

Univerzita Pardubice

Dopravní fakulta Jana Pernera

Organizace provozu na trase C pražského metra při přechodu ze současného
systému na provoz automatizovaný

Diplomová práce

2024

Bc. Lukáš Zeisek

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: 2023/2024

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Lukáš Zeisek**
Osobní číslo: **D22475**
Studijní program: **N1041A040008 Technologie a management v dopravě**
Specializace: **Technologie a řízení dopravy**
Téma práce: **Organizace provozu na trase C pražského metra při přechodu ze současného systému na provoz automatizovaný**
Zadávací katedra: **Katedra technologie a řízení dopravy**

Zásady pro vypracování

Úvod

- Analýza současného stavu řízení provozu
- Prognóza budoucího stavu řízení provozu
- Návrh koordinace smíšeného provozu v průběhu přechodného období
- Vyhodnocení variant řízení smíšeného provozu

Závěr

Rozsah pracovní zprávy: **50-60**
Rozsah grafických prací: **5-6**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

dle pokynů vedoucí/ho práce

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Pavel Drdla, Ph.D.**
Katedra technologie a řízení dopravy

Datum zadání diplomové práce: **3. února 2024**
Termín odevzdání diplomové práce: **9. května 2024**

L.S.

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

doc. Ing. Jaromír Široký, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 2. února 2024

Prohlašuji:

Práci s názvem *Organizace provozu na trase C pražského metra při přechodu ze současného systému na provoz automatizovaný* jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

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

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 9.5.2024

Bc. Lukáš Zeisek v. r.

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych vyjádřil vděčnost vedoucímu mé diplomové práce, panu doc. Ing. Pavlu Drdlovi, Ph.D., za jeho cenné vedení, odborné směřování a podporu během celého procesu tvorby této práce. Dále bych chtěl upřímně poděkovat konzultantovi, panu Josefovi Jeníčkovi, vedoucímu jednotky Provoz Metro, za jeho velkorysé poskytování klíčových informací, materiálů a za jeho vynikající komunikaci a trpělivost. Mé díky patří rovněž dalším zaměstnancům Dopravního podniku hlavního města Prahy, kteří svým odborným přístupem a bezvýhradnou pomocí významně přispěli k dokončení mé diplomové práce.

ANOTACE

Diplomová práce se zaměřuje na problematiku organizace provozu na trase C pražského metra v přechodném období z konvenčního systému na plánovaný provoz automatizovaný. Cílem práce je navrhnout konkrétní postupy pro zajištění koordinace smíšeného provozu v tomto přechodném období.

KLÍČOVÁ SLOVA

CBTC, automatizace, řízení provozu, trasa C

TITLE

Organization of operation on line C of the Prague metro during the transition from the current system to automated operation

ANNOTATION

This master thesis focuses on the issue of the organization of operation on line C of the Prague metro during the transition period from the conventional system to the planned automated operation. The aim of the thesis is to propose specific procedures for ensuring the coordination of mixed traffic in this transition period.

KEYWORDS

CBTC, automation, traffic control, route C

Obsah

SEZNAM OBRÁZKŮ	4
SEZNAM TABULEK.....	5
SEZNAM ZKRATEK.....	6
ÚVOD.....	13
1 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU ŘÍZENÍ PROVOZU	14
1.1 Základní informace o metru a trase C.....	14
1.1.1 Dopravní situace.....	15
1.1.2 Vlakové soupravy.....	16
1.1.3 Depo Kačerov.....	17
1.2 Řízení provozu.....	18
1.2.1 Centrální řízení provozu	18
1.2.2 Staniční a traťové zabezpečovací zařízení	18
1.2.3 Vlakové zabezpečovací zařízení	19
1.3 Analýza přepravních proudů a vztahů	21
1.4 Identifikace nedostatků a shrnutí analýzy	22
2 PROGNOZA BUDOUCÍHO STAVU ŘÍZENÍ PROVOZU	24
2.1 Systém CBTC	24
2.2 Výměna vlakových souprav	27
2.3 Změna staničních a traťových zabezpečovacích zařízení	28
2.4 Bezpečnostní nástupištní stěny	29
2.5 Změna v obsazení personálu	29
2.6 Pracovní zóny	30
3 NÁVRH KOORDINACE SMÍŠENÉHO PROVOZU V PRŮBĚHU PŘECHODNÉHO OBDOBÍ.....	32
3.1 První varianta – etapově-segregované řízení s důrazem na nepřetržitost provozu...32	

3.1.1 První etapa – iniciální zahájení provozu systémem CBTC na úzce vymezeném úseku trasy	32
3.1.2 Druhá etapa – rozšíření řízení podle CBTC.....	40
3.1.3 Třetí etapa – rozšíření o úsek Florenc – Kačerov.....	43
3.1.4 Čtvrtá etapa – uvedení celé trasy C do provozu dle CBTC	44
3.1.5 Shrnutí první varianty	45
3.2 Druhá varianta – etapově-uzavírkový provoz a organizace náhradní dopravy	46
3.2.1 První etapa (Pražského povstání – Kačerov)	46
3.2.2 Druhá etapa (Roztyly – Háje).....	51
3.2.3 Třetí etapa (Vyšehrad – Hlavní nádraží).....	56
3.2.4 Čtvrtá etapa (Florenc – Nádraží Holešovice).....	61
3.2.5 Pátá etapa (Kobylisy – Letňany)	64
3.2.6 Shrnutí druhé varianty	66
4 VYHODNOCENÍ VARIANT ŘÍZENÍ SMÍŠENÉHO PROVOZU	68
ZÁVĚR.....	72
SEZNAM POUŽITÝCH INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	73
SEZNAM PŘÍLOH.....	75

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Detailní schéma trasy C.....	14
Obrázek 2 Vlaková souprava typu M1 umístěná v Depu Kačerov.....	16
Obrázek 3 Zhlaví depa Kačerov, pohled z ústředního stavědla.....	17
Obrázek 4 Pult reléového SZZ ve stanici Florenc (vlevo) a v Depu Kačerov (vpravo)	19
Obrázek 5 Princip pevného a pohyblivého bloku	25
Obrázek 6 Schéma potenciálních autonomních vlakových souprav.....	28
Obrázek 7 Schématický návrh dopravního dispečerského sálu pro automatizovanou trasu C 30	
Obrázek 8 Schématický plán stanice Ládví včetně znázorněného obratu.....	35
Obrázek 9 Možné řešení obratu vlakových souprav ve stanici Ládví v průběhu první etapy..	37
Obrázek 10 Rozdělení provozních úseků v rámci druhé etapy	40
Obrázek 11 Princip obrátů ve stanici FR v rámci druhé etapy první varianty.....	41
Obrázek 12 Rozdělení provozních úseků v rámci třetí etapy	44
Obrázek 13 Schématické znázornění uzavřeného úseku Pražského povstání – Kačerov	47
Obrázek 14 Trasa NAD v průběhu první etapy (pro oba směry).....	48
Obrázek 15 Schématické znázornění uzavřeného úseku Roztyly – Háje.....	52
Obrázek 16 Trasa NAD v průběhu druhé etapy (pro oba směry)	54
Obrázek 17 Schématické znázornění částečně uzavřeného úseku Vyšehrad – Hlavní nádraží	57
Obrázek 18 Trasa NPD v průběhu třetí etapy (pro oba směry)	60
Obrázek 19 Schématické znázornění uzavřeného úseku Florenc – Kobylisy	61
Obrázek 20 Trasa NAD v průběhu čtvrté etapy (pro oba směry)	63
Obrázek 21 Schématické znázornění uzavřeného úseku Kobylisy – Letňany	64
Obrázek 22 Trasa NAD v průběhu páté etapy (pro oba směry)	65

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Stavební úseky trasy C pražského metra.....	15
Tabulka 2 Základní charakteristiky druhé etapy první varianty	42
Tabulka 3 Základní charakteristiky třetí etapy první varianty.....	44
Tabulka 4 Základní charakteristiky čtvrté etapy první varianty	45
Tabulka 5 Etapizace uzavírek jednotlivých úseků trasy C v rámci druhé varianty	46
Tabulka 6 Možné řešení JŘ NAD v úseku VY – RO ve špičkovém provozu.....	51
Tabulka 7 Časový harmonogram odjezdů a příjezdů v pásmovém provozu Kačerov – Pražského povstání – Pankrác	53
Tabulka 8 Možné řešení JŘ NAD v úseku Kačerov – Háje ve špičkovém provozu.....	55
Tabulka 9 Možné řešení JŘ NAD v úseku Pražského povstání – Florenc ve špičkovém provozu	59
Tabulka 10 Možné řešení JŘ NAD na úseku Florenc – Kobylisy ve špičkovém provozu	62
Tabulka 11 Možné řešení JŘ NAD na úseku Nádraží Holešovice – Letňany ve špičkovém provozu	66
Tabulka 12 Shrnutí etap druhé varianty	67
Tabulka 13 SWOT matice obou variant.....	68
Tabulka 14 Provozně-ekonomické zhodnocení NAD druhé návrhové varianty	69

SEZNAM ZKRATEK

ATO	Automatic train operation, automatický provoz vlaku
ATP	Automatic train protection, automatická ochrana vlaku
ATS	Automatic train supervision, automatický dohled nad vlakem
CBTC	Communications-based train control, řízení vlaku na základě komunikace
CD	Centrální dispečink Dopravního podniku hlavního města Prahy
DPP	Dopravní podnik hl. města Prahy, a.s.
ESA	Elektronické stavědlo typu ESA 11M
ETCS	European Train Control System, evropský vlakový zabezpečovač
GoA	Grade of Automation, stupeň automatizace
GVD	grafikon vlakové dopravy
IAD	individuální automobilová doprava
NAD	náhradní autobusová doprava
NPD	náhradní povrchová doprava
PK	pozemní komunikace
RAV	režim automatického vedení vlaku zabezpečovače PA-135
RTB	režim tlačítek bdělosti
RVZ	režim vlakového zabezpečovače PA-135
SPT	samostatný provozní technik
SSZ	staniční zabezpečovací zařízení
VD	vlakový dispečer
VHD	veřejná hromadná doprava
VZ	vlakový zabezpečovač
XC	označení linky náhradní autobusové dopravy
ZZ	zabezpečovací zařízení

Zkratky stanic metra

LT	Letňany
PR	Prosek
ST	Střížkov
LA	Ládví
KB	Kobylisy
NH	Nádraží Holešovice
VL	Vltavská

FR	Florenc
HN	Hlavní nádraží
MU	Muzeum
IP	I. P. Pavlova
VY	Vyšehrad
PP	Pražského povstání
PN	Pankrác
BD	Budějovická
KC	Kačerov
RO	Roztyly
CH	Chodov
OP	Opatov
HA	Háje

ÚVOD

Současná doba je charakterizována neustálým vývojem a snahou automatizovat široké škály procesů. Tento fakt samozřejmě platí i o dopravním odvětví. Automatizace je pak obzvláště efektivní u systémů městské hromadné dopravy, zejména v rámci systémů metra. Autonomní provoz je již zajištěn v desítkách metropolích po celém světě. Výhody pramenící z této formy organizace řízení provozu jsou nesporné. Mezi ty může patřit například snížená chybovost, zvýšená bezpečnost či vyšší frekvence spojů. Většinou jsou příslušné trasy metra od začátku vybudovány již s prvky zajišťujícími autonomní provoz vlakových souprav. Někdy je avšak nutné upravit původní, ale pořád velmi důležité linky, které jsou provozovány konvenčně dle běžných signalizačních pravidel a se strojvedoucími. Transformace právě těchto linek bez výraznějšího omezení provozu pak představuje velkou výzvu. Tato výzva se týká i již existující trasy C pražského metra, která je tou nejvýznamnější a nejvytíženější z celého pražského systému. Zároveň tato výstavba bude sloužit jako vzorový model pro budoucí, kompletně novou a v současnosti velmi skloňovanou, trasu D.

Cílem této diplomové práce je vypracovat návrhy, které poskytnou řešení pro organizaci provozu pražského metra na trase C během dlouhodobého přechodného období, ve kterém budou současně v provozu jak stávající, tak i nové vlakové soupravy. Tento projekt zahrnuje rozsáhlé technické, technologické a stavební změny po celé trase, a proto je klíčové vytvořit podrobný a prakticky realizovatelný plán, který umožní efektivní a úspěšnou realizaci těchto úprav.

1 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU ŘÍZENÍ PROVOZU

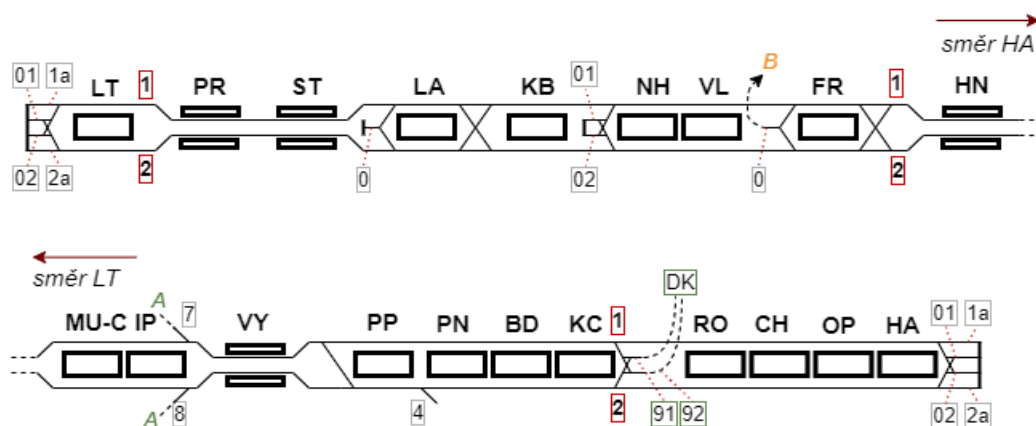
Úvodní kapitola této diplomové práce se zaměřuje na základní charakteristiku pražského metra s detailnějším zaměřením na trasu C, přičemž hlavní úlohou této kapitoly je analýza současného stavu řízení provozu, užívaných technologií, základní technické základy a další stěžejních aspektů spojených se základní premisou této práce.

1.1 Základní informace o metru a trase C

Pražské metro, jediný systém tohoto druhu nacházející se na území České republiky, je základní složkou městské hromadné dopravy hlavního města. Dle zákona č. 266/1994 Sb., o dráhách, v platném znění, konkrétně § 3, je metro kategorizováno a definováno jako speciální typ železniční dopravy. Hlavním účelem je zabezpečení dopravní obslužnosti na území obce (1).

V rámci tohoto komplexního systému je v současnosti organizován obousměrný provoz na 3 trasách – A, B a C. Celková síť pražského metra zahrnuje 57 stanic, z nichž 3 hrají klíčovou roli jako přestupní uzly mezi jednotlivými trasami. Provozovatelem metra je Dopravní podnik hlavního města Prahy, a.s.

Trasa C má celkem 20 stanic a její funkce spočívá zejména v propojení severu a jihu města přes samotné centrum. Jedním z charakteristických rysů trasy C pražského metra je její červené značení, které ji výrazně odlišuje od ostatních linek a usnadňuje její identifikaci. Pro přestup na další trasy metra jsou klíčové stanice Muzeum (MU), která umožňuje přestup na linku B, a stanice Florenc (FR), kde je možný přestup na linku A. Tyto stanice slouží jako důležité uzly v síti pražského metra. Na obrázku 1 je uvedeno detailnější schéma trasy C se všemi příslušnými stanicemi, včetně kolejí.



Zdroj: autor dle (2)

Obrázek 1 Detailní schéma trasy C

Z historického hlediska se jedná o nejstarší trasu pražského metra, která byla uvedena do provozu roku 1974, avšak pouze v úseku Florenc (FR) – Kačerov (KC). Trasa pak byla postupně rozšiřovaná o další úseky (celkem 5) do současné podoby. V tabulce 1 jsou uvedeny všechny stavební úseky trasy C (3).

Tabulka 1 Stavební úseky trasy C pražského metra

Označení úseku	Úsek	Zahájení provozu	Provozní délka [km]	Počet stanic
I.C	Florenc – Kačerov	09.05.1974	6,6	9
II.C	Kačerov – Háje	07.11.1980	5,3	4
III.C	Florenc – Nádraží Holešovice	07.11.1984	2,2	2
IV.C1	Nádraží Holešovice – Ládví	25.06.2004	4	2
IV.C2	Ládví – Letňany	08.05.2008	4,6	3

Zdroj: autor dle (3)

Jedná se o nejvytíženější trasu s nejintenzivnějšími proudy cestujících v mezistaničních úsecích. Stanice s největší kumulací cestujících z celé sítě metra je I. P. Pavlova (IP), která je lokalizována v samotném centru města. Ve spojitosti se zmíněnou intenzitou přepravních proudů disponuje tato trasa největší přepravní kapacitou s nejmenším špičkovým intervalem mezi jednotlivými spoji.

I přesto bývá často ve špičce na hraně své přepravní kapacity. Detailnější náhled do dopravní situace a vztahů na trase C se nachází v následující podkapitole 1.1.1.

1.1.1 Dopravní situace

V období ranní i odpolední špičky je v provozu až 39 souprav při minimálním intervalu mezi jednotlivými spoji o velikosti 115 s (4). Pro porovnání – na trase A je aplikován špičkový interval o velikosti cca 180 s, na trase B cca 150 s (5, 6).

I přesto, že je na trase C interval nejmenší, je žádoucí tuto hodnotu dále zmenšovat. Současná technicko-technologická základna to avšak již dále nedovoluje. Další slabou stránkou může být také například nerovnoměrnost vytížení. Pražské metro, vystavěné ve stylu sovětských podzemních drah, bylo původně navrženo s radiálními trasami, které vedly do centra města. Postupně se však tyto trasy „přetvořily“ do diametrálního uspořádání, což znamená, že nyní spojují okrajové oblasti města přes centrum s jinými okrajovými oblastmi. Avšak tato změna vyvolala situaci, kdy přepravní proudy v centru a směrem do centra jsou velmi intenzivní, a naopak velmi malé směrem od centra. Tento problém byla snaha vyřešit např. zavedením pásmového provozu v úseku Ládví (LA) – Letňany (LT), kdy každý druhý spoj končil už právě ve stanici LA. Jelikož ale tento krok způsobil jiný nežádoucí jev v podobě

nerovnoměrného obsazení vlaků již od centra města (cestující, kteří měli zájem pokračovat dále ze stanice LA si radši rovnou počkali na příslušný spoj místo toho, aby přestoupili, čímž došlo k ještě větší kumulaci cestujících v již velmi frekventovaných centrálních stanicích), tak se od tohoto řešení upustilo (7).

V příloze A jsou zaznamenány vybrané počty cestujících ve všech stanicích na trase C. Vybrané statistiky ze dne 15.11.2023 reprezentují aktuální informace o pohybu cestujících v jednotlivých stanicích pražského metra k datu vypracování této práce. Hodnoty reprezentují celkový počet nástupů a výstupů cestujících. Ty jsou automaticky registrovány počítadly umístěnými ve vestibulech stanic, přičemž některé stanice mají dva oddělené. Pro srovnání byla zvolena sada dat ze dne 11.11.2015, kdy proběhl poslední komplexní přepravní průzkum pražského metra. Účelově byly vybrány stejné dny (středa). V současné době nejsou plánovány žádné nové komplexní přepravní průzkumy (8).

V kapitole 1.3 je provedena detailní analýza tohoto výkazu, která dále slouží jako podklad pro vyhotovení návrhové části této práce.

1.1.2 Vlakové soupravy

Na jediné trase C jsou v současné době provozované vlakové soupravy typu M1. Tyto soupravy se skládají z 5 vozů, které jsou neoddělitelné. Všechny z těchto vozů jsou hnací, ale řídicí stanoviště mají pouze ty krajní.



Zdroj: autor

Obrázek 2 Vlaková souprava typu M1 umístěná v Depu Kačerov

Na obrázku 2 lze vidět soupravu M1 umístěnou v remizovací hale Depa Kačerov. Obrázek zachycuje pohled na čelní řídicí stanoviště soupravy.

Soupravy M1 se skládají ze:

- dvou čelních vozů „M1.1“ se stanovištěm,
- dvou vozů „M1.2“ s kompresorem,
- a jednoho prostředního vozu „M1.3“ vybaveným centrálním řídicím počítačem.

Hlavní předností těchto vozů je zejména interoperabilita s vlakovým zabezpečovacím zařízením PA-135, která dovoluje řídit tyto vlakové soupravy ve vícero jízdních režimech (9).

Tyto režimy, včetně samotného zařízení, jsou charakterizovány v kapitole 1.2.3.

1.1.3 Depo Kačerov

Depo Kačerov (dále jen DK) je jedno ze tří dep pražského metra, které slouží k vypravování a údržbě vozů souprav M1 provozovaných na trase C. Je umístěno v městské části Praha 4 a je propojeno vlečkou se železniční stanicí Praha-Krč. DK je dále vybaveno zkušební tratí o celkové délce 1 417 m. S tratí trasy C je propojeno kolejemi č. 91 a 92 za stanicí KC (ve směru HA). Depo je složeno celkem ze 4 hal o celkové výměře 30 725 m². Deponovací kapacita je 185 vozů, celkem je v halách 22 kolejí (10).

Obrázek 3 představuje vizuální reprezentaci pohledu na zhlaví a čelní stranu depa, včetně vjíždějící soupravy M1, z perspektivy ústředního stavědla.



Zdroj: autor

Obrázek 3 Zhlaví depa Kačerov, pohled z ústředního stavědla

Provoz na zhlaví DK je řízen z budovy ústředního stavědla umístěného v areálu. Je vybaveno reléovým zabezpečovacím zařízením typu AŽD 71, které je upraveno pro provoz metra. (10) Podrobnější informace jsou v kapitole 1.2.2.

1.2 Řízení provozu

Tato část práce poskytuje přehlednou charakteristiku současného stavu řízení provozu na lince C pražského metra a detailně rozebírá klíčové aspekty konvenčního systému v jednotlivých částech této podkapitoly.

1.2.1 Centrální řízení provozu

Centrální dispečink Dopravního podniku hlavního města Prahy (dále jen CD) se nachází v Praze na adrese Na Bojišti 1451. Funguje jako klíčové řídicí centrum nejen pro provoz pražského metra, ale rovněž pro řízení autobusů a tramvají. Vzhledem ke změnám v personálním obsazení, které budou dále popsány, je nezbytné nejprve podrobněji zmínit fungování dispečinku v jeho aktuální podobě.

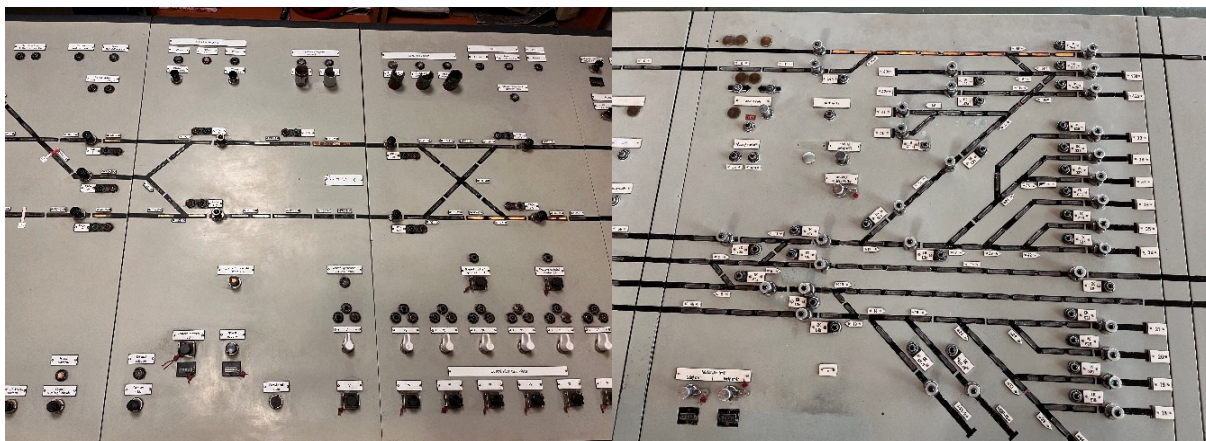
Hlavní sál vlakového dispečinku tvoří tři vlakoví dispečeré, přičemž každý z nich je zodpovědný za konkrétní trasu. Dále se zde nachází řídicí dispečer (vedoucí směny), jehož role spočívá v dohledu a kontrole činnosti ostatních dispečerů.

Rozsah činností VD je komplexní. Má na starost běžné provozní činnosti (jako např. řešení odchylky od GVD) i komplexní a mimořádné úkony. Zavádí neplánované výlukové řešení, spolupracují a koordinují činnost s ostatními dispečinky, pracovníky metra či IZS. Dohlíží nad činnostmi v průběhu nočních výluk atd. Bez souhlasu VD je zakázáno zahájit jakoukoliv činnost, která má omezující či dokonce ohrožující charakter. Příkazy VD se musí všichni ostatní pracovníci řídit. Mezi významné mimořádné situace, které musí VD řešit, patří např. neschopnost jízdy vlaku, neschopnost strojvedoucího řídit vlak, ztráta kontroly nad ovládním dveří vlaku, nucené omezení rychlosti jízdy a mnoho dalších (11).

1.2.2 Staniční a trat'ové zabezpečovací zařízení

Staniční zabezpečovací zařízení (dále jen SZZ) je v současné době nezbytnou součástí řízení provozu pražského metra. V kontextu trasy C jsou využívány dva základní typy – reléové a elektronické SZZ. První zařízení je lety prověřené a velmi spolehlivé, ale už velmi zastaralé. Je využíváno ve stanicích HA, KC, PP, IP a FR, včetně DK. Skládá se z vnějších prvků jako jsou např. světelná návěstidla, přestavníky a vnitřních jako je např. ovládací pult, lokalizovaný na stavědlech umístěných u příslušných stanic (12).

Na obrázku 4 lze vidět podobu tohoto SZZ na příkladu ze stanice FR (vlevo) a DK (vpravo).



Zdroj: autor

Obrázek 4 Pult reléového SZZ ve stanici Florenc (vlevo) a v Depu Kačerov (vpravo)

Na druhou stranu, modernější elektronické ZZ nahrazuje reléové obvody a veškeré funkce jsou prováděny počítačem. Slouží pro využití ve stanicích metra s kolejovým rozvětvením. Elektronické stavědlo typu ESA 11M (dále jen ESA) od společnosti AŽD představuje specifický typ zabezpečovacího zařízení používaného v pražském metru, konkrétně ve stanicích NH, LA a LT. Tento systém je navržen pro řízení a zabezpečení kolejového provozu. Výhodou je, že tento systém může být ovládán z jednotného ovládacího pracoviště (JOP) (12).

Jeho vylepšená verze, ESA 11M+, nabízí rozšířené funkce s větší kapacitou ovládání výhybek – zatímco standardní ESA 11M může ovládat přibližně 20 výhybkových jednotek, model 11M+ jich může ovládat až 50 (13). Tato zvýšená kapacita činí ESA 11M+ vhodnějším pro použití v depech, což je potvrzeno jeho nasazením v Depu Hostivař na trase A (12).

Situace s traťovým ZZ je poměrně jednoduchá, jelikož bývá opět využíváno i pro tyto účely reléové ZZ typu AŽD 71 pro mezistaniční úseky s kolejovým rozvětvením (12).

1.2.3 Vlakové zabezpečovací zařízení

Vlakové zabezpečovací zařízení, častěji označováno zkráceně jako vlakový zabezpečovač (dále jen VZ), je mechanismus, který se přímo podílí na jízdě a zajištění bezpečnosti vlaku. Zároveň se jedná o nejvariabilnější prvek z celé zabezpečovací a řídicí soustavy pražského metra, jelikož je v současné době na každé trase využíváno jiné. Na trase A je nasazen liniový VZ s automatickým vedením vlaku LZA, který je tvořen dvěma stěžejními subsystemy – SOP-2P pro zabezpečení bezpečného provozu vlaku (ATP) a ACMM3, které má

funkci automatického vedení vlaku (ATO) (14). Více o významu těchto subsystémů a jejich funkci je v kapitole 2.1.

Na trase B je bezpečný a plynulý provoz zajištěn VZ LZA společně liniovým VZ s automatickou regulací rychlostí – ARS. ARS je již starý VZ sovětského původu, který nenabízí funkci ATO a má být zcela nahrazen (14).

Pro potřeby této práce je nejvíce charakterizován VZ typu PA-135, označovaný taktéž slangově jako „Matra“ po stejnojmenném francouzském výrobcí. Podobně jako VZ LZA, i PA-135 disponuje dvěma rozdílnými subsystémy – ATP a ATO. Fyzicky se dá rozdělit na tři části:

- stacionární část – konkrétně staniční skříně umístěné ve všech stanicích, které zpracovávají informace o stavu návěstidel, kolejových obvodů, výhybek atd.,
- programový pás – lze teoreticky považovat za stacionární část systému, ale na rozdíl od staničních skříní se tento pás nachází přímo v kolejišti, přenáší signály z trati do mobilní části VZ,
- mobilní část – přijímá a dešifruje signály pocházející z programového pásu a na základě toho zajišťuje bezpečnou jízdu vlaku (15).

Hlavními funkcemi, které tento VZ nabízí, jsou režimy řízení vlaku, které jsou strojvedoucím přepínatelné. Jedná se o následující:

- režim automatického vedení (RAV) – v současné době nejvyšší dosažitelný stupeň automatizace, který VZ nabízí, odpovídá stupni GoA2 (podrobněji uvedeno v kapitole 2.1.1); strojvedoucí má na starost pouze ovládání dveří, pokyn k odjezdu vlaku a spuštění vlakového rozhlasu pro cestující,
- režim vlakového zabezpečovače (RVZ) – VZ odpovídá pouze za operace spojené pouze se zabezpečením jízdy vlaku (ATP); strojvedoucí řídí samotnou jízdu včetně všech činností, které má na starost i při zapnutém režimu RAV; hlavní funkcí VZ v tomto režimu je zejména dohled nad rychlostní vzhledem k zábrzdě vzdálenosti do stanice (dodržení brzdových křivek),
- režim tlačítek bdělosti (RTB) – strojvedoucí řídí vlak prostřednictvím tlačítek bdělosti a max. rychlost vlaku je VZ pevně omezena na $30 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$,
- VZ kompletně vypnut – žádná asistence či omezení ze strany VZ (15).

Existují avšak jistá omezení, která jsou spojená zejména s režimy RAV a RVZ. Jízda pod těmito režimy je podmíněna tzv. aktivačními zónami/úseky, které jsou předem determinované. Mimo tyto úseky to není možné. Tyto úseky zpravidla začínají tam, odkud se vlaky rozjíždějí (odjezdová hrana nástupiště, odstavné koleje, obrátové koleje atd.). Vlak musí

být v klidu a nacházet se na tzv. aktivační smyčce, aby bylo možné přepnout na jeden z těchto režimů (15).

1.3 Analýza přepravních proudů a vztahů

Ve statistice obsahující počet obrátů cestujících v jednotlivých stanicích, která je prezentována v příloze A, bylo zjištěno, že současný počet cestujících ve stanicích je výrazně nižší ve srovnání s hodnotami, které byly zaznamenány v roce 2015. Další podstatný důvod pro komparaci s daty z průzkumu provedeného v roce 2015 spočívá v tom, že tento průzkum zahrnoval rozsáhlou analýzu a modelování poptávky v rámci systému pražského metra. Byl využit detailní přístup založený na metodě sčítacích lístků, který poskytl podrobné informace o přepravní zátěži v mezistaničních úsecích. Tato metodologie umožnila získat přesné a obsáhlé údaje o pohybu cestujících a rozložení přepravních proudů.

Výsledky z této tabulky jsou dále využívány jako podpůrné vstupní informace pro organizaci náhradní autobusové dopravy (dále jen NAD) v druhé variantě návrhové části této práce. I přesto, že se změny v počtu cestujících v jednotlivých stanicích v některých případech liší o desítky procentních bodů, lze obě sady dat porovnat a najít v nich souvislosti. K jejímu nalezení byl použit Pearsonův korelační koeficient, který zachycuje míru lineární korelace mezi dvěma množinami proměnných.

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}} = 0,96 \quad [1]$$

kde:

R...míra lineární korelace

X...hodnoty n -měření č.1

Y...hodnoty n -měření č. 2

$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$...aritmetický průměr prvních měření

$\bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i$...aritmetický průměr druhých měření

Po dosazení hodnot z přílohy A do vztahu [1] lze dospět k výsledku $R = 0,96$, což implikuje velmi vysokou korelaci mezi výsledky z obou termínů měření.

I když určení proudů cestujících v rámci modelování přepravní poptávky vyžaduje využití jedné z vhodných metod (např. již zmíněnou metodu sčítacích lístků), lze předpokládat, že pokud je mezi počty cestujících ve stanicích v obou měřeních pozorována silná korelace, může to naznačovat, že se vzorce pohybu cestujících v síti metra udržely relativně stejné.

Přestože byl zaznamenán pokles v absolutních počtech cestujících mezi oběma měřeními, tak výsledek korelace dokazuje, že proporcionalita vytíženosti jednotlivých stanic zůstala zachována. To znamená, že i v kontextu snížené celkové poptávky po přepravě metrem se relativní využití stanic významně nezměnilo.

1.4 Identifikace nedostatků a shrnutí analýzy

Termín "nedostatek" v rámci této práce může být definován jako ověřitelný a omezující faktor, který negativně ovlivňuje provozní schopnosti. Alternativně může také signalizovat absenci určitých funkcionalit, jež by měl automatizovaný systém poskytovat. Mnoho nedostatků spolu přímo souvisí a vzájemně se ovlivňují.

Prvním a velmi zásadním prvkem, který signifikantně limituje provozní potenciál provozu na trase C, je VZ. Zabezpečovač PA-135 prokazatelně představuje slabé místo v celém tomto provozním řetězci. Není možné mu na dálku upravit jízdní program. Tzv. „mapa tratě“, včetně rychlostních křivek, je pevně nahraná v systému a pokud je potřeba v krátkodobém horizontu na konkrétním úseku upravit jízdní rychlost, tak je nezbytné předtím přepnout VZ z režimu RAV do režimu RVZ. Tomu předchází umístění dočasných návěstidel a informování strojvedoucích o této změně. Jízda v režimu RAV pak přináší další riziko v podobě možného nedodržení brzdných křivek nad rámec povolené odchylky a následnou aktivaci nouzové brzdy. PA-135 je dále nepraktická z hlediska nekompatibility s okolními trasami, jelikož VZ LZA není slučitelný se soupravami M1 a naopak – není možné využít jiné soupravy na trase C. Nezbytnost demontáže programového pásu PA-135 při větším zásahu do železničního svršku pak dále podtrhuje nepraktičnost a předimenzovanost využití prostoru v kolejišti (20).

Jiným omezujícím faktorem v kontextu zabezpečení jízdy vlaku je koncept stacionárních traťových oddílů. Tento koncept je opakem v kontrastu s pohyblivými oddíly, které jsou definujícím prvkem automatizovaného provozu. Oba principy jsou detailně popsány v kapitole 2.1.

Zmíněna nehomogenost SSZ na trase C je dalším negativním jevem. Více o této problematice je zmíněno v kapitole 2.3.

Dalším současným nedostatkem ve vztahu k budoucí podobě trasy C může být např. četnost neoprávněných vstupů a pádů osob do kolejí ve stanicích, která dosáhla v roce 2022 na hodnotu 184 případů. Zejména pak neukázněnost a vandalismus osob vyskytujících se ve stanicích tvoří významnou část této statistiky (16). Dále je důležité zdůraznit, že tento počet případů představuje významný nárůst oproti předchozím letům a není zaručeno, že tato negativní tendence se nebude dále zvyšovat.

Identifikované nedostatky v provozu trasy C pražského metra nejsou vnímány pouze jako překážky, nýbrž také jako argumenty podporující automatizaci, která směřuje k dosažení zamýšleného stavu. Pro návrhovou fázi práce je klíčové souhrnně představit zjištění, jež budou fundamentální pro koordinaci a management hybridního provozu. Pochopení aktuálního stavu řízení dopravy je zásadní pro navrhování vhodných přestupních vazeb a pro zachování vysoké míry mobility a komfortu cestujících.

Omezujícím faktorem, který je nezbytné brát v potaz, je samotné kolejové řešení tratě (viz obrázek 1). V běžném provozu to sice nemusí být považováno za limitující faktor, ale pro potřeby dlouhodobého souvislého výlukového provozu se jedná o konstantu, kterou je nezbytné respektovat. Zejména pak kolejové spojky a manipulační koleje budou klíčové pro stavbu alternativních výlukových vlakových cest.

Výsledek analýzy přepravních proudů a vztahů, provedené v kapitole 1.3, slouží k racionalizaci nastavení optimálních provozních intervalů a adekvátního rozsahu náhradní povrchové dopravy (dále jen NPD). Hlavním podkladem slouží příloha B, která znázorňuje graf vyjadřující distribuci cestujících v jednotlivých mezistaničních úsecích na základě výsledků zmíněného průzkumu. Příloha obsahuje měření při maximální naměřené zátěži v 15minutovém intervalu.

2 PROGNOZA BUDOUCÍHO STAVU ŘÍZENÍ PROVOZU

Ačkoliv je v současnosti náročné přesně předvídat finální podobu automatizovaného provozu na trase C pražského metra, již nyní lze identifikovat některé konkrétní kroky, které budou s jistotou realizovány. Tato kapitola se zaměřuje jak na očekávané, tak i na autorem navrhované aspekty, které by mohly formovat plně funkční a automatizovaný provoz na této trase.

Dle současných předpokladů by měla automatizace trasy C přispět ke zkrácení současného nejmenšího špičkového intervalu ze 115 na 90 s. To by mělo navýšit přepravní kapacitu až o 20 %, což má úměrně vést ke snížení ročních provozních nákladů až o zhruba 770 milionů korun. Celkem má být pro trasu C nakoupeno 53 plně automatizovaných souprav, které budou pořízeny společně s dalšími 16 soupravami pro trasu D. Kromě nových vlakových souprav bude muset dojít k pořízení a instalaci nového zabezpečovacího zařízení, bezpečnostních nástupištních stěn, rekonstrukci depa a zřízení nového dispečinku (17).

Modernizace trasy C pražského metra by měla poskytnout klíčové zkušenosti a podklady pro následné zavedení automatizovaného provozu na trase D. Tento projekt zahrnuje nejen implementaci pokročilého traťového a vlakového zařízení, ale také přípravu infrastruktury a školení personálu. DK bude sloužit pro údržbu a deponování vlaků pro obě trasy až do doby, než bude dokončeno nové Depo Písnice, určené výhradně pro linku D (17).

V kontextu modernizace dopravní infrastruktury, automatizace linky C představuje nejen krok ke zlepšení efektivity a bezpečnosti na této trase, ale také iniciuje proces obnovy vozového parku na lince B. Tento krok umožní realokaci souprav typu M1, které dosud „nevyčerpaly“ svůj životní cyklus. Tímto způsobem se postupně nahradí nejstarší vozidla typu 81-71M, provozovaná na linkách A a B (17).

Konkrétní podoba budoucí trasy C je podrobněji uvedena v podkapitolách 2.1 až 2.6.

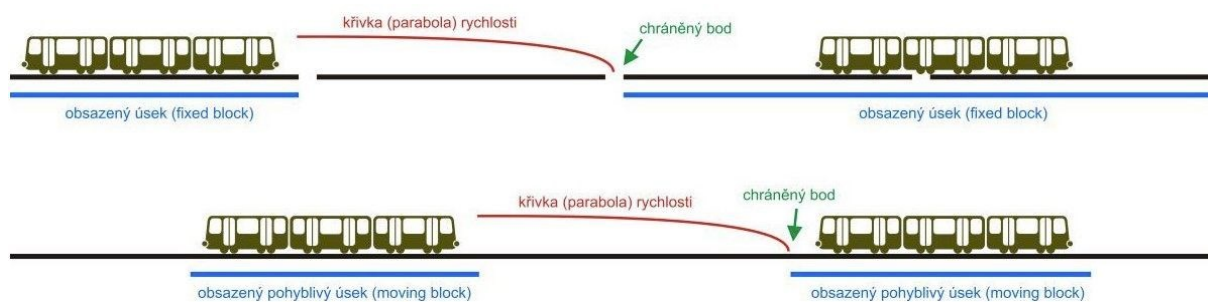
2.1 Systém CBTC

Systém Communications-based train control (dále jen CBTC) je klíčovým prvkem budoucí podoby automatizovaného způsobu řízení provozu na trase C. Jedná se o komplexní systém, který plní a nahrazuje funkci konvenčního vlakového zabezpečovače. Tento systém umožňuje v reálném čase poskytovat a zprostředkovávat veškeré nezbytné informace o pohybu vlakové soupravy – její polohy, rychlosti, sklonu či směru jízdy atd. Zásadní odlišností a zároveň předností od běžných zabezpečovacích a signalizačních systémů je koncepce tzv. „pohyblivých bloků“: Jedná se o protipól konvenčních systémů, které naopak fungují

principiálně opačně, tudíž na základě pevných – nepohyblivých bloků. Označení blok v tomto případě odkazuje na prostorové oddíly/úseky, které jsou v běžném provozu pevně prostorově definovány a odděleny kolejovými obvody (18).

V systému pevných prostorových oddílů může být každý definovaný blok v daném okamžiku obsazen pouze jednou vlakovou soupravou. Pro detekci vlaků mohou být využívány zmíněné kolejové obvody nebo počítače náprav. Základní nevýhodou, vzhledem k neměnné délce těchto bloků, je velmi časté neefektivní využití tratě. To bývá amplifikováno v případech, kdy se nachází vlaková souprava uvnitř vícero bloků najednou (i přesto, že jsou vzdáleností parametry neměnné, tak navzájem od sebe se liší a některé bývají velmi krátké). To je dáno skutečností, že příslušné kolejové obvody jsou schopné určit polohu vlaku pouze při vjezdu, tzn. že mají informaci pouze o obsazenosti, nikoliv o přesné poloze uvnitř příslušného bloku. A právě z toho důvodu musí být zachovány časové rezervy mezi spoji, aby v případě výskytu jakékoliv mimořádné události bylo možné včas odbrzdit vlak a předejít střetu (18).

Velmi zjednodušený princip pohyblivého bloku CBTC oproti konvenčnímu nepohyblivému bloku je uveden na obrázku 5.



Zdroj: (19)

Obrázek 5 Princip pevného a pohyblivého bloku

Aby bylo možné podrobněji charakterizovat systém CBTC, je důležité nejdříve konkretizovat jeho stěžejní části. Ty jsou následující:

- a) palubní (vlaková) část,
- b) traťová část,
- c) řídicí (centrální) část (19).

Palubní část (často také označovaná jako vlaková) je veškerá část systému, která se nachází na palubě (nebo je přímo součástí) vlaku. Jedná se o palubní počítače, radiolokační vysílače a přijímače, veškeré senzory atd. Na základě dat obdržených z traťové části je odpovědná za zpracování všech jízdních charakteristik a pak zejména za výpočet zábrzdě vzdálenosti vzhledem k aktuální rychlosti vlaku. Lze ji označit jako mobilní část zabezpečovače CBTC (19).

Na druhou stranu, traťová část se skládá z veškeré technicko-technologické základny systému umístěné přímo na trati. Jedná se konkrétně o radiovysílače umístěné v tunelech podél trati, které slouží ke vzájemné komunikaci s palubní i řídicí částí CBTC. Výměna informací s palubní částí je zprostředkována prostřednictvím zmíněných rádiových vln a vozidlové antény. Komunikace s řídicí částí CBTC a ostatními radiovysílači naopak pomocí husté sítě výkonných optických kabelů. Tyto kabely disponují značnou přenosovou kapacitou pro přenos a výměnu všech nezbytných dat. Rádiová síť využívá rozšířené a prověřené kmitočty o velikosti 2,4 GHz, případně 5,8 GHz. Přímo v kolejišti, po celé délce tratě, jsou umístěny tzv. balízy, které udávají přesnou polohu trati na příslušné železniční síti (18,19).

Třetí část systému integruje veškeré řídicí funkce, včetně sběru, vyhodnocení a zálohy dat v podobě několika výkonných počítačů a serverů. Hlavním úkolem je pak již zmíněná kontrola vzájemné polohy mezi jednotlivými vlaky, jejich rychlosti, sklonu atd. Na základě těchto parametrů dojde k výpočtu bezpečné vzdálenosti dle vypočítané zábrzdne vzdálenosti, včetně bezpečnostních rezerv na obou stranách této oblasti. Do této části pak spadá i samotné řídicí centrum (18, 19).

Součinnost všech těchto systémů pak umožňuje dosáhnout toho nejzásadnějšího cíle – snížení intervalu mezi spoji a zvýšení celkové přepravní kapacity na dané trati metra.

V neposlední řadě je důležité mít povědomí o třech základních funkcích (subsystémů), které systém CBTC vykonává:

- a) ATP (Automatic Train Protection) – zahrnuje úkony, které mají zabránit vlaku v kolizích, překročení maximální povolené rychlosti či předcházet dalším nebezpečným situacím,
- b) ATO (Automatic Train Operation) – zahrnuje sekundární provozní funkce jako jsou např. automatická regulace rychlosti, zastavení ve stanici, zarovnání vlaku s dveřmi nástupištních stěn atd.,
- c) ATS (Automatic Train Supervision) – zahrnuje sledování a řízení vlaků po celé trati (18, 19).

Přestože jsou všechny tyto funkce zásadní a významně přispívají k celkové funkčnosti systému, je důležité si uvědomit, že nejsou rovnocenné. ATP je funkcí nadřazenou. Bez ostatních dvou je možná řízení provozu v omezeném rozsahu, ale bez ATP je to zcela vyloučené. Tento fakt je patrný např. u vlakového zabezpečovače European Train Control System (dále jen ETCS). Ačkoli se na první pohled mohou zdát tyto systémy velmi podobné a lišit se pouze oblastí použití, ve skutečnosti jsou výrazně rozdílné, jelikož ETCS vykonává právě pouze funkci ATP.

V kontextu uvádění CBTC systému do provozu je dále vhodné znát stupně automatizace – vycházející z anglického termínu „Grades of Automation“ (dále jen GoA). Tento koncept uvádí, jak se postupně snižuje zapojení lidského faktoru v procesu řízení vlaků a jak naopak narůstá role výpočetní techniky a dalších klíčových zařízení.

V současné době jsou uznávány následující stupně automatizace:

- a) GoA0 – provoz vlaku podle rozhledu,
- b) GoA1 – neautomatizovaný provoz vlaku,
- c) GoA2 – poloautomatizovaný provoz vlaku,
- d) GoA3 – provoz vlaku bez strojvedoucího,
- e) GoA4 – bezobslužný provoz (18).

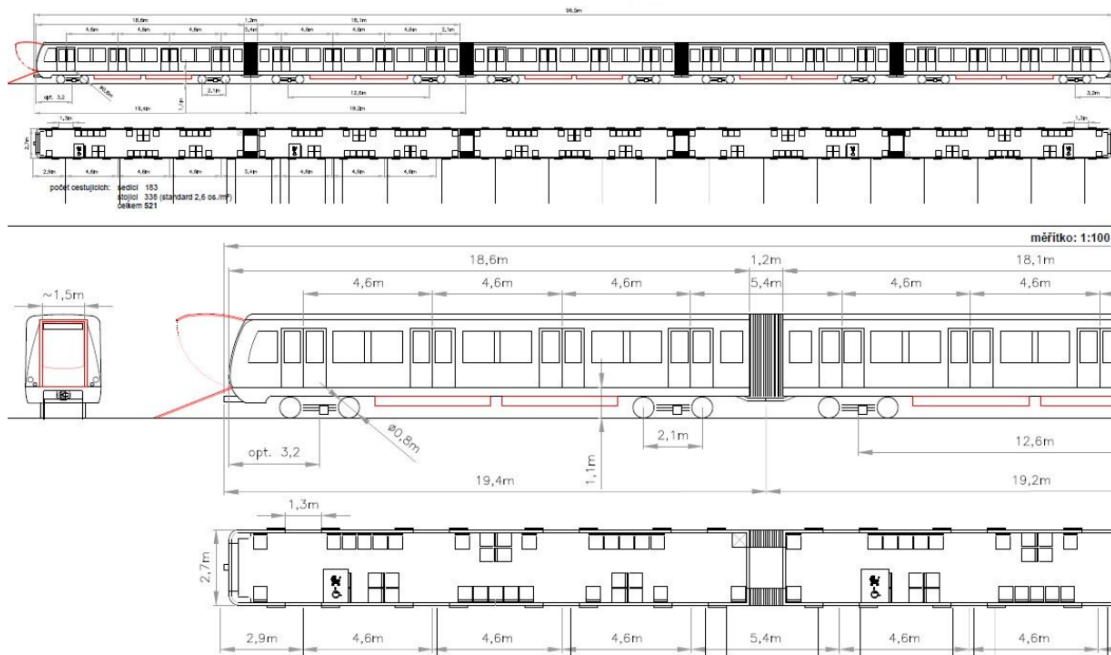
V příloze C se nachází podrobnější popis všech těchto stupňů a funkcionalit, které zastupují. V současné době se pražského metro „nachází“ na stupni GoA2, to znamená, že je možné systémově zajistit automatizované vedení vlaku a všechny příslušné činnosti spadající pod ATO, strojvedoucí má na starost pouze spouštění vlakového rozhlasu pro cestující, pokyn odjezdu vlaku a ovládání dveří. Jak již bylo zmíněno v kapitole 1.2.3, v kontextu trasy C a zabezpečovače PA-135 je této úrovně dosaženo prostřednictvím režimu RAV.

2.2 Výměna vlakových souprav

V současné době není ještě přesně známý konkrétní typ vlakových souprav, které budou zajištěny pro trasy C a D. Nicméně lze částečně vycházet z podmínek, které bude nezbytné splnit. V první řadě se jedná o řadu norem a nařízení. Za zmínku stojí IEC TR 62267-2, ČSN EN 50126-1, EN 62 267 a další. Nové vlakové soupravy, na rozdíl od těch současných, by měly být navrženy tak, aby byly plně průchozí. Dále by měly být vybaveny únikovými dveřmi a výklopným čelem na obou koncích, což by v případě potřeby mělo umožnit evakuaci cestujících do kolejiště (19).

Další nouzové a bezpečnostní prvky, které budou suplementovat absenci strojvedoucího, zahrnují elektronický systém požární signalizace, SOS panely pro nouzovou komunikaci, tlačítka pro nouzové otevření dveří a komplexní pokrytí pomocí bezpečnostního kamerového systému. Tyto prvky jsou navrženy tak, aby zvyšovaly bezpečnost cestujících a efektivně reagovaly na různé druhy nouzových situací. Plná bezbariérovost je samozřejmostí (19).

Z technicko-technologického hlediska budou tyto soupravy disponovat všemi nezbytnými zařízeními uvedenými v kapitole 2.1. Na obrázku 6 lze vidět předpokládaný prvotní technický náčrt vlakové soupravy CBTC.



Zdroj: (19)

Obrázek 6 Schéma potenciálních autonomních vlakových souprav

2.3 Změna staničních a traťových zabezpečovacích zařízení

Jedním z prvních a již oficiálně schválených kroků je postupná instalace zmíněného elektronického SSZ typu ESA do všech zbývajících stanic, kde se v současné době stále ještě nachází reléové staniční zabezpečovací zařízení. Zahájení této fáze je naplánováno na první etapu v úseku KC – HA už první polovině 2024 (20).

Následně se očekává postupná realizace dalších etap, přičemž by mělo být respektováno obvyklé načasování prací a výluk, často připadajících na prodloužené víkendy, aby se minimalizoval dopad na běžný provoz.

Stávající traťové zabezpečovací zařízení současně využívané na trase C a jeho funkce bude kompletně zastoupeno systémem CBTC. Co se týče kolejových obvodů a světelných návěstidel, jejich funkce implementací systému CBTC za obvyklých podmínek zanikne. Logicky by se dalo uvažovat o odstranění těchto prvků. Na druhou stranu by teoreticky mohly být ponechány jako záložní řešení pro nepředvídatelné situace. V okamžiku, kdy by z nějakého důvodu došlo ke kompletnímu a dlouhodobějšímu výpadku systému CBTC, by provoz mohl

být přepnut na konvenční způsob řízení dopravy. Je však důležité zdůraznit, že udržování těchto zařízení by znamenalo významné navýšení provozních nákladů.

2.4 Bezpečnostní nástupištní stěny

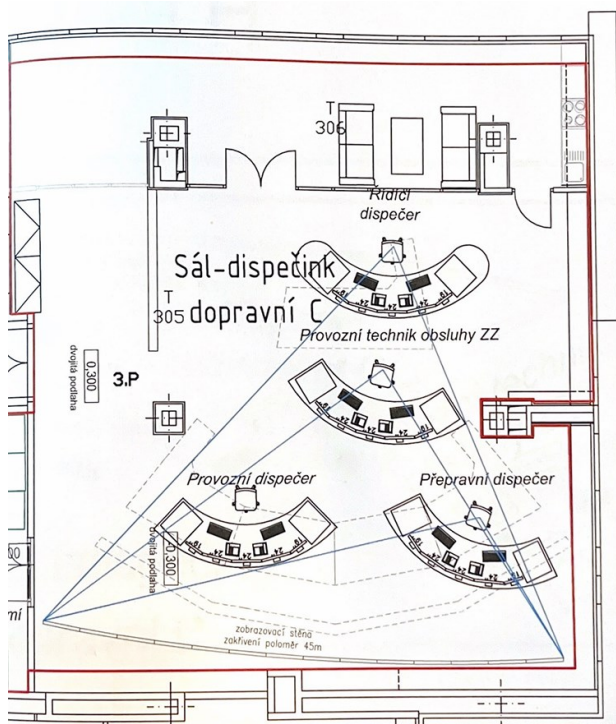
Bezpečnostní stěny jsou další fyzický prvek, který bude na trasách C a D zaveden. Ve světě se jedná o typický způsob, který bývá plně kompatibilní se CBTC a slouží k dalšímu zvýšení úrovně bezpečnosti. Je neobvyklé, aby byl zaveden autonomní systém řízení bez této komponenty, s výjimkou několika případů, jako je například norimberské nebo budapešťské metro. Kromě své primární bezpečnostní role, která zahrnuje fyzické oddělení nástupištního prostoru od kolejí, toto zařízení často plní i funkci informační. Tyto stěny bývají vybaveny elektronickými informačními tabulemi, které poskytují cestujícím důležité informace jako jsou odjezdy následujících spojů a směr jejich jízdy. Interoperabilita nástupištních stěn a systému CBTC je založena na vzájemné komunikaci. Vlaková část CBTC zajišťuje, že otevření bezpečnostních dveří na nástupišti nastane pouze po úplném zastavení vlaku ve stanici. Úměrně tomu dojde k uzavření dveří ještě před samotným odjezdem vlaku. Jedná se o další pojistku zabraňující neautorizovanému vstupu osob do kolejí. Vstupní prostory jsou obvykle vybaveny senzory, které zajišťují kontrolu úplného uzavření dveří. V případě, kdy dojde k jejich zablokování osobou nebo předmětem, předají pokyn systému k zabránění odjezdu vlaku ze stanice. S tím je spojena nutnost zachování kvalifikovaného staničního personálu v podobě dozorců stanice (DS) nebo jiné autorizované osoby (20).

2.5 Změna v obsazení personálu

V důsledku automatizace dojde k očekávaným změnám v personálních potřebách. Nejvýznamnější změnou bude výrazné snížení počtu strojvedoucích, což je základní premisa a logický důsledek této změny. Malý počet strojvedoucích „plnící“ manipulační funkci by měl být zachován. Další redukce se dotkne samostatných provozních techniků (SPT), jejichž úloha bude z jednotlivých stanic zkonsolidována do centrálního řídicího centra. Na druhou stranu, automatizace bude znamenat nabídku práce z odlišných odvětví. Komplikovaný a sofistikovaný charakter systému bude vyžadovat větší počty techniků, IT specialistů, analytiků či dispečerů (19).

Aparát nového dispečerského sálu by se měl skládat ze 4 osob. Toto pracoviště bude určeno pouze pro řízení provozu na trase C.

Aktuálně navrhovaný design sálu pro trasu C je zobrazen na obrázku 7.



Zdroj: (21)

Obrázek 7 Schématický návrh dopravního dispečerského sálu pro automatizovanou trasu C

Z obrázku 7 lze dále zjistit, že funkce nadřazeného řídicího dispečera zůstane zachována. Jeho úkolem bude dohled, řízení a koordinace ostatních – podřízených dispečerů. Provozní technik obsluhy ZZ (disponent) bude mít za úkol veškerou obsluhu ZZ systému CBTC a dohled nad bezpečným provozem vlaků. Úloha provozního dispečera se nebude výrazně lišit od stávající situace a jeho úkolem bude řízení provozu vlaků na trase. Přepravní dispečer pak bude zodpovědný za veškeré prvky provozu ovlivňující přepravu cestujících – zvukové a obrazové hlášení, kamerový systém, informace o mimořádnostech atd. Tento sál má být umístěn ve 3. nadzemním podlaží CD DPP (21).

Zároveň bude zřízen záložní dopravní dispečink s totožným personálním aparátem, který má být umístěn u stanice KC. Tento dispečink bude v plném rozsahu suplementovat funkci hlavního dispečinku v případě výpadku CBTC právě ze strany CD (21).

2.6 Pracovní zóny

V současné době je přístup oprávněných osob na koleje přísně regulován a podléhá řadě podmínek. Tento pohyb je zejména omezen v případě, když vstup do kolejiště musí být proveden za provozu, což znamená, že přívodní kolejnice je pod napětím. V případě, že je třeba

provést nezbytné úkony, jako je například řešení mimořádné události, musí být vstup osob do kolejiště předem oznámen a schválen vlakovým dispečerem. Za koordinaci a bezpečnost na místě je zodpovědný vedoucí práce. Je také nezbytné, aby strojvedoucí byli informováni o rozsahu a umístění těchto aktivit. Ti jsou poté povinni projíždět touto oblastí s opatrností (jízda podle rozhledu), což znamená, že maximální rychlost nesmí překročit $20 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, aby byla zajištěna bezpečnost osob na trati (11).

S tímto problémem se logicky pojí otázka zajištění bezpečnosti pracovníků během automatizovaného provozu. Pokud nebude zaveden nezbytný systém pro sledování pohybu pracovníků na kolejích, může to znamenat riziko pro jejich bezpečnost. Do systému by měla být implementována informace o vstupu osob do kolejového prostoru, na základě které by došlo k modifikaci, zaručující bezpečnost všech zúčastněných.

Jednou z možností je, že dispečer zadá do systému specifikovaný úsek tratě v kilometrickém vyjádření. Systém následně na základě těchto údajů upraví jízdní parametry, aby vlak projížděl dotčeným úsekem předepsanou sníženou rychlostí.

Dalším sofistikovanějším řešením by mohlo být vytvoření tzv. „pracovních zón“. Tyto zóny by byly pevně definované úseky tratě, rozmístěné v pravidelných odstupech a zvláště na strategických místech vyžadujících speciální pozornost, jako jsou například kolejová rozvětvení. Tato místa by byla oddělena světelnými majáky, které by plnily lokalizační i informační funkci. Při plánovaném vstupu do oblasti kolejí by se aktivovaly specifické páry těchto majáků, čímž by přesně definovaly danou pracovní zónu. Tato opatření by umožnila systému získat detailní informace o poloze, zatímco rozsvícené majáky by poskytovaly pracovníkům jasnou vizuální signalizaci aktivní pracovní zóny a současně by garantovaly jejich bezpečnost (22).

3 NÁVRH KOORDINACE SMÍŠENÉHO PROVOZU V PRŮBĚHU PŘECHODNÉHO OBDOBÍ

Tato kapitola obsahuje podrobný a komplexní přehled návrhových řešení prostřednictvím dvou detailně vypracovaných alternativ. Tyto alternativy představují diametrálně rozdílné přístupy, které mají za úkol představit základní koncepty a klíčový význam těchto řešení na základě získaných poznatků a provedené analýzy.

3.1 První varianta – etapově-segregované řízení s důrazem na nepřetržitost provozu

První varianta řízení a koordinace smíšeného provozu spočívá v segregaci provozu na vybraných úsecích trasy. Tato myšlenka se opírá o rozdělení trasy na dva úseky – první, kde probíhá konvenční provoz řízený stávajícím vlakovým zabezpečovačem PA-135 a světelnými návěstidly, a druhý, který je řízen pomocí zabezpečovacího a řídicího systému CBTC. Aby bylo možné efektivně testovat nové technologie a připravit prostor pro přechod na plně automatizovaný provoz, je tato varianta rozvržena do 4 základních etap. S ohledem na značnou výzvu, kterou změna principů a filozofie řízení provozu představuje, může být postupný přechod rozdělený do etap efektivním řešením, umožňujícím minimalizovat výskyt chyb a negativních dopadů na provoz.

3.1.1 První etapa – iniciální zahájení provozu systémem CBTC na úzce vymezeném úseku trasy

První etapa nasazení systému CBTC v pražském metru je zaměřena na implementaci tohoto komplexního řídicího systému do skutečného provozního prostředí. Během této fáze se předpokládá prvotní kalibrace nového systému, aby byl přizpůsoben specifickým potřebám trasy C. Očekává se, že v této úvodní fázi může dojít k různým chybám a nesrovnalostem, což by mohlo negativně ovlivnit plynulost provozu. Z tohoto důvodu se doporučuje změny zahájit na relativně malém úseku trasy, což by mělo pomoci minimalizovat celkový dopad na provoz metra. Z důvodu postupného rozšiřování trasy C byl pro první etapu nasazení CBTC zvolen úsek LA – LT, také známý jako „IV. C2“ (viz tabulka 1). Na úseku LA – HA bude nadále zachován konvenční způsob řízení provozu. Stanice LA, která slouží jako hranice mezi těmito úseky, byla vybrána z několika důvodů. Významným faktorem je umístění kolejového kříže před stanicí LA směrem HA, což umožní obrát vlaků typu M1 zpět na opačnou kolej bez nutnosti dojet až do konečné stanice LT. Tento aspekt je klíčový pro možnost provádění testovacích činností a jízd dle CBTC v režimu kyvadlového provozu bez významného narušení

běžného provozu. Výběr této stanice byl podpořen i kratší vzdáleností ke konečné stanici LT, která činí přibližně 4,4 km. Mezi stanicí LA a stanicí LT se nachází jen dvě další stanice – SZ a PR. Od stanice LA směrem k LT existuje také obratová kolej č. 0. Pro minimalizaci intervence do stávajícího GVD by byla tato etapa aplikována pouze na víkendový provoz, stejně tomu tak je i ve druhé a třetí etapě. Dle GVD trvá jízdní doba za obvyklých provozních podmínek ve směru LT – LA cca 355 s a ve směru LA – LT 360 s (4).

Pro výpočet nejnižšího možného intervalu na tomto úseku obsluhovaným jedním vlakem je dále nezbytná znalost minimální staniční doby obratu vlaku. Jelikož se jedná o kompletně nový systém, určení této doby obratu je spíše odhadem, ať už by se jednalo o provoz v režimu GoA 2 či GoA 3. Ve scénáři, kdy by „testovací“ autorizovaná vlaková četa byla složena ze dvou strojvedoucích, jeden na každém konci soupravy, by odpadla nutnost fyzického přesunu z jednoho stanoviště na druhé. Autor považuje 60 s jako adekvátní potřebnou délku pro obrat soupravy na jedné koleji v příslušné stanici. Toto tvrzení je podloženo reálnými zkušenostmi – příkladem může být uskutečněné plánované třídní přerušování provozu trasy C v úseku Vltavská – I.P. Pavlova v termínu 17.–19.11.2023. V těchto stanicích bylo možné uskutečnit obrat soupravy na jedné staniční koleji za pouhou jednu minutu. Pro potřeby kyvadlového provozu by nebylo třeba provádět jízdu se soupravou na obratové stanoviště za stanicí LT a místo toho byl proveden obrat již na staniční koleji (23). Nasazení obou strojvedoucích je opět podmínkou. Staniční interval o velikosti 30 s by pak mohl být zahrnut do minimální doby obratu, a tudíž by této operaci nemusel být dedikován dodatečný čas. Maximální rychlost vlaku, zejména kvůli stavebním podmínkám, je nepozměněna – čili $80 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$.

Výpočet minimálního intervalu INT_{CBTC} na tomto úseku trasy je uveden ve vztahu [2].

$$INT_{CBTC} = t_{jx} + t_{jy} + 2 \cdot t_{omin2} \quad [s] \quad [2]$$

$$INT_{CBTC} = 355 + 360 + 2 \cdot 60$$

$$INT_{CBTC} = 825 \text{ s}$$

kde:

INT_{CBTC} min. interval v úseku LA – LT řízeným CBTC [s]

t_{jx} doba jízdy ve směru LA – LT [s]

t_{jy} doba jízdy ve směru LT – LA [s]

t_{omin2} min. doba obratu ve stanici s plnou obratovou četou [s]

Dle názoru autora by bylo pak vhodné zjištěnou hodnotu $INT_{CBTC} = 825$ s zaokrouhlit na 840 s pro vytvoření časové rezervy, pokrytí možných prodlev a zajištění vhodných podmínek pro konzistentní plnění GVD.

Zajištění optimálního napojení na zbytek sítě s co nejmenšími vlivy na plynulost provozu pak představuje patrnou „logistickou výzvu“. Synchronizace příjezdových a odjezdových časů ve stanici LA determinuje z majoritní části plynulost provozu v rámci této etapy. Jak již bylo nastíněno, obrat vlaků typu M1 na protisměrnou kolej je proveditelné řešení. Tento obrat představuje časově náročnější operaci. Počet provozních souprav v konvenčně řízeném úseku trasy vylučuje nasazení vlakové čety složené z dvou strojvedoucích. Vysoký počet obratových čet by v tomto případě představoval neefektivní způsob využití lidské síly. Technologický postup pro obrat soupravy je relativně triviální. V tomto případě musí strojvedoucí, pokud zrovna nedochází ke střídání, provést obrat sám dle § 13 předpisu V1/1 (24). Po výstupu cestujících musí strojvedoucí nejdříve nezprovoznit do té doby využívané stanoviště, vypnout elektronické zámky a projít na druhé čelní stanoviště vnitřkem soupravy. Druhé stanoviště posléze zprovozní a zapne elektrické zámky. Až poté může být dovolen nástup cestujících pro opačný směr ze stejné strany nástupiště.

Dle GVD musí, za normálních provozních podmínek, být proveden obrat vlaků M1 na obratové koleji do 4 minut. Aby mohl být výlukový jízdní řád časově a konzistentně dodržován, bude pro obrat těchto souprav zachována zmíněna doba o délce 240 s. Jelikož většina povinných činností může být strojvedoucím provedena až po výstupu všech cestujících, tak nemůže být v tomto případě zahrnut staniční interval do doby trvání obratu. Pro potřeby této práce bude ponecháno 20 s pro výstup a poté opět 20 s pro nástup. Tím pádem bude staniční interval součtem těchto dvou hodnot.

Pro výpočet minimálního hrubého intervalu souprav M1 INT_{M1hmin} se zabezpečovačem PA-135 pro bezkolizní stavbu vlakové cesty pro jednotlivé spoje slouží vztah [3]:

$$INT_{M1h} = t_{omin1} + I_{sn} + I_{sv} \text{ [s]} \quad [3]$$

$$INT_{M1h} = 240 + 20 + 20$$

$$INT_{M1h} = 280 \text{ s}$$

kde:

INT_{M1hmin} hrubý min. následný interval pro soupravy M1 s jedním strojvedoucím [s]

t_{ominM1} určená doba obratu soupravy M1 [s]

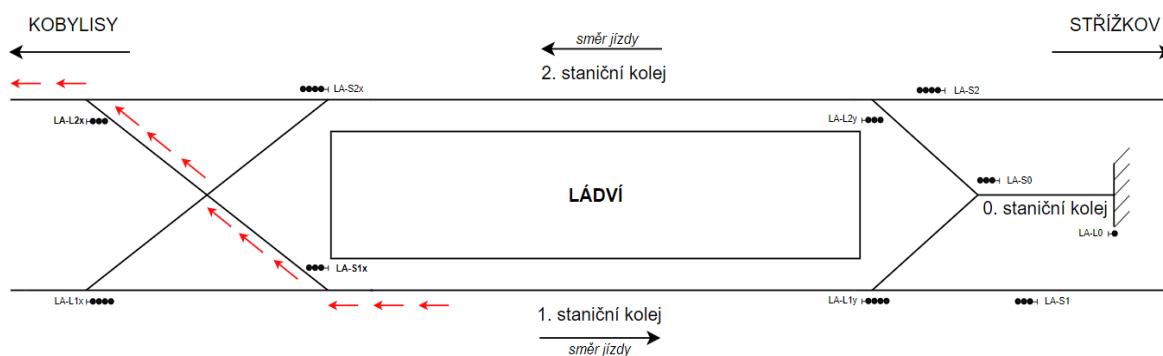
I_{sn} staniční interval určený pouze pro nástup cestujících [s]

I_{sv} staniční interval určený pouze pro výstup cestujících [s]

Nicméně zjištěný interval INT_{M1hmin} nepředstavuje finální hodnotu čistého minimálního intervalu pro obracející vlaky, jelikož před příjezdem dalšího vlaku musí být již uvolněna 1. staniční kolej. To znamená, že po uplynutí zjištěného intervalu INT_{M1hmin} musí dojít k postavení vlakové cesty pro odjíždějící vlak a následnému uvolnění zmíněné staniční koleje pro příjezd vlaku následujícího.

Jak již bylo zmíněno, odjíždějící soupravy M1 musí v této variantě využít kolejového křížení umístěného před stanicí LA, aby bylo možné postavit vlakovou cestu pro správnou směrovou kolej. Při přejezdu z 1. na 2. kolej je nutné projet výměnu u absolutního návěstidla LA-S1x lokalizovaného u odbočky do kolejového křížení a posléze LA-L2x umístěného u výjezdu na kolej č. 2. Vzájemná vzdálenost těchto návěstidel je 100 m (25).

Dále je nutné počítat s tím, že vlaky musí najet do odbočky a pohybovat se přes kolejové křížení sníženou rychlostí $40 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Jízda sníženou rychlostí neovlivní pouze dobu uvolnění 1. koleje pro následující vlak, ale i samotnou následnou jízdní dobu vlaku. Vzdálenost od stanice po odbočku do křižování není signifikantní, vlak nebude moci dosáhnout rychlosti vyšší, než $40 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Z toho důvodu dojde k akceleraci na maximální provozní rychlost $80 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ až po úplném projetí výměn u absolutního návěstidla LA-L2x. Schéma stanice včetně trasy obratu je znázorněno na obrázku 8. Schéma zobrazuje i 0. staniční kolej lokalizovanou na druhé straně od stanice. Tato kolej může být nadále využita jako místo pro deponování první soupravy M1 v příslušný provozní den pro směr HA.



Zdroj: autor dle (25)

Obrázek 8 Schématický plán stanice Ládvi včetně znázorněného obratu

Celková vzdálenost od čela vlaku ve stanici k návěstidlu LA-L2x je cca 120 metrů (25). Dle základních technických údajů je maximální zrychlení souprav $a_{M1max30} = 1,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ do rychlosti $30 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, poté dochází ke mírnému klesání této hodnoty (26). Rozdíl v rychlostech je nicméně zanedbatelný a pro tento výpočet bude uvažovaná pouze zmíněná hodnota. Po

aplikaci do vztahu [4] této hodnoty lze dospět k času zrychlení $t_{40M1} = 8,6$ s. V příloze D je znázorněno zrychlení a brzdný výkon elektrické trakce v závislosti na rychlosti, doplněné o výpočet příslušných časových dogmat.

$$t_{40M1} = \frac{\frac{v_{40}}{3,6}}{a_{M1}} \quad [s] \quad [4]$$

$$t_{40M1} = \frac{40}{1,3 \cdot 3,6}$$

$$t_{40M1} \doteq 8,6 \text{ s}$$

kde:

t_{40M1} čas jízdy soupravy typu M1 před dosažením rychlosti $40 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ [s]

v_{40} konečná rychlost $40 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ [$\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$]

a_{M1} maximální zrychlení soupravy typu M1 [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$]

Po výpočtu času t_{40M1} lze určit dráhu ujetou po dosažení rychlosti v_{40} dle následujícího vztahu [5]:

$$s_{40M1} = \frac{1}{2} \cdot a_{M1max} \cdot t_{40M1}^2 \quad [m] \quad [5]$$

$$s_{40M1} = \frac{1}{2} \cdot 1,3 \cdot 8,6^2$$

$$s_{40M1} \doteq 48 \text{ m}$$

kde:

s_{40M1} dráha ujetá soupravou M1 před dosažením rychlosti $40 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ [m]

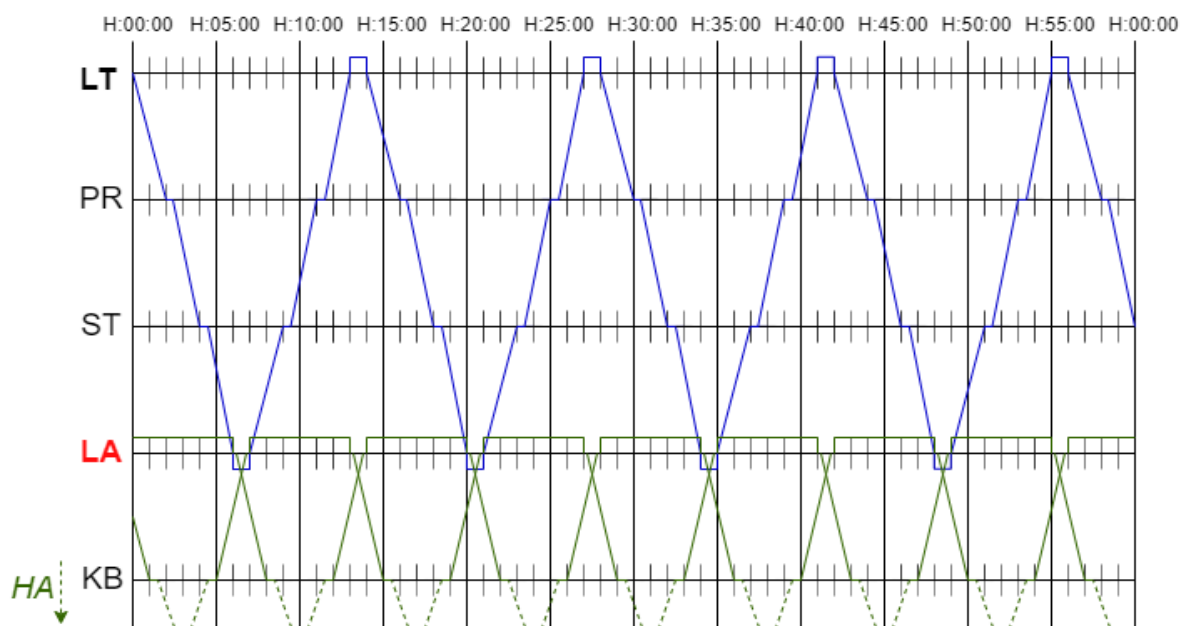
a_{M1} maximální zrychlení soupravy typu M1 [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$]

t_{40M1} čas jízdy soupravy typu M1 před dosažením rychlosti $40 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ [s]

Za tento čas při daném zrychlení vlak ujede vzdálenost o velikosti 48 m. To znamená, že po zrychlení soupravy na $40 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ musí být ještě ujet 72 m konstantní rychlostí, a navíc je třeba zohlednit délku soupravy, dosahující 96,66 m přes spřáhla (9). To udává vzdálenost o velikosti 168 m. Tu vlak ujede konstantní rychlostí za 4,2 s. Celková doba uplynutá od odjezdu soupravy po uvolnění 1. staniční koleje je $t_u = 12,8$ s. Dále je vhodné podotknout, že v rámci zásahu do jízdního času je pak zmíněná doba zrychlení redundantní, jelikož doba zrychlení je již obsahem aktuální doby jízdy vlaku dle GVD.

Na základě zjištěných dat lze vypočítat čistý interval mezi obracejícími vlaky INT_{M1min} . Po sečtení hrubého intervalu $INT_{M1hmin} = 280$ s a doby uvolnění koleje $t_u = 12,8$ s lze dospět k hodnotě $INT_{M1min} = 292,8$ s. Jedná se o hodnotu minimálního možného intervalu. V současné době je o víkendové špičce aplikován 5 minutový následný technologický interval, což implikuje, že zjištěný interval $INT_{M1min} = 292,8$ s (4,88 min) se téměř rovná této hodnotě. Nevýhodou tohoto intervalu je rozhodně jeho neperiodický charakter a představuje nesynchronní alternativu vzhledem k intervalu $INT_{CBTC} = 840$ s. Pakliže by došlo k prodloužení následného intervalu pro vlaky M1 na 360 s, mohlo by možné vytvoření souměrného GVD v podobě pásmového provozu. Toto navýšení by bylo využito pro vyrovnání potenciálních časových ztrát a zajištění optimálních přestupních vazeb.

Na obrázku č. 9 je uveden návrh možného způsobu obratu souprav pro oba úseky. Na tomto hodinovém výseku z výlukového GVD lze vidět formu provozu zmíněné CBTC soupravy a dále obraty souprav M1 ve stanici LA. Tento návrh představuje zvláštní formu pásmového provozu s alternujícím charakterem, jelikož jízda do konečné stanice LT není provedena stejnou soupravou jako do LA.



Zdroj: autor

Obrázek 9 Možné řešení obratu vlakových souprav ve stanici Ládvi v průběhu první etapy

Rozdělení etap je dále rozděleno na subetapy dle časově-lokalizačního hlediska. Pořadí těchto subetap představuje chronologickou posloupnost nezbytných kroků a činností vzhledem k lokalizaci jejich provedení. K zahájení dojde zavedením dvou zmíněných úseků, navzájem hraničící ve stanici LA. K tomu by s největší pravděpodobností došlo v nočních hodinách mezi

pátkem a sobotou. Úměrně tomu by pak docházelo k přepnutí zpět na stávající princip řízení v noci z neděle na pondělí. Tomuto zahájení musí předcházet instalace stěžejní technické základny CBTC, zejména radiozařízení, traťových majáků – balíz, nezbytné kabeláže a další části subsystémů ATP a ATO. Tyto úkony by měly být dokončeny před zahájením první etapy, a totéž platí i pro etapy následující. Na rozdíl od samotného provozu, tato instalace bude prováděna každý den v nočních hodinách, aby nedošlo k přímému ovlivnění provozu. I přesto, že tato metodika vyžaduje více času než úplné přerušení provozu, etapizace úseků umožní snížit dobu montáže.

Jak již bylo řečeno, tento výlukový stav by probíhal pouze o víkendech a trvání účinnosti by záleželo zejména na průběhu a úspěšnosti testování systému CBTC a příslušných vlakových souprav. Poslední významnou částí všech etap bude osazení nástupištních stěn. Technologický postup instalace těchto stěn by pak záležel na typu dotčené stanice. Stanice ST a PR jsou koncipovány ve formě oddělených bočních nástupišť. Tento způsob umístění nástupišť se jeví jako vhodnější pro výstavbu při kyvadlovém provozu, jelikož při této formě řízení, probíhající na jedné koleji, může být uzavřené nástupiště využité pro bezkolizní výstavbu a testování funkčnosti automatických dveří. Ověřování kompatibility poloh a zarovnání s dveřmi zastavující soupravy je pak možné provádět prostřednictvím další soupravy bez cestujících po celé délce úseku IV. C2 na druhé koleji. Po dokončení instalace nástupištní stěny a konfiguraci dveří bude možné stejným principem provést příslušné kroky i na druhém nástupišti. V takovém případě bude nutné přesunout kyvadlový provoz na druhou kolej a tím pádem i mírně přizpůsobit technologický postup obratu a stavby vlakové cesty ve stanici LA.

Ve stanici LT by musel být postup zavedení automatických nástupištních stěn odlišný. Oboustranný ostrovní charakter nástupiště v těchto stanicích nedovoluje aplikovat výše popsaný postup. U těchto stanic by mohl být využit způsob fyzického oddělení nástupiště. Zde by bylo třeba možné využít mobilního oplocení umístěného podélně osou stanice. Prostor pro užití eskalátorů a bezbariérového výtahu by musel být pochopitelně zachován. Na rekonstruovanou stranu nástupiště by mohli vstoupit pouze příslušní pracovníci a autorizovaný personál. Proces výstavby a testování těchto stěn by zůstal zachován obdobně jako u stanic s bočními nástupišti.

Nejkomplikovanější proces osazení stěn z úseku IV. C2 bude definitivně ve stanici LA. Nejenom, že se zde nachází ostrovní nástupiště, ale situaci taktéž komplikuje zejména fakt, že by zde nemohl probíhat provoz pouze na jedné straně nástupiště současně, jelikož by zde dle již navrhnutého řešení probíhal provoz a obrat souprav M1, včetně nástupu a výstupu

cestujících. Zde by osazení stěn mohlo být limitováno pouze na prostor určený pro nástup a výstup do příslušného, jednoho, vozu soupravy. Po dobu instalace a testování modulu (části) nástupištní stěny by byl vstup cestujícím do příslušného vozu znemožněn. Obdobný princip je zkoušen v rámci testovacích operací ve stanici metra Zličín na trase B.

Ačkoliv tento plán na osazení nástupištních stěn vypadá na první pohled proveditelně, dle aktuální informací se naopak jeví jako nepraktický a problematický (20).

Proto byl zvolen odlišný postup, který bude nyní zahrnovat postupné uzavření jedné strany nástupiště pro konkrétní směr. V důsledku toho vlaky jedoucí směrem, kde je nástupiště uzavřené, projedou těmito stanicemi bez zastavení. Vzhledem k tomu, že provozní podmínky během první etapy to ale neumožní (provoz bude muset být zachován na obou stranách nástupiště), bude osazení nástupištních stěn zahájeno již před startem první etapy. Tímto způsobem budou stěny již připraveny na místě a nebude nutné organizovat alternativní výlukové řešení (např. v podobě NAD). Před začátkem této etapy, kdy bude provoz v tomto úseku probíhat konvenčním způsobem, bude nutné přizpůsobit tomuto stavu již osazené nástupištní stěny. Toto zahrnuje například trvalé otevření bezpečnostních dveří, aby se minimalizovalo jakékoliv odchýlení nad míru maximální tolerance pro zastavení vlaků. Tato opatření jsou důležitá zejména vzhledem k současným limitacím vlakového zabezpečovače PA-135, u kterého je tato tolerance zastavení patrná (20). Stejný princip bude aplikován i pro další vybrané stanice v následujících etapách.

Cestující s požadavkem vystoupit v těchto stanicích tak budou muset pokračovat do další stanice a tam přestoupit na vlak jedoucí opačným směrem, aby se přepravili do požadované stanice z opačného směru. Pro tento konkrétní případ se cestující zachovají následujícím způsobem:

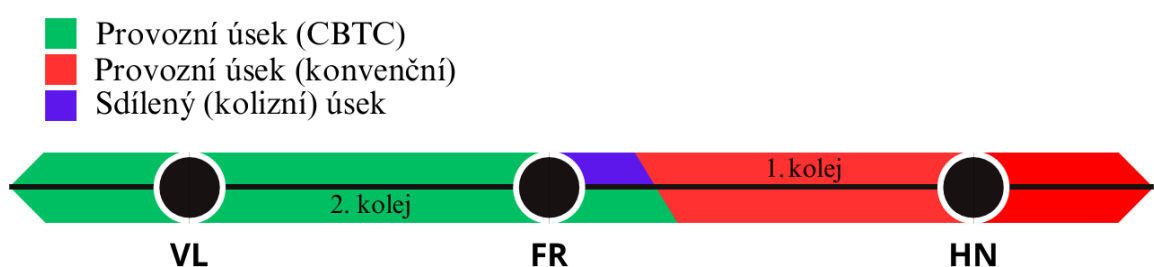
- U uzavřené části nástupiště ve stanici LA u 1. staniční koleje:
 - Cestující příjezdějící ze směru centra vystoupí ve stanici ST a přestoupí na vlak jedoucí opačným směrem.
 - Cestující směřující do stanice LT nastoupí na vlak směrem do centra, vystoupí ve stanici KB a pokračují projíždějším spojem.
- U uzavřené části nástupiště ve stanici LA u 2. staniční koleje:
 - Cestující příjezdějící ze směru LT vystoupí až ve stanici KB a přestoupí na vlak jedoucí opačným směrem.
 - Cestující odjíždějící směrem do centra nastoupí na vlak směr LT, vystoupí ve stanici ST a poté přestoupí na spoj jedoucí ve správném směru.

Stejný princip bude aplikován i pro další vybrané stanice v následujících etapách.

3.1.2 Druhá etapa – rozšíření řízení podle CBTC

Po splnění všech předdefinovaných kroků pro finalizaci první etapy je na řadě druhá etapa v podobě mnohem operačně náročnějšího řízení provozu. V rámci této etapy bude docházet k rozšíření úseku řízeným systémem CBTC. Další relevantní změnou bude přechod z kyvadlového provozu jednou CBTC soupravou na obvyklý obousměrný provoz vícero soupravami po celé délce determinovaného úseku. Totéž bude platit pro konvenční způsob řízení. Zvolenou oblastí pro provoz dle CBTC byl zvolen úsek LT – FR. Úsekem se zachovaným konvenčním provozem bude FR – HA.

Trasu obou rozdělených úseků lze vidět na obrázku 10.



Zdroj: autor

Obrázek 10 Rozdělení provozních úseků v rámci druhé etapy

Stěžejním prvkem obrátů vlaků bude kolejový kříž, umístěný u stanice FR (pohledem směr HA). Tento způsob představuje možné řešení vzájemně nerušeného provozu – kromě jedné kritické oblasti – 1. staniční kolej ve stanici FR. Stěžejním krokem v rámci této etapy je synchronizace jízdních dob, odjezdových a příjezdových časů ve stanici FR za účelem vytvoření bezkolizních vlakových cest. Jak je z obrázků 10 a 11 vidět, 1. staniční kolej ve stanici FR bude plnit jak nástupní, tak výstupní funkci pro konvenční provoz, ale pro provoz CBTC bude plnit pouze nástupní, jelikož k výstupu bude sloužit 2. staniční kolej. Tímto uspořádáním dojde k zamezení mezistaničního obrátu s cestujícími ve vozech, čemu je vždy vhodné se vyvarovat.

K zajištění bezpečného a plynulého provozu bude nutné dodržet následující podmínky:

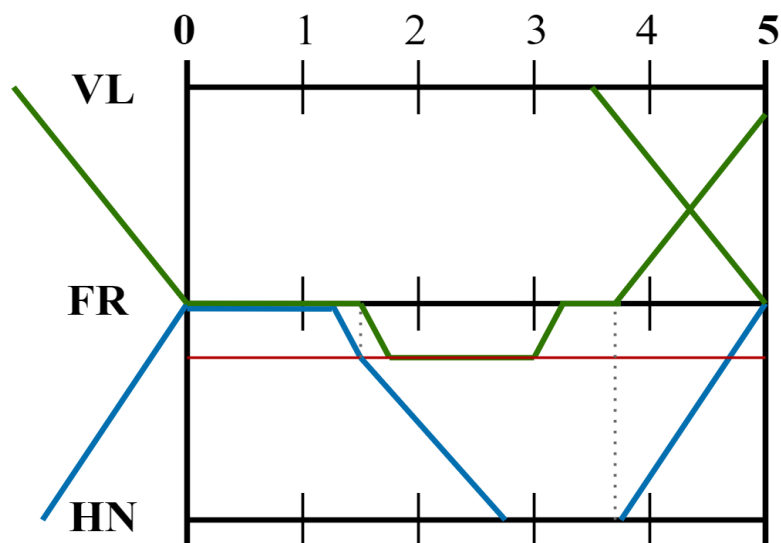
- Vlaková souprava CBTC opustí 2. staniční kolej. Provede obrát přes kolejový kříž až po uvolnění 1. staniční koleje a úplném projetí výměn u příslušného absolutního návěstidla ve směru HA. Tímto zároveň dojde k prioritizaci provozu směrem do centra města. To je žádoucí vzhledem k intenzivnějším přepravním proudům (viz příloha B).

- Po nástupu cestujících přepravovaných ve směru LT a uvolnění 1. staniční koleje vlakem CBTC, dojde teprve k odjezdu vlaku M1 ze stanice HN. Jízdní doba HN – FR je dle GVD 75 s (4).

Za předpokladu splnění těchto kritérií, dojde k vytvoření nových přestupních vazeb ve stanici FR:

- Cestující pokračující v přepravě ve směru LT vystoupí a vyčkají na vlak CBTC, který odjede ze stejné staniční koleje, ze které vystoupili.
- Cestující ve směru centrum a stanice HA přestoupí z jedné soupravy do druhé, která bude již přistavena na opačné koleji.

Aby bylo možné zajistit minimální víkendový interval o velikosti 5 min, bude třeba dodržet zmíněné podmínky před uplynutím této doby. Ta začne plynout příjezdem obou souprav do stanice. Z obrázku 11, znázorňující přesný princip obrátů a jejich posloupnost, lze vidět, že obrat vlaků musí být proveden nejpozději do 75 s od jeho zahájení. Tento výsledek indikuje potřebu nasazení úplné obratové čety, jelikož samostatný strojvedoucí není schopen tento obrat provést za tak krátký časový interval.



Zdroj: autor

Obrázek 11 Princip obrátů ve stanici FR v rámci druhé etapy první varianty

Na obrázku 11 je dále červeně znázorněné umístění kolejové kříže. Jízdní doba vlaků jedoucích směrem HN a HA se prodlouží o cca 15 s kvůli přidané časové přírážce z přejezdu kolejovým křížením, což bylo určeno na základě vztahu [4].

V neposlední řadě je nutné určit potřebný počet provozních souprav, pro oba typy provozů. Pro ten je třeba znát jízdní dobu pro jednotlivé úseky a příslušné doby obrátů.

V tabulce 2 jsou sumarizována potřebná časová dogmata. Doby obratu specifické pouze pro příslušný typ provozu jsou odvozeny s přihlédnutím na to, že celková doba oběhu musí být celočíselně dělitelná stanoveným pětiminutovým intervalem.

Tabulka 2 Základní charakteristiky druhé etapy první varianty

	Jízdní doba [min]		Doba obratu [min]			Celková doba oběhu [min]	Potřebný počet souprav
	FR – HA	FR – LT	HA	FR	LT		
konvenční provoz	21,5	-	2	5	-	50	10
provoz dle CBTC	-	15	-	5	5	40	8

Zdroj: autor

Zjištěný potřebný počet souprav je obzvláště důležitá informace pro nové vlaky CBTC. Jejím nasazení bude muset předcházet adekvátní technicko-technologická příprava. Počet konvenčních souprav M1 je informace „nesoucí“ spíše informační charakter, jelikož přes pracovní dny stejně dojde k obnově provozu dle běžných principů.

Osazení nástupištních stěn na mezilehlých stanicích rozšířeného úseku bude probíhat tak, že postupně dojde k uzavření jedné strany nástupiště pro určitý směr. Vlaky jedoucí příslušným směrem pak budou těmito stanicemi s uzavřeným nástupištěm projíždět bez zastavení. Cestující se záměrem vystoupit těchto stanicích vystoupit budou muset pokračovat do další stanice. Zde přestoupí na spoj jedoucí opačným směrem a dostanou se do požadované stanice z opačného směru.

Celkové osazení nástupištních stěn na stanicích VL, NH a KB bude probíhat v šesti fázích, přičemž v každé fázi bude uzavřena pouze jedna strana nástupiště v jedné stanici.

Složitější situace bude pak ve stanici FR. Z navržených provozních důvodů není možné bez výrazného zásahu v rámci této etapy zcela znemožnit nástup a výstup cestujících (bez použití NAD). Tento problém u ostatních stanic by mohl být vyřešen stejným způsobem jako ve stanici FR, akorát k tomu dojde již v průběhu první etapy. Tímto způsobem budou stěny již připraveny na místě a nebude potřeba zavést NAD. V průběhu první etapy bude nutné přizpůsobit tomuto stavu již osazené nástupištní stěny. Toto zahrnuje například trvalé otevření bezpečnostních dveří, aby se minimalizovala jakékoliv odchýlení nad míru maximální tolerance pro zastavení vlaků. Tato opatření jsou důležitá zejména vzhledem k již zmíněným limitům vlakového zabezpečovače PA-135, u kterého je tato tolerance zastavení patrná. Stejným způsobem budou pak již v průběhu této etapy přestavěny nástupištní stěny pro etapu nadcházející.

3.1.3 Třetí etapa – rozšíření o úsek Florenc – Kačerov

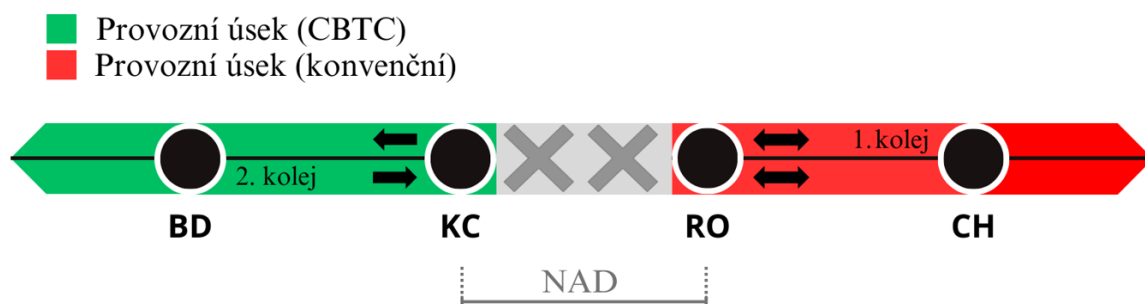
Po finalizaci všech nezbytných kroků ve druhé etapě započne třetí – předposlední etapa. V rámci této etapy dojde k opětovnému rozšíření provozu dle principů CBTC. Rozšiřujícím úsekem bude FR – KC. Poznatky a zkušenosti nabyté organizací řízení provozu, obzvláště v průběhu druhé etapy, povedou k zajištění ještě plynulejší transformace. Přejít na předposlední etapu by měl být proveden až poté, co bude zajištěna vysoká míra jistoty a stability prostřednictvím konzistentního testování a vyhodnocování výsledků.

Instalace traťového vybavení CBTC proběhne v průběhu druhé etapy opět v nočních hodinách. Ta se přímo dotkne i zhlaví DK. Umožní to tak přepnutí na systém CBTC ihned po ukončení předchozí etapy. Termín dokončení těchto prací nepředstavuje signifikantní omezující faktor, neboť veškeré nezbytné práce budou provedeny v průběhu trvání druhé etapy.

Úsek LT – KC představuje ucelený úsek, který vzhledem k dostupnosti obratových stanišť představuje optimální řešení, které nebude nijak provozně omezeno. Jízdní doba vlaku v tomto úseku je podle GVD přibližně 28 min jedním směrem, což znamená celkem 56 min pro cestu tam i zpět (4).

Aby byl interval spojů na trase harmonizován s pětiminutovým víkendovým intervalem, je nezbytné opět celkovou dobu oběhu zaokrouhlit na nejbližší hodnotu celočíselně dělitelnou 5. V tomto případě je to 60 min. Avšak, zahrnutí pouhých 4 min pro oba obraty vlaků se jeví jako nedostačující. Proto se doporučuje upravit celkový čas oběhu na 65 min. Tím vznikne asi 4,5 min pro obrat vlaku, včetně nástupu a výstupu v konečné stanici. Provoz na zbývajícím úseku, bude kvůli absenci kolejové spojky zajištěn kyvadlově na obou dopravních kolejích. Vzhledem ke krátké délce úseku představuje vhodné a poměrně jednoduché řešení. Aby byl provoz dle CBTC zajištěn bez jakékoliv formy intervence, provoz na zbytku trasy bude zajištěn pouze v úseku RO – HA a přeprava mezi stanicemi KC a RO bude zajištěna formou NAD. Pro minimalizaci následného intervalu v tomto úseku bude využita plná obratová četa, která umožní velmi rychlý obrat vlaku ve stanicích RO a HA. V provozu budou pouze dvě soupravy, a tudíž se tento způsob jeví jako proveditelný i z personálního hlediska. Jízdní doba mezi stanicemi RO – HA je dle GVD cca 5 minut (4).

Na obrázku 12 je graficky znázorněn princip separace provozu.



Zdroj: autor

Obrázek 12 Rozdělení provozních úseků v rámci třetí etapy

Uváží-li se stejná doba obratu plnou obratovou četou jako v první etapě (1 min), minimální možný interval mezi „spoji“ jedné soupravy pro příslušný směr činí 12 min. Pokud jsou obě soupravy synchronizovány tak, že v momentě, kdy jedna souprava odjíždí z jedné dočasné konečné stanice, odjíždí současně i druhá z opačné konečné stanice, pak lze dosáhnout souvislého intervalu mezi spoji. Tento interval bude 6 min pro oba směry. Cestující budou mít v obou směrech stabilní a předvídatelný časový interval mezi spoji. V tabulce 3 se nachází shrnutí výlukového provozu metra v rámci této etapy.

Tabulka 3 Základní charakteristiky třetí etapy první varianty

	Jízdní doba [min]		Doba obratu [min]				Celková doba oběhu [min]	Potřebný počet souprav
	LT – KC	RO – HA	LT	KC	RO	HA		
konvenční provoz	-	5	-	-	2	2	12	2
provoz dle CBTC	28	-	4,5	4,5	-	-	65	13

Zdroj: autor

V průběhu této etapy bude postupně dokončena instalace traťové části systému CBTC na zbývajícím úseku trasy C.

3.1.4 Čtvrtá etapa – uvedení celé trasy C do provozu dle CBTC

Předchozí etapy se týkaly pouze víkendového provozu ve zkráceném úseku trasy C, a tudíž počet provozních souprav byl omezený. To již nebude validní, jelikož počínaje poslední etapou dojde k uvedení do provozu pouze souprav CBTC, a to všechny dny. Deponovací kapacita DK není natolik dostatečná, aby bylo možné zajistit dopravní obsluhu v plném rozsahu přes pracovní dny stávajícími soupravami a o víkendu novými.

Jako nejvhodnější řešení se jeví už v rámci této etapy postupný přesun souprav M1 do provozu na trasách A nebo B, jak je již v současné době naplánováno (17). Jestli bude určitý počet souprav ponechán na trase C jako záložní pro mimořádné účely, bude záležet na specifických podmínkách a požadavcích, které není možné v současné době předpovědět. Z toho důvodu bude na trase nadále ponechán programový pás PA-135, jehož demontáž bude provedena v samotném závěru tohoto přechodného období.

Osazení nástupištích stěn ve stanici RO bude provedeno již ve třetí etapě. Mezilehlé stanice CH a OP budou v omezeném provozu pouze pro jeden směr, dohromady ve 4 fázích. Konečná stanice HA představuje největší „výzvu“. Proto bude nezbytné zavést NAD nebo zvolit postupnou instalaci jednotlivých modulů. Ačkoli, jak již bylo nastíněno, se tato druhá možnost jeví jako neoptimální a komplikovaná, v tomto konkrétním případě by mohla představovat přijatelné řešení.

Tabulka 4 Základní charakteristiky čtvrté etapy první varianty

	Jízdní doba [min]		Doba obratu [min]				Celková doba oběhu [min]	Potřebný počet souprav
	LT – KC	RO – HA	LT	KC	RO	HA		
konvenční provoz	-	5	-	-	2	2	12	2
provoz dle CBTC	28	-	4,5	4,5	-	-	65	13

Zdroj: autor

3.1.5 Shrnutí první varianty

První varianta této diplomové práce se zaměřuje na minimalizaci dopadu výluk a uzavírek na pravidelný provoz metra, což je filozofie, která sice zvyšuje časovou náročnost, ale současně minimalizuje negativní dopady na komfort cestujících. Je však důležité zdůraznit, že úspěch této strategie vyžaduje precizní a systematické plánování a organizaci provozu. Zásadní je koordinace jednotlivých kroků, které jsou vzájemně propojeny a ovlivňují se, aby bylo dosaženo požadovaných cílů s co nejmenšími narušeními běžného provozu.

Navrhované změny v provozu by značně snížily přepravní kapacitu a reálnou nabídku, která by nesplňovala požadavky přepravní poptávky, zejména během ranních a odpoledních špiček v průběhu pracovních dnů. Z tohoto důvodu bylo rozhodnuto omezit zásahy do provozu pouze na víkendy. Je ale velmi důležité, aby příslušné stavební práce, zejména osazení nástupištích stěn, byly dokončeny včas v průběhu víkendu, aby nemuselo dojít k operativním omezujícím krokům pro pracovní dny.

3.2 Druhá varianta – etapově-uzavírkový provoz a organizace náhradní dopravy

V rámci druhé varianty se bude jednat o „etapově-úsekový“ výlukový provoz, v jehož průběhu bude docházet k postupnému uzavírání předem určených úseků trasy C, včetně lokalizovaných stanic. Pro každý takový úsek jsou pak navrženy odpovídající řešení náhradní povrchové dopravy. Na první pohled tento způsob představuje signifikantní zásah do provozu metra, který může dlouhodobě negativně ovlivnit plynulost přepravy cestujících. Na druhou stranu je patrné, že organizace řízení samotného provozu představuje daleko menší výzvu, než tomu je v předcházející variantě. Separací rekonstruovaného úseku z provozu lze nezávisle implementovat zcela nový systém řízení, aniž by bylo nutné přímo zasahovat do stávajícího provozního režimu (relativně vzhledem k první variantě).

Podobně jako v přechodí variantě, i zde je stěžejní vhodná etapizace příslušných úseků. Harmonogram je vytvořen s ohledem na konstrukční řešení trasy, dostupnost náhradní dopravy, proveditelnost, interoperabilitu s budoucí trasou D v jižní části města apod.

Na základě těchto vstupů byl autorem navrhnout postup pro kompletní rekonstrukci trasy C, který je uveden v tabulce 5.

Tabulka 5 Etapizace uzavírek jednotlivých úseků trasy C v rámci druhé varianty

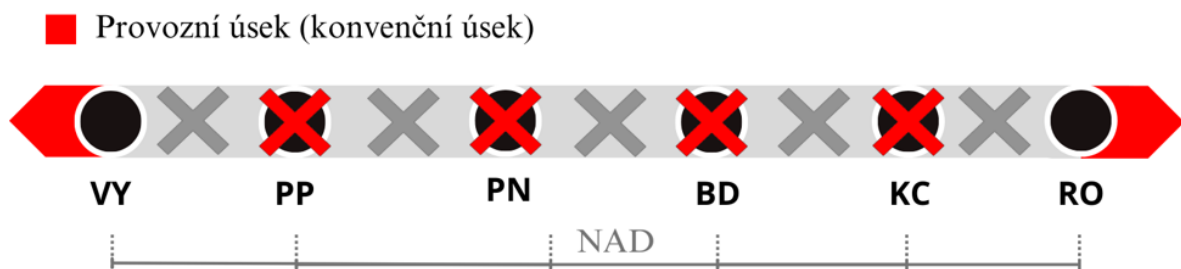
Etapa	Úsek
1.	Pražského povstání – Kačerov
2.	Rozptyly – Háje
3.	Vyšehrad – Florenc
4.	Vltavská – Kobylisy
5.	Ládví – Letňany

Zdroj: autor

3.2.1 První etapa (Pražského povstání – Kačerov)

U této etapy je zvolen mírně odlišný přístup. Namísto separace koncového, poměrně málo frekventovaného, úseku zde dojde k co nejdřívějšímu propojení s DK. Toto napojení poskytne nemalý počet výhod. Za prvé tento postup zajistí vysokou efektivitu testování a údržby, jelikož bude možné kdykoliv, dle potřeby, přesunout soupravy CBTC mezi DK a zvoleným úsekem PP – KC bez přímého narušení provozu na nezasažených úsecích. Další nespornou výhodou bude větší prostor pro zkušební provoz souprav, jelikož, mimo zkušební trať a uzavřený úsek, bude možné využívat i koleje zhlaví DK, včetně těch deponovacích. Tyto faktory mohou potenciálně mít významný vliv na úspěšnosti tohoto projektu.

Dojde k úplnému uzavření stanic PP, PN, BD a KC. Na obrázku 13 je uvedena grafická forma uzavírky tohoto úseku.



Zdroj: autor

Obrázek 13 Schématické znázornění uzavřeného úseku Pražského povstání – Kačerov

Pro částečnou kompenzaci bude později navrženo řešení alternativního způsobu dopravy mezi těmito stanicemi, včetně RO a VY. Dojde k instalaci traťového zařízení CBTC v mezistaničních úsecích, včetně KC – RO. Práce bude možné provádět kdykoliv na základě provozních, personálních či jakýkoliv jiných potřeb. Na úseku PP – VY bude zaveden „speciální rekonstrukční režim“, v jehož průběhu se budou práce provádět výhradně během nočních hodin. Tento režim bude zaveden kvůli potřebě udržet denní provoz na zmíněné kolejové spojkě, která bude klíčová pro obrat vlakových souprav.

Úsek byl vybrán zejména kvůli existenci kolejové spojky mezi stanicemi PP a VY, která, podobně jako v předchozí variantě, dovolí přejezd na druhou dopravní kolej, a tudíž provoz na úseku VY – LT bude moci být zachován bez výrazného omezení. Pakliže budou uváženy stejné časové hodnoty pro obrat vlaků (60 s) a jízdní dobu VY – PP (70 s), bude možné dosáhnout minimálního špičkového intervalu o velikosti 130 s. Kolejová spojka se nachází u stanice PP. Bude stačit, když dojde k povolení odjezdu následující (druhé) soupravy ze stanice VY v okamžiku odjezdu té první z PP. Touto formou budou postaveny bezkolizní vlakové cesty pro oba vlaky a zároveň bude minimalizován následný technický interval mezi soupravami, jehož minimalizace je žádoucí obzvláště ve špičkovém provozu. V sedle samozřejmě bude možné tento interval prodloužit. Aby bylo možné stihnout obrat vlaku do jedné minuty, tak bude, podobně jako v kapitole 3.2, aplikován již definovaný princip tzv. super střídání, jelikož v tomto případě není možné ve všech soupravách zabezpečit plnou obratovou četou (vysoký počet souprav by vyžadoval velký počet strojvedoucích).

Provoz opačným směrem, tedy ze stanice RO do HA, bude kvůli absenci kolejové spojky zajištěn kyvadlově stejným způsobem jako ve třetí etapě první varianty. Minimální interval tudíž bude opět 6 min.

Výluková náhradní povrchová doprava

Vzhledem k tomu, že tento úsek je velmi vytížený a navíc se jedná o mezilehlou část trasy, kde linka pokračuje v obou směrech, lze odhadnout významnou velikost přepravní zátěže, jak je patrné z přílohy B. Na základě těchto informací bude zajištěna NPD přiměřeným a adekvátním způsobem.

Při zavádění NPD je pochopitelně nutné brát v potaz celou řadu faktorů jako je umístění stanic metra či autobusových stanovišť, existující přestupní vazby, předpokládaný zásah do stávající dopravní sítě, trasování trvalých linek, kapacitu pozemních komunikací, počet dostupných náhradních dopravních prostředků atd.

Jelikož se v příslušném úseku nenachází adekvátní tramvajová síť v nezbytném rozsahu, bude nutné zajistit NPD pouze formou NAD. S ohledem na rozsáhlost plánovaných výlukových opatření se zdá být velmi nepravděpodobné, že i přes rozsáhlé přípravy bude možné zabezpečit náhradní dopravu v takovém rozsahu, aby dokázala plně nahradit běžný provozní režim metra.

Pro organizaci takového výlukového řešení je nejprve nutné provést výpočet doby jízdy pro oba směry a následně i dobu obratu. Většina z nich se nachází v těsné blízkosti stanic metra. Navrhovanou trasu NAD pro zastávkové výlukové řešení se nachází na obrázku 14.



Zdroj: autor s využitím (31)

Obrázek 14 Trasa NAD v průběhu první etapy (pro oba směry)

Pro organizaci takového výlukového řešení je nejprve nutné provést výpočet doby jízdy pro oba směry a následně i dobu obratu. Většina z nich se nachází v těsné blízkosti stanic metra. Stanoviště VY je umístěno v docházkové vzdálenosti od stanice metra, přičemž odhadovaný čas přesunu nepřesahuje 10 min. V blízkosti stanice se nenachází vhodné stanoviště pro autobusy.

Výpočet jízdních dob všech výlukových autobusů je proveden na základě dat poskytnutých DPP, aby zjištěné hodnoty představovaly co nejvíce skutečný stav. Průměrná cestovní rychlost autobusů DPP je $24,94 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ (27). Tento parametr zahrnuje i pobyty ve stanicích, ve kterých autobusy zastavují. Tímto způsobem dojde k přesnější aproximaci hodnoty průměrné rychlosti a následné jízdní doby, než by tomu bylo pouhým odhadem.

Vztah [6] uvádí obecný způsob výpočtu cestovní rychlosti ve VHD:

$$V_c = \frac{L}{t_j + n_z \cdot t_z} \cdot 60 \quad [\text{km} \cdot \text{h}^{-1}] \quad [6]$$

kde:

V_c cestovní rychlost autobusů [$\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$]

L délka linky (v tomto případě délka trasy NAD) [km]

t_j doba jízdy bez pobytu na zastávkách [min]

n_z počet mezilehlých zastávek [zastávek]

t_z průměrná doba pobytu na jedné zastávce [$\text{min} \cdot \text{počet zastávek}^{-1}$]

Za předpokladu, že cestovní rychlost V_c je stanovená konstanta, a naopak doba jízdy bez pobytu na zastávkách t_j je parametr neznámý, může být vyjádřen následujícím vztahem [7].

$$t_j = \frac{60 \cdot L}{V_c} - n_z \cdot t_z \quad [\text{min}] \quad [7]$$

Tento způsob výpočtu bude aplikován ve všech následujících výpočtech jízdních dob příslušných výlukových řešení. Délka trasy NAD pro první etapu je $L_{LT} = 8,1 \text{ km}$ ve směru LT a $L_{HA} = 7,1 \text{ km}$ ve směru HA. Průměrná délka doby pobytu na jedné zastávce $t_z = 0,5 \text{ min}$. Do této doby je započítána i časová přírážka určená pro zpomalení a zrychlení vozidla. Po dosažení příslušných hodnot do vzorce [7] je dosaženo hodnoty $t_{jLT} = 17,48 \text{ min}$ ve směru LT a $t_{jHA} = 15,08 \text{ min}$ ve směru HA. Na základě těchto výsledků lze vypočítat dobu oběhu t_0 ,

která se skládá z jízdy a pobytu na všech zastávkách (mezilehlých i konečných), pro oba směry. Výpočet je proveden dle vztahu [8]

$$t_0 = t_{jLT} + t_{jHA} + 2 \cdot (n_z \cdot t_z) + t_{kVY} + t_{kRO} \quad [min] \quad [8]$$

kde:

- t_0 doba oběhu [min]
- t_{jLT} doba jízdy ve směru LT bez pobytu na zastávkách [min]
- t_{jHA} doba jízdy ve směru HA bez pobytu na zastávkách [min]
- n_z počet mezilehlých zastávek [zastávek]
- t_z průměrná doba pobytu na jedné zastávce [min·počet zastávek⁻¹]
- t_{kVY} doba pobytu na konečné zastávce VY [min]
- t_{kRO} doba pobytu na konečné zastávce RO [min]

Doba pobytu na konečné zastávce RO je uvažována $t_{kRO} = 1$ min, na VY z důvodu potřeby přejezdu z příjezdové na odjezdové stanoviště $t_{kVY} = 3$ min. Doby jízdy t_j jsou zaokrouhleny směrem nahoru kvůli zachování konzistence a periodičnosti JŘ, a navíc vytvoření dodatečné časové rezervy. Po dosazení zjištěných hodnot do vztahu [8] vychází hodnota $t_0 = 42$ min.

Jelikož je z přepravního průzkumu (28) patrné, že mnoho cestujících v tomto úseku se přepravuje dále směrem do centra města, bude navíc zřízeno i přímé, tzv. „rychlíkové“, výlukové řešení. To bude propojovat obě konečné zastávky bez zastavení v mezilehlých zastávkách. Toto řešení nejenom ulehčí již značně zatíženému úseku silniční sítě, ale i výrazně zkrátí cestovní čas a sníží intenzitu přepravního proudu na PK mezi jednotlivými zastávkami. Touto formou se pro cestující, kteří mají zájem uzavřeným úsekem metra pouze projet, nabídne alternativní způsob přepravy.

Vzhledem k tomu, že většina trasy bude vedena ulicí 5. května (viz obrázek 14), která je kategorizována jako místní komunikace první třídy s maximální povolenou rychlostí $80 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, lze očekávat značné zkrácení doby jízdy na přibližně 7 minut (pro oba směry).

V tabulce 6 je uvedena předpokládaná konečná podoba výlukového jízdního řádu NAD pro úsek VY – RO během špičky. Zde je navržen 3minutový alternující interval mezi zastávkovými a rychlíkovými spoji (označeny písmenem R a lichým číslem příslušného oběhu).

Tabulka 6 Možné řešení JŘ NAD v úseku VY – RO ve špičkovém provozu

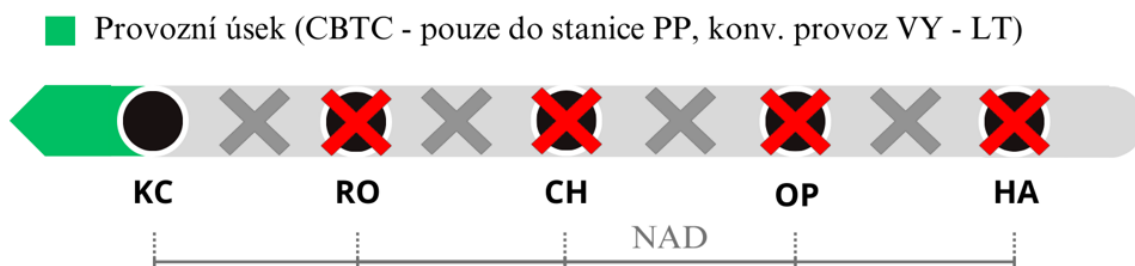
Číslo oběhu	Odjezd VY	Příjezd RO	Odjezd RO	Příjezd VY
2	7:00	7:18	7:19	7:39
R1	7:03	7:10	7:11	7:18
4	7:06	7:24	7:25	7:45
R3	7:09	7:16	7:17	7:24
6	7:12	7:30	7:31	7:51
R5	7:15	7:22	7:23	7:30
8	7:18	7:36	7:37	7:57
R1	7:21	7:28	7:29	7:36
10	7:24	7:42	7:43	8:03
R3	7:27	7:34	7:35	7:42
12	7:30	7:48	7:49	8:09
R5	7:33	7:40	7:41	7:48
14	7:36	7:54	7:55	8:15
R1	7:39	7:46	7:47	7:54
2	7:42	8:00	8:01	8:21
R3	7:45	7:52	7:53	8:00

Zdroj: autor

Za předpokladu, že by pro každý spoj zastávkového i rychlíkového řešení bylo nasazeno 5 autobusů (alespoň 1 autobus za každý vůz soupravy metra), celkový potřebný počet autobusů NAD pro špičkový alternující interval bude 50. Jelikož autobusová doprava není zdaleka tak plynulá jako ta provozována po speciální železniční dráze (je velmi senzitivní na vnější faktory jako jsou dopravní kongesce atd.), nejví se jako optimální nastavený interval dále snižovat.

3.2.2 Druhá etapa (Rožtyly – Háje)

Po úspěšném dokončení všech stavebních a zkušebních prací a uvedení prvního zrekonstruovaného úseku PP – KC do provozu dle CBTC dojde k zahájení druhé etapy, během které dojde dlouhodobému uzavření stanic RO, CH, OP a HA. Obrázek 15 názorně prezentuje druhou etapu projektu. Úsek KC – RO již v provozním stavu z předchozí etapy, ale nebude využíván, jelikož nebude pro něj vhodné využití (kromě možného odstavení vlakových souprav a podobných podpůrných operací).



Zdroj: autor

Obrázek 15 Schématické znázornění uzavřeného úseku Roztyly – Háje

Na modernizovaném úseku PP – KC dojde k zahájení provozu řízeným systémem CBTC. Lze ale očekávat, že ještě po delší časový úsek tento provoz bude řízen dle principů GoA 2 a 3 a tudíž bude zachován dohled strojvedoucího nad řízením souprav. Stavebně-dopravní charakteristika úseku umožní provoz kyvadlovým způsobem dle podmínek:

- na 1. dopravní koleji bude umožněn provoz v celém rozsahu, tzn. v úseku PP – KC,
- na 2. dopravní koleji bude provoz omezen pouze na úsek PN – KC, jelikož 2. staniční kolej ve stanici PP bude muset být uvolněna pro možný obrat souprav provozovaných konvenčním způsobem.

Výhodou tohoto rozložení a etapizace výstavby je taková, že provoz „horního ramene“ trasy C v úseku VY – LT bude moci být zachován z první etapy téměř beze změny. Hlavními výzvami této etapy bude zejména zajištění vhodných přestupních vazeb mezi zmíněnými rozdělenými úseky a zajištění vhodné náhradní povrchové dopravy za uzavřený úsek RO – HA. Stanice PP bude sloužit jako přestupní.

Jízdní doba v úseku PP – KC je v současnosti dle GVD cca 300 s, zároveň jízdní doba ve zkráceném úseku PN – KC je cca 180 s (4). Pro sjednocení intervalů odjezdů vlaků v obou směrech by bylo možné určit takové pravidlo, které by stanovilo, že vlak jezdící na kratší trase po druhé dopravní koleji by vždy vyčkal na své konečné stanici a vyjel pouze tehdy, až když druhý vlak, provozovaný na delší trase po první dopravní koleji, právě opustí protilehlou konečnou stanici. Ačkoli tato možnost nabízí lepší přehlednost, z hlediska efektivnosti provozu se jeví jako suboptimální, neboť přináší dodatečnou, a tedy nežádoucí, časovou prodlevu.

V tabulce 7 je uveden eventuální harmonogram, který by vzniknul, když by vlak, jedoucí po kratší trase, nečekal ve stanici pro synchronizaci protisměrných odjezdů.

Tabulka 7 Časový harmonogram odjezdů a příjezdů v pásmovém provozu Kačerov – Pražského povstání – Pankrác

Typ spoje	Odjezd KC	Příjezd PN	Příjezd PP	Odjezd PN	Odjezd PP	Příjezd KC	Interval mezi odjezdy z KC [min]
Delší	5:00		5:05		5:06	5:11	
Kratší	5:05	5:08		5:09		5:12	5
Delší	5:12		5:17		5:18	5:23	7
Kratší	5:13	5:16		5:17		5:20	1
Kratší	5:21	5:24		5:25		5:28	8
Delší	5:24		5:29		5:30	5:35	3
Kratší	5:29	5:32		5:33		5:36	5
Delší	5:36		5:41		5:42	5:47	7
Kratší	5:37	5:40		5:41		5:44	1
Kratší	5:45	5:48		5:49		5:52	8
Delší	5:48		5:53		5:54	5:59	3

Zdroj: autor

V tabulce 7 je patrné, že tento pásmový provoz má specifickou vlastnost. Ta stanovuje, že po každém druhém „kratším“ spoji následuje opět kratší (kratší spoj reprezentuje soupravy jedoucí pouze do stanice PN). Kromě této vlastnosti i intervaly mezi odjezdy z KC mají periodickou posloupnost – lze je vyjádřit deterministicky, nikoliv stochasticky. Tato posloupnost lze vyjádřit obecně matematicky vztahem [9].

$$a_k = a_{(k \bmod p)} \quad [-] \quad [9]$$

kde:

a_k hodnota k-tého prvku (intervalu) v posloupnosti [-]

k pořadové číslo (pořadí spoje) prvku/intervalu, pro který je třeba zjistit hodnotu [-]

p délka periodického cyklu [-]

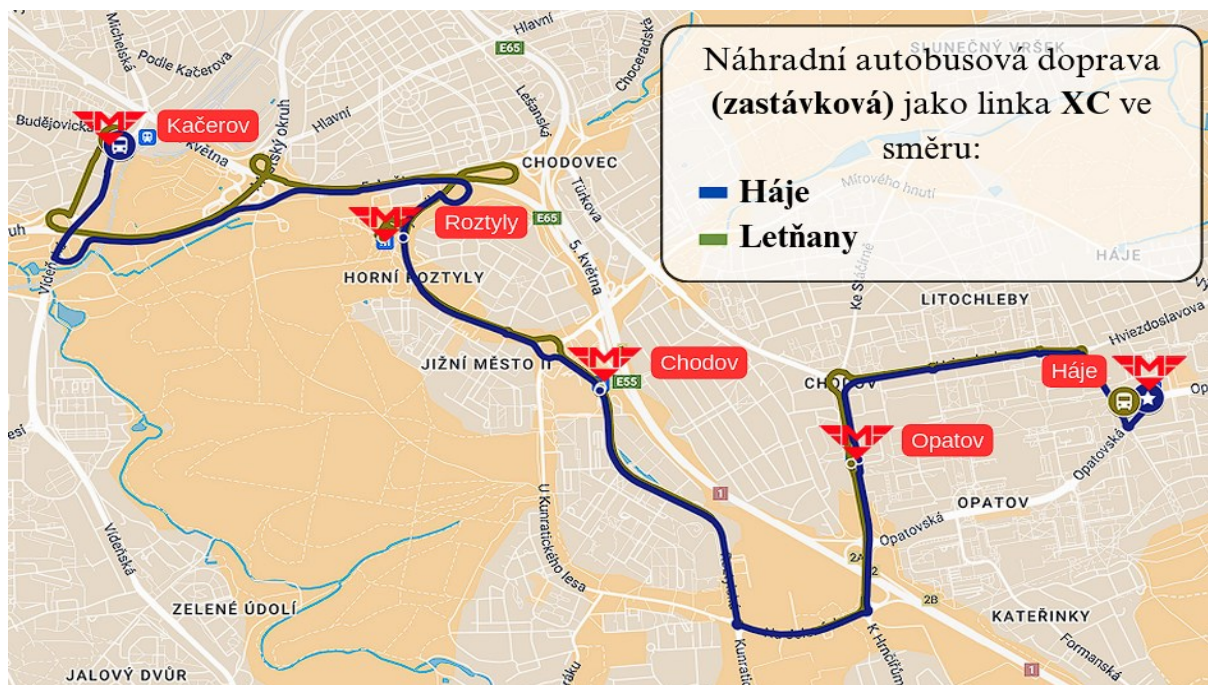
V tomto vztahu je délka periodického cyklu předem determinovaná konstanta $p = 5$, jelikož se jedná o cyklickou periodu opakující se po 5 prvcích. Vztah udává, že zbytek po dělení proměnné k konstantou p se využije jako index z definované posloupnosti $a_0 = 5, a_1 = 7, a_2 = 1, a_3 = 8, a_4 = 3$ (viz tabulka 7). Tím, že indexace posloupnosti začíná pro a od 0 platí, že pokud zbytek po dělení je 0, tak veličina a se rovná první hodnotě, v tomto případě 5. Toto matematické vyjádření je důkazem, i přes rozdílné doby jízdy, by existovala v JŘ logická perioda, což se dá považovat za kladnou vlastnost. Totéž platí i o příjezdech do stanice KC, kdy taky zde existuje pětiprvková opakující se perioda, akorát s jinými hodnotami a_k .

Výluková náhradní doprava

NPD v rámci této etapy představuje menší výzvu, než tomu je v předchozí etapě. Jeden z hlavních důvodů tohoto tvrzení je skutečnost, že ve stanici HA končí trasa C, a tudíž bude stačit NPD zajistit pouze k této stanici. Není nutné z této strany zajišťovat přestupní vazbu na provozní metro jako tomu bylo v předchozím případě, kdy si sice byly uzavřeny stanice v úseku PP – KC, ale bylo nutné zajistit dopravu i do stanic následujících – pro oba směry.

NPD bude zajištěna v úseku HA – KC s možností přestupu na automatizované metro provozované kyvadlově dle již definovaného principu. Celkem se tedy jedná o 5 zastávek NAD. Celková odhadovaná trasa této linky, označované tradičně opět jako XC, je cca 10,5 km ve směru LT a cca 9,5 km ve směru HA.

Na obrázku 16 je znázorněna trasy pro NAD pro oba směry v průběhu druhé etapy.



Zdroj: autor s využitím (31)

Obrázek 16 Trasa NAD v průběhu druhé etapy (pro oba směry)

Za předpokladu, že bude uvažována průměrná cestovní rychlost na $V_c = 24,94 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, lze opět vypočítat jízdní doby pro oba směry dle již definovaného vztahu [7]. Jízdní doba bez zastavení v mezilehlých zastávkách je $t_{JLT} = 23,76 \text{ min}$ ve směru LT a $t_{JHA} = 21,35 \text{ min}$ ve směru HA. Doba pobytu na konečné zastávce t_k je v tomto případě uvažována stejná pro obě konečné stanice (1 min). Na rozdíl od stanovišť u stanice VY jsou příjezdové i odjezdové stanoviště v těsné blízkosti. Nyní už jsou známy veškeré parametry pro výpočet doby oběhu dle vztahu [8], která v tomto případě odpovídá hodnotě $t_0 = 51 \text{ min}$. Aby mohla být snadněji

dodržena periodičnost JŘ, dojde k prodloužení této hodnoty na 52 minut prodloužením doby pobytu na libovolné konečné zastávce.

Tabulka 8 Možné řešení JŘ NAD v úseku Kačerov – Háje ve špičkovém provozu

Číslo oběhu	Odjezd KC	Příjezd HA	Odjezd HA	Příjezd KC
2	7:00	7:26	7:27	7:50
R1	7:02	7:12	7:13	7:23
4	7:04	7:30	7:31	7:54
6	7:08	7:34	7:35	7:58
R2	7:10	7:20	7:21	7:31
8	7:12	7:38	7:39	8:02
10	7:16	7:42	7:43	8:06
R3	7:18	7:28	7:29	7:39
12	7:20	7:46	7:47	8:10
R1	7:24	7:34	7:35	7:45
14	7:24	7:50	7:51	8:14
16	7:28	7:54	7:55	8:18
R2	7:32	7:42	7:43	7:53
18	7:32	7:58	7:59	8:22
20	7:36	8:02	8:03	8:26
R3	7:40	7:50	7:51	8:01
22	7:40	8:06	8:07	8:30
24	7:44	8:10	8:11	8:34
R1	7:46	7:56	7:57	8:07
26	7:48	8:14	8:15	8:38
2	7:52	8:18	8:19	8:42

Zdroj: autor

Návrh JŘ ve špičce je uveden v tabulce 8. Význam a princip značení oběhů je zachován z předešlé etapy.

Rychlíková linka NAD je opět zavedena, avšak ne ve stejné frekvenci jako zastávková (jako tomu je v předešlé etapě). Její potenciální využití je omezeno pouze pro cestující, jejichž výchozí stanice je HA, případně OP. Místo toho je navrženo snížení intervalu mezi zastávkovými spoji z 6 minut z předchozí varianty na 4 min a ke vložení rychlíkového spoje mezi každou druhou dvojici zastávkových spojů. Tím vznikne interval o velikosti 8 minut mezi rychlíkovou NAD.

V tabulce je znázorněn jeden oběhový cyklus (končící příjezdem oběhu č. 26 ke stanici KC). To znamená, že bude třeba 13 skupin vozů zastávkové a 3 rychlíkové NAD. Celkový odhadovaný počet vozů NAD pro špičkový provoz je 80 (za předpokladu, že bude opět pro každý spoj vymezeno 5 vozů). Je nutné podotknout, že signifikantně vyšší počet potřebných

vozů NAD (80) oproti předešlé etapě (50) není způsobený vyšší přepravní poptávkou, nýbrž pouze délkou linky. Přepravní kapacita je naopak menší vzhledem k nižší frekvenci spojů.

3.2.3 Třetí etapa (Vyšehrad – Hlavní nádraží)

Započetím třetí etapy nastane pravděpodobně ta nejnáročnější a nejkritičtější část přechodného období v rámci této varianty. Tento fakt je daný zejména charakterem a umístěním dotčeného úseku. Jedná se o nejvytíženější úsek trasy C se stanicí IP, která je zároveň tou nejvytíženější stanicí v rámci celé sítě pražského metra.

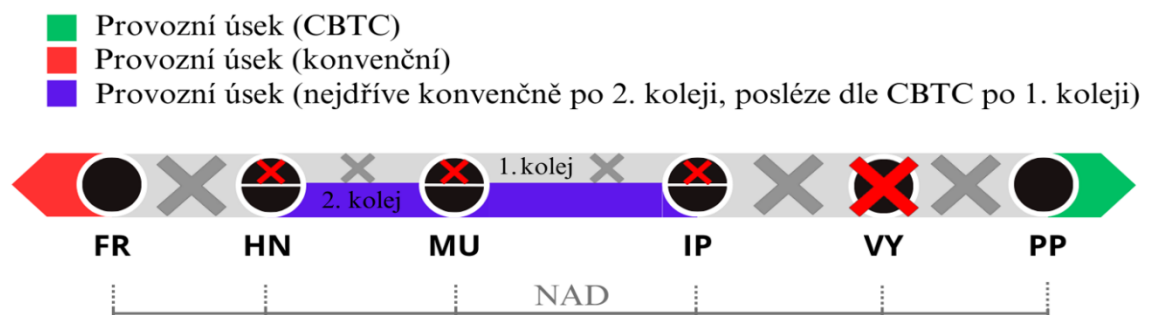
Bude jednat o nepřetržitou výlukou, která bude probíhat i přes všední dny. Kompletní uzavření provozu metra se jeví jako neproveditelný návrh, resp. jeho provedení by s největší pravděpodobností mělo za následek kompletní destabilizaci povrchové dopravní sítě. I když tato část města disponuje nejhustší tramvajovou sítí, která je schopná pokrýt velkou část přepravního proudu vzniklého uzavřením konkrétních úseků tras metra (obzvláště dojde-li k posílení četnosti spojů či adekvátní změně trasování tramvajových linek), nelze pouze spoléhat na tato výlukové opatření. NAD je dalším pochopitelným nástrojem nezbytným pro pokrytí přepravní poptávky, ale vzhledem k vysokému počtu cestujících ve špičkových hodinách ve všedních dnech by bylo potřeba nasadit příliš velký počet autobusů NAD. Tento způsob představuje až moc velkou finanční, organizační a dopravní zátěž.

Z tohoto důvodu v rámci této varianty nedojde ke kompletnímu uzavření vymezeného úseku metra. Namísto původního plánu bude tato etapa této varianty rozdělena na dvě subetapy. Během každé z nich dojde k uzavření pouze jedné z dopravních kolejí a souvisejících nástupních hran, aby mohly být provedeny instalace nástupištních stěn. Tento přístup umožní pokračování provozu na druhé koleji, což zmenší dopad na cestující a aspoň částečně sníží intenzitu povrchových přepravních proudů.

Je nutné počítat s tím, že i přes zachování provozu na jedné koleji dojde k výraznému snížení propustnosti tratě. Bude možné zajistit provoz kyvadlově pouze jednou soupravou. Pro minimalizaci intervalu bude provoz omezen pouze na úsek IP – HN. Toto omezení, zahrnující zkrácení provozního úseku, umožní zachovat kratší interval mezi spoji a zlepšit tak efektivitu a plynulost dopravy na tomto klíčovém úseku. Stanice VY, z hlediska průměrného počtu přepravených cestujících, je výrazně za stanicemi IP, MU a HN. Všechny tyto stanice představují významné dopravní uzly, jejichž provoz by měl být aspoň částečně zachován. Provoz v úseku HN a FR bude kompletně přerušeno, to samé platí o úseku IP – PP. Doporučené přestupní vazby vypadají následovně:

- Cestující jedoucí ze směru HA využijí zastávkou NAD ze stanice PP až do stanice FR nebo pouze do stanice IP, kde budou mít možnost přestoupit na vlak metra jedoucí do stanice HN.
- Cestující jedoucí ze směru LT využijí zastávkou NAD ze stanice FR až do stanice PP nebo pouze do stanice HN, kde budou moci přestoupit na vlak metra jedoucí do stanice IP.
- Cestující přestupující z trasy A na trasu C ve směru LT by radši měli přestoupit ve stanici MS z trasy A na B a pak pokračovat do stanice FR, kde teprve přestoupí na trasu C, aby nemuseli využít NPD.
- Cestujícím přestupujícím z trasy B na trasu C ve směru HA se doporučuje přestoupit ve stanici MS na trasu B, ze které budou pokračovat do stanice MU, kde budou moci přestoupit na vyhrazený úsek metra, aby nemuseli využít NPD (optimální pouze pokud směřují do stanic MU, IP nebo HN).

Jízdní doba IP – HN činí dle GVD, včetně pobytu ve stanici MU, cca 180 s (4). Minimální interval mezi spoji ve stejném směru činí cca 480 s (8 min). Při provádění výpočtu je zohledněn konstantní časový interval trvající 60 s, který je určen pro obrat vlaku ve stanici a pro vyrovnání časových rozdílů vzhledem k GVD. Identifikovaný interval, ačkoliv výrazně snižuje běžně provozní kapacitu tratě, stále představuje signifikantní zlepšení oproti scénáři s úplným přerušením provozu. V daném kontextu by implementace periodického JŘ, charakterizovaného uniformním intervalovým rozvrhem po celou dobu provozu, představovala optimální řešení. Tento přístup by znamenal konstantní interval mezi spoji po celý den bez diferenciací pro špičkové nebo mimošpičkové období, což je vhodné zejména v situaci, kdy daný interval je výrazně vyšší oproti běžným podmínkám. Zvýšení intervalu by bylo možné zvážit pouze ve scénářích, kdy, zejména o víkendech, dosahuje interval hodnoty 10 min.



Zdroj: autor

Obrázek 17 Schématické znázornění částečně uzavřeného úseku Vyšehrad – Hlavní nádraží

V rámci zajištění dopravní obsluhy na zbytku trasy C bude na již zrekonstruovaném úseku PP – HA zajištěn obousměrný provoz souprav CBTC. Obrat souprav proběhne těsně za stanicí PP, kde dojde k přejezdu z 1. na 2. kolej. V úseku FR – LT bude zajištěn konvenční obousměrný provoz v rámci kterého vlaky provedou obrat přes kolejové křížení za stanicí FR. Přesnou podobu zajištění provozu lze vidět na obrázku 17.

Náhradní povrchová doprava

V kontextu této etapy je klíčové zajistit efektivní a přiměřenou NPD vzhledem k významným přepravním proudům cestujících. Stěžejným opěrným faktorem bude zastávková linka XC NAD, která bude vést téměř v celém úseku po Severojižní magistrále. V tomto případě vzniká otázka kapacity této pozemní komunikace (PK), jelikož se jedná o jednu z nejvytíženějších dopravních tepen a zejména v období dopravní špičky by mohlo přidání nového přepravního proudu v podobě autobusů NAD přispět zásadním způsobem k vytvoření závažných dopravních kongescí, což by dále mělo vliv na dopravu v tomto úseku. Jedno z možných řešení je zvýšení preference VHD v podobě vytvoření dočasných vyhrazených jízdních pruhů pro autobusy. Tento vyhrazený pruh bude implementován v těch segmentech PK, kde existují tři nebo více jízdních pruhů ve stejném směru, aby se předešlo nadměrnému omezení IAD v důsledku přílišného snížení počtu dostupných pruhů pro osobní automobily. Jelikož se dá předpokládat, že i v takovém případě se riziko vzniku dopravních kongescí signifikantně zvýší, bude nutné s dostatečným předstihem a odpovídajícím způsobem vyzramět účastníky provozu, aby se mohli na dané omezující opatření připravit a případně změnit své dopravní chování (využít alternativních tras, změnit obor dopravy apod.).

Odhadovaná vzdálenost trasy NAD ve směru HA je cca 4,4 km, v opačném směru pak 4,8 km. Obrat autobusů z příjezdového na odjezdové stanoviště pak představuje vzdálenost 1,4 km. Na základě těchto dat lze určit dobu oběhu t_0 dle již definovaného vztahu [8]. Doba linky $t_j = 28$ min (při výpočtu jízdní doby v obou směrech zaokrouhleny nahoru).

Pro tuto linku by mohl být vhodně zaveden střídavý interval, jaký je běžně používán v rámci standardního provozu. V tomto případě konkrétně v poměru 2:3 min. Tímto způsobem je možné zajistit periodičnost JŘ s ohledem na dobu linky t_j . Použití lichého intervalu, specificky 3minutového, by neumožnilo efektivně propojit poslední a první oběh linky, zatímco sudé intervaly by neposkytly optimální řešení: dvouminutový interval by vedl k nadměrné frekvenci spojů, zatímco čtyřminutový by způsobil jejich nedostatek (vzhledem k běžnému provozu). Je náročné předem přesně určit velikost dopravního proudu cestujících, avšak vzhledem k dlouhodobému charakteru této výluky bude zcela jistě možné flexibilně upravovat počet spojů dle potřeb v reálném čase.

Vycházejí z předpokladu, že na jeden spoj bude nasazeno 5 autobusů a s ohledem na celkový počet oběhů, který činí 11, bude pro zajištění stálé a spolehlivé dopravní obsluhy na lince XC nutné disponovat minimálně 55 autobusy.

V tabulce 9 je uveden špičkový harmonogram zohledňující již zmíněný střídavý interval a zajištěnou cykličnost oběhů.

Tabulka 9 Možné řešení JŘ NAD v úseku Pražského povstání – Florenc ve špičkovém provozu

Číslo oběhu	Odjezd FR	Příjezd PP	Odjezd PP	Příjezd FR
2	6:00	6:11	6:12	6:24
4	6:03	6:14	6:15	6:27
6	6:05	6:16	6:17	6:29
8	6:08	6:19	6:20	6:32
10	6:10	6:21	6:22	6:34
12	6:13	6:24	6:25	6:37
14	6:15	6:26	6:27	6:39
16	6:18	6:29	6:30	6:42
18	6:20	6:31	6:32	6:44
20	6:23	6:34	6:35	6:47
22	6:25	6:36	6:37	6:49
2	6:28	6:39	6:40	6:52

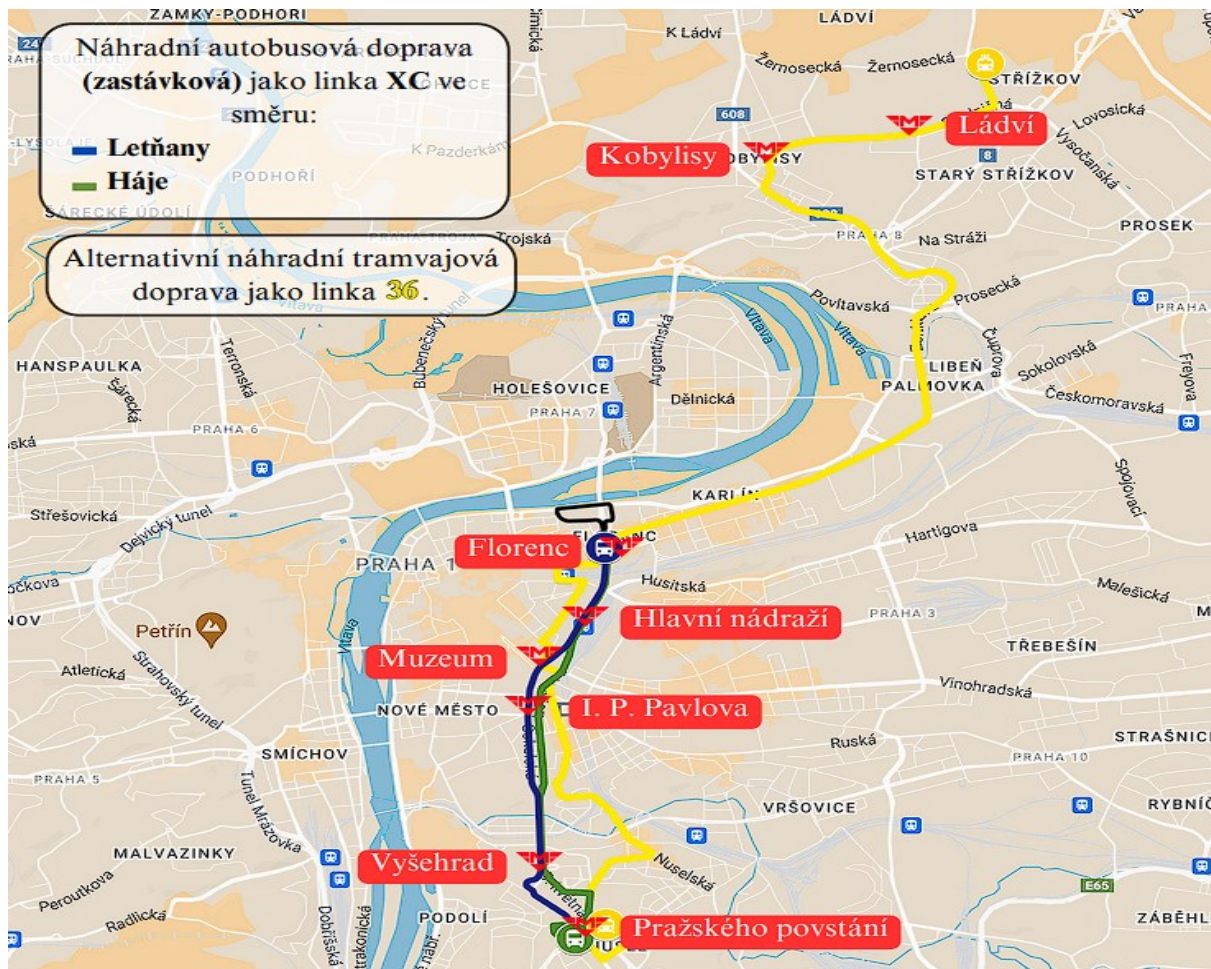
Zdroj: autor

Pro zajištění dostatečné kapacity pro cestující bude v rámci této etapy zajištěna i alternativní náhradní tramvajová doprava. Tato výluková linka bude sloužit k posílení MHD v oblasti normálně pokryté trasou C metra. Tato linka, pro účely této práce označená jako linka č. 36, bude v zajištěna v denním provozu v následující trase: *Vozovna Pankrác – Na Veselí – Kotorská – Pražského povstání – Palouček – Nuselská radnice – Náměstí Bratří Synků – Nuselské schody – Pod Karlovem – Bruselská – I. P. Pavlova – Muzeum – Hlavní nádraží (ul. Opletalova) – Masarykovo nádraží – Florenc – Karlínské náměstí – Křižíkova – Urxova – Invalidovna – Palmovka (ul. Zenklova) – Divadlo pod Palmovkou – Libeňský zámek – U kříže – Vosmíkových – Bulovka – Vychovatelna – Okrouhlická – Ke Stírce – Kobylisy – Střelničná – Kyselova – Ládví – Štěpničná – Třebenická – Sídliště Ďáblice.*

Aby bylo možné zahájit provoz tramvajové linky 36 v uvedené trase, je nutné, aby byl do té doby zcela dokončen a zprovozněn plánovaný úsek tramvajové tratě spojující Hlavní nádraží a Václavské náměstí. Následně by měl být integrován do stávající tramvajové sítě prostřednictvím ulice Vinohradská. Současně dojde k úpravě trasy tramvajové linky 18,

jejíž konečná stanice bude už zastávka Náměstí Bratří Synků. Toto opatření zajistí, že obrotiště v zastávce Vozovna Pankrác bude výhradně k dispozici pro tramvaje linky 36.

Na obrázku 18 je znázorněna trasa linky XC NAD pro oba směry a linka 36 alternativní tramvajové dopravy.



Zdroj: autor s využitím (31)

Obrázek 18 Trasa NPD v průběhu třetí etapy (pro oba směry)

Intervaly tramvajové linky 36 budou primárně záviset na dostupnosti náhradních tramvajových vozidel. Nicméně by bylo žádoucí zajistit běžně využívané intervaly o velikosti:

- 8 min ve špičkách,
- 10 min v poledne,
- 15 min o víkendu,
- 20 min večer.

Tato kombinace intervalů se v současné době využívá na všech linkách, kromě těch páteřních (linky 9, 17, 22), kde spoje jsou provozovány v polovičních intervalech (29).

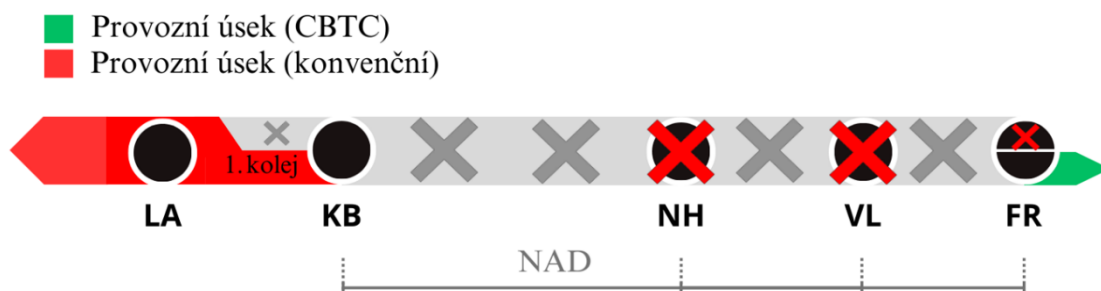
3.2.4 Čtvrtá etapa (Florenc – Nádraží Holešovice)

Po úspěšném dokončení velmi náročné třetí etapy dojde k zahájení další etapy, která naopak bude z hlediska provozu výrazněji méně náročná. V rámci této etapy dojde k uzavření pouze 3 stanic – FR, VL a NH. Důvodem pro nerozšíření tohoto úseku o další stanice je zejména velká délka mezistaničního úseku NH – KB (2 748 m). Nezahrnutím této stanice umožní využití menší počet souprav M1 (při zachování stejného intervalu), což koresponduje s nezbytností postupného uvolňování deponovací kapacity DK kvůli rostoucímu počtu provozních souprav CBTC. Dalším stěžejním důvodem je možnost využití obrátového stanoviště za stanicí NH, které poskytne daleko lepší podmínky, než by tomu tak bylo např. přes kolejové křížení před stanicí LA.

Jako tomu bylo v předchozí etapě, ve stanici FR bude uzavřena současně jenom jedna strana nástupiště, která bude opět rozdělena mobilním oplocením vedoucím osou nástupiště. Klíčové argumenty proti úplnému uzavření stanice:

- Stanice FR je přestupní stanice mezi trasami C a B. Ačkoliv v případě uzavření existují alternativní přestupní vazby (např. ve stanici MS z trasy B na A a posléze ve stanici MU na trasu C), avšak není zaručené, že toto řešení bude dostačující při dlouhodobé výluce.
- Je nezbytné uvolnit jednu staniční kolej pro možný obrat souprav přes kolejový kříž umístěný v těsné blízkosti stanice FR.

Na obrázku 19 je schematicky znázorněné výlukové řešení pro čtvrtou etapu.



Zdroj: autor

Obrázek 19 Schématické znázornění uzavřeného úseku Florenc – Kobylysy

Vzhledem k tomu, že zmiňované kolejové křížení u stanice FR zajišťuje dostatečnou propustnost trati, bude možné řídit provoz na již modernizovaném úseku trasy mezi stanicemi FR a HA bez závažných omezení.

Provoz na zbývajícím konvenčním úseku KB – LT bude organizován následovně:

- V úseku mezi stanicemi LA a LT bude provoz vlaků probíhat v obou směrech na obou kolejích.
- V úseku mezi stanicemi KB a LA bude provoz vlaků omezen pouze na jednu kolej. Vlaky provedou obrat ve stanici KB a posléze před stanicí LA dojde k přejezdu na kolej pro správný směr jízdy.

Náhradní povrchová doprava

Linka NAD bude zavedena v úseku FR – KB. Jelikož dle plánu nedojde k úplnému uzavření stanice FR, tak nebude nutné rozšířit rozsah NAD až do stanice HN, což je vhodnější řešení i vzhledem k obratovým a prostorovým možnostem u stanice FR.

Odhadovaná délka trasy NAD ve směru KB/LT činí cca 7,52 km, ve směru FR/HA pak 7,22 km. Celková délka linky pro oba směry činí cca 15,44 km (ve výpočtu zahrnuta i vzdálenost určená pro obrat autobusů). Doba oběhu t_0 , dle vztahu [8], činí cca 41 min (doba pobytu v zastávce KB uvažována $t_{kKB} = 3$ min kvůli delšímu obratu a $t_{kFR} = 1$ min v zastávce FR). Vzhledem k intenzitě proudů cestujících projíždějícím tímto úsek bude zavedena opět i rychlíková alternativa NAD. V tabulce 10 je možné řešení NAD pro tuto etapu.

Tabulka 10 Možné řešení JŘ NAD na úseku Florenc – Kobylisy ve špičkovém provozu

Číslo oběhu	Odjezd FR	Příjezd KB	Odjezd KB	Příjezd FR
2	6:00	6:18	6:21	6:39
R1	6:02	6:15	6:18	6:31
4	6:05	6:23	6:26	6:44
6	6:10	6:28	6:31	6:49
R2	6:12	6:25	6:28	6:41
8	6:15	6:33	6:36	6:54
10	6:20	6:38	6:41	6:59
R3	6:22	6:35	6:38	6:51
12	6:25	6:43	6:46	7:04
14	6:30	6:48	6:51	7:09
R1	6:32	6:45	6:48	7:01
16	6:35	6:53	6:56	7:14
2	6:40	6:58	7:01	7:19

Zdroj: autor

Na rozdíl od druhé etapy, kde není k dispozici podpora tramvajové dopravy, v této etapě budou cestující mít možnost využít alternativní formy přepravy. V důsledku toho bude interval frekvence spojů NAD mírně nižší. Trasa rychlíkové NAD bude kopírovat trasu tramvajové

linky č. 3 kolem meandru Vltavy. Délka této trasy je cca 6,1 km odhadovaná délka jízdy je 13 minut, doba jednoho uceleného oběhu je pak 30 min. Vzhledem k zmíněné dostupnosti alternativních způsobu přepravy bude zorganizována zastávková linka XC NAD v pravidelném intervalu o velikosti 5 min a vložena rychlíková linka s intervalem 10 min.

Na obrázku 20 je znázorněna trasa NAD pro čtvrtou etapu.



Zdroj: autor s využitím (31)

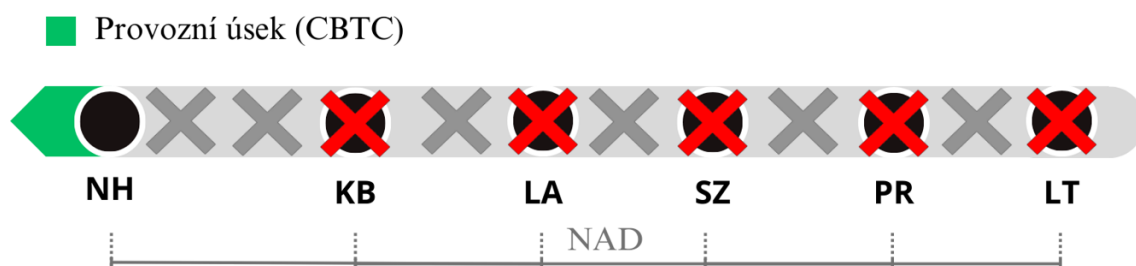
Obrázek 20 Trasa NAD v průběhu čtvrté etapy (pro oba směry)

Dalším výlukovým řešením v rámci této etapy bude odklon páteřní tramvajové linky 17 vedoucí z jihu na sever města. Linka bude tímto způsobem provozována v pracovních dnech pro další kompenzaci za uzavřený úsek metra. Linka bude odkloněna ze zastávky *Strossmayerovo náměstí* přes zastávku *Bílá labuť* (přestup na metro, st. FR), *Štvanice*, *Vltavská*, *Holešovická tržnice*, *Tusarova*, *Dělnická*, *Ortenovo náměstí*, *Nádraží Holešovice* (ul. Plynární), kde bude dále linka pokračovat v pravidelné trase. V příloze E je znázorněn výlukový odklon trasy oproti pravidelnému stavu. S ohledem na mírné prodloužení trasy je nutné zajistit přídatný počet vozů, které umožní udržet standardní intervaly mezi spoji.

3.2.5 Pátá etapa (Kobylisy – Letňany)

V rámci poslední etapy této varianty dojde ke kompletnímu uzavření posledního úseku KB – LT, konkrétně stanic KB, LA, SZ, PR a LT. Přestože na první pohled může uzavření většího počtu stanic současně (5) působit jako významný zásah do provozu, je třeba vzít v úvahu, že z hlediska přepravených cestujících se jedná o nejméně zatížený úsek trasy C (28). Navíc tento úsek není tranzitní, vzhledem k tomu, že linka C končí ve stanici LT. Tato skutečnost může částečně zmírnit dopad na cestující a umožnit efektivnější realizaci plánovaných prací. Navíc subsekventní rozdělení této varianty ještě do více etap by způsobilo další prodloužení přechodného období.

Etapizace tohoto charakteru dovolí zahájení provozu dle CBTC v úseku HA – NH. Stanice NH disponuje obrátovým stanovištěm, jehož kapacita je dostatečná pro zvládnutí požadované špičkové frekvence spojů. Omezujícím faktorem budou zejména provozně-technologické možnosti systému CBTC, nikoliv samotné stavební řešení tratě. Na obrázku 21 lze vidět grafickou podobu uzavírky posledního úseku v rámci této návrhové varianty.



Zdroj: autor

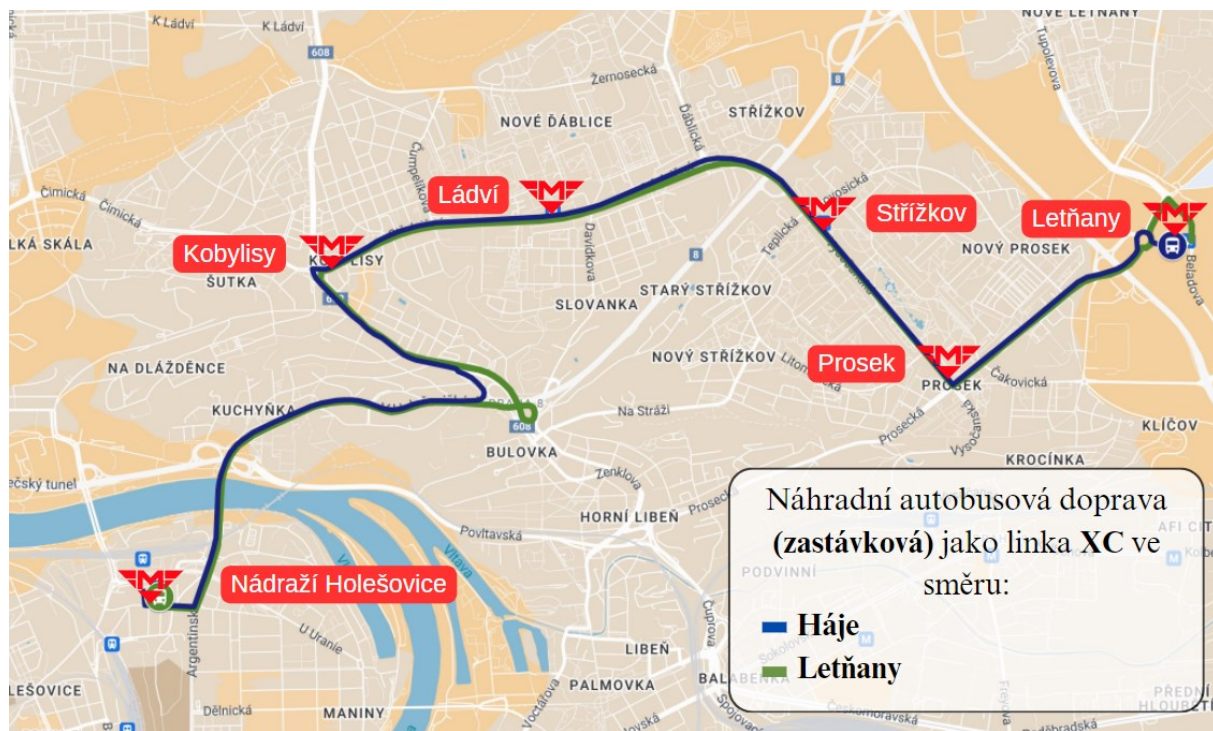
Obrázek 21 Schématické znázornění uzavřeného úseku Kobylisy – Letňany

Náhradní povrchová doprava

Primární náhradou za uzavřený úsek metra bude opět NAD (výluková zastávková linka XC). Ta bude zajištěna od stanice NH se zajištěnou přestupní vazbou na metro ke stanici LT se zastávkou u všech zmíněných mezilehlých stanic.

Odhadovaná délka trasy ve směru LT je cca 10 km, v opačném směru pak cca 9,3 km. Po dosažení do vztahu [7] vychází doba jízdy bez pobytu na zastávkách ve směru LT $t_{jLT} \doteq 23$ min, v opačném směru $t_{jHA} \doteq 21$ min. Doba zdržení t_k na konečných zastávkách je prodloužena v obou případech na 2 min pro zajištění vhodnější doby oběhu vozidla.

Podle výpočtu založeného na vzorci [8] byla určena celková doba jednoho oběhu vozidla, která činí $t_0 = 52$ min. Na obrázku 22 lze vidět návrh NAD pro pátou etapu.



Zdroj: autor s využitím (31)

Obrázek 22 Trasa NAD v průběhu páté etapy (pro oba směry)

Zřízení rychlíkové linky NAD se nezdá být nutné, protože počet cestujících přijíždějících do a odjíždějících ze stanice LT není dostatečně vysoký, aby to bylo odůvodněné (28). Kromě toho, navrhovaná trasa rychlíkové linky by nezajistila podstatné snížení délky trasy, což je zásadní aspekt, obzvláště v případě druhé varianty s uzavřeným koncem trasy. Vzhledem k omezenému rozsahu tramvajové infrastruktury je v tomto úseku omezená možnost využití tramvajové dopavy. Tramvajová trať je k dispozici pouze ke stanici LA, což neumožňuje přímé tramvajové spojení ke stanicím SZ, PR a LT. Tyto stanice jsou tak přístupné výhradně prostřednictvím autobusové dopavy. Způsobů úpravy pravidelných tramvajových linek je několik a bude záležet na aktuálních požadavcích a poptávce. Za zmínku stojí například odklon linky 17 od zastávky Kobyliše směrem Sídliště Ďáblice, čímž by došlo alespoň k pokrytí přepravní poptávky až ke stanici LA.

V tabulce 11 je výsek možného řešení JŘ pro poslední etapu této varianty.

Tabulka 11 Možné řešení JŘ NAD na úseku Nádraží Holešovice – Letňany ve špičkovém provozu

Číslo oběhu	Odjezd NH	Příjezd LT	Odjezd LT	Příjezd NH
2	6:00	6:25	6:27	6:50
4	6:04	6:29	6:31	6:54
6	6:08	6:33	6:35	6:58
8	6:12	6:37	6:39	7:02
10	6:16	6:41	6:43	7:06
12	6:20	6:45	6:47	7:10
14	6:24	6:49	6:51	7:14
16	6:28	6:53	6:55	7:18
18	6:32	6:57	6:59	7:22
20	6:36	7:01	7:03	7:26
22	6:40	7:05	7:07	7:30
24	6:44	7:09	7:11	7:34
26	6:48	7:13	7:15	7:38
2	6:52	7:17	7:19	7:42

Zdroj: autor

3.2.6 Shrnutí druhé varianty

Druhá varianta se od té první odlišuje razantnějším a přímočařejším přístupem k přechodu na automatizovaný princip řízení metra v podobě kompletního uzavření metra se zaměřením na minimalizaci doby trvání přechodného období. Ačkoliv základním principem bylo úplné znepřístupnění jednotlivých stanic metra pro cestující, tak i přesto se v této variantě počítá se zachováním částečného provozu po jedné koleji ve stanicích IP, MU, HN (třetí etapa) a FR (čtvrtá etapa). Všechny návrhy a výluková řešení jsou implementovány vzhledem k charakteristikám jednotlivých úseků a příslušné NPD. Rychlíkové linky jsou pak navrhovány s ohledem na dopravní chování cestujících (např. že proudy cestujících jsou intenzivnější směrem do centra města, než mimo atd.).

V tabulce 12 je uvedena shrnutí vybraných relevantních charakteristik všech etap tohoto návrhu.

Tabulka 12 Shrnutí etap druhé varianty

	Etapa				
	První	Druhá	Třetí	Čtvrtá	Pátá
Úsek	<i>PP – KC</i>	<i>RO – HA</i>	<i>VY – HN</i>	<i>FR – NH</i>	<i>KB – LT</i>
Min. interval NAD	180 s *	240 s **	120 s ***	300 s **	240
Odhadovaný potřebný počet souprav M1	23	23	16	4	0
Tramvajová dostupnost	NE	NE	ANO	ANO	Částečná
Zavedena alternativní náhradní tram. doprava	NE	NE	ANO	NE	NE
Zavedena "rychlíková" linka NAD	ANO	ANO	NE	ANO	NE
Vyžadovaný počet vozů NAD	50	80	55	55	65
* <i>alternující interval mezi zastávkovým a rychlíkovým spojem</i> ** <i>mezi každou druhou dvojicí zastávkových spojů vložen jeden rychlíkový</i> *** <i>alternující interval (120 a 180 s)</i>					

Zdroj: autor

4 VYHODNOCENÍ VARIANT ŘÍZENÍ SMÍŠENÉHO PROVOZU

Poslední kapitola této práce se věnuje vyhodnocení a porovnání obou navržených variant. Vzhledem k jejich diverzitě představuje tento úkol nemalou výzvu. Dekompozice, neboli rozdělení systému (v tomto případě varianty) na dílčí subsystémy – kritéria, je obvyklým krokem pro určování efektivity a vhodnosti příslušných návrhů. Tyto kritéria bývají pak kvantifikována z hlediska jejich významnosti a pak dále využita v různých rozhodovacích modelech dle charakteru příslušné problematiky. Existují 4 základní kritéria, které spojují obě návrhové varianty této práce – ekonomické, časové, provozně-intervenční a přepravně-kapacitní.

Konkrétní faktory, hrající v prospěch i neprospěch obou návrhových variant, lze vidět v tabulce 13 v podobě SWOT matice. Tyto tabulky slouží jako počáteční a základní souhrn, který pak slouží k detailnějšímu vyhodnocení. Obě tabulky jsou charakterizovány „zrcadlovým vzájemným vztahem“, což znamená, že silné stránky jedné varianty jsou současně slabými stránkami druhé a naopak.

Tabulka 13 SWOT matice obou variant

První varianta		
Interní prostředí	Silné stránky (Strengths)	Slabé stránky (Weaknesses)
	Minimalizace zásahu do provozu	Náročnost provedení
	Snížené personální náklady (NPD)	Dlouhý čas přechodného období
	Větší přepravní kapacita	Vysoké provozní náklady
Externí prostředí	Příležitosti (Opportunities)	Hrozby (Threats)
	Větší podpora veřejnosti	Citlivost na externí jevy
	Větší rozsah dotací města	
Druhá varianta		
Interní prostředí	Silné stránky (Strengths)	Slabé stránky (Weaknesses)
	Jednoduchost provedení	Výrazné souvislé narušení provozu
	Kratší celkový čas provedení	Vysoké personální náklady (NPD)
		Nižší přepravní kapacita
Externí prostředí	Příležitosti (Opportunities)	Hrozby (Threats)
	Minimální vliv externích vlivů	Nižší podpora veřejnosti
		Nižší dotace města

Zdroj: autor

Problém nastává v evaluaci těchto kritérií. Jejich obecný význam se pravděpodobně dá popsat, ale detailnější vyhodnocení podléhá mnoha externím faktorům. Jedním z nich můžou

být konkrétní požadavky a potřeby v samotném průběhu přechodného období – např. časové hledisko může být velmi důležité za předpokladu, že existují další úkony, které jsou podmíněné urychleným dokončením automatizace.

Na druhou stranu, provozně-intervenční hledisko, reprezentující míru zásahu do provozu, by mělo vždy směřovat k minimalizaci, jelikož přímo koreluje s podporou veřejnosti a vedením města. Třetím zmíněným a navazujícím hlediskem je ekonomický aspekt. Město se zaměřuje na filozofii udržení nepřetržitého provozu za jakýkoliv okolností, což je zásadní pro získání a udržení finančních dotací. Tyto dotace jsou obvykle určeny právě přímo na chod provozu. Jakékoli výraznější narušení by mohlo vést k nespokojenosti a snížení finančních příspěvků. Zároveň kromě rizika redukce dotací je nutné zohlednit provozní náklady na zajištění a provoz NAD. Uzavření některých úseků metra by sice vedlo k úsporám v provozních nákladech, které by mohly být vnitropodnikově převedeny pro potřeby NAD, ale je nepravděpodobné, že by tyto finanční zdroje dokázaly pokrýt všechny provozní výdaje.

Nejnovější nákladová jednotková sazba činí 79,03 Kč/km za běžný kloubový autobus, který bývá vhodnější díky své větší kapacitě (20). Na základě údajů z jednotlivých etap (konkrétně délka jednoho oběhu a počet spojů za hodinu) lze využít zmíněnou sazbu a vypočítat maximální provozní náklady za hodinu (ve špičce), které jsou znázorněné v tabulce 14. Nejsou vypočítány náklady na delší časový horizont, jelikož v takovém případě by bylo nezbytné vytvořit celý GVD, což není předmětem této práce. Pro každý spoj je přiřazeno 5 autobusů.

Tabulka 14 Provozně-ekonomické zhodnocení NAD druhé návrhové varianty

	Typ linky	Délka jednoho oběhu [km]	Počet spojů za hodinu	Celkový dopravní výkon za hodinu [vozkm/h]	Provozní náklady [Kč/h]
1. etapa	zastávková	15,5	10	1 300	102 739
	rychlíková	10,5	10		
2. etapa	zastávková	20	15	2 028	160 273
	rychlíková	13,2	8		
3. etapa	zastávková	10,2	24	1 224	96 733
4. etapa	zastávková	15,44	12	1 292	102 107
	rychlíková	12,2	6		
5. etapa	zastávková	19,5	15	1 463	115 621

Zdroj: autor

Vzhledem k daleko nižšímu počtu najetých kilometrů a menšímu počtu provozních souprav oproti autobusům NAD je pak provoz metra signifikantně levnější (i přes vyšší jednotkové provozní náklady). U druhé varianty ještě navíc nemůže dojít ke výraznému snížení dopravního výkonu, jelikož je stejně nutné vždy zajistit provoz na zbývajícím – neuzavřeném úseku.

I přes tyto nepříznivé ekonomické výsledky je druhá varianta horší i z přepravně-kapacitního hlediska. Přepravní kapacitu NAD v porovnání s normální nabídkou souprav metra vyjádřit následujícím způsobem:

- přepravní kapacita soupravy metra: 1 000 cestujících,
- přepravní kapacita 5 kloubových autobusů NAD: 650 cestujících,
- kapacitní efektivita NAD: 65 %.

Z těchto výsledků je patrné, že i když dojde k nasazení 5 kloubových autobusů, dosahuje toto výlukové řešení pouze 65% přepravní kapacity v porovnání se standardním provozem. Tato kalkulace bere v úvahu kapacitu (nabídku) pro 1 000 cestujících, jak je uvedeno v metodice přepravního průzkumu (28). Kdyby došlo k uvážení maximální uváděné kapacity při hustotě 8 osob·m⁻², která je udávána až na 1 464 osob (9), tak by kapacitní znevýhodnění NAD byla ještě daleko markantnější.

Absolutní vyjádření a porovnání časových požadavků obou variant může být zavádějící. Zatímco na první pohled se zdá, že druhá varianta je 21x efektivnější z časového hlediska – nabízí totiž 168 hodin týdně pro rekonstrukční a testovací práce, ve srovnání s pouhými 8 hodinami během dvou nočních intervalů o víkendech, skutečný rozdíl nemusí být až tak signifikantní. Je klíčové brát na vědomí, že ačkoliv teoreticky existuje možnost využít všech 168 hodin týdně, v praxi pravděpodobně nastane okamžik, kdy dojde k projevu pravidla klesající efektivity. To značí, že ne každá hodina z tohoto celkového časového rozsahu bude využita s maximální efektivitou. Tento jev může být způsoben různými faktory, jako jsou omezení pracovní síly, technické výzvy nebo logistická omezení, která zabraňují neustálému a účinnému využívání dostupného času v plném rozsahu.

I přes částečné vyčíslení existuje značné riziko, že při použití určitých matematicko-kritériálních metod v tomto kontextu může vést k nežádoucím nebo zkresleným výsledkům, kvůli jejich subjektivnímu charakteru nebo neschopnosti správně zohlednit nepravidelné proměnné (jako míru negativní reakce od veřejnosti, rozsah finančních dotací při organizaci NAD apod.).

Podle autora lze přesto odvodit, že **první návrhová varianta představuje vhodnější řešení**. Tento závěr vyplývá z faktu, že všechny klíčové parametry, s výjimkou časového

hlediska, jsou u první varianty vyhodnoceny jako výrazně příznivější ve srovnání s druhou navrhovanou alternativou. Z toho důvodu se nejeví jako důležité kvantifikovat příslušná kritéria a využít konkrétní analýzu (např. Saatyho multikriteriální metodu), jelikož je výsledek jednoznačný.

ZÁVĚR

Tato diplomová práce poskytla základní přehled dvou možných přístupů k řízení provozu na trase C pražského metra během klíčového přechodného období. V průběhu tohoto období je plánován přechod ze stávajícího konvenčního způsobu řízení na moderní, automatizovaný systém řízení dopavy, využívající technologii CBTC.

První návrhová varianta principiálně spočívala ve snaze maximálního udržení provozu ve snaze co nejefektivněji využít kolejové řešení trasy. Druhá varianta naopak představuje radikálnější přístup k co nejrychlejší rekonstrukci trasy s minimálním ohledem na kontinuitu provozu. Je definována obzvláště organizací náhradní povrchové dopavy.

V rámci zhodnocení obou návrhových variant bylo zjištěno, že první varianta představuje výhodnější výsledky v klíčových aspektech, jako je finanční náročnost, dopad na souvislost provozu a přepravní kapacita.

V kontrastu s tím, druhá varianta, přestože nabízí výhodu v podobě urychlené realizace projektu, což je její primární charakteristika, se setkává s několika výzvami. Mezi ty patří zejména vysoké finanční požadavky spojené s organizací náhradní dopavy. Bylo zjištěno, že i přes zajištění velmi vysokého počtu vozidel náhradní dopavy, není možné plně konkurovat běžně provozovaným soupravám metra.

V rámci práce byl také podrobně popsán současný způsob řízení provozu a očekávaný budoucí model, aby bylo možné lépe pochopit význam a nezbytnost navrhovaných změn. Tento přehled poskytuje nejenom kontext pro zhodnocení návrhů, ale také zdůrazňuje důležitost přechodu k efektivnějším a pokročilým metodám řízení provozu metra.

Výsledky poskytují důležitý přehled a vhled do možných přístupů k řízení provozu v průběhu velmi náročného období.

SEZNAM POUŽITÝCH INFORMAČNÍCH ZDROJŮ

- (1) ČESKO. *Zákon č. 266/1994 Sb., o dráhách*. 1994 [cit. 2024-04-03]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1994-266>
- (2) ŘÍHA, Vladimír. *Kolejové schéma pražského metra*. 2015 [online] [cit. 2024-04-03]. Dostupné z: <https://www.metroweb.cz/metro/mapy/mapa.html>
- (3) REJDAL, Tomáš. *Linka C*. 2024 [online] [cit. 2024-04-03]. Dostupné z: https://www.metroweb.cz/metro/stanice/linka_c.htm
- (4) DOPRAVNÍ PODNIK HLAVNÍHO MĚSTA PRAHY, A.S. *GVD 20C*. 2024 [cit. 2024-04-03].
- (5) DOPRAVNÍ PODNIK HLAVNÍHO MĚSTA PRAHY, A.S. *GVD 21A*. 2024 [cit. 2024-04-03].
- (6) DOPRAVNÍ PODNIK HLAVNÍHO MĚSTA PRAHY, A.S. *GVD 37B*. 2024 [cit. 2024-04-03].
- (7) ČESKÝ ROZHLAS. *Kratší intervaly, konec pásmového provozu na lince C*. 2018 [online]. [cit. 2024-04-04]. Dostupné z: https://www.irozhlas.cz/zpravy-domov/praha-metro-vikend-linka-c_1807171129_pj
- (8) STUDNIČKA, Václav. *Obraty cestujících ve stanicích a přepravní poptávka v mezistaničních úsecích* [elektronická pošta]. 27.2.2024 9:35 [cit. 2024-04-04].
- (9) REJDAL, Tomáš. *Souprava M1*. 2005 [online] [cit. 2024-04-05]. Dostupné z: <https://www.metroweb.cz/metro/M1/M1.htm>
- (10) REJDAL, Tomáš. *Depo Kačerov*. 2006 [online] [cit. 2024-04-05]. Dostupné z: https://metroweb.cz/metro/d_kacerov/d_kacerov.htm
- (11) DOPRAVNÍ PODNIK HL. MĚSTA PRAHY, A.S. *Provozní předpis D 2/1 - dopravní předpis pro metro*. 2016 (poslední aktualizace) [vnitropodnikový předpis] [cit. 2024-04-05].
- (12) REJDAL, Tomáš. *Technologie a zabezpečení metra*. 2024 [online] [cit. 2024-04-06]. Dostupné z: <https://www.metroweb.cz/metro/TECHNOLOGIE.htm>
- (13) AŽD PRAHA S.R.O. *Elektronické stavědlo pro metro typ ESA 11M, ESA 11M+*. 2024 [online] [cit. 2024-04-06]. Dostupné z: https://www.azd.cz/backend_bootstrap.php?netwings_query_key=/storage/get/248-
- (14) JAKL, Jaroslav. *Zabezpečovací zařízení na trati A – LZA*. 2024 [online] [cit. 2024-04-06]. Dostupné z: <https://www.metroweb.cz/metro/lza.htm>
- (15) JAKL, Jaroslav. *Zabezpečovací zařízení na trati C – Matra PA135*. 2024 [online] [cit. 2024-04-06]. Dostupné z: <https://www.metroweb.cz/metro/matra.htm>
- (16) HLINOVSKÝ, Jakub a Eduard VOTAVA. *Ročenka mimořádných událostí*. 2022 [interní dokumentace] [cit. 2024-04-06].
- (17) DOPRAVNÍ PODNIK HL. MĚSTA PRAHY, A.S. *Rada hl. m. Prahy schválila automatizaci linky C pražského metra*. 2024 [online] [cit. 2024-04-06]. Dostupné z: https://www.dpp.cz/spolecnost/pro-media/tiskove-zpravy/detail/278_2461-rada-hl-m-prahy-schvalila-automatizaci-linky-c-prazskeho-metra
- (18) NACHTIGALL, Petr. *Vliv nových systémů zabezpečení jízdy vlaku na kapacitu železniční infrastruktury – Habilitační práce*. 2022 [online] [cit. 2024-04-06]. Dostupné z: <https://dk.upce.cz/bitstream/handle/10195/80696/B%20Nachtigall%20habilitace.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- (19) DOPRAVNÍ PODNIK HL. MĚSTA PRAHY, A.S. *Dopravní systém* [online]. 2024 [cit. 2024-04-06]. Dostupné z: <https://www.dpp.cz/metro-d/popis-projektu/dopravni-system#technologie-cbtc>
- (20) JENÍČEK, Josef. *Provoz na trase C*. 2024 [osobní konzultace] [cit. 2024-04-06].

- (21) METROPROJECT PRAHA A.S. *Automatizace linky C pražského metra – provozně technologické řešení*. 2024 [interní dokumentace] [cit. 2024-04-06].
- (22) NAEEM, Ali. *7 Key CBTC Functions Transit Operators Must Understand*. 2017 [online] [cit. 2024-04-06]. Dostupné z: <https://static1.squarespace.com/static/587edf163a0411956507316c/t/5ba4172124a694c40743c2f9/1537480490953/7+Key+CBTC+Functions+Rev+02.pdf>
- (23) DOPRAVNÍ PODNIK HL. MĚSTA PRAHY, A.S. *I. P. Pavlova – Vltavská: dočasné přerušování provozu metra*. 2023 [online] [cit. 2024-04-06]. Dostupné z: <https://www.dpp.cz/omezeni-a-mimoradne-udalosti/detail/4688>
- (24) DOPRAVNÍ PODNIK HL. MĚSTA PRAHY, A.S. *Provozní předpis V 1/1 - předpis pro strojevedoucí elektrických vozů*. 2024 (poslední aktualizace) [vnitropodnikový předpis] [cit. 2024-04-07].
- (25) METROPROJEKT PRAHA A.S. *Schématický plán polohy stanice Ládví*. 2005 [interní dokumentace] [cit. 2024-04-06].
- (26) FOLDYNA, Ondřej. *Užití brzděného modelu vlakového zabezpečovače ETCS na dráze speciální – diplomová práce*. 2019 [online] [cit. 2024-04-06]. Dostupné z: https://dk.upce.cz/bitstream/handle/10195/73567/FoldynaO_UzitiBrzdeno_PN_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- (27) DOPRAVNÍ PODNIK HL. MĚSTA PRAHY, A.S. *DPP v datech – provozně-technické ukazatele*. 2024 [online] [cit. 2024-04-06]. Dostupné z: <https://www.dpp.cz/spolecnost/o-spolecnosti/dpp-v-datech>
- (28) DOPRAVNÍ PODNIK HL. MĚSTA PRAHY, A.S. *Komplexní přepravní průzkum metra*. 2015 [interní dokumentace] [cit. 2024-04-06].
- (29) DOPRAVNÍ PODNIK HL. MĚSTA PRAHY, A.S. *Tramvaje*. 2024 [online] [cit. 2024-04-06]. Dostupné z: <https://pid.cz/tramvaje/>
- (30) CBTC SOLUTIONS INC. *What is grade of automation (GoA)?* 2022 [online] [cit. 2024-04-11]. Dostupné z: <https://www.cbtc-solutions.ca/blog/2022/8/22/what-is-grade-of-automation-go-a>
- (31) GOOGLE LLC IPA. *My Maps*. 2024 [online] [cit. 2024-04-26]. Dostupné z: <https://www.google.com/maps/d/u/1/>

SEZNAM PŘÍLOH

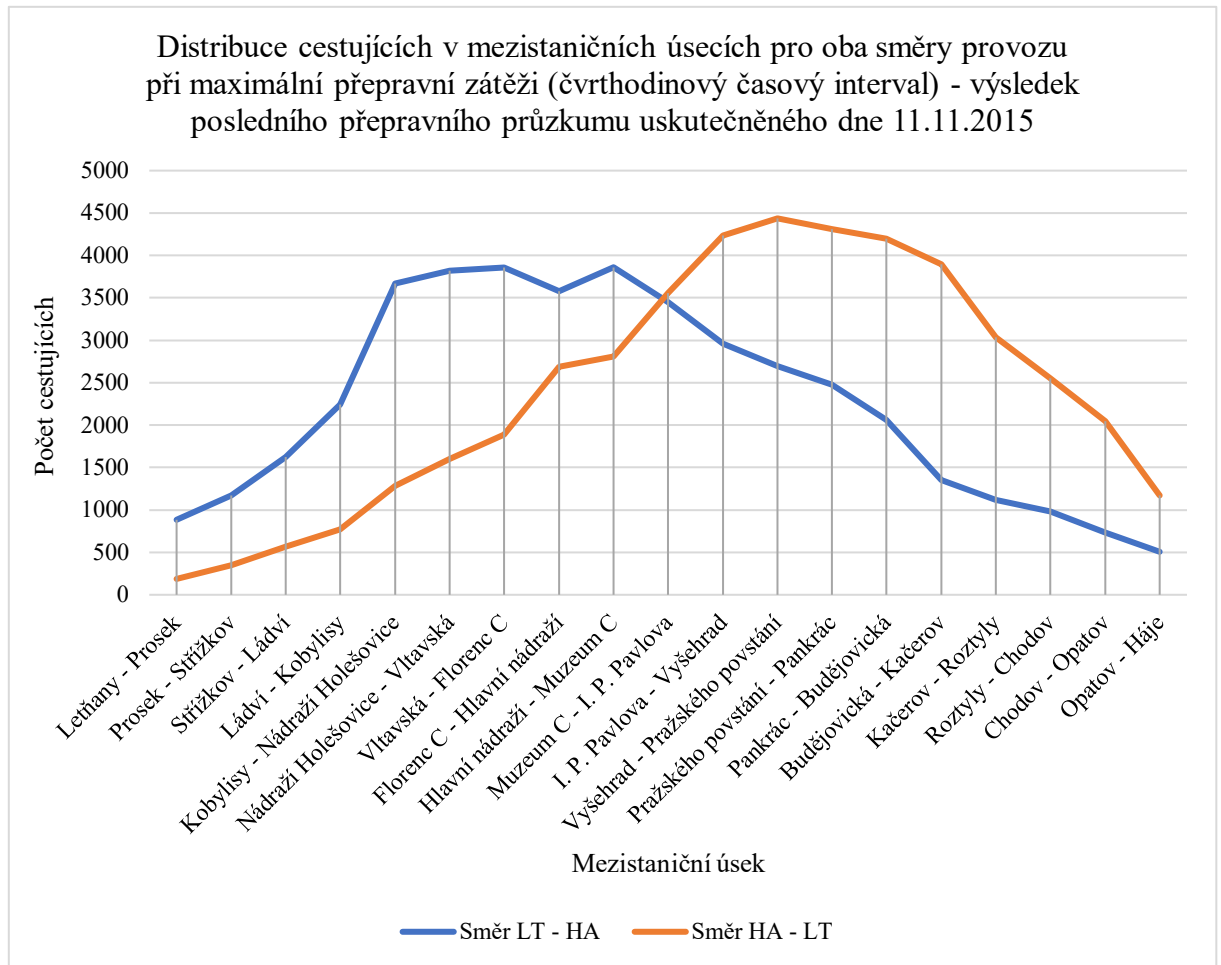
Příloha A Počet cestujících ve stanicích trasy C pražského metra ve vybraných dnech.....	76
Příloha B Distribuce cestujících v mezistaničních úsecích při maximální přepravní zátěži	77
Příloha C Stupně automatizace	78
Příloha D Srovnání zrychlení a brzdného výkonu elektrické trakce v závislosti na rychlosti .	79
Příloha E Změna trasy tramvajové linky v průběhu čtvrté etapy.....	80

Příloha A Počet cestujících ve stanicích trasy C pražského metra ve vybraných dnech

Počet cestujících ve stanicích (obrat)			
Stanice	Termín měření (středa)		Změna v počtu cestujících [%]
	11.11.2015	15.11.2023	
Letňany	32 479	31 705	-2,38
Prosek	16 419	15 183	-7,53
Střížkov	29 771	25 236	-15,23
Ládví	40 330	36 543	-9,39
Kobylisy	78 459	66 873	-14,77
Nádraží Holešovice	41 525	40 101	-3,43
Vltavská	43 775	43 651	-0,28
*Florenc	78 052	55 388	-29,04
Hlavní nádraží	75 121	75 249	0,17
*Muzeum	53 486	47 256	-11,65
I. P. Pavlova	102 379	80 759	-21,12
Vyšehrad	33 856	27 276	-19,44
Pražského povstání	36 805	31 190	-15,26
Pankrác	65 605	48 885	-25,49
Budějovická	90 324	70 102	-22,39
Kačerov	70 683	59 054	-16,45
Roztyly	19 991	17 214	-13,89
Chodov	57 346	57 302	-0,08
Opatov	38 702	33 113	-14,44
Háje	57 367	45 519	-20,65
Celkový obrat	1 062 475	907 599	-14,58
<i>* U stanic Muzeum a Florenc není započítán počet přestupujících cestujících z jiných tras/na jiné trasy.</i>			

Zdroj: autor dle (8, 28)

Příloha B Distribuce cestujících v mezistaničních úsecích při maximální přepravní zátěži



Zdroj: autor dle (28)

Příloha C Stupně automatizace

	Stupeň automatizace (GoA)				
	GoA0	GoA1	GoA2	GoA3	GoA4
	Provoz vlaku podle rozhledu	Neautomatizovaný provoz	Poloautomatizovaný provoz	Provoz vlaku bez strojvedoucího	Bezobslužný provoz
Zajištění bezpečné cesty	červené	zelené	zelené	zelené	zelené
Zajištění bezpečné separace vlaků	červené	zelené	zelené	zelené	zelené
Zajištění bezpečné rychlosti	červené	oranžové *	zelené	zelené	zelené
Zrychlení a brždění vlaku	červené	červené	zelené	zelené	zelené
Prevence proti kolizím s překážkami	červené	červené	červené	zelené	zelené
Prevence proti kolizím s osobami na trati	červené	červené	červené	zelené	zelené
Kontrola nad dvěma vlaky	červené	červené	červené	zelené	zelené
Prevence pro uvíznutí osob mezi vlakem a nástupištní stěnou	červené	červené	červené	červené	zelené
Zprostředkování podmínek pro bezpečný rozjezd	červené	červené	červené	červené	zelené
Uvedení vlaku do provozu a odstavení z provozu	červené	červené	červené	červené	zelené
Dohled na stavem vlaku	červené	červené	červené	červené	zelené
Detekce ohně či kouře, vykolejení, rozpojení vozů, automatické ohlašování cestujícím atd.	červené	červené	červené	červené	modré **

- červené pole – nepřístupná funkce,
- zelené pole – zpřístupněná funkce,
- oranžové pole * – částečný systémový dohled,
- modré pole ** – systémový dohled a/nebo řídicí personál.

Zdroj: autor dle (30)

Příloha D Srovnání zrychlení a brzdného výkonu elektrické trakce v závislosti na rychlosti

Rychlostní limit [km·h ⁻¹]	Zrychlení [m·h ⁻²]	Uplynulý čas po změně hodnoty zrychlení [s]	Uplynulý čas celkem od rozjezdu [s]	Ujetá vzdálenost od změny zrychlení [m]	Ujetá vzdálenost celkem [m]
30	1,3	6,41	6,41	26,71	26,71
35	1,11	1,25	7,66	11,30	38,01
40	0,98	1,42	9,08	14,76	52,77
45	0,87	1,60	10,68	18,85	71,61
50	0,78	1,78	12,46	23,49	95,11
55	0,71	1,96	14,41	28,53	123,64
60	0,65	2,14	16,55	34,13	157,77
65	0,6	2,31	18,86	40,19	197,95
70	0,56	2,48	21,34	46,50	244,46
75	0,52	2,67	24,01	53,79	298,25
80	0,49	2,83	26,85	61,02	359,27

Rychlostní limit [km·h ⁻¹]	Zpomalení [m·h ⁻²]	Uplynulý čas po změně hodnoty odrychlení [s]	Potřebný čas pro zastavení z příslušné rychlosti [s]	Ujetá vzdálenost od změny zrychlení [m]	Zábrzdňá vzdálenost z příslušné rychlosti [m]
40	1,37	8,11	8,11	45,06	45,06
60	1,37	4,06	12,17	56,32	56,32
65	1,26	1,10	13,27	19,14	75,46
70	1,18	1,18	14,44	22,07	97,53
75	1,1	1,26	15,71	25,43	122,96
80	1,03	1,35	17,06	29,03	151,98

Zdroj: (26)

Příloha E Změna trasy tramvajové linky v průběhu čtvrté etapy



Zdroj: autor s využitím (31)