

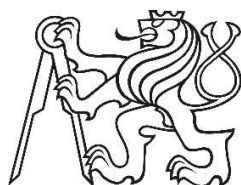
ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ

Fakulta elektrotechnická

Katedra elektroenergetiky

# DIPLOMOVÁ PRÁCE

Komplexní návrh měřírny pro uvažovanou novou  
stanici metra Náměstí Bratří Synků



## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Majer** Jméno: **Miloslav** Osobní číslo: **384500**  
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**  
Zadávající katedra/ústav: **Katedra elektroenergetiky**  
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**  
Studijní obor: **Elektroenergetika**

## II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

**Komplexní návrh měřírny pro uvažovanou novou stanici metra Náměstí Bratří Synků**

Název diplomové práce anglicky:

**Complex design of traction substation for new subway station Náměstí Bratří Synků**

Pokyny pro vypracování:

- 1) Řešte problematiku připojitelnosti stanice ve vztahu k distributorovi elektrické energie
- 2) Provedte návrh měřírny stanice Náměstí bratří Synků
  - výpočet energetické bilance
  - návrh topologie napájecí sítě a ověření jejich parametrů výpočtem
- 3) Navrhněte dispoziční řešení měřírny
- 4) Prokažte soulad návrhu s platnými normami a přípojovacími podmínkami distributora elektrické energie

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

**Jan Lukášek, Pronix s.r.o.**

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

,

Datum zadání diplomové práce: **12.09.2016**

Termín odevzdání diplomové práce: \_\_\_\_\_

Platnost zadání diplomové práce: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
Podpis vedoucí(ho) práce

\_\_\_\_\_  
Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

\_\_\_\_\_  
Podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_  
Podpis studenta

## Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne .....

.....

Bc. Miloslav Majer

## Poděkování:

Na tomto místě bych chtěl poděkovat vedoucímu této práce Ing. Janu Lukáškoví, Ph.D. za cenné rady a postřehy při konzultacích a za čas, který mi věnoval. Dále bych chtěl poděkovat zaměstnancům Dopravního podniku hlavního města Prahy, a. s. za umožnění prohlídky měnirny a distribuční stanice metra ve stanici Bořislavka a za cenné informace poskytnuté při konzultaci. Dále děkuji zaměstnancům Pražské energetiky, a. s. za cenné informace poskytnuté při konzultaci. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat mé rodině, přítelkyni a přátelům za podporu po celou dobu mého studia a při psaní této práce.

# Komplexní návrh měničky pro uvažovanou novou stanici metra Náměstí Bratří Synků

autor práce: Bc. Miloslav Majer

vedoucí práce: Ing. Jan Lukášek, Ph.D.

## Abstrakt:

Tato diplomová práce řeší návrh napájení měničky a distribuční transformovny v zamýšlené stanici Náměstí Bratří Synků s ohledem na zajištění dostatečného výkonu pro provoz souprav metra na nové trase D. Práce respektuje vysoké standardy užívané v pražském metru jak s ohledem na spolehlivost, tak s ohledem na bezpečnost provozu. Dále práce řeší problematiku připojení k distribuční soustavě z pohledu technického i z pohledu předpisů provozovatele distribuční soustavy a technických norem ČR.

## Abstract:

This diploma thesis is dealing with the design of the power supply of the traction substation and the power substation at intended station Náměstí Bratří Synků on the new metro D line. The thesis is respecting high standards used in Prague metro, like reliability and safety. Part of the thesis is focused on the issue of connectivity to the distribution network, regarding the technological view as well as the regulations issued by the operator of the distribution system and Czech technical standards.

# Obsah

1.	Úvod .....	2
2.	Pražské metro.....	3
2.1.	Historie a současnost pražského metra .....	3
2.2.	Koncepce linky D.....	14
2.2.1.	Úsek Pankrác – Depo Písnice.....	16
2.2.2.	Úsek Náměstí Míru – Pankrác .....	17
3.	Automatizace.....	19
3.1.	Stupně automatizace.....	19
3.2.	Systém CBTC .....	21
3.3.	Příklady automatických systémů .....	22
3.3.1.	Alstom.....	22
3.3.2.	Siemens .....	23
4.	Návrh napájení měnárny a distribuční transformovny .....	25
4.1.	Energetická bilance.....	25
4.2.	Topologie napájení .....	32
4.3.	Připojovací podmínky distributora .....	34
5.	Závěr .....	36
	Seznam zkratk.....	37
	Seznam použité literatury a zdrojů .....	38
	Seznam výkresů a příloh.....	39

# 1. Úvod

Pražské metro je klíčovou součástí dopravy v hlavním městě. V dalších letech je jeho další rozvoj nezbytný, ať v podobě možného prodlužování stávajících tras nebo výstavby nové trasy. V současné době je nejvíce diskutovanou variantou právě výstavba nové trasy D s nejnovějšími technologiemi nezbytnými pro další rozvoj moderní evropské metropole. Spolu se samotnou výstavbou vyvstává otázka napájení vlaků na nové trase. Napájení takto rozsáhlého a energeticky náročného systému je důležitou otázkou pro celý rozvoj distribuční sítě na území Prahy. Cílem této práce je shrnout současné možnosti distribuční sítě v souvislosti s výstavbou měřírny metra v uvažované stanici trasy D Náměstí bratří Synků a porovnat je s konkrétním příkonem měřírny. Práce si dále dává za cíl navrhnout topologii napájení dotčených úseků při zachování současných standardů provozovaných v energetické části provozu pražského metra, a to při respektování platných technických norem a dalších závazných předpisů.

## 2. Pražské metro

Pražské metro má za sebou bohatou historii, která se datuje mnohem dále do minulosti, než by se mohlo na první pohled zdát. Jeho historie, která bude shrnuta v této kapitole, se dlouho psala pouze v podobě různých více či méně detailních studií a projektů. Tyto práce jsou zajímavým svědectvím o vývoji hlavního města v průběhu celého minulého století tím, jak respektují důležité uzly dopravy ve městě. Stejně tak současný stav sítě pražského metra reflektuje dobu, kdy byly stávající trasy navrženy. Moderní doba přináší nové požadavky na řešení dopravních problémů a jsou zde místa, která je nutné lépe obsloužit, proto přichází na řadu budování nové trasy.

### 2.1. Historie a současnost pražského metra

Na konci 19. století (1.9.1897) byl založen městský dopravní podnik (tehdy Elektrické podniky královského hlavního města Prahy), který měl sdružovat jak provoz hromadné dopravy, tak výrobu elektrické energie. Do roku 1907 Elektrické podniky královského hlavního města Prahy získaly postupně monopol na provoz hromadné dopravy v Praze.

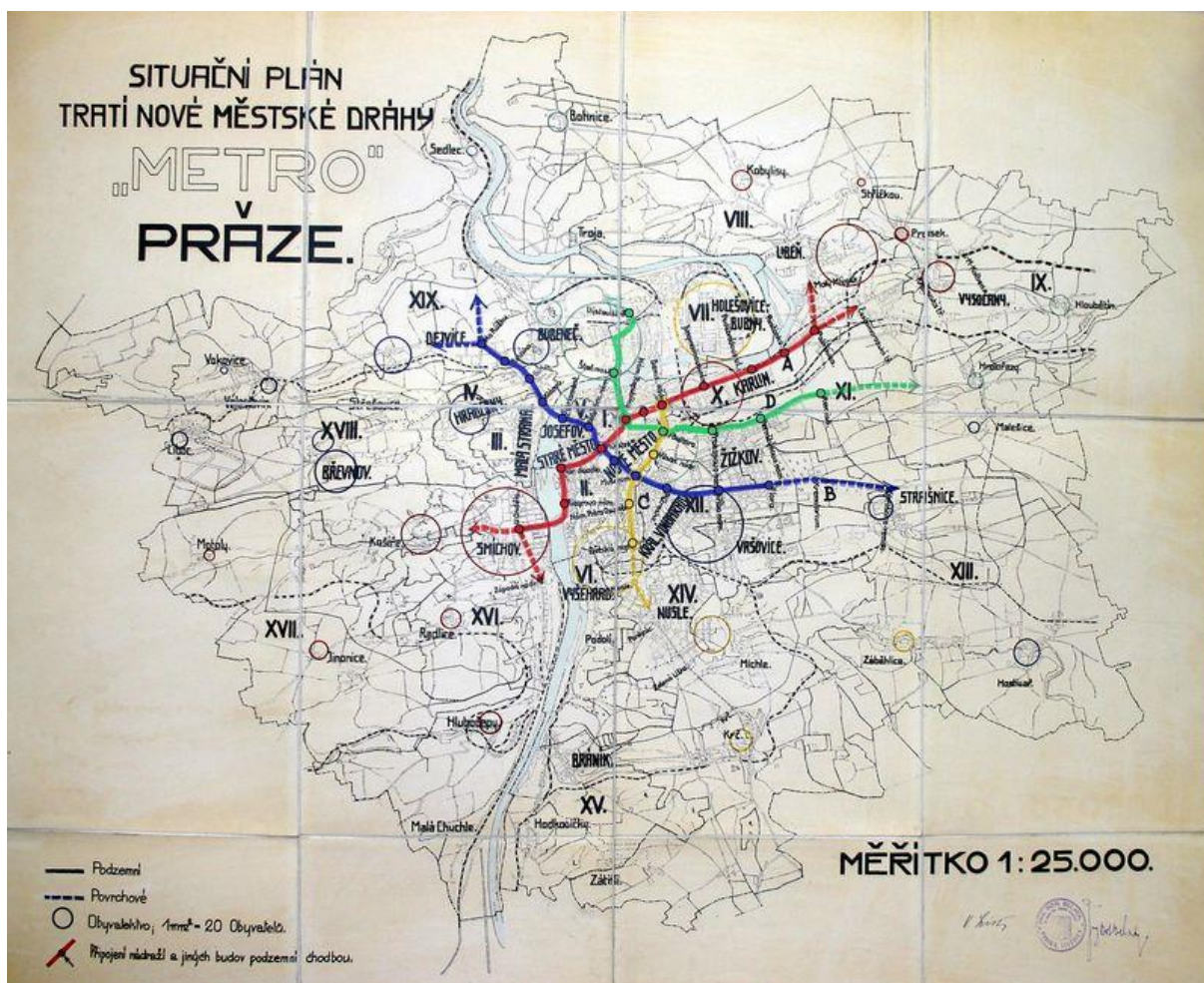
První myšlenka na zbudování podzemní dráhy se objevila jen necelý rok po založení dopravního podniku. 2. června 1898 oslovil Ladislav Rott městskou radu dopisem, ve kterém zmiňuje, že by bylo vhodné zbudovat podzemní dráhu podobnou jako byla provozována v Londýně a Budapešti a v té době budována i v Paříži a Berlíně. L. Rott tvrdil, že by nebylo příliš nákladné podzemní dráhu budovat v době, kdy v historickém centru města probíhaly poměrně rozsáhlé a nákladné stavební práce a připravovala se výstavba kanalizačního systému. Nicméně městská rada (resp. Kancelář Elektrických podniků) jeho návrh zamítla s tím, že by došlo ke zdržení obou staveb a že stavba podzemní dráhy v úzkých ulicích by byla nebezpečná, ne-li nemožná. Další myšlenka na zbudování podzemní dráhy, resp. podpovrchové tramvaje se objevila krátce po zahájení provozu podzemní dráhy v Hamburku v roce 1912. Autorem návrhu byl Ing. B. Vondráček. Jím navrhovaná trasa začínala na Václavském náměstí. Tramvaje by zde po rampě sjížděly do podzemí a na povrch by opět vyjížděly u Rudolfiny v ose navrhovaného mostu. Trasa měla měřit 1300 metrů a měla mít čtyři podzemní stanice s bočními nástupišti (Můstek, Melantrichova ul., Malé náměstí, Kaprova ul.). Případně měl nachystánu alternativu, kde by na Václavském náměstí končila trať podzemní točnou nebo slepým tunelem a nenavazovala by na stávající tramvajovou trať. Návrh počítal s mělkým hloubeným tunelem.



Hloubka nástupišť byla navrhována pouze 4,6 metru. Pod kolejemi by pak byla uložena kanalizace. B. Vondráček uvažoval běžné tramvaje, pouze s tím rozdílem, že by napájení bylo řešeno postranní napájecí kolejnicí. Projekt byl publikován v Technickém přehledu samosprávném a nejspíše nikdy se nad jeho realizací neuvažovalo. Nicméně z dnešního pohledu je zajímavá myšlenka vedení trasy, která je víceméně shodná s úsekem dnešní linky A mezi stanicemi Staroměstská a Můstek. [1, 2, 20]

V meziválečném období nastal v Praze velký rozmach veřejné dopravy. Byla vybudována řada tramvajových tratí, ale rostl i počet autobusů a osobních automobilů. Rostoucí hustotu pražské dopravy navrhl řešit Ing. C. Jiří Hruša podzemní dráhou. Na rozdíl od B. Vondráčka se zaměřil na samotnou dopravní koncepci a nezabýval se technickými detaily stavby. Jím navrhovaná podzemní dráha neměla nahradit tramvaje, ale měla se s nimi doplňovat. Podzemní dráha měla sloužit k dálkové dopravě a tramvaje poté měly spojovat ostatní místa. Návrh J. Hruši uvažoval tři přímé trasy a jednu okružní. První trasa by spojila Vyšehrad a Holešovice, kde by kolem čtvrti tvořila smyčku, druhá měla spojovat Libeň a Smíchov a třetí Dejvice a Vršovice. Okružní trať by spojila Wilsonovo nádraží (dnešní Hlavní nádraží) a Masarykovo nádraží. Zvláštností návrhu bylo uvažované uspořádání stanic. Byly uvažovány tři perony. Z peronů po stranách stanice by cestující nastupovali a na peron umístěný mezi dvojicí kolejí by vystupovali. Podobně jako se návrh B. Vondráčka blížil části současné trasy A, tak i návrh J. Hruši obsahoval některé rysy, které se později promítly do vedení tras, jak je známe dnes. Stejně jako myšlenka vzájemné součinnosti podzemní a povrchové veřejné dopravy. [1, 2]

Jedním z nejznámějších návrhů na výstavbu metra je patrně studie, kterou vypracovali inženýr elektrotechniky V. List a stavební inženýr B. Belada. Jejich návrh se datuje do prosince roku 1926, jen půl roku po návrhu J. Hruši. Tento návrh byl ze všech dosavadních návrhů nejpodrobnější a dlouhá léta byl považován za první návrh pražského metra, což zmiňuje i pamětní deska s bustami autorů ve vestibulu stanice Muzeum A. Ve studii byly navrženy čtyři trasy (viz Obr. 1). Trasa A (na obrázku červená) měla spojovat Anděl a Palmovku, trasa B (modrá) Dejvice a Floru, trasa C (žlutá) Těšnov a Vyšehrad a trasa D (zelená) Výstaviště a Žižkov. Trasa C měla překonávat Nuselské údolí ve spodním patře mostu, stejně jako je tomu v současnosti. Soutěže na přemostění Nuselského údolí se totiž vypisovali již v této době.



Obr. 1 Návrh sítě metra od Ing. V. Lista a Ing. B. Belady [1]

Napájení bylo uvažováno pomocí třetí kolejnice. Trívozové (případně až pětivozové) soupravy měly mít provozní rychlost cca 28 km/h. Vozy metra měly využívat stávající tramvajové vozovny a společné dílny ve strojírenské továrně Rustonka na pomezí Libně a Karlína, kde měla být i jedna ze stanic linky A. Trasa A měla být stavěna jako první, a tak byl její návrh zpracován podrobněji. Byl uvažován dvoukolejný tunel, pouze pod Vltavou měly být dva jednokolejné tunely. Napájení celé trasy A měla zajišťovat měnárna na Náměstí Republiky. Trasa byla zamýšlena téměř v celé své délce pod ulicemi, což znamenalo velmi malé poloměry oblouků v některých místech. Stanice měly být dlouhé cca 80 metrů a mít boční nástupiště. Studie také řešila přestupy mezi tramvaji a metrem, aby cestující mohli využívat stejný lístek, případně předplacené jízdné. Studie byla zamítnuta, nicméně oba její autoři v dalších letech podporovali další projekty na výstavbu metra. [1, 2, 20]

I přes to, že různé návrhy podzemní dráhy byly zamítány, bylo jasné, že dopravní situaci v Praze bude nutné řešit. Problémy vznikaly například v okolí Masarykova nádraží, které projektové oddělení Elektrických podniků navrhovalo vyřešit 538 metrů dlouhým tunelem pod nádražím, kterým by jezdila tramvaj. Později se naopak objevil návrh na přemostění tohoto nádraží. O komplexnější řešení problémů pražské dopravy se Elektrické podniky pokusily na počátku roku 1931, kdy vypisaly soutěž na vyřešení dopravní situace. Účastnit se mohli jak projektanti z Československa, tak i zájemci ze zahraničí v případě, že by spolupracovali z domácími odborníky. Během následujícího roku poslali účastníci soutěže 19 návrhů, z nichž tři byly oceněny zvláštní cenou. Prvním z nich byl vypracován ve Škodových závodech. Předpokládal trasy: Smíchovské nádraží – Horní libeňské nádraží, Dejvice – Flora, Výstaviště – Vršovické nádraží. V centru města měly průsečíky tras tvořit trojúhelník Muzeum, Můstek, Masarykovo nádraží. Studie byla proto nazvána MMM. Počítalo se s propojením s příměstskými vlaky a také s tím, že by příměstská doprava využívala částečně tunely metra. Autory druhého oceněného návrhu byli projektanti z podniku Českomoravská-Kolben-Daněk. Navrhovali dvě trasy. První z Dejvic do Strašnic, druhou ze Smíchova do Libně. Přestupní stanice se měla nacházet v ulici Na Příkopě. Třetí návrh byl dílem Dr. Techn. Ing. Alexandra Voigtse. Ten navrhoval tři trasy, které by se setkávaly na Wilsonově nádraží. Na opačných koncích se pak větvily. První měla končit v Podbabě, resp. na Břevnově, druhá na Proseku a v Hrdlořezech a poslední trasa měla končit v Nuslích a na Smíchovském nádraží. Většina tras měla vézt na zvýšeném tělese a jen místy využívat tunely. Ani jedna z prací nebyla doporučena k realizaci, nicméně závěr soutěže byl, že není možné řešit současnou dopravní situaci jen změnami tramvajových a autobusových linek, případně zvýšením jejich kapacity, ale že podzemní dráha je do budoucna nutností.

Elektrické podniky rozhodly, že soutěžní projekty by měly být podrobněji zanalyzovány a měl by být vypracován generální plán pro realizaci dopravních úprav v hlavním městě. Komise, která se sešla na konci roku 1938 doporučila, aby byl vypracován detailní projekt, byly postupně zahájeny stavební práce a vyzkoušen vhodný vůz. O realizaci projektu nazvaného D projevil zájem Konsorcium Sdružených firem, které tvořily Škodovy závody, ČKD, Konstrukтива a další. Zadání projektu bylo schváleno 25. dubna 1939. V červnu pak zahájila činnost Projektční kancelář pražské podzemní dráhy a naplno začaly přípravné práce. Dokončení obou hlavních linek se předpokládalo během čtyř let. Navrhovaná podpovrchová tramvajová rychlodráha měla částečně využívat stávající i když upravené tramvajové tratě a částečně, zejména

pod středem města, měla vézt v nově zbudovaných tunelech. Nejprve měl být zbudován povrchový úsek mezi Říšským náměstím (dnešní Náměstí Míru) a Čechovým mostem. Dál by trasa pokračovala po mostě přes Vltavu a opět v tunelu by stoupala na Letnou ke stadionu Sparty. Dále měla trasa pokračovat do Vršovic (Čechovo náměstí), Vokovic a po povrchu na Bílou Horu. Krátká trasa B měla spojovat Sokolskou ulici a Hlavní nádraží a měla být celá povrchová. Třetí podpovrchová trasa se měla na Karlové náměstí větvit k Palackého mostu a na Vyšehrad. Z Karlova náměstí pak měla pokračovat na Florenc. Další konečné stanice trasy C měly být Motol a Kolbenka. K trase měla také patřit povrchová odbočka Balabenka – Hloubětín. Součástí projektu bylo přemostění Nuselského údolí a také Masarykova nádraží (v té době nádraží Praha střed). Ve městě se objevily vrtné věže, které zkoumaly podloží a firma Ringhoffer-Tatra vyvíjela nový vůz. Ještě na konci září 1939 však Konsorcium přezkoumalo detailně navrhovaný koncept a doporučilo práce na projektu D zastavit a upřednostnit výhradně podzemní dráhu, která by byla autonomní. Důvodem pro toto stanovisko bylo riziko, že povrchových částech by docházelo ke zpožděním a byla by ohrožena pravidelnost dopravy. Elektrické podniky s námitkami souhlasily, zadání zrušily a rozhodly, že do října 1940 bude vypracován podrobný návrh trasy A mezi Dejvicemi a Pankrácí a dále generální projekty trasy B (Holešovice – Flora) a C (Palmovka – Smíchov). Přestupní stanice Florenc a Muzeum umožňovaly přejezdy vlaků na jinou linku a tím pádem i možnost kombinovat jejich vedení. Zajímavostí projektu M byl záměr stavět tunely hloubeným způsobem, a to včetně překonání Vltavy. Jediný ražený úsek měl být mezi dejvickým nádražím a Klárovem. Tento způsob výstavby tunelů vyžadoval, aby byly trasy vedeny pod stávajícími ulicemi, což podobně jako u výše zmíněného návrhu Lista a Belady znamenalo velmi malé poloměry oblouků (až 125 metrů, což je méně než na současných manipulačních tratích). Tunely měly být z větší části dvoukolejné, jen v historickém centru měly být v některých úsecích jednokolejné, aby bylo možné je pod domy zbudovat. Stanice byly uvažovány s bočními nástupišti, jen přestupní stanice měly být čtyřkolejné a měly mít tři nástupiště. Větší část projektu byla odevzdána na počátku roku 1941. V tomto roce se ale již projevil vliv druhé světové války a projekt byl ukončen. [1, 2, 20]

Po skončení války byl výhled na stavbu podzemní dráhy z dnešního pohledu až neočekávaně optimistický. První úsek se měl otvírat na počátku roku 1949. Odborné časopisy přirovnávaly stavbu podzemní dráhy k obnově a modernizaci továren a dolů. Předpokládalo se, že trasu A bude schopna Praha financovat sama. Po roce 1948 se obměnilo vedení Dopravního

podniku a v roce 1949 byl vypracován výhledový plán, který určoval priority pro následující roky. V plánu bylo konstatováno, že je nutné výstavbu podzemní dráhy znovu zvážit zejména z důvodů vysokých investičních nákladů. Realizace se tak odložila nejdříve do roku 1960. V tomto období se nicméně objevovaly spekulace například o tom, jak budou vypadat stanice. Byly však vypracovány i některé studie, z nichž nejzajímavější byla dílem Doc. Ing. Zbyňka Jirsáka, Ing. Jindřicha Horešovského, Ing. Vojtěcha Thoře a Ing. Dr. Jiřího Streita. Ti počítali s trasou Dejvice – Vinohrady. Na trase by se nacházely dva tunelové úseky. Prašný most – Klárov a Kaprova ulice – Náměstí Míru. Další tunel měl spojovat Karlovo náměstí a Těšnov. Severojižní trasa měla být celá vedena na povrchu a její součástí mělo být přemostění Nuselského údolí a také nádraží Praha střed. Navíc bylo v plánu přemostit také nádraží Bubny. Trasy se tedy zásadně nelišily od starších návrhů a koneckonců ani od provedení tras, jak ho známe dnes. Zajímavostí této studie nazvané Metro a doprava v Praze bylo první zveřejněné porovnání podpovrchové tramvaje a metra. Autoři poukazovali na zásadní nedostatky, která tramvaj má. Byly to nevýhody bočních nástupišť, potřeba vyššího průjezdního profilu z důvodu vedení troleje. Částečně povrchové vedení znamenalo nákladnou výstavbu ramp a jak již bylo zmíněno bylo by zde také riziko nepravidelností. Důvody pro stavbu podpovrchové tramvaje pak zase byly zejména menší investiční náročnost. Metro totiž vyžadovalo stavbu poměrně dlouhého úseku, aby jeho využití dávalo smysl. Podpovrchovou tramvaj bylo naopak možné realizovat po menších úsecích. Projekt proto počítal s výstavbou podpovrchové tramvaje, kterou by později bylo možné přestavět. [2]

V roce 1960 se výstavba podzemní dráhy stále neblížila a dopravní situace ve stále zhoršovala. Tramvajová doprava byla nespolehlivá jednak z důvodů výpadků napájení, ale také například proto, že stávající traťový svršek byl rychle opotřebováván vozy řady T. Řešení situace se ujala vláda a rozhodla o převedení některých úseků, zejména v centru města, pod zem. Roku 1963 byla zvolena jako vhodnější varianta podzemní tramvaje a studie Pražského projektového ústavu navrhovala následující trasy. Trasa A ze Špejcharu na Floru s odbočkou do Vršovic, trasa B z Moráně na Florenc, trasa C Hlavní nádraží – Nuselský most a krátká spojovací trať Žitná – Náměstí Míru. Ve stanicích Muzeum, Florenc a Náměstí Míru mělo být umožněn přejezd mezi linkami. Provoz měly zajišťovat dvojice tramvajových vozů Tatra T3. Výstavba měla probíhat v letech 1967–1980 a měly jí provázet i velké změny povrchové tramvajové dopravy. Záměry studie byly schváleny v červnu 1965. Oficiálně se začalo stavět 7. ledna 1967.

Jako první měla být zbudována etapa z Vrchlického sadů, kde měla být zbudována i odbočka k Náměstí Míru a k Nuselskému mostu. Nejednalo se ještě o ražbu tunelu, ale pouze o zahájení přípravných prací. Nejprve se totiž musely přeložit vodovodní řady (ca 3 km), kanalizace (cca 3,6 km) a silnoproudá kabelová vedení (cca 2 km). Ke konci roku 1966 byla podepsána dohoda o spolupráci se Sovětským svazem a zároveň se znovu objevily myšlenky na stavbu metra. Studie byla znovu zanalyzována a opět byla potvrzena varianta podpovrchové tramvaje. V roce 1967, kdy se již stavěla stanice Hlavní nádraží a začínala se budovat stanice Muzeum, požádala československá vláda ještě jednou o názor skupiny expertů, kterou vedl I. T. Jefimov, na zamýšlenou koncepci. Výsledkem bylo doporučení vyloučit přechodnou variantu podpovrchové tramvaje a přistoupit rovnou ke zbudování metra, který byl označen za nejspolehlivější a disponoval největšími možnostmi s ohledem na kapacitu. Změna záměru ve chvíli, kdy se již rozběhla výstavba znamenala značné komplikace. Bylo nutné pokračovat ve výstavbě a zároveň přepracovat veškerou koncepci hromadné dopravy a v neposlední řadě, přepracovat projekt tak, aby navázal na již stavěné části. Dále bylo nutné vytvořit normy pro projektování metra a řešit vozový park. Už v této době se podle vládního nařízení měla zvážit dodávka vozů ze Sovětského svazu, případně domácí výroba podle sovětské licence. Dalším problémem, který se musel řešit bylo vedení úseku I. C. Ukázalo se, že by výstavba krátkého úseku (cca 2,5 km) Hlavní nádraží – Nuselský most, byla neekonomická. Proto se rozhodla že se trasa prodlouží až k Budějovickému náměstí (později byla zvolena stanice Kačerov). Druhá konečná byla zvolena na Florenci, zejména z důvodu snazší dopravní obslužnosti Vysočan a také z důvodu snadnějšího propojení s autobusovou dopravou. V roce 1970 byl také dokončen nový plán rozvoje pražského metra. V plánu byly čtyři trasy s odbočkami. Trasa A z Liboce do Hostivaře s odbočkou Náměstí Míru – Strašnice. Trasa B ze Stodůlek do Hloubětína s odbočkou Palmovka – Harfa, trasa C z Letňan na Háje s odbočkou Pankrác – Lhotka a trasa D Karlovo náměstí – Náměstí Jiřího z Poděbrad. Později se odbočka trasy A sloučila s trasou D a vznikl plán trasy Modřany – Žižkov s odbočkou Náměstí Míru – Vršovice. Později se pak opustilo od plánovaných odboček a plán trasy D doznal také změn a v současnosti ještě stále nejspíše nemá finální podobu. [1, 2]

Mezitím stále probíhaly práce na stavbě úseku I. C. Na počátku roku začala ražba tunelu z Pankráce směrem k Náměstí Hrdinů. Dále bylo nutné zbudovat depo pro vozy metra. Ve va-

riantě s podpovrchovou tramvají se totiž počítalo s využíváním tramvajových vozoven. Samozřejmě dále probíhaly také práce na osmi podzemních a jedné povrchové stanici (Vyšehrad) a také na tunelech, které byly z menší části hloubené a z větší části ražené prstencovou metodou. Metoda spočívá v ražení plným profilem na délku definitivního ostění, případně na délku rámu provizorního ostění. Definitivní ostění je poté montované z oceli, případně železobetonu. Jednotlivé dílce ostění se pak ukládají erektorem. Nakonec je prostor mezi ostěním a horninou vyplněn injektáží. [1, 2, 20, 21]

Vozy pro pražské metro mělo původně dodat ČKD Praha. V roce 1971 zde dokončili dva prototypy vozů R1 (viz Obr. 2). Vlaky pro metro měly být skládány až ze tří těchto jednotek. V květnu, resp. v srpnu roku 1971 pak zahájily prototypy zkušební jízdy na zkušební trati metra na Kačerově. Mezitím však Národní výbor hlavního města Prahy spolu s dopravním podnikem rozhodli o nákupu vozů EČS (viz Obr. 2). Chybně se občas udává jako důvod nehoda jednoho z prototypů jednotky R1 v lednu 1972, nicméně rozhodnutí padlo již dříve. Porovnání základních údajů o jednotkách se nachází v tabulce 1.

typ jednotky	R1	EČS
výrobce	ČKD Praha	Mitiščínský strojírenský závod
maximální provozní rychlost [km/h]	80	80
délka vozu přes spřáhla [mm]	15840	19206
rozvor podvozku [mm]	2100	2100
počet dveří pro cestující / vůz	2x3	2x4
počet trakčních motorů	2x4	4
výkon motoru [kW]	8x84	4x72
hmotnost [kg]	2x21000	32500
maximální obsaditelnost	2x210	262
počet vozů vlakové jednotky	2	3,4,5
maximální obsaditelnost soupravy	až 1260 (6 vozů – 3x2 vozy)	až 1310 (5 vozů)

Tab. 1 Porovnání jednotek R1 a EČS [1]



Obr. 2 Vlevo jednotka R1, vpravo jednotka EČS [1]

Jak vyplývá z tabulky, největší rozdíl byl v hmotnosti. Ostatní parametry se příliš nelišily. Tento rozdíl ale znamenal komplikaci pro provoz vozů v tubusu Nuselského mostu. Jednotky R1 měly, stejně jako tramvaje Tatra T3, se kterými se počítalo v provizorní variantě podpovrchové tramvaje, nápravový tlak 10,5 MPa. Naproti tomu měly vozy EČS nápravový tlak 16 MPa [2]. Hrubá stavba mostu byla dokončena v roce 1969 a byla navržena na provoz podpovrchové tramvaje. Z důvodu provozu jednotek s vyšším nápravovým tlakem musela být spodní deska mostu vyztužena dodatečně ocelovým roštem o hmotnosti 822 tun, který vyšší zatížení roznáší do bočních stěn tubusu. Instalace tohoto roštu však zcela neočekávaný dopad na zatěžovací zkoušky mostu. Délka roštu (485 metrů) se totiž blížila délce vlny vysílání rozhlasové stanice Praha. Rošt se tak choval jako anténa a předával signál kabelům instalovaným pro měření chování mostu při zkouškách. Měření tak musela probíhat téměř výhradně v noci, kdy stanice nevysílala. Jedinou výjimkou byla část dynamické zkoušky prováděná pomocí impulsních raketových motorů. Kvůli hluku musela být provedena ve dne, a tak bylo vysílání stanice Praha během zkoušky na pět minut přerušeno [2, 3].

Prvních šest vozů EČS odrazilo do stanice Praha – Krč v říjnu 1973. V té době se také rozběhla kolaudace již hotových úseků trasy C, nicméně stále běžely dokončovací práce. Vozy mezitím najížděly potřebných 1000 km na zkušební trati a zkušební provoz bez cestujících byl zahájen na začátku roku 1974. Spolu s dokončovacími pracemi se také rozhodovalo o pojmenování jednotlivých stanic. Na konečnou podobu názvů stanic měl v některých případech vliv politických rozhodnutí. Například původně zamýšlený název stanice Autobusové nádraží Pankrác se změnil na název Mládežnická, což nerespektovalo skutečné umístění dané stanice ani názvy okolních ulic. Tato tendence v pojmenovávání stanic se však naplno projevila na dalších otevíraných úsecích pražského metra. Do provozu byl první úsek pražského metra uveden 9. května 1974. Tvořilo ho devět stanic Kačerov, Budějovická, Mládežnická (dnes Pankrác), Pražského povstání, Gottwaldova (Vyšehrad), I. P. Pavlova, Muzeum, Hlavní nádraží, Sokolovská (Florenc). První úsek měřil včetně spojek a odstavných tratí 7,127 km. Provozní délka (vzdálenost středů konečných stanic) pak byla 6,949 km. Provoz zajišťovaly třívozové vlaky, které ve špičce jezdily v intervalu 180 sekund. Pro porovnání dnes jezdí výhradně pětivozové soupravy a ve špičce je minimální interval je 115 sekund. Provoz byl řízen z provizorních dispečinku ve stanici I. P. Pavlova.



V únoru 1973 byla zahájena stavba trasy A ražbou tunelu mezi budoucími stanicemi Leninova (dnes Dejvická) a Hradčanská a probíhaly i práce na prodloužení trasy C. Výstavba prvního úseku trasy A se lišila od trasy C svou hloubkou. Proto je na úseku I.A šest stanic ražebných a pouze dnešní stanice Dejvická je hloubená. Trasa končící na Náměstí Míru byla zprovozněna v srpnu roku 1978. V té době také začal fungovat centrální dispečink v ulici Na Bojišti. Na koci roku 1980 byla prodloužena trasa A do stanice Želivského a trasa C do stanice Háje. Další dvě stanice dostala trasa C v roce 1984, kdy se novou konečnou stala stanice Nádraží Holešovice. O rok později doplnil trojúhelník tras v centru města první úsek trasy B mezi Smíchovským nádražím a Sokolovskou. Zároveň byly zrušeny turnikety a byly zavedeny elektronické značkovací strojky. Dále byl zahájen provoz depa Hostivař. V té době ho spojovala v trase A pouze manipulační kolej. Stanice Strašnická se teprve dokončovala (otevřena 1987) a o vybudování stanice Skalka se rozhodlo později a dokončena byla v roce 1990. Trasa B se rozrůstala směrem na Nové Butovice (úsek III.B v roce 1988) a do Vysočan (úsek II.B do stanice Českomoravská byl otevřen v roce 1990). Se zprovozněním úseku II.B také skončilo přejmenování 36 existujících a dvou plánovaných stanic. Měnily se názvy stanic s politickým významem a názvy, které nesouhlasily s polohou stanic. Po poměrně rychlém sledu otevírání nových



Obr. 3 Současný stav pražského metra [4]

úseků v letech 1978 až 1990 byla první polovina 90. let věnována spíše rekonstrukcím zejména na trasách A a C a otevřen byl pouze úsek V.B na Zličín (1994) a úsek IV.B na Černý Most (1998), kde však stanice Hloubětín a Kolbenova byly dokončeny až v roce 2001. Trasa C byla prodloužena nejprve do stanice Ládví (2004) a v roce 2008 do Letňan. Stanice Depo Hostivař na trase A byla dokončena v roce 2006. Posledním rozšířením sítě pražského metra byl úsek V.A do stanice Nemocnice Motol, který byl otevřen v roce 2015. V současnosti tak má pražské metro 65,4 km provozních tras a 61 stanic. [1, 2, 20]

Tratě pražského metra mají rozchod 1435 mm. Většina tratí je podzemních, s výjimkou některých koncových úseků jednotlivých tras a manipulačních tratí v depech, která jsou po jednom na každé trase (Depo Hostivař, Zličín, Kačerov). Nejmenší poloměr oblouku na provozních tratích je 350 m. Komplikovaný pražský terén ovlivnil nejvyšší sklon traťového úseku, který je 40%. Trasa C je s trasami A a B propojena kolejovými spojkami, které umožňují přejezd vlaků mezi jednotlivými trasami a také umožňovali provoz tras A a B bez vlastních dep. Depo Hostivař totiž bylo dostavěno v roce 1985 a depo Zličín v roce v roce 1994. Na tratích pražského metra se také nachází několik mostů. Nejznámější je Nuselský, dále se na trase C nachází most přes železnici za stanicí Kačerov. Dvě střední koleje zde tvoří manipulační spojku do depa Kačerov. Na trase B překonává most Prokopský potok mezi stanicemi Hůrka a Lužiny a na opačném konci této trasy je most použit k překonání nerovného terénu před stanicí Černý Most, který je dlouhý 843 m a je tak dokonce delší než Nuselský most (485 m).

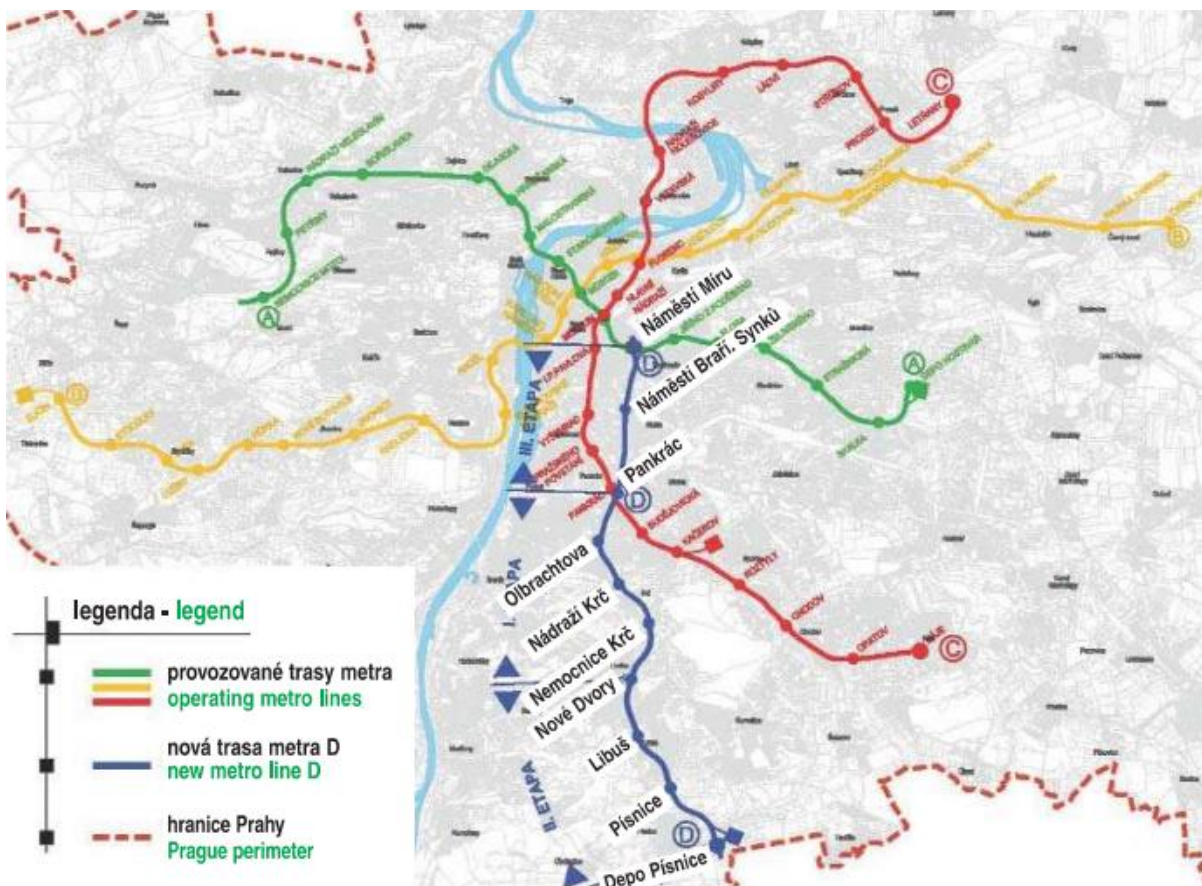
Vozový park tvoří vozy M1 vyrobeny konsorciem ČKD DS, Siemens, AdTranz a vozy 81-71 vyrobeny v Mitiščínském strojírenském závodě a modernizovány v letech 1996–2011 ve Škodě Transportation, označené 81-71M. [1, 2, 20]



Obr. 4 Soupravy 81-71M (vlevo) a M1 (vpravo) [1]

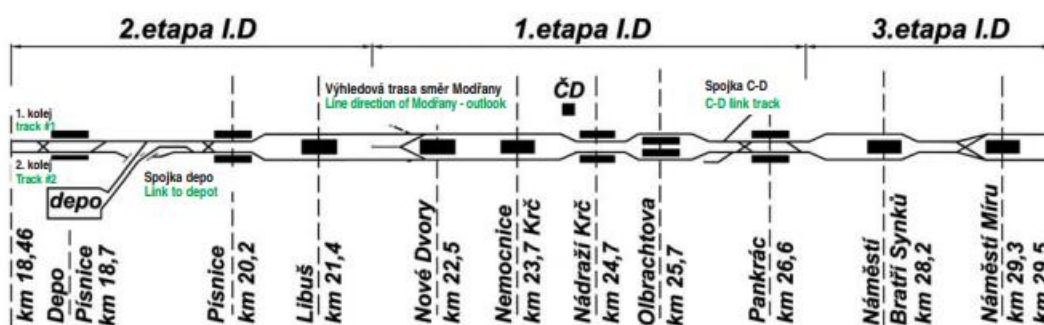
## 2.2. Koncepce linky D

Linka D bude čtvrtou trasou pražského metra. Jak je patrné z obrázku 5, její vznik by měl vyřešit dlouhodobý problém s dopravní obslužností jižní části města, především v městských částech Praha 4, Praha 12 a Praha – Libuš, kde se nacházejí hustě obydlená území Krč, Libuš a Lhotka. V současné době se obyvatelé dopravují autobusy zejména ze stanice linky metra C Kačerov. Tento způsob dopravy ale zatěžuje pozemní komunikace, je nešetrný k životnímu prostředí a je na limitu své kapacity. Dalším přínosem bude vytvoření paralelního spojení k Nuselskému mostu, který kritický z hlediska provozu na lince C a neodkladná rekonstrukce by znamenala značné komplikace pro provoz pražského metra zejména z důvodu, že linka C je nejvytíženější trasou v hlavním městě. Proto byla také zamítnuta varianta odbočky z trasy C ve stanici Pankrác. Linka D také odlehčí části úseku I.C. Dalším benefitem nové trasy je také pohodlné a rychlé spojení k Thomayerově nemocnici v Krči. Do dalších let se uvažuje s dalším prodlužováním trasy D směrem na sever přes Žižkov do Vysočan. Dále je uvažována odbočka do Modřan a případně další rozvoj jižním směrem do regionu.

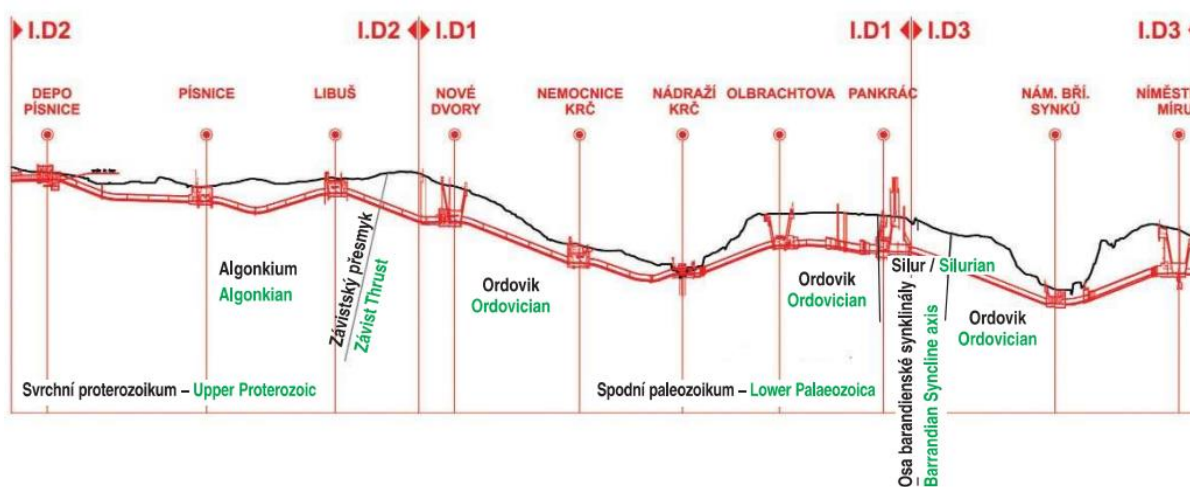


Obr. 5 Plánovaná trasa linky D [5]

První úsek (I.D) bude dlouhý 10,6km a bude se na něm nacházet 10 stanic (viz Obr. 5 a 6). Se stávajícími linkami pražského metra se bude křížit ve stanici Náměstí Míru (trasa A) a Pankrác (trasa C). Na obrázku 6 je naznačena etapizace výstavby trasy D tak, jak byla uvažována v roce 2011, kdy byla vypracována dokumentace pro územní rozhodnutí. Později byly etapy 1 a 2 sloučeny. Jako etapa 2 je nyní uvažována výstavba nového depa. Trasa D totiž nebude kompatibilní s ostatními trasami pražského metra. Zejména z důvodu, že je pro ni uvažováno s vrchním napájením vlaků z pevné troleje a také proto, že vlaky mají být automatické bez strojvůdců. Nicméně zůstane zachován standardní rozchod 1435mm, aby bylo možné využívat i zde vozidla nezávislé trakce, která jsou důležitá pro údržbu a opravy tratí i tunelů. Tyto vozy budou mít možnost přejet na trasu D spojkou s trasou C. Napájení trolejí s sebou přináší některé výhody. Tou nejdůležitější je bezpečnost. U trolejového vedení je totiž znatelně menší riziko náhodného doteku s živou částí zejména při pohybu osob v kolejišti při údržbách, ale také při nehodách, kdy budou muset být cestující evakuováni. Oproti běžným trolejím je



Obr. 6 Provozní schéma úseku I.D [6]



Graf 1 Převýšení a geologické podmínky na trase D [5]

výhoda pevné troleje v nižších požadavcích na prostor. Pevná trolej má také vyšší požární odolnost. Pádům osob do kolejí by měly zabránit bezpečnostní stěny na hranách nástupišť, které se otevřou pouze v okamžiku, kdy bude ve stanici stát vlak. Po ukončení nástupu cestujících se nejprve uzavřou dveře na nástupišti a až poté může vlak odjet. Dalším bezpečnostním prvkem budou SOS hlásky na nástupištích, kterými mohou cestující kontaktovat dispečink. Podobnou možnost budou mít cestující i ve vlacích. Na nástupištích i ve vozech budou instalovány kamery. V některých městech, i po zavedení automatického metra, jezdí (nebo jezdili) ve vozech pracovníci dopravních podniků z důvodů většího pocitu bezpečí cestujících. [5]

### 2.2.1. Úsek Pankrác – Depo Písnice

Jak již bylo zmíněno, nejprve bude vybudován úsek mezi stanicí Pankrác a stanicí Depo Písnice. Poloha stanice Pankrác D byla volena s ohledem na to, že se bude jednat o přestupní stanici mezi linkami C a D. Stanice se bude nacházet pod stávající stanicí Pankrác C v hloubce 33 metrů pod povrchem. Stanice bude mít boční nástupiště spojené galerií. Z ní bude umožněn průchod do obchodně administrativních center v okolí (Pankrác Business Centre a Arkády Pankrác). Z chodby směrem k budově Arkády Pankrác pak bude odbočovat chodba pro přestup na linku C. Mezi stanicí a podzemním podlažím této budovy pak bude, kromě eskalátorů, zbudován i šikmý výtah. Přestup mezi linkami C a D bude stejně jako východ ze stanice bezbariérový. Staniční tunel bude dlouhý 130m a stejně jako ostatní stanice na trase D bude podélný sklon stanice 3‰. Stanice bude ražená, přičemž v délce 30 až 40 se předpokládá velmi komplikovaná ražba. Ve směru k budoucí stanici Náměstí Bratří Synků bude dvojkolejný tunel dlouhý 175 metrů, který bude zakončen demontážní komorou. Do této komory vjedou razicí štíty po dokončení etapy 3. Ze stanice Pankrác trasa bude pokračovat dále ve směru z centra. Na tomto úseku se také bude nacházet spojka s trasou C (viz Obr. 6). Následovat bude ražená stanice Olbrachtova, která bude v síti pražského metra jedinečná svou koncepcí. Z důvodu nepříznivých geologických podmínek budou raženy dva staniční tunely. Nástupiště budou na koncích a uprostřed propojeny chodbami. Výstupy ze stanice budou zaústěny do chodeb na koncích nástupišť. Nástupiště budou řešena jako u stanic s bočními nástupišti, ale jejich propojení chodbou zase připomíná stanici s ostrovním nástupištěm. Další zvláštností této stanice je, že se bude nacházet v traťovém oblouku. Poloměr oblouku pravé koleje bude 826m a poloměr oblouku levé koleje bude 800m. Bezbariérový přístup do 27m hluboké stanice bude šikmým

výtahem z nadzemního vestibulu. Ze stanice Olbrachtova bude trasa pokračovat levým obloukem a klesáním ke stanici Nádraží Krč. Stanice bude povrchová a z části bude umístěna na mostě nad vodní plochou. Nad ní budou i nástupiště, která budou otevřena do prostoru. Stanice podejde Jižní spojku a za ní se bude nacházet nadzemní vestibul, který bude s nástupišti propojen schodišti a výtahem. U stanice se bude nacházet dispečink trasy D. Na jižní straně bude možné projít podchodem ke schodišti, které (stejně jako druhý výtah) bude ústít na povrch do ulice Před Nádražím. Bude tak zajištěn přestup na vlakovou dopravu. U stanice se také předpokládá zbudování parkovacího domu. Ze stanice Nádraží Krč bude trasa mírně stoupat do stanice Nemocnice Krč. Ta bude provedena jako hloubená s ostrovním nástupištěm. Na obou koncích nástupišť budou eskalátory a šikmý výtah do nadzemních vestibulů. Jižní vestibul bude možné v budoucnu začlenit do budoucí zástavby v oblasti. Severní vestibul bude propojen s nemocnicí Krč. Mezi vestibuly jsou navrženy podzemní garáže. Stanice bude v hloubce 18m. Trasa D bude dále stoupat a pravým obloukem se stáčet k ražené jednolodní stanici Nové Dvory. Stanice bude ražena v hloubce 32 metrů pod povrchem. Na jižním konci se budou nacházet eskalátory i pevné schodiště a výtah, které budou ústít do příčné chodby, ze které bude umožněn výstup na povrch jak po eskalátorech, tak dvojicí výtahů. Na stanici navazuje technologická část s obratištěm. Také se zde bude nacházet příprava pro možné odbočení trasy do Modřan. Dlouhé stoupání trasy, které začalo před stanicí Nemocnice Krč, končí v hloubené stanici Libuš. Stanice bude v hloubce 13m pod povrchem a bude mít ostrovní nástupiště. Stanice bude mít dva nadzemní vestibuly, do kterých budou ústít výtahy z nástupišť. Trasa bude dále pokračovat jihovýchodním směrem do stanice Písnice. Ta bude hloubená s ostrovním nástupištěm. Stanice v hloubce 13m bude mít jeden vestibul. Z něj se bude po schodišti nebo výtahem vystupovat k ulici Libušská. Poslední stanicí provozního úseku I.D bude stanice Depo Písnice. Stanice bude hloubená v hloubce 7m pod povrchem s ostrovním nástupištěm. Vedle stanice je navrženo záchytné parkoviště a autobusový terminál. Za stanicí bude trasa pokračovat ještě 220 metrů dlouhým prostorem s odstavnými kolejemi, které budou sloužit i jako obratiště. Odbočka do depa se totiž bude nacházet před stanicí. [5]

### 2.2.2. Úsek Náměstí Míru – Pankrác

Druhou konečnou stanicí úseku I.D bude stanice Náměstí Míru D. Bude se jednat o jednolodní raženou stanici v hloubce 40m pod povrchem. Stanice bude mít ostrovní nástupiště s trojicí eskalátorů na každém konci. Ty budou ústít do podzemních vestibulů, ze kterých bude

možné eskalátory, pevnými schodišti nebo výtahy výstup na povrch. Uprostřed nástupiště bude schodiště a výtah do přestupní haly. Do ní také bude ústít výtah z povrchu. Z přestupní haly kromě eskalátorů povede do stanice na trase A šikmý výtah. Ve staničním tunelu bude za stanicí umístěno křížení kolejí, které bude umožňovat obracení vlaků. Hustota zástavby v okolí stanice neumožňuje přístup pro ražbu. Traťový tunel spojující stanice Náměstí Míru D a Náměstí bratří Synků bude dvoukolejný mimo jiné i z důvodů transportu razicí techniky pro stanici Náměstí Míru D. Stanice Náměstí bratří Synků se bude nacházet mezi oběma přestupními stanicemi na trase D. Stanice bude mít ostrovní nástupiště 13m pod povrchem. Zhruba 30m ze staničního tunelu se nachází pod stávající zástavbou. Z tohoto důvodu bude stanice z větší části hloubená. Pod zástavbou pak budou ražené úseky. Hloubenými částmi se razicí štítý protlačí. [5]

### 3. Automatizace

Automatické systémy metra přináší celou řadu výhod. Systémy, které nevyžadují přítomnost personálu ve vlaku (UTO – Unattended Train Operation) jsou flexibilnější než konvenční metra. Umožňují totiž dispečerům rychleji reagovat na aktuální poptávku na trase. Automatické metro je i bezpečnější, a to díky eliminaci možného lidského selhání. Benefitem automatických systémů je i větší komfort pasažérů, protože čekací doby ve stanicích i intervaly mezi jednotlivými spoji mohou být kratší. V součtu nákladů na vybudování nové trasy metra jsou náklady na automatický systém relativně nízké. Řídicí systém pro provoz UTO je dražší než dříve používané systémy ATP (Automatic Train Protection), ale vzhledem k současnému trendu, kdy je i u nově budovaných konvenčních linek využíván systém CBTC (Communications-Based Train Control), jsou náklady na plnou automatizaci minimální. Nejzásadnějším rozdílem oproti nákladům na vybudování konvenčního systému je tak investice do stěn na krajích nástupišť. Naopak úsporu přináší automatické metro jednak na nákladech na personál, kdy není nutné platit řidiče, a také nižší spotřeba elektrické energie. Rozjezd a brzdění je plynulejší a umožňuje efektivněji využívat princip rekuperace. V současnosti je díky rekuperaci používané v trakční soustavě pražského metra šetří cca 10% elektrické energie [7]. Předpokládá se, že toto číslo tedy vzroste. V pražském metru se rekuperuje pouze do trakční napájecí soustavy, nikoliv do distribuční soustavy.

#### 3.1. Stupně automatizace

Automatická metra se dělí do čtyř základních kategorií, podle stupně automatizace (GoA – Grade of Automation). Tyto stupně definují, jaké úkony provádí řidič a jaké jsou prováděny automaticky. Základní stupně jsou uvedeny v tabulce 2.

stupeň automatizace	řízení vlaku	rozjezd	zastavení	zavírání dveří	řešení mimořádných situací
GoA 1	ATP a řidič	řidič	řidič	řidič	řidič
GoA 2	ATP, ATO a řidič	automatika	automatika	řidič	řidič
GoA 3	DTO	automatika	automatika	vlakový doprovod	vlakový doprovod
GoA 4	UTO	automatika	automatika	automatika	automatika

Tab. 2 Stupně automatizace [8]

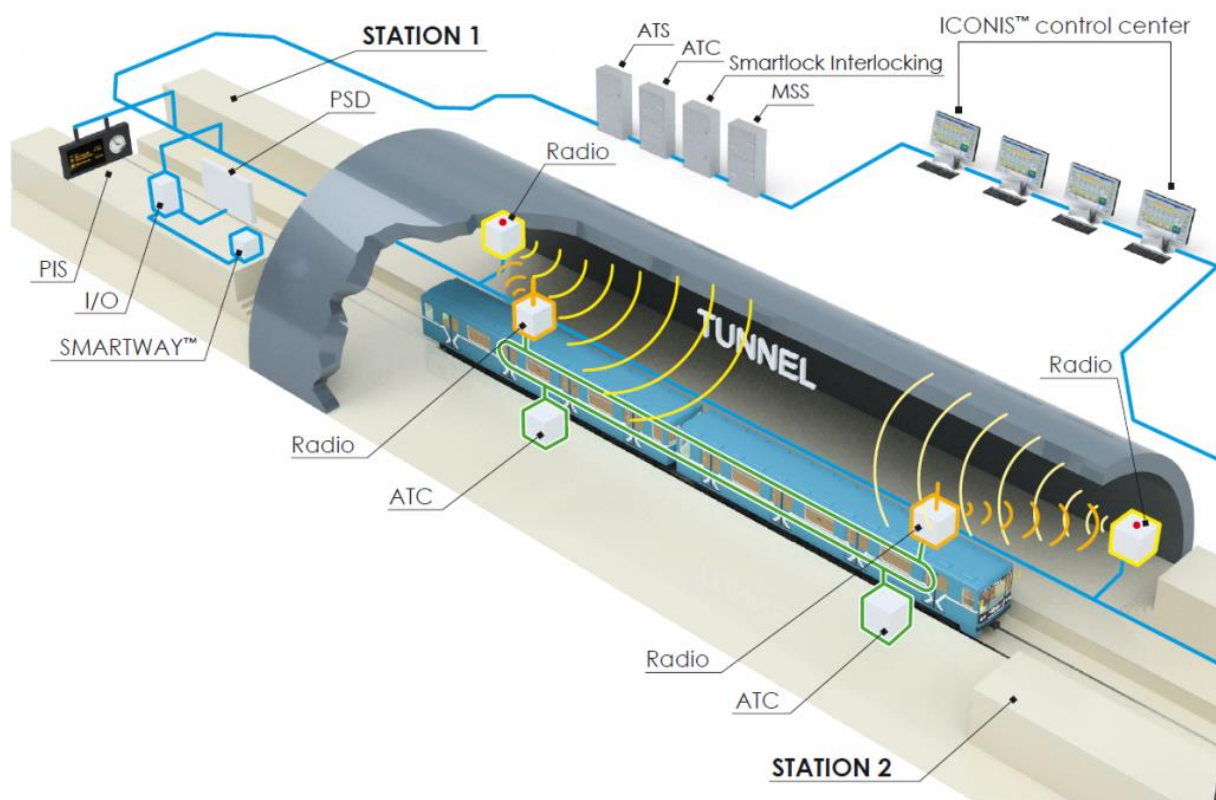


O řízení vlaku se starají následující systémy, které jsou spolu provázány, v závislosti na stupni automatizace:

- a) **Automatická ochrana vlaku** (ATP – Automatic Train Protection) je soubor zařízení, která zajišťují základní bezpečnost provozu metra. Zabraňuje nehodám a automaticky brzdí při překročení povolené rychlosti nebo při projetí návěsti stůj.
- b) **Automatický provoz vlaku** (ATO – Automatic Train Operation) v případě stupně automatizace GoA 2 provádí všechny úkony za řidiče s výjimkou zavírání dveří. Po zavření dveří se vlak sám rozjede do další stanice.
- c) **Automatické řízení vlaku** (ATC – Automatic Train Control) spolu s ATO řídí vlak tak, aby dodržoval jízdní řád, a v případě odchylky upraví systém parametry tak, aby se vlak vrátil opět na svůj interval.

Řízení vlaku DTO (Driverless Train Operation) je kombinací ATO a ATC.

Pro řízení UTO bude využit systém CBTC (viz Obr. 7), který je popsán v následující kapitole. [8]



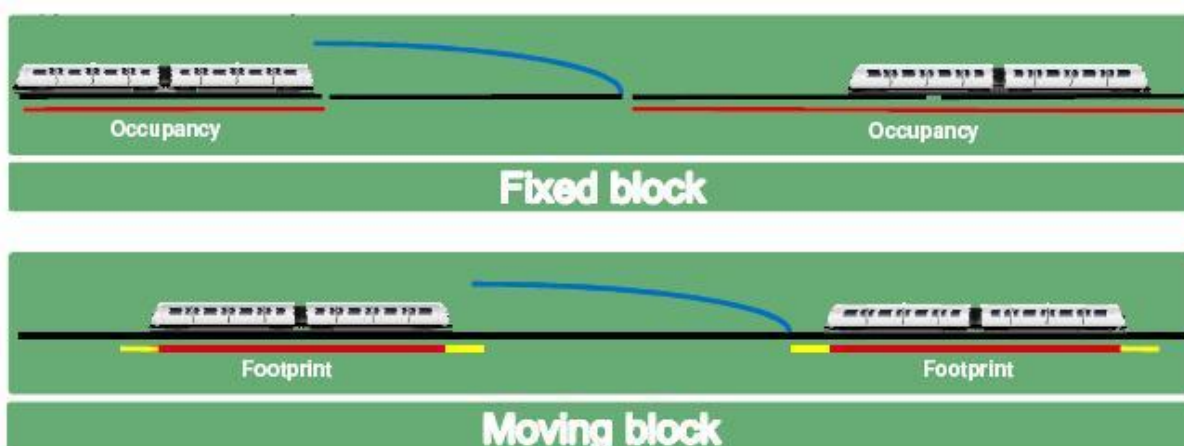
Obr. 7 Schéma systému CBTC výrobce Alstom [9]

## 3.2. Systém CBTC

CBTC je nejčastěji používaným řídicím systémem pro provoz vlaků na úrovni GoA 4. Nicméně CBTC není synonymem pro plně automatické metro a to proto, že se systémem CBTC je možné provozovat vlaky na jakémkoliv stupni automatizace, dle požadavků dopravce a dle možností infrastruktury. Systém CBTC funguje na principu obousměrné komunikace mezi vlakem a řídicím stanovištěm (dispečinkem). Základ systému CBTC tvoří následujících pět součástí:

- a) **Automatický provoz vlaku (ATO)**
- b) **Automatická ochrana vlaku (ATP)**
- c) **Automatický vlakový dohled (ATS – Automatic Train Supervision)**
- d) **Mobilní terminál (MT – Mobile Terminal)**
- e) **Přístupový bod (AP – Acces Point)**

ATS přiřazuje jednotlivým soupravám údaje o jízdním řádu. Na základě této informace a znalosti profilu trasy určí ATO optimální rychlost v jednotlivých úsecích. Pomocí AP umístěných podél trati a MT umístěných ve vozidlech dostává systém informace o tom, kde se který vlak přesně nachází. Na základě porovnání aktuálních a předpokládaných dat pak ATO zajišťuje korekci rychlosti tak, aby se v případě zpoždění souprava znovu vrátila na daný interval. ATP pak zajišťuje dodržení maximální rychlosti a zabraňuje případným kolizím s ostatními soupravami. [8]



Obr. 8 Porovnání pevného (Fixed block) a pohyblivého bloku (Moving block) [9]

Díky nepřetržité komunikaci mezi řídicím systémem a vlaky je možné v případě CBTC využívat princip pohyblivého bloku (viz. Obr. 8). Tento princip neustále počítá maximální čas

pro nouzové zastavení a vytváří virtuální blok „jedoucí“ před každým vlakem. Tento blok určuje minimální vzdálenost mezi vlaky a tím pádem i interval, se kterým mohou soupravy jezdit.

### 3.3. Příklady automatických systémů

#### 3.3.1. Alstom

Francouzský výrobce Alstom dodává své vlaky řady Metropolis. Konfigurace vlaků je modulární a závisí na aktuální poptávce na trase. Vzhledem k tomu, že nástupiště ve stanicích linky D jsou dlouhá 100m, je možné provozovat soupravu o maximální délce čtyř vozů. Ta může obsahovat kombinaci motorových (M) dlouhých 22,8m a tažených (T) vozů dlouhých 23,65m. Možné kombinace jsou 2M-2T, 3M-1T nebo 4M. V případě menší vytíženosti trasy v konkrétních denních dobách je možné vypravovat třívozové soupravy v kombinacích 2M-1T nebo 3M.



Obr. 9 Alstom Metropolis (Sydney) [10]

Jeden až dva motorové vozy v soupravě jsou napájeny. Napájení může být řešeno třetí kolejnící, nebo pantografem. Napájecí napětí je možné volit stejnosměrné 750V, 1500V nebo 3000V, případně střídavé 25kV. Pro pražské metro bude volena napěťová hladina 1500V<sub>DC</sub> a napájení pantografem z pevné troleje. Každý motorový vůz je opatřen čtyřmi asynchronními motory o výkonu 150kW. [10]

Kapacita vozů je 300 osob (6 osob/m<sup>2</sup>). Jedna souprava tak přepraví až 1200 pasažerů. Mezi jednotlivými vozy lze procházet. Vozy jsou také vybaveny klimatizací, jejíž výkon se řídí počtem cestujících. Tím je možné dosáhnout menší spotřeby energie.

Vlaky Alstom Metropolis mohou být řízeny systémem Alstom URBALIS, ale jsou kompatibilní i s řídicími systémy jiných výrobců. Systém URBALIS se stal prvním CBTC řídicím systémem na světě, když ho společnost Alstom instalovala v roce 2003 v Singapuru na North East Line (tato linka se také stala prvním plně automatickým „těžkým“ metrem). Systém pracuje s principem pohyblivého bloku a dokáže tak snížit interval mezi spoji až na 85s. Tento interval mohou dispečerů libovolně měnit s přesností na jednu sekundu a optimalizovat tak provoz na lince. Celý systém sestává se tří sítí. Jedna je instalována v tunelech, jedna v soupravách a vzájemně jsou propojeny rádiovým signálem o frekvencích 2,4 nebo 5,8 GHz. Vlak neustále odesílá informace o své poloze a zároveň je informován o situaci na trati před ním. Všechny prvky systému jsou redundantní, aby byla zajištěna maximální spolehlivost. Systém je také modulární a umožňuje tak snadné rozšíření v případě prodloužení trasy. [10]

### 3.3.2. Siemens

Siemens mobility vyrábí pro automatické systémy metra vlaky VAL (z francouzského Véhicule Automatique Léger) a Inspiro.

VAL je první systém „lehkého“ automatického metra na světě. Vozy jezdí na kolech s pneumatikami a jsou dle potřeby skládány do souprav dvou až šesti vozů. Napájecí napětí je standardní 750V<sub>DC</sub> a vozy jsou napájeny z napájecí kolejnice. Koncepte lehkého metra byla v souvislosti s výstavbou trasy D zvažována, nakonec ale byla zvolena varianta „těžkého“ metra. [11]



Obr. 10 Siemens Inspiro (Sofia) [11]

Vlaky Inspiro svým provedením spadají do kategorie „těžkého“ metra. Vozy mohou být skládány do souprav od dvou do osmi vozů. Délka koncových motorových vozů ( $M_k$ ) je 20,1m a délka středních motorových vozů ( $M_s$ ) a tažených (T) je pak 19,4m. Nejdelší soupravu pro trasu D je tedy možné složit z pěti vozů a to v kombinacích  $2M_k-M_s-2T$ ,  $2M_k-2M_s-T$  nebo  $2M_k-3M_s$ . Dle aktuální vytiženosti pak mohou být soupravy upravovány.

Napájecí napětí vozů Inspiro je  $750V_{DC}$  případně  $1500V_{DC}$ . Napájení je možné prostřednictvím třetí kolejnice nebo pantografu. Motorové vozy jsou opatřeny čtyřmi motory o výkonu 160kW.

Kapacita souprav závisí na požadavcích dopravce. Záleží na počtu a rozmístění sedadel a na velikosti skříně. Předpokládaná kapacita pětivozové soupravy bude dosahovat cca 1200 pasažérů, kteří mohou procházet celou soupravou. Kvalita vzduchu uvnitř souprav je kontrolována úspornou klimatizací.

Společnost Siemens mobility dodává také svůj řídicí systém Trainguard MT. Jedná se o CBTC řídicí systém, který je možné provozovat na různých stupních automatizace od GoA 2 po GoA 4. Tento systém je tedy možné instalovat i na stávajících konvenčních linkách (například v rámci modernizace) a později přejít na plně automatický provoz. Systém využívá princip pohyblivého bloku a obousměrné komunikace mezi vlakem a dispečinkem k maximálnímu snížení intervalů mezi spoji. [11]

## 4. Návrh napájení měnírny a distribuční transformovny

Účelem měnírny a distribuční transformovny je transformování střídavé elektrické energie z distribuční sítě na stejnosměrnou potřebnou pro provoz metra a zároveň zajištění napájení technologií ve stanici a napájení obchodní vybavenosti ve vestibulech. Měnírna a distribuční transformovna se bude nacházet v každé stanici nové trasy D.

Návrh napájení měnírny a distribuční transformovny (dále také MDT) ve stanici Náměstí Bratří Synků vychází mimo jiné z konzultace se zaměstnanci DPP a z návštěvy MDT ve stanici Bořislavka. Z konzultace se zaměstnanci jsem získal důležité informace o provozu měnírny a distribučních transformoven v síti pražského metra, které jsem poté mohl využít k tomu, abych v návrhu respektoval základní požadavky na spolehlivost a bezpečnost provozu.

Prvním krokem při navrhování MDT je rozdělení do základních funkčních podle druhu odběru. Toto členění je znázorněno ve výkresu V01\_Blokové schéma. Na základě tohoto rozdělení je možné přistoupit k návrhu energetické bilance. Z ní je pak možné určit, jaký bude celkový odběr měnírny i distribuční transformovny a také požadavky na vysokonapěťovou část MDT.

### 4.1. Energetická bilance

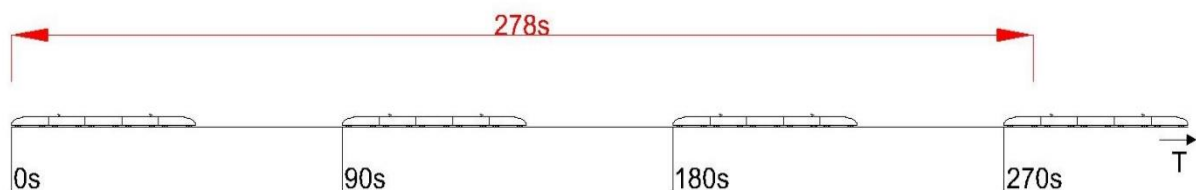
Aby bylo možné sestavit energetickou bilanci, je nutné si nejprve určit odběr jednotlivých funkčních bloků. Nejprve se v této kapitole zaměřím na určení spotřeby trakční (měnírny) části MDT. Jak již bylo zmíněno v předchozích kapitolách, vlaky metra budou na trase D napájeny z pevné troleje. Tato trolej bude dělena do jednotlivých napájených úseků, které od sebe budou izolovány. V případě obratišť pak budou troleje pro napájení vlaků na těchto manipulačních kolejích vodivě připojeny k nejbližším trolejím. Každá trolej, resp. každý napájený úsek je značen dvou či třípísmenným kódem stanice a číslem, který respektuje číslování kolejí. Troleje NMD01, BS01, PND01 atd. jsou nad kolejí č. 1 (směr Náměstí Míru D – Depo Písnice) a troleje PND02, BS02, NMD02 atd. jsou nad kolejí č. 2 (směr Depo Písnice – Náměstí Míru D). Troleje nad manipulačními kolejemi pak mají přiřazen kód stanice, ve které se příslušná kolej nachází a postupné číslování, případně značení A a B pro troleje předělené křížením. Pro troleje nad provozními kolejemi (č.1 a č. 2) je písemný kód dán nástupištěm stanice, kterou trolej prochází. Izolované úseky jsou vždy před vjezdem do stanic, zejména z důvodu, že v těchto místech vlaky téměř výhradně brzdí, není zde potřeba co největšího odběru z trakční napájecí

soustavy, a proto může být jeden z pantografů na krátkou dobu bez přívodu. Každý úsek je napájen ze dvou stran, resp. ze dvou měníren. Tento systém napájení je výhodnější z pohledu spolehlivosti provozu. Při výpadku jedné celé měnírny bude sice provoz na daném úseku omezen, nikoliv však zcela přerušen. Napájení trolejí z jednotlivých měníren je patrné z výkresu V03\_Schéma trakce.

Každá trolej tedy bude napájena ze dvou měníren a v návrhu tedy dále budu předpokládat, že zatížení bude rozloženo rovnoměrně. K určení odběru z měnírny je klíčové zjistit, jaká bude spotřeba trakce, což je závislé na počtu vlaků na jednotlivém úseku, jejich provozním režimu a v první řadě jejich motorizaci.

V kapitole 3.3 byli zmíněni dva hlavní výrobci vlaků pro automatické metro. Protože se provedení vlaků liší dle požadavků provozovatele, vybíral jsem variantu, která se nejvíc blíží předpokládaným podmínkám provozu pražského metra. Z důvodu výkonnějších motorů jsem upřednostnil vlak Siemens Inspiro (160kW motory oproti 150kW motorům ve vlacích Alstom Metropolis). Největším problémem pro provoz je v Praze její kopcovitý terén (viz graf 1). Maximální sklon trasy D je uvažován 40‰ [5]. Z těchto důvodů jsem zvolil variantu provozovanou ve Vídni, kde vlaky Siemens Inspiro překonávají největší stoupání 50‰ [11]. Tamní soupravy jsou šestivozové, s celkovou motorizací 16x160kW. Jak bylo zmíněno výše nejdelší souprava na trase D by měla mít pět vozů. Tato změna se však v uvažované bilanci neprojeví, protože čtyři motorizované vozy zůstanou.

Pro určení počtu vlaků, které se budou nacházet na jednom napájeném úseku jsem vycházel s předpokladu, že ve špičce budou vlaky jezdit s intervalem 90s. Základní úvaha pak vychází z informace, že průměrná rychlost vlaku na trase je 35km/h (což je 9,7 m/s)[11]. Údaj o průměrné rychlosti vychází z údajů výrobce a zahrnuje i dobu, kdy soupravy stojí ve stanicích. Uvažujme nyní kolej č. 2 mezi stanicemi Pankrác D (včetně stanice) a Náměstí Míru D (úsek končí těsně před stanicí). Pokud známe průměrnou rychlost a vzdálenost konců napájených



Graf 2 Diagram intervalů

úseků (v tomto případě 2700m) lze určit, že doba potřebná na projetí počítaného úseku je 278s. Z toho vyplývá, že při intervalu 90s, se mohou v jednom směru v daném úseku nacházet pouze čtyři vlaky (viz graf 2). Při detailnějším rozboru můžeme dále určit, že pokud bude vlak v každé stanici stát 20s, musí mezistaniční úseky projet za 238s a uvažovaná průměrná rychlost bude 11,3m/s. Z tohoto údaje dostaneme cestovní časy pro úsek Pankrác D – Náměstí Bratří Synků (1600m, proto 141s) a Náměstí Bratří Synků (1100m, proto 97s). V tabulce 3 jsou jednotlivé vlaky barevně označeny. Úvahu pro určení odběru jednotlivých trolejí z jedné měnirny vysvětlím na příkladu jednoho vlaku (zelené buňky), který v čase  $t=0s$  vyjíždí ze stanice Pankrác D. V počátku vlak zrychluje a odebírá 100% svého příkonu. Po dosažení cestovní rychlosti, se odběr sníží na 75%. Před stanicí začíná vlak plynule zpomalovat a tím klesá i odběr. V posledních metrech před koncem troleje PND02 již neodebírání z troleje žádnou energii. Při vjezdu do stanice Náměstí Bratří Synků se vlak přepojí na trolej BS02. Vlak zastaví ve stanici a poté se opět rozjíždí (odebírání 100%) a celý cyklus jízdy se opakuje až do opuštění troleje BS02 před stanicí Náměstí Míru D v čase  $t=280s$ . Podobný princip platí pro všechny ostatní vlaky jedoucí před ním, nebo za ním v intervalu 90s. Jedna barva symbolizuje vždy jeden vlak. Obdobný princip je použit i pro opačný směr. Ten je znázorněn v tabulce 4. Tato úvaha, určující maximální zatížení měnirny by měla platit po celé délce trasy D, protože úsek Pankrác D – Náměstí Bratří Synků je na celé trase nejdelší. Průměrná vzdálenost mezi stanicemi na trase pak bude 1178m. Z toho vyplývá, že na úseky napájené jednou měnirnou nevjedou v jednom směru více než čtyři vlaky, resp. osm vlaků v obou směrech.

Na základě výše zmíněné úvahy jsem sestrojil graf 3. Z tohoto grafu vyplývá, že největší zatížení se ve špičce bude objevovat každých 90s. V těchto časech dosáhne celkový odběr z jedné měnirny 5760kVA. Naopak minima jsou relativně nízká (2880kVA). V otázce určení maximálního možného odběru se nabízí ještě varianta, kdy se na všech čtyřech trolejích napájených z jedné měnirny budou zároveň rozjíždět čtyři vlaky. V tom okamžiku by měnirna dodávala do každé troleje výkon 1280kVA. Celkový odběr by pak byl 5120kVA, tedy menší než ve výše zmíněné úvaze. Pro výpočet energetické bilance byly zanedbány ztráty na přívodech i ztráty na troleji. Dále také neefektivita transformátorů a měničů. Výkonová rezerva jednotlivých součástí je dostatečná, aby tyto ztráty pokryla. V grafu je také vidět, že se odběr trolejí BS02 NMD01 překrývá. To je dáno intervalem a čekací dobou ve stanici (pro BS02) a startem vlaku v čase  $t=0s$  v opačném směru (pro MND01)

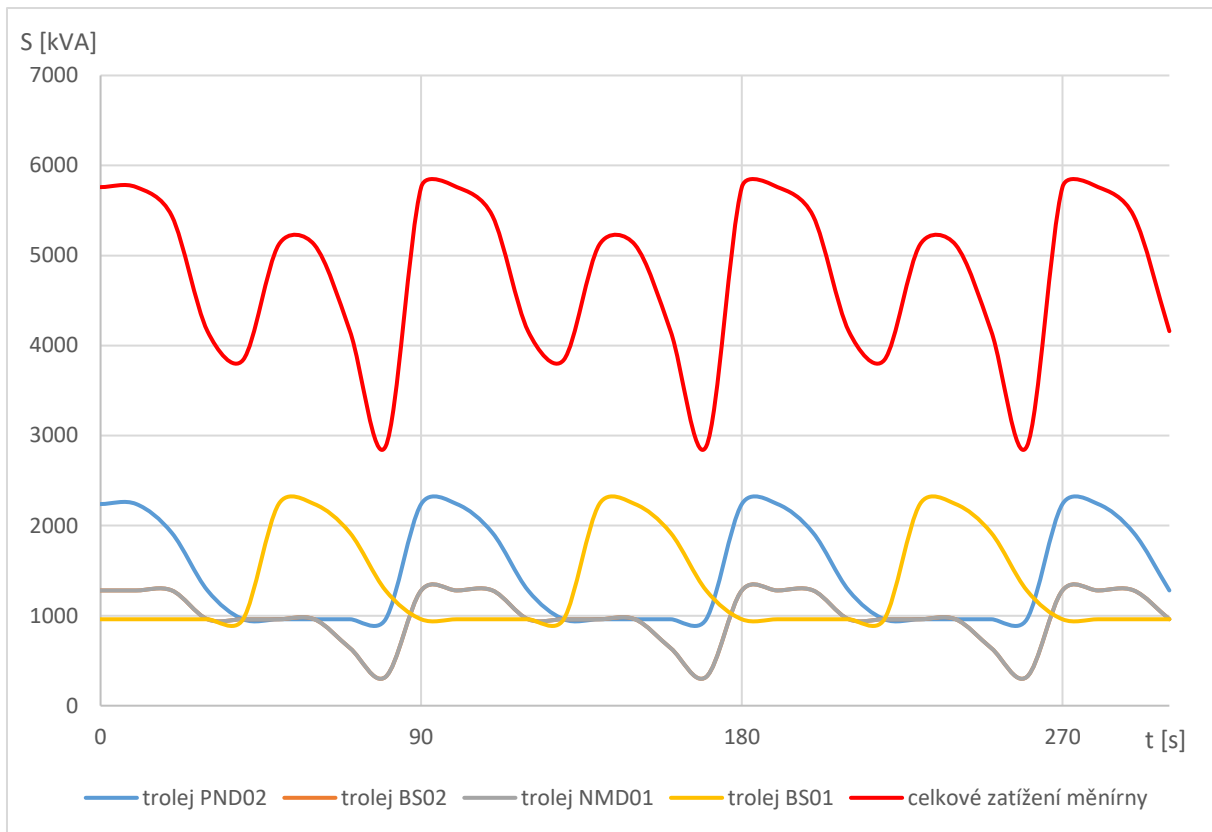


čas [s]	S (trolej PND02) [kVA]			S (trolej BS02) [kVA]		
	díličí odběry		součet	díličí odběry		součet
0	1280	960	2240	1280	0	1280
10	1280	960	2240	1280	0	1280
20	1280	640	1920	1280		1280
30	960	320	1280	960		960
40	960	0	960	960		960
50	960	0	960	960		960
60	960		960	960	0	960
70	960		960	640	0	640
80	960		960	320	0	320
90	960	1280	2240	0	1280	1280
100	960	1280	2240	0	1280	1280
110	640	1280	1920		1280	1280
120	320	960	1280		960	960
130	0	960	960		960	960
140	0	960	960		960	960
150		960	960	0	960	960
160		960	960	0	640	640
170		960	960	0	320	320
180	1280	960	2240	1280	0	1280
190	1280	960	2240	1280	0	1280
200	1280	640	1920	1280		1280
210	960	320	1280	960		960
220	960	0	960	960		960
230	960	0	960	960		960
240	960		960	960	0	960
250	960		960	640	0	640
260	960		960	320	0	320
270	960	1280	2240	0	1280	1280
280	960	1280	2240	0	1280	1280
290	640	1280	1920		1280	1280
300	320	960	1280		960	960

Tab. 3 Odběry vlaků v úseku Pankrác D – Náměstí Míru D

čas [s]	S (trolej NMD01) [kVA]			S (trolej BS01) [kVA]			
	díličí odběry		součet	díličí odběry		součet	
0	1280		1280	0	960		960
10	1280		1280	0	960		960
20	1280		1280		960		960
30	960		960		960		960
40	960		960		960		960
50	960		960		960	1280	2240
60	960		960		960	1280	2240
70	640		640		640	1280	1920
80	320		320		320	960	1280
90	0	1280	1280		0	960	960
100	0	1280	1280		0	960	960
110		1280	1280	0		960	960
120		960	960	0		960	960
130		960	960	0		960	960
140		960	960	1280		960	2240
150		960	960	1280		960	2240
160		640	640	1280		640	1920
170		320	320	960		320	1280
180	1280	0	1280	960		0	960
190	1280	0	1280	960		0	960
200	1280		1280	960	0		960
210	960		960	960	0		960
220	960		960	960	0		960
230	960		960	960	1280		2240
240	960		960	960	1280		2240
250	640		640	640	1280		1920
260	320		320	320	960		1280
270	0	1280	1280	0	960		960
280	0	1280	1280	0	960		960
290		1280	1280		960	0	960
300		960	960		960	0	960

Tab. 4 Odběry vlaků v úseku Náměstí Míru D – Pankrác D



Graf 3 Zatížení jednotlivých trolejí a měnírny

Z výše zmíněných tabulek a grafu jsem tedy určil, že maximální odběr bude 5760kVA. Pro určení výkonu trakčních transformátorů je důležité zmínit, že v případě výpadku jedné měnírny musí dvě sousední převzít její zatížení a to tak, aby došlo k minimálnímu omezení provozu. Maximální přípustné omezení se udává 40% [19]. Pokud tedy k takovému výpadku dojde, bude požadovaný výkon o 50% větší, než při standardním provozu (1).

$$S_{pož} = S_1 + 0,5 * S_2 = 5760 + 0,5 * 5760 = 8640 \text{ kVA} \quad (1)$$

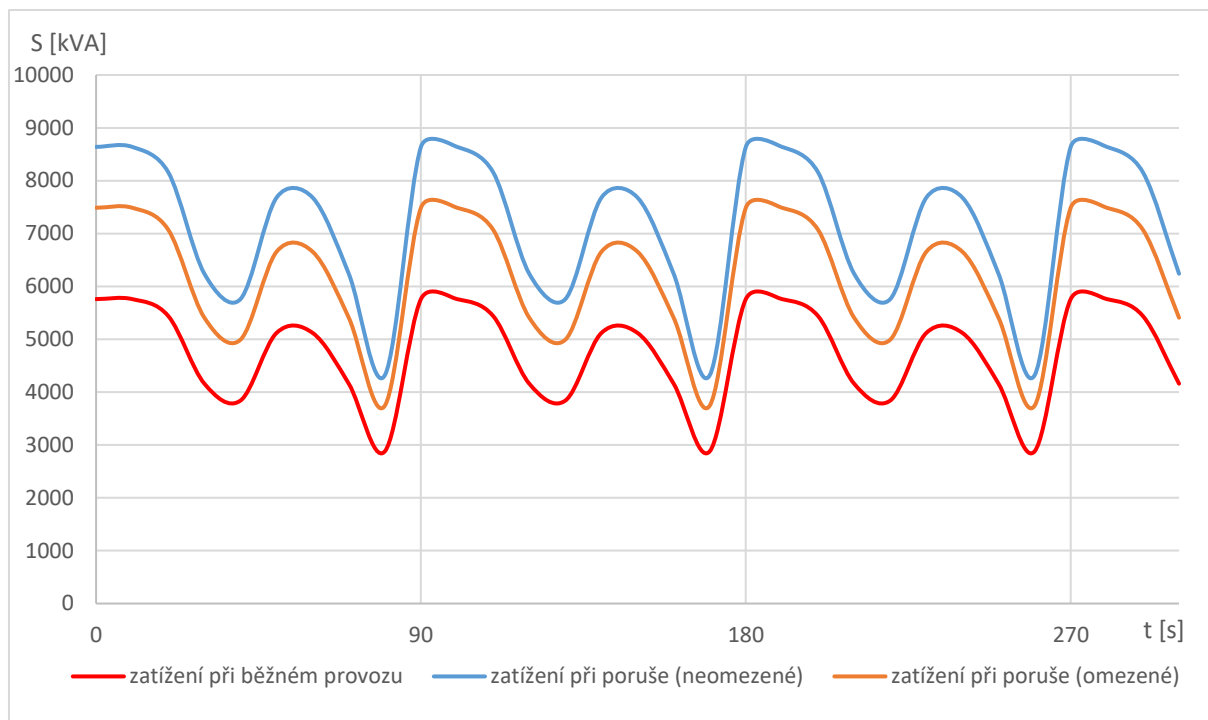
$S_1 = 5760\text{kVA}$  je výkon funkční měnírny,  $S_2 = 5760\text{kVA}$  je výkon sousední měnírny, ve které došlo k poruše.

Měnírna by tedy měla dodat do trakční napájecí soustavy o 2880kVA více než za běžného provozu. Pro splnění podmínky maximálního omezení provozu však stačí menší výkonová rezerva. Instalovaný výkon se pak určí pomocí vztahu (2). Výsledné zatížení měnírny je pak v grafu 4.

$$S_{inst} = S_1 + 0,5 * S_2 * (1 - k) = 5760 + 0,5 * 5760 * (1 - 0,4) = 7488 \text{ kVA} \quad (2)$$

$S_1 = 5760\text{kVA}$  je výkon funkční měnírny,  $S_2 = 5760\text{kVA}$  je výkon sousední měnírny, ve které došlo k poruše. Koeficient  $k = 0,4$  určuje, že maximální omezení provozu může být 40%

Instalovaný výkon měnírny by tedy měl být 7488kVA. Na základě této hodnoty navrhuji dvojici trakčních transformátorů, každý o výkonu 3750kVA. Transformátory budou suché v kapotovaném provedení.



Graf 4 Zatížení měničny při běžném provozu a při poruše sousední měničny

V energetické bilanci (tabulka 5) je shrnut jak odběr trakčních zařízení, tak odběr netrakčních zařízení v MDT ve stanici Náměstí Bratří Synků. Odběr netrakčních zařízení je popsán v následující kapitole a vychází z informací získaných při konzultaci se zaměstnanci DPP [7].

odběr	$P_{MAX}$ [kW]	$S_{MAX}$ [kVA]
<b>trakční zařízení</b>		
trolej PND02 maximální odběr	4480	4480
<b>z toho napájení z BS</b>	<b>2240</b>	<b>2240</b>
z toho napájení z PND	2240	2240
trolej BS02 maximální odběr	2560	2560
<b>z toho napájení z BS</b>	<b>1280</b>	<b>1280</b>
z toho napájení z NMD	1280	1280
trolej NMD01 maximální odběr	2560	2560
<b>z toho napájení z BS</b>	<b>1280</b>	<b>1280</b>
z toho napájení z NMD	1280	1280
trolej BS01 maximální odběr	4480	4480
<b>z toho napájení z BS</b>	<b>2240</b>	<b>2240</b>
z toho napájení z PND	2240	2240
trakční zařízení celkem	11520	11520
<b>z toho napájení z BS</b>	<b>5760</b>	<b>5760</b>
<b>netrakční zařízení</b>		
NN zařízení stanice	1340	1600
obchodní vybavenost	1440	1600
<b>celkový odběr</b>	<b>8540</b>	<b>8960</b>

Tab.5 Energetická bilance

## 4.2. Topologie napájení

Metro odebírá elektrickou energii z distribučních transformoven. Provozní úsek I.D bude napájen ze dvou transformoven Pražské energetiky. Budou to nová transformovna TR110/22kV Písnice, jejíž realizace se předpokládá na roky 2021 – 2022 a stávající transformovna TR110/22kV Pankrác, která byla navržena s dostatečnou rezervou právě z důvodu budoucí realizace trasy D [12]. Z těchto transformoven bude poté napájena VN část nejbližší měnirny a distribuční transformovny. Po zbytku trasy je elektrická energie rozvedena kabely instalovanými v tunelech metra. Zapojení smyčky 22kV je patrné z výkresů V01\_Blokové schéma a V02\_Přehledové schéma.

VN část MDT je rozdělena na sekce A a B. Obě sekce jsou stavebně odděleny (viz výkres V04\_Dispozice MDT). Každá sekce má sedm polí. Po jednom poli tvoří přívody již zmíněné 22kV smyčky, dále je zde pole měření, podélná spojka, která umožňuje v případě nutnosti propojení obou sekcí, v běžném provozu je ale trvale odepnuta. Další tři pole tvoří vývody pro transformátory trakce (TTRA, resp. TTRB), transformátory technologického vybavení stanice (TNNA, resp. TNNB) a pro transformátor obchodní vybavenosti (TOV). Kromě pole měření, které poskytuje informace o provozních stavech celého VN rozvaděče jsou měřeny i jednotlivé vývody. Jednak z důvodu detailnějších informací o jednotlivých odběrech, ale v případě podélné spojky dodává měření informace, zda je spojka pod napětím. Všechny vývody je možné vypnout VN vypínači s pohonem. Jmenovitý proud vypínačů je 630A, redukován na 500A. Tato hodnota vyplývá z rovnice (3). Zdánlivý výkon uvažovaný v rovnici (10700kVA) je instalovaný výkon napájených transformátorů. Toto řešení bylo zvoleno s ohledem na možnost přetížení měnirnské části v případě výpadku některé ze sousedních MDT.

$$I = \frac{S}{U} = \frac{10700 \text{ kVA}}{22 \text{ kV}} = 486,36 \text{ A} \quad (3)$$

$S = 10700\text{kVA}$  je instalovaný výkon MDT.  $U = 22\text{kV}$  je napětí v rozvodně VN.

Dvojice transformátorů trakční části jsou napájena z obou sekcí. Transformátor TTRA je napájen z pole 4, transformátor TTRB je napájen z pole 11. Jedná se o suché transformátory. Jmenovitý výkon transformátorů je s ohledem na energetickou bilanci a uvažovanou výkonovou rezervu zvolen 3750kVA. Oba transformátory jsou součástí soustavy usměrňovačů. Ne tedy po mechanické stránce. Jedná se o oddělená zařízení, nicméně převod transformátorů je volen podle usměrňovačů, které budou napájet. Výrobci usměrňovačů tedy nabízejí i možnost

dodání soustavy transformátor – usměrňovač. Sekundární napětí transformátorů je 1200V (viz rovnice (4)). Každý transformátor napájí jeden usměrňovač. Usměrňovače budou diodové, šestipulzní. V trakčních měnirných se jmenovité napětí stejnosměrné části uvádí o 10% větší, než je napětí trakční soustavy [13]. Výstupní napětí usměrňovačů  $U_{DC}$  tedy bude  $1650V_{DC}$ .

$$U_{DC} = U_{MAX} = \sqrt{2} * U_{ef} \rightarrow U_{ef} = \frac{U_{DC}}{\sqrt{2}} = \frac{1650}{\sqrt{2}} = 1166,73V \quad (4)$$

$U_{DC} = 1650V$  je výstupní napětí usměrňovačů.  $U_{MAX} = U_{DC} = 1650V$  je maximální hodnota amplitudy vstupního napětí,  $U_{ef}$  je efektivní hodnota vstupního napětí.

Kladné póly usměrňovačů jsou připojeny do společné přípojnice. Oba (USMA i USMB) pracují zároveň. Na přípojnici je pětice rychlovyvínačů Q201 – Q205, které tvoří rozvaděč RVYP. Rychlovyvínače pracující v redundanci 4+1. Redundantní je rychlovyvínač Q205. V případě poruchy nebo servisu některého z aktivních rychlovyvínačů se přes pomocnou přípojnicí a vyvínač (QM201 – QM204) připojí k danému napaječi. Napaječe pak přes odpojovače dodávají energii trolejím. Každý vývod z napaječového rozvaděče (RNAP) je osazen měřením. Odpojovače se nachází mimo prostor samotné měnirny. Jejich funkce je viditelné odpojení přívodu k troleji, aby bylo možné provádět opravy a údržbové práce v tunelech. Jako záporný pól fungují koleje, po kterých jezdí vlaky. Z nich vedou zpětné kabely do rozvaděče zpětných kabelů RZK, jehož přípojnice je připojena k záporným pólům usměrňovačů.

Netrakční zařízení nízkého napětí se dělí do dvou celků. Prvním je technologické vybavení stanice, mezi které patří eskalátory, výtahy, osvětlení, vzduchotechnika, čerpadla apod. Tato zařízení jsou napájena z distribučních transformátorů o jmenovitém výkonu 1600kVA [7]. Distribuční transformátory budou suché v kapotovaném provedení. Všechny spotřebiče jsou napájeny ze dvou stran. Během běžného provozu jsou spotřebiče napájeny z obou transformátorů, v případě poruchy jednoho z nich, je druhý schopen převzít plné zatížení. Důvodem pro dvojí napájení těchto spotřeb je, aby v případě poruchy jednoho z distribučních transformátorů nedošlo k ohrožení cestujících ve stanici. Transformátor obchodní vybavenosti o výkonu 1600kVA napájí spotřeby v obchodech ve vestibulech stanice [7]. Transformátor obchodní vybavenosti bude suchý v kapotovaném provedení. Důvodem pro instalaci zvláštního transformátoru pro obchodní vybavenost je to, aby v případě omezení dodávky elektrické energie bylo možné primárně vyřadit spotřeby, které nejsou pro provoz důležité. Zároveň není nutné mít redundantní přívod pro spotřeby obchodní vybavenosti.

Z výkresu V04\_Dispozice MDT je patrné, jak budou jednotlivá zařízení v prostoru MDT rozmístěna. Jak již bylo zmíněno, VN část je rozdělena do dvou sekcí, které jsou stavebně odděleny. Trakční zařízení se nachází ve vlastní místnosti, stejně jako zařízení NN. V poslední místnosti se nachází suché transformátory v kapotovaném provedení. Každá místnost z důvodu bezpečnosti a spolehlivosti provozu tvoří samostatný požární úsek [15].

Veškerá zařízení jsou umístěna tak, aby v jejich okolí byly dodrženy minimální předepsané odstupové vzdálenosti 800mm od NN rozvaděčů [14] a 1000mm od VN zařízení v zapouzdřeném a kapotovaném provedení [16]. Dále místnosti umožňují manipulaci se zařízeními v případě jejich výměny. Manipulační trasa pro objemná břemena je šířky 1200mm a vede přes místnost transformátorů, kde bude zřízena šachta pro vyzvednutí zařízení na povrch, stejně jako je tomu v současně provozovaných měnirnách [7]. Samotné transformátory jsou opatřeny kolečky pro jejich případné přemístění pod tuto šachtu. V případě potřeby (např. z důvodu zvýšení bezpečnosti) lze transformátory oddělit pletivovými kobkami.

### 4.3. Připojovací podmínky distributora

Distributor elektrické energie, kterým je Pražská energetika, a.s. resp. PREdistribuce, a.s. zpracoval v dokumentu Pravidla provozování distribučních soustav (viz příloha 1), ve kterém předepisuje, minimální požadavky pro připojení uživatelů a pro užívání distribuční soustavy. Z přílohy č. 6 těchto pravidel vyplývá, že v případě nadstandardních požadavků odběratele na bezpečnost připojení, bude na straně VN provedeno připojení odběru dvěma přípojkami.

Podkapitola 3.5.9 Pravidel provozování distribučních soustav dále předepisuje, že zařízení připojené do distribuční soustavy musí vyhovovat charakteristikám soustavy. Dále také zkratovým poměrům v místě odběru a vyhovovat požadavkům na spínání za provozu i při poruchách. Tyto podmínky návrh splňuje. Uzemnění musí vyhovovat jednak příslušným normám a jednak je definováno dohodou mezi provozovatelem distribuční soustavy a jejím uživatelem. Tato podmínka je splněna. Připojené zařízení dále nesmí nepříznivě ovlivňovat řízení napětí používané v distribuční soustavě. Regulace napětí v distribuční soustavě nebude připojením měření omezena. V souladu s platnými normami musí být odběrné zařízení vybaveno ochrannými. Systém chránění, vypínací časy a selektivitu je možné upravit na základě konzultace

s provozovatelem distribuční soustavy. Dále nesmí být použit omezovač zkratového proudu tekoucího do distribuční soustavy. Tato podmínka je splněna.

Kromě těchto pravidel splňuje návrh napájení měřírny i příslušné normy.



## 5. Závěr

Ve svém úvodu se práce zabývá stručným shrnutím historie, současnosti a dalšího rozvoje pražského metra. Dále je stručně osvětlena problematika automatických systémů metra a jsou uvedeny jejich příklady.

Podle předpokládaných odběrů a minimálního očekávaného provozního intervalu na trase D jsem určil maximální odběr trakční části měnirny a distribuční transformovny. V běžném provozu bude maximální odebíraný výkon trakční části 5760kVA. Aby bylo dosaženo požadované výkonové rezervy pro případný výpadek okolních měníren, zvolil jsem pro napájení trakčních zařízení dvojici transformátorů každý o výkonu 3750kVA. Instalovaný výkon trakční části je tedy 7500kVA.

Zařízení netrakční části NN jsem dále rozdělil na část technologií NN a část obchodní vybavenosti. Technologická zařízení stanice mají zdvojené napájení a každá větev je napájena z transformátoru o výkonu 1600kVA. Oba transformátory pracují současně a v případě poruchy jednoho z nich, převezme druhý transformátor plné zatížení. Nedojde tak k omezení provozu těchto spotřeb. Zařízení obchodní vybavenosti mají pouze jednu napájecí cestu a instalovaný výkon transformátoru obchodní vybavenosti je 1600kVA. S ohledem na zvolený zdánlivý výkon transformátorů jsem určil proudové poměry ve vysokonapěťovém přívodní bloku měnirny a distribuční transformovny.

Návrh topologie napájení vychází rovněž z požadavků na vysokou spolehlivost napájení a dále respektuje standardy nastavené v současném provozu stávajících linek metra. S ohledem na velmi vysoké odebírané výkony respektuje návrh současný stav distribuční soustavy a její budoucí rozvoj.

Dále jsem provedl návrh dispozičního řešení měnirny a distribuční transformovny s ohledem na uvažované technologie. Návrh dispozičního řešení respektuje bezpečnostní standardy tak, aby byla zajištěna maximální možná spolehlivost napájení a zároveň byla umožněna manipulace s rozměrnými zařízení v rámci jejich servisu, případně jejich oprav, resp. výměn.

Celý návrh měnirny a distribuční transformovny v uvažované stanici Náměstí Bratří Synků respektuje platné technické normy a další závazné předpisy jako jsou například Pravidla provozování distribučních soustav.

## Seznam zkratek

AP - Acces Point

ATC – Automatic Train Control

ATO – Automatic Train Operation

ATP – Automatic Train Protection

ATS - Automatic Train Supervision

BS - Náměstí Bratří Synků

CBTC – Communications-Based Train Control

DC - Direct Current - Stejnoseměrný proud

DPP - Dopravní podnik hlavního města Prahy

DTO - Driverless Train Operation

GoA – Grade of Automation

I/O - Input/Output

MDT - měnírna a distribuční transformovna

MSS - Maintenance Support System

MT - Mobile Terminal

NMD - Náměstí Míru D

NN - Nízké napětí

PIS - Passenger Information System

PND - Pankrác D

PSD - Platform Screen Door

RNAP - Napáječový rozvaděč

RZK - Rozvaděč zpětných kabelů

TTRA - Transformátor trakce A

TTRB - Transformátor trakce B

TNNA - Transformátor nízkého napětí A

TNNB - Transformátor nízkého napětí B

TOV - Transformátor obchodní vybavenosti

UTO – Unattended Train Operation

VN - Vysoké napětí

## Seznam použité literatury a zdrojů

- [1] <http://www.m40.cz/> - Stránky věnované 40. výročí provozu pražského metra
- [2] Fojtík, Pavel. (Nejen) čtvrtstoletí pražského metra. Dopravní podnik hlavního města Prahy, a.s. Praha, 1999
- [3] Fischer, Jan; Fischer, Ondřej. Pražské mosty. Academia. Praha 1985
- [4] [https://cs.wikipedia.org/wiki/Metro\\_v\\_Praze](https://cs.wikipedia.org/wiki/Metro_v_Praze) - Článek věnovaný pražskému metru
- [5] Růžička, Jiří; Kochánek, Miroslav; Dávid, Mároš; Višňák, Petr. Nová trasa metra I.D v Praze. Tunel 4/2015
- [6] Cigánek, Vladimír; Langmaierová, Věra; Růžička, Jiří. Aktuální koncepce trasy I.D pražského metra v dokumentaci pro územní rozhodnutí. Tunel 4/2011
- [7] Konzultace se zaměstnanci Dopravního podniku hlavního města Prahy, a.s. a návštěva MDT ve stanici Bořislavka
- [8] <http://metroautomation.org/> - Stránky Observatory of Automated Metros zabývající se kompletováním informací o automatických systémech metra ve světě
- [9] <http://www.railsystem.net> - Stránky věnované železnicím ve světě
- [10] <http://www.alstom.com/> - Stránky výrobce vlaků Alstom
- [11] <https://www.mobility.siemens.com/> - Stránky výrobce vlaků Siemens
- [12] Konzultace se zaměstnanci Pražské energetiky, a.s.
- [13] Doleček, Radovan; Černý, Ondřej. Trakční napájecí soustavy. Univerzita Pardubice. Pardubice 2015
- [14] Soubor norem ČSN 33 2000
- [15] Normy ČSN 73 0802, ČSN 73 0804, ČSN 73 0810, ČSN 73 0821 ed.2, ČSN 73 0822
- [16] Norma ČSN EN 61936 – 1 a normy navazující
- [17] Normy ČSN EN 50163, ČSN EN 327, ČSN EN 50388 ed. 2
- [18] Pravidla provozu distribučních soustav
- [19] <https://www.metroweb.cz/> - Stránky věnované pražskému metru
- [20] <http://www.dpp.cz/> - Stránky Dopravního podniku hlavního města Prahy
- [21] <http://departments.fsv.cvut.cz/k135/data/wp-upload/2009/12/tunelovaci-metody-rezim-kompatibility.pdf> - Prezentace ČVUT FSV Tunelovací metody

## Seznam výkresů a příloh

V01\_Blokové schéma, A3

V02\_Přehledové schéma, A3

V03\_Schéma trkace, 6xA4

V04\_Dispozice MDT, A4-1:50

Příloha č.1 – Pravidla provozu distribučních soustav

Příloha č.2 – Pravidla provozu distribučních soustav, příloha 6

Příloha č.3 – Datalist usměrňovače Sécheron

Příloha č.4 – Datalist pevné troleje ROCS

Příloha č.5 – Datalist vlaku Alstom Metropolis

Příloha č.6 – Datalist systému Alstom Urbalis

Příloha č.7 – Datalist vlaku Siemens Inspiro

Příloha č.8 – Datalist systému Siemens Trainguard MT