

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

KATEDRA ELEKTROMECHANIKY A VÝKONOVÉ ELEKTRONIKY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

REKUPERACE V TRAMVAJOVÝCH VOZECH

Petr Krupička

2016/2017

Originál (kopie) zadání BP/DP

Abstrakt

Bakalářská práce popisuje elektrické výzbroje tramvajových vozů. Obsahuje obecné informace o současných možných způsobech uložení elektrické energie, výpočty energetické bilance tramvajového provozu na vybraném traťovém úseku. Porovnání Pražských a Plzeňských tramvajových provozů a využívání energie.

Klíčová slova

TV 1

TV 3

TV 8

TV 14 Progress

14T

15T

Rekuperace

Dopravní podnik hl.m. Prahy a.s.

Dopravní podnik Plzeň

Abstract

Bachelor thesis describes electrical equipment of tram cars. It contains general information on the current possible ways of saving electrical energy, calculations of the energy balance of the tram operation on the selected track section. Comparison of Prague and Pilsen tram operations and energy use.

Key words

TV 1

TV 3

TV 8

TV 14 Progress

14T

15T

Rekuperace

Dopravní podnik hl.m. Prahy a.s.

Dopravní podnik Plzeň

Prohlášení

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

.....

podpis

V Plzni dne 7.6.2017

Petr Krupička

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Doc. Ing. Pavel DRABEK Ph.D.,

za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

Další dík patří zaměstnancům Dopravního podniku hl.m. Prahy, kteří mi vyšli vstříc při zajišťování podkladů pro mou práci.

Obsah

1. Úvod.....	9
2. Popis elektrických výzbrojí v Praze používané pro tramvaje	10
2.1. Odporová výzbroj TR – 32, 36, 37 (T1, T2, T3, T3Su)	10
2.1.1. Řízení vozů s výzbrojemi TR 32, TR 36 a TR 37.....	11
2.1.2. Zadání jízdy.....	13
2.1.3. Zhodnocení výzbroje řady TR 32 – TR 37.....	13
2.2. Výzbroj TV	1
2.2.1. (T3M)	14
2.2.1. Srovnání umístění výzbroje T3 - T3M.....	15
2.2.2. Popis součástí pulsního měniče.....	17
2.2.3. Střídač.....	17
2.2.4. Naprosto plynulá regulace jízdy a brzdy.....	17
2.2.5. Brzdové odporníky a odporník výhybky.....	18
2.2.6. Regulátor.....	19
2.2.7. Zadání jízdy.....	19
2.2.8. Zhodnocení.....	20
2.3. Výzbroj TV 3 ČKD (KT8D5, T6A5)	21
2.3.1. Měničová skříň přední část.....	22
2.3.2. Jízda.....	22
2.3.3. Výběh.....	23
2.3.4. Brzda.....	23
2.3.5. Řízení pulsního měniče.....	23
2.3.6. Nízkonapěťová soustava.....	24
2.4. Výzbroj TV 8 ČKD (T3R, T3G)	26
2.4.1. Nové součásti výzbroje TV-8.....	27
2.4.2. Význam jednotek regulátoru.....	27
2.4.3. Zadání jízdy.....	28
2.4.4. Režim brzda.....	29
2.4.5. Resumé.....	29
2.5. Výzbroj TV 14 Progress	30
2.5.1. Obvod pro jízdu.....	30
2.5.2. Použité prvky v trakčním obvodu.....	32
2.5.3. Zapojení elektrického obvodu pro brzdu.....	32
2.5.4. Brzda.....	33
2.5.5. Statický měnič.....	34
2.5.6. Uspořádání trakčních měničů.....	34
2.6. Výzbroj 14T	37
2.6.1. Trakční obvod.....	37
2.6.2. Jízda.....	38

2.6.3. Brzda.....	38
2.7. Výzbroj 15T.....	39
2.7.1. Trakčních jednotek TJ1.1.....	39
2.7.2. Vstupní obvody.....	39
2.7.3. Střídačová část.....	40
2.7.4. Blok brzdových odporů.....	40
2.7.5. Chlazení a řízení.....	41
2.8. Porovnávací graf spotřeby elektrické energie.....	42
3. Rekuperace.....	44
3.1. Superkondenzátor.....	46
3.2. Setrvačníky.....	47
3.3. Akumulátory	48
4. Dopravní podnik hl. m. Prahy, a.s.....	49
4.1. společnosti.....	49
4.2. Tramvaje.....	49
4.3. Vývoj spotřeby el.energie.....	51
5. Spotřeba energie na Barrandov.....	52
5.1. Spotřeba vozů T3R.P - bez zatížení.....	52
5.1.1. Výpočet spotřeby el. energie u tramvajového vozu typu T3R.P při jízdě v úseku mezi zastávkami Hlubočepy - Geologická.	52
5.1.2. Výpočet hodnoty rekuperované energie u tramvajového vozu typu T3R.P při jízdě v úseku mezi zastávkami Geologická - Hlubočepy.	53
5.2. Spotřeba vozů T3R.P - 50 % max. zatížení.....	55
5.2.1. Výpočet spotřeby el. energie u tramvajového vozu typu T3R.P při jízdě v úseku mezi zastávkami Hlubočepy - Geologická.	55
5.2.2. Výpočet hodnoty rekuperované energie u tramvajového vozu typu T3R.P při jízdě v úseku mezi zastávkami Geologická - Hlubočepy.	56
6. Dopravní podnik Plzeň	59
6.1. O společnosti.....	59
6.2. Tramvaje.....	59
6.3. Trolejbusy.....	59
6.4. Využívání el.energie	60
7. Závěr.....	61
8. Seznam zkratk.....	62
9. Použitá literatura.....	62

10. Ostatní použité materiály.....	62
11. Přílohy.....	64

1. ÚVOD

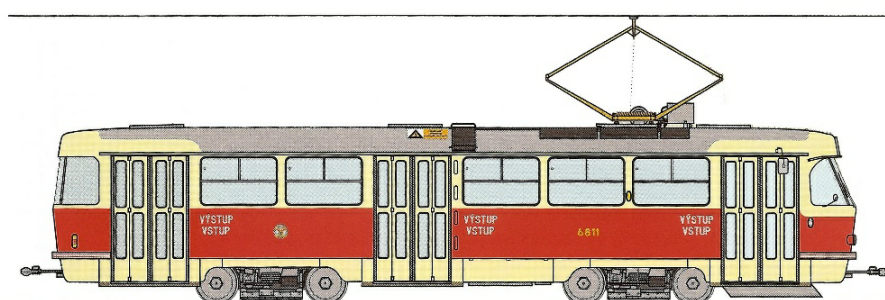
Poslední dobou roste poptávka na rozvoj veřejné hromadné dopravy díky nárůstu počtů obyvatel, kteří se stěhují na okraje měst. Celková spotřeba trakční energie tramvají v Praze za rok 2016 byla 125 577 MWh. Průměrná spotřeba el. energie byla 2,96 kWh/vozkm (kilowatthodin/vozokilometr). V porovnání s jinými městy provozujícími tramvajovou dopravu a také v porovnání s dopravou autobusovou patří tato hodnota mezi nejvyšší, a je proto žádoucí spotřebu tramvají snížit. Plné využívání rekuperace k tomu může nejvíce přispět, ale není to jediná možnost. Mezi další možnosti patří například zvýšení trakčního napětí na 750 V, použití řízené ventilace trakčních motorů, použití hydraulického ovládání mechanických brzd a řada dalších opatření. Důsledným uplatněním všech možností vedoucích ke snížení energetické náročnosti tramvajové dopravy by bylo možné snížit spotřebu el. Energie. K dosažení tohoto cíle je ovšem nutné věnovat této otázce více pozornosti, než tomu bylo doposud.

V České republice se nachází 7 tramvajových a 14 trolejbusových provozů. Tramvaje se nachází ve městech Brno, Liberec, Most-Litvínov, Olomouc, Ostrava, Plzeň a Praha. Trolejbusové provozy jsou ve městech Brno, Chomutov a Jirkov, Hradec Králové, Jihlava, Mariánské Lázně, Opava, Ostrava, Pardubice, Plzeň, Teplice, Zlín a Otrokovice, Ústí nad Labem a České Budějovice.

Dopravní podnik hl. m. Prahy a.s. se v současné době touto otázkou zabývá a zadal si u externích firem propočet, jak by se dalo ušetřit. Dále se budu zaměřovat v této práci na provoz pražských tramvají a v prvním bodě pops jednotlivých silových obvodů elektrických výzbrojí.

2. Popis elektrických výzbrojí v Praze používané pro tramvaje

2.1. Odporová výzbroj TR – 32, 36, 37 (T1, T2, T3, T3Su)



Obr.č.1 T3

Elektrická výzbroj byla vyvinuta pro tramvaje PCC (President's Conference Committee Car), vyráběných v Americe od roku 1936. Americké tramvaje PCC vyráběla vagónka v St. Louis. Vyráběné vozy měly výzbroje dvou typů. Provedení A a E. Elektrická výzbroj typu A, byla elektro – pneumatická a typ E, představoval celoelektrické provedení vozu. Celoelektrickou výzbroj kromě firmy General Electric, dodávala i firma Westinghouse, která spolupracovala již v polovině dvacátých let s Českomoravskou továrnou a první elektrické lokomotivy z Českomoravské strojírny byly vybaveny částmi elektrické výzbroje od fy Westinghouse. (např pantografy). Spolupráce obou firem pokračovala nadále a když se po druhé světové válce obnovoval a modernizoval vozový park tramvaj v Evropě, měla na tom svůj podíl i firma Westinghouse. ČKD vyvíjelo v té době novou tramvaj pro česká města a využilo nabídky fy. Westinghouse o prodeji licence na některé komponenty elektrické výzbroje. Nabídka byla přijata, což vývoj nového vozu značně urychlilo. Nová výzbroj vestavěná do prvních tramvaj nově generace vyráběných na Smíchově nesla označení TR 32. Vzhledem k tomu, že zde bylo použito nepřímého řízení, bylo nutno ke spínání trakčních obvodů použít stykačů. Stykače pro různé potřeby se vyráběly v dobré kvalitě a běžně se používaly v trakčních obvodech trolejbusů. Stykače měly označení UM 334, a byly určeny pro spínání silových obvodů. Jejich konstrukce byla poměrně složitá, zvláště ovládání spínání pomocných doteků pomocí vahadel nebylo jednoduché. Nicméně se tato výzbroj osvědčila, o čemž svědčí i, že některé vozy T1 ji měly až do svého vyřazení v osmdesátých letech. (např. 5089). Bylo potřeba vyřešit nově mnoho věcí v souvislosti kladené na vozy T1. Tak byl položen základ pro solidní provedení elektrické výzbroje, která v trakčních obvodech se nezměnila celých dalších 45 let. Z této výzbroje vyšla i výzbroj TR - 36 pro tramvaje T2 a výzbroj pro tramvaje T3, TR - 37, čepové stykače UM 334 byly nahrazeny britovými stykači řady SA 781.

Trakční obvod výzbrojí TR - 32, TR 36 a TR37 se lišil v detailech a byl postupem let

upravován. Jízdní vlastnosti tramvají s výzbrojemi řady TR se od sebe mnoho nelišily. Základem elektrické výzbroje byl zrychlovač, regulovatelný odporník pro jízdu a brzdu. Na jeho obvodu jsou upevněny pomocí svorníků a kamenů odporové články. Z khantalu nebo antoxidu, tl. 0,8 a 0,9 mm. Tyto odporové články jsou pospojovány na svornících takzvanými kameny. Na druhé straně svorníků jsou přišroubovány kontaktní palce, jejichž součástí je dracoun a pásek z pérové oceli sloužící k odtlačení palce od sběrného kruhu. Palce jsou kladkami z pertinaxu, nebo z textitu přitlačovány na sběrný kruh. Samotný palec je nanýtován na pérovém držáku s vloženým plochým pérem. Dobré vodivosti je dosaženo měděnými pásky, nebo novější provedení propojení dracounem. Kladkami přes převodovku (šnek - ozubené kolo) otáčí řídicí motor (pilotmotor). Zvýšení izolace při přeskočení trakčního napětí na zrychlovači je provedeno i v převodovce zrychlovače. Šnek od náhonu pilotmotoru je kovový, ozubené kolo hřídele kladek zrychlovače je z textitu či pertinaxu. Rovněž se stalo pravidlem zapojení trakčních motorů do série po dvou ve dvou paralelních větvích. Brzdový obvod trakčních motorů je zapojen křížem. Motory 1 a 2 budily magnety motorů 3 a 4 a naopak. Ovládání je stykači B1 a B2. Pro zmenšení proudového nárazu při zapnutí linkového stykače slouží rozjezdové odporníky RR1 a RR2, Vyřazované postupně stykači R1 a R2. Vyřazení odporníku zrychlovače obstarává stykač M2. Pro další zrychlení je k dispozici bočník, spínaný stykači F1, F2, F3, F4. Protože se tyto výzbroje používají v mnohočlenném řízení je změna směru řešena pomocí stykačů P1 - P4 nebo Z1 - Z4. Trakční motory mají cizí chlazení. K tomuto účelu je ve voze instalován motorgenerátor se dvěma ventilátory ovládaný stykači MG. a MGS (později jen MG). Odporník pro ovládání elektromagnetické výhybky je tvořen samostatnými odporovými články (starší provedení), nebo kombinací s rozjezdovými odpory zrychlovače. Ovládání vozu se děje dvěma pedály, jeden pro jízdu a druhý pro brzdu. Těmito pedály se ovládá řadič, který nastavuje po pěti stupních jízdy nebo brzdy. Tímto uspořádáním nelze volit ustálenou rychlost vozu, ale jen stupeň zrychlení. Nastavený proud hlídá omezovací relé, které má svoji proudovou cívku v trakčním obvodu. Silové stykače a stykače pomocných obvodů byly rozmístěny ve stykačových skříních, ve stykačových rámech, kde šlo jednotlivé stykače demontovat a měnit. Jízdní a brzdové stykače mají svoje ustálené místy v I stykačovém rámu na levém boku vozu. Přístup je po odkrytí krytů z venku vozu. Stykače reverzu, u kterých se nepředpokládalo, že budou poruchové, protože jsou trvale sepnuty, byly umístěny v rámu na spodku vozu a přístupné jsou jen z montážní jámy. II stykačový rám. Stykače topení. Čelistových a kolejnicových brzd, nabíjení, blokovací, bezpečnostní, a omezovací relé je umístěno na pravém boku vozu a je opět přístupné z venku. III stykačový rám. Linkový stykač je vpravo před rámem III. Z prostorových důvodů u vozů T1, byly některé komponenty umístěny ve zvláštních skříních, protože se do přístrojových skříní nevešly. Řadič byl před prvním podvozkem vlevo. Bočník trakčních motorů za prvním podvozkem vpravo, Omezovací relé před skříní LS. Odporník výhybky se stykačem SV pod zadní plošinou. Regulátor nabíjení pod sedadlem pro průvodčího. Stykače jsou typu UM 334 – 24V/150A, s pomocnými doteky

Během další výroby se osazení skříní mnoho nezměnilo. Některé stykače si vyměnily místa a skříně pro umístění se sjednotily. Ke škodě věci bylo u tramvají typu T3, s výzbrojí TR 37, v rámci zjednodušení upuštěno od integrovaných skříní, zavěšených na izolátorech pod vozem a strop skříně tvořila podlaha. Průvodní jev je zatékání vody do elektrovýzbroje.

Pro srovnání je na dalších obrázcích znázorněno rozmístění stykačů a relé, jak byly

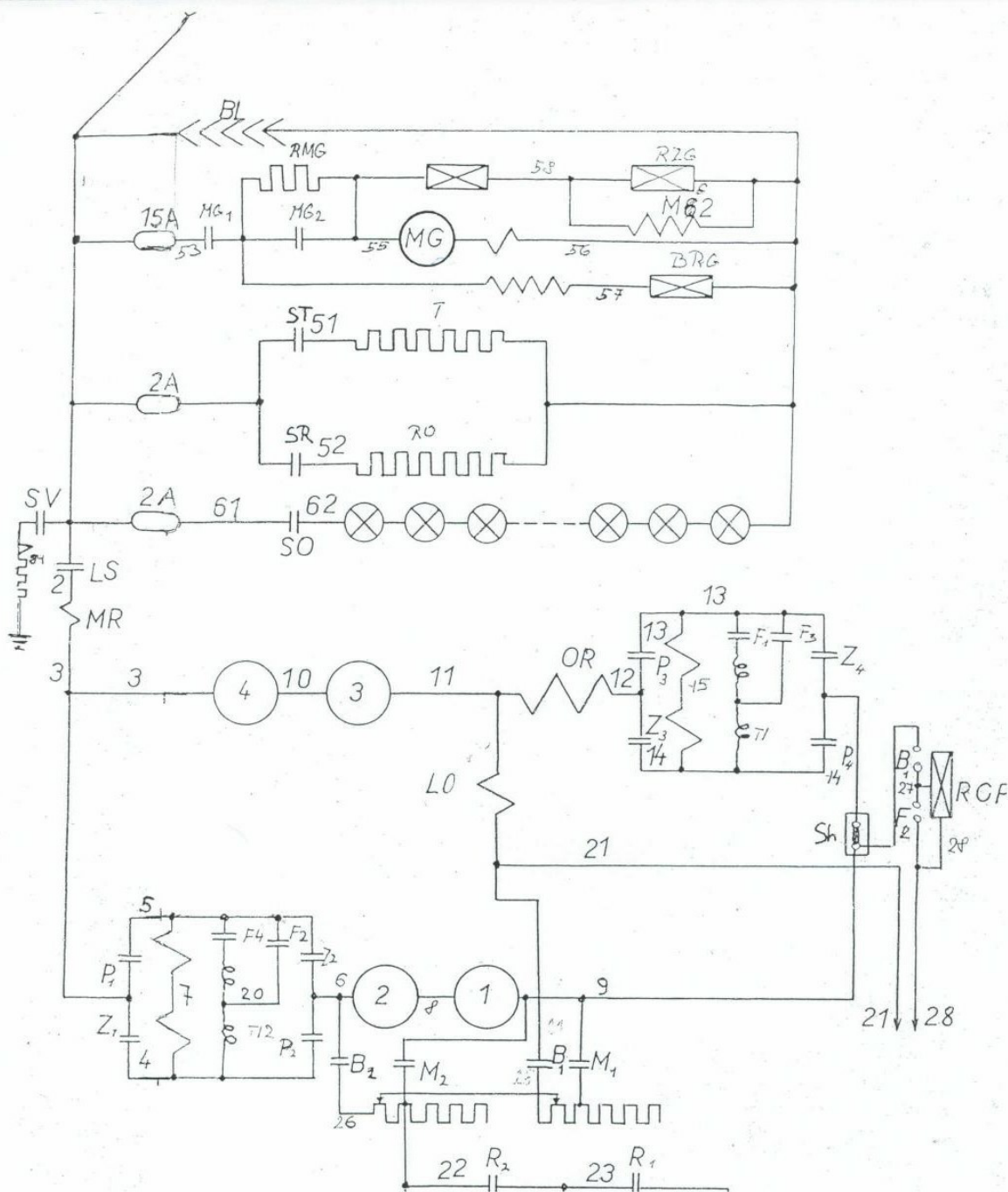
na tramvajích T3 montovány dalších téměř 40 let. Postupem let se nejvíce měnilo osazení skříně III. Například zmizely stykače N a D, které ovládali pantograf, bylo dosazeno relé DBR, u vozů s odpojovačem OTZ, přibyl stykač SO, vibrační regulátor nabíjení vystřídal elektronický, uhlíkové a reléové OR, vystřídalo relé OR v elektronické podobě a stykač BR1 byl nahrazen elektronickou jednotkou ERB 1. Shuntovací stykače byly nahrazeny typem SC12, později tyto stykače bez zhášecích cívek byly montovány i na pozice stykačů reverzu.

2.1.1. Řízení vozů s výzbrojemi TR 32, TR 36 a TR 37

Řízení vozů bylo možné jen v zadání stupňů zrychlení, nebo zpoždění. K tomuto sloužil řadič, který se ovládal pedály jízdy a brzdy. Jízdnicích a brzdových stupňů bylo 5.

tab.č.1 rozsah proudů el.výzbroje T37

Jízda	Brzda
220 A	140 A
290 A	170 A
360 A	210 A
420 A	350 A
480 max.	360 max.



Obr.č.2 T32

2.1.2. Zadání jízdy

Zadání jízdy probíhá automaticky po sešlápnutí jízdní šlapky. Je lhostejné jaký rozjezdový proud je zvolen, cyklus spínání jízdních stykačů je vždy stejný. Nejprve sepne stykač M1 a tím zapojí zrychlovač do obvodu. Dále sepne linkový stykač, který připojí vůz k trolejové síti. Vůz se dává do pohybu. Aby se zabránilo šubnutí vozu při rozjíždění, je proud veden přes rozjezdové odpory, které ztlumí proudový náraz. Z téhož důvodu je v okamžiku rozjezdu sepnut stykač F2, který

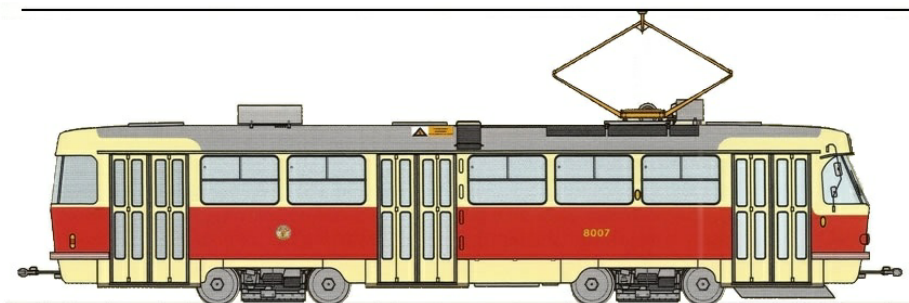
vzápětí odpadá. Spínají stykače R1 a R2, které vyřazují rozjezdové odpory a funkci dalšího rozjezdu přebírá zrychlovač. Klady zrychlovače se otáčí a vyřazují postupně odporník zrychlovače. Na 75 stupni sepne stykač M2 a odporník zrychlovače je vyřazen z činnosti. Klady zrychlovače se však otáčí dál a podle nastavení na stupních 80,85,90 a 95 spínají Shuntovací stykače v pořadí F4,F1,F3 a F2. Tím se připojuje bočník k magnetům trakčních motorů a vůz dále zrychluje až do max. rychlosti. Po puštění pedálu jízdy jede vůz výběhem. Automaticky se přepíná do režimu tzv. přípravy, aby mohl v případě zadání brzdy bez prodlení brzdit. Přípravu zajišťují sepnuté stykače B1, B2 a F2. Na palubním ampérmetru je hodnota přípravy 50A. Po zadání požadavku brzdy odpadá stykač F2 a vůz začne brzdit podle zadání brzdových stupňů. Klady odporníku se začínají vracet do výchozí polohy vyřazují odporník a vůz brzdí. Klady odporníku zrychlovače jsou poháněny přes převodovku pilotmotorem. Pilotmotor dostává signály od omezovacího relé, které řídí jeho rychlost a směr otáčení v závislosti na zatížení a profilu tratě. Nastavení kladek zrychlovače odpovídá dané rychlosti a přechod do jízdy nebo brzdy je plynulý bez škusnutí. Hloubkou sešlápnutí brzdového pedálu se regulují stupně zpoždění a tím brzdový proud, procházející odporníkem zrychlovače a měnícím se v teplo.

2.1.3. Zhodnocení výzbroje řady TR 32 – TR 37

Na svou dobu šlo o pokrokovou elektrickou výzbroj, která umožňovala tramvajím se pohybovat co nejrychleji. Účelem této výzbroje bylo, aby se při rozjezdu a brzdě rovnala tehdejším automobilům. Tramvaje nebyly určeny pro tažení vlečných vozů. Zvýšení kapacity se dělo spřežením do dvojčlenného řízení. Tramvajové vozy byly projektovány jako velkoprostorové a i plně obsazené dokázaly jezdit rychlostí 60 Km/h. Samotná elektrická výzbroj je poměrně složitá. Množství stykačů, relé, má své pomocné doteky, které pracují v prašném a vlhkém prostředí. Toto nepřispívá k plynulému provozu a právě pro dotekové závady se vozy musely poměrně často potýkat. Zrychlovač jako říditelný odpor je sestaven z odporových článků, které se vlivem tepelného namáhání krouží dotýkají se, eventuálně se propalují. Někdy dojde i k přepálení odporového článku a odporník zrychlovače se přeruší. Tramvaj se pak musí odstavit. Rovněž dochází k přilepení palců zrychlovače, zejména špatnou technikou jízdy. Vůz pak škuje, nebo rozepíná MR. Část elektrické energie, procházející zrychlovačem se mění v teplo, což je neúsporné. Rovněž veškerá energie vzniklá brzděním vozu se mění v teplo, která se alespoň v zimě použije na vytápění salonu.

Zpět do sítě se energie nevrací. Vůz nemá rekuperaci a tak tento typ výzbroje je ztrátový.

2.2. Výzbroj TV 1 (T3M)



Obr. č.3 T3M

Koncem šedesátých let se uvažovalo o náhradě ztrátové odporové výzbroje se zrychlovačem, výzbrojí moderní za použití polovodičových prvků. Potíž byla v tom, že na mnohé progresivní prvky používané na západ od našich hranic bylo uvaleno embargo a tak si musel domácí průmysl pomoci sám jak uměl. Přes všechny potíže byla v roce 1970 postavena v ČKD Tatra Smíchov první zkušební tyristorová tramvaj řady T3M pod výrobním číslem 160 529 ve žlutém propagačním nátěru s evidenčním číslem 6 000. Na tomto voze se prováděly zkoušky a měření, výzbroj se dále upravovala, aby se stala spolehlivou, zkrátka odstraňovali se dětské nemoci. Výzbroj byla řešena tak, aby se bez problémů dala vestavět do provozovaných tramvají typu T3 s odporovou regulací. Vůz 6000 byl jediným vozem postaveným s touto výzbrojí v ČKD Tatra Smíchov. Výzbroje se dále vyráběly, v ČKD trakce, ale Dopravní podniky si je montovaly samostatně při velkých opravách T3 (Brno, Ostrava, Praha).

Pouze přestavba prvních dvou vozů v Praze 8005 a 8006 proběhla ve spolupráci s ČKD, aby se vědělo jak na to. Umístění výzbroje si vyžádalo vestavění dvou nových skříní pro tlumivky L0 a L2. Skříň pro tlumivku L0 je umístěna před I stykačovým rámem. Tlumivky L2A a L2B jsou umístěny na plochu za zadním podvozkem, za III dveřmi.

Pro jejich dostatečné chlazení jsou propojeny hadicemi s přívodem proudu chladícího vzduchu ke III trakčnímu motoru. Je samozřejmé, že za použití tlumivek z měděných pasů a kondenzátorů, vzrostla váha tramvaje a to o 600 kg. Váha odpovídala váze vozů T1, tím i mírně zvětšený nápravový tlak. Na střeše se objevil kryt, pod kterým se nachází brzdové odpory a odpor výhybky. Kryty z ČKD byly opatřeny výztuhami, aby při brzdění nedrnčely. Kryty zhotovené v dílnách v Hostivaři již tyto výztuhy neměly. Tyristorová výzbroj je provedena tak, že každý podvozek má svůj měnič. Toto provedení má tu výhodu, že jde vadný podvozek, nebo příslušný pulzní měnič vypnout a na zbylý dojet do vozovny. Silové stykače spínají bez proudu, čili se neopalují. Linkový stykač slouží jen jako maximální relé a po celou dobu zapnutého řízení je sepnut. Jeho spínací funkci zastupuje stykač J3, v prvním stykačovém rámu. Regulátor pulzního měniče je umístěn ve zvláštní skříni za řidičem v salonu vozu. Řídicí panel se liší pouze tím, že nemá tlačítko průjezd mycím strojem, a vypínač havarijního pojezdu. Místo kontrolky zrychlovače jsou dvě červené kontrolky (symbol vykřičník) nadproud A a nadproud B. Zajímavostí je, že bylo ponecháno tlačítko pro vybavení MR. Odporové T3 mají vybavení MR pomocí doteku na řadiči. Po výměně karoserií v polovině devadesátých let na osmnácti tyristorkách, které po této výměně nesou označení T3M II DVC, bylo vybavení MR tlačítkem zrušeno. Vybavení MR se děje vypnutím a zapnutím řízení.

Při rekonstrukci vozů T3 na T3 M byla kompletně vyměněna veškerá kabeláž jak pro

palubní síť a řídicí obvody 24V, tak silová část 600V. Řízení tramvaje řadičem s pedály bylo ponecháno. Úplně se změnilo ovládání tramvaje. Řidič nevolil jen stupně zrychlení, nebo zpoždění, ale mohl jet zvolenou rychlostí od 1 – do 60 km /h., což byla novinka.

Zapojení a prokabelování podvozků zůstalo stejné. V pojistkové skříni jsou umístěny přepínače podvozků a, a b, umožňující havarijní jízdu na jeden podvozek. To byla na tehdejší dobu převratná novinka. Všechny tyristorové vozy jsou vybaveny odpojovačem OTZ. (vybití kondenzátorů). Stykačové rámy se co do velikosti nijak neupravovali, jen na propojení nízkonapěťových kabelů za stykačovými rámy byly použity konektory řady ŠR. Stykače jsou běžného provedení jako u vozů T3 a jejich počet ve srovnání s vozy T3 poklesl o dva.

2.2.1. Srovnání umístění výzbroje T3 - T3M

Tab.č.2 Porovnání el.výzbroje u vozů T3 a T3M

I stykačový rám T3		I stykačový rám T3M	
funkce	Stykače	funkce	stykače
Rozj. odpor	R2	dioda	Pro dynamo MG
Rozj. odpor	R1	jízda	RZ2
Vyřazení ZR	M2	Jízda podv. A	J1A
Zařazení ZR	M1	Jízda podv. B	J1B
brzda	B1	Brzda podv. B	B1B
brzda	B2	Brzda podv. A	B1A
shunt	F1	Brzda společná	B2
shunt	F2	Jízda (II LS)	J3
St. výhybky	SV	Výhybka	SV
motorgenerátor	MG	motorgenerátor	MG

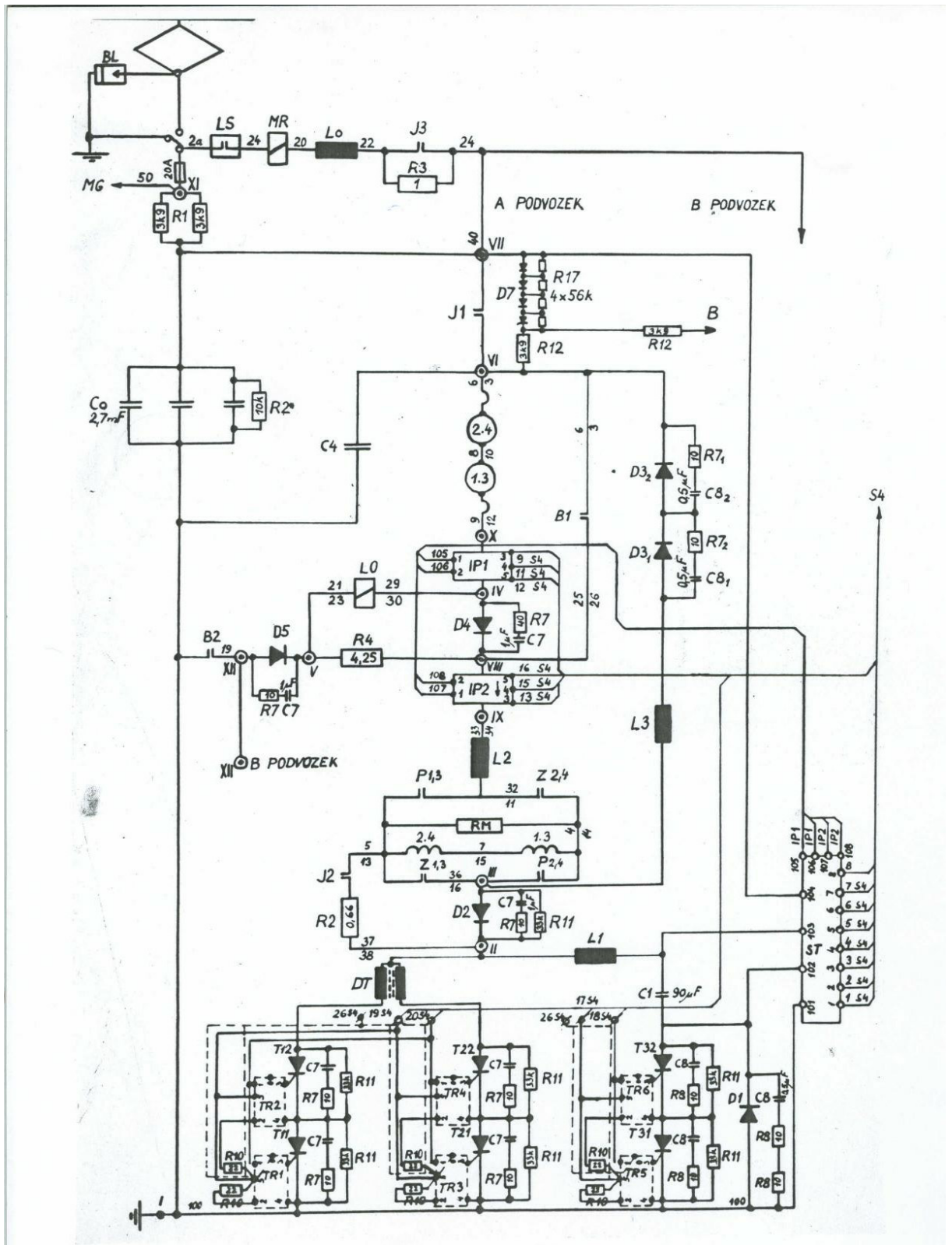
Použité stykače jsou stejné jako na T3 typ SA 781 s různým uspořádáním pomocných doteků.

Vzhledem k tomu že na stykačích je během provozu vyšší napětí, nikoliv ideálně stejnosměrné, ale pulsující je mnohem větší nebezpečí přeskočení napětí, a tak byly šrouby připevňující stykače k montážnímu rámu odisolovány tmelem. Tím se zvětšila přeskoková vzdálenost. K tomuto se přistoupilo až po několika přeskočích ve výzbroji, kdy došlo k zahoření stykačů a kabeláže. Stykače jsou seřazeny podle montáže v rámu. Stykače pro vyřazení rozjezdových odporů R1 a R2 byly demontovány a jejich místo zaujala oddělovací dioda dynamu motorgenerátoru a relé RZ2. Shuntovací stykače F1 a F2 nahradily stykače téhož typu B2 a J2. Za stykačovým rámem I jsou umístěny odpory řazené paralelně k magnetům motorů a pojistka výhybky. Centrální stovková svorkovnice zůstala umístěna

v horní části mezi stykačovými rámy I a II. Vedení 24 V mezi karosérií a stykačovým rámem je provedeno pomocí konektoru řady ŠR. U T3M jsou shuntovací stykače typu - SC 12, ale s trojitým dracounem a jsou spínány ihned po odpadnutí brzdových stykačů. Tato funkce je blokována stykači reversu a při jízdě vzad není umožněno sepnutí shuntovacích stykačů J2. Bočník shuntování je umístěn spolu s předbíjecími odpory, pod schody středních dveří. Rovněž je ofukován proudem vzduchu z motorgenerátoru. Stykače reversu jsou u T3M vždy SA 781 s elektromagnetickým zhášením oblouku a mají zapojeny pomocné dotoky jako blokování, aby nebylo

možno sepnout stykače vpřed a vzad najednou. Počet stykačů ve II rámu je 10, stejně jako u kterékoliv klasické T3. Pulsní měnič je projektován tak, aby se vešel do prostoru zrychlovače. Je přišroubován stejně jako zrychlovač ke stejnému nosnému rámu. Pro svou hmotnost 520 kg je přišroubován 8 pevnostními svorníky. Pulsní měniče jsou dva, pro každý podvozek jeden. Tím je umožněna jízda na libovolný podvozek. Připojení k elektroinstalaci vozu je pomocí svorkovnice 600 V a již známými konektory řady ŠR.

V prostoru pulsního měniče, v prostředku, jsou umístěny filtrační kondenzátory C 0.



Obr.č.4 TV 1

2.2.2. Popis součástí pulsního měniče

Pulzní měniče jsou dva, pro každý podvozek jeden a jsou totožného provedení. Skládají se ze šesti tyristorů, čtyřech hlavních a dvou pomocných. Tyristory jsou umístěny na horní desce měniče a jejich chladiče jsou zasazeny do tunelu měniče, kde jsou ofukovány vzduchem přivedeným od motorgenerátoru. Ve spodní části je instalováno šest diod, které jsou chlazeny stejným způsobem jako tyristory. Vzduch je rozdělen izolačními přepážkami do čtyř vzduchových proudů. Přiváděný vzduch je filtrován přes filtr umístěný v bočnici za žaluzií přístupu vzduchu k motorgenerátoru a dalším filtrem v přívodním tunelu chladícího vzduchu k vlastnímu měniči. Pro projití tunelem ještě vzdušný proud ochlazuje tlumivku L1 a předbíjecí a shuntovací odpory umístěné pod schody 2 dveří. Ke každé diodě, nebo tyristoru je připojen jeden RC člen. (kondenzátor s odporem). Na vrchní desce je umístěn dělicí transformátor, který umožňuje rovnoměrné zatížení obou větví hlavních tyristorů. Tyristory jsou zapojeny v sérii po dvou. V blízkosti tyristorů jsou instalovány impulsní transformátorky, na které je připojen řídicí obvod tyristoru. Součástí horního víka jsou i dva konektory řady ŠR., které propojují řídicí obvody regulátoru s pulzními měniči. Na vnějších bočnicích měniče, jsou přišroubovány nad sebou, dva převodníky, IP1 a IP2. V rámu měniče jsou umístěny ještě střídače a kondenzátory C1 a C4, každý o kapacitě 90 mikrofardů a tlumivky L1. Pracovní frekvence měniče je od 25 do 400Hz. Oba měniče jsou shodné a pracují nezávisle na sobě. Řízení měniče obstarává regulátor, umístěný ve zvláštní skříni za řidičem v prostoru salonu. Součástky měniče byly vyráběny v ČKD polovodiče a ČKD trakce, která prováděla celkovou montáž a oživení. Tato výzbroj znamenala převrat v řízení tramvají T3, ale bohužel nedošlo k další výrobě tramvají s touto výzbrojí v ČKD Tatra, ale dál se vyráběly tramvaje s odporovou regulací TR 37, protože export byl přednější. Nejvíce tramvají s výzbrojí TV – 1 provozovala Praha, kde jich bylo zrekonstruováno v dílnách Hostivař v letech 1975 /76, 102. Tramvaje 8005 – 8106. Použité diody a tyristory byly vyráběny v ČKD elektrotechnika. Časem prokázaly opět neuvěřitelnou provozní spolehlivost. V Ostravě byla tato výzbroj namontována do 21 vozů T3, 701 – 721. Třetím městem bylo Brno, které výzbroj TV 1 montovalo na 40 vozů. Brzdové odporníky a odporník výhybky je umístěn pod krytem na střeše nad zadním podvozkem. Tímto se tramvaje s touto výzbrojí na první pohled poznaly

2.2.3. Střídač

Pro funkci pulzního měniče o stálé nabíjení komutačního kondenzátoru C1 a kondenzátoru C4, pro náběh elektrické brzdy se stará střídač. Toto zařízení z napětí 24V dobíjí kondenzátory C1 a C4, 220V, pokud nejsou napájeny ze sítě. Střídač pracuje trvale i když vůz je pod napětím troleje. Je napájen z baterie.

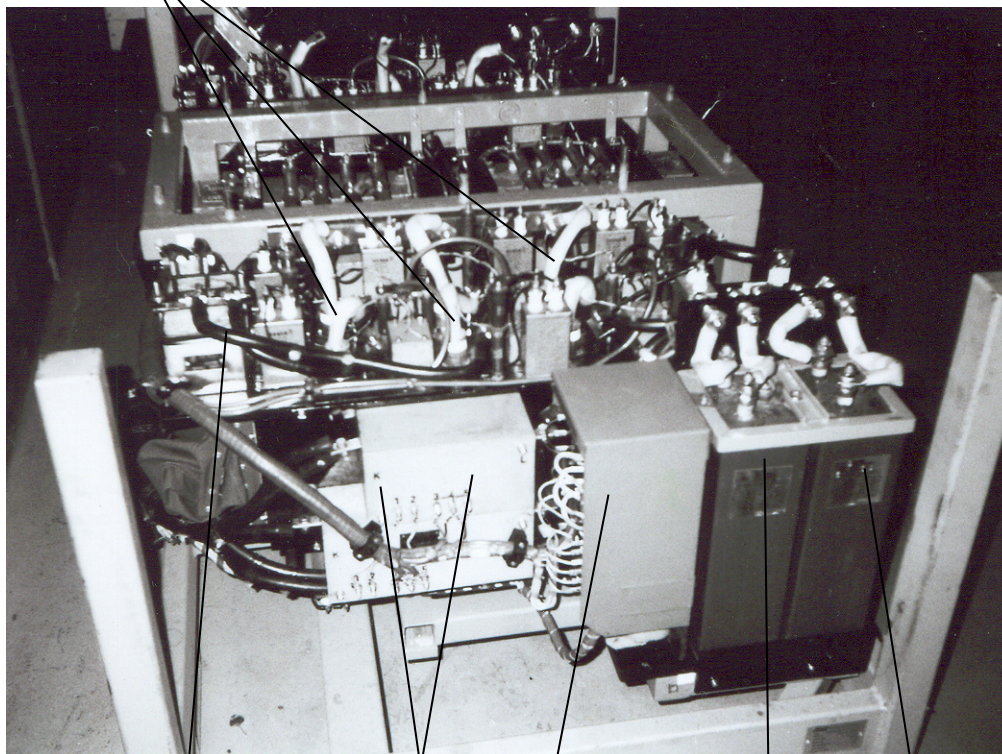
2.2.4. Naprosto plynulá regulace jízdy a brzdy

Tato regulace tramvají provozovaných v tehdejší Československu, nebyla nikdy co se týče plynulosti a svým rozsahem ovládní překonána. Bylo upuštěno od řazení jízdních, nebo brzdových stupňů podle Greyova kódu a tím poloautomatického řízení zrychlení, nebo zpoždění v pěti stupních. Ve výzbroji TV – 1 byly použity jízdní a brzdové potenciometry, které umožnily ovládat řízení tramvaje jízdu či brzdu naprosto plynule od 0 do plného výkonu. V tehdejších podmínkách to byl přínos, protože začínal se zvětšovat automobilový provoz a kolony tramvají na zahlcených

tratích nebyly nic neobvyklého. Neustálé popojíždění namáhalo odporovou výzbroj do krajnosti, neboť na tento způsob provozu nebyla projektována.

Tramvaj s tyristorovou výzbrojí TV – 1 může jet pomalou rychlostí v podstatě nekonečně dlouho, aniž by se s výzbrojí cokoliv stalo.

tyristory



dělicí transformátor převodníky střídač C4 brzd C1 komutační

Obr.č.5. Výzbroj TV 1

Nevýhodou tohoto ovládání bylo, že řidič při stání do svahu musel sešlápnout hlouběji jízdní pedál, aby vůz nezačal couvat. Nastavených 50 A nestačilo na rozjetí ve svahu. Pohon potenciometrů byl proveden ozubeným kolem na hřídeli řadiče, pomocí ozubeného řemenu se přenáší na ozubené kolo potenciometru. Vlastní potenciometry byly složeny ze dvou segmentů z cuprexitu, kde byly naletovány jazýčková relé, spínaná magnetem, pohybujícím se na hřídeli. Jazýčková relé spínají odpory potenciometru a tím řídí zadání pro jízdu, nebo brzdu. Zajímavostí je, že tyto potenciometry, rovněž tak řadič se v provozu vyznačovaly minimální poruchovostí. Řadič je nastaven tak, že nejprve sepnou bez napětí stykače a potom teprve po sepnutí dalšího doteku řadiče, probíhá vlastní zadání jízdy. Kontaktní doteky řadiče spínají nejen stykače a zadání, ale slouží stejně jako u Tě trojky pro ovládání kolejových brzd, brzdových světel.

2.2.5. Brzdové odporníky a odporník výhybky

Odporníky pro brzdu se již do prostoru zrychlovače nevešly a tak našly své místo na střeše vozu nad zadním podvozkem. Provedeno je to tak, že každý podvozek má svůj brzdový odpor. Tím je zajištěno, že i při přerušení brzdového odporníku, je zachována

elektrická brzda na polovině vozu, eventuálně i při jízdě na jeden podvozek vůz elektricky brzdí. Odporníky jsou vestavěny do rámu, tvoří je odporňkové šroubovice v sérioparalelním zapojení.

Třetí sada odporňků slouží jen pro ovládání elektrických výhybek. Zde jde o další, téměř o bezporuchovou součást elektrovýzbroje. Chlazení odporů je přirozeným prouděním vzduchu. Všechny rámy jsou umístěny na izolátorech pod krytem, který kromě bočnic je proveden z tahokovu. Kabeláž k těmto odporům je vedena mezi čtvrtým a pátým oknem vpravo uvnitř salonu, kde je umístěn zakrytý kabelový kanál.

2.2.6. Regulátor

Pulsní měniče ovládá regulátor, který je umístěn ve zvláštní skříni za stanovištěm řidiče..

Regulátor tvoří jednotlivé jednotky zasunuté v drážkách ve hliníkové skříni. Jednotky regulátoru jsou rozmístěny ve dvou řadách. Spodní řadu tvoří jednotky pro jízdu a brzdu, horní řadu tvoří jednotky zdroje, a jednotky pro vlastní činnost pulzního měniče. Činnost a některé funkce jsou signalizovány přímo indikátory na jednotkách. Jiné parametry je možné měřit pomocí zvláštního nastavce, kam se připojí měřicí přístroje. Zdrojové jednotky jsou společné pro oba měniče, a ještě dalších 5 převážně pro nastavování parametrů. Tento regulátor byl určen pro jiné zařízení než pro tramvaje a byl pro provoz tramvajů přizpůsoben. Speciálně jen pro tramvaj jsou jednotky ETR 1 a ETR 2. Regulátor zpracovává povely nejen od jízdňního, nebo brzdového pedálu, ale i zpětná hlášení od funkce pulzního měniče a stykačů.

Tab.č.3 Jednotky regulátoru

Jednotka	Funkce
ENB – 1	Jednofázový střídač
ENB -2	Jednofázový střídač
ENF – 1	Usměrňovací jednotky
ENS – 1	Stabilizátor napětí
ENS - 2	Stabilizátor napětí
EAR – 1	Operační zesilovač
EAR - 4	Jednotkový zesilovač
EAR - 7	Komparátor
ETR – 1	Logická jednotka
ETR – 2	Logická jednotka
EZZ - 1	Koncový stupeň
ESJ – 1	Jednotka pojistek
ELC – 4 (5)	reléovka
EAO - 6	Zadávací jednotka

2.2.7. Zadání jízdy

Vůz je v pohotovostním stavu. Jsou sepnuty silové stykače B1A, B1B a B2. Poloha řadiče zaparkováno. Odparováním brzdového pedálu je vůz připraven k jízdě. Sešlapujeme - li pomalu jízdňní pedál, je slyšet odpadnutí stykačů pro brzdu a sepnutí stykačů pro jízdu. RZ2, J1A,J1B, J2 a J3. Vůz však nejede. Po dalším sešlapování pedálu jízdy se vůz dává zvolna do pohybu. To se uzavřel obvod pro zadání jízdy a regulátor, který se ujistil, že jsou rozepnuty brzdové stykače a sepnuty stykače jízdňní,

vydal signál pro pulzní měnič, vše pořádku jedeme.

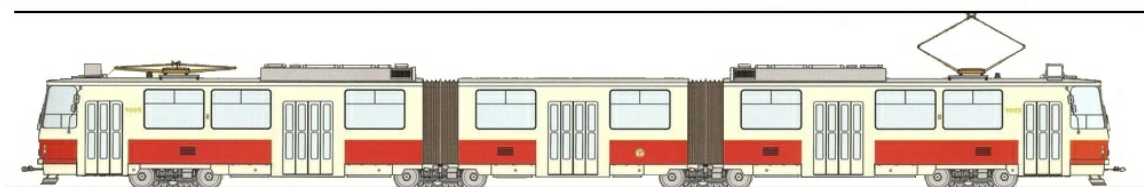
Pulsní měnič začíná pracovat podle toho jak velké napětí mu přichází od řadiče. Po puštění jízdního pedálu nastává jízda výběhem. Na rozdíl od vozů T3 s odporovou regulací, není na palubním ampérmetru žádná výchylka. Jízdní stykače odpadnou a elektrický obvod tramvaje se připraví pro brzdu. Sepnou stykače B1A, B1B a B2. Stykače B1A a B1B jsou pro jednotlivé podvozky, stykač B2 je společný. Stykače B1A a B1B mají pomocné pracovní doteky pro zadání brzdy, aby regulátor věděl, že jsou stykače sepnuty. Stykač B2 je bez doteků. Do spuštění brzdy zasahuje ještě svými klidovými doteky stykač J3, který v režimu brzda musí být rozepnut. Pak je teprve uzavřen obvod pro zadání brzdy. Zadání brzdy je obdobné jako zadání jízdy. Požadavek zpracovává regulátor a podle nich řídí pulzní měnič.

2.2.8. Zhodnocení

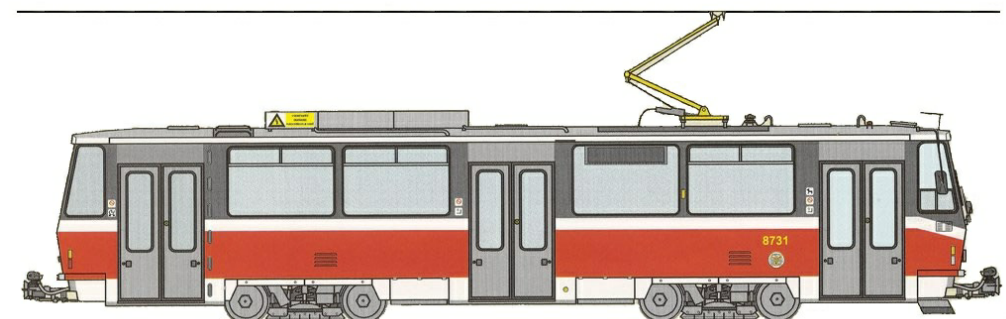
Výzbroj TV 1 přinesla do řízení tramvajových vozů nový směr, kudy by se měl vývoj ubírat.

Problém byl v tom, že se musely vyvíjet i součástky, neboť v té době byly podobné věci jen za devízy a nebo na ně bylo uvaleno rovnou embargo. I když se výzbroj do nových vozů v továrně nemontovala, jako stavebníci si ji však zakoupily některé DP a vozy s výzbrojí TV 1 provozovaly. Sbírali se první zkušenosti s polovodičovou výzbrojí a mnohé závady se podařilo vychytat. Výzbroj se stala postupem doby spolehlivou, za což patří dík zaměstnancům, kteří s ní přicházely do styku a dovedli ji téměř k dokonalosti. Na jediném voze vyrobeném v ČKD, byla v období zkoušek, zkoušena i rekuperace, která sice fungovala, ale předešla svou dobu. Výhoda řadiče s téměř nekonečným počtem jízdních stupňů a jemnou regulací nebyla od té doby překonána. Rovněž možnost jízdy a brzdy na jeden podvozek, byl krokem správným směrem. Pozdější výzbroje TV3, TV8 a TV14, mají řízení zadání jízdy a brzdy podle Greyova kódu ve stupních.

2.3. Výzbroj TV – 3 ČKD (KT8D5, T6A5)



Obr.č.6 KT8D5



Obr.č.7 T6A5

Koncem sedmdesátých let bylo jasné, že se vývoj regulace trakčních vozidel bude ubírat směrem k využití polovodičových prvků a opustí nevhodnou odporovou regulaci. První kroky byly učiněny výzbrojí TV – 1 z poloviny sedmdesátých let a výzbroj TV – 3 na ni navázala. Protož byly vyvinuty nové prvky tyristorů, které zvládaly proudové zatížení, nebylo potřeba je zapojovat po dvou do série se výzbroj značně zjednodušila. Koncem sedmdesátých let byla TV3 vestavěna do zkušebního vozu ČKD 0013, ve kterém probíhaly zkoušky. V roce 1982 byla tato výzbroj vestavěna do vozů KT4Dt. 0013 a 0014. Bylo rozhodnuto, že výzbrojí TV – 3, budou vybaveny nově projektované vozy KT8D5. To se skutečně stalo a v roce 1984, vyjely tříčlánkové KT8D5, 0018 a 0019 na koleje pražské sítě. Sbíraly se zkušenosti a doladovával provoz. V roce 1986 došlo na ověřovací sérii vozů KT8D5 v počtu 10 kusů. Sériová výroba KT8D5 naběhla v roce 1989. Elektrická výzbroj zachovala stykače pro jízdu, brzdu a reverz, které zapínaly a vypínaly bez proudového zatížení. Přístrojová skříň se stykači má ze zadu zabudovaný tyristorový měnič s tyristory a diodami. Pulzní měniče měly

zpočátku

o dvě diody více, protože tyristory nebyly ve zpětně vodivém provedení. To znamená, že neměly v sobě zabudovanou diodu. V sériovém provedení se však již začaly používat zpětně vodivé tyristory a diody se staly zbytečné. Během let se zpětně vodivé tyristory dosadily i na měniče, z prvních dodávek a příslušné diody se demontovaly. Jedna přístrojová skříň ovládá jeden podvozek. V tomto provedení je možno podvozek se závadou vypnout a pokračovat v jízdě na zbylé podvozky. Nejvíce můžeme vypnout dva libovolné podvozky u vozů KT8D5. Po vypnutí třech podvozků vůz již nejede. Tato výzbroj je značně rozšířena, byla montována do vozů T6 různého provedení, vozů KT4, KT8D5, včetně exportu. Za provozu výzbroj ukázala svoji robustnost a spolehlivost s malým počtem poruch. Během provozu byla výzbroj TV3 na pražských tramvajích upravena tak, aby tramvaje mohly jezdit na nově vybudované trati na Barrandov. Úprava se týkala přidáním teplotního čidla a úpravou regulátoru, konkrétně jednotek ZRSH a ZROH. Tramvaje KT8 D5 rovněž tuto úpravu měli, ale vzhledem ke konstrukci trakčních motorů TE 023, mohly na Barrandov vyjet a sjet dolů, ale nesměly jezdit pendl Barrandov – Hlubočepy. Nadměrné oteplení by trakční motory s vlastní ventilací zničilo. Vývody cívek kotvy nejsou svařované, ale letované.

2.3.1. Měničová skříň přední část

Přední část skříně, přístupná z boku vozu obsahuje stykače, komutační kondenzátor a kondenzátor pro spouštění brzdy, proudové a napěťové čidlo. Stykače jsou typu SA 781, stykač shuntovací J2 je typ SC 12. Vlevo je proudové a napěťové čidlo. GA 19 a GA 20.

Zadní část přístrojové skříně obsahuje desky s hlavním a pomocným tyristorem a desku s diodami. Ve skříni je dále vestavěna tlumivka L3 a bočník shuntování SH. Celá skříň je profukována proudem vzduchu z ventilátoru. Skříně jsou uzavřeny těsnými, ale dobře uzavíratelnými víky. Žaluzií je vyfukován proud vzduchu z ventilátoru chlazení PM. Vzhledem k provedení chlazení jedním ventilátorem, jsou skříně s pulsními měniči pravé a levé a jsou namontovány zrcadlově proti sobě. Filtrační kondenzátory a ostatní tlumivky jsou umístěny ve zvláštních rámech pod vozem. Výzbroj TV – 3 funguje v podstatě stejně jako TV – 1.

2.3.2. Jízda

Zadáním jízdy nejprve sepne relé ORJ, tím se rozepnou stykače brzdy a sepne stykače jízdy a stykač SL2. Po sepnutí jízdnic stykačů se kondenzátory C1 a C2, nabíjí na plné napětí a regulátor obdrží signál jízda. Tím se uvolní průchod zapalovacích impulsů pro hlavní tyristor T1 a trakční obvod se uzavře. Po dosažení požadované hodnoty vyše regulátor na pomocný tyristor T2, čímž se uzavře komutační obvod L1 – C1 a vypíná se tyristor T1. Proud trakčních motorů doznívá přes nulovou diodu D4 a tlumivku L3. Při poklesu proudu o nastavenou hysterézi dojde opět k sepnutí T1. Děj se opakuje po celou dobu rozjezdu. Střední hodnota těchto pulsů určuje napětí na trakčních motorech. Na konci rozjezdu dosáhne tato hodnota plného trolejového napětí a dochází k trvalému sepnutí tyristoru T1. V tomto okamžiku dává povel regulátor k zapnutí shuntovacího stykače J2. Pulsní měnič přejde opět do dvoupolohové regulace a udržuje proud kotev až do okamžiku, kdy je

znovu dosaženo plného napětí troleje na motorech.

Jízda má sedm stupňů volených podle Greyova kódu. Proudové hodnoty platí pro jednu motorovou skupinu (KT8D5).

Tab.č.7 rozsah proudů el.výzbroje TV3 pro jízdu

1 stupeň	60 A
2 stupeň	105 A
3 stupeň	150 A
4 stupeň	195 A
5 stupeň	240 A
6 stupeň	285 A
7 stupeň	330 A

2.3.3. Výběh

Uvolněním jízdního pedálu se okamžitě zruší signál jízda pro regulátor, což má za následek okamžitého vypnutí pulsních měničů. Odpadáva stykač ORJ, vypne stykače jízdy a SL2 a zároveň zapne stykače brzdy. Vzhledem k tomu, že pulsní měnič již nepracuje, stykače vypínají bez proudového zatížení. Vůz jede volnoběhem stykače elektrické brzdy jsou sepnuty, kondenzátory C1 a C2, jsou nabitě na plné trolejové napětí, tyristory T1 jsou rozepnuté, proud v magnetech TM je nulový. V případě výpadku trolejového napětí jsou kondenzátory nabíjeny ze střídače STN.

2.3.4. Brzda

Zadání brzdy se spustí sešlápnutím brzdové šlapky, sepnutím doteku řadiče BK 5, který přes pomocné doteky sepnutých stykačů brzdy dá povel do regulátoru brzda. Regulátor vyše zapalovací impulsy na tyristor T (HT), a tím se uzavře obvod pro předbuzení trakčních motorů. Nabité kondenzátor C2, se vybíjí v obvodu – D5 – B1 – P1 (Z1), magnety trakčních motorů, P2 (Z2) - IP2 – L4 a T1. Proudový impuls v magnetech TM, doznívá v obvodu diody D4 a zajišťuje rychlý nárůst brzdového proudu trakčních motorů při malých rychlostech.

Sepnutím tyristoru T1, se vyzkratuje též obvod trakčních motorů zapojených jako sériové generátory. Brzdový proud narůstá v obvodu kotvy trakčních motorů (působící jako zdroj) v obvodu: L2, B1, P1, (Z1), magnety trakčních motorů, P2, (Z2), L4, T1, D6, LO, IP1 a druhý pól kotev. Po dosažení žádané hodnoty proudu, vypne tyristor T1 a brzdový obvod se rozdělí na obvod kotev a obvod magnetů. TM.

Budící proud protéká z magnetů, přes stykače reverzu P, Z, D4, L3, B1, stykače reverzu P, Z, zpět do magnetů. Proud kotev je uzavřen přes L2, B1, R1, LO, a IP1 zpět ke kotvám. Proud magnetů se při brzdě liší od proudu magnetů kotev. Při rychlostech nad 50 km/h je proud magnetů nižší než proud kotev. Jeho velikost je řízena pulzním měničem tak, aby proud kotev měl žádanou hodnotu. Motory jsou řízeny obdobně

jako derivační dynamo. Při nižších rychlostech se proud magnetů plynule zvyšuje až nad hodnotu proudu kotev a motory jsou řízeny jako sériové generátory až do úplného zkratu. Žádaná hodnota proudu je řízena brzdovým řadičem (BK,2 BK3, BK4,) v Greyovu kódu podobně jako zadání jízdy. Brzda má rovněž 7 stupňů. Na všech těchto stupních udržuje pulzní regulace konstantní zvolený proud až do velmi malé rychlosti, kde je již obvod motorů vyzkratován. V případě ztráty trolejového napětí jsou kondenzátory C1 a C2, nabíjeny ze střídače, který je napájen 24V z baterie.

Je - li brzdová šlapka v pozici 3 – 7 stupně nastupuje mechanická brzda ve dvou stupních.

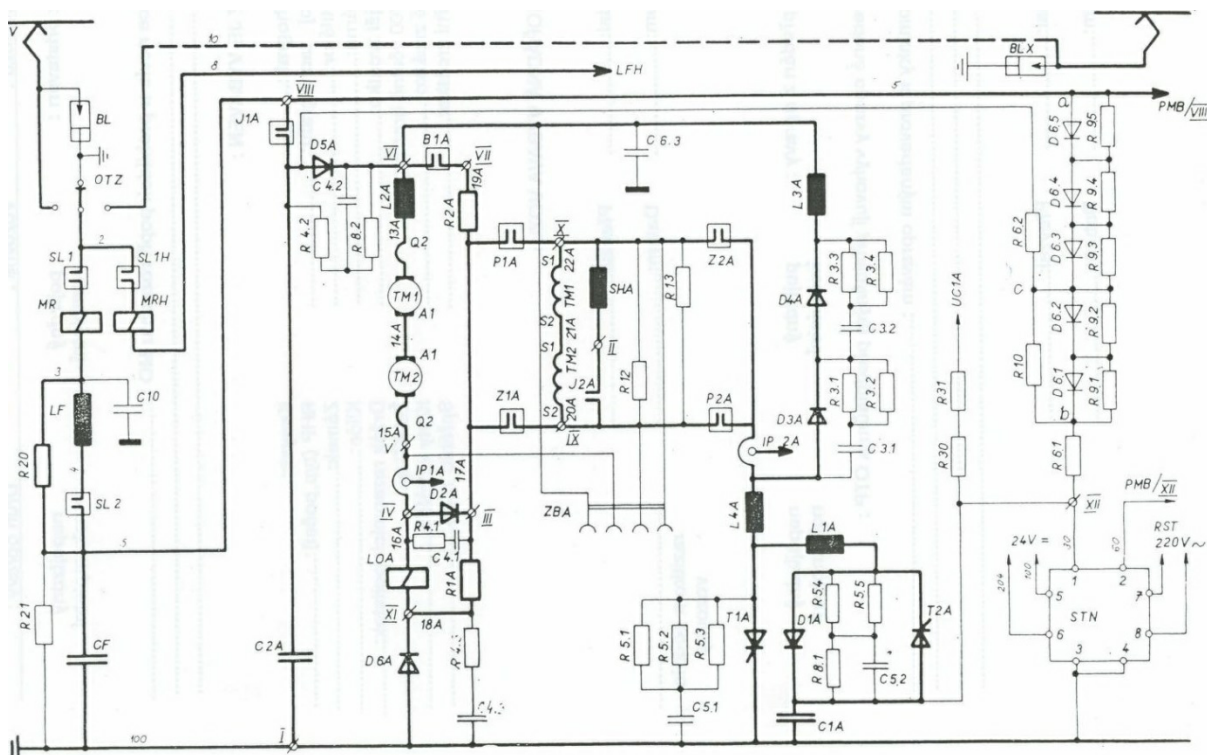
První stupeň je odvozen od vnitřních stavů elektronického regulátoru. Druhý stupeň prostřednictvím LO. Druhý stupeň působí pouze na 6 a 7 stupni řadiče brzdy. Na výzbroji TV3 byla odzkoušena rekuperace, ale vozy s ní nebyly vybaveny.

2.3.5. Řízení pulsního měniče

Řízení pulsního měniče obstarává regulátor GC 23PC, u vozů KT8D5, nebo regulátor GC 56P u vozů T6A5. Regulátory se liší pouze zadávací jednotkou ZVRZ. U vozů KT8D5 je použita zadávací jednotka ZVRZ 01C a u vozů T6A5 jednotka ZVRZ 01B. Tento regulátor je již vyvinut speciálně pro tramvaje. Regulátor reguluje střední hodnoty proudů kotev dvou motorových skupin, na zadanou hodnotu. V jízdě ovládá shuntovací stykače, v režimu brzdy ovládá dobrzdění mechanických brzd, skluzovou a smykovou ochranu a kolejnicové brzdy.

Obsahuje obvody kontroly komutační schopnosti pulzních měničů, signalizaci nadproudu v silovém obvodu motorové skupiny. Napájecím zdrojem je palubní síť 24V.

Kromě jednotek ZUNT, kterými lze nastavit skluzovou ochranu, nemá regulátor jiné nastavovací prvky. Jednotky ZJF, ZDVN, ZDMP mají měřící svorky a jsou černé. Červené LED diody signalizují stav regulátoru a funkci měniče. Stupně Greyova kódu jsou na jednotce ZDVN.



Obr.č.8 TV 3

2.3.6. Nízkonapěťová soustava

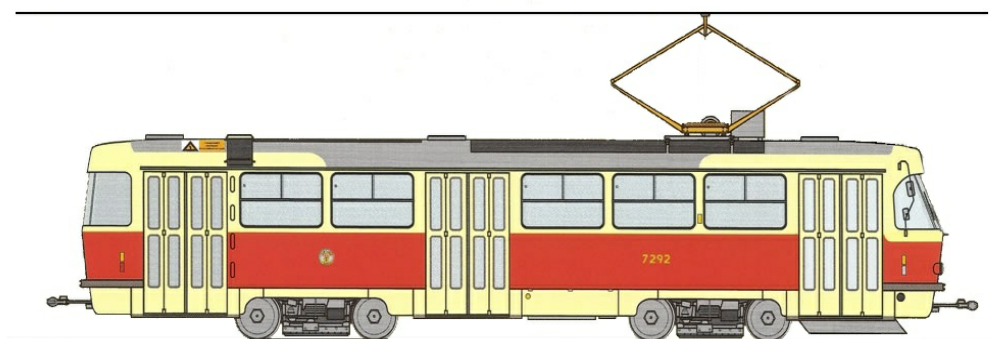
Palubní síť a síť ovládacích obvodů jsou napájeny napětím 24V DC. K napájení sítě slouží niklo - kadmiová sedmnácti článková baterie NKS 150 a dva statické měniče typu 2 UKSBR. 600/26V. Celý přístroj je umístěn v ocelové skříni, která je zavěšena na spodku vozu.

Skříň je rozdělena na dvě části. Přední, kde jsou filtrační C3 a komutační kondenzátory C 11, C 12, vstupní obvod s jednoimpulsním usměrňovačem V1 a V2, odrušovací kondenzátory C1 a C2, tlumivky L1 a kondenzátoru C3, řídicí jednotka A1, regulační jednotka A2, operační zesilovač A3, 2 tyristory, komutační dioda a impulsní traťka. Úplně vpravo je oddělovací dioda s chladičem. V zadní části skříně jsou umístěny přesytky L11 – L14, transformátor T1, tlumivka L21 a odpory R 11 – R 13. Jak to celé funguje. Vyhlazené ss napětí na kondenzátorovém filtru je vstupní hodnota pro střídač. C 11 a C2 se nabíjí a při cca 440V se zapálí tyristory V 11 a V 12. Napětí přes tlumivky L 13 a L14 a závěrnou diodu V 13 je přivedeno na vstup transformátoru. Toto napětí je přeneseno na sekundární stranu potenciálně oddělenou. Tento přenos energie se uskutečňuje pouze při sepnutí tyristorů V11 a V12. Na sekundáru vzniká tudíž jednopulsní usměrněné napětí. Sekundární napětí transformátoru je usměrněno v nastavitelném usměrňovači impulsů, s tyristorem V21 a diodou V22 a pomocí tlumivky V21 vyhlazeno.

Tento statický měnič je v podstatě univerzální a může být použit i tam, kde není řízení vozu tyristorovou výzbrojí. V provozu trpěly tyto statické měniče poruchami komutačních kondenzátorů, z výroby bývalé NDR od fy. RFT. Postupem doby byly tyto kondenzátory nahrazeny jinými od fy Bosch a situace se značně zlepšila. Objevila se další věc a to odletování přívodů komutačních odporů R11 – R13. Tyto odpory umístěné v malém prostoru a jejich výkonu 100W při 5 kusech vydávaly pěkné teplo a tak cín tál a přívody odpadly. Pro odpory byla vyrobena zvláštní skříň, která byla

umístěna venku na zadní stěně SM, čímž byla za jízdy ofukována proudem vzduchu a od té doby se již tato závada neobjevovala. Poslední léta provozu KT8D5 s výzbrojí TV3 z ČKD si nijak ve své spolehlivosti nezádala s výzbrojí TV 14 od fy Cegelec, kterou tyto vozy dostaly po rekonstrukci na N2. Navíc se dá říci, že elektrická výzbroj TV 3, co se týká oprav byla jednodušší a přístupnost některých komponentů, nesrovnatelně lepší. Některé součásti mají i neporovnatelně menší poruchovost, než u TV 14. TV 3 uměla rekuperovat, ale DP Praha na provoz s rekuperací nebyl připraven a tak vozy KT8D5 a T6, brzdily jen do odporů. Některé dopravní podniky v ČR provedly generální opravy KT8D5 tím, že vozy dostaly nízkopodlažní střední článek a elektrická výzbroj TV 3 z ČKD byla ponechána.

2.4. Výzbroj TV8 ČKD (T3R, T3G)



Obr.č.9 T3R

V začátku devadesátých let bylo v provozu značné množství tramvají dnes již legendární řady T3 s odporovou regulací TR – 37. Vzhledem k dobrému stavu tramvají, bylo uvažováno o jejich rekonstrukci a modernizaci. K tomuto měla napomoci nová elektrická výzbroj, vyvinutá v ČKD, pod označením TV 8. (1993). Tato elektrická výzbroj používá již vypínatelné tyristory GTO a je projektována tak, aby se vešla do prostoru po zrychlovači a zásahy do ostatních obvodů bylo co nejmenší. To se skutečně povedlo, neboť záskokové brzdové odpory, kondenzátory a tlumivky se do tohoto prostoru podařilo směstnat. V podstatě se opakovala sedmdesátá léta, kdy tyristorová elektrická výzbroj TV – 1, dodávaná jako stavebnice, nahrazovala odporovou výzbroj tramvají T 3. V nabídce TV – 8 byly dvě varianty. Jedna výměna samotné výzbroje TR – 32 za TV – 8 a druhá rovněž s výměnou výzbroje, ale i s výměnou motorgenerátoru za statický měnič. Některé nové vozy vyrobené v ČKD, byly elektrickou výzbrojí TV – 8 osazeny přímo z výroby. Výzbroj TV - 8 , byla zkoušena na pražském voze T3 e.č. 6551. Pod tímto číslem jezdil s cestujícími a byl vypravován z vozovny Pankrác. Později se přestěhoval do Hloubětína, kde na něm probíhalo měření, byl přechíslován na 8201 a jezdil dále s cestujícími.

Elektrická výzbroj TV – 8 byla již vybavena rekuperací, která fungovala bez problémů. Výzbroj TV – 8 neumožňuje jízdu na jeden podvozek. Jízda je možná jen na havarijní pojezd, tudíž jen ve dvojici, jako sunutý, nebo tažený vůz. Stykačové skříň, mnoho změn nepotkalo. Byly demontovány stykače F3 a F4 a dosazeno relé jízdy ORJ, relé brzdy ORB, relé P – Z a stykač předbuzení motorů.

Tab.č.8 Stykače TV 8

Označení	Funkce	Typ
M1 – M2	jízda	SA 781
B1 – B2	Brzda	SA 781
P - Z	reverzy	SA 781
R1 - R2	Jízda a rekuperační brzda	SG 11
F1 – F2	Shuntování.	SC 12

Reverzní stykače P – Z, byly osazeny pomocnými - doteky blokování proti zapnutí stykačů pro oba směry najednou. Na rozdíl od klasické T3 s TR 37, byla reverzace

přepojena do obvodu kotev. Změna směru jízdy není tedy změnou proudu procházejícím magnety motorů, ale kotvami. Zapojení trakce podvozků zůstala zachována. Rozjezd a jízda – trakční motory v sérii ve dvou paralelních větvích. Brzda - křížové zapojení jako u T3, tzn., motory 1 a 2 budí magnety 3 a 4, a motory 3 a 4, budí magnety 2 a 1. Shuntování obstarává jen jeden stykač. Každá dvojice motorů má svůj. F1 – přední podvozek, F2 – zadní podvozek.

2.4.1. Nové součásti výzbroje TV-8

Tyristorový blok TBG2 hlavního měniče Pe 32. Měnič je určen pro řízení trakčních motorů tramvaje T3. Parametry pro jízdu jsou : Pro jízdu při napětí troleje 600V, max. proud 500A. Pro brzdu 1 100V – 400A. Vlastní měnič se skládá s vypínatelného tyristoru GTO, nulové diody, rekuperační diody a odbuzovacích diod. Vydání zapínacího a vypínacího impulsu zajišťuje řídicí obvod UZ. Signál pro zapnutí = + 15V, pro vypnutí -5 V. Ochranné obvody pro tyristor GTO a nulovou diodu, jsou společné. Indukčnost L, určuje strmost nárůstu proudu tyristorem VS1. Při vypínání tyristoru VS1, chrání proti nedovolené strmosti nárůstu napětí kondenzátor C1, který musí být bezindukční. Přepětová ochrana tyristoru VS1, je zajištěna kondenzátory C2 + Cf3, zapojené přes diody V3 a VD4. Bezindukční odpor R (0,3 ohmu 1000W), zajišťuje vracení energie z kondenzátoru C2 do kondenzátoru Cf bez kmitání.

Dioda VD1, je chráněna proti přepětí kondenzátorem C6, který se na počátku brzdového cyklu vybíjí do obvodu trakčních motorů a tím napomáhá dobrému startu brzdy.

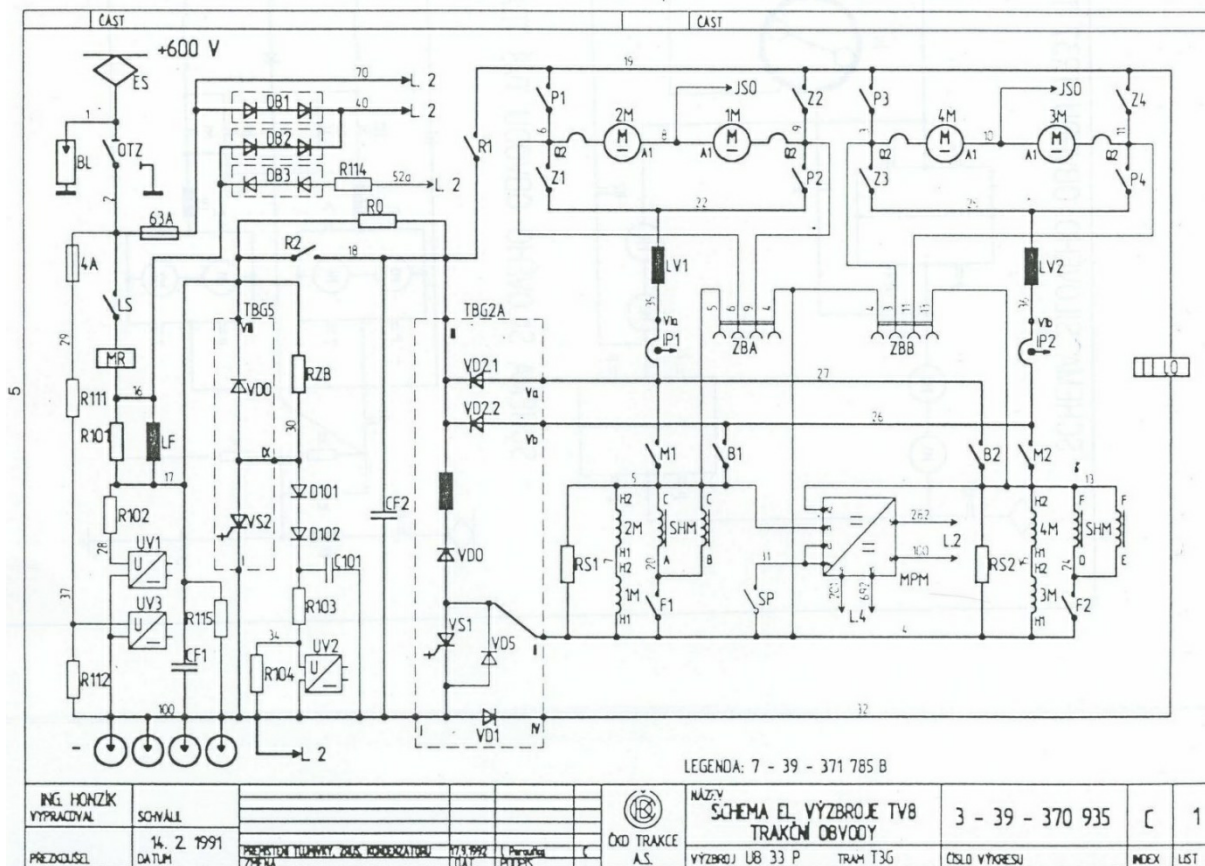
Tyristorový blok TBG 5 záskokového měniče PE 31. Tyristorový blok je navržen jako záskoková brzda, pro trakční rekuperační brzdu, při síťovém napětí 600/750V. Při své funkci udržuje max. napětí 820/resp. 1000V. Obvod záskokové brzdy je sestaven z vypínacího GTO tyristoru VS2, nulové diody VDO s ochrannými členy. Ochranu GTO tyristoru je použit ochranný DRC člen. Zapínací a vypínací obvod tyristoru GTO GE – 11. Po připojení k napájecímu napětí se rozběhne střídač a začne napájet vypínací obvod GTO tyristoru. V případě, že je napájecí napětí nižší, než 23V, musí být v chodu stabilizátor napětí s výstupem cca, 24V . Obecně platí, že při +15V je tyristor zapínán, při -5V vypínán a při 0V je držen ve vypnutém stavu. Elektronický regulátor GC 72P. Regulátor je určen pro elektrickou výzbroj TV – 8 s rekuperací. Regulátor je vestaven v hliníkové skříni systém Tesla ALMES. Sestava regulátoru GC 72P

2.4.2. Význam jednotek regulátoru

Tab.č.9 Jednotky regulátoru TV 8

ZJVP 1 – G	Jednotka vstupních povelů
ZZPS – G	Zadání proudových stupňů
ZRTP – G	Regulátor trakčních proudů
ZGZP – G	Generátor zapínacích pulzů
ZLOS – G	Logika ovládání stykačů
ZPSO – G	Protiskluzová/protismyková ochrana
ZDMP - G	Diagnostika a měření převodníků
ZRZB - G	Regulátor záskokové brzdy
ZVSS - G	Výkonový spínač stykačů
ZHTU – G	Hlídání tolerance napětí
ZSTU – G	Stabilizátor +15V

ZJVF - G	Vstupní filtr regulátoru
ZJPZ - G	Pulzní zdroj
ZJFZ - G	Filtr pulzního zdroje.



Obr.č.9 Výzbroj TV8

Regulátor zajišťuje tyto funkce

Regulaci rozjezdových proudů, v rozsahu 100A – 500A, v 7 proudových stupních s nelineárním odstupňováním

Regulaci brzdoých proudů, v rozsahu 120A – 400A, v proudových stupních lineárně odstupňovaných.

Štrmost nárůstu proudu 300A/s, štrmost poklesu – 1 500A/s

Řízení pulzního měniče záskokové brzdy

Ovládání LS, ovládání F1 a F2, SP (předbuzení), BR1, signalizace nadproud, indikace celkového proudu vozu.

Řízení protismykové a protiskluzové ochrany se signalizací skluz smyk a ovládání kolejnicových brzdy.

2.4.3. Zadání jízdy

Vůz je připraven v pohotovostní poloze k jízdě. Po odparkování je sepnuta na brzdoém řadiči jen BK2, která aktivuje relé ORB, které přeruší zadání pro brzdu a aktivaci RKB.

Sešlápnutím pedálu sepne relé jízdy ORJ. Svými pracovními doteky, zapne stykače jízdy M1 a M2, které svými pomocnými doteky sepnou stykače R1 a R2. Regulátor přizemní cívkou LS, který sepne. Na síť se připojí filtrační kondenzátory Cf1 a Cf2 spolu s filtrační tlumivkou LF. Zadáním pokynu k jízdě, se uzavírá trakční obvod přes stykač R1, stykače reverzu dle zvoleného směru, kotvy motorů 2,1, tlumivky LV1, proudové čidlo IP1, stykač M1, magnety motorů 2,1, na vstup do tyristorového měniče TBG2. Obvod pro druhý podvozek je obdobný. Od stykače R1, reverzní stykače, kotvy motorů 4 a 3, tlumivka LV2, proudové čidlo IP2, stykač M2, magnety motorů 4,3 a společný vstup měniče TBG2. Spojitý signál žádané hodnoty proudu motorových skupin, je v řídicích obvodech zpracováván na povel k vypnutí GTO tyristoru měniče. Proud v obvodu trakčních motorů, doznívá přes nulovou diodu VDO, až na hodnotu danou spodní hranicí hystereze, kdy dojde k novému povelu k sepnutí tyristoru. Po plném sepnutí regulátoru proudu, je v další jednotce zpracováván signál pro sepnutí shuntovacích stykačů a F2.

2.4.4. Režim brzda

Při puštění pedálu jízdy odpadne relé ORJ, které rozepne jízdní stykače a zároveň sepne do obvodu stykače brzdy B1 a B2. Linkový stykač zůstává sepnutý. Stykače B1 a B2, připojí magnety motorů křížem. Při vracení elektrické energie do sítě, se elektrický obvod uzavírá přes rekuperační diodu VD1, kotvy motorů, tlumivky LV1, LV2, stykače B1 a B2, magnety motorů, nulovou diodu VDO, srážecí odpor RO, diodu VDB, reaktor LF, LS, OTZ a pantograf do sítě. Pokud síť není schopna pojmout rekuperovanou energii, napětí stoupá, tak při hodnotě 820V sepne řídicí signál GTO tyristor VS2 v měniči záskokové brzdy a energie je mařena v odporu RZB. Paralelně k magnetům motorů je připojen pomocný měnič MPM, napájený ze sítě 24V, který zajišťuje při galvanickém oddělení vn a nn předbuzení motorů při brzdění, přes stykač předbuzení. Tím je zaručen bezpečný náběh brzdy už při 6 km/h. Stykač předbuzení SP ovládají pracovní doteky LO, B1 a přitemňuje regulátor. Po zastavení a odpadnutí LO, SP rozepne.

Původní stykače R1 a R2 typu SA 781, byly vyměněny za stykače SG 11, (pokud je tramvaje T3 neměly již z výroby od roku 1975), z hlediska většího proudového zatížení.

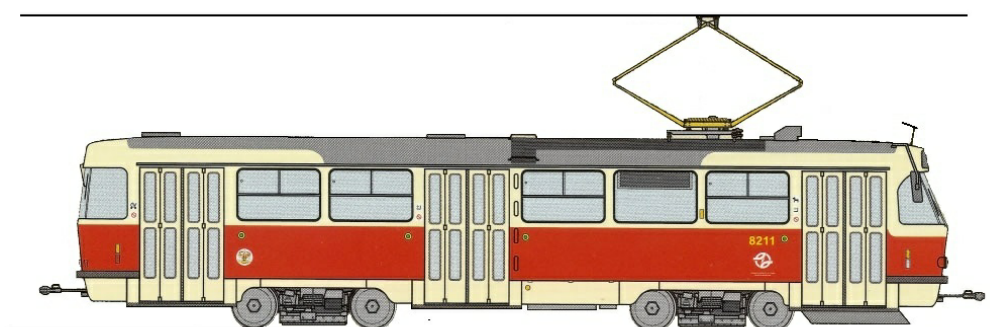
2.4.5. Resumé

Elektrická výzbroj TV8 se objevila počátkem devadesátých let, kdy jezdilo obrovské množství tramvajů T3 s nevhodnou odporovou regulací. Vzhledem nárůstu automobilové dopravy ve městech, tramvaje spíše popojížděly, než jely či se sunuly pomalu provozem. Tímto se nevhodnost stále zvyšovala, nehledě k extrémnímu namáhání elektrické výzbroje TR 37.

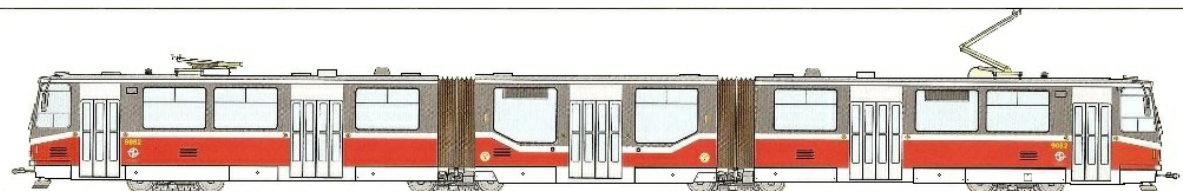
Tramvaj s tyristorovou elektrickou výzbrojí TV1, jezdilo v celém tehdejší Československu necelých 200. Další vozy s tyristorovou výzbrojí TV3, byly vozy KT8D5, kterých jezdilo 112 a tramvaje řady T6A5 jezdilo 73. Klasické T3 trojky v té době, masívně převyšovaly uvedený počet vozů s tyristorovou regulací. Vůz 8200 ex 7007 byl pod výrobním číslem 179 569 dodán z ČKD do Prahy jako vzorový vůz s výzbrojí TV8. Výhodou výzbroje TV8, byla snadná vestavba do prostoru po zrychlovači. Nízká energetická náročnost. Rekuperace elektrické energie.

Protismyková a protiskluzová ochrana. Proti výzbroji TV3, zabírá menší prostor a je podstatně lehčí. Nevýhodou je nemožnost jízdy na jeden podvozek. Jako stavebníci ji při modernizacích využily všechny DP v republice, kromě Prahy, která objednala 150 nových tramvají T6A5 s výzbrojí TV3.

2.5. Výzbroj Progress TV 14 Progress (T3R.P, T3R.PLF, KT8N2)



Obr.č.10 T3R.P



Obr.č.11 KT8N2

Elektrická výzbroj TV - 14 byla použita pro modernizaci tramvají řady T3 a KT8D5. Dosazována je při Generálních opravách tramvají.

Výzbroj TV - 14 byla použita jako první ve voze 8600 (ex T36)

Jedná se o elektrickou trakční výzbroj od firmy CEGELEC, TV Progress - typ CDC100 B.

Tato výzbroj byla v trakčním obvodu plně transistorována s použitím IGBT tranzistorů a pulzní výzbrojí. Stykači v trakčním obvodu byly osazeny pozice hlavní linkový stykač HLS a dvěma stykači pro jednotlivé trakční skupiny LS1 a LS2. V pomocných obvodech SM, SV, kalorifer a topení salonu.

2.5.1. Obvod pro jízdu

Pedálem/řadičem jízdy nebo brzdy se v řadiči spíná soustava kontaktů, 7 stupňů zrychlení a 7 stupňů zpždění. Přes kontakty řadiče je zadáván Grayův kód do regulátoru, pro nárůst jízdního proudu trakčních motorů s předem definovanou

strmostí. Jízdní a brzdové stupně se volí hloubkou sešlápnutí pedálů, ta je cca 35 stupňů. Každý stupeň má určitou proudovou hodnotu, která ovlivní rychlost vozu. Zadáním jízdy dojde k přerušení signálu pro snížené otáčky motorventilátorů a tyto přejdou na jmenovité otáčky pro chlazení dílů el. výzbroje. Vůz se rozjíždí konstantním zvoleným proudem až na charakteristiku plného magnetického pole motorů. Je-li zadán 5. – 7. stupeň, začne pracovat plynulé odbuzování motorů. Hloubka odbuzení je nastavitelná, zde na 50 . Během odbuzování je dále regulován proud kotvy na požadovanou hodnotu až do okamžiku, kdy se motory dostanou na charakteristiku odbuzených motorů. Přestává pracovat regulátor proudu kotvy, měnič je ve stavu trvalého sepnutí, dále probíhá regulace budícího proudu až k dosažení přednastavené minimální hodnoty, jejímž udržováním se tak nepřekročí max. otáčky a tím i rychlost vozu. Každý stupeň lze používat libovolně dlouho. Po uvolnění jízdního pedálu dojde ke zrušení zadání jízdy do regulátoru a vypnutí pulzních měničů, vůz přechází do výběhu a v motorech neteče proud.

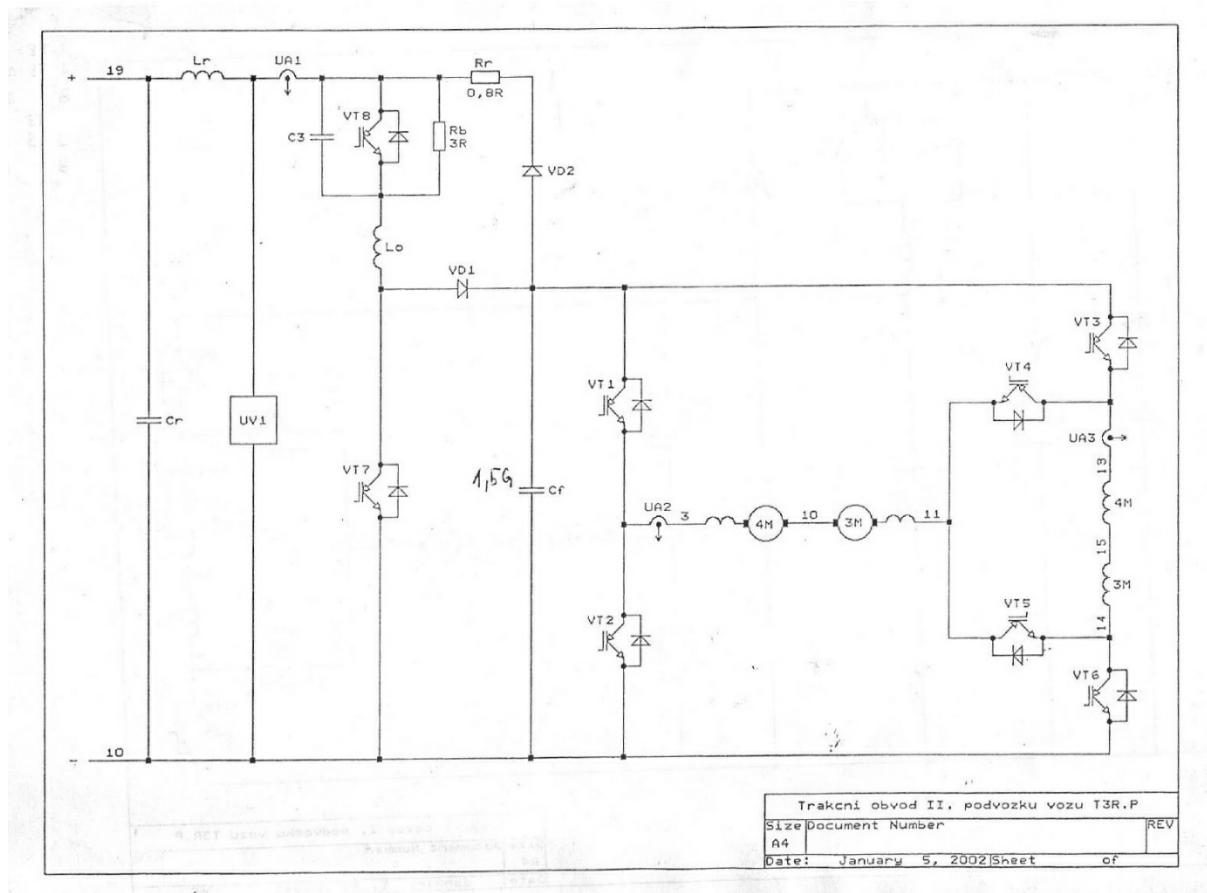
a) v před

Transistor VT1 spíná a rozpíná (čopruje), UA 2 a kotvy motorů, přes diodu u tranzistoru VT4 se dostane napětí UA3 na magnety a tím se sepne transistor VT6 a je trvale otevřen

b) vzad

Sepne transistor VT3 a je trvale otevřen napětí přes UA3 se dostává na magnety motorů. Přes diodu u tranzistoru VT5 se přivede napětí na kotvy a UA2, Transistor VT2 spíná a rozpíná (čopruje)

Oproti klasickému uspořádání se zde mění směr proudu v kotvách. Transistory VT4 a VT5 slouží pro shuntování, VT5 vpřed a VT4 vzad.



Obr.č.12 Trakční obvod TV 14 Progress – T3R.P

Rozsah proudu :

jízda 120 - 500 A celý vůz
brzda 96 - 400 A celý vůz

jízda 60 - 250 A podvozek
brzda 48 - 200 A podvozek

2.5.2. Použité prvky v trakčním obvodu.

Tab.č.10 Prvky použité výzbroji TV14 Progress

Označení součásti	použití
LF	Filtrační tlumivka
CF	Filtrační kondenzátor
UV 1	Napěťové čidlo sítě
UA 1	Proudové čidlo sítě
Rr	Vyrovňovací odpor 1 ohm
VT1	Transistor jízda vpřed
VT2	Transistor jízda vzad
VT3	Transistor jízda vzad a brzda vpřed

VT4	Shunt vzad
VT5	Shunt vpřed
VT6	Transistor jízda vpřed, brzda vzad
VT7	Brzda vpřed i vzad
VT8	Jízda vpřed i vzad
Cf 1,5 G	Hlavní filtr 1,5 G
UA 2	Proudové čidlo kotvy
UA 3	Proudové čidlo buzení
Rb	Brzdový odpor 3 ohmy
VD1	Dioda
VD2	dioda
C3	kondenzátor
L0	Hlavní filtr

2.5.3. Zapojení elektrického obvodu pro brzdu

Při sešlápnutí brzdového pedálu dojde k zadání brzdy do regulátoru. Přes kontakty řadiče je zadáván Grayův kód do regulátoru, pro nárůst brzdového proudu trakčních motorů s předem definovanou strmostí. Během brzdění (do rychlosti $4 - 2 \text{ km.h}^{-1}$) regulátor udržuje v kotvách motorů proud na zvolené hodnotě - hloubce sešlápnutí brzdového pedálu. Při elektrodynamické brzdě je brzdová energie vracena zpět do napájecí sítě, nelze-li, tak záskokovou brzdou do brzdového odporníku. Záskokový měnič začíná pracovat, dosáhne-li napětí troleje 800 V. Je-li hodnota větší než 900 V nebo menší než 550 V, popř. zkrat v napájecí síti, dojde k rozepnutí hlavního linkového stykače HLS a vůz dobrzdí do brzdového odporníku. Přechod mezi rekuperační a záskokovou brzdou je plynulý.

Na filtračním kondenzátoru Cf 1000V, Rr - síť 800V. UV1 s tranzistorem VT7 + Rr, hlídá napětí U Cf - 1000 V.

Obvod brzdy je následující:

Čidlo UA 2, VT 1 - dioda, VT 3 (čopruje), magnety motorů, VT5 - dioda, pomocné póly a kotvy (tm) zpět k UA2. Rozepnutím transistoru VT3 se obvod brzdy rozdělí na dva obvody.

Magnety, VT4 a VT5. Kotvy, UA2, dioda VT1, Cf, VT6, VT5, a zpět k e kotvám (tm).

VT7 - řídí rekuperaci. Start brzdy - krátké sepnutí VT3 a VT6. Test (C4) nabuzení trakčních motorů.

Funkce čidla UV - 1

Hlídá napětí sítě 1 000V, napětí ve výběhu 850 V a napětí při brzdě 820 V

Na kondenzátoru Cf je napětí až 1 000 V a je snaha udržet co největší napětí při brzděném režimu. Odpor Rr - 1r sráží napětí o 180 V.

APCE RS 232

APCE - rozhraní 232, mezi regulátorem a počítačem. Připojení je provedeno dvěma devítikolíkovými konektory Canon.

RS 232 A/B

RS 232 B

Regulátor upravuje shuntování. Je nutné odemknout správnou pozici regulátoru.

2.5.4. Brzda

a) Ovládání čelistové brzdy

"Skutečnost"

Proudová cívka LO je nahrazena regulátorem.

Napěťová cívka LO je ovládána přímo řadičem.

Výstupy z regulátoru

OSBR 1 - ovládá ERB (BR1)

OLO náhrada proudové cívky LO

OROV - zařazení jízdy, aktivuje se při kroutícím momentu na motoru.

b) Brzdění

Signál LOI - zadání stupňů brzdy 1 - 3 nedojde k zabrzdění.

Na 4 stupni poklesnou proudy v trakčním obvodu o 10A proti žádané hodnotě. Je deaktivován signál SBR 1 zmizí a je aktivováno ERB. Mezi 4 až 6 stupněm je možno znovu odparkovat, přesunutím páky řadiče do 0 polohy. 6 a 7 stupeň parkuje ve druhém stupni. (nastaveno 45 - 50A).

c) Hlavní linkový stykač HLS

HLS je řízen regulátorem. Stykač HLS sepne, je - li na Cf min. 50 V.

Není li splněna tato podmínka HLS nesezne.

Stykač HLS odpadne v režimu přepětí sítě nad 1 000 V, při podpětí sítě 400 V a při stisknutí tl. výhybka bez proudu. Rozepnutí při zkratu MR zůstalo zachováno. Zjednodušeně lze zjistit závadu podvozku pokud HLS nesezne vypnutím příslušného podvozku. Hlášení o nabití Cf je v sérii a je přemostěno vypínači podvozků.

Mimo společného HLS má každý měnič svůj další linkový stykač. Měnič na článku A SL - 1 a SL - 3, na článku B, SL - 2 A SL -4.

d) Skluzová ochrana

Vzhledem k nemožnosti dodržet párování trakčních motorů, je skluzová ochrana řešena pomocí čidel uložených ve víku převodových skříní. Tím jsou sledovány otáčky planetového kola převodovky.

Hrubé nastavení se provede zašroubováním čidla na dotyk s ozubeným kolem a povolením o čtyři otáčky. Další seřízení se musí provést podle TRS. Nastavení přezkoušet v max. provozní rychlosti 60 respektive 65 km/h.

Jedna otáčka čidla je změna vzdálenosti od ozubeného kola převodovky 1 mm.

2.5.5. Statický měnič

K napájení vozové sítě 24 VDC, dobíjení baterií, napájení sítě 3x 230 VAC, 30-60 Hz slouží dva statické měniče SMTK 6,3. K napájení vozové sítě 3x 400 VAC, 50 Hz se používá statický měnič SMTS 7,5.

a) SMTK 6,3

Každý krajní článek má tento měnič zavěšen po levé straně u vnitřního podvozku. Přední strana je výklopná, aby byl umožněn přístup pro měření a opravy. Ostatní strany lze rovněž sejmout, ale již je třeba odpojit propojení jednotlivých modulů. Všechny víka tvoří zároveň chladiče. Nastaven je na 26,4 V - 150A. Veškeré přívodní kabely jsou umístěny vpravo, kde jsou vývody.

Vstup je připojen na svorkovnici X - 1. Odtud je vedeno přes jednotku vstupního odrušení, odrušovací tlumivku L1, oddělovací diodu V1 (chrání proti přepólování), na filtrační tlumivky L2 a L3. Následují oddělovací tlumivky L4 a L5, a vlastní vstupní střídač. Střídač je propustný dvojčinný v půlmůstkovém zapojení s kapacitním děličem C13 a C14. Tvoří ho dva tranzistorové moduly M1 a M2 pracující paralelně do primárního vinutí transformátoru T1. Druhý konec primárního vinutí je zapojen na střed kapacitního děliče C 13, C 14.

Činnost střídače řídí řídicí jednotka DIO - 809 A. Na svorkovnici K3 je přivedeno napětí troleje. Na konektor K5 je vyveden přepínací kontakt signalizačního relé, který je propojen na svorkovnici X3. pozice 1,2,3

Sekundární vinutí transformátoru tvoří čtyři sekce, které jsou po usměrnění diodovými moduly M3 až M6 spojeny paralelně. Výstupní napětí je dále filtrováno tlumivkou L6 a kondenzátorem C15. Přes bočník R12 je výstup připojen ke svorkovnici X2. Zde naměříme 26,4 V stejnosměrných. Druhá část výstupu z transformátoru T1 tvoří dva můstkové usměrňovače SMT - 01A. Přes výstupní tlumivku na společném jádře s L6 a L7. Tlumivky L6 a L7, tvoří tzv. meziobvod. Na svorkovnici K2 svorky 3 a 5 je vstup střídače DIO 816. Střídač obsahuje 7 tranzistorů. Na výstupu je napětí 3 x 230 V střídavých. Jde o soustavu s izolovaným uzlem. (tranzistory běží na frekvenci $f = 10$ kHz). Přes výstupní filtr L8, L9, a L10 je střídavé napětí vyvedeno na svorkovnici X5. Výstup 3 x 230 V mezifázové napětí.

Aby fungoval střídač, musí být zatížen stejnosměrný výstup.

Řídicí jednotka DIO 814 řídí střídač DIO 816 - 6 tranzistorů pro výstup. Sedmý transistor tvoří tzv. brzdu. Na řídicí jednotce DIO 814 je relé pro signalizaci.

Střídavý výstup 230 V

65 Hz --- ventilátory za jízdy

30 Hz --- ventilátory ve stanici

50Hz --- zásuvky

b) SMTS 7,5

Statický měnič SMTS 7,5 je na tramvaji KT8N2 jen jeden a slouží k napájení klimatizace Bahoza. Namontován je na článku A, vedle skříně mezivozového stykače SP1 a stykače SM 5 pro daný měnič klimatizace.

Konstrukčně se liší od měniče SMTK jen tím, že nemá stejnosměrnou část. Primární část je shodná. Sekundární část má na výstupu blok SMT 02 A. Výstup je dává 3x 400 V střídavých.

Tab.č.11 Srovnávací tabulka modulů SMTK/S

SMTK 6,3		SMTS 7,5	
Označení modulu	použití	Označení modulu	použití

SMT - 08 A	Radiový filtr	SMT - 08A	Radiový filtr
V1	Oddělovací dioda	V1	Oddělovací dioda
L2,L3	Filtrační tlumivky	L2, L3	Filtrační tlumivky
SMT 09 A	Vstupní filtrace	SMT - 09 A	Vstupní filtrace
L4, L5	Oddělovací tlumivky	L4, L5	Oddělovací tlumivky
M1, M2	Vstupní střídač.	M1, M2	Vstupní střídač
SMT - 05 A	Jednotky ochranných obvodů	SMT - 05 A	Jednotky ochranných obvodů
DIO - 710 A	Jednotky optických vazeb IPM	DIO 710A	Jednotky optických vazeb IPM
DIO 809 A	Řídící jednotka	DIO - 809 B	Řídící jednotka
T1	Dva výstupy	T1	Nemá ss výstup.
L7	meziobvod	L6	meziobvod
		SMT - 09 B	Filtrace

Tab.č.12 Srovnávací tabulka modulů SMTK/S

DIO 816	Střídač 3x 230V	DIO 8123	Střídač 3x 400V
DIO 814 F	Řídící jednotka	DIO 814 F	Řídící jednotka
R 12	Bočník 150A/60 mV		

Palubní síť

Statické měniče pracují každý zvlášť. V případě poruchy je dále napájena v nouzovém režimu palubní síť, ale není dobíjena baterie na článku ,kde je měnič odstaven z činnosti.

Kolejnicové brzdy na člancích, jsou napájeny ze svojí baterie.

Regulátory topení Bahoza

Těchto regulátorů je celkem 5.

Na článku A jsou dva:

- pro topení (ST - 1. stykač SE - 11),stykač ST - 3, není zapojen.
- pro kalorifer (SK - 1 , SE - 11).

Článek B má tyto regulátory tři:

- topení ST - 2
- kalorifer SK - 2
- topení střední díl SK - 4

Použité stykače jsou SE - 11.

Od 24 vozu bylo topení salónů změněno a regulátory od Bahozy byly osazeny pouze kalorifery - klimatizace. Regulaci topení obstarávají bezporuchové regulátory Cegelec.

Pro nadměrnou poruchovost topení salónu bylo topení rekonstruováno a přidány další dva stykače ST3 a ST4.

2.5.6. Uspořádání trakčních měničů

Na trakční měnič je připojen jeden podvozek. Podle toho kolik má tramvaj podvozků, tolik je trakčních měničů. V případě poruch lze kterýkoliv podvozek vypnout přepínačem podvozků.

Měnič je pojat jako kompaktní celek, s veškerým zařízením. Je rozdělen do tří bloků a to: Hlavní blok, blok brzdy a záskokové brzdové odpory. Veškerá činnost trakčního obvodu je řízena tranzistory VT-1 až VT-8. Ventilátor chlazení bloků a odporníku je součástí kontejneru. Kontejner pohonu, je k připojen k síti 24V konektory Harting. Řízení činnosti trakčního měniče obstarává regulátor. Ve starším provedení je řízení analogové. Regulátor je umístěn za kabinou řidiče, spolu s relé a dalšími prvky ovládání vozu.

Regulátor analog, je klasického provedení s jednotkami v aluminiové vaně ve dvou řadách.

Novější provedení digitálního řízení, je regulátor v podstatě menším provedení, vestavěn do kontejneru trakčního měniče. Kontejnery pohonu jsou záměnné, jen se liší programem regulátoru. Regulátor se dá naprogramovat pro daný typ vozu. Program DAL je pro vozy KT8D5RN2P a pro vozy T3 je určen program DAA. Tak jako všechny výzbroje má i TV 14 své klady a zápory. Celkově se jedná o téměř bezporuchový provoz. Postupem času se však ukázala nízká spolehlivost ventilátorů chlazení, ale i umístění regulátoru pod hlavním blokem není nejšťastnější řešení. Výměna některých komponentů je ve své podstatě horší, než u starší výzbroje TV – 3. Rovněž absence některých dílů (např. statické měniče, či jejich částí) zvyšuje poruchovost vozů.

2.6. Výzbroj 14T (14T)



Obr.č.13 Vůz 14T

Vůz 14T je pětičlánková nízkopodlažní jednosměrná tramvaj, která je složená ze dvou krajních článků 1, 5; dvou vložených zavěšených článků 2, 4; a prostředního článku 3. Články 1, 3 a 5 jsou uloženy na třech shodných dvounápravových podvozcích, z nichž každý je poháněn dvěma asynchronními trakčními motory, které tvoří vždy jednu motorovou skupinu. Zavěšené články tvoří nízkopodlažní část vozu. Spojení článků umožňuje průchod vozem po celé délce.

Vůz je vybaven systémem udržujícím automaticky zvolenou konstantní rychlost a upravujícím jízdní charakteristiky v závislosti na obsazení, sklonových poměrech a poloměru trati.

Vůz má tyto vozové sítě:

- stejnosměrnou 24 VDC,
- střídavou 3x 400 VAC 50 Hz typ sítě TT,
- střídavou 230 VAC 50 Hz 2 kVA pro úklid.

2.6.1. Trakční obvod

Pohon vozu zajišťují trakční asynchronní trojfázové motory. Řízení pohonu je elektronické, na bázi IGBT techniky, která umožňuje rekuperaci. Každý podvozek má vlastní trakční měnič. Kontejnery s elektrickou výzbrojí jsou na střeše umístěny tak, aby umožnili snadnou montáž a demontáž.

Trakční měnič napájí dva paralelně připojené asynchronní motory s kotvou nakrátko. Vstupem je stejnosměrné napětí napájecí troleje. Měnič umožňuje provoz při sníženém napětí, např. průjezd mycí linkou. Výstupem měniče je třífázové střídavé napětí o proměnné velikosti a frekvenci. Frekvence a velikost střídavého napětí se mění prostřednictvím algoritmu spínání jednotlivých tranzistorů při využití pulsně-šířkové modulace.

Měnič umožňuje činnost pohonu v brzděném režimu. Při brzdění se energie přednostně rekuperuje zpět do napájecí troleje. Ta část energie, kterou není trolej (jiný vůz či vlastní spotřebiče) pojmout, se automaticky mění v teplo v brzdovém odporu. Měnič obsahuje napájecí kladný vývod pro měnič pro pomocné pohony a

nabíječ vozové baterie.

2.6.2. Jízda

Napětí se od PTG, tlumivka L01 a elektricky ovládaný uzemňovač Q03 dostane na přívod rychlo vypínače Q01. Po splnění všech podmínek k jízdě rychlo vypínač sepne a napětí se přes čidlo trolejového napětí T5 dostane na tři trakční kontejnery. V každém kontejneru se sepne stykač K2 a předbíjecí odpor R2. Přes pojistku F1 tím se zajistí předbití stykače K1, který sepne trakční obvod. Proudové čidlo T1 hlídající velikost protékajícího proudu a tlumivka L1 přivede napětí na hlavní filtry jednotlivých bloků SKiipů trakční jednotky.

SKiipů je v trakční jednotce šest. V6 zajišťuje rekuperaci elektrické energie zpět do sítě. Jednotka V5, V6 jsou určeny k brzdě vozu a maření přebitečné energie v brzdových odpornicích. Fázové jednotky V1, V2, V3 obsahují pro každou fázi jeden dílek s dvěma tranzistory IGBT s diodou paralelně zapojenou s filtrem. Spínáním a vypínáním tranzistorů se vytváří střídavé pole každé fáze. Všechny tři fáze jsou posunuté vůči sobě o 120 stupňů. Z výstup trakční jednotky vedou tři fáze na dva asynchronní motory zapojené paralelně.

Chod motorů se řídí frekvenčně, napěťově a změnou režimu. Rozjezdový proud 14T je max. 1200 A.

2.6.3. Brzda

Brzdu zajišťují jednotky V4 a V5, které musí mít nabitě kondenzátory tím se jim v režimu brzdy zvedá napětí na filtrech. Podle napětí v síti, algoritmu řízení a čidel polohy motorů rozhodne řídicí jednotka zda bude vůz rekuperovat a vracet energii přes SKiIP V6 do sítě nebo brzdít do brzdových odporů a mařit energii v nich. Samozřejmě, že je možnost i obojího najednou.

2.7. Výzbroj 15T (15T)



Obr.č.15 Vůz 15T

Vůz 15T je tříčlánková 100% nízkopodlažní jednosměrná tramvaj. Pod čely vozu a pod přechodovými klouby jsou umístěny celkem čtyři hnací podvozky s nezávislým pohonem jednotlivých kol. Hnací podvozek / čtveřice motorů tvoří nezávislou motorovou skupinu.

Trakční výzbroj se skládá s šestnácti synchronních motorů o výkonu 16x46,6 kW při rozjezdovém momentu 16x 2270 Nm. Trakční jednotky TJ1.1 s brzdovými odporů jsou rozloženy – jeden na prvním článku, dva na druhém článku a jeden třetím článku. Pro napájení sítě pohonů 3x 400 V AC, 50 Hz slouží statický měnič, umístěný na třetím článku. Součástí měniče jsou rovněž nabíjení a rozvod sítě 24 V DC. Akumulátorová baterie 24 V DC s odpojovačem, ovládaným ze salónu, je umístěna na třetím článku v samostatné skříni.

2.7.1. Trakčních jednotek TJ1.1

Skříň trakční jednotky je rozdělená na dvě části, v jedné jsou elektrické přístroje, ve druhé jsou brzdové odpory a chladicí systém pro trakční motory. V přístrojové části jsou upevněny stykače a relé, pojistkový odpojovač s pojistkou 600 V, jističe 400 V AC i 24 V DC, výkonové bloky, diodové moduly, kondenzátory, odporů, vy-hlazovací tlumivky, převodníky napětí, radiální ventilátor, řízení hlavního pohonu s interface. Ve druhé části je upevněna dvojice brzdových odporů, vodní výměník s čerpadlem, a axiální ventilátory pro jejich chlazení.

Trakční jednotka TJ1.1 slouží k napájení čtyř synchronních motorů s permanentními mag-nety pro trakční pohon tram-vaje. Každý motor je napájen z vlastního měniče. Vstupem trakční jednotky je stejnosměrné napětí napájecí troleje. Měničová část

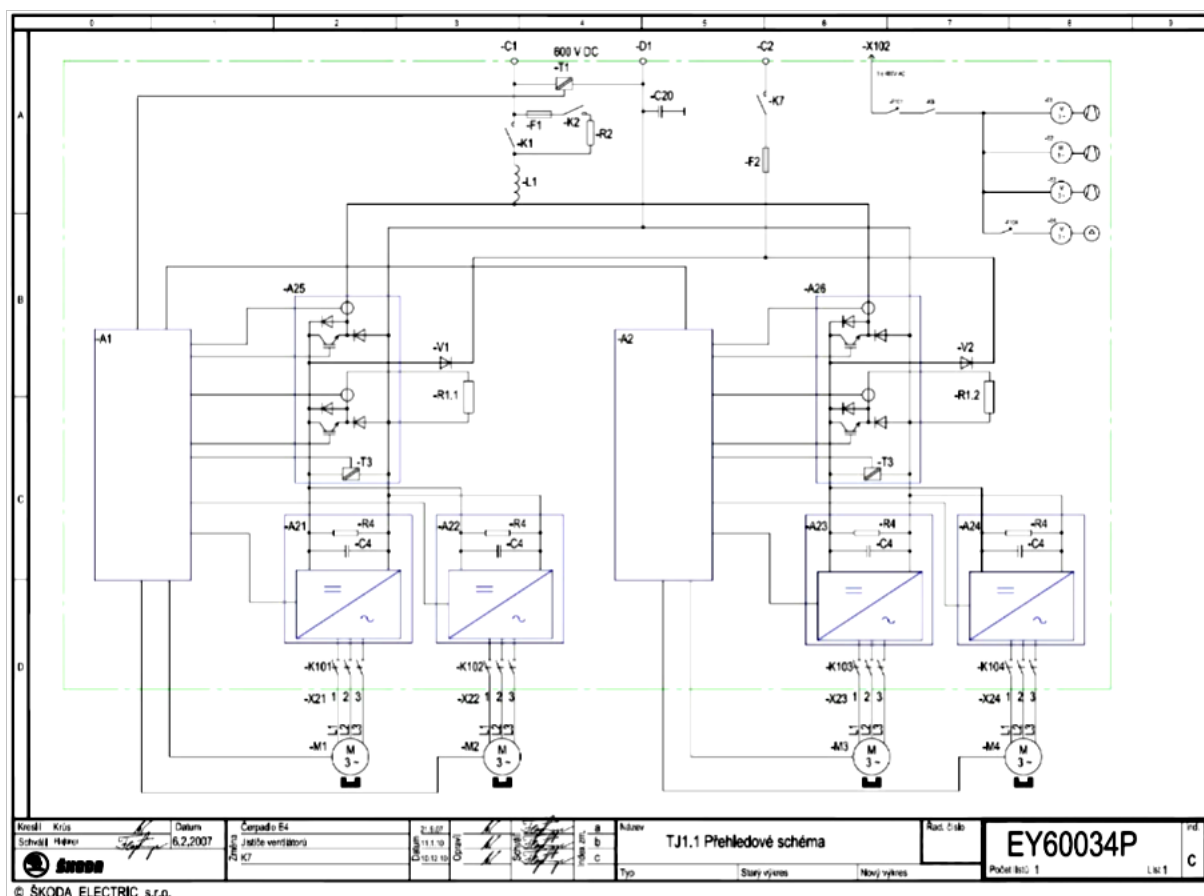
trakční jednotky zároveň obsahuje i pulzní měnič pro odporové brzdění a rekuperační spínač. Tyto obvody jsou vždy sdruženy pro dvojici střídačů, která přísluší jedné virtuální nápravě. Součástí trakční jednotky je kromě samotných střídačů také brzdový odporník a výměník pro chladicí kapalinu trakčních motorů.

2.7.2. Vstupní obvody

Vstupní obvody zahrnují linkový stykač -K1, vstupní tlumivku -L1 a čidlo trolejového napětí -T1 a kondenzátor -C20. Dále je zde obvod nabíjení kondenzátorů meziobvodu, který zahrnuje nabíjecí odpor -R2, stykač -K2 a pojistku -F1. Všechny tyto komponenty jsou společné pro jednu celou trakční jednotku.

Dále se již obvody větví na dvě části, kdy každá z nich je přiřazena jedné virtuální nápravě. Jednotky -A25 a -A26 obsahují pulzní měnič pro odporové brzdění, dále pak spínač pro rekuperační brzdění a vstupní diodu. Vzhledem k tomu, že na místě IGBT modulů jsou použity inteligentní moduly SKiiP, je jejich prostřednictvím zároveň zajištěno i měření trolejového proudu a proudu do brzdového odporníku (ochranné funkce a výpočet teploty odporníku). Stejnoseměrný meziobvod je uzpůsoben pro připojení napájení kontejneru pomocných pohonů stykačem K7.

Vstupní obvody měniče jsou uzpůsobeny i napětí 24 V pro bateriový pojezd.



Obr.č.16 Trakční jednotka TJ.1. Přehledové schéma

2.7.3. Střídačová část

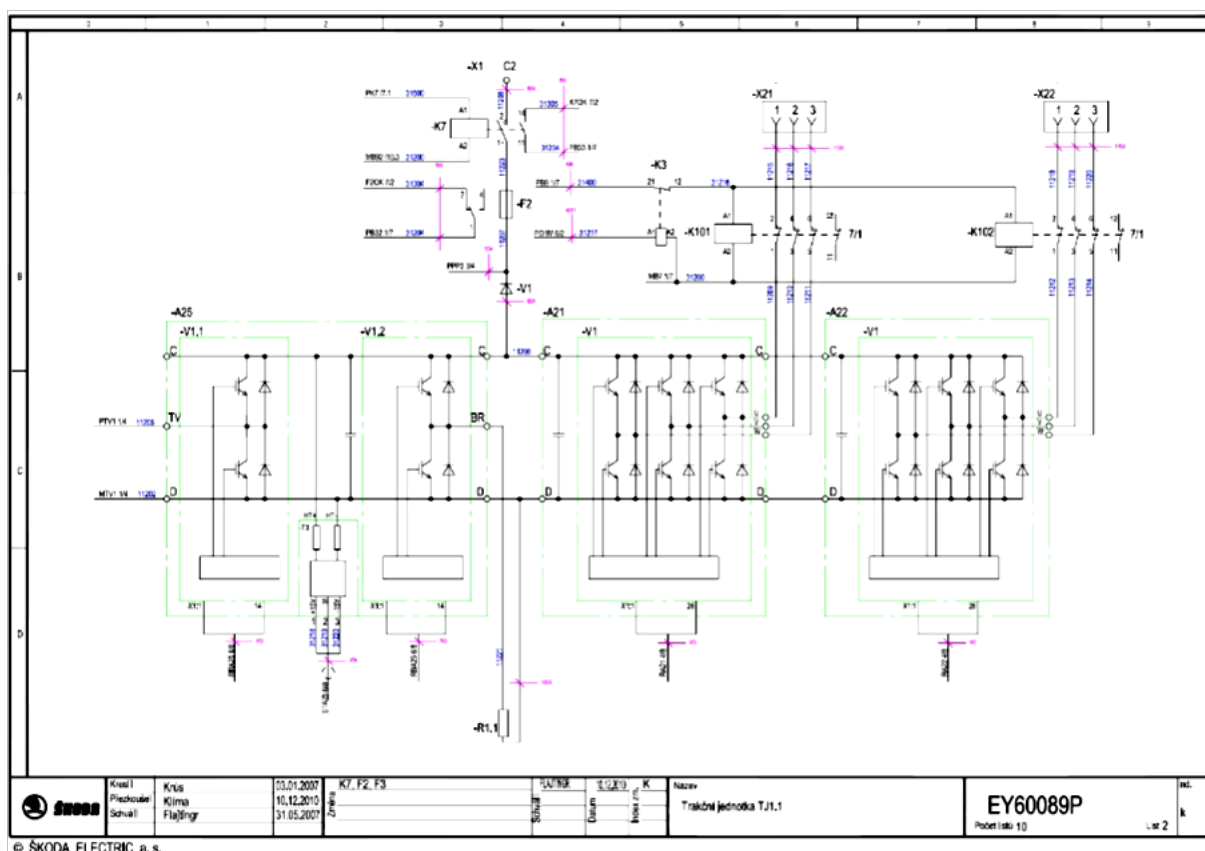
Základem střídačové části jsou čtyři výkonové jednotky založené na IGBT modulech.

Čtyři třífázové výkonové jednotky (-A21 až -A24) slouží jako střídače pro napájení trakčních motorů, každá z jednotek pro napájení jednoho motoru. Vždy dvě výkonové jednotky, které napájí jednu virtuální nápravu jsou spojeny do jednoho společného meziobvodu.

Na výstupu pro jednotlivé motory jsou zapojeny stykače -K101 až -K104, které jsou schopny bezvýkonového odpojení vybraných motorů v případě poruchy.

2.7.4. Blok brzdových odporů

Součástí trakční jednotky je rovněž brzdový odpor, který je rozdělen do dvou sekcí – každá přísluší jednomu meziobvodu. Odporník je navržen jako nuceně chlazený ventilátory napájenými ze sítě 400V. Odporník je navržen tak, aby i při výpadku napájení 400V bylo možné jedno zabrzdění EDB do zastavení. V rámci trakční jednotky je zajištěno nepřímé měření teploty brzdových odporů na základě měření elektrických veličin. Ve výjimečných případech, pokud by došlo k překročení mezní teploty brzdového odporu, předejde řízení měniče poškození odporu vypnutím EDB a vyslání signálu pro převzetí brzd.



Obr.č.17 Trakční jednotka TJ.1.

2.7.5. Chlazení a řízení

a) Chlazení

Chlazení trakční jednotky je zajištěno třemi ventilátory. Jeden radiální ventilátor (E1)

je použit pro chlazení polovodičů, dva axiální ventilátory a jsou použity pro chlazení výměníku (E2) a brzdových odporů (E3). Regulace otáček ventilátorů je zajištěna zvláštním výstupem měniče pro pomocné pohony s nastavitelnou výstupní frekvencí. Výměník a čerpadlo (E4) pro chladicí kapalinu pro trakční motory jsou rovněž umístěny v prostoru trakční jednotky.

b) Řízení

Řízení je zajištěno pomocí dvou řídicích jednotek (-A1, -A2), které jsou mezi sebou propojeny komunikací. S dalšími zařízeními mimo kontejner řídicí jednotky komunikují prostřednictvím CAN komunikace případně prostřednictvím logických vstupů a výstupů. Jednotka obsahuje konfigurační vstupy, které umožňují konfiguraci jednotky v rámci kontejneru i v rámci celé sady elektrovýstroje.

2.8. Porovnávací graf spotřeby elektrické energie[1]

Průměrná cena elektřiny za rok 2015 2,83 Kč/kWh
Délka standartní směny: 270 km

Tab.č.13 Graf spotřeby el. energie

Krátké jízdní soupravy [15 m]					
Typ vozu	Spotřeba na km [kWh]	Náklady elektřiny na km [Kč]	Modelový denní výkon 270 km	Ztráty vůči nejlepšímu vozu při denním výkonu 270 km	
T3R.P_D	1,783 kWh	5,05 Kč	1 362,34 Kč	0,00 Kč	0%
T3R.PLF	1,814 kWh	5,13 Kč	1 386,32 Kč	23,98 Kč	1,8%
T3M2	2,608 kWh	7,38 Kč	1 992,81 Kč	630,47 Kč	46,3%
T6A5	2,799 kWh	7,92 Kč	2 138,37 Kč	776,03 Kč	57,0%
T3Su	3,041 kWh	8,61 Kč	2 323,70 Kč	961,37 Kč	70,6%

Tab.č.14 Graf spotřeby el. energie

Dlouhé jízdní soupravy [30 m]						
1. Vůz	2. Vůz	Spotřeba [kWh] na km	Náklady elektřiny na km [Kč]	Modelový denní výkon 270 km	Ztráty nejúspornější soupravě při denním výkonu 270 km	
T3R.P_D	T3R.P_D	3,566 kWh	10,09 Kč	2 724,67 Kč	0,00 Kč	0%
T3R.PLF	T3R.P_D	3,597 kWh	10,18 Kč	2 748,66 Kč	23,98 Kč	0,9%
14T		3,811 kWh	10,78 Kč	2 911,62 Kč	186,94 Kč	6,9%
KT8N2		4,118 kWh	11,65 Kč	3 146,70 Kč	422,03 Kč	15,5%
15T-1		4,123 kWh	11,67 Kč	3 150,52 Kč	425,84 Kč	15,6%
15T-2		4,242 kWh	12,01 Kč	3 241,60 Kč	516,93 Kč	19,0%
15T-klimatizace		4,451 kWh	12,60 Kč	3 401,19 Kč	676,52 Kč	24,8%
T6A5	T6A6	5,131 kWh	14,52 Kč	3 920,35 Kč	1 195,67 Kč	43,9%
T3M2	T3M2	5,216 kWh	14,76 Kč	3 985,61 Kč	1 260,94 Kč	46,3%
T3Su	T3Su	6,082 kWh	17,21 Kč	4 647,40 Kč	1 922,73 Kč	70,6%

Spotřeba vozů zaznamenávána za 365 dnů v provozu s proměnlivým začátkem a koncem.

Vozy 15T.2 a 15T-Klimatizace v provozu jen 342 dnů.

Samostatný vůz T6A5 byl provozován v nepříznivém grafikonu. Krátký jízdní výkon a standardní obrotový čas.

Spotřeby trakční energie

Elektrická výzbroj T37 má největší spotřebu el. energie a to kolem 3,66 kWh/vozk. Vůz T3 tedy považuji za referenční a veškeré úspory el. energie uvedené v tabulce 2 jsou vztahované k vozu T3.

Tab.č.15.Početů vozů a jejich technické parametry

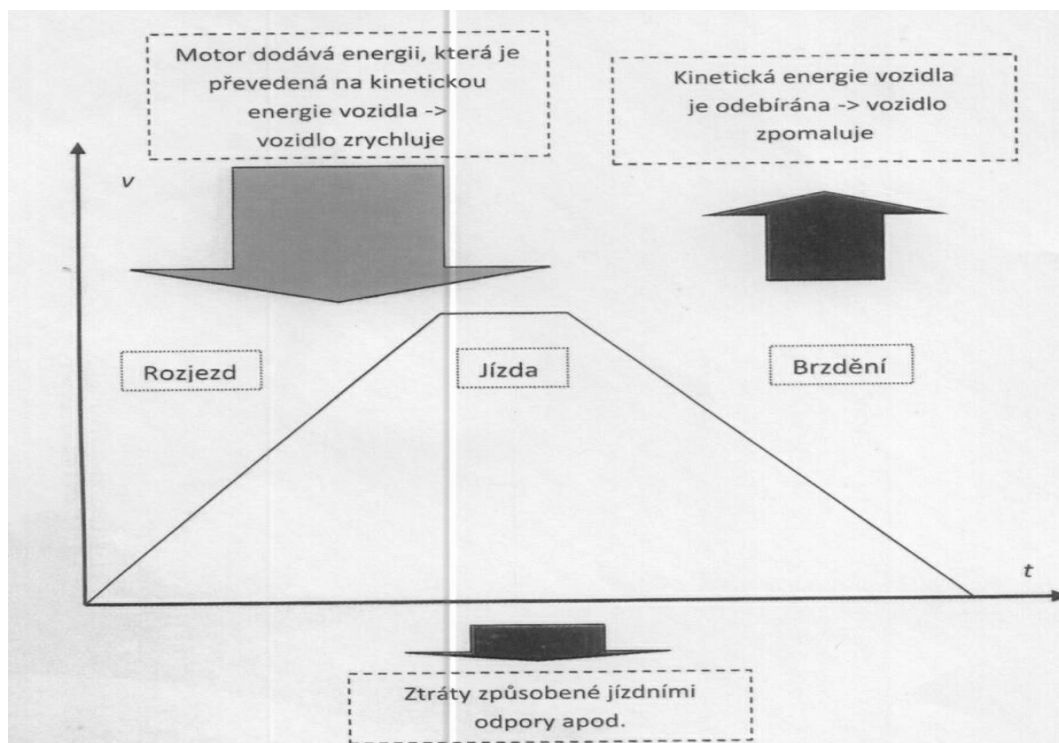
Typ vozu	Typ elektrické výzbroje	Výkon motoru (kW)	Úspora trakční energie oproti vozu T3 (%)
T3	odporová	4x44	0
T3M	pulzní	4x44	20
T3SU	odporová	4x44	0
T3SUCS	odporová	4x44	0
T3R.P	pulzní s rekuperací	4x44	45
T3R.PV	pulzní s rekuperací	4x44	45
T3R.P2LF	pulzní s rekuperací	4x44	45
T6A5	pulzní	4x44	20
KT8D5	pulzní	8x45	20
KT8D5.RN2P	pulzní s rekuperací	8x45	45
14T	pulzní s rekuperací	6x90	45
15T	pulzní s rekuperací	16x45	45

3. Rekuperace

Nejprve si jednoduše vysvětleme, co vlastně rekuperace je. Pro snazší pochopení se podívejme na obrázek, který ukazuje energetickou bilanci jízdy vozidla. Když se vozidlo rozjíždí, zvětšuje svou rychlost. Tím se zvětšuje kinetická energie vozidla, takže z energetického hlediska je energie vyrobená v motoru převedena v kinetickou energii vozidla, která závisí od hmotnosti (m) a jeho rychlosti (v) podle rovnice

$$E = \frac{mv^2}{2}.$$

Jednoduše lze říci, že energie z motoru je akumulována v kinetické energii. Jak vyplývá z uvedeného základního vzorečku, je důležité si povšimnout, že dvakrát větší rychlost znamená čtyřikrát větší kinetickou energii vozidla. Během celého cyklu hraje samozřejmě roli také odpor vzduchu (vzduchu, tření apod.), při němž se část energie ztrácí, nicméně pro snazší vysvětlení jej v tom případě zanedbáváme.



Obr.č.18 Energetická bilance jízdy vozidla v závislosti na čase a rychlosti [3]

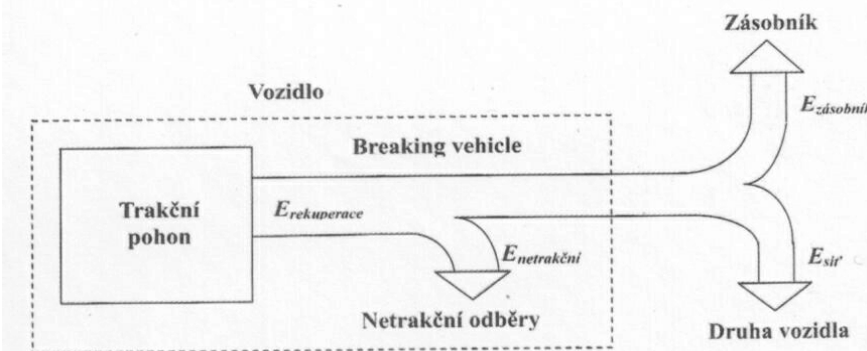
Nabízí se otázka, co udělat s kinetickou energií, když začne vozidlo brzdit. Spalovací motory nám příliš možností neposkytují. Princip spalovacího motoru, jak říká samotný název, spočívá ve spalování paliva a následné konverzi tepelné energie v mechanickou pomocí termodynamického oběhu. Nicméně druhý termodynamický zákon stanoví, že mechanickou energii nemůžeme konvertovat zpět na chemickou energii (palivo). Kinetická energie při brzdění je proto mařena v brzdách.

Jinak je tomu v případě elektrických motorů. Maxwellovy elektrodynamické zákony, na nichž je založen princip elektrického motoru, jsou v čase symetrické, což znamená, že mezi elektrickou energií a mechanickou energií je možná oboustranná konverze. Během rozjezdu se elektrická energie mění na mechanickou a naopak při brzdění se mechanická kinetická energie může měnit na elektrickou a být znovu využita. Tento proces je znám jako rekuperace energie.

Tolik nám říkají fyzikální zákony. Ve skutečnosti je ale rekuperace energie komplikovanější, než se může na první pohled zdát. Hlavním problémem je nutnost kontroly úrovně napětí během brzdění, což působí problémy z důvodu nutnosti souběžného ovládání hodnot proudu motoru, úrovně excitace motorů a napětí, aby nedošlo k výraznému kolísání těchto hodnot. Takže ačkoliv rozjezd i rekuperační brzdění jsou opřeny o stejné fyzikální zákony a odehrávají se na identických součástech pohonu, brzdění je vždy náročnější. V praktických podmínkách navíc není možná celková rekuperace energie, neboť se bude vždy část kinetické energie ztrácet v mechanických brzdách. Mikroprocesorové systémy nicméně otevírají široké možnosti a velkou řadu dříve se vyskytujících problémů (např. udržení hodnot proudu, proudové buzení, kontrola proudu motoru atp.) překonávají.

Už víme, jak získat zpátky kinetickou energii během brzdění, nabízí se ale otázka, jak ji dále využít. V první řadě se nabízí využití pro netrakovní potřeby vozidla, například topení, osvětlení, kompresor atp. Nicméně většinou lze tímto způsobem využít jen malou část rekuperované energie a zbytek se musí vracet do trakční sítě. Jen málokdy ovšem mohou trakční měnírny vrátit rekuperovanou energii do napájecí sítě

vysokého napětí, takže je zapotřebí využít energii uvnitř napájecího systému (v trolejové síti) a odebrat ji ostatními vozidly, které se buďto rozjíždějí, nebo už jedou. Krátce řečeno – zatímco jedno vozidlo brzdí a vrací energii do sítě, druhé ji konzumuje. Přesto se často stává, že se v síti, resp. v daném napájecím úseku, nenachází žádné další vozidlo, které by bylo schopné tuto energii absorbovat. V tom případě nezbyvá, než energii trazit v brzdových odporcích, kterými jsou všechna vozidla vybavena. Jedním z řešení, které se nabízí pro snížení spalování přebytečné energie v odporcích, je instalace zásobníků energie, které by byly schopny uložit ji pro další využití. Nejčastěji jsou takovými zásobníky superkapacitátoru, které dokážou v krátkém čase pojmout poměrně velké množství energie.



Obr.č.19 Schéma využití rekuperované energie[3]

Když je rekuperace všeobecně považována za výhodnou, nabízí se otázka, proč jsou někde naměřené výsledky ušetřené energie poměrně slabé. Přestože se téma rekuperace řeší už dlouhou dobu, pro některé dopravní podniky v ČR a SR představuje určitý problém, neboť rekuperace zde funguje buďto špatně, nebo dokonce takřka vůbec. Český trakční průmysl byl v minulosti všeobecně synonymem technického pokroku, nicméně dnes se v DP řeší neustále témata, která jsou u našich sousedů už dávno vyřešená.

Příčin tohoto počínání můžeme nalézt hned několik. Jednou z hlavních je neustálé zpochybňování významu rekuperace, kdy převládá názor, podle kterého má rekuperace smysl jen v kopcovitém terénu. Často panují také obavy z poškození součástek trakčního vedení proudem z rekuperačního brzdění. Tento problém už ale konstruktéři armatur trolejových vedení dávno vyřešili. Atypickým problémem charakteristickým prakticky výhradně pro ČR a SR jsou tyristorové měničny ČKD Praha z 80. a 90. let. Tyto měničny se ve své době jevily jako špičkové technické řešení, do něhož byla vkládána velká budoucnost, nicméně realita byla odlišná. Vedle velké poruchovosti se jednalo zejména o omezení rekuperace energie blokováním přelévání energie mezi jednotlivými napájecími úseky, které tyristorová měnična svou konstrukcí vůbec neumožňuje. V neposlední řadě můžeme zmínit chybějící „tradiční“ rekuperace na území České republiky. Českoslovenští technici byli v 70. a 80. letech pionýry v zavádění tyristorové elektroenergetiky, avšak pohlíženo bylo jen na úsporu vozidla při rozjezdu a jízdě, nikoli při brzdění a rekuperaci. Například na svou dobu naprosto špičková elektrická tyristorová zbroj trolejbusů Škoda 14Tr nebyla poněkud překvapivě možností rekuperace vybavena. Naopak v sousedním Polsku, v němž elektrotechnický průmysl dlouhá léta zaostával, už během prvních projektových prací na nové elektrické výzbroji v 80. letech bylo s rekuperací počítáno. Výsledkem bylo, že polské trolejbusy JELCZ PR110T jakkoli je těžko možné vnímat je celkově za podařenou konstrukci byli již v polovině 80. let vybaveny alespoň

částečnou rekuperací, kdy část energie putovala do sítě a část byla mařena odporníci, což ve svém důsledku usnadňovalo ovládání trakčního měniče.[3]

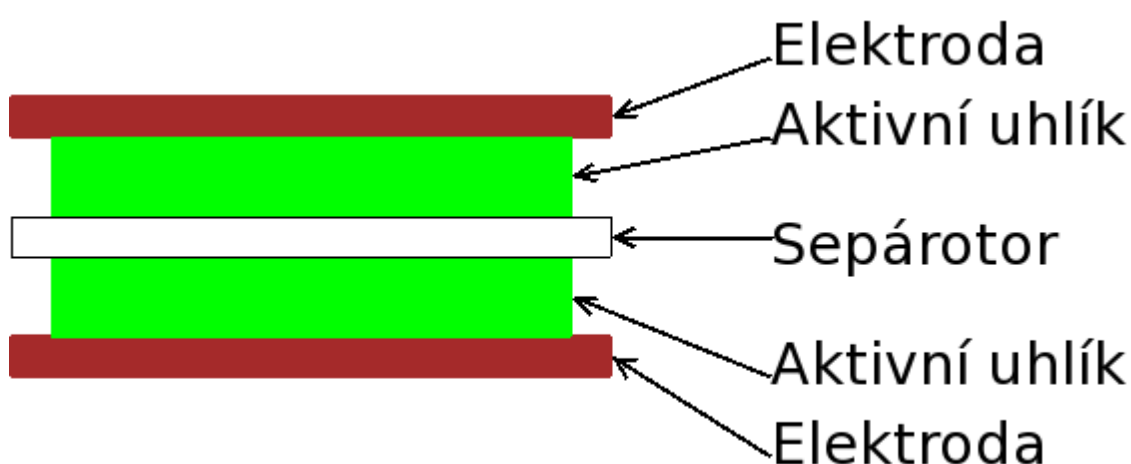
3.1. Superkondenzátor

Princip superkondenzátoru spočívá v uložení přebytečné energie ve speciálním kondenzátoru

vyrobeném na základě nanotechnologií, který na rozdíl od akumulátoru umožňuje rychlé

nabití i vybití energie.

Struktura superkondenzátoru je tvořena z kladné a záporné elektrody, hliníkové fólie, dvou vrstev aktivního uhlíku oddělené separátorem.



Obr.č.20 Řez Superkondenzátorem[5]

V nenabitém stavu jsou ionty rovnoměrně rozloženy ve vodivé tekutině, která je mezi elektrodami. Po přiložení napětí se začnou ionty pohybovat k opačně nabitým elektrodám, tedy kladné ionty k záporným elektrodám a naopak. Na obou elektrodách se pak tedy vytvoří dvouvrstvá elektrického náboje. Napětí, které můžeme použít, je omezeno tzv. disociačním napětím, při kterém jsou náboje z elektrod schopny přejít k iontům elektrolytu. Po překonání tohoto napětí dochází ke vzniku vzduchových bublin a následnému zničení kondenzátoru.

Jako materiál pro elektrody kondenzátoru se používá aktivní uhlík z důvodu dosažení velké plochy, chemické netečnosti, nízké ceně a poměrně dobré elektrické vodivosti.

V dnešní době lze dosáhnout povrchu elektrod až 2000 m²/g, což při malé tloušťce dvouvrstvý znamená kapacitu až tisíce Faradů. Elektrody superkondenzátoru jsou tvořeny paralelním spojením uhlíkových plátů ponořené v elektrolytu. Jednotlivé elektrody jsou pak odděleny separátory, jako je například papír nebo polymerové či skleněné vlákno. Elektricky jsou elektrody propojeny přes hliníkovou fólii.

Kapacitor může být umístěn buď na vozidle, nebo v napájecí stanici. Energie je přenášena pouze v rámci infrastruktury stejnosměrné tramvajové sítě. Před samotnou investicí do případné instalace superkondenzátoru je nutné zvážit několik faktorů ovlivňujících její návratnost. V první řadě je nutné posoudit možnosti měření a úpravy jejího prostoru. Životnost vlastního superkondenzátoru a cena za jeho

výměnu závisí na počtu cyklů vybití a nabití, tj. na počtu zastavení a rozjezdů. Kapacita superkondenzátoru musí být přizpůsobena podmínkám stanice podle toho, zda je v místě k dispozici jen kinetická energie nebo je v přilehlém úseku i nadbytek potenciální energie. Rozhodující mohou být i provozní náklady superkondenzátoru, které zahrnují kromě vlastní spotřeby zařízení (chlazení, řízení, ztráty) i náklady na zvýšené větrání prostor. Současně je třeba upozornit na náklady na ekologickou likvidaci superkapacitorů po ukončení životnosti a zátěž pro životní prostředí.

Superkondenzátory lze instalovat jak na vozidlech, tak na měnících. Z měnících je možné energii používat buďto pro napájení trolejové sítě, anebo pro zpětný návrat do napájecí sítě vysokého napětí, která přivádí energii do měničky. V tuzemských podmínkách ovšem energetické podniky nemají o zpětný odkup ušetřené energie zájem, v zahraničí (např. ve Francii nebo Španělsku) se však úspěšně využívá a rekuperace odváděná do sítě vysokého napětí může činit až 30% z celkové rekuperované energie.

3.2. Setrvačnick

Setrvačnick jsou zásobnick kinetické energie. Je možno do nich ukládat energii do rotující hmoty (rotor) v závislosti na množství akumulované energie, hmotnosti, tvaru a rychlosti otáčení rotoru. Při ukládání energie do setrvačnicku dochází ke zvyšování rychlosti rotoru a při odebírání energie dochází ke zpomalení rotoru setrvačnicku. U většiny aplikací se používali ke krátkému uchování energie. Nové uplatnění setrvačnicků je uchování elektrické energie, což se dá dosáhnout při použití elektrického stroje a měniče napětí. Elektrický stroj bývá často začleněn do setrvačnicku a pracuje s proměnnými otáčkami. Měnič napětí obvykle poskytuje elektronické řízení pohonu. Hlavní výhodou setrvačnicků je vysoký počet nabíjecích a vybíjecích cyklů. Setrvačnick dle technologie uschovávání energie dělíme do dvou skupin: nízkorychlostní a vysokorychlostní setrvačnick. Nízkorychlostní setrvačnick jsou komerčně dostupné. Pracují na rychlostech do 6000 ot/min. Konstrukčně se provádějí jako ocelový rotor s konvenčními ložisky. U vysokorychlostních setrvačnicků s provozní rychlostí do 50 000 t/min. se rotor skládá z kompozitních materiálů. Kompozitní materiály jsou vzhledem k jejich nízké hmotnosti a vysoké pevnosti vhodné pro rotory vysokorychlostních setrvačnicků. Nižší hmotnost rotoru ve vysokých rychlostech je dobrá pro nižší opotřebení kluzných ložisek a nižší setrvačné zatížení, které způsobuje namáhání materiálu při vysokých otáčkách, které se tímto minimalizuje. Dalším důležitým aspektem je, že při poruše vláknových kompozitních rotorů dochází k méně destruktivním následkům než u kovových rotorů. Z těchto důvodů se stávají kompozitní rotory bezpečnější. V současné době se využívají ve stacionárních aplikacích, jako jsou záložní zdroje UPS, systémy pro zlepšení kvality dodávky elektrické energie a v neposlední řadě v elektrické trakci (MHD, železnice).



Obr.č.21 Setrvačnick Flybrid CFT KERS.

3.3. Akumulátory [7]

a) Porovnání trakční baterie a autobaterie

Trakční baterie se navenek vůbec neliší od neznámějšího typu akumulátoru, kterým je autobaterie. Největší výrobce autobaterií, společnost Varta, vyrábí trakční baterie dokonce ve stejných plastových schránkách a jediným, na první pohled patrným rozdílem je barva výrobku.

Uvnitř baterie je však zásadní konstrukční rozdíl, který činí z trakčního akumulátoru zcela odlišně využitelný zdroj energie. Klasická autobaterie má 2 hlavní účely. První je start motoru, kdy je z baterie odebírán velmi vysoký proud, ale vyčerpá se pouze zlomek uložené energie. Druhým účelem je napájení spotřebičů během provozu vozidla, kdy už je baterie zároveň i dobíjena. Autobaterie je konstrukčně navržena tak, aby vždy podala maximální výkon v jednom krátkém okamžiku (start motoru = velký odběr proudu) a poté byla tato energie opět alternátorem doplněna. Delší a opakované vybíjení autobaterii škodí.

Z tohoto hlediska je trakční baterie přesný opak. Obecně platí, že každá olověná baterie trpí opakovaným hlubokým vybíjením, ale pouze trakční baterie jsou navrženy tak, aby tomuto jevu co nejlépe odolávaly. Baterie se používají především všude tam, kde je vyžadována dlouhá životnost, vysoká výkonnost a značná odolnost vůči cyklickému namáhání.

b) Trakční baterie lze rozdělit do 3 základních skupin:

- **Zaplavené trakční baterie** - jedná se o variantu s kapalným elektrolytem (roztokem kyseliny sírové a vody). Tyto trakční baterie jsou vhodné všude

tam, kde není překážkou nebezpečí úniku kyseliny. Baterie jsou sice méně výkonné, ale lze je nabíjet jakoukoliv nabíječkou a jsou nejdolnější z hlediska údržby. Některé modely zaplavených trakčních baterií lze doplňovat destilovanou vodou, jiné jsou nízkoúdržbové.

- **Trakční baterie typu AGM** - elektrolyt je zasáknutý ve skelném rounu. Tyto trakční baterie jsou výkonnější, ale rovněž náchylnější na přebíjení. Výrobce doporučuje nabíjet raději pouze elektronicky řízenou nabíječkou s automatickým přepnutím.
- **Trakční baterie GEL** - gelové baterie jsou nejvýkonnějším typem trakční baterie. Mají nejdelší životnost, ale jsou také nejchoulostivější. Tato choulostivost je však spojena se správným typem nabíječky. Platí pravidlo plně nabíjet a nepřebíjet.

4. Dopravní podnik hl. m. Prahy, a. s.

4.1. O společnosti

Dopravní podnik hl. m. Prahy, akciová společnost (dále jen „Dopravní podnik“ či „DPP“) je hlavní provozovatel veřejné dopravy a zároveň provozovatel městských drah, speciální a tramvajové, na kterých tuto dopravu provozuje.

Společnost byla založena jako akciová zakladatelským plánem Zastupitelstva hl. m. Prahy

ze dne 19. 3. 1991 jako nástupce státního podniku Dopravní podnik hl. m. Prahy – kombinát. Jediným akcionářem Dopravního podniku je Hlavní město Praha. Společnost má

základní kapitál ve výši 30 726 125 tis. Kč, který je rozdělen celkem na 3 001 akcie na jméno.

Dopravní podnik je akcionářem v obchodních společnostech, jejichž činnost souvisí s dopravou. Má tak plnou nebo částečnou kapitálovou účast v Pražské strojárně a. s. (navrhování a výroba kolejových konstrukcí), RENCAR Praha a. s. (zajištění reklamních

plach v MHD), SPŠD a. s. (střední průmyslová škola dopravní), Elaugen DP Praha s. r. o.

(navrhování a broušení kolejnic), Inženýring dopravních staveb a.s.

Od roku 2011 přešel podnik na německý model řízení. Řídícím orgánem je pětičlenné

představenstvo, složené z managementu společnosti a odborníků. Jmenování a odvolávání

členů představenstva je v kompetenci Dozorčí rady, kterou ze 2/3 tvoří zastupitelé akcionáře (zastupitelé hl. m. Prahy). Zbývá 1/3 je tvořena zástupci zaměstnanců Dopravního podniku.[4]

Dopravní podnik jakožto největší provozovatel městské hromadné dopravy v České republice. Za rok přepraví kolem 1,2 miliardy osob. Ty mají k dispozici rozsáhlou síť linek, které dohromady tvoří síť 2 422,4 km dlouhou. Nejrozšířenější je autobusová síť 1 815 km, která zahrnuje jak vnitroměstské, tak příměstské spoje. Tramvajové tratě tvoří

24 linek o délce 548 km.

4.2. Tramvaje

Provoz tramvají je zajišťován na 22 denních a 9 nočních linkách a celková délka provozovaných linek činí 510,8 km. Více než 850 vozů (z toho 640 vozů umožňuje rekuperaci) rozveze ročně 25 % pasažérů pražské MHD.

Celková spotřeba elektrické energie je zobrazena v tabulce č. 17. Spotřeba v letech postupně klesá jednak z důvodu snižování ujetých vozokilometrů, ze 49 799 tis. vozkm

v roce 2006 na 42 340 tis. vozkm v roce 2016 z důvodu zavádění úsporných opatření. Tím pádem se snižovala i spotřeba z 147 832 MWh na 125 577 MWh. Sice spotřeba se snižovala, tak měrná spotřeba dle ujetých vozokilometrů se od roku 1998 snižovala díky zaváděním vozů, které byli schopni rekuperovat a dodávat el. energii do sítě. Tento jev se zastavil a nabral opačný směr, tj. mírně roste od roku 2012 do této doby. Důvod tohoto nárůstu je několik. Za prvé vozů které jsou schopni rekuperovat je v Praze již tolik, že energii kterou tyto vozy vrací do sítě se nedaří odebrat jinými vozy a el. energie se maří v samotných vozech. Dalším důvodem je úbytek vozů, které nejsou schopni rekuperovat a mají vyšší spotřebu na provoz. Jsou to vozy se starší elektrickou výzbrojí TR 37, TV 1, TV 8.

Z celkového počtu 969 tramvajových vozů jich v roce 2010 umožňovalo rekuperaci rovných 474. Do roku 2020 je předpoklad, že všechny tramvajové vozy již budou schopny

rekuperace. Úspory ve spotřebě elektrické energie vzniklé prostým provozováním moderních vozů umožňujících rekuperaci jsou dle údajů odboru Energetika cca 130 mil. Kč/rok.

Díky těmto aspektům se stává Praha z pohledu rekuperace do stavu „Přerekuperováno“ čímž se naplnil na 100% požadavek na rekuperaci a teď je potřeba rozmyslet jak využít přebytečnou el. energii.

V tramvajové dopravě nejsou netrakové spotřebiče v podstatě žádné a tak využití invertoru nepřichází v úvahu. Zde Dopravní podnik uvažuje o využití superkapacitoru. Principem superkapacitoru je, že se kondenzátor nabije rekuperovanou energií a tato energie se pak využije při jeho vybíjení. Vzhledem ke sklonovým poměrům a počtu projíždějících vozů byl vytipován jako nejvhodnější traťový úsek Hlubočepy – Barrandov. Jako pilotní projekt by měla být instalace superkapacitorových baterií do měnirny Hlubočepy.

Jako další zajímavé úsporné opatření v tramvajové trakci se jeví využití energetické posilovací stanice (EPOS). Tato stanice je již pokusně provozována v Plzeňských městských dopravních podnicích. Zařízení EPOS umožňuje snížení ztrát v napájecím

kabelovém vedení přeléváním energie se sousedním trakčním úsekem a dále využití energie rekuperované brzděním tramvajových vozů, která bude dočasně deponována v superkapacitorových bateriích. K tomuto tématu se dostaneme níže.

4.3. Vývoj spotřeby trakční energie r. 1998 – 2016 [2]

Zdroj: oddělení Energetika DPP

Tab.č. 17 Spotřeba trakční energie v trakci Tramvaje

Rok	ujeté tis.km	%	spotřeba v MWh	%	měrná spotř. kWh/km	%
1998	46 208		157 093		3,3997	
		99,82		99,74		99,92
1999	46 126		156 687		3,3969	
		100,05		99,75		99,70
2000	46 148		156 292		3,3868	
		100,27		101,99		101,71
2001	46 274		159 398		3,4447	
		107,17		103,06		96,17
2002	49 593		164 281		3,3126	
		95,23		95,62		100,41
2003	47 230		157 091		3,3261	
		105,38		102,46		97,22
2004	49 772		160 950		3,2337	
		99,47		96,33		96,84
2005	49 507		155 036		3,1316	
		100,59		95,35		94,79
2006	49 799		147 832		2,9686	
		99,69		95,03		95,32
2007	49 646		140 478		2,8296	
		98,56		97,13		98,55
2008	48 929		136 441		2,7886	
		97,88		97,89		100,02
2009	47 891		133 568		2,7890	
		98,50		99,63		101,15
2010	47 171		133 079		2,8212	

		101,76		98,41		96,71
2011	48 000		130 964		2,7284	
		98,02		100,13		102,15
2012	47 048		131 129		2,7871	
		93,26		95,91		102,84
2013	43 878		125 763		2,8662	
		94,67		96,12		101,53
2014	41 541		120 889		2,9101	
		100,47		100,14		99,67
2015	41 735		121 058		2,9006	
		101,45		103,73		102,25
2016	42 340		125 577		2,9659	

od roku 2001 tramvaje typu T3R.P - rekuperace

od roku 2005 tramvaje typu KT8D5.RN - rekuperace, nízkopodlažní střední článek

od roku 2005 tramvaje typu 14T - rekuperace, nízkopodlažní

od roku 2007 tramvaje typu T3R.PLF - rekuperace, nízkopodlažní střední část

od roku 2009 tramvaje typu 15T - rekuperace, nízkopodlažní

5. Spotřeba energie na Barrandov – Hlubočepy[2]

Zdroj: oddělení Energetika DPP

5.1. Spotřeba vozů T3R.P - bez zatížení

5.1.1. Výpočet spotřeby el. energie u tramvajového vozu typu T3R.P při jízdě v úseku mezi zastávkami Hlubočepy - Geologická.

Vstupní hodnoty:

- celková hmotnost vozu	$m = 17,33 \text{ t}$ (prázdný vůz + řidič)
- tíha vozu v kN ($m \cdot g$)	$G = 169,95 \text{ kN}$
- celkové převýšení	$h = 89,5 \text{ m}$
- vzdálenost mezi zastávkami	$s = 1485 \text{ m}$
- doba jízdy	$t = 114 \text{ sec}$
- gravitační zrychlení	$g = 9,80665 \text{ m/sec}^2$
- účinnost trakčních motorů	$\eta_m = 89 \%$
- účinnost pulzních měničů	$\eta_{pm} = 97,5 \%$
- účinnost převodů	$\eta_u = 97 \%$
- měrný jízdní odpor při rychlosti 50 km/hod	$P_o = 14,54 \text{ N/kN}$
- příkon pomocných spotřebičů	$P_{ps} = 7 \text{ kW}$

Průměrná rychlost v daném úseku vychází při čase 114 sec na 46,9 km/hod. Pro výpočet měrného jízdního odporu bylo ale uvažováno s rychlostí 50 km/hod s ohledem na kvadratickou závislost hodnoty měrného jízdního odporu na rychlosti (vůz po větší část jízdní doby dosáhne rychlost nad 50 km/hod).

Předpokládaná účinnost pulzního měniče činí 94 % v pulzním režimu a 98 % při trvalém sepnutí (úbytek napětí na tranzistorech a diodách v měniči). V pulzním režimu pracuje měnič cca 7,5 sec při rozjezdu ze zastávky „Hlubočepy“ a pak krátkodobě při vypínání a opětovném zapínání jízdy na úsekových děličích. Celková doba jízdy v pulzním režimu činí cca 10,5 sec. V režimu trvalého sepnutí trvá jízda

cca 68 sec. Pro výpočet spotřeby energie bylo proto uvažováno s průměrnou účinností měniče ve výši 97,5 %.

Potřebné množství energie dle základního fyzikálního vztahu pro potenciální energii

$$A = m \cdot g \cdot h$$

$$A_{\text{fyz}} = 17330 \cdot 9,80665 \cdot 89,5 = 15\,210\,456 \text{ J} = 15,210 \text{ MJ}$$

$$A_{\text{fyz kWh}} = \frac{A_{\text{fyz MJ}}}{3,6} \approx \frac{15,210}{3,6} \approx 4,225 \text{ kWh}$$

K základní fyzikální hodnotě potřebné energie nutno ještě připočíst energii na překonání jízdních odporů, dále energii na krytí ztrát v jednotlivých částech trakčního pohonu (motory, pulzní měniče, převody) a energii na provoz pomocných spotřebičů vozu.

A_{Po} - energie na překonání jízdních odporů

$$A_{\text{Po}} = P_o \cdot G \cdot s = 14,54 \cdot 169,95 \cdot 1485 = 3\,669\,543 \text{ J} = 3,670 \text{ MJ}$$

$$A_{\text{Po kWh}} = \frac{A_{\text{Po MJ}}}{3,6} \approx \frac{3,670}{3,6} \approx 1,019 \text{ kWh}$$

A_{ps} - energie na provoz pomocných spotřebičů

$$A_{\text{ps}} = P_{\text{ps}} \cdot t = 7,0 \cdot \frac{114}{3600} \approx 0,222 \text{ kWh}$$

Celková spotřeba energie tudíž bude:

$$A_{\text{celk}} = \frac{A_{\text{fyz}} + A_{\text{Po}}}{\eta_m \cdot \eta_{pm} \cdot \eta_u} \approx A_{\text{ps}} = \frac{4,225 + 1,019}{0,89 \cdot 0,975 \cdot 0,97} \approx 0,222 \approx 6,452 \text{ kWh}$$

Takto stanovená hodnota spotřeby platí za předpokladu, že vůz dojedez do zastávky Geologická

výběhem, bez použití brzd. V případě použití brzd bude spotřeba vyšší až o 0,61 kWh. Záleží na výchozí rychlosti na počátku brzdění, dále na intenzitě brzdění a zejména na tom, zda bude pro rekuperovanou energii odběr. V nejnepříznivějším případě, kdy dojde k použití maximální provozní brzdy z rychlosti 57 km/hod a pro rekuperovanou energii nebude odběr, bude spotřeba energie vyšší právě o 0,61 kWh. Doba jízdy se v tomto případě zkrátí o 14 sec oproti dojezdu výběhem. Výpočet tohoto způsobu dojezdu je poměrně komplikovaný a není zde proto uveden.

5.1.2. Výpočet hodnoty rekuperované energie u tramvajového vozu typu T3R.P při jízdě v úseku mezi zastávkami Geologická - Hlubočepy.

Vstupní hodnoty:

- celková hmotnost vozu	$m = 17,33 \text{ t}$ (prázdný vůz + řidič)
- tíha vozu v kN ($m \cdot g$)	$G = 169,95 \text{ kN}$
- celkové převýšení	$h = 89,5 \text{ m}$
- vzdálenost mezi zastávkami	$s = 1485 \text{ m}$
- doba jízdy	$t = 171 \text{ sec}$
- gravitační zrychlení	$g = 9,80665 \text{ m/sec}^2$
- účinnost trakčních motorů	$\eta_m = 90 \%$
- účinnost pulzních měničů	$\eta_{pm} = 97 \%$
- účinnost převodů	$\eta_u = 97 \%$
- účinnost průchodu rekuperované energie přes omezovací odpor	$\eta_{or} = 95 \%$
- měrný jízdní odpor při rychlosti 32 km/hod	$P_o = 10,74 \text{ N/kN}$
- příkon pomocných spotřebičů	$P_{ps} = 7 \text{ kW}$

Účinnosti trakčních motorů η_m , pulzních měničů a mechanických převodů η_u se v brzděném režimu příliš neliší od účinností v režimu jízdy. Účinnost trakčních motorů dosahuje v oblasti malých proudů hodnoty cca 90 %. Pulzní měniče sice pracují po celou dobu rekuperačního brzdění v pulzním režimu, ale úbytky napětí na diodách a tranzistorech jsou zde podstatně menší než v režimu jízdy. V hlavním proudovém obvodu jsou v tomto případě zapojeny v sérii čtyři diody (úbytek cca 4,5 V), v budicím obvodu působí pouze jeden tranzistor. V režimu jízdy jsou ve společném hlavním i budicím obvodu zapojeny v sérii tři tranzistory a dvě diody (úbytek cca 12 V). Úbytek napětí na těchto polovodičových prvcích se při jízdě uplatňuje i po trvalém sepnutí pulzního měniče.

Energie vozu dle základního fyzikálního vztahu pro potenciální energii

$$A = m \cdot g \cdot h$$

$$A_{fyz} = 17330 \cdot 9,80665 \cdot 89,5 = 15\,210\,456 \text{ J} = 15,210 \text{ MJ}$$

$$A_{fyz \text{ kWh}} = \frac{A_{fyz \text{ MJ}}}{3,6} \cdot \frac{15,210}{3,6} = 4,225 \text{ kWh}$$

Od potenciální energie vozu nutno odečíst energii na překonání jízdních odporů, dále energii na ztrát v jednotlivých částech trakčního pohonu (motory, pulzní měniče, omezovací odpor, převody) a energii na provoz pomocných spotřebičů vozu.

A_{Po} - energie na překonání jízdních odporů

$$A_{rek} = (A_{fyz} - A_{Po}) \cdot \eta_m \cdot \eta_{pm} \cdot \eta_u \cdot \eta_{or} - A_{ps}$$

$$A_{Po \text{ kWh}} = \frac{A_{Po \text{ MJ}}}{3,6} \cdot \frac{2,711}{3,6} = 0,753 \text{ kWh}$$

$$A_{Po} = P_o \cdot G \cdot s = 10,74 \cdot 169,95 \cdot 1485 = 2\,710\,515 \text{ J} = 2,711 \text{ MJ}$$

A_{ps} - energie na provoz pomocných spotřebičů

$$A_{ps} = P_{ps} \cdot t = 7,0 \cdot \frac{171}{3600} = 0,333 \text{ kWh}$$

Celkové množství rekuperované energie tudíž bude:

$$A_{rek} = (A_{fyz} - A_{Po}) \cdot \eta_m \cdot \eta_{pm} \cdot \eta_u \cdot \eta_{or} - A_{ps}$$

$$A_{rek} = (4,225 - 0,753) \cdot 0,90 \cdot 0,97 \cdot 0,97 \cdot 0,95 - 0,333 = 2,460 \text{ kWh}$$

Takto stanovená hodnota rekuperované energie platí za předpokladu, že po celou dobu jízdy bude síť

schopna tuto energii spotřebovat. Pokud nebude pro rekuperovanou energii v síti odběr, dojde k malé spotřebě el. energie pomocnými spotřebiči během rozjezdu samospádem ze zastávky Geologická. V dalším průběhu jízdy budou již pomocné spotřebiče napájeny z rekuperace. Výsledná spotřeba bude v tomto případě činit 0,049 kWh.

5.2. Spotřeba vozů T3R.P - 50 % max. zatížení

5.2.1. Výpočet spotřeby el. energie u tramvajového vozu typu T3R.P při jízdě v úseku mezi zastávkami Hlubočepy - Geologická.

Vstupní hodnoty:

- celková hmotnost vozu	$m = 23,08 \text{ t}$ (50 % max. zatížení)
- tíha vozu v kN ($m \cdot g$)	$G = 226,3 \text{ kN}$
- celkové převýšení	$h = 89,5 \text{ m}$
- vzdálenost mezi zastávkami	$s = 1485 \text{ m}$
- doba jízdy	$t = 133 \text{ sec}$
- gravitační zrychlení	$g = 9,80665 \text{ m/sec}^2$
- účinnost trakčních motorů	$\eta_m = 88 \%$
- účinnost pulzních měničů	$\eta_{pm} = 97,5 \%$
- účinnost převodů	$\eta_u = 96,5 \%$
- měrný jízdní odpor při rychlosti 43 km/hod	$P_o = 11,08 \text{ N/kN}$
- příkon pomocných spotřebičů	$P_{ps} = 7 \text{ kW}$

Průměrná rychlost v daném úseku vychází při čase 133 sec na 40,2 km/hod. Pro výpočet měrného jízdního odporu bylo ale uvažováno s rychlostí 43 km/hod s ohledem na kvadratickou závislost hodnoty měrného jízdního odporu na rychlosti (vůz po větší část jízdní doby dosáhne rychlost nad 43 km/hod).

Předpokládaná účinnost pulzního měniče činí 94 % v pulzním režimu a 98 % při trvalém sepnutí (úbytek napětí na tranzistorech a diodách v měniči). V pulzním režimu pracuje měnič cca 10 sec při rozjezdu ze zastávky „Hlubočepy“ a pak krátkodobě při vypínání a opětovném zapínání jízdy na úsekových děličích. Celková

doba jízdy v pulzním režimu činí cca 13 sec. V režimu trvalého sepnutí trvá jízda cca 87 sec. Pro výpočet spotřeby energie bylo proto uvažováno s průměrnou účinností měniče ve výši 97,5 %.

Potřebné množství energie dle základního fyzikálního vztahu pro potenciální energii

$$A = m \cdot g \cdot h$$

$$A_{\text{fyz}} = 23080 \cdot 9,80665 \cdot 89,5 = 20\,257\,204 \text{ J} = 20,257 \text{ MJ}$$

$$A_{\text{fyz kWh}} = \frac{A_{\text{fyz MJ}}}{3,6} \cdot \frac{20,257}{3,6} = 5,627 \text{ kWh}$$

K základní fyzikální hodnotě potřebné energie nutno ještě připočíst energii na překonání jízdních odporů, dále energii na krytí ztrát v jednotlivých částech trakčního pohonu (motory, pulzní měniče, převody) a energii na provoz pomocných spotřebičů vozu.

A_{Po} - energie na překonání jízdních odporů

$$A_{\text{Po}} = P_o \cdot G \cdot s = 11,08 \cdot 226,3 \cdot 1485 = 3\,723\,495 \text{ J} = 3,723 \text{ MJ}$$

$$A_{\text{Po kWh}} = \frac{A_{\text{Po MJ}}}{3,6} \cdot \frac{3,723}{3,6} = 1,034 \text{ kWh}$$

A_{ps} - energie na provoz pomocných spotřebičů

$$A_{\text{ps}} = P_{\text{ps}} \cdot t = 7,0 \cdot \frac{133}{3600} = 0,259 \text{ kWh}$$

Celková spotřeba energie tudíž bude:

$$A_{\text{celk}} = \frac{A_{\text{fyz}} + A_{\text{Po}}}{0,88 \cdot 0,975 \cdot 0,965} \cdot A_{\text{ps}} = \frac{5,627 + 1,034}{0,88 \cdot 0,975 \cdot 0,965} \cdot 0,259 = 8,304 \text{ kWh}$$

Takto stanovená hodnota spotřeby platí za předpokladu, že vůz dojede do zastávky Geologická výběhem, bez použití brzd. V případě použití brzd dojde ke zvýšení spotřeby max. o 0,546 kWh. Doba jízdy se v tomto případě zkrátí max. o 11,2 sec.

5.2.2. Výpočet hodnoty rekuperované energie u tramvajového vozu typu T3R.P při jízdě v úseku mezi zastávkami Geologická - Hlubočepy.

Vstupní hodnoty:

- celková hmotnost vozu
- tíha vozu v kN ($m \cdot g$)

$$m = 23,08 \text{ t (50 \% max. zatížení)}$$

$$G = 226,3 \text{ kN}$$

- celkové převýšení	$h = 89,5 \text{ m}$
- vzdálenost mezi zastávkami	$s = 1485 \text{ m}$
- doba jízdy	$t = 171 \text{ sec}$
- gravitační zrychlení	$g = 9,80665 \text{ m/sec}^2$
- účinnost trakčních motorů	$\eta_m = 91 \%$
- účinnost pulzních měničů	$\eta_{pm} = 97 \%$
- účinnost převodů	$\eta_u = 96,7 \%$
- účinnost průchodu rekuperované energie přes omezovací odpor	$\eta_{or} = 93 \%$
- měrný jízdní odpor při rychlosti 32 km/hod	$P_o = 9,34 \text{ N/kN}$
- příkon pomocných spotřebičů	$P_{ps} = 7 \text{ kW}$

Účinnost trakčních motorů dosahuje v oblasti středního zatížení až 91 %, účinnosti pulzních měničů a ozubených převodů zůstávají přibližně stejné nebo nepatrně nižší než v oblasti malého zatížení.

Energie vozu dle základního fyzikálního vztahu pro potenciální energii

$$A = m \cdot g \cdot h$$

$$A_{fyz} = 23080 \cdot 9,80665 \cdot 89,5 = 20\,257\,204 \text{ J} = 20,257 \text{ MJ}$$

$$A_{fyz \text{ kWh}} = \frac{A_{fyz \text{ MJ}}}{3,6} \cdot \frac{20,257}{3,6} = 5,627 \text{ kWh}$$

Od potenciální energie vozu nutno odečíst energii na překonání jízdních odporů, dále energii na krytí ztrát v jednotlivých částech trakčního pohonu (motory, pulzní měniče, omezovací odpor, převody) a energii na provoz pomocných spotřebičů vozu.

A_{Po} - energie na překonání jízdních odporů

$$A_{Po} = P_o \cdot G \cdot s = 9,34 \cdot 226,3 \cdot 1485 = 3\,138\,758 \text{ J} = 3,139 \text{ MJ}$$

A_{ps} - energie na provoz pomocných spotřebičů

$$A_{Po \text{ kWh}} = \frac{A_{Po \text{ MJ}}}{3,6} \cdot \frac{3,139}{3,6} = 0,872 \text{ kWh}$$

$$A_{ps} = P_{ps} \cdot t = 7,0 \cdot \frac{171}{3600} = 0,333 \text{ kWh}$$

Celkové množství rekuperované energie tudíž bude:

$$A_{rek} = (A_{fyz} - A_{Po}) \cdot \eta_m \cdot \eta_{pm} \cdot \eta_u \cdot \eta_{or} - A_{ps}$$

$$A_{rek} = (5,627 - 0,872) \cdot 0,91 \cdot 0,97 \cdot 0,967 \cdot 0,93 - 0,333 = 3,442 \text{ kWh}$$

Takto stanovená hodnota rekuperované energie platí za předpokladu, že po celou dobu jízdy

bude síť schopna tuto energii spotřebovat. Pokud nebude pro rekuperovanou energii v síti odběr, dojde k malé spotřebě el. energie pomocnými spotřebiči během rozjezdu samospádem ze zastávky Geologická. V dalším průběhu jízdy budou již pomocné spotřebiče napájeny z rekuperace. Výsledná spotřeba bude v tomto případě činit 0,049 kWh.

Spotřeba tramvajových vozů sólo v úseku Hlubočepy – Geologická

Tab.č.18 Spotřeba sólo vozu Hlubočepy-Geologická

typ vozu	využití rekuperace	rozpětí spotřeby ¹⁾		
		prázdný vůz [kWh]	zatížení 50 % [kWh]	zatížení 100 % [kWh]
T3R.P	pro rekuperovanou energii je v síti odběr	6,452 - 6,661	8,304 - 8,501	10,254 - 10,445
	pro rekuperovanou energii není v síti odběr	6,452 - 7,061	8,304 - 8,850	10,254 - 10,761
T6A5	vůz nerekuje	7,388 - 8,000	9,343 - 9,921	11,330 -

¹⁾ Rozpětí spotřeby je dáno způsobem dojezdu do zastávky Geologická. Spodní hranice uvedeného rozpětí platí při dojezdu výběhem, horní hranice platí při dojezdu s použitím maximální provozní brzdy ihned po vypnutí jízdy. V ostatních případech použití brzdy se bude hodnota spotřeby pohybovat v oblasti mezi oběma krajními mezemi.

Rekuperace nebo spotřeba tramvajových vozů sólo v úseku Geologická – Hlubočepy

Tab.č.19 Spotřeba sólo vozu Geologická-Hlubočepy

typ vozu	provozní režim během jízdy ze svahu	rekuperace (-) nebo spotřeba (+)		
		prázdný vůz [kWh]	zatížení 50 % [kWh]	zatížení 100 % [kWh]
T3R.P	rekuperace - v síti je odběr	- 2,460	- 3,442	- 4,292
	spotřeba - v síti není odběr	0,049	0,049	0,049
T6A5	spotřeba - vůz	0,237	0,237	0,237

¹⁾ Jedná se o spotřebu pomocných spotřebičů během rozjezdu samospádem ze zastávky Geologická

²⁾ Jedná se o spotřebu pomocných spotřebičů

Souhrnná spotřeba vozů sólo v obou směrech jízdy mezi zastávkami Hlubočepy - Geologická a Geologická – Hlubočepy

Tab.č.20 Spotřeba sólo vozu Hlubočepy-Geologická

typ	využití rekuperace	rozpětí spotřeby ¹⁾
-----	--------------------	--------------------------------

VOZU		prázdný vůz [kWh]	zatížení 50 % [kWh]	zatížení 100 % [kWh]
T3R.P	při rekuperaci je v síti odběr	3,992 - 4,201	4,862 - 5,059	5,962 - 6,153
	při rekuperaci není v síti	6,501 - 7,110	8,353 - 8,899	10,303 -
T6A5	vůz nerecuperuje	7,625 - 8,237	9,580 - 10,158	11,567 -

¹⁾ Rozpětí spotřeby je dáno způsobem dojezdu do zastávky Geologická směrem vzhůru.

6. Dopravní podnik Plzeň

6.1. O společnosti

Společnost se vyvíjela spolu s veřejnou dopravou ve městě. Nejprve existovala pod názvem Elektrické podniky města Plzně a provozovala pouze tramvajovou dopravu, později se přidaly trolejbusy (1941) a nakonec i autobusy. Další název, který se používal, byl Dopravní podniky města Plzně, a to až do roku 1998. Poté se společnost přetransformovala do současného stavu, její právní forma je akciová společnost a zřizovatelem město. O provoz se stará 800 zaměstnanců, kteří na 48 linkách všech tří trakcí ročně přepraví více než 100 milionů cestujících.

6.2. Tramvaje

Plzeň, čtvrté největší město v ČR, provozuje tramvajovou dopravu. Provozovatelem jsou Plzeňské městské dopravní podniky (PMDP) vlastněné městem. Tramvaje se podílejí na celkovém objemu veřejné dopravy ve městě asi 45%, tvoří tak páteř dopravního systému města. Délka sítě je 20,3 km. Rozchod kolejí činí 1435 mm. Po roce 1989 došlo ke změně v linkové vedení tak, že z původních pěti tramvajových linek jsou v provozu linky tři. Zásadními změnami naopak prošel vozový park. Objevily

se první modernizace tramvají (Škoda 01T, Tatra T3R.P), výrobu tramvají navíc zahájila plzeňská Škoda, která do svého domovského města dodala 11 nízkopodlažních vozů Škoda 03T. V rámci zkušebních jízd výrobce se na kolejové síti objevily i další typy jako např. Škoda 10T pro americký Portland nebo Škoda 14T pro Prahu. Roku 2007 byla zmodernizována první plzeňská tříčlánková tramvaj KT8D5 na částečně nízkopodlažní typ Tatra KT8D5R.N2P. V březnu 2008 se v provozu poprvé objevila částečně nízkopodlažní novostavba vozu Tatra T3R.PLF. Od roku 2010 jsou dodávány vozy VariolF a VariolF plus, v roce 2013 byla zakoupena první článková tramvaj VariolF2/2 IN.

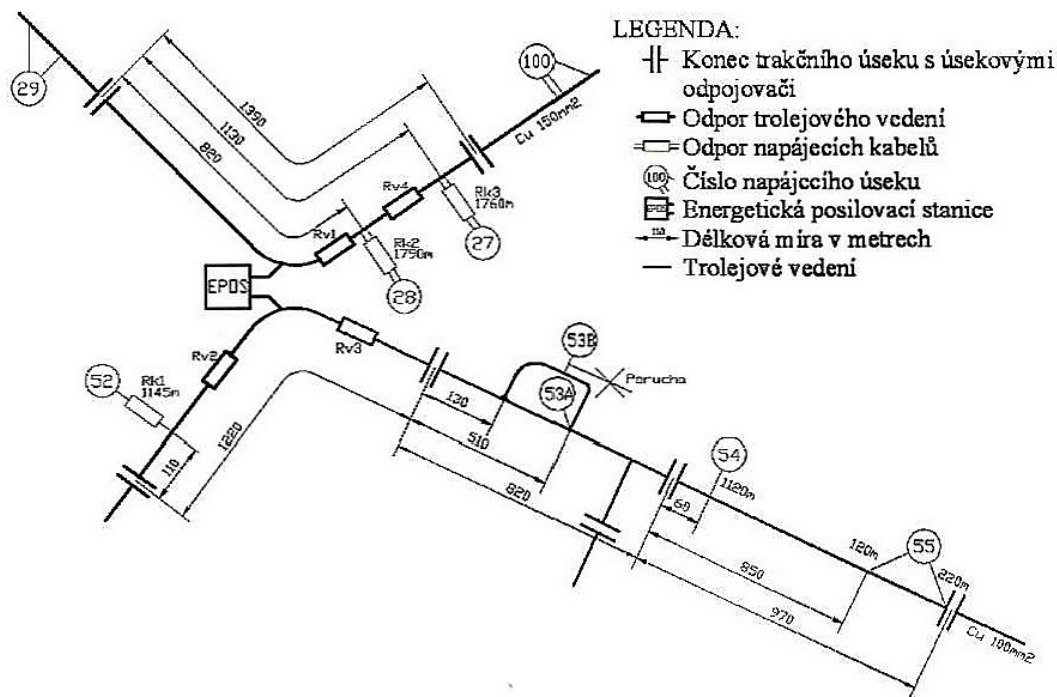
Pro náročnější opravy, tedy velké prohlídky a modernizace sloužily do srpna 2014 ústřední dílny, které se v Plzni nacházely v Cukrovarské ulici. Tento areál však od první poloviny 90. let již nebyl spojen s tramvajovou sítí a vozy tudíž sem musely být přepravovány na silničním trajleru. Od srpna 2014 se náročnější opravy provádí ve slovenské vozovně. Po přestěhování vozovny a celých ústředních dílen na Karlov se uvažuje o stavbě či přestavbě některých objektů na ústřední dílny jen pro tramvaje. Mohlo by se jednat o staré objekty v areálu Škody či o nějakém větším objektu na Slovanech a Světovaru. Ovšem i na dále je zde možnost výstavby nové vozovny, jelikož ta nynější vozovna na Slovanech již není schopná uspokojit vozový park a technické zázemí vozů. [8]

6.3. Trolejbusy

Trolejbusová síť v Plzni vznikala za velmi těžké doby. Od roku 1939 kdy se začalo s první výstavbou což bylo před válkou, která tuto výstavbu zbrzdila. Dalšímu rozšíření došlo až po válce v roce 1948. Od té doby se rozvoj trolejbusové sítě pomalu rozšiřoval a snížil podíl tramvají na celkové přepravě ve městě. S výstavbou sídlišť na okraji města se jevila trolejbusová doprava jako hlavní a prioritní dopravní prostředek ve městě. Po roce 2002 kdy byl zprovozněn průjezd kolem Centrálního autobusového nádraží se s výstavbou nebo modernizací otvírá každé dva roky nové tratě a je to pro Plzeňský dopravní podnik prioritní doprava.

6.4. Využívání el. energie

Plzeň se stala prvním českým městem, kde se úspěšně otestovalo nové zařízení nazývané Energetická posilovací stanice (EPOS) od firmy OHL ŽS. Vyznačuje se dvěma hlavními funkcemi: přelévání a akumulace energie. Zařízení bylo v loňském roce nainstalováno v blízkosti křižovatky Domažlické a Vejprnické ulice. Právě zde se potkávají dvě frekventované linky – tramvaj č. 2 a trolejbus č. 12. Až dosud bylo napájení obou trakcí oddělené a trolejbusová trakce byla navíc nedostatečně napájena, což se projevovalo velkými ztrátami a dokonce i občasnými výpadky. Nové zařízení v tomto umístění tedy mohlo předvést obě své dovednosti. Trolejbusový úsek v případě potřeby „dočerpává“ energii z tramvajové trati, je ale možný i opačný tok energie, například když více trolejbusů brzdí a ve stejnou chvíli se rozjíždějí tramvaje. Díky přelévání si tak maximum rekuperované energie najde své uplatnění. Zrovnoměrnění napájení přináší také významné snížení ztrát na napájecím vedení, dokonce až do řádu stovek kilowatt. Unikátní v této konkrétní aplikaci je i to, že tramvajový úsek je napájený z jiné měřírny než trolejbusová tra. K tomu se ale přidává i druhá funkce zařízení EPOS. [6]



Obr. č.22 Schéma pro přelévání energie mezi úseky

Posilovací stanice totiž obsahuje další technologii a to superkondenzátorové baterie. Ty umožňují velmi rychle přijmout, ale také vydat obrovské množství energie. Takže i když na všech napájených úsecích pojedí jediný vůz, jeho brzděná energie se uschová pro další využití. Kromě zrovnomnění napájení tramvajové a trolejbusové tratě představují superkondenzátory jedinečnou příležitost k dosažení maximální úspory elektrické energie a plného využití rekuperační schopnosti tramvají a trolejbusů. S velkou pravděpodobností se superkondenzátory stanou součástí moderních automobilů a autobusů. Tuto technologii budoucnosti však už dnes umí využít moderní tramvaje a trolejbusy. Dokazuje to i příklad nasazení prvního trolejbusu Trollino v estonském Tallinnu, který firma Cegelec vybavila superkondenzátory, což kromě úspor umožní i efektivní jízdu mimo trolejové vedení. Plzeňské řešení Energetické posilovací stanice EPOS ukazuje zajímavou a ekonomickou cestu pro další rozvoj tramvajové a trolejbusové dopravy. Není totiž třeba doplňovat starší vozidla novými drahými zařízeními, jedna stanice slouží několika úsekům i vozidlům naráz. Navíc při instalaci EPOS není nutné kopat ve městě žádné dlouhé kabelové přívody. Potenciál ke snížení provozních nákladů je veliký: Kromě úspory 18 % energie, kterou dosahují vozidla s rekuperací, je možné uspořit dalších až 22% energie inteligentním napájením trolejové sítě s využitím akumulace pomocí superkondenzátorů. Tramvaje a trolejbusy tak mají možnost posílit své postavení energeticky nejúspornějších a ekologických městských dopravních prostředků. [6]

7. Závěr

V první polovině práce je podrobná rešerže silových obvodů a elektrických výzbrojí, které provozuje Dopravní podnik hl.m. Prahy a.s.(DPP). Takto popsané el. výzbroje jsem doposud nikde neviděl a jistě to bude dobrý zdroj pro čerpání pro zájemce o tramvajovou techniku.

Bohužel DPP dle výpočtů jak svých, tak i externí firmy se rozhodl prozatím neinvestovat do superkapacitoru v měničárně Hloubětín a využívat rekuperovanou energii z vozů, které jedou z kopce na trase Geologická – Hlubočepy.

Tato energie by se dala použít na napájení a osvětlení jednotlivých zastávek, jako tomu je v trakci metra, ale díky zaváděním úsporných světelných zdrojů jako je LED osvětlení a tím pádem výrazné úspory spotřeby el. energie se zdá, že se s touto variantou využití rekuperované energie nepočítá. Dále by se mohly upravit jízdny řády tak, aby vždy současně vyjížděly vozy ze zastávky Hlubočepy směrem vzhůru a ze zastávky Geologická směrem dolů. Tímto opatřením se zlepší podmínky pro využití rekuperované energie.

Doporučit řidičům, aby směrem z centra používaly pro dojezd do zastávky Geologická převážně výběhu. Při jednom dojezdu lze dle okolností ušetřit až cca 0,5 kWh el. energie u vozu sólo a 1,0 kWh u spřažené soupravy (hlavně u vozů typu T6A5).

Využívání výběhu pro dojezd do zastávek umístěných ve větším stoupání by mělo obecně platit u každé tramvajové trati. Snad až ceny těchto technologií ještě klesnou a město se nebude bát investovat do projektu s dlouho návratnost, tak pak se dočká i Praha.

Zatím tedy jediný Dopravní podnik Plzeň se může chlubit jak tuto energii s rekuperování tramvajů efektivně využít k dalšímu odběru jinému než je tramvajový.

8. Seznam použitých zkratk

DPP -	Dopravní podnik hl.m. Prahy a.s.
MHD -	Městská hromadná doprava
Cegelec -	Firma vyrábějící el.výzbroje
EPOS -	Energetická posilovací stanice
PMDP -	Plzeňské městské dopravní podniky

9. Použitá literatura

- [1] Oddelení Konstrukce a technické specifikace DP
- [2] Oddělení Energetika DPP
- [3] www.cs-dopravak.cz
- [4] www.dpp.cz
- [5] Dědourek, P.: Superkondenzátor – princip a použití. 2007
- [6] Dopravní noviny Plzeň 1/2009
- [7] www.sdeleni.idnes.cz/co-jsou-trakcni-akumulatory-a-trakcni-baterie
- [8] www.wikipedia.cz/Tramvajov_doprava_v_Plzni

10. Ostatní použité materiály

Technické specifikace DP SP30, SP347, SP372
Interní dokumenty DP - schémata
www.dpp.cz
www.prazsketramvaje.cz
Tyristorizace Tramvaje 1. a 2. díl - Ing. First Antonín, 1980

11. Přílohy



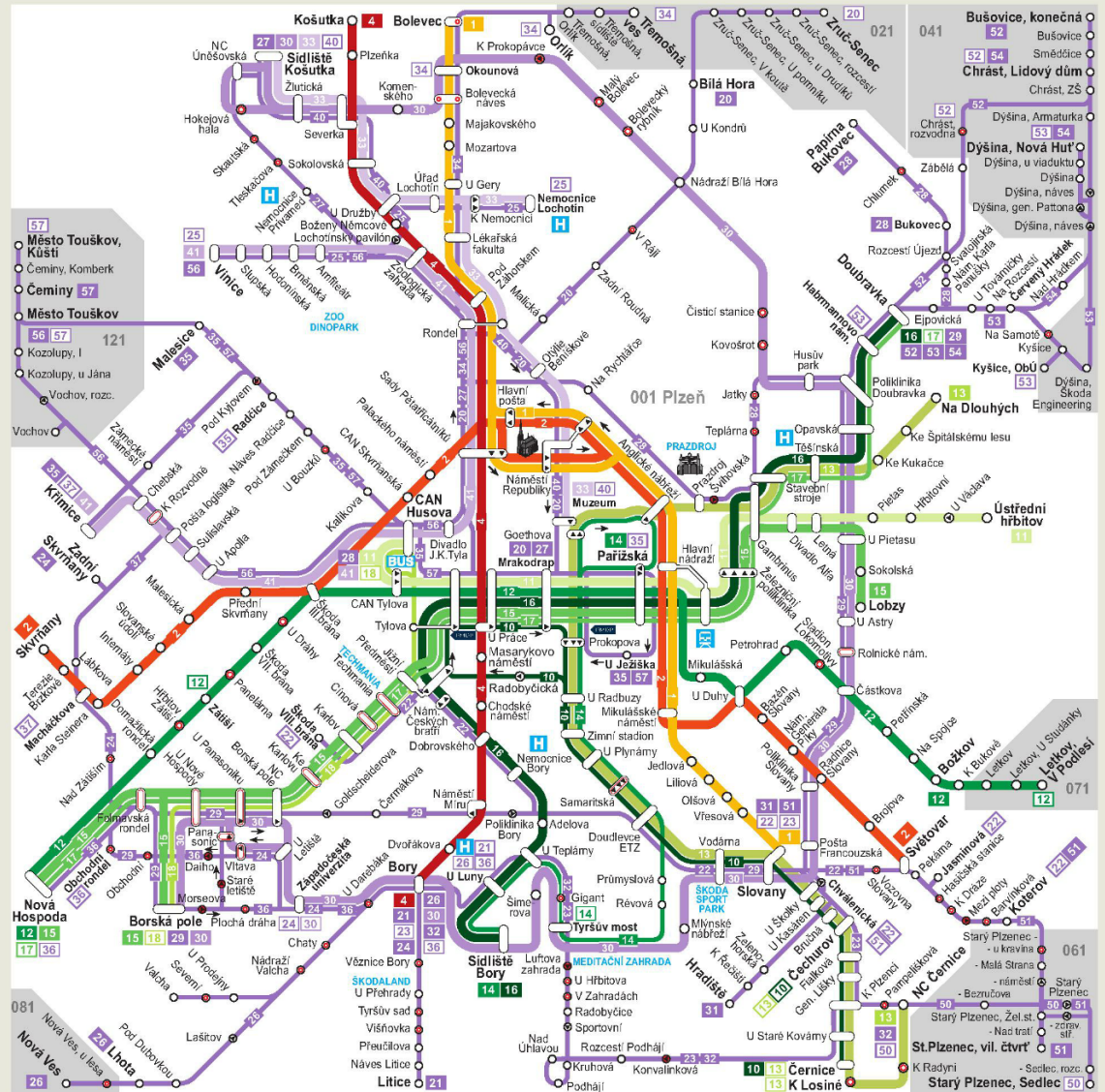
Obr. č. 17 Schéma tramvaje a metro DPP

Schéma městské veřejné dopravy v Plzni Linienetz / Public transport routes

Platnost k 1.1.2017

Plzeňské městské
dopravní podniky

PMDP



Legenda / Legende / Key

Tramvaj (1,2,4) / Straßenbahn / Tram
 1 Interval 4 - 8 (10) min.
 2 Alle 4 - 8 (10) Minuten
 4 Depart every 4 - 8 (10) minutes

Trolejbus (10 - 18) / Obus / Trolleybus
 12 Interval 5 - 15 min.
 Alle 5 - 15 Minuten
 Depart every 5 - 15 minutes
 Ostatní linky / Übrige Linien / Other lines

Autobus (20 - 57) / Bus / Bus
 30 Interval 5 - 15 (30) min.
 Alle 5 - 15 (30) Minuten
 Depart every 5 - 15 (30) minutes
 27 Ostatní linky / Übrige Linien / Other lines
 H Nemocnice / Krankenhaus / Hospital
 BK Hlavní vlakové nádraží / Hauptbahnhof / Main Train Station
 BUS Centrální Autobusové nádraží (CAN) / Zentraler Omnibusbahnhof / Central Bus Station

20 34 Konečná / Endhaltestelle / Terminus
 Zastávka / Haltestelle / Stop
 Zastávka na znamení / Bedarfshaltestelle / Request stop
 Zastávka v zobrazeném směru / Haltestelle nur in abgebildeter Richtung / Stop only in displayed direction
 041 Tarifní zóna / Tarifzone / Tariff zone
 PMDP Zákaznické centrum PMDP / PMDP Kundenzentrum / PMDP Shop

www.pmdp.cz / infolinka: 371 655 600 (po-pá 7:00-18:00)

facebook.com/pmdpaktualne facebook.com/mhdplzen twitter.com/PMDPnews



Obr.č.18 Schéma veřejné dopravy v PMDP