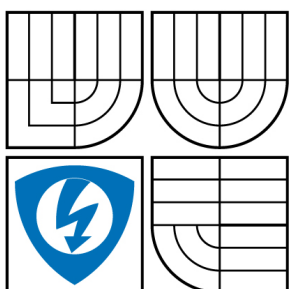


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

VÝPOČET ENERGETICKÉ DOSTATEČNOSTI NAPÁJENÍ TRATÍ DPMB

THE CALCULATION OF THE ADEQUACY OF ENERGY SUPPLY LINES DPMB

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. JAROSLAV BEDNAŘÍK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. ANTONÍN MATOUŠEK, CSc.

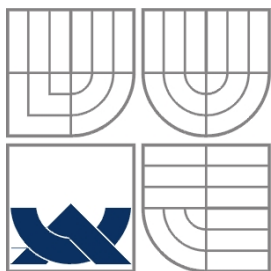
BRNO 2009

Bibliografická citace práce:

BEDNAŘÍK, J. *Výpočet energetické dostatečnosti napájení tratí DPMB*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009. 47 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Antonín Matoušek, CSc.

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v příloženém seznamu.

.....



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ



Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií

Ústav elektroenergetiky

Diplomová práce

Výpočet energetické dostatečnosti napájení tratí DPMB

Bc. Jaroslav Bednařík

vedoucí: doc. Ing. Antonín Matoušek, CSc.

Ústav elektroenergetiky, FEKT VUT v Brně, 2008

Brno



BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**Faculty of Electrical Engineering and Communication
Department of Electrical Power Engineering**

Master's Thesis

The calculation of the adequacy of energy supply lines DPMB

by

Bc. Jaroslav Bednařík

Supervisor: doc. Ing. Antonín Matoušek, CSc.

Brno University of Technology, 2008

Brno

ABSTRAKT

V této práci je úvodem popsána stávající situace v dané oblasti, kde budeme zlepšovat energetickou dostatečnost napájení. Je zde rozebráno vše od napájení měničny až po samotné soupravy, které projíždí napájené úseky. Je zde poukázáno na nedostatky provozované sítě a jejich možné řešení v současné době.

V druhé části je popsán vývoj těchto sítí a jejich modernizace s rozvíjejícím se městem. Následným výpočtem je ověřeno, zda byly naše úvahy správné a navržená síť bude za normálních podmínek spolehlivá a provozu schopná.

Závěrečná část se zabývá ekonomickou rozvahou projektu a jeho různými alternativami. Jelikož jde při rozvoji sítí a energetických zařízení o nemalé finance při rozvoji technického zázemí a tyto investice se neprojevují ihned. Ovšem do budoucna se vyplatí a čím dříve se provedou tím méně problémů může nastat.

KLÍČOVÁ SLOVA: Návrh trolejbusové sítě; Výpočet dostatečnosti napájení; Trakce; Měničny; MHD; SS síť

ABSTRACT

This paper contains an introduction that describes the current situation of the problem and its energy supply improvement. It discusses everything from power substations to trolleys which are fed through sections. There is a reference to the network operating deficiencies and possible solutions.

The second part describes the development of these networks and their modernization in a growing city. It is verified by calculation if were our considerations good and proposed network will be normally reliable and capable.

The final part deals with the economic balance of the project and its various alternatives. Development of energy networks and facilities cost many finance and these investments do not show immediately. Future will be paid off because as soon the changes come less problems may occur.

KEY WORDS: Proposal trolleybus network; The calculation of the adequacy of supply; Traction; Substations; MHD; DC networks

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ.....	10
SEZNAM TABULEK	11
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	12
1 ÚVOD.....	14
2 POPIS SOUČASNÉHO STAVU NAPÁJENÍ.....	15
2.1 MĚNÍRNY	15
2.2 MĚNÍRNA LÍŠEŇ	16
2.3 TROLEJE A VEDENÍ	18
2.4 VOZY A SOUPRAVY MHD	18
3 VÝHLED ROZVOJE TRATÍ V OBLASTI SÍDLIŠTĚ VINOHRADY A LÍŠEŇ	21
3.1 UMÍSTĚNÍ MĚNÍREN A ROZVOJ TRATI.....	21
3.2 NÁVRH MĚNÍRNY.....	25
4 NÁVRH ŘEŠENÍ POSÍLENÍ KABELOVÝCH TRAS, NOVÝCH MĚNÍREN A DALŠÍ ÚPRAVY.....	26
4.1 NÁVRH PRODLOUŽENÍ SMYČKY NOVOLÍŠEŇSKÁ, S VÝSTAVBOU NOVÉ MĚNÍRNY.	26
4.1.1 POSTUP VÝPOČTŮ	26
4.1.2 DOSAZENÍ PŘI VÝPOČTECH:	31
4.2 VÝSTAVBA MĚNÍRNY PRO ZLEPŠENÍ NAPÁJENÍ V OBLASTI PÁLAVSKÉHO NÁMĚSTÍ.....	38
4.2.1 UPRAVENÉ ÚSEKY.....	38
4.2.2 VÝPOČET.....	40
4.3 MĚNÍRNY	42
5 POROVNÁNÍ JEDNOTLIVÝCH ŘEŠENÍ, EKONOMICKÉ HODNOCENÍ	43
6 ZÁVĚR.....	45
PŘÍLOHA A	47

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obrázek 2-1 Jednopolové schéma měnírny Líšeň.</i>	<i>17</i>
<i>Obrázek 3-1 Plánovaný rozvoj trolejbusové sítě v oblasti Líšně.</i>	<i>22</i>
<i>Obrázek 3-2 Možné umístění nových měníren.</i>	<i>24</i>
<i>Obrázek 4-1 Blokované schéma prodloužení smyčky Novolíšeňská.</i>	<i>26</i>
<i>Obrázek 4-2 Náhradní schéma nového úseku 155.</i>	<i>32</i>
<i>Obrázek 4-3 Náhradní schéma nového úseku 156.</i>	<i>37</i>
<i>Obrázek 4-4 Úsek 161 </i>	<i>38</i>
<i>Obrázek 4-5 Úsek 162 </i>	<i>39</i>
<i>Obrázek 4-6 Úsek 154 </i>	<i>39</i>
<i>Obrázek 4-7 Úsek 163 </i>	<i>40</i>
<i>Obrázek 5-1 Návrh nového kabelového koridoru.</i>	<i>44</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka č.1. - Koefficient efektivního proudu.</i>	<i>29</i>
<i>Tabulka č.2. - Výsledky výpočtu úseku 156.</i>	<i>37</i>
<i>Tabulka č.3. - Výsledky změněných úseků.</i>	<i>40</i>
<i>Tabulka č.4. - Upravené výsledky změněných úseků.</i>	<i>41</i>
<i>Tabulka č.5. - Přibližné ceny pro výpočet nákladů vedení.</i>	<i>43</i>

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

I_a	střední proud	[A]
I_{ef}	efektivní proud	[A]
$I_{ef\ 1vozu}$	efektivní proud jednoho vozu	[A]
I_{max}	maximální proud	[A]
$I_{k\ min}$	minimální zkratový proud	[A]
I_n	jmenovitý proud nejmenší usměrňovací jednotky v měřírně	[A]
I_{Nad}	proud nadproudové ochrany	[A]
I_p	proud pomocných pohonů soupravy	[A]
I_r	rozjezdový proud vozu	[A]
I_{zk}	proud zkratové ochrany	[A]
P	příkon do úseku	[KW]
P_n	počet náprav	[1]
R_C	celkový odpor	[Ω]
R_m	náhradní odpor měřírny	[Ω]
R_N	odpor napájecí části	[Ω]
R_Z	odpor zpětné části	[Ω]
S	čelní plocha soupravy	[m ²]
U_0	napětí naprázdno	[V]
U_n	napětí jmenovité	[V]
ΔU	úbytek napětí	[V]
Z	rozjezdové a brzdné ztráty	[Wh/t]
c_e	koeficient efektivního proudu	[1]
int	interval jednotného typu vozu	[min]
l	redukováná délka úseku	[km]
m	hmotnost soupravy	[t]
n	počet souprav současně v useku	[1]
n_{1h}	počet redukovaných vozů za 1h	[1]
n'	počet souprav v useku za 1h v obou směrech	[1]
p_0	měrný jízdní odpor	[Wh/t]

p_s	odpor stupání	[Wh/t]
v_b	brzdná rychlost	[km/h]
v_c	cestovní rychlost	[km/h]
v_r	rozjezdová rychlost	[km/h]
w	měrná spotřeba	[Wh/t·km]
z	počet zastavení v úseku v obou směrech	[1]
ε	koeficient respektující účinnost soupravy při rozjezdu a brždění	[1]
ξ	součinitel rotačních hmot	[1]
η_c	celková účinnost vozidla	[1]
ITR	izolační transformátor	
MHD	městská hromadná doprava	
T_1, T_2, T_3	transformátory trakce	
TVS	transformátor vlastní spotřeby	

1 ÚVOD

Z důvodů stále rostoucí spotřeby elektrické energie v oblastech, které jsou závislé na stálé dodávce elektrické energie, je nutné do přenosových a energetických zařízení z dlouhodobého hlediska investovat. Pokud bychom takto neuvažovaly, hrozilo by zhroucení napájení takovýchto lokalit či odvětví, což by v městské hromadné dopravě mohlo způsobit chaos.

Cílem této práce je zhodnotit stávající stav poddimenzované napájecí trakční sítě trolejbusových linek v oblasti *Vinohrady* a *Líšeň* a navrhnout vhodné řešení. Dále pro plánovaný rozvoj sítě navrhnout vhodné měnírny z hlediska výkonového a ekonomického. Při umístění měníren nebude bráno v potaz, zda je dané místo zastavěno, či bude-li vlastník ochoten danou parcelu odprodat, protože to není náplní této práce.

Zároveň je ale nutné postupovat tak, aby bylo možné použít výpočty a poznatky vyplývající z této práce a zhodnotit je tak při možné realizaci projektu. Jelikož se při návrhu trakčních sítí vychází delší dobu ze stejných postupů, tak bude postupováno jako při výstavbě již zmíněné sítě.

2 POPIS SOUČASNÉHO STAVU NAPÁJENÍ

2.1 Měnírny

Měnírny jsou zařízení, která zabezpečují napájení stejnosměrné městské trakce. Většinou jsou to zděné budovy různých velikostí a typů podle toho, v kterém období byly postaveny. Slouží jako ochrana pro zařízení v nich umístěných. V dnešní době je snaha stavět bezúdržbové měnírny z kompozitu betonu, ale není to levné řešení a při výstavbě větší měnírny neproveditelné. Staví se tedy i nadále zděné měnírny.

Jelikož nelze předpovědět, jak se bude doprava ve městě vyvíjet a měnírny nelze postavit na každém rohu, používají se dočasné pojízdné měnírny, které se připojí na místo s nedostatečným napájením, dokud se nerozhodne, kde je výhodné měnírnu postavit a jakých výkonů bude do budoucna zapotřebí. V zastavěných oblastech centra města či jejich parcích, kde je jakákoliv nová budova nežádoucí, je možné měnírnu umístit pod zem. Nezmění se tím ráz okolí a nejsou takové náklady na chlazení. Podzemní měnírna vyjde finančně několikrát draž než obyčejná měnírna. K takovému řešení při výstavě přihlížíme, jen pokud je to nutné. Na to poukazuje i fakt, že v Brně jsou momentálně dvě takovéto měnírny a nad výstavbou nových se zatím neuvažuje. Měnírny neobsahují jen výkonovou usměrňovací část, ale také řadu transformačních, měřících, spínacích, jisticích, chladících a vývodových prvků, které jsou pro správnou funkci trakce zapotřebí. Měnírna je rozdělena na kobky s výkonovou částí a měřící zvlášť. V některých částech města s větší hustotou dopravy MHD tak mohou měnírny zabírat velkou plochu, což je možné zredukovat několika podlažní měnírnou.

Měnírny jsou napájeny ze sítě 22 kV, které jsou provozovány po městě dopravním podnikem a to z důvodu velkoodběru elektřiny v jednom místě. Odběry trakce jsou špičkové a kolísavé a při odběru z jednoho místa se tyto nesymetrie zatížení ztrácejí. Při takovémto odběru je nutné si elektřinu objednávat na čtvrt hodinové intervaly a pomocí možné regulace tyto odběry hlídat, jelikož penále za neodebranou či odebranou energii navíc jsou značné. Při odběru z více míst by tato možnost regulace byla o to těžší. Na výstupu měnírny do trakce je napětí 600V SS a to pro trolejbusy i tramvaje. Pro potřeby vlastní spotřeby má měnírna transformátor vlastní spotřeby na 400/230V a dále záložní baterie napájené stejnosměrnými obvody 60 a 110V.

S rozšiřující se dopravou se zvedá zatížení měníren a přírodních vedení. To se v praxi řeší regulací dopravy a tam kde již napájení není dostačující, se musí zvážit možnost výstavby nové měnírny nebo připojení pojízdné stanice, kterou je ovšem vhodné mít v záloze, kdyby došlo v nějaké části k výpadku a bylo potřeba zálohy po dobu oprav. Tato situace nastává zejména v extrémních měsících, kdy se zařízení přehřívají nebo naopak jsou soupravy vytápěny a tím vzrůstá riziko přetížení. Příčinou může být také časté přetěžování kabelů a zařízení, při kterém dochází k rychlejšímu stárnutí a postupnému poškození. Pokud tato mez zatěžování překročí jistou hranici, zařízení nevydrží nebo zareagují ochrany a zařízení je nutno opravit či vyměnit, což může být oprava dlouhodobá. Při změnách zatížení tedy změny intervalu po sobě jedoucích vozů, ale i výkonu měníren je nutné přenastavit ochrany aby správně reagovali a nevypínalo je pouhé rozjetí několika souprav v daném úseku.

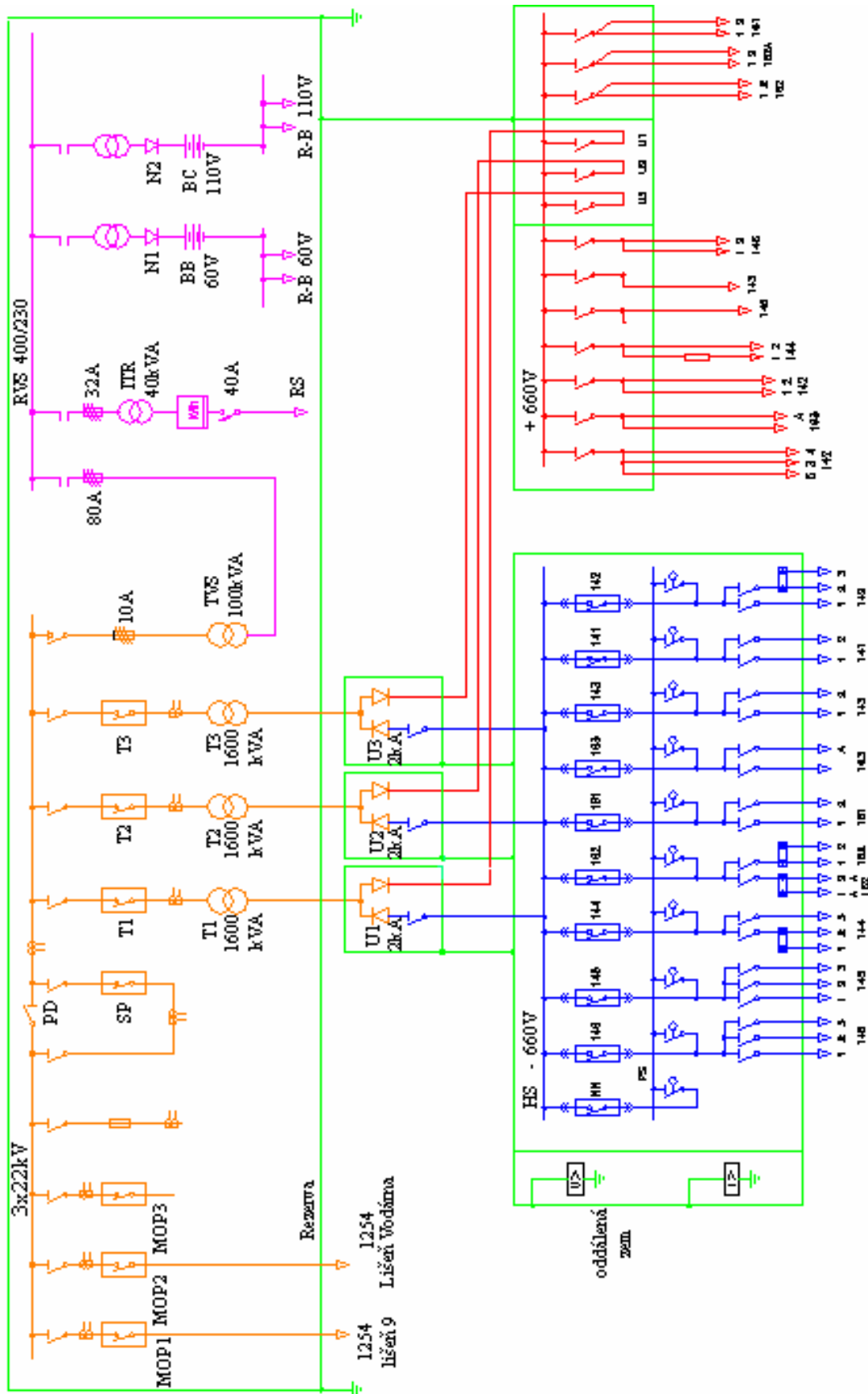
2.2 Měničrna Líšeň

Měničrna Líšeň je samostatná zděná budova umístěna v suterénu a přízemí. Suterén se nachází pod primární rozvodnou. Jednopolové schéma této měničrny nalezneme na Obrázek 2-1.

- Vstup do suterénu je z primární rozvodny po schodech a je v něm 7 kobek. První dvě kobky jsou přívodní kabely *1254 Líšeň9* a *Vodárna Líšeň* s odpojovačem a zemnicím nožem. Následuje jedna kobka rezervní a tři přívodní kobky pro T_1-T_3 . V poslední kobce je přívod k transformátoru vlastní spotřeby.
- Přízemí je rozvodna 22 kV s deseti kobkami po obou stranách. První dvě kobky jsou výkonové vypínače 25 kV pro přívodní kabely a jeden rezervní vypínač v kobce 3. Kobka 4 měření, odpojovač a odpojovač přívodu ke spínači sběren v kobce 5. V kobce 6 se nachází spínač sběren a v následujících třech kobkách jsou výkonové vypínače jednotlivých transformátorů. Pro transformátor vlastní spotřeby je v poslední kobce odpínač a výkonové pojistky. T_1-T_3 jsou trakční olejové transformátory 1600 kVA a TVS je 100 kVA.

Transformátory trakce T_1-T_3 jsou umístěny ve třech kobkách v pravé části budovy se vstupem ze stejnosměrné měničrny. Transformátor vlastní spotřeby je umístěn v samostatné kobce spolu s ITR – 40 kVA v pravé části budovy se vstupem z venku budovy.

Jako záložní napájení řídicí elektroniky v této měničrně nalezneme baterie. Akumulátorovna se nachází na pravé straně budovy v samostatné místnosti, kvůli agresivnímu prostředí z akumulátorů je vstup přes předsíň z chodby. Je zde 18 kusů nikl-kadmiových baterií – 110 V SS, 100 Ah pro technologii a 10 kusů nikl-kadmiových baterií – 60 V SS, pro DO. Nabíječky pro oba akumulátory jsou na velínu, který je umístěn na levé straně budovy, vstup s chodby. Nalezneme zde také rozvaděč pomocných zařízení s elektroměrem vlastní spotřeby.



Obrázek 2-1 Jednopolové schéma měřírny Líšeň.

2.3 Troleje a vedení

Sítě trakce jsou provozovány úsekově. Z měnírny jsou vyvedeny kabely do míst, kde je trolej napájena. Jednotlivé úseky napájené měnírnami jsou odděleny úsečníky a souprava jedoucí trasy mezi nimi se napájí postupně z měníren, na které je v daném místě trakce napojena. Tento princip se používá z důvodu celkem velkých rozjezdových proudů, které by v ucelené síti příliš zatěžovali přenosovou síť. V takovéto soustavě je nutné v daných úsecích provozovat maximální možný počet vozů vzhledem k rozjezdovým proudům jednotlivých souprav.

Troleje jsou Cu 100 mm² nebo 125 mm²

Z důvodu bezpečnosti DC vedení je kladný pól u tramvaje v kolejnicích a u trolejbusu blíže k chodníku. U tramvajů jsou použity dva typy kolejnic a to typ *S* v centru a okolí a typu *N* v okrajových mimoměstských částech jelikož mají menší odpor díky většímu průřezu.

Vedení je většinou zajišťováno kabelem AYY500 v Al o průřezu 500 mm².

V místech s nedostačující dodávkou a velkým odběrem navíc jako velké převýšení v daném useku se občas stane, že se kabely opakovaně přetěžují, což má za následek jejich tepelnou destrukci a je nutné je vyměnit. Tomuto předcházíme vhodným umístěním ochran, ale při tak velkých rozjezdových prouděch než stihnou tyto ochrany zareagovat, dochází k zahřívání kabelů, které snižuje životnost izolace a časem se tyto následky projeví.

2.4 Vozy a soupravy MHD

Tramvaj 2x T3 – spřažená souprava tramvajů

- hmotnost prázdné soupravy	32,6 t
- hmotnost při normálním obsazení	48,4 t
- hmotnost při maximálním obsazení	55,2 t
- max. proudový odběr jen pro trakci	960 A
- max. proudový odběr pomocných spotřebičů	60 A

Tramvaj K2 – článková tramvaj

- hmotnost prázdné soupravy	21,5 t
- hmotnost při normálním obsazení	33,4 t
- hmotnost při maximálním obsazení	36,5 t
- max. proudový odběr jen pro trakci	500 A
- max. proudový odběr pomocných spotřebičů	36 A

Tramvaj KT8, D5

- hmotnost prázdné soupravy	37,0 t
- hmotnost při normálním obsazení	53,4 t
- hmotnost při maximálním obsazení	61,2 t
- max. proudový odběr jen pro trakci	1250 A
- max. proudový odběr pomocných spotřebičů	60 A

Trolejbus 14Tr

- hmotnost prázdné soupravy	10,4 t
- hmotnost při normálním obsazení	15,3 t
- hmotnost při maximálním obsazení	17,4 t
- max. proudový odběr jen pro trakci	310 A
- max. proudový odběr pomocných spotřebičů	40,3 A

Trolejbus 15Tr

- hmotnost prázdné soupravy	15,8 t
- hmotnost při normálním obsazení	22,9 t
- hmotnost při maximálním obsazení	26 t
- max. proudový odběr jen pro trakci	600 A
- max. proudový odběr pomocných spotřebičů	38,0 A

Jak je patrné z parametrů jednotlivých souprav, rozjezdové proudy jsou značné. Aby nedocházelo k přetěžování některých úseků jsou vozy vpouštěny na trať ve větších intervalech nebo se střídají po sobě krátká a dlouhá souprava. Tak je zabezpečený jistý počet souprav v jednotlivých úsecích trakce a jim odpovídající rozjezdový proud. Jestliže se z jakéhokoliv důvodu na úseku setká více vozů, musí odtud odjíždět postupně, tak aby v měnících nedošlo k vybavení ochran. Takovéto situace řeší dispečer z dispečinku, který má přehled, kde se kolik souprav právě nachází. U každého vozu jsou také pomocné spotřebiče jako klimatizace, které jsou také napájeny z trakce. Tyto obvody je možné regulovat v případě nedostatku či nadbytku elektrické energie. U nových souprav se tak děje elektronicky přímo z dispečinku, což řidiče soupravy nijak nezatěžuje nebo u starších souprav ruční regulací řidiče na výzvu dispečera.

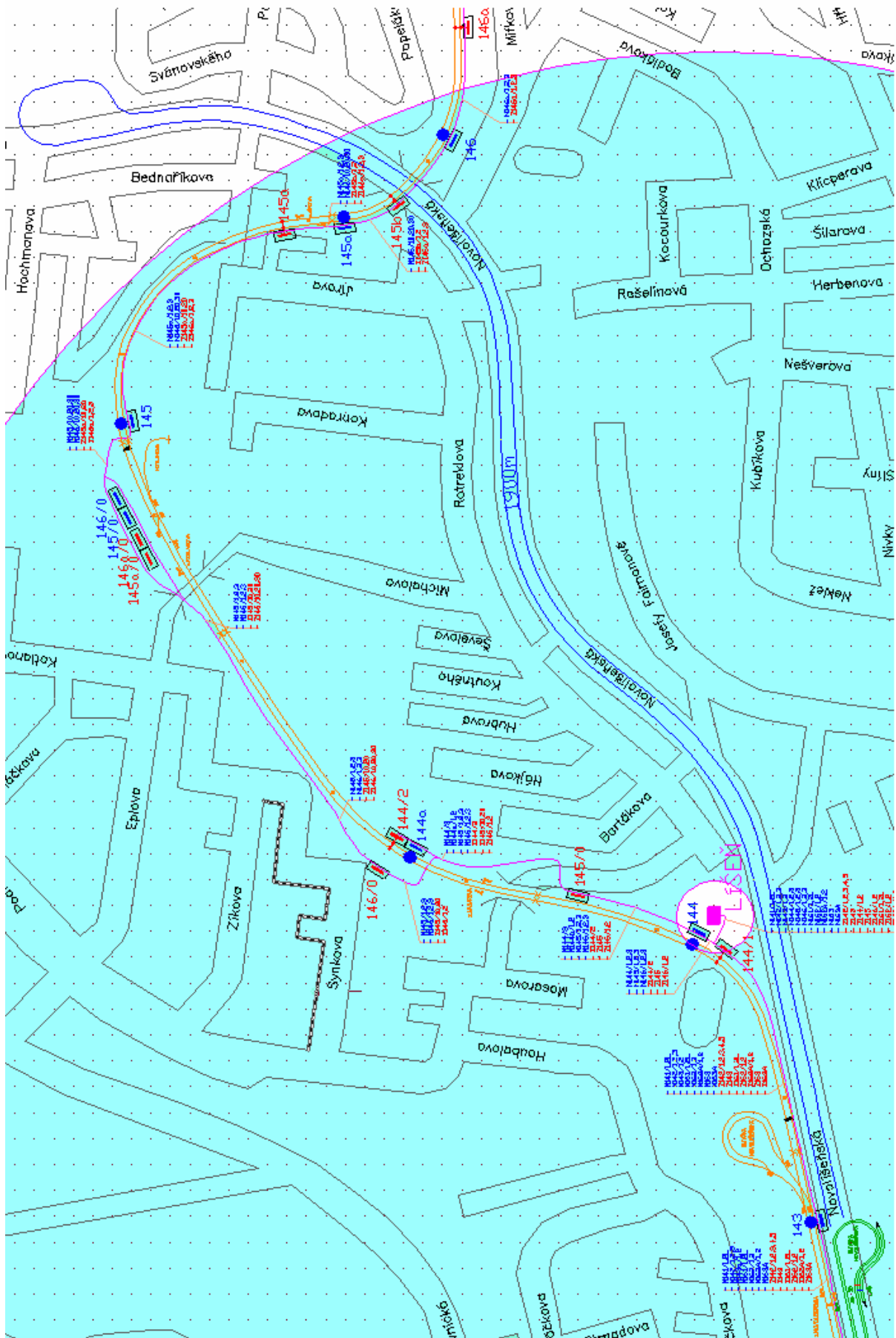
Vozy MHD jsou vybaveny rekuperací, aby při brzdění nedocházelo k ničení brzd. Takto vyrobená energie se ale nepřenáší do trakce, ale spotřebovává na topení nebo se spotřebovává v brzděných odporech na střeše vozu. S přenosem této nekvalitní energie je spojeno spousta problémů, kvůli kterým se neoplatí tuto energii do trakce vracet.

3 VÝHLED ROZVOJE TRATÍ V OBLASTI SÍDLIŠTĚ VINOHRADY A LÍŠEŇ

3.1 Umístění měníren a rozvoj trati

Největším problémem při návrhu trakce je umístění měníren, které konfigurujeme tak, aby napájená trakce byla pokud možno vzdálena do jednoho kilometru. K dané oblasti se navrhne výkonové zatížení. V této práci neřešíme, kde je možno v zastavěné části města postavit měnírnu, ale je potřeba najít ideální polohu tak, aby přívodní kabely a troleje byly co nejkratší díky umístění měníren. Dále je nutné zvážit, zda je výhodnější z ekonomického hlediska postavit jednu měnírnu výkonově a velikostně větší a o to více investovat také do rozvodných kabelů nebo ušetřit na kabelech a navrhnout měnírny dvě či více. V oblasti Líšně musíme počítat s již nedostatečnou výkonovou rezervou, jak je patrné z Obrázek 3-1, kde je značně porušena podmínka (modře zaznačená plánovaná trať), že napájená síť měnírnou nemá být vzdálena více jak kilometr od ní z důvodu ztrát a s tím spojených nákladů. Na zmíněném obrázku je růžovým obdélníkem značena měnírna se stávajícím pokrytím, světle modrého kruhu o poloměru kilometru od rozvodny. Tedy je nutné posílit stávající měnírny, aby byla dodávka elektrické energie zajištěna a provozovat trakci se ztrátami nebo investovat do rozvoje měníren, což nám poskytne stabilitu napájecí sítě a úsporu financí.

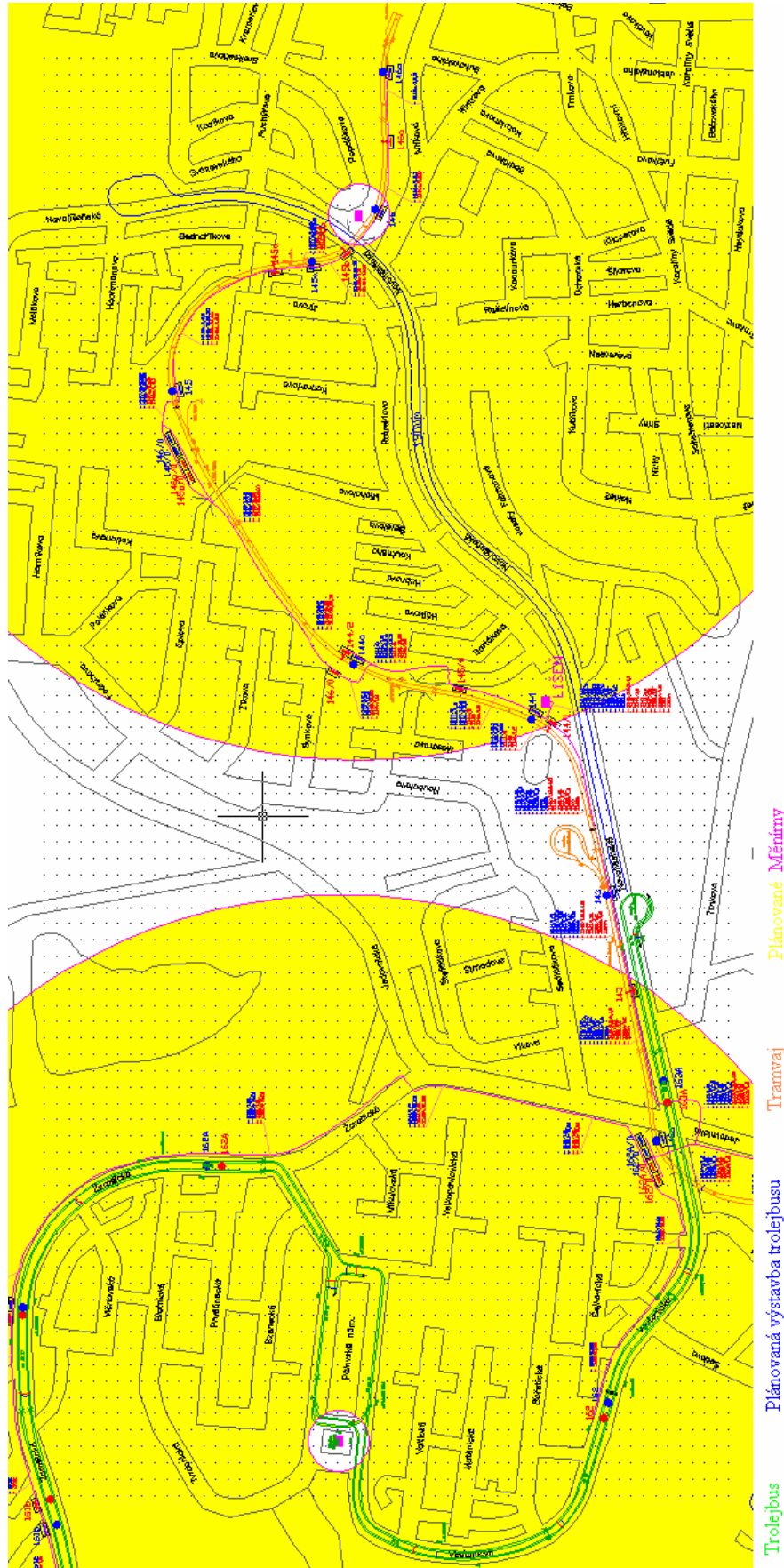
Na úsecích s dost velkým převýšením začali jezdit hojně kloubové trolejbusy, což zvětšilo interval mezi vozy. Při výstavbě nové trati na ulici *Novolíšeňská* je nutné zvážit potřebu výstavby nových měníren a s tím spojenou úpravu smyčky jelikož se ukázalo, že původní točna nebyla vhodně umístěna.



Plánované prodloužení trolejbusu č. 26

Obrázek 3-1 Plánovaný rozvoj trolejbusové sítě v oblasti Líšeň.

V této oblasti se zatím uvažuje o výstavbě měnírny na *Palackého náměstí* a také při prodloužení *trolejbusu č.25,26*, v oblasti jeho křížení s *tramvají č.8*, *Obrázek 3-2*. Pokrytí území měníren je zaznačeno žlutě a lépe pokrývá oblasti, které nebyly dostatečně napájeny, nebo v nich proběhne výstavba nové trakce. Pomocí měnírny na *Palackého náměstí* by se zkrátily úseky s velkým převýšením, tak že by byli rozděleny na více úseků. Interval vozu by se mohl zmenšit. Dále se tímto rozdělením úseků docílí oddělení *Líšně* od trasy pokračující do města a v případě výpadku této měnírny by vozy z města mohly být otáčeny na smyčce *Palackého náměstí*. Náhradní autobusová doprava by tak nemusela být zajišťována v celé délce trati, ale jen v oblasti *Líšně*, což může ušetřit zbytečné náklady do budoucna. Délka nového úseku je cca 1900 metrů, ta bude podle vypočtených proudů rozdělena na několik úseků tak, aby byla zajištěna dostatečnost napájení v nich.



Obrázek 3-2 Možné umístění nových měření.

3.2 Návrh měnírny

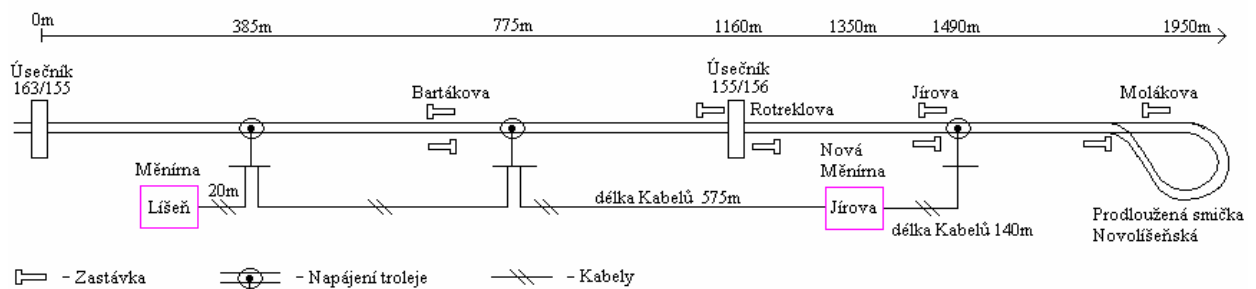
Z předchozího textu vyplývá, že bude vhodné postavit měnírny dvě malé zděné. Dle výpočtů a požadavku na interval na trati zvolíme výkonovou bilanci. Při výpočtech je nutné zohlednit všechny proměnné. Počítá se s délkou tratě, převýšením na ní, počtem zastávek ať už nástupních či zastavení na semaforech a křižovatkách. Různé typy vozu je nutné přepočítat na jeden referenční vůz, abychom dosáhli pokud možno co největší přesnosti a výpočet přitom podstatně zjednodušili. Referenční soupravu volíme takové, které průjezdem v daném úseku převažují nad ostatními vozy a na který přepočteme rozjezdový proud. Ty se pak vynásobí počtem souprav a jejich intervalem, dostaneme průměr proudu za hodinu. Je nutné zohlednit rádius zatáček, pokud bychom počítali linku tramvaje a také je třeba zohlednit v jakém provozu soupravy jezdí, jelikož se vychází s průměrné rychlosti. Ta je v centru 14 km/h, na okraji 19 km/h a mimo město 24 km/h. Průměrná rychlost je jedním s hlavních ukazatelů pro stanovení intervalu po sobě jedoucích souprav.

4 NÁVRH ŘEŠENÍ POSÍLENÍ KABELOVÝCH TRAS, NOVÝCH MĚŘENÍ A DALŠÍ ÚPRAVY.

4.1 Návrh prodloužení smyčky Novolíšeňská, s výstavbou nové měírny.

Tato smyčka se skládá ze dvou napájených úseků, jelikož by jeden úsek byl příliš dlouhý a bylo by zajištění napájení neekonomické. První úsek 155 je dlouhý 1160m a druhý úsek 156 je dlouhý 790m. Druhý úsek je kratší jelikož je zakončen smyčkou u níž se počítá se zvýšeným odběrem stojících a popojíždějících souprav na ni čekajících.

Napájení je zajištěno dvojicí kabelů, které napájí úsek 155 v jedné třetině a ve dvou třetinách úseku. Úsek 166 bude napájen jen v jednom bodě, jelikož není tak dlouhý a troleje nebudou tolik zatěžovány. Rozdělení úseků, úsekovým děličem bylo navrženo do oblasti zastávky *Rotreklova*. Jelikož soupravy při průjezdu tímto děličem by neměly být v záběru motoru z důvodu přepojování projíždějící soupravy na jiný kabel či měírnu, je nutné rozdělení úseků umístit tam kde je to vhodné. V tomto případě jak je patrné z obrázku níže, je dělení umístěno tam, kde souprava při průjezdu brzdí před zastavením v zastávce.



Obrázek 4-1 Blokové schéma prodloužení smyčky Novolíšeňská.

4.1.1 Postup výpočtů

- 1) Výpočet tzv. redukované délky úseku, který je projížděn různými směry s různou intenzitou provozu a rozdílnými délkami.

$$l = \frac{n'_1 \cdot l_1 + n'_2 \cdot l_2 + \dots + n'_n \cdot l_n}{n'_1 + n'_2 + n'_n} \quad (4.1)$$

2) Používané koeficienty měrného odporu na 1km délky:

Hliník: Kabel o průřezu 500mm ²	0,0588 Ω/km
Měď: Trolej o průřezu 100 mm ²	0,1786 Ω/km
Kolej: typ N	0,01 Ω/km
typ S	0,0117 Ω/km

3) Náhradní odpor měřírny.

$$R_m = \frac{U_0 - U_n}{I_n} \quad (4.2)$$

kde: U_0 - napětí na prázdkno (720V)

U_n - napětí jmenovité (660V)

I_n - jmenovitý proud

4) Celkový odpor.

$$R_C = R_m + R_N + R_Z \quad (4.3)$$

kde: R_m - náhradní odpor měřírny

R_N - odpor napájecí části

R_m - odpor zpětné části

5) Počet souprav současně v úseku.

$$n = \frac{120 \cdot l}{v_c \cdot \text{int}} \quad (4.4)$$

kde: l - délka úseku

v_c - cestovní rychlost: -město 14km/h

-okraj města 19km/h

-vlastní těleso 24km/h

int - interval jednotného typu vozu

6) Koeficient přepočtu na jednotný typ vozu je přímo úměrný rozjezdovému proudu vozu a z jeho pomoci vypočteme interval projíždějících souprav úsekem.

I_r = pro soupravy	T3	450A	Přepočet na T3 ...	1
	2xT3	900A		2
	K2	500A		1,11
	KT8D5	1250A		2,78
	TR14	300A		0,66
	TR15	600A		1,33

7) Počet redukovaných vozů za 1h.

$$n_{1h} = \text{Počet referenčních vozů} + \text{Počet jiných vozů} * \text{Koeficient přepočtu} + \dots$$

8) Interval jednotného typu vozu.

$$\text{int} = \frac{60}{n_{1h}} \quad (4.5)$$

9) Počet vlaků v useku za 1 hodinu oběma směry.

$$n = \frac{60 \cdot 2}{\text{int}} \quad (4.6)$$

10) Měrná spotřeba.

$$w = \left[2,72 \cdot (p_0 + p_s) + \frac{Z}{il} \right] \cdot \frac{1}{\eta_c} \quad (4.7)$$

Odkud: - Rozjezdové a brzdné ztráty:

$$Z = 1,072 \cdot 10^{-2} \cdot \xi \cdot v_r^2 \cdot \varepsilon \cdot z \quad (4.8)$$

kde: ξ - součinitel rotačních hmot (1,25)
 v_r - rozjezdová (zábrzdňá) rychlost 25km/h
 ε - koeficient respektující účinnost soupravy při rozjezdu a brždění: - v centru 1,3
 - na předměstí 1,7
 z - počet zastavení v úseku (tam i zpět)

- Měrný jízdní odpor:

$$p_0 = 3,65 + \frac{14,5}{m} + 0,045 \cdot v_c + \frac{44 \cdot S \cdot v_c^2}{m} \cdot 10^{-4} \quad (4.9)$$

kde: m - hmotnost vozidla

P_n - počet náprav

S - čelní plocha vozidla (9m^2)

- Odpor stoupání je možno vypočítat z níže uvedeného vzorce a nebo přímo zadat průměrné stoupání v percentilech [%₀].

$$p_s = \frac{p_{s1} \cdot l_1 + p_{s2} \cdot l_2 + \dots + p_{sn} \cdot l_n}{l_1 + l_2 + \dots + l_n} \quad (4.10)$$

nebo $p_s = \text{Délka úseku} \div \text{Výšce stoupání}$

- Celková účinnost soupravy je $\eta_c = 0,69$

11) Efektivní proud.

$$I_{ef} = l \cdot n \cdot \left(c_e \cdot \frac{m}{600} \cdot w + \frac{I_p}{v_c} \right) \quad (4.11)$$

kde: c_e - koeficient efektivního proudu

Tabulka č.1. - Koeficient efektivního proudu.

p_s [% ₀]	do 20	do 30	do 40	do 50
c_e	1,33	1,25	1,18	1,13

I_p - proud pomocných pohonů soupravy

12) Střední proud.

$$I_a = \frac{I_{ef}}{c_e} \quad (4.12)$$

13) Maximální proud.

a) Je-li $n \leq 2,5$, potom volíme:

$$I_{\max} = I_r \cdot n \quad (4.13)$$

b) Je-li $n > 2,5$, potom postupujeme pomocí výpočtu níže.

$$I_{\max} = \left[I_{ef_1vozu} + (I_r - I_{ef_1vozu}) \cdot 0,82^{\frac{n-1}{z}} \right] \cdot n \quad (4.14)$$

$$\text{kde: } I_{ef_1vozu} = \frac{I_{ef}}{n} \quad (4.15)$$

I_r ... rozjezdový proud jednotného typu soupravy

14) Nastavení nadproudové ochrany volíme přepočtem koeficientu.

$$I_{Nad} = I_{\max} \cdot \text{koef}(a) \quad \text{kde: } \text{koef}(a) = 1,1 \quad (4.16)$$

15) Minimální zkratový proud.

$$I_{k_min} = \frac{\text{koef}(c) \cdot U_0}{R_C} \quad \text{kde: } \text{koef}(c) = 0,8 \quad (4.17)$$

16) Nadstavení zkratové ochrany.

$$I_{Zk} = \frac{I_{k_min}}{\text{koef}(b)} \quad \text{kde: } \text{koef}(b) = 1,25 \quad (4.18)$$

17) Podmínky výpočtu které musí být splněny.

$$\begin{aligned} I_{\max} &\leq I_{Nad} \leq I_{k_min} \\ I_{\max} &\leq I_{Zk} \leq I_{k_min} \end{aligned} \quad (4.19)$$

18) Úbytek napětí.

$$\Delta U = (R_C - R_m) \cdot I_{\max} \quad (4.20)$$

podmínka: $\Delta U \leq 260V$

Pokud není podmínka splněna, potom je nutno počítat úbytek napětí po jednotlivých částech obvodu.

19) Příkon do úseku.

$$P = I_a \cdot U_n \cdot 10^{-6} \quad (4.21)$$

Výpočtem se ověří, zda proudové poměry v úseku splňují ČSN 37 6750 a ČSN37 6754 a úbytek napětí v úseku odpovídá ČSN 34 1500.

4.1.2 Dosazení při výpočtech:

- Výpočet úseku 155

- 1) Výpočet tzv. redukované délky úseku není v našem případě nutno počítat jelikož počítáme zpětnou trasu jedné linky. Tedy volíme její skutečnou délku napájeného úseku.

$$l = \underline{\underline{1160m}}$$

- 2) Používané koeficienty měrného odporu na 1km délky:

Hliník: Kabel o průřezu 500mm² 0,0588 Ω/km

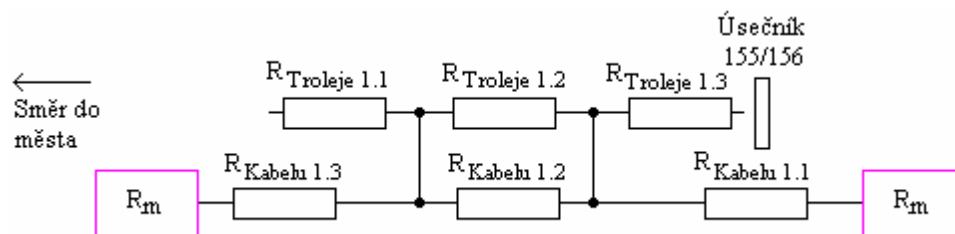
Měď: Trolej o průřezu 100 mm² 0,1786 Ω/km

3) Náhradní odpor měřírny.

$$R_m = \frac{U_0 - U_n}{I_n} = \frac{720 - 660}{2000} = \underline{\underline{0,03\Omega}}$$

4) Celkový odpor dostaneme přepočtením jednotlivých trolejí a kabelů na náhradní odpory reprezentující napájecí prvky schématu, které posléze sčítáme v trase možného průchodu zkratového proudu. Jelikož je trať většinou napájena ze 2 stran, z důvodu zajištění napájení i při výpadku jedné měřírny a snížení ztrát při přenosu stejnosměrného napětí na větší vzdálenosti. Je nutno provést výpočet v obou směrech k nejdále položené větvi trati, ale také mezi samotnými měřírny, které trať napájí. Tyto varianty se počítají kvůli nastavení ochran. Pro požadovanou dostatečnost napájení potom volíme největší výsledný odpor daného úseku. Každý odpor náhradního schématu vypočteme dle vzorce níže, jelikož se jedná o dvojité tažené kabely pro každý pól. Troleje jsou také obousměrné tedy paralelně tažené.

$$R_{Kabelu_{1.1}} = \frac{l \cdot r_{k_trolej}}{2} = \frac{0,575 \cdot 0,0588}{2} = \underline{\underline{0,0169\Omega}}$$



Obrázek 4-2 Náhradní schéma nového úseku 155.

Ze schématu vypočteme odpor napájecí a zpětné části které jsou téměř stejné a proto je předpokládáme pro zjednodušení výpočtu sobě rovnými. Chyba výpočtu které se tímto dopoušíme je zanedbatelná jelikož koncové výsledky těchto výpočtů jsou považovány za odhady které nemusí být zcela přesné, ale pro potřeby výpočtu jsou dostačující.

a) Od měřírny *Jírova* k nejdlejší troleji úseku

$$\begin{aligned}
 R_N = R_Z &= R_{Kabelu_{1.1}} + \frac{R_{Troleje_{1.2}} \cdot R_{Kabelu_{1.2}}}{R_{Troleje_{1.2}} + R_{Kabelu_{1.2}}} + R_{Troleje_{1.1}} = \\
 &= 0,0169 + \frac{0,0348 \cdot 0,0115}{0,0348 + 0,0115} + 0,0344 = \underline{\underline{0,0599\Omega}}
 \end{aligned}$$

b) Od měřírny *Líšeň* k nejdlejší troleji úseku

$$\begin{aligned}
 R_N = R_Z &= R_{Kabelu_{1.3}} + \frac{R_{Troleje_{1.2}} \cdot R_{Kabelu_{1.2}}}{R_{Troleje_{1.2}} + R_{Kabelu_{1.2}}} + R_{Troleje_{1.3}} = \\
 &= 0,006 + \frac{0,0348 \cdot 0,0115}{0,0348 + 0,0115} + 0,0344 = \underline{\underline{0,0436\Omega}}
 \end{aligned}$$

c) Od měřírny *Jírova* k měřírně *Líšeň*

$$\begin{aligned}
 R_N = R_Z &= R_{Kabelu_{1.1}} + \frac{R_{Troleje_{1.2}} \cdot R_{Kabelu_{1.2}}}{R_{Troleje_{1.2}} + R_{Kabelu_{1.2}}} + R_{Kabelu_{1.3}} = \\
 &= 0,0169 + \frac{0,0348 \cdot 0,0115}{0,0348 + 0,0115} + 0,0006 = \underline{\underline{0,0261\Omega}}
 \end{aligned}$$

Nejhorší zkratové účinky pro počítaný úsek vychází při napájení z měřírny *Jírova*. Nyní můžeme vypočítat celkový odpor, který je potřebný pro výpočet zkratových poměrů a úbytků napětí.

$$R_C = R_m + R_N + R_Z = 0,03 + 0,0599 + 0,0599 = \underline{\underline{0,1498\Omega}}$$

5) Počet souprav současně v úseku.

$$n = \frac{120 \cdot l}{v_c \cdot \text{int}} = \frac{120 \cdot 1,16}{19 \cdot 3,33} = \underline{\underline{2,2 \text{ vozů} / h}}$$

Cestovní rychlost volíme pro okraj města 19 km/h kde se počítaná síť nachází.

6) Koeficient přepočtu na jednotný typ vozu je přímo úměrný rozjezdovému proudu vozu a z jeho pomoci vypočteme interval projíždějících souprav úsekem.

I_r = pro soupravy TR14 300A
 TR15 600A

7) Počet redukovaných vozů za 1h.

n_{1h} = Počet referenčních vozů + Počet jiných vozů · Koeficient přepočtu + ...

$$n_{1h} = 12 + 12 \cdot 0,5 = \underline{\underline{18 \text{ vozů} / h}}$$

8) Interval jednotného typu vozu.

$$\text{int} = \frac{60}{n_{1h}} = \frac{60}{18} = \underline{\underline{3,33 \text{ min}}}$$

9) Počet vlaků v useku za 1 hodinu oběma směry.

$$n' = \frac{60 \cdot 2}{\text{int}} = \frac{60 \cdot 2}{3,33} = \underline{\underline{36 \text{ vozů} / h}}$$

10) Měrná spotřeba.

$$w = \left[2,72 \cdot (p_0 + p_s) + \frac{Z}{l} \right] \cdot \frac{1}{\eta_c} = \left[2,72 \cdot (6,728 + 54) + \frac{42,71}{1,16} \right] \cdot \frac{1}{0,69}$$

$$w = \underline{\underline{295 \text{ Wh} / t \cdot \text{km}}}$$

Odkud: - Rozjezdové a brzdné ztráty:

$$Z = 1,072 \cdot 10^{-2} \cdot \xi \cdot v_r^2 \cdot \varepsilon \cdot z = 1,072 \cdot 10^{-2} \cdot 1,25 \cdot 25^2 \cdot 1,7 \cdot 3 = \underline{\underline{42,71 \text{ Wh} / t}}$$

volíme: z - počet zastavení v úseku volíme 4, jelikož kromě zastávek,
na trase nejsou žádné překážky.

- Měrný jízdní odpor:

$$p_0 = 3,65 + \frac{14,5}{m} + 0,045 \cdot v_c + \frac{44 \cdot S \cdot v_c^2}{m} \cdot 10^{-4} =$$

$$P_n$$

$$p_0 = 3,65 + \frac{14,5}{\frac{26}{3}} + 0,045 \cdot 19 + \frac{44 \cdot 9 \cdot 19^2}{26} \cdot 10^{-4} = \underline{\underline{6,73Wh/t}}$$

volíme: m - hmotnost vozidla plně naložené soupravy z důvodu
dimenzování na nejvyšší možný odebíraný výkon.

P_n - Počet náprav u kloubového trolejbusu 3

- Odpor stoupání zadáváme přímo průměrným stoupáním v percentilech. Jako podklady pro určení nadmořských výšek trati posloužili podklady magistrátu města Brna, oboru rozvoje města.

$$p_s = 54\%o$$

- Celková účinnost soupravy je $\eta_c = 0,69$

11) Efektivní proud.

$$I_{ef} = l \cdot n' \cdot \left(c_e \cdot \frac{m}{600} \cdot w + \frac{I_p}{v_c} \right) = 1,16 \cdot 36 \cdot \left(1,13 \cdot \frac{26}{600} \cdot 295 + \frac{38}{19} \right) = \underline{\underline{688A}}$$

12) Střední proud.

$$I_a = \frac{I_{ef}}{c_e} = \frac{688}{1,13} = \underline{\underline{609A}}$$

13) Maximální proud.

Jelikož vyšlo $n \leq 2,5$ tedy volíme: $I_{max} = I_r \cdot n = 600 \cdot 2,2 = \underline{\underline{1320A}}$

14) Nastavení nadproudové ochrany volíme přepočtem koeficientu.

$$I_{Nad} = I_{max} \cdot koef(a) = 1320 \cdot 1,1 = \underline{\underline{1452A}}$$

15) Minimální zkratový proud.

$$I_{k_min} = \frac{koef(c) \cdot U_0}{R_c} = \frac{0,8 \cdot 720}{0,1498} = \underline{\underline{3845A}}$$

16) Nadstavení zkratové ochrany.

$$I_{zk} = \frac{I_{k_min}}{koef(b)} = \frac{3845}{1,25} = \underline{\underline{3076A}}$$

17) Podmínky výpočtu, které musí být splněny, aby byl zaručen správný chod soustavy jsou splněny touto rovnicí.

$$1320 \leq 1452 \leq 3845$$

$$1320 \leq 3076 \leq 3845$$

18) Úbytek napětí.

$$\Delta U = (R_c - R_m) \cdot I_{max} = (0,1498 - 0,03) \cdot 1320 = \underline{\underline{158V}}$$

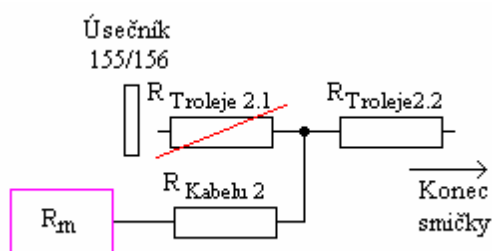
Podmínka $\Delta U \leq 260V$ je tedy splněna a takto navržená a přepočtená síť bude podle platných norem funkční.

19) Příkon do úseku.

$$P = I_a \cdot U_n \cdot 10^{-6} = 609 \cdot 660 \cdot 10^{-3} = \underline{\underline{402kW}}$$

- Výpočet úseku 156

Při výpočtech druhého nového úseku 156 postupujeme obdobně. Výpočet je o to jednodušší že tento úsek je napájen kabely z jedné měřírny. Potom tedy uvažujeme pouze jednu delší větev troleje jak je patrné z obrázku níže.



Obrázek 4-3 Náhradní schéma nového úseku 156.

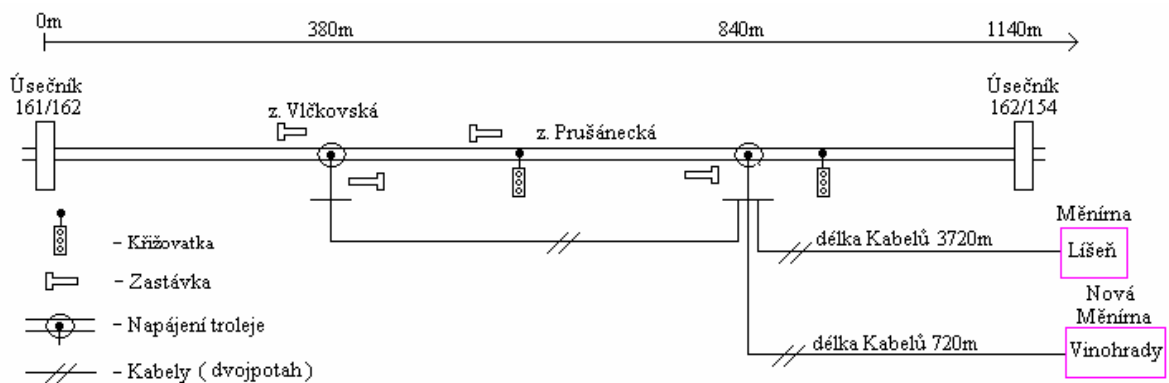
V tomto úseku se vyskytuje 5 zastávek, dohromady v obou směrech. Odpor stoupání má hodnotu 9 ‰. Ostatní hodnoty jsou stejné jako v úseku předešlém.

Výpočtem bylo zjištěno, že počítaný úsek 156 splňuje požadované podmínky.

Tabulka č.2. - Výsledky výpočtu úseku 156.

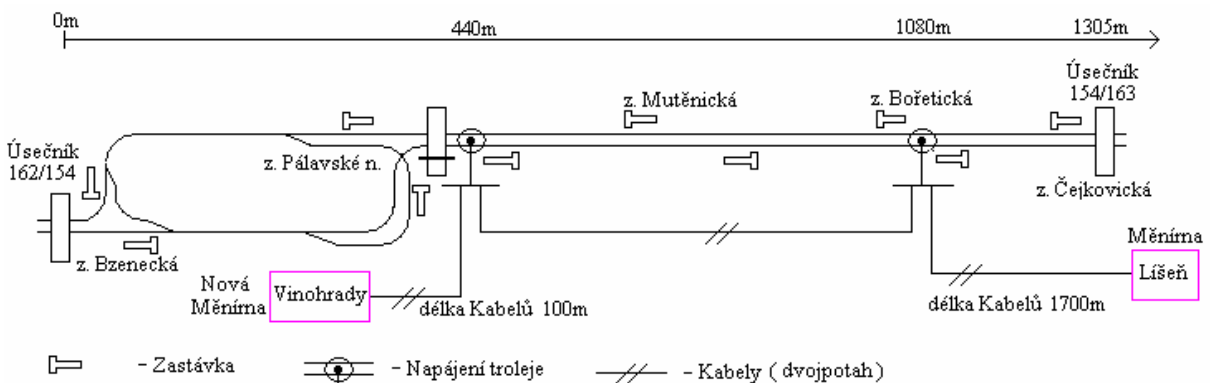
l [km]	0,79
R_m [Ω]	0,03
R_C [Ω]	0,1204
n	1,5
n'	36,0
w [Wh/t·km]	193
Z [Wh/t]	71
p_0 [Wh/t]	6,73
I_{ef} [A]	374
I_a [A]	281
I_{max} [A]	899
I_{nad} [A]	989
$I_{k_{min}}$ [A]	4785
I_{zk}	3828
ΔU [V]	81
P [kW]	186

Pro napájení tohoto úseku z měřírny Vinohrady by bylo vhodné umístit novou kabelovou trasu, jelikož by napájecí vedení bylo o 700m kratší, což přináší úspory na náklady výstavby a dodatečně úspory na ztrátách. Touto kabelovou trasou by bylo možné případné posílení napájení do budoucna, jelikož se dnes používá při pokládání kabelů, jejich umístění do chráničky z plastu, do které se kabely vefukují. Toto řešení poskytuje možnost rychlé výměny kabelu při poruše, ale hlavně možnost přidání kabelů při nedostatečném napájení bez opětovných výkopů. Používají se chráničky s devíti pozicemi pro kabely. Pokud je v kabelové trase více kabelů než 9, je nutno položit do výkopu dvě takovéto chráničky.



Obrázek 4-5 Úsek 162

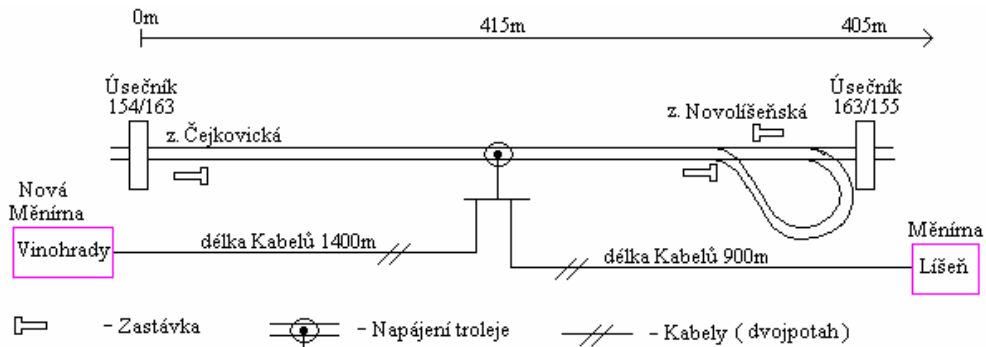
Pro napájení změněných úseků jsou většinou využity stávající kabely, které jsou v potřebných místech rozděleny a přepojeny dle potřeby.



Obrázek 4-6 Úsek 154

Na tomto úseku je úsekový dělič, který je v pracovní poloze sepnut a při poruchovém stavu některého úseku či měřírny zajistit vozům otočení se na této smyčce, aby nemusela být provozována náhradní doprava v celém úseku, ale jen v postižené části linky. Tedy při poruše na úseku 163 nebo i 154 je možné tento úsečník rozepnout a sepnout úsečník 162/154, čímž dojde k připojení smyčky Pálavského náměstí k úseku 162. Při přepnutí těchto děličů je nutné

uvažovat změnu zkratových poměrů. Tedy pokud budou úsečníky přepnuty, je nutné přestavit ochrany v měřárnách od kterých jsou úseky napájeny, aby ochrany nevypadávali při běžném provozu.



Obrázek 4-7 Úsek 163

4.2.2 Výpočet

Postup výpočtu je stejný jako při počítání nového úseku napájeného z měřárny *Jírova*. Výpočet jsme si zjednodušili kvůli častým úpravám a změnám jednotlivých úseků a provedli jej pomocí programu Excel, jehož výstupem je tabulka s výsledky.

Tabulka č.3. - Výsledky změněných úseků.

Úsek	163	154	162	161
l [km]	0,82	1,305	1,14	1,1
R_m [Ω]	0,03	0,03	0,03	0,03
R_C [Ω]	0,1847	0,2369	0,3370	0,2182
n	1,6	3,2	2,8	2,7
n'	36,0	46,0	46,0	46,0
w [Wh/t·km]	158	221	227	381
Z [Wh/t]	43	128	114	57
p_0 [Wh/t]	6,73	6,73	6,73	6,73
I_{ef} [A]	328	884	792	1044
I_a [A]	247	665	595	924
I_{max} [A]	933	1848	1618	1553
I_{nad} [A]	1026	2033	1780	1709
I_{k_min} [A]	3119	2432	1709	2640
I_{zk}	2495	1945	1368	2112
ΔU [V]	144	382	497	292
P [kW]	163	439	393	610

Červeně zaškrtnuté hodnoty nesplňují podmínky výpočtu. V takovémto případě je nutné zkontrolovat v úseku 162, u kterého nejsou splněny ani zkratové podmínky, zda není počítáno

se zbytečně velkým celkovým odporem R_C . Tento odpor uvažujeme při výpočtu, pokud to vyjde, nejhorsí možný a pokud jsou i takhle podmínky úbytku napětí a zkratové podmínky splněny, bude chod sítě jistě v pořádku. Pokud tento postup nesplní podmínky výpočtu, je nutné zkontrolovat s jakým odporem je počítáno a pokud uvažujeme napájení přes kabely několikrát delší než jsou k dispozici, tak je jasné že úsek přepočteme pro tyto kratší kabely.

Tento postup uplatníme také pro úbytek napětí v úseku 154, který je napájen kabelem o délce 100m-z měřírny *Vinohrady* z druhé strany je připojen k měřírny *Líšeň* kabelem 1700m. V tomto případě je také zřejmé, že síť bude napájena hlavně z měřírny blíže, jelikož proud prochází cestou nejmenšího odporu. Příspěvek ze vzdálenější měřírny bude tedy v poměru délek a jejich zatížení nebo tato vzdálená měřírna může být jako záložní zdroj při výpadku bližší měřírny.

Úsek 161 jak je patrné na Obrázku 4.4 má nejvíce napájecích míst. Z rovnice (4.20) vyplývá, že úbytek napětí je závislý na maximálním proudu. Ze zmíněného schématu lze usoudit, že pokud jsou jako v tomto úseku zároveň projíždějící 2,7 vozů, tak tyto vozy budou rozmístěny po jeho úseku téměř rovnoměrně. To znamená, že počítat na konci napájeného úseku úbytek napětí s maximálním proudem je nesmysl a tento proud můžeme pro výpočet úbytku vhodně zkrátit.

Tabulka č.4. - Upravené výsledky změněných úseků.

Úsek	163	154	162	161
l [km]	0,82	1,305	1,14	1,1
R_m [Ω]	0,03	0,03	0,03	0,03
R_C [Ω]	0,1847	0,2369	0,3370	0,2182
n	1,6	3,2	2,8	2,7
n'	36,0	46,0	46,0	46,0
w [Wh/t·km]	158	221	227	381
Z [Wh/t]	43	128	114	57
p_0 [Wh/t]	6,73	6,73	6,73	6,73
I_{ef} [A]	328	884	792	1044
I_a [A]	247	665	595	924
I_{max} [A]	933	1848	1618	1553
I_{nad} [A]	1026	2033	1780	1709
$I_{k_{min}}$ [A]	3119	5519	3588	2640
I_{zk}	2495	4415	2870	2112
ΔU [V]	144	137	211	193
P [kW]	163	439	393	610

Výpočtem jsme zjistili že zkratové poměry a úbytky napětí po výše zmíněných úpravách splňují podmínky, které jsou nutné pro bezporuchový chod a zajištění hospodárneho provozu napájení těchto sítí.

4.3 Měírny

Měírna *Vinohrady* vyjde součtem výkonů napájených čtyř úseků na výkon 1,5MW. Tento výkon bude mít v transformátoru výkonovou rezervu pouze takovou, že transformátor bude s ofukem. Chlazený transformátor můžeme více zatížit, což nám přináší již zmíněnou výkonovou rezervu. Měírna bude mít tedy čtyři vývody a jeden rezervní.

V měírně *Jírova* budou zřejmě dva transformátory, jelikož se počítá i s vývody pro tramvaj, která vede v těsné blízkosti měírny. Jelikož se v praxi ukázalo, že je vhodné oddělovat od sebe obvody trolejbusu a tramvají, když mohou pracovat také paralelně. Měírna bude tedy tvořena dvěma buňkami, které budou mít svůj transformátor, potřebný počet vývodů a záložní vývod. Takto situované měírny se dají také propojit, aby se v případě havarijního stavu dalo zařízení propojit.

5 POROVNÁNÍ JEDNOTLIVÝCH ŘEŠENÍ, EKONOMICKÉ HODNOCENÍ

První úvahou v této práci bylo, zda postavit již zmíněné měnírny *Jírova* a *Vinohrady* nebo bude výhodnější postavit jednu větší měnírnu, která by napájela nově vystavěnou smyčku na ulici *Novolišeňská*, ale také rekonstruovanou trať kolem *Pálavského náměstí*. Takováto varianta napájení by byla finančně náročnější na rozvodné kabely, ale jedna větší měnírna by byla finančně zajímavější než dvě malé. Také zvětšující se počet měníren stojí při pravidelných údržbách stále větší náklady. Ovšem musíme uvažovat také úbytky napětí, které jsou na SS vedení dosti velké a mohou nám při vyúčtování energie přesáhnout úspory z výstavby. Po konzultaci na energetickém dispečinku jsem možnost dlouhých rozvodů s jednou měnírnou zavrhl z důvodu nesmyslných délek pro transport energie.

Po ekonomické stránce může vyjít projektové řešení lépe, ale pokud neuvažujeme spolehlivost prvků sítě, mohlo by nám to způsobit komplikace. Při návrhu takovýchto projektů je nutné zhodnotit problematiku z více úhlů pohledu a patřičně je zohlednit.

Při uvažování ceny kabelů musíme uvažovat také výkopové práce, jež jsou nutné k jejich umístění pod povrch. Novým trendem posledních let při pokládání kabelů trakční sítě pro MHD je uložení kabelů do multikanálu SITEL, což je technologie vefukování kabelů do již zakopaných kabelových tras z plastu. Tento systém integrovaných kabelovodů má sice vysoké pořizovací náklady na metr vedení a také potřebu umístění obslužných šachet každých 50-70m, která si také žádá nemalé finance, ale tyto investice se určitě vyplatí. Výhodou je, že jeden blok multikanálu má devět kabelových pozic takže většinou zůstanou některé pozice volné a je možno je kdykoli při poruše či přestavbě rychle doinstalovat což je bezesporu úspora financí i času.

Tabulka č.5. - Přibližné ceny pro výpočet nákladů vedení.

materiál	cena
Kabel	1400 Kč/m
Multikanál	1500 Kč/m
Obslužná šachta	50000 Kč
Výkop	1500 Kč/m

Odtud určíme náklady uložení dvojitého kabelu na jeden kilometr vedení.

$$N = \left(4 \cdot 1400 \text{ Kč} + 1500 \text{ Kč} + \left(\frac{50000 \text{ Kč}}{60 \text{ m}} \right) + 1500 \text{ Kč} \right) \cdot 1000 \text{ m} = \underline{\underline{9433333 \text{ Kč} / \text{km}}}$$

Takovýto kabel by bylo možné použít při napájení úseku 161 z měřírny *Vinohrady*, viz obrázek níže a mít zbývající kabelové pozice multikanálu v záloze. Kdyby se síť do budoucna opět za pár let kvůli rostoucím nárokům na napájení posilovala o další napájecí body. Tímto řešením by se také zkrátila kabelová trasa ze stávajících 1650m na pouhých 980m. Jelikož jsou kabely pro delší variantu už zakopány a my je jen rozdělíme a přivedeme na vývod měřírny pouhými 250m kabelové trasy, bude výstavba nového koridoru pro napájení úseku 161 vhodná pokud budeme uvažovat rozvoj v dané oblasti do budoucna, jak bylo výše zmíněno. V opačném případě by tato investice byla nesmyslná.



Obrázek 5-1 Návrh nového kabelového koridoru.

Vypočtená částka se může zdát vysoká na to, že by investice nebyla ihned využívána, ale pokud by tohoto řešení bylo do budoucna využito, tak by nový kabel mohl být nainstalován v krátkém čase a levněji, než kdybychom opět kopali nové výkopy. Také je možné uvažovat, že za pár let bude tato instalace dražší a tak nám její zakoupení teď přinese úspory financí.

6 ZÁVĚR

V této práci jsem postupoval výhradně ze zadaných materiálů dopravního podniku města Brna a řídil se zadanými pokyny. Protože není vývoj trakčních městských sítí nijak velký, od dob jejich vzniku se postupuje při jejich návrhu a výpočtech téměř stejně. Náplní práce není tyto výpočty inovovat či modernizovat, ale využít je ke zlepšení napájení.

Použitý výpočet k řešení energetické dostatečnosti napájení je jen přibližný, ale pro účely návrhu dostačující. Jelikož je brněnská síť jako jedna z mála napájena do úseků z více měníren, kvůli záloze napájení, je tento výpočet složitější než v jiných městech. Zároveň je v takovéto síti zajištěna větší stabilita, spolehlivost a také napájení z méně bodů rozvodné soustavy.

Po zhodnocení situace jsem došel k závěru, že bude nutné pro zaručení chodu již zmíněné sítě, vystavět navrženou měnírnu *Vinohrady* a posilnit tak napájení stávající sítě. Výstavba měnírny *Jírova* je také nutná při prodloužení smyčky *Novolíšeňská*, která by měla odlehčit autobusovým linkám v oblasti a přinést tak další úspory z dlouhodobého pohledu. Při výstavbě se také počítá s úpravami smyčky na Pálavském náměstí, které přinesou nové možnosti, jak linky v dané oblasti provozovat při různých stavech, které mohou nastat. Také nové trendy v pokládání kabelů do multikanálu, by vhodným použitím mohly být přínosem při úsporách financí a podporou pro další rozvoj těchto sítí.

Poznatky této práce mohou být použity jako podklady pro výstavbu a rekonstrukci trolejbusových linek 25, 26 a 27 v oblasti *Líšně*. Při návrhu nebylo bráno v úvahu uzemní řízení výstavby, či vlastníci pozemků, na které byly měnírny a kabelové trasy umístěny. Postup výpočtu lze aplikovat také na jiné linky nebo sítě jako tramvajové a jiné. Práce by mohla dále pokračovat ve vytvoření programu, pomoci něhož by bylo možné jednoduše a hlavně efektivně přepočítat zkratové poměry ochran při různých provozních stavech zařízení.

Jako příloha je přiloženo CD, na němž je tato práce v elektronické podobě a také výpočty v programu Excel. Toto zjednodušení výpočtu bylo využito kvůli opakujícím se výpočtům a jejich úpravám na danou lokalitu úseku.

-
- [1] *DPMB : Dopravní podnik města Brna* [online]. 2005 [cit. 2009-03-15]. Dostupný z WWW: <www.dpmb.cz>.
- [2] Výpočty tramvajových sítí. *Elektrický Obzor*. 1990, č. 1, s. 1-36.
- [3] DPMB, *Podklady*, 2008.
- [4] DPMB, *Podklady*, 2009.
- [5] Magistrát města Brna, *Podklady*, 2009.
- [6] *SiTEL* [online]. 2008 [cit. 2009-05-11]. Dostupný z WWW: <www.sitel.cz>.
- [7] *Nkt cables* [online]. 2003 [cit. 2009-05-11]. Dostupný z WWW: <www.kablo.cz>.

