

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

KATEDRA ELEKTROMECHANIKY A VÝKONOVÉ ELEKTRONIKY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Trakční soustava pro MHD v Plzni

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE (PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Roman DUCHOŇ
Osobní číslo: E12H0013K
Studijní program: B2644 Aplikovaná elektrotechnika
Studijní obor: Aplikovaná elektrotechnika
Název tématu: Trakční soustava pro MHD v Plzni
Zadávající katedra: Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky

Zásady pro vypracování:

Proveďte popis trakční soustavy pro MHD v Plzni. V práci realizujte mj. tyto dílčí kapitoly:

1. Popište historické aspekty stávající trakční soustavy pro MHD v Plzni.
2. Popište plánování, postup při výstavbě nových úseků, údržba.
3. Popište trakční měničky.
4. Popište další prvky trakční soustavy (trolejové vedení, sekční děliče, izolátory, přepěťové ochrany, odpojovače, elektrické výhybky...).
5. Popište výhledové vize do budoucna.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah pracovní zprávy: 20 - 30 stran

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Martin Pittermann, Ph.D.

Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky

Datum zadání bakalářské práce: 15. října 2014

Termín odevzdání bakalářské práce: 8. června 2015


Doc. Ing. Jiří Hanzelbauer, Ph.D.
děkan




Doc. Ing. Václav Kůs, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2014

Abstrakt

Tato bakalářská práce řeší trakční soustavu pro MHD v Plzni. Od počátků její historie a vývoj průřezem času, kde práce navazuje na současné jednotlivé součásti a podsystemy. Řeší trakci jako celek, poukazuje na trakční úseky a situaci v Plzni. Dále pak zjednodušeně popisuje transformaci z vysokonapěťové části pomocí trakčních měření na stejnosměrné napětí a jeho rozvod pomocí kabelů k trolejovému drátu. Zmínka je také o armaturách nezbytných pro celkovou funkci, jako například trakční stožáry, nosné sítě, izolátory, také elektrické výhybky s propracovaným systémem VETRA.

V potaz se musí brát aktuálnost práce a to zejména u poslední kapitoly řešící výstavbu nových tratí a vize do budoucna.

Klíčová slova

Trakce, trakční soustava, MHD, měřírny, trolejový drát, trolej, trakční stožáry, nosné sítě, izolátory, elektrické výhybky, VETRA.

Abstract

This bachelor thesis analyses traction system of the public transportation in the city of Pilsen from the very beginning of its history, tracking its evolution through time up until today's currently used components and subsystems. It deals with the traction as a whole and points out some of the traction sections, as well as the current situation in Pilsen. Furthermore, it attempts to provide a simplified description of the transformation from high voltage component into dc, using traction converters and its wiring to the overhead line. It also mentions the armature that is essential for overall functionality, such as traction poles, traction network, insulators, as well as electronic switches with sophisticated VETRA systems.

The topicality of this thesis must be taken into consideration especially in the last chapter, which is dealing with the construction of brand new lines and visions of the future of this field.

Keywords

Traction, traction system, public transport (PT), converters, overhead wire, overhead line, traction poles, carrier networks, insulators, electronic switches, VETRA.

Prohlášení

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

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

.....

podpis

V Plzni dne 7.6.2015

Roman Duchoň

Poděkování

Tuto stranu bych rád věnoval jako poděkování lidem, které mi při psaní bakalářské práce velmi pomohli.

Panu Ing. Martinovi Pittermannovi, Ph.D. za předání teoretických znalostí, pomoc, ochotu a milý přístup při tvorbě bakalářské práce, také za připomínky a metodické vedení práce.

Panu Pavlovi Pirnerovi, vedoucímu střediska HV a Měření, za přístup k materiálům o trakci, kontaktováním dalších osob a celkovému férovému přístupu.

Petrovi Vracovskému, mistrovi Měření, za poskytnutí materiálů a za předání potřebných znalostí.

Dále pak Milanovi Radovi, mistrovi Horního vedení, za zapůjčení vhodné literatury.

Ing. Jiřímu Kohoutovi, Ph.D., projektovému manažerovi dopravy, za informace o vývoji do budoucna.

Také Stanislavovi Reischlovi, bývalému spolužákovi, za jeho znalosti při pomoci s anglickým překladem nezbytných částí.

Děk patří i ostatním kolegům a přátelům, jejichž jména tu nejsou uvedena, ale jakýmkoliv způsobem mi pomohli.

OBSAH

OBSAH	7
ÚVOD	9
1 HISTORIE TRAKCE	10
2 TRAKCE	13
2.1 NEZÁVISLÁ A KOMBINOVANÁ TRAKCE.....	14
3 TRAKČNÍ MĚNÍRNY	15
3.1 PRINCIP TRAKČNÍCH MĚNÍREN.....	16
3.1.1 Trakční transformátor.....	16
3.1.2 Usměrňovač.....	16
3.1.2.1 Tyristorový usměrňovač.....	17
3.1.2.2 Dvanáctipulzní usměrňovač.....	17
3.1.3 Řídící systém a systém ovládání.....	17
3.1.4 Systém ochran.....	17
3.1.5 Kabelové vedení.....	18
4 TROLEJOVÉ VEDENÍ	18
4.1 TROLEJOVÝ DRÁT.....	19
4.1.1 Materiály pro trolejový drát.....	19
4.2 DĚLENÍ TROLEJOVÉHO VEDENÍ.....	19
5 PRVKY TRAKČNÍ SOUSTAVY	20
5.1 TRAKČNÍ STOŽÁRY.....	20
5.2 NOSNÁ LANA.....	21
5.3 IZOLÁTORY.....	21
5.4 SEKČNÍ DĚLIČE.....	22
5.5 ELEKTRICKÉ VÝHYBKY.....	23
5.5.1 VETRA systém pro tramvaj.....	23
5.5.2 Kolejový obvod.....	24
5.5.3 VETRA systém pro trolejbus.....	25
6 ÚDRŽBA TRAKCE	25
6.1 ORGANIZACE ÚDRŽBY.....	25
7 VÝSTAVBA NOVÝCH TRATÍ	26
7.1 TRAMVAJOVÉ TRATĚ.....	26
7.2 TROLEJBUSOVÉ TRATĚ.....	26
8 VIZE DO BUDOUCNA	26
8.1 TRAMVAJOVÉ ROZŠÍŘENÍ.....	26
8.2 TROLEJBUSOVÉ ROZŠÍŘENÍ.....	27
8.3 TROLEJBUSY S BATERIEMI.....	27

ZÁVĚR.....	29
SEZNAM LITERATURY.....	30

Úvod

Postupem času se lidé čím dál více uchylují do měst. Přináší to sebou pohodlí v jistém slova smyslu. Vše potřebné je v určité blízkosti, ale i tak je nutno myslet na dopravu. Více lidí = mohutnější doprava, tudíž mohou vzniknout i dopravní zácpy, či úplný kolaps. Hromadná doprava je proto nedílnou součástí větších měst. Využití elektrické energie přináší ekonomické a hlavně ekologické výhody.

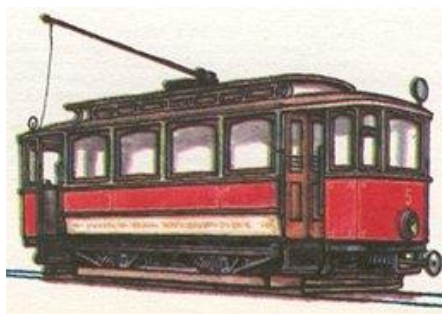
V době mého kombinovaného studia jsem byl zaměstnancem PMDP a.s. jako elektromontér trakčních zařízení, se zájmem jsem se tedy rozhodl popsat trakční soustavu pro městskou hromadnou dopravu v Plzni.

Koncept byl popsat cestu elektrické energie od přívodu vysokého napětí, až po trolejový drát, odkud je sběrači vozidel energie odebíraná. Celá trakce je ale rozdělená do jednotlivých odvětví, kterým rozumí daní specialisté či výrobci jednotlivých systémů. Úkol, popsat trakční soustavu jako celek, se tedy stal komplikovanější, než původní myšlenka.

Spolu s historií a vizemi do budoucna tedy vznikla bakalářská práce, která by mohla zaujmout nadšence, lidi se společným zájmem, odborníky i širokou veřejnost.

1 Historie trakce

Koncem 19. století vznikalo v Plzni spousta nových závodů a podniků a rostl i počet obyvatel. Za pracovními příležitostmi se do měst stěhovalo více lidí a to brzy začalo souviset s rozvojem městské hromadné dopravy. Také se v těchto časech začalo více využívat elektrické energie. Koňské povozy už nestíhaly dynamicky se rozvíjející město a tak bylo rozhodnuto o zavedení tehdy nejmodernějšího dopravního prostředku - tramvaje. Začátky veřejné dopravy v Plzni jsou spojeny s českým elektrotechnikem a vynálezcem Františkem Křížíkem. Působil zde v letech 1881-1883, kdy vyráběl obloukové lampy pro Pietovu papírnu. Později se odstěhoval do Prahy, kde roku 1891 začala jezdit jeho elektrická tramvaj [1].

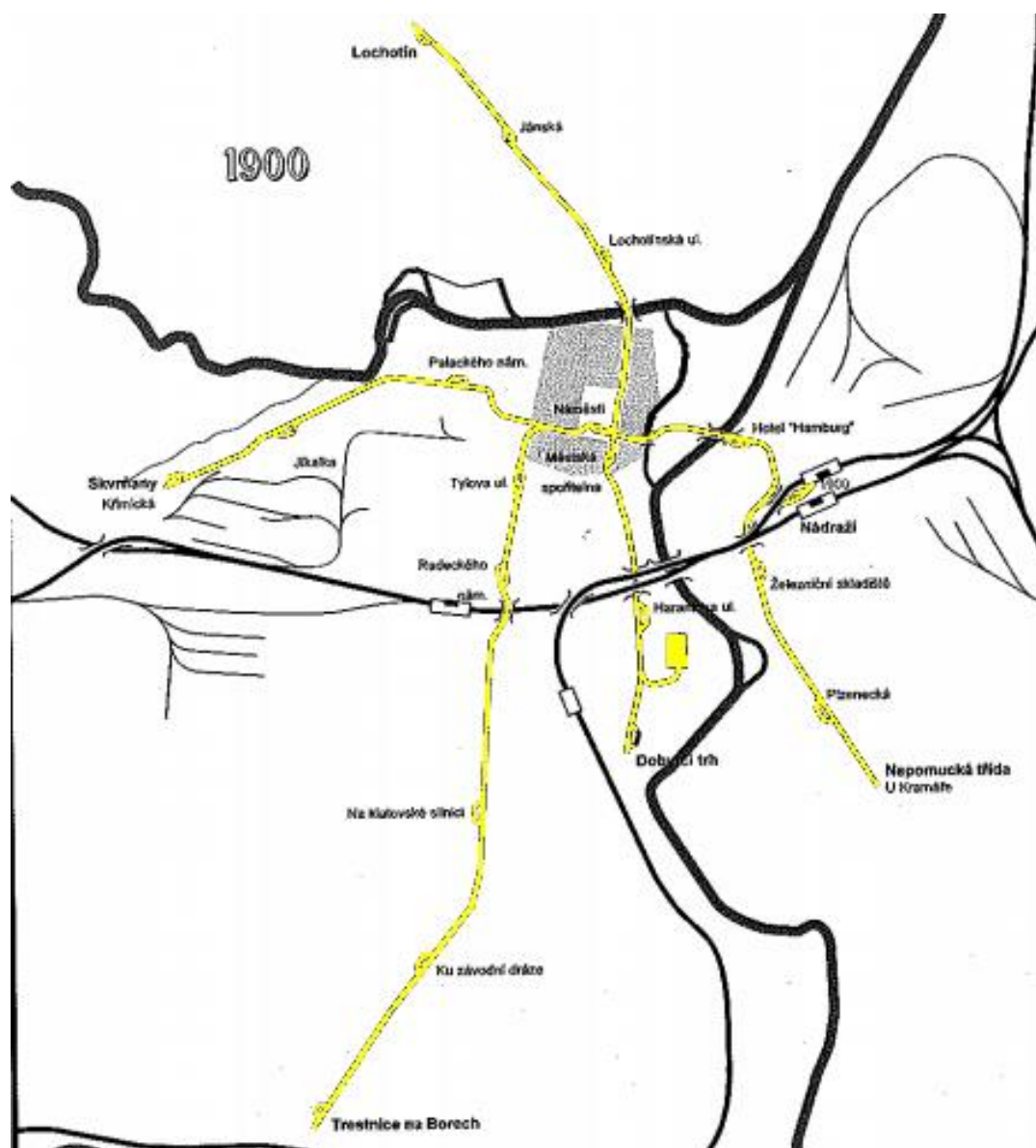


Obr. 1.1 Křížíkova tramvaj z roku 1899. Zrekonstruovaná "18tka" je k vidění dodnes, při slavnostních akcích [2].

To zaujalo i plzeňské zastupitelstvo a tak požádali Křížíka o vypracování projektu na jednokolejní elektrickou dráhu. V červnu 1891 byl projekt schválen a následovalo výběrové řízení na provedení stavby a dodávku vozů. Největší část dodávky připadla firmě Františka Křížíka, hlavně elektrické části (napájení, části vozů, elektrárna apod.), dále firmám Emil Škoda (parní kotle v elektrárně), Václav Brožík a syn (dodávka dvaceti neúplných vozů) a dalším [3].

Za velké pozornosti a také pomoci bylo položeno téměř 12 kilometrů kolejnic, 19 výhybek a bylo zřízeno 45 stanic.

První tramvaje vyjely za velké pozornosti 29. června 1899 a oživily celé město. K dispozici byly 3 jednokolejné tratě: Bory, trestnice - Lochotín, Skvrňany - Nepomucká třída (k Liliové ulici) a Náměstí - plynárna. Tramvajová vozovna vznikla v Cukrovarské ulici, s parní uhelnou elektrárnou pro napájení tramvajové sítě. Pro napájení také sloužila vodní elektrárna v Panském mlýně (dnes již neexistující objekt v Sadech 5. května). V dílnách pracovali dva zámečníci s jedním pomocníkem, kovář, truhlář, lakýrník a elektrikář [1].



Obr. 1.2 Situace z roku 1900. Žlutě je zvýrazněna tramvajová trať. Upraveno z [3].

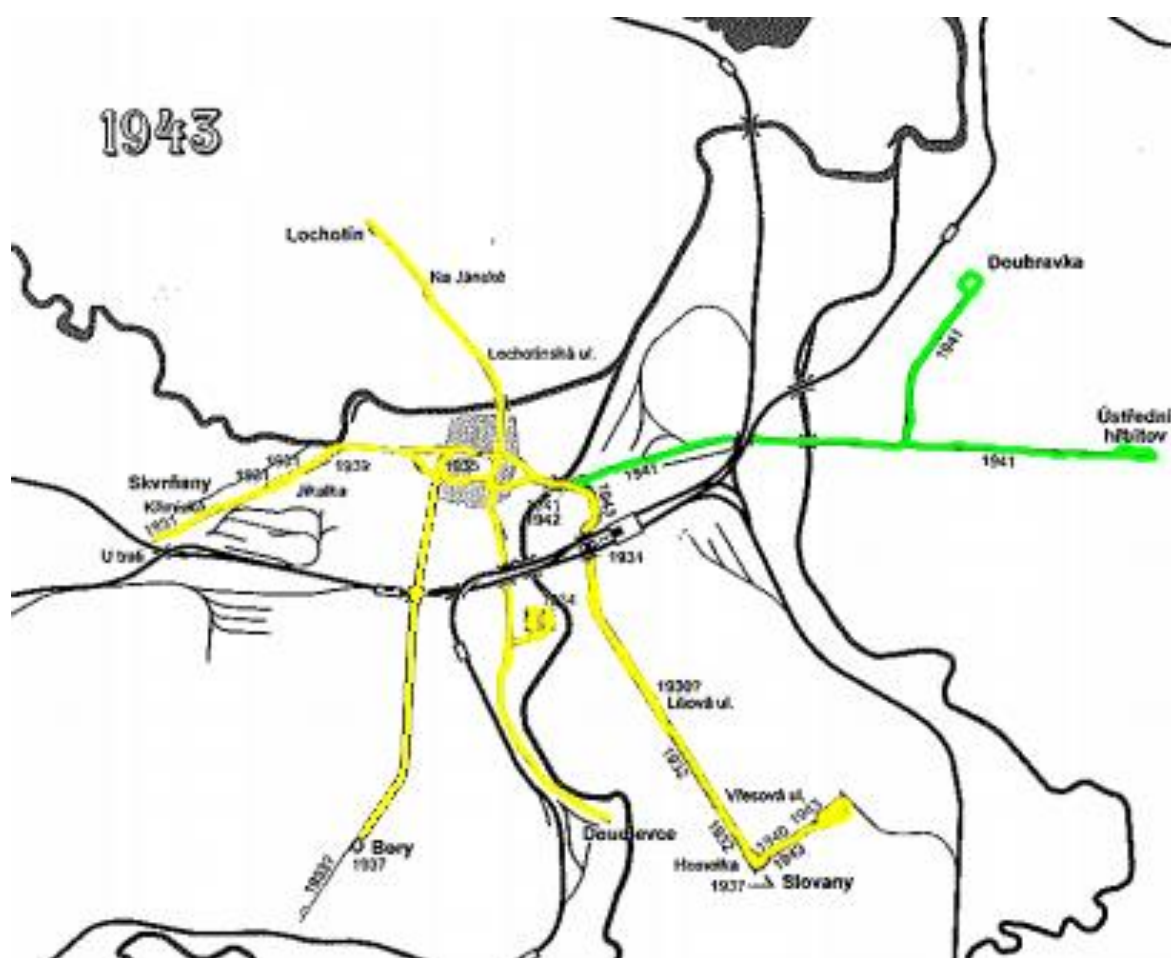
Dílna se rozrůstala a časem byla zřízena i část pro celkovou opravu trakčních motorů, neboť jejich kotvy se předtím komplikovaně posílaly do Prahy.

Trakci dříve spravovaly elektrické dráhy (časem také Elektrické podniky města Plzně), později Podniky města Plzně.

Vzrůstající počet obyvatel a průmyslový rozmach kladl na dopravu stále větší požadavky. Byly nakoupeny nové vozy a v roce 1929 také zdvojkolejněna linka Bory - Nepomucká třída. Od té doby jezdí tramvaje Pražskou a Solní ulicí. V té době posilovaly dopravu také autobusy - objevily se v ulicích již v roce 1922. Velkou změnou bylo, když se vybudovaly kolejové smyčky, v roce 1937 na konečných stanicích Bory a Slovany. Ulehčilo a

zrychlilo to dopravu - nemuseli být převěšovány vlečné vozy a přetáčeny tyčové sběrače. Také se modernizoval vozový park [1].

1939 - 1945, válečná léta, přinesly také mnoho změn. Tramvaje musely být přizpůsobeny pravostrannému provozu - změnily se zastávky a u jednosměrných vozů dveře. Byl nedostatek financí na vylepšení tramvajové provozu, na provoz autobusů zase chyběla ropa. To přineslo do Plzně nové dopravní prostředky - trolejbusy. Již v roce 1939 byl podán návrh na výstavbu trolejbusových tratí. Vše bylo naštěstí vyřešeno rychle, objednaly se vozy, zařízení měření a tratí a podařilo se zprovoznit dvě trolejbusové linky: Městské lázně - Ústřední hřbitov, Městské lázně - Doubravka. Prvních 6 vozů vyjelo v červnu 1941 [1].



Obr. 1.3 Situace z roku 1943. Zeleně jsou zvýrazněny nové trolejbusové tratě. Upraveno z [3].

Trolejbusy nejprve parkovaly pod širým nebem, od roku 1943 sdílely novou vozovnu na Slovanech. Zajímavý byl způsob zavážení vozů, na Slovanské třídě byl mezi trolejemi přivěšen společný minusový vodič, společný pro oba směry a takto to bylo až do roku 1949, než byla dokončena přestavba tramvajové vozovny v Cukrovarské ulici.

Po válečných letech se tratě a vozový park modernizovaly. Byly také otevřeny nové tratě. Rozšíření Rokycanské třídy, odstranění budov v Sirkové ulici a výstavba nových komunikací změnilo výrazně Plzeň a nejen z hlediska dopravy [3].

Trolejbusy parkovaly v depu v Cukrovarské ulici od roku 1949 až do nedávna. Tramvaje byly definitivně přestěhovány na Slovany a jezdily sem pouze do Ústředních dílen, pomocí jednokolejné manipulační trati [4].

V 50. a 70. letech dopravu poznamenal rozvoj předměstích a sídlištních celků. Na ulicích se mísil starý vozový park s novým. Také přišla ropná krize, se kterou skončila iluze autobusů jako levného dopravního prostředku, ale plzeňské dopravní podniky se na rozdíl od ostatní měst tomuto problému ubránily. Elektrická trakce se zde neustále rozvíjela.

Tratě se rozvíjejí neustále. Nejčerstvější novinkou je zrušení depa v Cukrovarské ulici a výstavba nového depa na Karlově. Celý areál, o rozloze 11,6 ha, je koncipován nadčasově až na 70 let dopředu. S chytrým automatickým řízením a novým prostředím se stává jedním z nejmodernějších dep v Evropě, světovým unikátem [5].

Městské hromadná doprava je nedílnou součástí života ve městě. Plzeň se rozrůstá a modernizuje, s tím souvisí i modernizace dopravy, se kterou se počítá i do budoucna.

2 Trakce

Elektrická trakce je systém využívající elektrický pohon drážních vozidel, zejména vlaků, tramvají, ale také trolejbusů. Mezi její přednosti patří menší znečištění a hluk, také energetický vyšší účinnost a nižší provozní náklady [6].

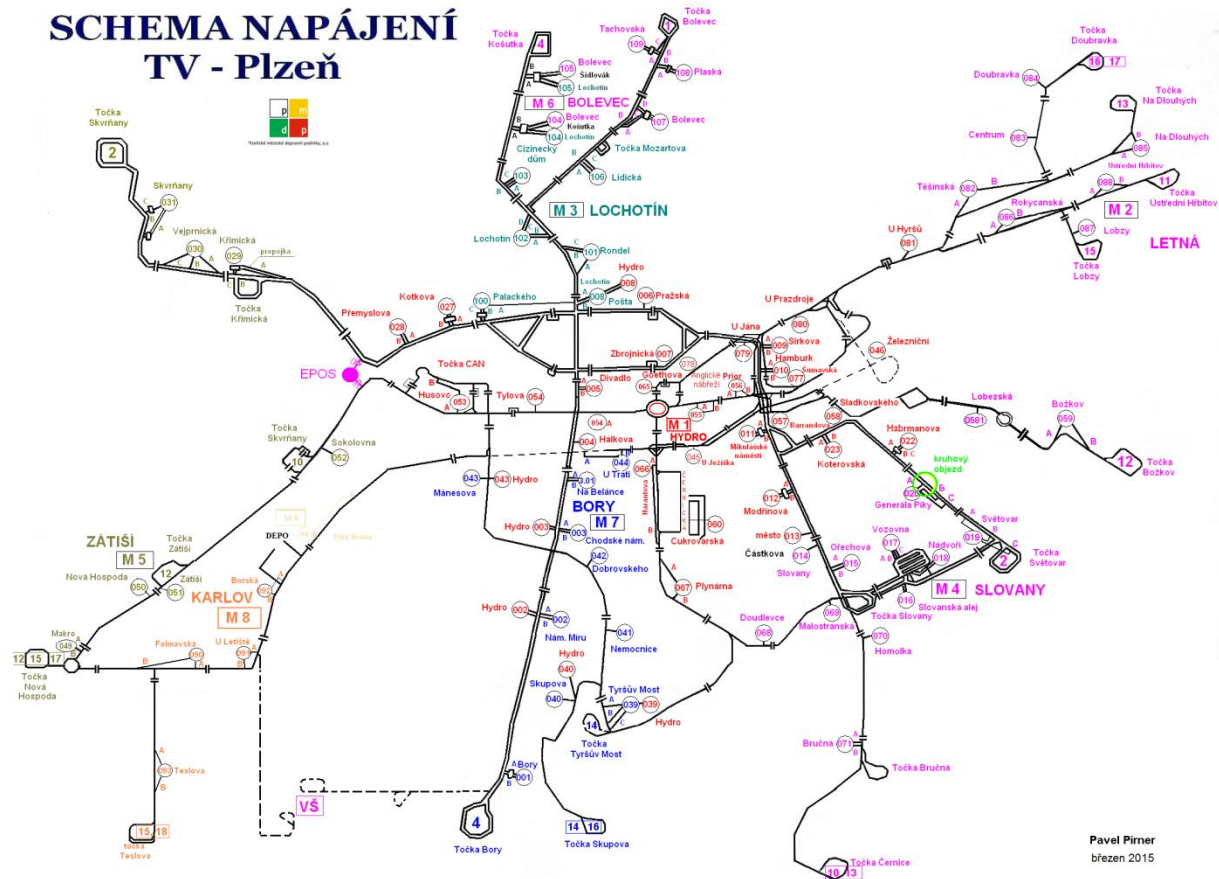
V Plzni se o provoz trakce starají Plzeňské městské dopravní podniky, a.s., a bylo zde vybudováno trakční vedení pružné, polokompensované i napínané.

- **polokompensované vedení** - je vhodné pro provoz do 100 km.h^{-1} , nosné sítě jsou pevně uchyceny na stožár, tudíž může nastat problém s teplotní roztažností trolejového drátu.

- **celokompensované vedení** - vhodné pro vyšší rychlosti, je zde napínáno i nosné lano, které je řetízkově vedeno souběžně s trolejovým drátem.

Napínání je provedeno pomocí závaží umístěného na kladce.

Vedení je napájeno stejnosměrným napětím 650 V z jednopólové IT sítě (příčemž v případě tramvajového vedení je ukolejněný (-) pól), v současné chvíli celkem z devíti měření.



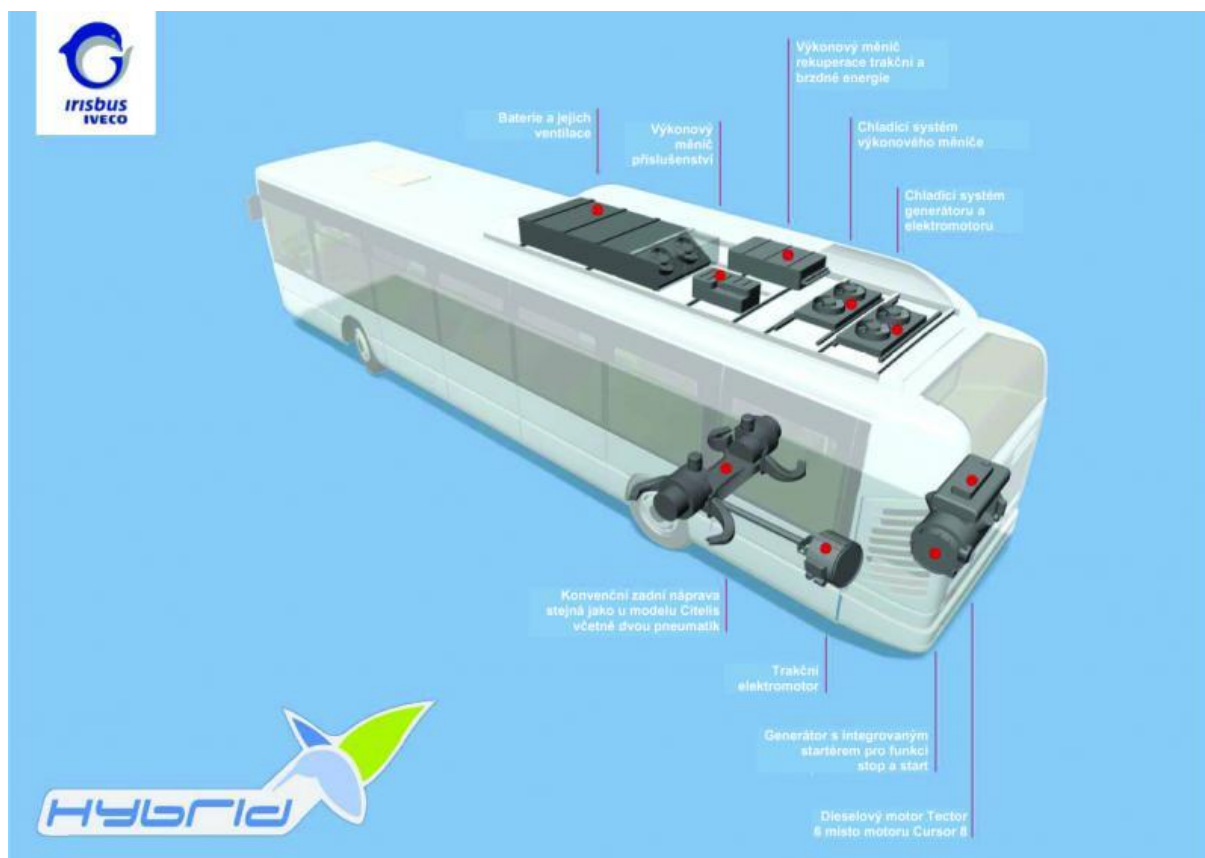
Obr. 1.4 Schéma napájení trolejového vedení - z roku 2015 [7].

Venkovní vedení v Plzni je tedy rozděleno na úseky, které jsou mezi sebou elektricky odděleny pomocí úsekových děličů. Úseky jsou označeny číslem shodným s číslem napáječe, dále pak částí města, ulice či objektu, kde se nachází [8]. Značení úseků, napáječů a měření lze vidět na schématu napájení trolejového vedení zobrazeného na obr. 1.1.

2.1 Nezávislá a kombinovaná trakce

Ne všechna vozidla jsou závislá na elektrické energii z trakce. Nezávislá vozidla jsou ještě navíc vybavena generátorem (dynamem nebo alternátorem s usměrňovačem) poháněným spalovacím motorem.

Po Plzni se (ke dni 1.5.2015) pohybuje 87 trolejbusů, z nichž je 44 hybridních - s diesel-agregátem [9].



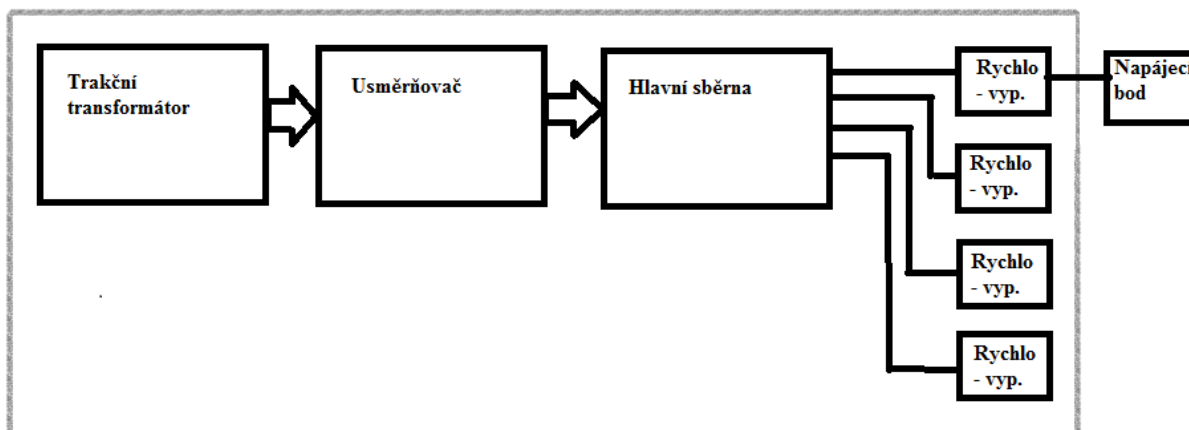
Obr. 1.5 Řešení hybridního trolejbusu Citelis od firmy Irisbus Iveco [10].

3 Trakční měnírny

Měnírna, buď jako budova se zařízením nebo samotné zařízení, mění proudovou soustavu nebo propojuje různé elektrické soustavy. Odebírá výkon z třífázové sítě a do trakčního vedení dodává stejnosměrný proud a potřebném napětí [11].

V Plzni se nachází celkem devět měníren: Hydro, Letná, Lochotín, Slovany, Zátíší, Bolevec, Bory, Karlov a čerstvě vybudovaná měnírna v novém depu pod názvem Základny. Všechny jsou dálkově ovládány z řídicí měnírny (se stálou obsluhou) Hydro.

3.1 Princip trakčních měření



Obr. 1.6 Zjednodušené schéma měřirny s diodovým usměrňovačem.

Do měření přichází střídavé napětí 22 kV z distribuční sítě, které je sníženo na trakčním transformátoru.

3.1.1 Trakční transformátor

Na primární straně je tedy vysoké napětí 22 kV střídavých, které prošlo nejprve rozvodnou vysokého napětí. Pro transformaci se používá suchý trakční transformátor se třemi vinutími. Napětí nakrátko 6%. Chlazení je přirozené, okolním vzduchem, bez ventilátoru. Vodič je měděný, kruhového nebo oválného průřezu (musí být polohovaný). Na straně sekundární pak tedy máme 650 V, resp. 520 V AC v odbočce, vše v rytmu 50 Hz [12].

Přívody má nahoře a vývody dole. Rozměry jsou přibližně 2200x1200x2100 (délka x šířka x výška). Bez ochrany vniknutí cizího tělesa a bez ochrany proti vniknutí vody, takže pod záštitou IP00.

3.1.2 Usměrňovač

Výstupných 650 V AC je třeba usměrnit. Starší způsob byl pomocí tyribloků. Novější pomocí dvanáctipulzního usměrňovače.

3.1.2.1 Tyristorový usměrňovač

Ze sekundárního vinutí transformátoru je přes sběrnou přivedeno střídavé napětí na tyristorové bloky. Tzv. tyriblok, současně usměrňuje a v případě odebrání řídicího impulsu i bezkontaktně vypíná. Nevýhodou je hlavně to, že každý vývod je osazen vlastním tyriblokem, to vede k nemožnosti rekuperace mezi úseky. K dnešnímu dni na tomto principu v Plzni fungují ještě dvě měnírny - Bory a Letná. Časem se od nich ale opustí.

3.1.2.2 Dvanáctipulzní usměrňovač

Zbylé měnírny mají usměrňovač dvanáctipulzní v můstkovém zapojení. Slouží k usměrnění střídavého trakčního napětí. Používá se z důvodu menšího zvlnění výstupního napětí. Další výhodou je méně zdeformovaný proud odebíraný ze sítě. Je skříňového provedení, vlastní usměrňovač je umístěn na vozíku a jde vysunout. Blok obsahuje dvě paralelní diody pro fázi, v sérii s každou diodou je umístěna ochranná pojistka. Část dveří je osazena grafickým panelem a prvky pro ovládání a signalizaci.

Výhodou je právě také rekuperace z úseku do úseku.

3.1.3 Řídicí systém a systém ovládání

Řízení dnešních měníren je na principu programovatelných automatů (na rozdíl od starších tyristorových, kde byla jen jedna řídicí jednotka). Různé podsystémy jsou tedy programovatelné samostatně a jsou samostatně funkční. Také ale mohou být řízeny nadřazeným modulem. Je prováděna archivace stavů a událostí, naměřených hodnot.

Měnírny jsou připojeny na systém dálkového ovládání měnírnou Hydro a i odtud je možno prvky ovládat. Celý systém je tedy tříúrovňový.

3.1.4 Systém ochran

Nejvíce jsou řešeny tři druhy ochran:

- ochrana proti zkratu. Ta je nejčastěji řešena elektromechanicky - čím větší proud, tím větší elektromagnetické síly a dle nastavení se systém či odpojí.

- **časově závislá ochrana** sleduje proud v závislosti na čase a promyšleně ho sčítá.
- **časově nezávislá ochrana** sleduje především strmou nárůstu proudu.

3.1.5 Kabelové vedení

Přenos elektrické energie se provádí pomocí jednožilových kabelů potřebných průřezů. Trasy napájecích a zpětných kabelů se provádí na základě energetického výpočtu, se záměrem co nejmenších ztrát. Avšak i při tomto řešení hraje hlavní roli bezpečnost, ochrana před poškozením a omezením bludných proudů.

Na jeden napájecí vypínač je možno připojit více napájecích kabelů určených k napájení stejného úseku. Každý samostatný úsek musí být opatřen odpojovačem nebo odpínačem, ale bývá většinou opatřen obojím. Napájení jednoho úseku je možné jen tehdy, je-li provedena vazba napáječů nebo každý z těchto napáječů je v měřičně vybaven nadproudovou ochranou, jejíž nastavení je podloženo výpočtem zkratových poměrů.

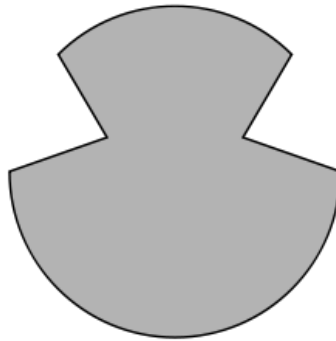
Trolejové vedení začíná na odpojovačích napájecích bodů [13].

4 Trolejové vedení

Trolejové vedení je část trakčního vedení, sloužící k přenosu elektrické energie od napájecího vedení k sběračům trakčních vozidel. U trolejbusového vedení pak ještě k odváděcímu vedení (zpětné trolejové vedení). Musí umožňovat mechanickými i dynamickými vlastnostmi spolehlivý odběr proudu vozidly při každé rychlosti až do rychlosti traťové.

Trolejové vedení je tedy venkovní vedení, výška se měří kolmo od spojnice temena kolejnice nebo od povrchu vozovky k trolejovému drátu. Pohybuje se v hodnotách maximálně 6 m, minimálně 4,8 m na společném tělese s ostatním provozem, ale také až 4,3 m v podjezdech a tunelech [13].

4.1 Trolejový drát



Obr. 1.7 Průřez trolejového drátu [14].

Trolejový drát má charakteristický průřez: na bocích má drážky pro pevné a spolehlivé uchycení k nosné síti, spojování, či zavěšení pomocných zařízení. Zároveň takovéto uchycení nebrání v dráze sběrače. Na obr. 1.3 je vyobrazen tvar průřezu, který se může lišit podle toho, z jakého materiálu je vyroben a pro jaké účely je určen.

4.1.1 Materiály pro trolejový drát

- elektrovodná měď, nejčastěji používaná (CuETP)
- vysokopevnostní měď (CuFRHC, CuHCP, CuOf)
- tzv. trolejový bronz (CuAg, CuCd, CuMg, CuSn), který modifikuje vlastnosti, např. zvýšení pevnosti. Čistá měděná trolej má zaručenou pevnost 310 - 355 MPa, kadmiová: 430 - 455 MPa, horčíková: 470 - 520 MPa [14].

Trolejový drát může mít také ocelovou duši.

I přes danou pevnost nesmí být nový trolejový drát zatížen více než na 100 MPa, u opotřebovaných může být hodnota překročena až na 120 MPa podle proudového zatížení.

Stanovené hmotnosti jsou 690 - 1378 kg.km⁻¹. Normované hodnoty průřezů: 80 - 100 - 107 - 120 - 150 mm² [14]. V Plzni se dříve používal drát s průřezem 80 mm², dnes už jen výjimečně 100 mm², jinak je ve většině případů použit průřez 150 mm².

4.2 Dělení trolejového vedení

Trolejové vedení musí být na vhodných místech rozděleno na samostatné, elektricky oddělené úseky. Délka těchto úseků závisí na velikosti zkratových proudů, úbytky napětí,

poměrů na trati, funkci jednotlivých úseků, provozními nebo bezpečnostními důvody. Izolační dělení se provádí úsekovými děliči (více v kapitole 5.4), musí se však počítat s místem bez napětí a tedy zajištění bezproblémového projetí vozidel.

Je vhodné, z provozních důvodů, zajistit možné propojení úseků.

Samostatné úseky je nutno zřizovat pro vozovny a pro tratě delší než 500 m [13].

Úsek může mít i více napájecích bodů - to však musí být důkladně spočítáno a hardwarově i softwarově specificky upraveno.

5 Prvky trakční soustavy

Trakční vedení obsahuje mnoho prvků - od trakčních stožárů, přes závěsná lana, izolátory, sekční děliče až po složitější systému elektrických výhybek.

5.1 Trakční stožáry

Trakčních stožárů je použito více druhů. Někde v Plzni by se dal najít ještě archaický betonový stožár. Nehledě na různé délky, je druhý nejčastěji používaný trakční stožár osmihranný jehlanový. Jsou vyrobeny z plechů válcovaných za studena.

Nejběžnějším stožárem v Plzni je typ D - třístupňový vyrobený z trubek, na obou stranách uzavřený.

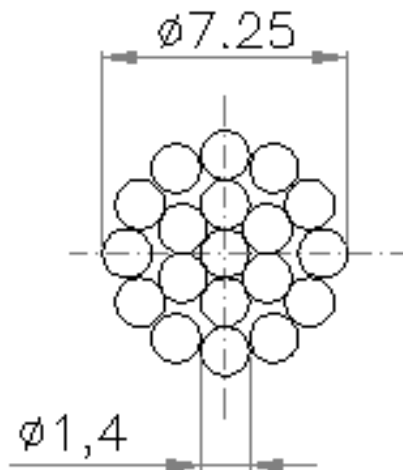
Při projektování musí být brán zřetel na veřejné osvětlení. Stožáry mohou být z výroby upraveny pro montáž výložníku veřejného osvětlení, musí zde být také dvířka pro rozvodnici a otvory pro vedení kabelů [15].

Typ	Celková délka (m)	Dílní délka (m)		Nadzemní výška (m)	Hmotnost (kg)
		L1	L2		
D9	9	5,5	3,5	7,4	948
D10	10	5,5	4,5	8,4	1028
D11	11	6,5	4,5	9,4	1135
C12	12	6,5	5,5	10,4	1215
Průměr: (mm)		324	245		

Tab. 1.1 Tabulka délek a hmotností nepoužívanějšího typu stožáru - "D" [15].

5.2 Nosná lana

Pro nosné sítě je použité nerezové lano o průřezech 25, 35, případně 50 mm².



Obr.1.8 Konstrukce lana 35mm² [16].

5.3 Izolátory

Vzhledem k armatuře trakčního vedení je celý systém dobře izolován. Izolovány jsou nosná lana a také jednotlivé prvky včetně troleje, pomocí závěsných izolátorů.

Pro izolování lan se používá smyčkových izolátorů, ze sklených laminátů s očnicemi z nerez oceli. Dnes se ještě izolátory pokrývají silikonem. Klasický smyčkový izolátor od firmy Elektroline má jmenovité napětí až 3 kV DC, dovolené zatížení 25 kN.



Obr. 1.9 Smyčkový izolátor od Firmy Elektroline [16].

Pro izolování troleje od lan se používá tzv. závěsných izolátorů. Ty jsou zavěšeny na nosném laně pomocí šroubového spoje s příložkami. Dále pak pomocí drátků, nebo minoroků k armatuře připevněné k troleji. Izolátor je keramický v kombinaci ocele a žárového pozinku. Nový způsob je také pomocí deskové izolátoru, který je vyroben z polyamidu se skelnou výplní s nerezovou ocelí. Možné je také pevné izolování pomocí soudkových izolátorů.

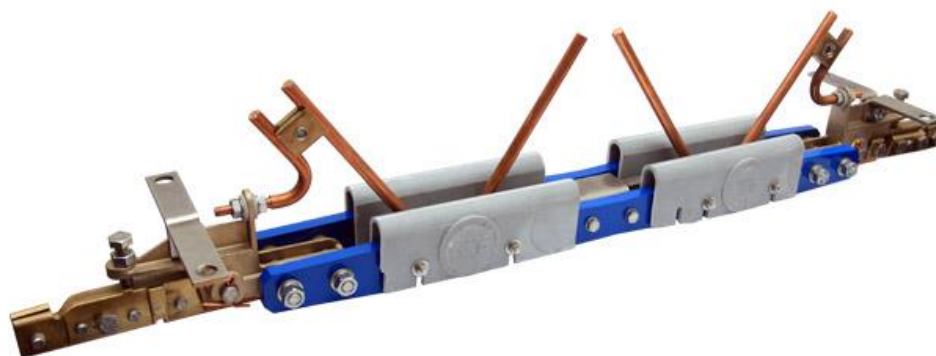


Obr 1.10 Dva typy závěsných izolátorů. Vlevo keramický od firmy Esko, vpravo polyamid od firmy Elektroline [17][16].

Vyjmenovány byli nejpoužívanější izolátory, je mnoho druhů, přičemž je v Plzni i mnoho neúspěšných prototypů.

5.4 Sekční děliče

Odděluje jednotlivé úseky. Obvykle je stavěný na zátěž. Při průjezdu tramvaje dochází k propojení oddělených úseků. Ke zhasnutí případného el. oblouku dojde v krátkém čase působením magnetického pole mezi zhašecími růžky.



Obr 1.11 Příklad používaného sekčního děliče. Tento typ konkrétně pro tramvajové vedení [16].

5.5 Elektrické výhybky

V Plzni je v současné době, kromě starších typů či neelektrických výhybek, používán systém s názvem Vetra nabízený firmou Elektroline. Je to systém inteligentního ovládání, který zabezpečuje automatické stavění cesty pro vozidlo. Systém obsahuje vysílač (přijímač) tzv. trainsceiver komunikující na kmitočtu 2,4 GHz. Jednotlivé zprávy jsou šifrované a obsahují zprávu o číslu vozu, časové údaje, požadovaný směr povelu.

5.5.1 Vetra systém pro tramvaj

Základem systému je rozvaděč s modulárním systémem. Na základním panelu je umístěno několik vyměnitelných karet. Jednotlivé karty hlídají správnou funkci dílčích systémů. Jedná se například o sledování napájení, vytápění výhybky, správnou komunikaci s vozy, bezpečnou funkci kolejových obvodů, zpětné vazby signalizace a také možnost dálkového řízení.



Obr. 1.12 Rozvaděč VETRA pro tramvajovou výhybku [16].

Rozvaděč je napájen z trakce přes pojistkovou skříň (4 A). Dále je usměrněno napětí přes měnič 600 / 24 V.

5.5.2 Kolejový obvod

Systém se blokuje, pokud má dostatečné informace. Kromě povelu z palubního počítače je primárně zablokovan při zablokování kolejového obvodu. Ten představuje kondenzátory připojený mezi kolejemi, ohraničen spojkami, které vedou do dílčí karty systému. Celý tento úsek musí být vymezený zkraty.

Karta je sofistikovaný systém, který vysílá a vyhodnocuje signál o určitém kmitočtu.

Kolejový obvod je pak schopný reagovat nejen na zkrat mezi kolejemi, ale také hmotu. Musí být proto správně naladěn, protože v některých úsecích se tramvajová trať kříží s auty a tím vyřazuje automaticnost z provozu.

5.5.3 Vetra systém pro trolejbus

Pro trolejbusy systém Vetra pracuje obdobně. Je o něco jednodušší. Neobsahuje modulární karty, ale jen pár modulů, jenž řeší adresaci výhybky, vykonání povelů a jejich signalizaci.

Rozvaděč bývá umístěn na sloupu nebo přímo mezi trolejemi. Transceivery jsou také nejčastěji umístěny mezi trolejemi, na izolované tyči a jsou kabelově propojeny s rozvaděčem.

6 Údržba trakce

Rozsah a časové cykly údržby venkovních trakčních vedení řídí norma ČSN 34 3372. Od základních požadavků, že trakční vedení musí být v dobrém technickém stavu a že pro bezpečný, bezporuchový provoz je nutno provádět prohlídky, až po velmi důležitou tabulku lhůt prohlídek a kontrol.

6.1 Organizace údržby

Jak již bylo řečeno, o údržbu se starají Plzeňské městské dopravní podniky, a.s., údržba má rozdělenou do více oblastí: Vrchní stavba, starající se především o koleje, ale také stavební úpravy, Horní vedení, spojené hlavně s pracemi okolo trolejového drátu i s prostředky pro zavěšení, Měničny, s úkolem údržby měničů a dodávek elektrické energie do trolejového drátu. Tak velká společnost má i více oblastí a podoblastí, včetně údržby vozů, která se ovšem téměř celá přesunula pod firmu Bammer Trade a.s.

Údržba (hlavně trakčních zařízení) bývá rozdělena do montážních čt, nejméně o dvou lidech, s vymezenou oblastí a s konkrétním plánem údržby. Kromě údržby mají na starost také výstavbu nových tratí, kontroly, bezpečnostní úkony při interakci s okolím, pohotovost a další nezbytné úkony.

Na vše musí být dbán důraz bezpečnosti práce, v souladu s normami ČSN 3100 a ČSN 34 3112 [18].

7 Výstavba nových tratí

Doprava se dynamicky rozvíjí a po správném úsudku je nutné tvořit nové tratě.

7.1 Tramvajové tratě

Jsou vedeny dvoukolejně v úrovni vozovky. Při trasování je trať většinou dána zdejší zastavbou. Tratě se větví a kříží, z tohoto důvodu je používáno již zmíněných elektrických rozjezdových výhybek (kapitola 5.5), také sjezdových výhybek, nejčastějším prvkem v kolejových konstrukcích je srdcovka, která umožňuje napojení a křížení kolejí. Prvky trolejového vedení jsou již také popsány v předchozích kapitolách. Při plánování tratě se musí brát zřetel na zastávky, kterou bývají umístěny před křižovatkou, z dopravních důvodů i za ně. Místa, kde se protínají tratě se nazývají uzly. Koncové stanice jsou buď smyčkové, s koncovou výhybkou a nebo s trojúhelníkovým obratem [19].

7.1 Trolejbusové tratě

Jsou umístěny v dopravním prostoru komunikace, přímo v jízdnicích s ostatními vozidly, kromě zastávek, ležících mimo průběžný pruh.

Výhodou je možnost pohybu v uličním provozu.

Trolejové vedení je dvoupólové s normovanou roztečí 600 mm a je popsáno v předchozích kapitolách. Jeho konstrukce v obloucích musí umožňovat plynulý průjezd i ve větších rychlostech a nesmí zde tedy být větší lomy, než 3 stupně [19].

8 Vize do budoucna

Jak bylo řečeno, a je i zřejmé, že je potřeba neustálý vývoj, jak technologický, tak také se musí tratě neustále rozšiřovat. Celkový rozvoj bych klasifikoval do těchto tří skupin: tramvajový (dražní), trolejbusový a nově i trolejbusy s bateriemi.

8.1 Tramvajové rozšíření

V Plzni jsou tramvajové linky dobře řešeny - protínají důležité části města, s dopravním uzlem v sadech Pětatřicátníků. Z hlediska vývoje se bude řešit především rekonstrukce tramvajového depa na Slovanech, s hlavním cílem odstranit nedostatky a celkově modernizovat a rozšířit areál. To přinese pár komplikací, nutno řešit odstavné plochy tramvají, kde budou po dobu rekonstrukce. Nabízejí se zde konečné stanice (Skvrňany, či odstavné plochy na Vinicích), ale i ty bude nutno přizpůsobit.

Rozšíření tratě k univerzitě na Borských polích je v úvaze již přes 10 let. Nese to sebou mnoho studií, projektů i interních záležitostí, takže je situace komplikovaná. Nynější plány nasvědčují, že práce by mohly započít někdy v období mezi rokem 2016 - 2018. Může se stát, že prodlouženou linkou bychom se mohli svézt již v roce 2019.

Dále se neustále rekonstruuji stávající tratě a ve vzdálených plánech bychom se mohli dočkat i tramvajové tratě na Vinice, kde je to teoreticky proveditelné.

8.2 Trolejbusové rozšíření

V této oblasti je uvažuje celá řada projektů a rekonstrukcí. Jak u manipulačních tratí (rozšíření v Železniční ulici, Borské ulici), tak i pro běžný provoz (prodloužení linky na

Rokycanské k Tescu, v Černicích k Olympii, nové tratě u Muzea, na Roudné, k Fakultní nemocnici Lochotín, na Košutce či dokonce na Vinice). Některé jsou uvažovány až ve vzdálenější budoucnosti.

Trolejbusové tratě se musí rekonstruovat celkem často, vzhledem k opotřebení trolejového drátu, může se tedy této rekonstrukce využít v nový, vylepšený projekt.

8.3 Trolejbusy s bateriemi

Této oblasti je věnována pozornost. V některých evropských, amerických i asijských městech jsou elektrobuses již v běžném provozu. Plzeň se technologicky udržuje v elektrické trakci odjakživa, proto už dnes můžeme sledovat v ulicích testovací provoz elektrobuses. Testují se zatím 2 elektrobuses na linkách na Doubravce a Borských polích (Projekt ZeEUS - Zero Emission Urban Bus System). Bude se testovat i provoz na Košutce, kde by se měli elektrobuses rychlodobíjet, přičemž ve vozovně by byly přes noc dobíjeny normálně. Využití by měli také jako trolejbusy s bateriemi, tudíž by se nabízel hybridní provoz do míst, kde ještě elektrická trakce není zřízena [20].

Vše je teprve v testovací fázi, po dvou letech se zhodnotí ekonomické, ekologické, technologické a další aspekty, týkající se běžného provozu. Je mnoho úskalí, které hovoří proti, jako třeba pořizovací náklady, životnost baterií, hmotnost baterií (spojených s kapacitou vozu), také nutnost baterie chladit, či ohřívat. I přesto má provoz na baterie, s technologickým vývojem, velkou budoucnost [20].

Závěr

Technologický pokrok narůstá a s tím souvisí i trakce veřejné dopravy. Vývoj trakce je nevyhnutelný a záleží na samotném lidu, jakým směrem se uchýlí a v jakém pořadí si utříbí životní hodnoty. Vše je otázka financí, ale je nutné, aby finance zpomalily technologický vývoj?

Hromadná přeprava je sama o sobě ekonomická a ekologická, ne vždy je nutné měnit stávající zařízení, některé neměněné naopak ano. Záleží na ekonomickém a ekologickém úsudku. Tento úsudek by měl mít vždy zdravý rozum.

Lidé by si také měli uvědomit, že udržovat takový sofistikovaný systém funkční, stojí mnoho úsilí, a měli by projevit více vděku i třeba menší pracovní pozici v celé hierarchii, na místo nespokojenosti, při pár minutovém zpoždění spoje.

Také je dobré vnímat věci kolem sebe. Tak pokud někdo dočetl až sem, je možné, že se příště podívá na trolej, zamyslí se, jak je tam vlastně uchycená a odkud se v ní bere energická energie...

Seznam literatury

- [1] *Plzeňská televize: Historie veřejné dopravy v Plzni* [online]. [cit. 2015-05-07]. Dostupné z: <http://www.plzenska-televize.cz/video/6-2/1>
- [2] *Plzeňské tramvaje: Křížikovy tramvaje z roku 1899, historický vůz č. 18* [online]. [cit. 2015-05-07]. Dostupné z: <http://www.plzensketramvaje.cz/?page=18.htm>
- [3] BRENÍK, Jiří. *100 let městské hromadné dopravy v Plzni*. Praha: Nakladatelství dopravy a turistiky. ISBN 80-858-8495-X.
- [4] RIEGER, Jiří. 2009. *Město v pohybu: 110 let Plzeňských městských dopravních podniků*. Vyd. 1. Plzeň: Starý most, 119 s. ISBN 978-80-87338-01-8.
- [5] *Plzeňské trolejbusy: Depo Karlov* [online]. [cit. 2015-05-07]. Dostupné z: <http://www.plzensketrolejbusy.cz/trate/depokarlov.php>
- [6] Elektrická Trakce. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2015-05-02]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Elektrick%C3%A1_trakce
- [7] PIRNER, Pavel. 2015. *Schéma napájení TV*. Plzeň: PMDP, a.s.
- [8] PMDP, a.s. *Směrnice č.10/2007: Místní provozní bezpečnostní předpis pro práci na elektrickém zařízení*. 2011.
- [9] Vozový park. In: *Plzeňské trolejbusy* [online]. [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: <http://www.plzensketrolejbusy.cz/vozy/>
- [10] TZ: Irisbus Iveco: nový hybridní vůz Citelis v roce 2010. In: *Autobusové noviny* [online]. 2009 [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: <http://www.autobusovenoviny.cz/clanek/1413/tz-irisbus-iveco-novy-hybridni-vuz-citelis-v-roce-2010>
- [11] Měničrna. 2001-. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/M%C4%9Bn%C3%ADrna>
- [12] SOKOL. *Návod na obsluhu a údržbu tyristorové měničrny*.
- [13] ČSN 33 3516. *Předpisy pro trakční vedení tramvajových a trolejbusových drah*. Praha: Český normalizační institut, 1997.

- [14] Trolejové vedení. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Trolejov%C3%A9_veden%C3%AD
- [15] Katalog stožárů. MZK CHOMUTOV. [online]. [cit. 2015-05-02]. Dostupné z: <http://mzk-chomutov.cz/katalog/katalog-stozaru>
- [16] Minikatalog. ELEKTROLINE. [online]. [cit. 2015-05-02]. Dostupné z: http://www.elektroline.cz/minicat_menu.php
- [17] Katalog. ESKO PRAHA. [online]. [cit. 2015-05-02]. Dostupné z: http://www.esko-praha.cz/cz/items_list.php?kat=1
- [18] ČSN 34 3372. *Předpisy pro údržbu venkovních trakčních vedení tramvajových a trolejbusových drah*. Praha: Český normalizační institut, 1993.
- [19] ANTONICKÝ, Stanislav. *Dopravní provoz: učební text pro 2. ročník studia oboru 37- 42-6 elektrická trakce v dopravě na středních odborných školách*. 1. vyd. Praha: Nakladatelství dopravy a spojů, 1985, 158 s.
- [20] KOHOUT, Jiří. Plzeň, evropské město inovací v elektromobilitě. *Dopravní novinky: Informační magazín PMDP, a.s.* 2014.