatěžování asynchronním motorem

Jako další varianta se nabízí použít jako zátěž asynchronní motor. Motor by fungoval jako generátor a tím pádem by rekuperoval energii. Tu by používal k pohonu zkoušeného trakčního motoru. Tím by opět docházelo k úspoře energie při zkouškách, stejně jako v případě dynamometru.

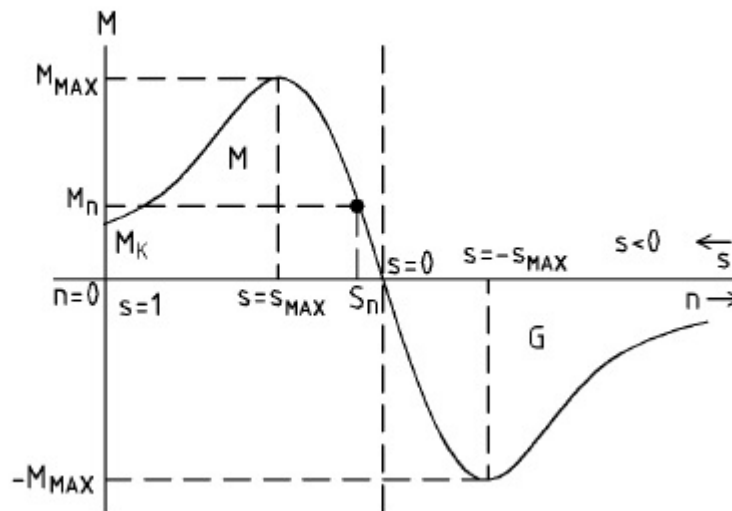


Obr. 42 Momentová charakteristika motoru 4HLU 3436 P44/VA

Z obrázku č. 42 je vidět, že zatěžovací stroj musí zvládnout pracovat v oblasti nízkých otáček s vysokým momentem. Aby zatěžovací motor odpovídal charakteristice synchronního trakčního motoru, musel by mít asynchronní motor výkon okolo 250-350 kW. Takový motor by se rozměrově a pořizovacími náklady blížil k již uvedeným dynamometrům. To by bylo opět náročné na zástavbu plánovaného stanoviště.

Nabízí se však ještě řešení s použitím redukcí převodovky. U tohoto řešení by mohl být použit motor s menším výkonem 100–150 kW, což by výrazně zmenšilo jeho rozměry, a tím zlepšilo možnost zástavby na zkušební místo. Měření spočívá v tom, že by zatěžovací motor byl uchycen v kobce na podstavci, dále by na něj navazovala převodovka s převodovým poměrem minimálně 1:8. Hřídel zkoušeného trakčního motoru bude osazena tenzometrickou měrnou přírubou, která měří moment a otáčky motoru.

Převodovka je použita proto, aby motor pracoval jako generátor. Generátor musí pracovat v nadsynchronních otáčkách [24]. Motor musí pracovat v intervalu, od $s=0$ do $s=-s_{max}$ (Obr. 43). To znamená, že při použití asynchronního čtyřpólového motoru jako zátěže, je třeba dostat nad 1500 ot/min (synchronní otáčky). Při zkoušce bude mít zkoušený trakční motor otáčky 196 ot/min, takže na zatěžovacím motoru musí být minimálně osmkrát více otáček, aby pracoval jako generátor (Obr. 43). V tomto režimu lze rekuperovat energii a využívat ji pro účely stanoviště.



Obr. 43 Mechanická charakteristika asynchronního motoru [24]

Toto řešení se jeví jako nejlepší pro zástavbu do kobky.

Výhody

- Rozměry zatěžovacího stroje
- Cena

Nevýhody

- Nutnost převodovky, která je schopna převést maximální výkon TM

Asynchronní motor Siemens 110 kW 1LE15023AB03

Jedna z možností je motor od firmy SIEMENS (Obr. 44). Motor má výkon 110 kW což je dostačující k uvažované variantě. Motor je 4pólový s otáčkami 1490 ot/min [25].

Parametry:

- Osová výška 315 mm
- Napětí 400/690 V, 50 Hz
- Krytí IP55
- Hmotnost 690 kg
- Točivý moment 706 N·m

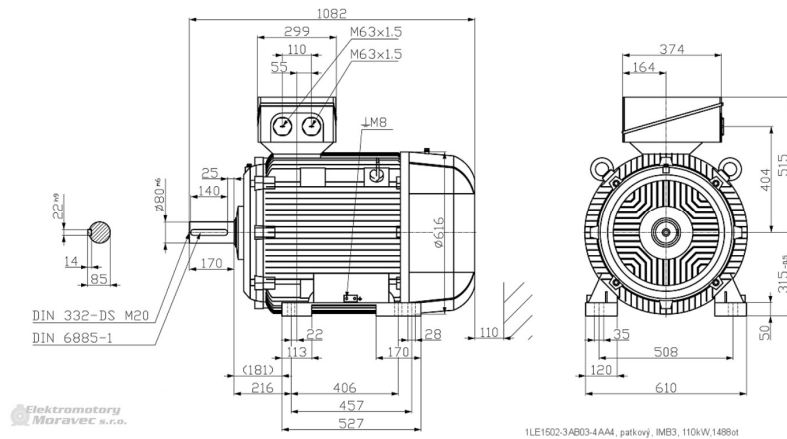
Asynchronní motor VYBO Electric 110 kW 1LC315S04

Asynchronní motor od firmy VYBO Electric je podobný typ motoru jako od firmy SIEMENS (Obr. 45). Motor je také 4pólový s výkonem 110kW a otáčkami 1490 ot/min [26].

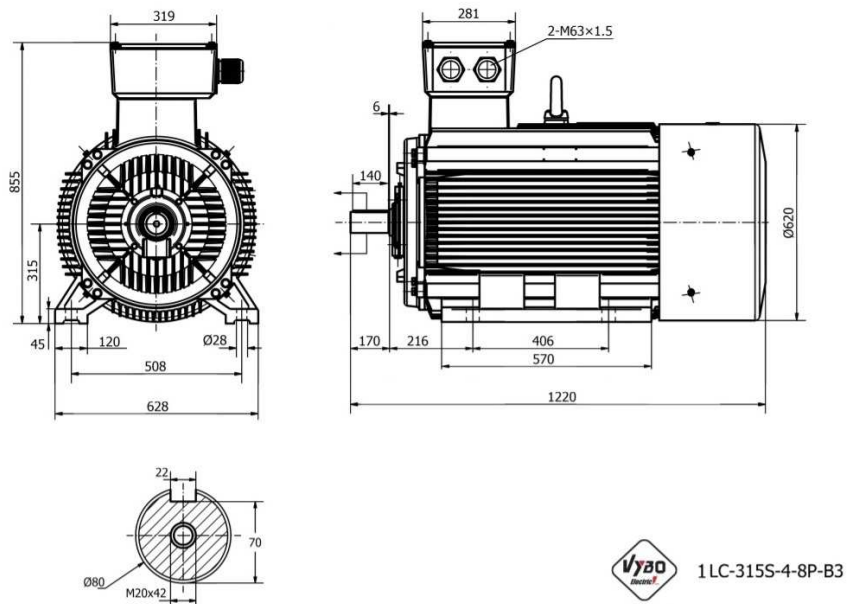
Parametry:

- Osová výška 315 mm

- Napětí 400/690 V, 50 Hz
- Krytí IP55
- Hmotnost 939 kg
- Točivý moment 707 nm



Obr. 44 Rozměry asynchronního motoru SIEMENS [25]



Obr. 45 Rozměry asynchronního motoru VYBO Electric [26]

5.5 Měření momentu

Měření momentu by probíhalo mezi převodovkou a zkoušeným trakčním motorem. Při měření momentu a otáček při navržené aplikaci se jako nejlepší možná volba jeví tenzometrická příruba nebo přírubový snímač. Tyto snímače mohou být zabudovány do zařízení v libovolné poloze a mohou být namontovány mezi převodovku a dutý hřídel zkoušeného motoru tak, aby bylo docíleno správného měření momentu. Přírubové snímače zároveň šetří místo.

5.5.1 Přírubový snímač TF od firmy Magtrol

Pro navrženou aplikaci bych volil typ TF 216 (Obr. 46). Jedná se o kompaktní, bezložiskový a bezúdržbový model snímače. Vyznačuje se vysokotorzní tuhostí a je namontován na hřídel stroje nebo příruby místo spojky. Díky tomu je umožněna jednoduchá integrace do testovacího zařízení a je zkrácena celková délka zařízení. Princip je založen na tenzometrickém snímači, který umožňuje přenášet signál s vysokou přesností. Dokáže měřit statický i dynamický moment na hřídeli. Zesilovač signálu je umístěn v přírubě a je modulován vysokou frekvencí a induktivně přenášen přes stacionární anténu do přijímače. V přijímači je digitální signál přetransformován do analogového výstupu +10 VDC nebo do 4–20 mA. V přírubě je zabudovaný magnetický snímač [27]. Pro model TF 216 do 5000 N·m jsou parametry uvedeny v tabulce (Tab. 5).

Tab. 5 Parametry přírubového snímače od firmy Magtrol [27]

Třída přesnosti	0,1%
Max. otáčky	8000 ot/min
Měřič otáček:	TTL výstupní signál, počet zubů měřícího kola 133
Hmotnost	9,3 kg
Kapacita přetížení	200%
Vysoká tepelná odolnost	+125 °C

Součástí balení přístroje je vysokofrekvenční přijímač tvořící stator, měřič otáček, koaxiální kabel a přijímač signálu. Přijímač signálu lze propojit s PC. Snímač je náchylný k nepřesným zapojením do měřící soustavy. Povolené montážní odchylky jsou velmi malé a je důležité klást pozornost na ustavení polohy a vůli mezi přírubou a senzory [28].



Obr. 46 Přírubový snímač TF od firmy MAGTROL [28]

5.5.2 Přírubový snímač momentu T40B od firmy HBM

Přístroj vyrobený společností HBM disponuje vysokou torzní tuhostí (Obr. 47). Je schopen snášet velké dynamické zatížení, smykové síly a ohybové momenty. Konstrukci snímače tvoří stator a rotor. Tyto dvě součásti jsou osazeny měřícími tenzometry. Díky cívkám, které jsou osazeny po obvodu, dochází k bezkontaktnímu přenosu signálu. Signál je přenášen za pomoci anténového prstence, který je součástí statoru. Stator je také vybaven vstupy pro kabely a snímačem rychlosti, který je založen na magnetickém principu. Ten snímá signál z magnetického kroužku integrovaného do rotoru. Přenos získaných hodnot z rotoru na stator se uskutečňuje digitálně. Aby se snímač ochránil, od nežádoucího vnějšího silového namáhání, je vhodné montovat přírubu dohromady s vyrovnávací spojkou nebo kloubovým hřídelem [29], [30]. Parametry tohoto snímače jsou uvedeny v tabulce (Tab. 6).

Tab. 6 Parametry přírubového snímače T40B od firmy HBM [30]

Třída přesnosti	0,1%
Rozsah měřeného momentu	od 50kNm do 10 kNm
Rozsah otáček	do 20000 ot/min
Měřící přetížení	200-400%
Výstupní napěťový signál	± 10 V
Frekvenční výstup	10 kHz



Obr. 47 Snímač momentu T40 B [29]

5.6 Vibrodiagnostika trakčního motoru

Vibrační diagnostika je důležitou součástí údržby strojů. V průběhu let se vibrodiagnostika osvědčila jako nejúčinnější metoda kontroly správné funkce strojů. Při správném použití a

provedení diagnostiky vibrací lze dopředu předvídat poruchu stroje. Pokud jsou stroje pravidelně kontrolovány, tak lze objevit poruchy již v počáteční fázi a uvedené umožňuje podniknout příslušné kroky k jejich nápravě. Každý stroj, který je v provozu, generuje vibrace. Signály těchto vibrací obsahují množství užitečných informací o stavu stroje. Na stroje jsou namontovány snímače, které měří vibrační signál. Tento signál se musí zpracovat a z něj potom vzejde informace o závažnosti vibrací. Nejčastějšími poruchami jsou závady ložisek, nevyváženost, mechanické uvolnění a nesouosost [31].

Jak je popsáno v kapitole 4, motor se bude kompletně demontovat až při periodické opravě, tedy při nájezdu 600 tis. km (Tab. 1). Životnost ložiskových jednotek je dána výrobcem kilometrickým proběhem 600 tis. km nebo časovou lhůtou 8 let. Zkušební stanoviště by bylo tedy možné využívat na vibrodiagnostiku při pravidelné údržbě. Při tomto stupni údržby by se zjišťovalo, v jakém stavu jsou ložiskové jednotky trakčních motorů přibližně po 200 tis. Km a ověřovala by se správná těsnost motoru. Tato měření by se prováděla dvakrát, než trakční motor dosáhne kilometrického proběhu pro periodickou opravu. Při periodické opravě by se prováděla vibrodiagnostika před počátkem opravy a následně po opravě. Tímto způsobem by se ověřovala také správnost sestavení trakčního motoru.

5.6.1 Stanovení frekvencí závad ložiskové jednotky s kuličkovými ložisky a ložiskové jednotky s válečkovými ložisky

Vibrodiagnostika ložisek je založena na detekci frekvencí, které odpovídají jednotlivým typům poruch. Tyto frekvence lze vypočítat ze vztahů (1) až (4). Tyto vztahy jsou založeny na geometrii ložiska, na počtu valivých prvků a na frekvenci otáčení ložiska. Rozlišují se čtyři typy závad na valivém ložisku. Dle těchto čtyř vzorců je možné vypočítat frekvence závad [32].

Jedná se o frekvence:

- BPF_I – závada na vnitřním kroužku,
- BPF_O – závada na vnějším kroužku,
- BSF – závada na valivém elementu,
- FTF – závada na kleci.

Pro tyto frekvence platí vztahy:

$$BPF_I = \frac{N}{2} \left(1 + \frac{B_d}{P_d} \cdot \cos\varphi \right) \cdot n \quad (1)$$

$$BPF_O = \frac{N}{2} \left(1 - \frac{B_d}{P_d} \cdot \cos\varphi \right) \cdot n = N \cdot FTF \quad (2)$$

$$BSF = \frac{P_d}{2B_d} \left[1 - \left(\frac{B_d}{P_d} \cdot \cos\varphi \right)^2 \right] \cdot n \quad (3)$$

$$FTF = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{B_d}{P_d} \cdot \cos\varphi \right) \cdot n \quad (4)$$

kde:

φ ... kontaktní úhel [°]

P_d ... roztečný průměr [mm]

B_d ... průměr valivého elementu [mm]

n ... otáčky rotoru [Hz]

N ... počet valivých elementů

Na trakčním motoru se nacházejí dvě ložiskové jednotky od firmy SKF, jedna ložisková jednotka s kuličkovými ložisky se snímači polohy a otáček BMB-7509/ZMSTU a jedna ložisková jednotka s válečkovými ložisky BC1-7308. Parametry ložisek jsou uvedeny v Tab. 7. Pro tyto ložiskové jednotky vycházejí frekvence, které jsou uvedeny v Tab. 8.

Jako snímač vibrací bude použit akcelerometr. Ten bude uchycen na nepohyblivé části trakčního motoru pomocí magnetu z důvodu snadné instalace [32].

Tab. 7 Parametry ložisek

<i>Veličina</i>	<i>BMB-7509</i>	<i>BC1-7308</i>	<i>jednotky</i>
Kontaktní úhel - φ	0	0	[°]
Roztečný průměr ložiska - P_d	245	255	[mm]
Průměr valivého elementu - B_d	12,7	9	[mm]
Počet valivých elementů - N	25	19	

Diagnostika by se prováděla při maximálních otáčkách motoru tzn. 706 ot/min. Pokud by se ukázalo, že by frekvence otáčení motoru nebo některá z frekvencí závad ložisek byla v rezonanci s jinou částí zkušebního stroje, pak by bylo nutné stanovit jiné otáčky pro testování ložisek.

Otáčky motoru se vypočítají:

$$f = \frac{n}{60} = \frac{706}{60} = 11,76 \text{ Hz} \quad (5)$$

Dále můžeme stanovit frekvence závad.

Tab. 8 Frekvence závad ložiskových jednotek

<i>Frekvence závad</i>	<i>BMB-7509</i>	<i>BC1-7308</i>	<i>jednotky</i>
BPFI	154,62	115,66	[Hz]
BPFO	139,38	107,78	[Hz]
BSF	113,13	166,39	[Hz]
FTF	5,58	5,67	[Hz]

Toto jsou frekvence závad, na které je potřeba se zaměřit. Některé frekvence jsou si blízké (např. BPFI u BC1-7308 s BSF u BMB-7509) a pro správnou detekci je bude nutné rozlišit. Z tohoto důvodu je potřeba použít minimálně dva snímače – pro každé ložisko jeden.

5.6.2 FFT analýza

Pro analýzu signálu bude použita rychlá Fourierova transformace, která převádí časové úseky signálu na frekvenční složky vibrací. Tzn. že, analýza vypočítává jednotlivé kmitočtové složky změřeného časového komplexního signálu podle předem stanovených požadavků na frekvenční rozsah a rozlišení.

Algoritmus FFT je implementován ve všech současných analyzátoch vibrací (Obr. 49). Není proto nutné, aby je uživatel podrobně ovládal. Musí však znát základní principy pro předejít chyb. Parametry se musí být nastaveny co nejefektivněji a musí se správně nastavit i následující veličiny [32]:

- frekvenční rozsah (0 až f_{max} , případně zoom f_{min} až f_{max})
- počet spektrálních čar – volba počtu čar, ovlivňuje frekvenční rozlišení, tzn. rozlišení případných blízkých frekvencí,
- počet průměrů – čím více je signál kontaminován šumem, tím více vzorků signálu je třeba použít. Obvykle se používá 4 až 8 průměrů (na začátku je vhodné nastavit větší množství průměrů a na základě sledování upravit jeho počet),
- typ průměrování,
- typ spouště – bez spouště, vnitřní spoušť, vnější spoušť,
- míra překrytí.

V aplikaci na novém zkušebním stanovišti se po jeho spuštění budou muset analyzovat vzorky frekvenčních spekter, aby se zjistilo, v jakém stavu jsou ložiska trakčního motoru. Na jednotlivých motorech se budou muset vyzkoumat správné stavy ložisek. Jedná se o stav bez závad, stavy, kdy ložisko ještě není na konci svojí životnosti a havarijný stav ložiskových jednotek. Tyto stavy bude nutné pro jednotlivé motory definovat.

Měření vibrací by bylo součástí nového zkušebního stanoviště. DP disponuje novými motory určenými pro tramvaje 15T, které by se zkoušely jako první. Motory nebyly dosud používány, proto by naměřená spektra bylo možné používat jako stav bez závady. Na těchto motorech je vše nové, a proto by se na nich naměřily základní frekvenční spektra, která odpovídají správným

frekvenčním spektrům. Dále by se měřila frekvenční spektra motorů, které přicházejí na první a druhou pravidelnou údržbu. Jako poslední by se na stanovišti testovaly motory před periodickou opravou (před jejich rozebráním a výměnou ložisek) a následně s vyměněnými ložisky. Aby bylo možné hodnotit havarijní stavy budou testování podrobeny i motory, které mají nepravidelný chod. Tímto způsobem budou zjištěna frekvenční spektra závad ložisek.

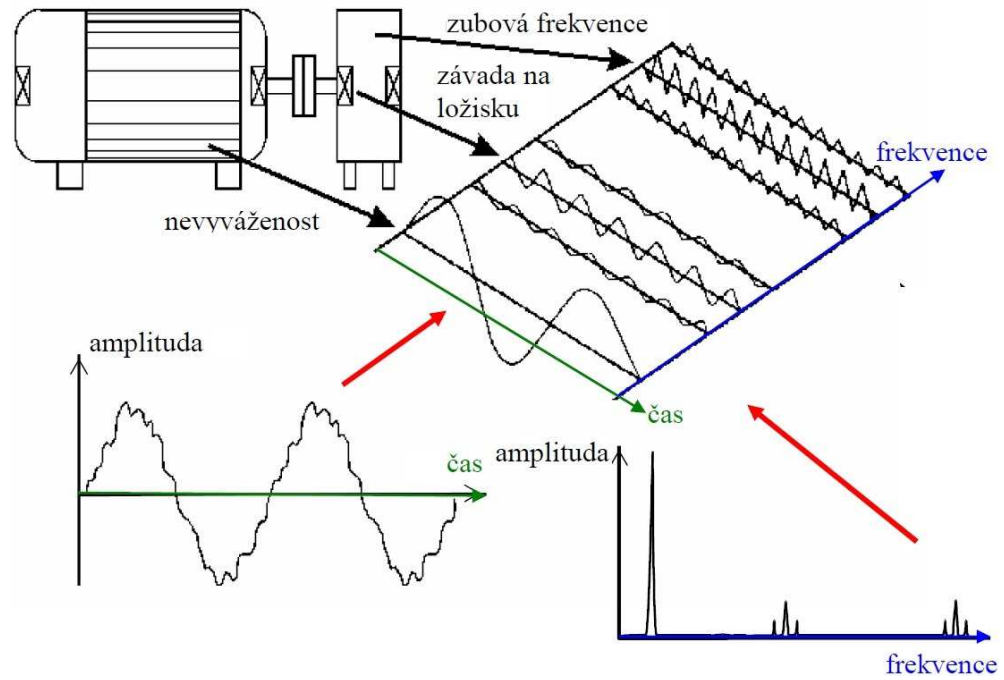
Tato data nám poskytnou široké množství informací. Získané informace budou sloužit pro statistiku frekvenčních spekter. Ze statistiky bude možné vyhodnotit, v jaké kondici se ložiska nachází. Data ze statistiky pomůžou s nastavením kritérií pro vyhodnocování. Výsledky budou zapracovány do technických instrukcí, které budou součástí technologického postupu zkoušení. Budou nastaveny tři stavy ložisek (Tab. 9).

Tab. 9 Stavy ložisek

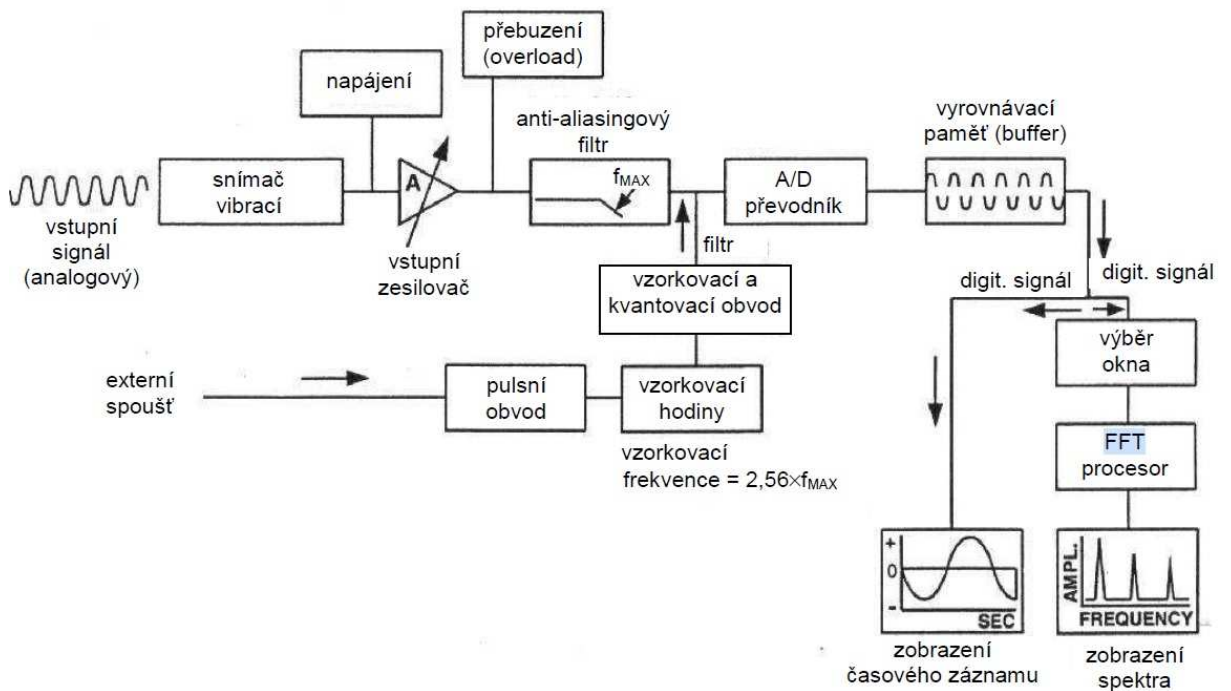
<i>stav</i>	<i>vysvětlivky</i>
vyhovující	stav nového ložiska, ložisko bez závad plní svoji funkci
dostačující	ložisko, které může plnit funkci, ale již by mohlo být vyměněno
poškozený	havarijní stav, okamžitá výměna

V případě havarijních stavů, budou pak ložiska odesílána na repasi do firmy SKF.

Pro porovnatelnost, validitu a správné vyhodnocení výsledků měření mezi motory je nezbytné zabezpečit vždy identické uchycení trakčního motoru. Uchycení trakčního motoru tak bude suplovat zástavbu na tramvajovém podvozku. Trakční motor je uchycen vždy 8 šrouby k základně podvozku a je vystředěn přírubami tak, aby byl namontován ve správné výšce (Obr. 50, Obr. 51). Do stran bude muset být vymezen pomocí segmentů, které budou navařeny na přírubě stanoviště na šířku trakčního motoru. Trakční motor je spojen s kolem za pomoci zubové spojky (Obr. 28). Tato spojka bude použita i na zkušebním stanovišti pro spojení s převodovkou a zatěžovacím motorem.



Obr. 48 Princip frekvenční analýzy [32]



Obr. 49 Schéma analyzátoru vibrací [32]



Obr. 50 Příruba pro uchycení na podvozek



Obr. 51 Způsob uchycení motoru k podvozku

5.7 Shrnutí návrhu zkušební stanoviště

5.7.1 Zkušební místo

Vzhledem k požadavkům na zástavbu se jeví jak nejvhodnější 4pólový třífázový asynchronní motor od firmy SIEMENS s redukční převodovkou 1:8. Pro měření momentu lze použít přírubový snímač momentu TB 40B od firmy HBM. Motor od firmy SIEMENS je vybrán z důvodu menší hmotnosti a rozměrů, tím pádem je vhodnější pro zástavbu do zkušební komory.

Stávající zkušební místo bude muset projít stavebními úpravami. Bude nezbytné provést návrh uchycení celého zkušební systému. Musí být proveden příslušný návrh nové vzduchotechniky pro chlazení zatěžovacího motoru, který zamezí přehřívání uzavřeného prostoru. Zkoušený trakční motor bude připojen na chladicí okruh, který bude simulovat princip chlazení na tramvajovém voze. Z tohoto důvodu bude muset být na zkušebním místě instalován zásobník na chladicí medium. Součástí bude čerpadlo, které bude zajišťovat cirkulaci chladicího média mezi zásobníkem a zkoušeným trakčním motorem. Správný průtok kapaliny bude měřen průtokoměrem. Na vstupu a výstupu budou nainstalována teplotní čidla, která budou sledovat teplotu chladicí kapaliny. Kvůli měření vibrací bude motor uchycen podobně jako na tramvaji, a to za montážní body na konstrukci, která bude podobná provoznímu uchycení.

Zkoušený trakční motor bude napájet frekvenční měnič. Z toho důvodu sem bude muset být přivedeno trolejové napětí 600 V. Jako frekvenční měnič bude použit měnič z tramvaje 15T. Jedná se o trakční jednotku TJ 1.1 – 15T. Ta bude napájena z přivedeného napětí.

Manipulace bude zajištěna elektrickým mostovým podvěsným jeřábem od firmy ADAMEC (typ AP2t/47,7m), který je nainstalován v prostorách zkušebny točivých strojů. Nosnost jeřábu je 2000 kg, což je pro manipulaci s motorem naprosto dostačující (hmotnost motoru je 252 kg).

5.7.2 Ovládací stanoviště

Ovládací pult včetně monitorovacího zařízení bude instalován na ovládacím a řídicím stanovišti, které bude odděleno od zkušební místa. Měřené hodnoty budou zaznamenávány a archivovány prostřednictvím počítače. Pro tuto činnost bude muset být vyvinut nový software, který umožní obsluze řídit a kontrolovat průběh zkoušky s minimálním zásahem obsluhy. Pro případ havarijního stavu je nutné stanoviště vybavit nouzovým tlačítkem stop. V případě havárie, uvede toto tlačítko, celé zkušební stanoviště do klidového stavu a vypne přívod napájení do zkoušeného a zatěžovacího motoru.

Počítač bude vybaven softwarem, který umožní řídit procesy zkoušení na zkušebním stanovišti. Software by měl také zobrazovat odchylky od přípustných hodnot. Zároveň by mělo být součástí celého procesu i vyhodnocení výsledků měření. Výstupem by měl být Protokol o zkoušce. Automatizací ovládacího stanoviště se docílí toho, že každý zkoušený trakční motor bude zkoušen za stejných podmínek a bude možné provádět porovnání motorů mezi sebou. Součástí měřicího stanoviště bude měřicí ústředna s minimálně 18 kanály. Z důvodu možnosti rozšíření testování

motorů o další parametry by bylo vhodné volit ústřednu s možností rozšíření kapacity měření. Ústředna by měla minimálně obsahovat:

- 4 × kanál pro vibrace,
- 1 × kanál hluk,
- 3 × proud,
- 3 × napětí,
- 1 × moment,
- 1 × otáčky,
- 4 × teplota
- 1 × vstup pro čidla otáček zkoušeného TM.

Dále by ústředna měla mít výstupy pro připojení měničů, které by byly řízeny analogovým signálem nebo pomocí datového připojení. Jako optimální varianta se jeví nastavování parametrů měniče digitálně a požadované otáčky a moment analogově, z důvodu obsluhy zkušebního stanoviště prostřednictvím jednoho softwaru.

6 Závěr

Bakalářská práce popisuje možnosti zefektivnění údržby a zkoušení trakčních motorů pro tramvaje 15T. Byla vypracována jako návrh, jak zrekonstruovat stávající nepoužívané zkušební stanoviště.

Pro pohon moderního zkušebního stanoviště se jeví jako nejvýhodnější asynchronní čtyř pólový motor od firmy SIEMENS, který dokáže zkoušený trakční motor správně a efektivně zatěžovat s pomocí redukční převodovky. Pořízení a instalace motoru nebude tak finančně náročná jako by bylo zakoupení a zabudování dynamometru. Typ této zátěže umožní rekuperaci energie, která bude dále využívána pro účely zkušebního stanoviště. Tím se docílí i značné finanční úspory.

Zkušební stanoviště bude vybudováno pro měření elektrických i mechanických veličin. V práci je zdůrazněn návrh a výběr komponent pro měření mechanických veličin jako točivý moment a vibrace. Točivý moment se bude měřit pomocí přírubového snímače momentu, protože je to nejjednodušší volba pro měření momentu na točivých strojích. Měřič bude instalován mezi motorem a převodovkou. Zde bude nejlepší místo pro měření momentu, protože zde se bude moci změřit přesný točivý moment motoru.

Vibrace budou měřeny pomocí akcelerometrů, které budou nainstalovány na nehybných částech trakčního motoru. Díky tomu budou získávána frekvenční spektra vibrací. Spektra se na začátku funkce zkušebního stanoviště budou zaznamenávat a statisticky vyhodnocovat, dle kilometrického průběhu a stavu trakčního motoru (poškozený, nově sestavený a nový). Tím se nastaví kritéria pro vyhodnocování stavu trakčních motorů a umožní předcházet havarijním stavům. To může pomoci rychlejšímu návratu agregátu do provozuschopného stavu.

Ovládací stanoviště je navrženo jako automatizované. Ovládané jedním softwarem pro usnadnění obsluhy. Pomocí této koncepce bude možné řídit a kontrolovat průběh zkoušky. Součástí bude také ústředna s dostatečným množstvím kanálů. Pomocí této ústředny by docházelo také k řízení měničů. Pro optimalizaci řízení byla vybrána varianta s nastavováním měniče digitálně a s nastavováním požadovaných otáček a momentu analogově.

Po vybudování tohoto zkušebního stanoviště a provedení měření ke stanovení mezních parametrů, dojde k zefektivnění údržby trakčních synchronních motorů pro tramvaj 15T v Ústředních dílnách. Některá zjištění o stavech motorů se budou moci přesunout i na vozovny a tam provádět vibrodiagnostické kontroly ložiskových jednotek na motorech a tím určovat jejich stav a provozuschopnost.

Tento návrh by mohl být následně použit i pro rekonstrukci druhého nepoužívaného zkušebního stanoviště. Tím by se zkoušení a diagnostikování motorů ještě více urychlilo a sjednotilo. Pro podnik by to mohlo znamenat i možné externí zakázky do budoucna. Jelikož tramvaj 15T není používána pouze v našem hlavním městě, ale také například v Rize.

Literatura

- [1] Technická dokumentace DP: *Podvozek 14T*, 2018
- [2] Technická dokumentace DP: *Dvojkolí 14T*, 2012
- [3] Technická dokumentace DP: *Převodovka 14T*, 2013
- [4] Technická dokumentace DP: *Druhotné vypružení 14T*, 2008
- [5] Technická dokumentace DP: *Trakční motor 8MLU 3436 K/4*, 2018
- [6] Technická dokumentace DP: *Zubová spojka 14T*, 2009
- [7] Technická dokumentace DP: *Kola*, 2018
- [8] Technická dokumentace DP: *Brzdový mechanismus 14T*, 2009
- [9] Technická dokumentace DP: *Kolejnicové brzdy*, 2017
- [10] Technická dokumentace DP: *Podvozek 15T*, 2017
- [11] Technická dokumentace DP: *Dvojkolí – nápravnice 15T*, 2017
- [12] Technická dokumentace DP: *Kolébka, otočová ložiska, podélná táhla a řetězy kolébky podvozku*, 2018
- [13] Technická dokumentace DP: *Vypružení podvozku 15T*, 2018
- [14] Technická dokumentace DP: *Zubová spojka 15T*, 2015
- [15] Technická dokumentace DP: *Trakční motor 4HLU3436 P/44 VA - 15T*, 2018
- [16] Technická dokumentace DP: *Nápravový sběrač (uzemňovací kontakt) 15T*, 2018
- [17] Technická dokumentace DP: *Tramvajové kolo 15T – BONATRANS*, 2018
- [18] Technická dokumentace DP: *Kotoučová brzda 15T*, 2018
- [19] Technická dokumentace DP: *Kolejnicová brzda 15T*, 2019
- [20] ČSN EN 60077-1. *Drážní zařízení – Elektrická zařízení drážních vozidel – Část 1: Všeobecné provozní podmínky a všeobecná pravidla*. Praha: Český normalizační institut, 2003
- [21] ČSN EN 60034-1. *Točivé elektrické stroje – Část 1: Jmenovité údaje a vlastnosti*. Praha: Český normalizační institut, 2003
- [22] *MOOG, Unikátní zákaznická řešení* [online]. [citace 7. 7. 2020] Dostupné z: <http://www.moogbrno.cz/vues-vysokootackove-stroje-cz/>
- [23] *ASYNCHRONNÍ DYNAMOMETRY ŘADY ASD DO 1000 kW* [online]. [citace 7. 7. 2020] Dostupné z: http://servo-vsm.eu/file/3178/CZ_ASD_1000__120810.pdf
- [24] NOVÁK, J.: *Elektrické pohony (obor kolejová vozidla)*: Vydala: Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, 2011
- [25] *SIEMENS, Elektromotory Moravec s.r.o.* [online]. [citace 9. 7. 2020] Dostupné z: <https://www.elektromotory.net/siemens/1la7-1500-otacek/1le1502-3ab0-110kw-1486ot.html>
- [26] *VYBO Electric, Elektromotory-elektropřevodovky-frekvenční měniče* [online]. [citace 9. 7. 2020] Dostupné z: <https://elektromotory-vybo.cz/obchod/elektromotor-110kw-lc315s04/>
- [27] *Měřící přístroje, Snímače kroutícího momentu* [online]. [citace 9. 7. 2020] Dostupné z: <https://mericipristroje.cz/magtrol/snimace-krouticiho-momentu/>

- [28] *MAGTROL, TF Series Torque Flange Sensors, User's manual* [online]. [citace 9. 7. 2020]
Dostupné z: <https://www.magtrol.com/wp-content/uploads/tfmanual.pdf>
- [29] *T40B, Torque Flange* [online]. [citace 8. 7. 2020] Dostupné z: <https://www.hbm.cz/wp-content/uploads/B03406.pdf>
- [30] *T40B, Universální snímač pro testovací stavy* [online]. [citace 9. 7. 2020] Dostupné z: <https://www.hbm.cz/produkty/snimace-krouciciho-momentu/t40b/>
- [31] *Vibrační diagnostika* [online]. [citace 20. 7. 2020] Dostupné z: <https://adash.com/cs/vibracni-diagnostika/vibracni-diagnostika/>
- [32] BILOŠ, J., BILOŠOVÁ, A.: *APLIKOVANÝ MECHANIK JAKO SOUČÁST TÝMU KONSTRUKTÉRŮ V7VOJÁŘŮ: ČÁST VIBRAČNÍ DIAGNOSTIKA*: Vydala: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2012

Seznam příloh

Příloha A Příslušenství zkušebního stanoviště

Příloha B Technologický postup zkoušky

Přílohy

Příloha A – Příslušenství zkušebního stanoviště

Součást	Dodavatel
Motor SIEMENS 1LE15023AB03	Elektromotory Moravec s.r.o.
Měřič momentu a otáček HBM T 40B	HBP měřící technika s.r.o
Akcelerometry	Vibrotech s.r.o.
Redukční převodová skříň 1:8	Výběrové řízení
Multimetr a měřič izolačního stavu APPA 607	Ahlborn měřící a regulační technika spol. s.r.o.
Čerpadlo CALPEDA MXAM 203 pro cirkulaci chladícího média	RCH Čerpadla s.r.o
Mostový podvěsný jeřáb	ADAMEC
Zubová spojka	DP
Trakční jednotka TJ 1.1 -15T	DP
Uchycení trakčního motoru při zkoušce	DP
Nádrž na chladící médium	DP
Vzduchotechnika - rekonstrukce	VKS Praha s.r.o.
Vázací prostředky pro manipulaci s trakčním motorem	UNIMAN s.r.o.
Měřící ústředna	DEWETRON -PRAHA spol. s.r.o.
Zkušební software	DEWETRON -PRAHA spol. s.r.o.

Příloha B – Technologický postup zkoušky

Dopravní podnik Praha a.s.		Vydal: Jiří Louček	Datum:	
TECHNOLOGICKÝ Postup				
Název: Trakční motor 4HLU 3436 P44/VA pro tramvaj 15T vyzkoušet				
Číslo operace	Středisko	Popis práce	Profese	Pracovní nástroj
1	229050	Trakční motor přemístit z palety na místo pro mechanickou kontrolu	elektromechanik	jeřáb
2	229050	Trakční motor mechanicky kontrolovat	elektromechanik	posuvné měřítko, kalibr na hřídel, vizuální kontrola
3	229050	Izolační stav před zkouškou změřit	elektromechanik	multimetr appa 607
4	229050	Trakční motor přemístit z místa pro mechanickou kontrolu na zkušební místo	elektromechanik	jeřáb
5	229050	Trakční motor upevnit na zkušební místo a připojit k chladicí soustavě	elektromechanik	stranový klíč
6	229050	Trakční motor připojit na hřídel zatěžovacího motoru	elektromechanik	stranový klíč
7	229050	Správnost usazení na zkušební místo kontrolovat	elektromechanik	vizuální kontrola
8	229050	Správnost spojení s hřídelí zatěžovacího motoru kontrolovat	elektromechanik	vizuální kontrola
9	229050	Činný odpor změřit	elektromechanik	multimetr appa 607
10	229050	Akcelometry pro měření vibrací namontovat	elektromechanik	akcelerometr
11	229050	Trakční motor naprázdno vyzkoušet	elektromechanik	zkušební místo
12	229050	Provést hodinovou oteplovací zkoušku	elektromechanik	zkušební místo
13	229050	Provést zkoušku zvýšenými otáčkami	elektromechanik	zkušební místo
14	229050	Trakční motor po zkouškách kontrolovat	elektromechanik	vizuální kontrola
15	229050	Akcelometry pro měření vibrací demontovat	elektromechanik	akcelerometr
16	229050	Trakční motor od zátěže odpojit	elektromechanik	stranový klíč
17	229050	Trakční motor ze zkušebního místa demontovat	elektromechanik	stranový klíč
18	229050	Trakční motor ze zkušebního místa vyjmout a odložit do palety	elektromechanik	jeřáb
19	229050	Zkoušku vyhodnotit	elektromechanik	zkušební software
Vypracoval: Jiří Louček		Kontroloval:	Schválil:	
Datum:		Datum:	Datum:	