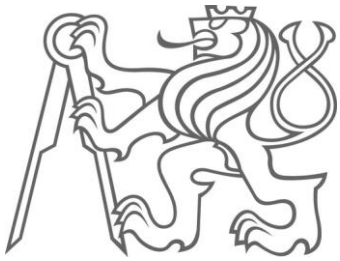


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA DOPRAVNÍ

Tomáš Gregora

ÚPRAVA SSZ S TRAMVAJOVÝM PROVOZEM SE ZAMĚŘENÍM NA EFEKTIVITU PROVOZU

Bakalářská práce

2022

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
Fakulta dopravní
děkan
Konviktská 20, 110 00 Praha 1

K617 ..... Ústav logistiky a managementu dopravy

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Tomáš Gregora

Studijní program (obor/specializace) studenta:

bakalářský – LOG – Logistika a řízení dopravních procesů

Název tématu (česky): **Úprava SSZ s tramvajovým provozem se zaměřením na efektivitu provozu**

Název tématu (anglicky): Modification of Traffic Control with Tram Operation focused on traffic eficiency

Zásady pro vypracování

Při zpracování bakalářské práce se řiďte následujícími pokyny:

- Význam preference na SSZ v rámci spolehlivosti a atraktivity dopravy
- Způsoby realizace preference na SSZ
- Analýza řízení konkrétního SSZ
- Úprava řízení konkrétního SSZ
- Vyhodnocení dopadů na sledovaném SSZ

Rozsah grafických prací: podle pokynů vedoucího bakalářské práce

Rozsah průvodní zprávy: minimálně 35 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)

Seznam odborné literatury:
Černá A., Černý J.: Teorie řízení a rozhodování v dopravních systémech, Pardubice 2004.

Drdla P.: Technologie a řízení dopravy - městská hromadná doprava, Pardubice 2005.

Přibyl P., Svítek M.: Inteligentní dopravní systémy, BEN, Praha 2001.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Milan Kříž, Ph.D.**

Datum zadání bakalářské práce: **30. září 2021**
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání bakalářské práce: **8. srpna 2022**
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

L. S.

doc. Ing. Tomáš Horák, Ph.D.
vedoucí
Ústavu logistiky a managementu dopravy

prof. Ing. Ondřej Přibyl, Ph.D.
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.

Tomáš Gregora
jméno a podpis studenta

V Praze dne ..... 22. února 2022

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval mému vedoucímu Ing. Milanu Křížovi, Ph.D. za konzultování práce, věcné připomínky a trpělivost. Dále bych chtěl také poděkovat Ing. Stanislavu Metelkovi a Ing. Jiřímu Pospíšilovi, Ph.D. za užitečné rady a poskytnuté informace. V neposlední řadě patří stejně významné díky mé rodině a přátelům za neúnavnou podporu během celého studia.

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci zpracovanou na závěr studia na ČVUT v Praze Fakultě dopravní.

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 8. srpna 2022 ……..

Podpis

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

Úprava SSZ s tramvajovým provozem se zaměřením na efektivitu provozu

Bakalářská práce

srpen 2022

Tomáš Gregora

ABSTRAKT

Práce je primárně zaměřena na aktivní preferování tramvajových souprav na křižovatkách v hlavním městě Praze. Základ pro výslednou synergii opatření podporující spolehlivost provozu MHD tvoří podmínky pražského prostředí a kombinace řízení dopravy na světelně řízených křižovatkách s prvky zajišťující správnou funkci veřejné služby MHD. Úprava dynamického řízení v rámci konkrétního světelného signalizačního zařízení je poté interpretována prostřednictvím hlavních přínosů a dopadů pro různé zúčastněné subjekty.

Klíčová slova

tramvajová doprava, preference městské hromadné dopravy, světelné signalizační zařízení, úspora jízdní doby, úprava řízení dopravy, řídicí logika

ABSTRACT

This bachelor thesis deals mainly with active tramway priority at intersections in Prague. The traffic conditions in Prague in combination with traffic light controls managements and other components providing appropriate public transport operation form a base which reflects in the reliability of the tram operation itself. In conclusion, an influence of a dynamic conduct modification of the junction is shown by benefits and impacts for various road users.

Keywords

tramway transport, public transport priority, traffic light control, saving of driving time, traffic management modification, traffic light control algorithm

Obsah

Seznam zkratek 6

1 Úvod 7

2 Význam preference na SSZ v rámci spolehlivosti a atraktivity dopravy 8

2.1 Účel prosazování preference MHD 8

2.1.1 Vedlejší vlivy preference v rámci MHD 10

2.1.2 Provozní důvody 14

2.2 Historický vývoj a zkušenosti s preferencí v Praze 16

2.3 Zkušenosti s preferencí ze zahraničí 18

2.4 Vliv na ostatní druhy dopravy 19

2.4.1 Tendence zmírnění dopadů a zdržení ostatních druhů dopravy 19

2.4.2 Dopady nové výstavby v blízkosti SSZ spjaté s preferencí 21

2.5 Vztah preference k chování účastníků provozu na pozemních komunikacích a k infrastruktuře 21

3 Způsoby realizace preference na SSZ 23

3.1 Metody realizace preference 25

3.1.1 Pasivní preference 25

3.1.2 Aktivní preference 27

4 Analýza řízení konkrétního SSZ 35

4.1 Obecné parametry a kritéria konkrétního SSZ 36

4.2 Průzkum pěší dopravy 42

4.3 Pohled různých druhů dopravy na řízení SSZ a okolní provoz 47

4.3.1 Pohled pěší dopravy 47

4.3.2 Pohled tramvajové a automobilové dopravy 47

5 Úprava konkrétního SSZ 48

5.1 Technické zařízení pro preferenci 49

5.2 Návrh změny řízení dopravy 51

5.2.1 Nová a upravená data k řízení SSZ 51

5.2.2 Řídicí logika 60
5.2.3 Zhodnocení úpravy zejména z pohledu pěší dopravy 62
6 Vyhodnocení dopadů na sledovaném SSZ 64
6.1 Konkrétní výhody a výsledné hodnoty parametrů v tramvajovém provozu 64
6.2 Reálné přínosy a negativní dopady pro automobilovou a pěší dopravu 70
6.3 Role a směřování rozvoje SSZ v závislosti na výsledcích 71
7 Závěr 74
8 Seznam použité literatury 77
9 Seznam tabulek 82
10 Seznam obrázků 83
11 Seznam příloh 84

Seznam zkratek

DC	směr jízdy do centra
IAD	individuální automobilová doprava
MHD	městská hromadná doprava
SSZ	světelné signalizační zařízení
TP	technické podmínky
TSK	Technická správa komunikací hlavního města Prahy
VHD	veřejná hromadná doprava
ZC	směr jízdy z centra

1 Úvod

Pro rozvoj udržitelné mobility ve městech je mimo jiné velmi důležitá podpora provozu MHD. Zásadní je v rámci možností přizpůsobovat infrastrukturu dopravním prostředkům zajišťujícím tuto veřejnou službu, aby jejich průjezd územím byl spolehlivý a co nejplynulejší. Jedním z takových rizikových úzkých hrdel jsou světelné signalizační zařízení. V obdobích dopravních špiček jsou v metropoli často prvkem, který způsobuje i zvětšuje zpoždění vozidel. V případě pevných signálních plánů či křižovatek s vysokou intenzitou dopravy není výjimkou, aby byl spoj zdržen o desítky sekund až dobu kolem minuty. Úpravy řízení dopravy na světelných signalizačních zařízeních spočívají zjednodušeně v instalaci techniky, která je potřebná k detekci a zpracování těchto podnětů, a změně nastavení řídicí logiky. Podobná preferenční opatření se v hlavním městě průběžně realizují. Můžeme se tedy s tímto stavem preferování zejména tramvají, jimž bude v problematice práce věnován hlavní prostor, uspokojit? Má být v primárním zájmu úprav řízení na pravidelně vytížených komunikacích co nejhladší průjezd například tramvajové soupravy a jak je při preferenci MHD vynahrazováno zdržení ostatních účastníků dopravy?

Dále budou představeny možnosti provedení preference v pražském prostředí v závislosti na dostupných a osvědčených technologiích pro funkci celého procesu, případně v určitých momentech bude systém porovnán se zkušenostmi z dalších měst. Stěžejním uvědoměním z pohledu zajištění přesnosti, pravidelnosti a spolehlivosti je též komplexní vnímání spojitostí mnoha oblastí, které tvoří nebo jsou součástí zajištění samotné služby městské hromadné dopravy. Nabízí se tedy otázka, zda je dosavadní zaměření na vliv průjezdu spoje z hlediska provozování linek MHD adekvátní a jestli a jaké jsou pro to důvody. Nebo by se dopravní politika měla více soustředit na koordinaci s prvky zařízení služeb, jízdními řády atd.? Ten největší přínos by však logicky měl směřovat k cestujícím v MHD. Ve vazbě na důležitost cesty a časové možnosti z případné úspory času těží všichni cestující, kteří spoje MHD pro přepravu po městě využívají. V závislosti na problematice bude tedy posouzen i vztah k atraktivitě služby a pohledu společnosti. Vliv na celkové vnímání MHD mají i další typy preferenčních opatření. Rozlišení, co se týče efektivity a účelnosti, bude jedním z témat kapitoly v teoretické části práce. Dále budou v rámci definovaných preferenčních opatření zdůrazněny výhody a nevýhody jejich aplikací v různých případech.

Analýza bude zaměřena na konkrétní příklad úpravy situace řízení dopravy včetně té tramvajové právě z pražského prostředí. Na zabezpečeném přechodu s jednoduchým principem řízení dopravy budou zkoumány okolnosti související s místním provozem, aktuální stav z pohledu různých druhů dopravy a možnosti samotné preference tramvají. Právě na méně významném světelném signalizačním zařízení má být ilustrováno, co úprava na řízení

s detekcí tramvají obnáší a jak se dotkne ostatních účastníků provozu, kteří vstupují do kolizního prostoru. Výsledek změny řízení dopravy by měl také specifikovat a určit oblasti v provozu MHD, které budou z úpravy profitovat za definovaných podmínek. Podle přístupu se změna zároveň může projevit v různých odvětvích, záleží na míře zásahu do řízení a parametrech konkrétních křižovatek.

Domnívám se, že aktuální řízení dopravy na světelně řízených křižovatkách zdržuje tramvaje kvůli neefektivnímu využití možností řízení dopravy. V návaznosti na okolnosti vývoje aktivní preference na křižovatkách bude část práce též věnována tématům řešícím jak je postupem času reagováno na změny dopravního chování účastníků provozu a kam směřuje zabezpečování provozu právě prostřednictvím světelných signalizačních zařízení. Tato práce si tedy dává za cíl porovnání dynamického řízení dopravy na křižovatkách a promítnutí jeho vlivu do běžného tramvajového provozu. V rámci pohledů a střetu dvou oborů je zamýšleno prověřit významnost, přínosy a dopady efektivní volby a trvání signálů volno na systém MHD.

2 Význam preference na SSZ v rámci spolehlivosti a atraktivity dopravy

2.1 Účel prosazování preference MHD

Důvodů, proč zvýhodňovat průjezd vozidel MHD po jejich celé trase linkového vedení (křižovatky jakožto úzká hrdla nevyjímaje), je nespočet různých druhů s různou důležitostí. Aby nedošlo k záměně pojmů, je definováno základní rozdělení vnímání preferování dopravy klíčové pro správné pochopení textu. Jedním z nich je upřednostnění spojů MHD na světelném signalizačním zařízení (dále jen SSZ), jemuž je celá práce věnována a je konkrétněji zpracováno v jejích následujících částech. Obecně se preferováním jízdy a fungování veřejné dopravy rozumí také stavební úpravy a jiné přizpůsobení infrastruktury MHD ať už samostatně pro snadnější průjezd mezi křižovatkami i zastávkami, nebo v kombinaci s jinou formou preference (typický příklad odděleného zvýšeného pásu pro tramvaje na křižovatce řízené SSZ s preferencí) [1].

Stejný zdroj informací dělí preferenci tramvajového provozu do tří hlavních oblastí. Prostorové oddělení komunikace představuje první z typů zvýhodňování tohoto módu MHD. Nejefektivnějším zástupcem je plně oddělený provoz od ostatní dopravy na vlastním tělese. U toho se v případné kombinaci vedených komunikací pro různé druhy dopravy včetně tramvajové nebo železniční dráhy můžeme setkat alespoň s částečným mimoúrovňovým křížením těchto infrastruktur. Eliminované úrovňové křížení tramvajové tratě má navíc přesah i do tramvajového provozu, který se projeví podobně jako preferenční opatření v kratší

cestovní době, zvýšené bezpečnosti, plynulosti průjezdu oblastí aj. Stav, kdy se tramvajová infrastruktura zcela vyhne nutnosti vstupu do křižovatky, je zpravidla kompenzován finančně i stavebně náročným řešením. Dále záleží v rámci prostorového opatření na šíři využitelného uličního prostoru pro dané dopravní prostředky. Za druhé se jedná o úpravy organizačního charakteru, u nichž je povětšinou za účelem zklidnění dopravy zakázán vjezd vozidlům individuální automobilové dopravy (dále jen IAD). Opatření tvořící synergii s ochranou turisticky atraktivních míst, jimiž jsou často zároveň veřejné prostory v centru města, je v poslední době stále populárnější a prosazuje se i v projektech nových infrastruktur či při komplexnějších rekonstrukcích uličního prostoru komunikací s nízkým významem automobilové dopravy. V neposlední řadě tkví způsob upřednostňování tramvajových souprav v preferenci na křižovatkách, a to ať už na SSZ neřízených, tak řízených [2]. Kýžený výsledek je zpravidla dosažen různou kombinací uvedených opatření jako například v podobě uvedeného zvýšeného tramvajového pásu, který tramvaji umožní volný příjezd ke křižovatce vybavené funkční technologií preference MHD.

Drdla se o preferenci v rámci řízení v městské dopravě zmiňuje v části úvodních pojmů souvisejících s MHD a obecně dopravou ve městě, konkrétně v oblasti regulace městské dopravy. V té se preference týká částečně organizace a samotného řízení městské dopravy. Jedná se o účelnou, úmyslnou a dlouhodobou úpravu dopravních parametrů různými způsoby za vidinou jasných výsledků. Regulaci lze tudíž obecně chápat jako pro provoz zpravidla nevýrazné a neškodné modifikace s významnými pozitivními důsledky nejen pro účastníky provozu na silničních komunikacích ale i pro širokou veřejnost. Poté má každý z těchto prvků regulace dopravy svá specifika, která se liší v době od zavedení změny po zaznamenání výsledků nebo ve způsobu provedení. U organizace je zřejmá příslušnost preference MHD v části definice uvádějící opatření, která „*umožňují efektivnější a bezpečnější využití komunikační sítě*“ [3].

Ve zjednodušené podobě, kdy je průjezd křižovatkami vedle souběhu s IAD uveden jako jeden z hlavních příčin časových ztrát, se dá při jejich překonávání očekávat průměrný ztrátový čas zhruba 25–35 s. U křižovatky vybavené preferencí se na rozdíl od toho jedná o téměř nulové hodnoty [3]. Čas, o který se prodlouží jízdní doba soupravy, záleží bezesporu na typu preference a tudíž i na uspořádání a složitosti křižovatky. Dále rozhoduje například fakt, jestli je komunikace určená pro MHD oddělená od té pro individuální dopravu, nebo je právě souběh s IAD prostorový. Cílem opatření zavedení upřednostňování MHD by ovšem měla být určitá minimální prokazatelná úspora času jízdy spoje MHD se snahou zároveň výrazně neomezovat ostatní účastníky provozu na pozemních komunikacích.

2.1.1 Vedlejší vlivy preference v rámci MHD

V souvislosti s již uvedenou situací preference na SSZ v hlavním městě budou popsány aktuální hodnoty snižující náklady dopravních podniků. Podle webu zdopravy.cz lze například za jeden rok uspořit z jízdní doby linky až 10 %, tedy 3 minuty [4]. Podobné úspory se dále promítají také v často ne tak zřejmých oblastech. Právě externality spjaté s přímým vlivem preferenčních opatření budou tématem následujících podkapitol. Stejně tak bude odůvodněn smysl zavádění preferenčních opatření z provozního hlediska i z hlediska vlivu na různé druhy dopravy.

2.1.1.1 Souvislost preference s dělbou přepravní práce a atraktivitou zejména MHD

Podle Drdly se už v původních Zásadách dopravní politiky hlavního města Prahy z druhé poloviny devadesátých let minulého století zdůrazňovala v rozvoji MHD efektivita řízení provozu vozidel tohoto druhu dopravy za únosné náklady. V roce vydání zmíněného dokumentu byl v Praze podíl počtu SSZ konkrétně s tramvajovou preferencí k celkovému počtu SSZ řídících provoz tramvají pouhých 17 % [5]. Nicméně plány s obecným zvýhodňováním MHD a potenciál při jejich naplňování byly za cílem plynulé a pravidelné obsluhy příslušnými druhy dopravy jasné. Pro hlavní město Prahu bylo už tehdy charakteristické podporování tramvajové dopravy jakožto jeden z „*druhů dopravy, které jsou příznivé pro tvorbu a ochranu životního prostředí*“ [3], dnes by byl tento trend označen jako přesun k nízkoemisní a bezemisní dopravě. Podle údajů z Koncepce veřejné dopravy, konkrétně v rámci Státní energetické koncepce, má navíc průmysl menší účast na spotřebě energie než samotná doprava. Dále je upozorňováno na nepoměr různých druhů energie využívaných v dopravě, kdy necelá pětina dopravních výkonů připadá na energii výrazně minoritní, a to elektrickou. Tato skutečnost tedy „*dokládá nižší energetickou a emisní náročnost veřejné hromadné dopravy ve srovnání s individuální automobilovou dopravou.*“ [6] Pro tuto výhodnost v kombinaci se snižováním produkce škodlivin do ovzduší má být společnost usměrňována k častějšímu využívání VHD a k chápání tohoto způsobu dopravy v jeho postoji v dopravním prostředí jako paralelní, rovnocenný a doplňující systém [6]. U větší části populace totiž minimálně donedávna převládal názor, že prostředky veřejné hromadné dopravy pro ně představují „nepřítele“ v plynulém a rychlém pohybu v území. Účastníci neseznámení s aktuální dopravní politikou či například obecně s teorií dopravního proudu toto většinou vysvětlují četnými BUS pruhy, které vytváří na první pohled větší kongesce omezováním průjezdu určitými komunikacemi či jejich částmi. Na druhou stranu těm znalejším může negativní emoci vyvolat povšimnutí zvýhodňování vozů MHD právě na SSZ. V zájmu udržitelné dopravní situace konkrétně v městském prostředí je podporovat na křižovatkách

preferenci MHD do určité míry nepoškozující průjezdnost IAD. Zároveň v synergii s ostatními výhodami využití hromadné dopravy je zvýšení modal splitu v její prospěch. Pozitivní vliv na dělbu přepravní práce z pohledu MHD lze tedy zmínit jako ideální výsledný efekt vycházející z konkrétních jednotlivých přínosů v provozu vozidel MHD.

Na druhou stranu je možné, že preference samotná vyvolá i pozitivní motivace k využívání hromadných dopravních prostředků. „*Reálné upřednostňování veřejné dopravy na křižovatkách i v uličním prostoru je zároveň efektivní propagací veřejné dopravy psychologicky působící na řidiče i cestující v osobních automobilech: „Kolikátá tramvaj mě už předjela?“ nebo „Další autobus!“.*“ [1]

Co se dále týče modal splitu, potenciálního cestujícího lze zaujmout a nalákat k jízdě VHD, nebo naopak odradit prostřednictvím nabídky veřejné dopravy. Právě ti cestující, kteří nejsou na službu VHD odkázáni a mohou si způsob dopravy vybrat, jsou většinou pro systém stěžejní a tím pádem je na ně povětšinou cílený například i marketing. Aby se pak tato skupina obyvatel rozhodla pro veřejnou hromadnou dopravu, měla by služba a její kvalita být na určité úrovni výhodnosti. Této skupině by se pak její využívání mělo vyplatit, nejčastěji po finanční nebo časové stránce. Ve vztahu k reálné kvalitě zaznamenané dopravcem je poté důležitá kvalita vnímaná cestujícím a následné porovnání s kvalitou očekávanou cestujícím. Je samozřejmé, že když základ jakožto kvalita očima dopravce bude v porovnání se standardy podprůměrná, špatná ve většině kategoriích, běžný cestující ji nebude vnímat pozitivně a rozdíl mezi vnímanou a očekávanou kvalitou cestujícího bude velký. Snahou je tak přiblížení těchto dvou zaznamenávaných pohledů v hodnocení cestujícího slibující i větší zájem o VHD v dané oblasti. Jinými slovy, základ pro fungující dopravní systém v územní jednotce tvoří každopádně pro cestující atraktivní, pravidelná, spolehlivá a dostupná nabídka veřejné dopravy. Forma momentálního zvýhodnění přepravy cestujících ve VHD tak má kromě značných provozních výhod za úkol také zaujmout určitý menší podíl z cestujících, pro které by tato opatření mohla představovat klíčové rozhodovací kritérium při volbě způsobu dopravy. Důvody a parametry dopravně technologické a zlepšení nabídky z pohledu cestujícího jsou samozřejmě úzce spjaté nebo společné. Z nejdůležitějších zaznamenávaných oblastí kvality jsou prostřednictvím preference stěžejní cestovní rychlost a spolehlivost, ne náhodou v zájmu dopravců i cestujících. Optimálním, respektive dokonalým stavem průjezdu trasou linky je za běžného provozu (bez velkých mimořádností silně ovlivňujících dopravu) hladký průjezd úzkými hrdly i zbytkem pojížděných komunikací bez zastavení a tím pádem bez zdržení soupravy. Minimálně ve zdejších podmínkách je tato vize vcelku nereálná na uskutečnění, mnohdy i kvůli racionálně vysvětlitelným, nezanedbatelným procesům. Těmi jsou velmi často kupříkladu omezení fungování technologií či střet významných dopravních proudů s linkou

MHD nebo více linek s různou trasou. Hlavní pointa je ovšem priorita překonání problematického úseku komunikace několikačlennou skupinou lidí společně místo individuální jízdy účastníků provozu v osobních automobilech s průměrnou obsazeností 1,3 osob na vozidlo [1][7].

2.1.1.2 Zpracování vlivů preference v jízdním řádu

Pro udržení atraktivity služby objednávané veřejné dopravy je žádoucí optimalizovat také stav jízdních řádů. Podle vyhlášky o jízdních řádech veřejné linkové dopravy se vedle dalších zásad zpracování jízdního řádu uvádí i vliv stavu komunikací.

„Jízdní řád zpracovává dopravce tak, aby jeho časové údaje respektovaly

- *stavební a dopravně technický stav pozemních komunikací a pravidla silničního provozu a jejich místní úpravu v úsecích, po kterých je linka vedena“* [8]

Kromě jiných základních údajů při tvorbě jízdního řádu je pro téma preference zásadní vytvoření chronometráže v trase jednotlivých linek veřejné dopravy [3]. Díky těmto datům je primárně možné v odlišných dobách ve dni, týdnu nebo i roku upravit jízdní doby více odpovídající reálné dopravní situaci. V dlouhodobém horizontu se jízdní doby v mezizastávkových úsecích mohou nadto zkrátit příčinou stavební, technické či jiné inovace infrastruktury. Jedním z takových případů, které dokáží výrazně snížit potřebný čas průjezdu linky, může být právě preference MHD na SSZ. Proto je zapotřebí na tuto změnu reagovat, nebo si alespoň uvědomit souvislosti mezi linkami a s ušetřeným časem zkrátka počítat. Pro funkční jízdní řád je tak důležité, aby jízdní doby odpovídaly z pohledu infrastruktury jejímu aktuálnímu stavu a byly tak v rámci jízdního řádu dodržitelné. Následně záleží na tom, zda dopravce zkrátí jízdní doby přímo dané v jízdním řádu s vědomím a akceptací tvorby občasných zpoždění v případech zdržení například na SSZ s podmíněnou preferencí. Mohou to tak být dané závislosti v řízení provozu, jež mezizastávkovou jízdu spoje prodlouží, nebo na vině bývají jiné příčiny typu kongesce. V této první variantě přístupu k jízdním řádům je ovšem zdržení v oblasti provozu také výhodou kvůli určité tolerované době zpoždění na rozdíl od nepřípustných nadjetí spojů. Druhou možností je ponechání stejného jízdního řádu, ve kterém vzniknou na upravených úsecích rezervy. Ušetřený čas lze pak využít pro delší pobyt v zastávce na významném přestupním uzlu, v zastávce označené jako kontrolní bod nebo pro spíše pomalejší a bezpečnější jízdu z hlediska stylu jízdy řidiče. U prvně jmenovaného využití volného času se však mohou naskytnout různé komplikace od zablokování průjezdu dalších vozidel MHD či občasně i IAD po psychologický efekt negativního vnímání stání z pohledu cestujících. Ti často dokonce lépe snáší zmíněnou pomalou jízdu. Možným ideálním

řešením je kompromis v podobě kombinace ponechání delších jízdních dob v problematických částech vedení linky, a naopak zkrácení uvedeného potřebného času jízdy vozidla mezi zastávkami se skutečným předpokladem nadbytečného nadjetí. U tohoto individuálního přístupu se také nejvíce očekává zvýšení spolehlivosti příjezdu spojů. Dva prostředky zajišťující spolehlivost jsou v tomto případě přesnost a pravidelnost. Ty jsou dány jednak časovou odchylkou příjezdu spoje obsluhujícího danou zastávku od deklarovaného času v jízdním řádu a jednak odchylkou časových intervalů dvou po sobě jedoucích spojů na lince, respektive trati (traťový interval v případě více linek).

Písemný zdroj zabývající se systémy a zákonitostmi a nadto celou problematiku řešící spíše optimalizačními úlohami nachází souvislost mezi řízením SSZ a tvorbou jízdních řádů právě v periodických časových rozvrzích. Ačkoliv to na první pohled nemusí být zřejmé, jasná cykličnost nejpravidelnější u pevných signálních plánů, kde je dána neměnná perioda opakování fází, je v případě taktových jízdních řádu analogická. Právě periodický jízdní řád je u objednávané regionální ale i městské dopravy běžný a například čtvrthodinový víkendový interval v klasických denních městských linkách v Praze je přínosný pro snadnou orientaci cestujícího a snazší proces vypravování spojů dopravcem. Na druhou stranu se jako negativní záležitost pro dopravce jeví zvýšená manipulace se soupravami. Jedná se o rozdělení soupravy na více vozidel či konkrétně zajištění vyjetí spojů v ranních a odpoledních špičkách v rámci adaptace kapacity nabízených spojů na denní variaci poptávky cestujících [9]. Tyto dva po určitou dobu se opakující systémy (provoz SSZ a jízdní řád) si navíc často neodpovídají. Při zanedbání jiných vstupů zdržení vozidel je v průběhu jízdy na lince zřetelné, že průjezd světelně řízenými křižovatkami dodržení periodického intervalu mezi spoji nenapomáhá. Typický často řešený problém nastává také u liniové koordinace určitého hlavního dopravního proudu na silniční komunikaci, kterou pojíždí společně s osobními automobily také například městský autobus obsluhující zastávky umístěné v koordinovaném úseku. Komplikací je poté obvykle neudržení vozidla MHD po obsluze oné nácestné zastávky v signálním svazku, a tudíž je povinen na dalším SSZ vyčkat na fázi v dalším cyklu. Samozřejmě ale takový stav není pravidlem a kupříkladu prostřednictvím rychlostních signálů pro MHD či kratších cyklů se zdržení spoje dá předejít. Obecně pak aktivní preference na SSZ jakožto nástroj zvýšení pravidelnosti a plynulosti spojů může z těchto periodicit při dalších provedených zmíněných reakcích přispět k dodržování jízdních řádů.

Dále je v literatuře rozebírána koordinace spojů linek vedených po společném úseku. Tematicky důležité cíle této koordinace jsou hlavně redukce nahromadění spojů na zastávkách a minimalizace časových ztrát cestujících s možností výběru spoje daných linek. Zároveň je u takové skupiny cestujících pozorovaný častý jev, kdy při vzniku zpoždění jednoho ze spojů

se na zastávkách začne hromadit více cestujících, kteří prodlouží dobu pobytu v zastávce. Navíc tím pádem ještě zvýší zpoždění tohoto spoje a na další pravidelný včasný spoj vyjde průměrně méně cestujících, což u něj naopak zkrátí dobu nástupu a výstupu cestujících i následný interval mezi popisovanými spoji. Opět lze však v rámci této problematiky najít souvislost s řízením provozu SSZ. Ukázkovým příkladem jsou v pražských podmínkách úseky tramvajových tratí na začátku rozvětvení do okrajových částí města. Splňují totiž jak kritérium velké poptávky cestujících bez potřeby využití konkrétní linky (často cestují do, respektive z lokálních center v širším centru nebo určitého významnějšího přestupního uzlu), tak krátký interval spojů v úseku. Také zde je potenciální příčinou zpoždění právě zdržení na křižovatce s neoptimálně řízenou MHD, a tak není výjimkou nahromadění spojů přímo při vyčkávání na signál volno. Na uvedených odůvodněných příkladech je tak závěrem ukázána potřeba koordinace závislosti preference na SSZ a jízdních řádů, které mohou v synergii s metodami jejich plánování zlepšit reálnou obsluhu linkami MHD [9].

2.1.2 Provozní důvody

Každý podnik chce při provozování své podnikatelské činnosti hospodařit co možná nejefektivněji. Tím spíše se bude snažit ušetřit firma podnikající v oblasti dopravy v momentální době energetické krize a ekonomické recese. Kdyby se sám takový podnik zamyslel nad přínosy, které by mohly z preference na SSZ plynout, vedle zřejmé nižší spotřeby paliv (důsledkem jsou například nižší náklady na pohonné hmoty, avšak jen díky plynulejší jízdě – dopravní výkon je i při úspoře vozidel pořád stejný) a případně nižšího opotřebování vozidel díky plynulejší jízdě by pravděpodobně tento dopravce viděl příležitost profitovat z nižší doby oběhu vozidel na dané lince [1].

Jako jedna z metod tvorby oběhů vozidel na lince je často pro jednodušší systémy či pro názornost principu problematiky oběhu vozidel (v rámci určení počtu vozidel zajišťujících obsluhu na lince) používán podíl celkové doby oběhu a doby taktu, respektive intervalu obsluhy. V reálném provozu bývá však tento počet navýšen kupříkladu kvůli bezpečnostním přestávkám řidičů v kombinaci s vázáním řidiče na vozidlo nebo vyhrazené operační a provozní zálohy, přičemž u druhé jmenované se jedná až o 30% navýšení z původního počtu vypravených vozidel či souprav. „*V úlohách taktového grafikonu je na každé lince velmi jednoduše stanovitelný počet vozidel/souprav, neboť všechny procesy se periodicky opakují.*“

$$n_{voz} = \frac{2 \bullet t_{jízdy} + t_{obratu,A} + t_{obratu,B}}{t_{taktu}}$$ [10] (2.1)

kde je n_{voz} počet vozidel na lince [voz];
$t_{jízdy}$ jízdní doba [min];
t_{obratu} doba obratu jedné konečné zastávce [min];
t_{taktu} doba taktu [min].

Ze vztahu je dále zřejmé, že největší potenciál úspory pořadí mají linky s krátkým intervalem mezi spoji. Aby byla tato uvedená četná obsluha dodržena, musí být na danou linku vypraveno velké množství vozidel spolu s řidiči, což je pro dopravce v rámci jedné linky zpravidla nežádoucí. Efektivní bude tento provoz jen v případě nadmíru vytížených linek, navíc s menší potřebou zajištění operačních záloh pro už tak častou obsluhu. Místo toho je výhodnější takové vozidlo využít na linkách s častým výskytem mimořádností či delšími intervaly. Každopádně právě páteřní linky MHD s výrazně častou obsluhou v porovnání s ostatními linkami v systému mohou při zavedení preference vozidel MHD na SSZ snáze zaznamenat úspory v provozu.

Při určité minimální hodnotě doby oběhu by to tak pro dopravce v tuto chvíli znamenalo pokles potřebného počtu vypravovaných pořadí linky, tím pádem i úsporu pracujícího personálu. Nakonec se důsledek projeví na nižších variabilních nákladech podniku, tedy konkrétně na amortizaci vozidel a vyplacených mzdách zaměstnancům. Případně je v dlouhodobém horizontu možné ušetřit také na fixních nákladech, kdy si dopravce vozidlo ušetřené po úpravě ani nepořídí. Toto je ovšem specifický případ většinou buď při zavádění obsluhy daných linek v území, nebo při obnově vozového parku. Na příkladu páteřní městské autobusové linky 107 zahrnuté do systému PID, která spojuje stanici metra A Dejvická zejména s pražskými městskými částmi Sedlec a Suchdol. Za tehdejších podmínek zkrácení doby oběhu o 4 minuty, 3min doby taktu ve špičce pracovních dní, doby jízdy 13 minut a průměrných dob obratu 13 minut na obou konečných zastávkách dohromady byla určena možná úspora dvou vozidel. Při teoretickém zkrácení doby oběhu zhruba o celkových 7 minut by bylo možné ušetřit ještě o jedno vozidlo navíc. K posouzení úpravy je nutné konstatovat, že téměř 6km trasa z jedné konečné zastávky na druhou obsahuje pouze 4 návěstidly řízené křižovatky nebo zabezpečený přechod [1].

Z marketingového pohledu se tato inovace dopravci, jak bylo již zmiňováno, samozřejmě též vyplatí a může tedy očekávat nové potenciální cestující. V komunikaci s takovými nerozhodnutými cestujícími je ovšem preference vynechávána. Kromě výhodného tarifu či propojenosti a výhod sítě veřejné dopravy vyzdvihuje marketingové oddělení rychlost a krátkou cestovní dobu, na nichž má preference také svůj podíl. Tento fakt je způsoben

nejspíše obecným negativním postojem společnosti k upřednostňování vozidel MHD v jejích očích na úkor momentálních účastníků provozu na pozemních komunikacích s osobním automobilem.

V analogii s problematikou jízdního řádu z minulé podkapitoly je ve výsledku v zájmu dopravce dodržování také již uvedených standardů kvality služeb, v tomto případě odchylka reálných odjezdů od odjezdů podle jízdního řádu. V Pražské integrované dopravě se vliv preference teoreticky nepřímo týká standardů kvality plnění grafikonu a přestupních vazeb. ouvislost s přesností provozu, u které je efekt preference jasnější, tento integrovaný dopravní systém definuje v tramvajovém provozu následovně. „*Provoz je zajišťován v souladu s platným jízdním řádem. Provoz je přesný, pohybuje-li se odchylka od jízdního řádu u nácestné zastávky v rozmezí 0 až +179 s, u výchozí zastávky 0 až +59 s. Standard je splněn, jede-li 80 % sledovaných spojů v toleranci pro přesný provoz.*“ [11] Z uvedeného lze konstatovat důraz na eliminaci nadjetí souprav zaznamenávaného zejména v podobě dřívějšího odjezdu ze zastávky označené jako kontrolní bod a snahu včasného vyjetí spoje z výchozí zastávky, kterému zpravidla okolní prvky z provozu příliš nebrání. Data z let před epidemií koronaviru (konkrétně 2013–2018) vykazují mírně růstový trend hodnot plnění přesnosti provozu pohybující se pravidelně okolo 90 % vozidel, která tento standard splňují. Zveřejněny jsou mimo to také procentuální hodnoty nadjetí spojů nepřesahující ve sledovaném období 0,18 % [12]. Tato optimistická čísla potvrzují správnost nastavení jízdního řádu i ve vztahu k dopravní situaci, ale hlavně v závislosti na čase. Stále je ovšem nutné zmiňovat a prosazovat například i dobrou propustnost křižovatek pro vozidla MHD a cílit na ještě lepší zajištění přesnosti provozu. Navíc je zřejmé, že procentuální hodnotu včasné obsluhy zastávek snižují nejvíce spoje v době ranní a odpolední špičky. Dále vozidla MHD nabírají zpoždění nejčastěji v oblasti centra a širšího centra města kvůli zhoršené dopravní situaci a různým jiným vlivům, mezi které patří i větší množství SSZ. V centru se mimo to SSZ na určitých místech nechávají bez aktivní preference, kvůli teoretickému malému výslednému efektu. Nepravidelnosti v provozu může v menší míře způsobit i nedostatečné pokrytí reálné poptávky při nesouladu oproti očekávanému množství cestujících (například prodloužená ranní špička po osmé hodině ranní). Prodloužené doby stanicování pak mohou dohromady během jízdy způsobit až několikaminutové zpoždění.

2.2 Historický vývoj a zkušenosti s preferencí v Praze

Protože se bude celá práce zabývat veřejnou dopravou zejména v Praze a uváděná problematika bude odpovídat pražským podmínkám, následující část bude věnována

krátkému představení a charakteristice místního preferenčního opatření systému MHD i samotné městské hromadné dopravě, především pak tramvajové sítě.

První dočasné zavedení preference MHD na SSZ s kladnými výsledky pro provoz je v Praze datováno na začátek osmdesátých let. Jednalo se o křižovatku poblíž dnešní tramvajové zastávky Slavia - Nádraží Eden, na níž bylo preferenční opatření znovuzavedeno po přibližně čtyřiceti letech. V roce 1987 následovala již stálá absolutní preference na SSZ u zastávky Přístaviště. O několik let později se spolu s preferencí představila nová generace řadičů na SSZ u Národního divadla a na křižovatce Masarykovo nábřeží x Myslíkova. Řadiče stále pracovaly na jednodušší bázi, neboť řízení střídání fází nebylo nijak regulováno. Už na přelomu tisíciletí si kompetentní osoby začaly uvědomovat výhodnost upřednostňování vozidel MHD a mimo začínajících nových experimentů stavebních úprav infrastruktury ve prospěch veřejné dopravy nastal rozmach prvků upřednostňujících MHD po povodních v roce 2002 [5]. S přibývajícími SSZ s preferencí se na konci stejného desetiletí rozmohlo také zavádění vyhrazených pruhů pro autobusovou dopravu. Při současném zaznamenávání přínosů těchto opatření s nikterak závažným narušením provozu IAD se další prostředky preference MHD formují v komplexní preferenční osy až dodnes [13]. V roce 2020 tak preference tramvají na SSZ dosahovala zastoupení 88,9 % z celkového počtu SSZ s tramvajovým provozem s tím, že na konci roku 2021 bylo počítáno se zbylými 20 křižovatkami bez preferenčních opatření [14]. Z celkových 247 nynějších křižovatek by podle dostupných informací mělo zůstat natrvalo bez zavedené preference zhruba 9 z nich. Jednoduchou matematikou tak lze dospět k faktu, že další upřednostnění vozidel MHD se plánuje u nízkých jednotek křižovatek, konkrétně jde o přibližně 11 SSZ. Existují totiž křižovatky či úseky komunikací, na kterých by zavedená preference nepřinesla žádoucí efekt. Jak bude dále rozvedeno, mezi tyto případy patří například liniové koordinace či výskyt silných kolizních směrů nejčastěji IAD [4]. Určitým typem kompromisu se pro takové úseky stávají pasivní preferenční opatření využívající kupříkladu dopravně závislých signálních programů. Prostřednictvím simulací a výpočtů je tak o těchto křižovatkách povětšinou na delší dobu rozhodnuto, že se na nich ponechá řízení bez aktivní preference MHD pro kvalitní průjezdnost IAD nebo pro postačující zavedenou pasivní preferenci. Mírně varovné jsou totiž zkušenosti s preferencemi na SSZ, které měly na místní dopravní situaci katastrofální dopady a spojům MHD se zdržení na křižovatce zkrátilo jen nepatrně. Nejen z tohoto důvodu se takovéto křižovatky, ale i takové s podobnými parametry a předpoklady řeší kromě již popsaného buďto pevnými signálními plány, nebo ponecháním křižovatek bez řízení SSZ. Dlužno však zmínit případy právě těch křižovatek, kterých se pravděpodobně v nejbližší době preferenční opatření týkají. Často na úkor jiných SSZ tyto na zavedení zvýhodňování souprav MHD stále čekají, i když potřebnou technologií kolikrát léta

disponují [15]. Některé z těchto problematik řízení dopravy na SSZ s provozem MHD budou rozvedeny v dalších částech bakalářské práce.

Aby byl shrnut stav preferenčních opatření MHD na SSZ v Praze, uvedené informace více méně odpovídají reálnému fungování upřednostňování spojů. Co se týče zejména tramvají, velmi záleží na zatížení a složitosti dané křižovatky. Na jednoduchých kříženích tramvajové trati s průměrné vytíženou pozemní komunikací není se zaváděním a realizací absolutní preference například i ve formě časových ostrůvků zpravidla žádný problém. Na o stupeň komplikovanějších SSZ se v Praze setkáváme s různě dobře nastavenou podmíněnou preferencí. Občasně zde SSZ využívají i více způsobů preferování MHD. Výjimky se dají najít kupříkladu u vjezdů a výjezdů z obratišť či běžných křižovatek, kde se zdržení na jednom SSZ může pohybovat v řádu vyšších desítek sekund až minut. Dále je ve specifických případech upřednostňována preference určitých směrů v křižovatce (například ty pojížděné páteřní linkou) či určitého dopravního prostředku MHD před jiným (autobus x tramvaj). Na vybraných úsecích tramvajových tratí je dále používán pevný signální plán pro malou efektivitu potenciálních opatření vůči úspoře vstupů, jak je v bakalářské práci zmiňováno. Rozhodující faktor je v takových řešeních samozřejmě také provoz ostatních vozidel, pro které by preference většinou představovala nepřípustný zásah do plynulé dopravy. Spoj se zde tedy výjimečně řízen v závislosti na okolní dopravu, zpravidla v rámci pasivní preference v liniové koordinaci. V neposlední řadě přetrvává na některých SSZ zejména na periferních větvích tramvajových tratí ne zcela vhodné vložení volné fáze pro tramvaj pouze v případě její detekce. Při takovém řešení existuje mnohdy předpoklad určitých vedlejších negativních dopadů. Praha čítá také několik vcelku významných křižovatek s tramvajovým provozem, kde se SSZ buď zcela zrušilo, nebo vůbec nebylo zřízeno. Stalo se tak kvůli špatným zkušenostem s řízením provozu, který dopravní situaci u uzlu výrazně zhoršil, nebo kvůli různým jiným skutečnostem. Momentálně je provoz na takových křižovatkách řízen svislými dopravními značkami a případné domluvě mezi účastníky provozu.

2.3 Zkušenosti s preferencí ze zahraničí

V rámci příkladů realizace preference ze zahraničí bude zmíněno o německém městě Rostock z konce minulého století. Tehdy se zde začal testovat nová technologie umožňující zavedení preference na SSZ a oddělení jízdních pruhů pro tramvajový provoz. Prostřednictvím té mělo být dosaženo zvýšení cestovní rychlosti, získání výhody v provozu před IAD a v konečném důsledku i nárůstu atraktivity veřejné dopravy. Bylo využito technologií infračerveného záření pro komunikaci s inframajáky umístěnými před SSZ a radiosignálů pro informování řadiče. Když inframaják zachytí blízkým spojem vysílaný signál, do vozidla jsou vyslány informace

o místě přihlášení a odhlášení do následující křižovatky. Dosažením těchto bodů začne komunikace s řadičem dané křižovatky, nejprve palubní počítač žádá o umožnění průjezdu, po projetí křižovatky a příjezdu k bodu odhlášení předává informaci o překonání uzlu a z křižovatky se odhlašuje. Do tohoto procesu bylo v praxi v tamní MHD zpravidla doplněno rychlostní návěstidlo a předvěst pro zpřesnění průjezdu a vymezení tolerance příjezdu do signálu volno. V období, kdy byla v Praze preference MHD na SSZ pouze v začátcích, německé pobřežní město již vykazovalo 3min úsporu v jízdní době na jisté lince a 17% navýšení cestovní rychlosti, čímž bylo ve výsledku při vypravování na spoje ušetřeno jedno vozidlo. V literatuře z roku 2005 jsou následně porovnávány údaje z provozu MHD po modernizaci v Rostocku a v tehdejší Praze. Fakt, že projekt ze zahraničí byl na dobu před zhruba třiceti lety úspěšný, potvrzuje například část jízdní doby tvořící zdržení před světelně řízenou křižovatkou. Ta v Praze na průměrné lince činila 12 % a odpovídá tak téměř dvojnásobku relativní hodnoty z Rostocku po zavedení preferenčních opatření [16].

2.4 Vliv na ostatní druhy dopravy

2.4.1 Tendence zmírnění dopadů a zdržení ostatních druhů dopravy

Když bude uvažována momentální reakce signálního plánu pro zvýhodnění jízdy vozidla MHD, je nutné také přemýšlet nad tím, co daná úprava znamená pro ostatní vozidla vstupující do křižovatky a řadící se prostřednictvím jízdních pruhů pod stanovené signální skupiny, které jsou sloučeny do fází cyklu SSZ. Podle směrů průjezdu vozů linek MHD křižovatkou a v závislosti na počtu linek a typů dopravních prostředků (většinou tramvaj a autobus) se dá předpokládat, jaké signální skupiny budou mít kvůli preferenci kratší dobu signálu volno a jaké budou mít spolu s preferovanými soupravami MHD naopak delší čas na projetí. „*Vzhledem k tomu, že preferenční zásahy často prodlužují délku volna vlastní fáze a zkracují délku volna kolizních fází, SSZ po uspokojení nároků tramvají použije zbylý čas tak, aby konečné podíly volna na SSZ v jednotlivých směrech pokud možno respektovaly poptávku vozidel.*“ [5] Podobně jako u pevných signálních plánů by tak měly průměrné délky signálů volno pro jednotlivé signální skupiny odpovídat naměřeným denním intenzitám a dalším parametrům křižovatky.

Zdržení se tím pádem může zkrátit též pro ostatní dopravu na pozemních komunikacích. Dopravní proudy mohou totiž ve stejné většinou nekolizní fázi jako jediné (pokud je takový příkaz zařazený v podmínce algoritmu řídicí logiky) dostat operativně signál volno. Přínosný a co do propustnosti nejefektivnější je však případ, kdy též zvýhodňované signální skupiny pro automobilovou dopravu disponují největšími hodnotami denních intenzit na vjezdech (při

rozdělení linkového vedení na křižovatce žádoucí společně se směrem jízdy kupříkladu tramvajové dopravy s nejkratším intervalem obsluhy). Případně se vyplatí zvýhodňovat signální skupiny s vyššími stupni saturace, které mohou mimochodem zvýšit kladné hodnoty podélného sklonu vjezdu a poloměr oblouku při odbočování ve křižovatce. Dle daných vztahů jde poté o zajištění minimální délky zeleného signálu pro konkrétní kritický vjezd. Finálně se od těchto výpočtů vyvíjí střední doba zdržení, která může být v praxi v rámci průjezdu křižovatkou společně s vozidlem MHD snížena.

Z pohledu způsobů realizace preferencí popsaných v další kapitole se dají určit určité skupiny metod a rysy řízení dopravy s použitím preference, které je vhodné aplikovat pro různá specifika křižovatek a různě silně vytížené komunikace, respektive směry jízdy v křižovatce. Pro silné dopravní proudy v kolizní fázi k fázi se signální skupinou pro MHD jsou nejproblematičtější možnosti předvýběru preferované fáze na úkor průjezdu proudu s vysokou intenzitou dopravy. V takové situaci je dále nežádoucí například ne tak obvyklá speciální fáze se signálem volno pouze pro spoj veřejné dopravy [16]. Při zavedení první z jmenovaných je dobré myslet na efektivní průjezd ve smyslu co nejkratšího nutného signálu volno pro zvýhodňovanou signální skupinu a podle možností zvážení zajištění průjezdu spojů z obou směrů najednou (například úpravou jízdního řádu, aby časové polohy u SSZ byly u obou vozidel stejné či zajištění preference pouze pro spoj z jednoho směru, na který spoj z druhého směru za určité podmínky zahrnuté v řídicí logice „počká“ skrz signál stůj na jeho návěstidle). Realizace celočervené fáze pro zajištění samostatného průjezdu vozidla MHD je prakticky nepoužitelná při silném provozu na jakémkoliv z vjezdů automobilové dopravy do křižovatky. Příhodná je naopak na specifických křižovatkách, kde je většina nebo všechny komunikace s vybranou fází kolizní či s podprůměrnými hodnotami intenzity automobilové dopravy. Tato varianta je tak zvolena pro jednoduchý, účelný a bezpečný průjezd spoje MHD bez výrazného narušení ostatního provozu. V uváděných případech je také klíčové kompenzovat zdržení kolizní fáze, a to nejčastěji prostřednictvím delšího trvání takové fáze nebo dřívějšího zeleného signálu pro začleněné signální skupiny. Nejvyšším stupněm optimalizace je poté stálé volno pro zatíženou kolizní fázi přerušovanou jenom skrz nárok na průjezd soupravy MHD spojený s umožněním vjezdu automobilové a pěší dopravě souběžné s jízdou té městské hromadné [5]. V opačném případě nízkých intenzit na všech vstupech do křižovatky jsou přípustné a mnohdy i výhodné právě nevšední celočervená fáze, vložení fáze s provozem MHD (jakožto mírnější varianta předchozího s možným dalším signálem volno ve stejné fázi), teoretické vynechání určité signální skupiny, prodloužení preferované fáze nebo zkrácení fáze kolizní.

2.4.2 Dopady nové výstavby v blízkosti SSZ spjaté s preferencí

Souvislost s výstavbou nových zástaveb zejména na okrajích měst v oblastech brownfieldů, nebo na tzv. „zelené louce“ zvýší počet potenciálních cestujících i intenzitu IAD. Na míru změny dopravní situace má vliv také struktura nově vybudované oblasti, a to například v otázkách alespoň základního občanského vybavení v oblasti, a tudíž i potřebě dojížďky obyvatel z a do území. Dalším podstatným faktorem ovlivňujícím dělbu přepravní práce v osobní dopravě je dostatečná, resp. odpovídající infrastruktura veřejné hromadné dopravy, která může mít také určitý vliv na modal split a která zmírní nárůst množství osobních automobilů na okolních komunikacích. V důsledku se tedy nové faktory upravené nabídky MHD (menší intervaly, kapacitnější vozy, nové linky, …) a zvýšené intenzity automobilové dopravy stávají vstupy do SSZ, na které by mělo být adekvátně reagováno úpravou signálního plánu. Speciálně pak nabírá na významu preference MHD jakožto právě další opatření nepřímo spjaté s dělbou přepravní práce. Nežádoucím stavem v rámci důsledku preferenčního opatření je však navyšující se zdržení dopravy na těchto zatížených komunikacích až do stavu častých kongescí. Dopravní situace v takových případech totiž hrozí zhoršením pro všechny účastníky provozu, a tak toto riziko není vhodné podceňovat. Návrhy na předejití problému zdůrazňují včasnou a kvalitní výstavbu infrastruktury hromadné dopravy a následnou obsluhu MHD či stavbu jiné paralelní komunikace, která může převést část potenciálního dopravního proudu z přetíženého okolí dané křižovatky.

2.5 Vztah preference k chování účastníků provozu na pozemních komunikacích a k infrastruktuře

Nejen pro preferenci vozidel MHD je stěžejní umístění zastávek v blízkosti křižovatky. Tato problematika se týká i otázek propustnosti křižovatky, možné tvorby kongescí, uzlů s přestupními vazbami mezi zastávkami, napojení na pěší komunikace atd. Co se týče výhod umístění zastávky před křižovatku, mimo malé spotřebované energie a kratších přestupních vzdáleností může být využito různě dlouhého umožnění výměny cestujících v zastávce při čekání na signál volno za podmínky neblokování průjezdu ostatních dopravních prostředků a chybějící preference. Naopak při funkční preferenci je počítáno s určitým možným intervalem délek pobytu v zastávce pro zajištěný co nejdřívější volný průjezd křižovatkou. Toto možné rozpětí setrvání v zastávce s otevřenými dveřmi je však nutné respektovat a výstup a nástup zbytečně neprodlužovat. Vyjma občasných prodloužení této doby vlivem například nástupu či výstupu osob se sníženou schopností pohybu a orientace prostřednictvím nájezdové plošiny je tak pro najetí do křižovatky za signálu volno žádoucí po jednou zavřených dveřích již znovu neotvírat a s vozidlem najet rovnou před stopčáru [17]. V Německu bývá pro zajištění této bezproblémové posloupnosti součástí návěstidel signální obraz písmena „T“

(Türen schliessen) upozorňující řidiče tramvají na včasné definitivní zavření dveří (dříve zavřené dveře zpravidla ještě mohou být otevřeny) pro následný okamžitý možný odjezd soupravy do křižovatky [18]. Za běžné situace bez dalších úprav komunikace je zejména v autobusové a trolejbusové dopravě zahrnuta další podmínka jízdy v křižovatce rovně nebo doprava. Vzhledem k efektivitě stavebních úprav a k jízdě právě rovně či vpravo je příhodné vést rozšířenou hranu pruhu se zastávkou až k samotné křižovatce.

Pro případ umístění zastávky za výstupem z křižovatky je širší hrana komunikace pro zastávkový prostor též možná, kromě toho lze tento jízdní pruh navíc využít jako připojovací nabízející kapacitnější výjezd [19]. Dále se mezi výhody dá zařadit delší cestovní doba k dosažení potenciální následující křižovatky a tím pádem více času na zareagování řadiče oné křižovatky pro upřednostnění projíždějícího spoje. S odkazem na část práce o vlivu na jízdní řád je vhodné umístění zastávky za křižovatkou z důvodu komfortního přestupu a především pro začátky úseků obsluhované společně více linkami. V neposlední řadě je tato poloha zastávky pozitivem při preferenci na SSZ za jízdy, což ve větší míře souvisí s podmínkami na infrastruktuře před prostorem křižovatky a zařízeními jakožto i detektory zaznamenávající vozidla MHD [20]. Komplikace může na druhou stranu nastat u tramvajové zastávky přímo za křižovatkou bez vlastního nástupního prostoru zastávky, kam nesmí být v zájmu bezpečnosti dopravy a průjezdnosti křižovatky povolen vjezd dopravním prostředkům do doby ukončení stanicování soupravy.

Speciální kombinovaná varianta částečně řeší zmiňované obtížné preferování spojů MHD v rámci koordinovaných řízených křižovatek. Jedná se o volbu umístění zastávek spočívající v celkem dvou zastávkách mezi první dvojicí křižovatek (první zastávka za první křižovatkou, druhá zastávka před druhou křižovatkou) a žádné zastávce v následujícím mezikřižovatkovém úseku (v dalších pravidelných úsecích s liniovou koordinací se proces opakuje). Taková poloha zastávek totiž umožní v prvním úseku nenarušenou jízdu bez jakéhokoliv vlivu SSZ a druhý úsek projede spoj ve svazku s ostatními vozidly. Jediné zdržení ze strany SSZ tak teoreticky může nastat u prostřední křižovatky oddělující oba popisované úseky [21]. Nicméně v rámci stanicování v zastávce před SSZ je dlužno zmínit, že zejména pro tramvajovou dopravu se koordinace SSZ v pražských ulicích téměř nevyužívají. Výjimkou můžou být mezizastávkové úseky s větším množstvím řízených křižovatek, na nichž tramvajová trať na křižovatkách odpovídá směrům s vysokou intenzitou IAD a není tedy potřeba ani důvod příliš často upřednostnit směry kolizní. Dalším spíše minoritním důvodem se teoreticky může stát riziko zablokování průjezdu křižujících komunikací jednou či více soupravami (při krátkém intervalu obsluhy).

Pro případ následující problematiky nebude uvažována volba umístění zastávky bezprostředně před vjezdem do křižovatky. Pro využití reakce řadiče, který rozhoduje o pořadích fází a volí co nejdříve pro čas příjezdu vozidla před křižovatku fázi se signálem volno pro tento vstup, je zapotřebí zajistit bezproblémový příjezd vozidla či soupravy do prostoru před stopčáru. Aby bylo předejito případům zbytečného zdržení spoje jiným vozidlem, zejména tramvajové těleso by mělo být alespoň před SSZ pro tramvaje samostatné, oddělené od ostatních druhů dopravy (na komunikacích mezi křižovatkami je oddělení pro plynulost veřejné dopravy též vhodné, na komunikacích s úzkým příčným profilem je ovšem tolerován a připouštěn sdílený provoz více druhů dopravy). Toho je pravidelně docíleno fyzickým znemožněním vjezdu neoprávněným vozidlům stavební úpravou komunikace. Časté a účinné jsou prvky fyzicky oddělující jízdní dráhu tramvaje od vozovky pro IAD (například tzv. „bumlíky“) či vyvýšený tramvajový pás. Tyto varianty liniové preference se v Praze každým rokem zavádějí na dalších rekonstruovaných infrastrukturách do provozu, ať v tramvajové dopravě, tak především v té autobusové [14]. Dalším variantním řešením je zvýhodnění předvybráním fáze se signálem volno také pro vozidla blokující vjezd do křižovatky po společném jízdním pruhu primárně preferovanému spoji. Opět z důvodu přímého najetí před křižovatku je v neposlední řadě praktické vybavit tramvajovou infrastrukturu rozřazovacími kolejemi. Pro dále uvedené účely spjaté s technickým vybavením lze namísto rozřazovacích kolejí použít kolejovou splítku, která však už samostatně neplní funkci fyzického oddělení vjezdů do křižovatky. Při příznivých prostorových podmínkách může teoreticky dojít k tomu, že každá signální skupina bude mít vlastní jízdní pruh, respektive vlastní oddělenou kolej. V kombinaci s preferencí dokáže tento stav především zmenšit zdržení spojů a zjednodušit samotné najetí vozidel do prostoru křižovatky [5].

3 Způsoby realizace preference na SSZ

Možností, jakým způsobem bude na dané světelně řízené křižovatce uskutečněna preference, je mnoho. Pro funkci řadiče zvýhodňující vozidla VHD je primárně důležité, zda při preferenci nedochází k žádné komunikaci mezi řadičem a vozidlem a jedná se tak o preferenci pasivní, či vozidlo poskytuje řadiči informace například i o poloze, a tudíž jde o preferenci aktivní a jaká konkrétní technologie je k preferenci užita. Stěžejní podmínkou pro realizaci konkrétní aktivní preference je také výběr absolutní, nebo podmíněné preference. Nelze zároveň taxativně určit, která kombinace způsobu přenosu a vyhodnocení informací vedoucí k co nejvíce hladkému průjezdu soupravy je ta nejlepší stran kritérií zaměřených na přesnost polohy, minimální zdržení atd. Ke každému SSZ, které využívá preferenci vozů VHD, se proto musí přistupovat individuálně a komplexně. Rozhodující roli hrají například dopravní parametry na uzlu i v oblasti, širší dopravní vztahy, postavení křižovatky v síti co do významnosti křížení

a dopravně-technických požadavků. Cílem detekce spoje pro jeho efektivní preferenci na křižovatce je včasné informování řadiče SSZ, aby měl dostatečně času na vzniklý požadavek zareagovat a podle vstupních parametrů se mu přizpůsobit. Na základě předdefinovaných podmínek, které určují minimální délky zelené pro jednotlivé vjezdy ve fázích, a samotného signálního plánu poté může být rozhodnuto o formě co nejhladšího průjezdu křižovatkou.

Podstatou tohoto celého procesu je dynamické řízení, které upravuje signální plán podle aktuálních požadavků, naměřených dat a dalších zaznamenaných informací. Z principu využívá různých délek fází, možné změny fázového sledu, vynechání i vložení fáze atd. Takové úpravy se provádějí k přizpůsobení se momentálním intenzitám na jízdních pruzích na vjezdu (posuzované například podle délek časových mezer na detektorech), u preference MHD zase k zajištění přednostního průjezdu křižovatkou [5]. „*Změny stavu dopravy na jednotlivých křižovatkách jsou zohledněny krátkodobě, po dobu několika vteřin, respektive po dobu jednoho cyklu. (…) Velmi významným prvkem v preferenci vozidel MHD jsou pružné fázové přechody zejména v situacích, kdy například tramvaje mají podstatně kratší najížděcí mezičas proti kolizním skupinám než ostatní (vozidlové) signální skupiny ve stejné fázi.“* [21] Kvůli malému zrychlení tak tramvaje mohou dostat signál volno často dříve než souběžně jedoucí vozidla IAD. Klasický vyklizovací mezičas tramvajových souprav je naopak zpravidla delší oproti těmto vozidlovým signálním skupinám.

Pro řízení dopravy prostřednictvím SSZ v závislosti na dopravní situaci je tedy zapotřebí začlenění řadičů ovládajících celý proces řízení pomocí světelných návěstidel, počítačů zabezpečujících střídání jednotlivých signálních obrazů na návěstidlech podle pokynů (signálních plánů a řídicí logiky) a detektorů, které zaznamenávají příjezd spojů [9].

Na začátek je v rámci shrnutí a ujasnění také vhodné zmínit se o základních režimech řízení SSZ. Jedním z nejméně komplikovaných je **jediný pevný signální program**, který nereaguje na žádné okolní vlivy. Následuje možnost režimu **více signálních programů aktivovaných podle času**. Zde se v závislosti na odlišné doby ve dni i týdnu volí pevné signální plány kupříkladu s různým uspořádáním a délkou fází odpovídající predikovaným dopravním situacím v daných časových intervalech. Oproti tomu existuje režim vybírající stále pevné **signální plány podle aktuálního stavu dopravy**. Kromě možnosti upravovat kapacitu jednotlivých vstupů do křižovatky lze v určitých případech volit mezi pevným a dynamickým signálním programem. Tento výběr vyskytující se občasně také u předchozího režimu řízení SSZ podle času tak již začíná mít vliv na preferenci MHD na SSZ, přestože zatím pouze určuje teoretickou možnost začlenění preferenčních opatření. Dalšími spíše krátkodobými způsoby řízení je podle některých zdrojů vložená fáze navíc (pro volný vstup chodců, průjezd vozidel

integrovaného záchranného systému, ale i vozidel MHD – rozvedeno dále v příslušné podkapitole), úprava délky trvání signálu volno pro dané signální skupiny, volné řízení SSZ počítačem i jiné úpravy řízené z Hlavní dopravní řídící ústředny [5][9].

3.1 Metody realizace preference

Samotná forma uskutečnění co nejplynulejšího průjezdu křižovatkou závisí na tom, jestli je upřednostňování vozů MHD míněno pasivně, kdy řadič aktivně nekomunikuje s vozidlem, anebo se jedná o okamžité, momentální změny jednotlivých průběhů řízení v rámci cyklu nebo fází, tedy o preferenci aktivní. Pro efektivní využití s výraznějším efektem na provoz tak podle uvedeného bude mít právě preference aktivní.

3.1.1 Pasivní preference

V rámci pasivní preference se uplatňují především optimalizované pevné signální programy, které počítají s určitým chováním vozidel dopředu definované například traťovým intervalem. Pro účely pasivní preference je tedy možno řídit se jistým pravidelným příjezdem spojů. Konkrétním případem je liniová koordinace, jež vozidlům umožňuje volný průjezd několika SSZ [5]. Pro průjezd zároveň s vozidly MHD je žádoucí dodržovat určitá dále rozvedená pravidla. A tak i u této možnosti upřednostňování MHD lze upravit volitelné parametry v provozu pro dosažení minimálního zdržení navzdory nulové aktivní komunikaci s řadičem. Tohoto lze dosáhnout kupříkladu umístěním zastávky před začátek koordinovaného úseku, resp. před jeho první návěstidlo (viz podkapitola Vztah preference s chováním účastníků provozu na pozemních komunikacích a k infrastruktuře). Tehdy je možné stanicovat delší dobu a umožnit tak cestujícím delší možnost nástupu a výstupu, přičemž samozřejmě i tento stav s sebou nese určité problémy a přináší nežádoucí situace. Skripta tento typ preference popisují následovně. „*Jedná se o nejlevnější metody, které samozřejmě nereagují na okamžitý stav veřejné dopravy:*

***Změny délky cyklu**: zkracování délky cyklu může snížit zpoždění projíždějících vozidel, ale potenciálně snižuje propustnost křižovatky, což by se nemělo projevit v celkovém nárůstu kolon na křižovatce.“* [16]

Zkracování délky cyklu logicky znamená také zkracování aspoň některých fází, které cyklus tvoří. Pro zvýhodnění vozidla MHD se tudíž přistoupí ke zkrácení fáze, v níž souprava nemá signál volno a jež je tak zpravidla kolizní vůči vozidlu MHD. Délka fáze, respektive fází obsahující signál volno pro prostředky MHD zaznamená poté v cyklu v porovnání se zbývajícími fázemi její procentuální nárůst. Stále je ovšem nutné dodržet okrajové podmínky

stanovené při navrhování SSZ, konkrétně především signálního plánu. Základními podmínkami jsou univerzální hodnoty a pravidla pro tvorbu signálního plánu, ze kterých je pro tento případ nejdůležitější minimální doba volna 5 s, doplněné o okrajové podmínky dané použitou metodou pro návrh signálního plánu. V případě metody saturovaného toku jsou stěžejní délky volna pro kritické vjezdy. Ve vzorci pro výpočet minimální doby signálu volno pro jízdní pruh s nejvyšším stupněm saturace je navíc zahrnuta délka cyklu. V určité fázi je tak délka volna pro kritické vjezdy ponížena už samotnou změnou parametru délky cyklu. Jelikož v této metodě hraje velkou roli též intenzita dopravy (jakožto i jedna z možných a častých kritérií zřízení SSZ), je zároveň s uvedeným vhodné zvažovat tuto změnu v řízení dopravy na SSZ na málo vytížených křižovatkách. Tento druh pasivního preferování je v dnešní době nepraktický k použití zejména kvůli nevýhodné kombinaci nízké efektivity preference a potenciální tvorbě kongescí kupříkladu v době dopravních špiček [22].

*„**Dělení fází:** fáze, ve které mají volno vozidla MHD je vložena do/mezi jiné fáze, takže vozidla MHD mají, díky většímu počtu vyhrazené fáze, větší možnost projet křižovatkou bez zastavení.“* [16]

Zde se jedná o statisticky pravděpodobnější plynulý průjezd křižovatkou a zároveň rozložení délek signálu stůj v cyklu pro vozidla MHD na pravidelnější části s menším rozptylem. Kromě toho se na druhou stranu může jednat o nerespektování pořadí fází dané délkami fázových přechodů, což opět záleží na volbě metody návrhu. Negativním dopadem tak poté může být prodloužení délky cyklu nebo další následky spojené s obecnými pravidly a doporučeními posloupností fází.

*„**Liniové časové plány:** časové plány a časový ofset pro koordinaci je počítán tak, že se uvažuje s rychlostí vozidel MHD.“* [16]

Pro svoje specifické využití dané několika podmínkami není vhodná pro využití zároveň s většími zásahy aktivní preference vozidel. V tu chvíli by to pro takové řízení teoreticky znamenalo, že příjezdem spoje MHD během signálu stůj by musela být ovlivněna všechna SSZ zahrnutá v koordinaci. Specifické požadavky na zavedení koordinovaných SSZ pro MHD v tomto úseku obsahují v každém případě v určité míře nerozvětvenou síť, co nejmenší počet zastávek (ideálně žádnou), minimum faktorů ovlivňujících rychlost vozidel a trasu linky (reprezentovanou pro účely práce zejména kolejemi tramvajové tratě na hlavní komunikaci).

*„**Dávkování vozidel:** v případě dopravních problémů se používá metoda dávkování vozidel vstupujících do oblasti. Pro vozidla MHD toto dávkování neplatí a vozidla mají vyhrazeny speciální objízdné pásy.“* [16]

Takový způsob upřednostňování jízdy využitelný při kongescích či jiných mimořádnostech není v České republice běžně používaný pravděpodobně z následujících důvodů. Vozidlo MHD potřebuje pro předjetí ostatních vozidel IAD v oblasti SSZ zvláštní vlastní jízdní pás. Pokud není součástí také dalších úseků (například odděleného tramvajového pásu) byl by vhodný pro pojíždění i jiných vybraných vozidel. V místě očekávaných dopravních problémů je prospěšnější zajistit propustnost celého dopravního proudu, ačkoliv dávkování může být stále v oblasti uplatňováno. Dalším možným důvodem je obecná aplikace této metody u infrastruktur, které v našich podmínkách téměř nejsou soupravami MHD využívány (kupříkladu u vjezdů do tunelů).

3.1.2 Aktivní preference

Na rozdíl od pasivní preference je příjezdem vozidla MHD k SSZ ovlivňován signální plán právě v čas požadavku upřednostnění při splnění okrajových podmínek. Pohyb soupravy je zpravidla zaznamenán prostřednictvím detektoru. Ten poté předá řadiči informace například o výskytu v předem definovaném místě, a tudíž i vzdálenosti od SSZ. U sofistikovaných detektorů lze o přijíždějícím spoji dále zjistit, ze kterého směru přijíždí, směr jízdy za křižovatkou, polohu, zda je vozidlo nadjeto, či zpožděno nebo moment zavření dveří příhodný v případě umístění zastávky před SSZ [16]. Ze všech přijatých informací z provozu nejen o dopravních prostředcích MHD by měl následně řadič za chodu rozhodnout o vyřešení situace pro dosažení zvýhodnění vozidel MHD a minimalizaci zpoždění ostatních účastníků provozu na pozemních komunikacích. Tyto okamžité úpravy signálního programu lze shrnout a rozřadit do několika skupin. Obecným principem aktivní preference je v rámci okamžité reakce SSZ eliminace řízení provozu na základě náhodného rozdělení s danou výslednou pravděpodobností příjezdu spoje za určité časové období. Proto je možné do určité míry garantovat maximální dobu zdržení, respektive zpoždění na konkrétním SSZ, které je nyní zpravidla velmi malé až nulové.

V praxi jsou používány určité okamžité změny průběhu cyklu, které jsou opět většinou voleny na základě typu křižovatky a intenzit dopravních proudů. Některé jsou například pro malé narušení procesu používány častěji, jiné se mohly přestat aplikovat kvůli změně vedení linek MHD či odlišně zatíženým dopravním cestám na mikroskopické i makroskopické úrovni. Zároveň není výjimkou, aby se na jednom SSZ nepoužívalo více možností upřednostňování kupříkladu tramvajových souprav. Zpravidla se tyto metody vybírají podle doby v cyklu, ve kterém si vozidlo začalo nárokovat volný průjezd křižovatkou. Typické způsoby realizace preference na SSZ v českých městech jsou následující.

Prodloužení vlastní fáze: Navýšení délky volna má základní předpoklad přihlášení vozidla zpravidla během vlastní fáze a teoretický příjezd vozidla MHD k SSZ krátce po jejím ukončení. K této metodě se však přistoupí jen tehdy, když doba jízdy spoje od místa detekce vozidla po příjezd ke stopčáře nepřesahuje největší možné prodloužení signálu volno pro signální skupinu spoje MHD. Samotná fáze se poté prodlouží samozřejmě jen o čas potřebný k vjezdu do křižovatky a se zachovanými mezičasy se přejde do další fáze v cyklu [5].

Zkrácení vlastní fáze a vybrání jiné kolizní fáze: Tato volba okamžité změny chodu cyklu souvisí a doplňuje předchozí způsob provedení preference. V případě, že popisovaný čas jízdy soupravy od začátku nároku na jízdu po příjezdu ke stopčáře přesáhne maximální hodnotu prodloužení signálu volno, nemá smysl takovou variantu realizovat. Za účelem minimalizace zdržení spoje MHD i efektivity signálu volno pro spoj v dané fázi je tato fáze v nejbližším možném momentu ukončena a nahrazena fází kolizní. Přidaný čas na volný průjezd křižovatkou se může případně použít i pro kompenzaci za předchozí preferenční opatření. U doby opětovného vybrání fáze se signální skupinou pro preferovanou MHD záleží na dalších podmínkách řídicí logiky. Obecně je však žádoucí tuto fázi zařadit co nejdříve, nebo ještě lépe tuto fázi aktivovat těsně před příjezdem spoje za jeho průměrné rychlosti [21]. Tento proces nejčastěji připomíná klasickou podmíněnou preferenci.

Zkrácení kolizní fáze: Pokud má naopak vozidlo MHD přijet ke křižovatce ve chvíli vybrané kolizní fáze, za splnění daných okolností se průběh této kolizní fáze přeruší pro vložení té preferované. Zkracování se nedoporučuje u už tak krátkých fází, specificky je opatření nevhodné u chodeckých signálních skupin [21]. Zejména u takovýchto frekventovaných opatřeních zvýhodňujících vozy MHD je vhodné nadměrné signály stůj kolizních směrů poté v cyklu kompenzovat.

Speciálním případem je **změna pořadí fází** v signálním plánu, kdy je místo délek určitých fází manipulováno právě s celými samotnými částmi cyklu. Používají se však i opatření využívající záměnu fází zároveň s dříve popisovaným zkrácením či prodloužením fáze [21].

Vložení vlastní fáze navíc při nároku: Řadič SSZ v tomto případě zařadí tuto fázi s provozem MHD jen při přihlášení spoje do křižovatky. Jedná se o případy zpravidla s krátkým traťovým intervalem na vstupu křižovatky odpovídající intervalu výzvy vozidla MHD na daném vjezdu či křížení s méně významnou komunikací nebo přechodem pro chodce. Signál volno se pro signální skupinu MHD tím pádem neopakuje v cyklu pravidelně. Při nároku detekováním vozidla je tak tato fáze buď přidána do cyklu mezi ostatní fáze (čímž je cyklus prodloužen), nebo prostřednictvím zkrácení či vynechání jiných fází přidána do ve výsledku stejně dlouhého cyklu. Eliminací nevyužitých umožněných průjezdů souprav se tak výrazně zvýší účinnost

procesu řízení dopravy na daném SSZ. Zároveň tím připadne více času v cyklu pro fáze kolizních směrů, přičemž takto je kompenzace těchto dopravních proudů řešena pouze u liniové koordinace v kombinaci s prodloužením cyklu. Dohromady s dalším cyklem se totiž musí pro správné fungování koordinace průměrná délka těchto cyklů rovnat délce cyklu, pro kterou byla liniová koordinace navržena [21]. V Praze již není tento způsob preference příliš využíván. Používá se většinou právě u křížení s přechody pro chodce nebo výjezdů a vjezdů z, respektive do obratišť a z, respektive do vozoven. Málokdy se zde také stává, že například při poruše detektoru či jiné mimořádnosti nárok vozidla MHD není v řadiči zadán nebo vozidlo do křižovatky nestihne najet včas. Řešením takovýchto občasných situací je poté ruční přihlášení řidiče nebo vyčkání na zařazení fáze příjezdem spoje z protisměru.

Vložení vlastní fáze podruhé během jednoho cyklu: U SSZ s nadprůměrně dlouhými cykly (mimo dvoufázových cyklů) je za dodržení řídicí logiky i z pohledu ostatních druhů dopravy možné vložit fázi se světelným signálem volno pro vozidla MHD dvakrát za cyklus. To se vyplatí zpravidla u složitých křižovatek s vlastní fází obsahující pouze signální skupinu pro MHD (spíše s krátkými intervaly příjezdu), tedy kupříkladu při jízdě do různých tramvajových oblouků a na vlastní těleso [5][21].

Kombinace využití posledních tří popsaných způsobů realizace preference nabírá na významu ve chvíli příjezdu více souprav za sebou k jednomu vstupu do křižovatky s rozvětvenou tratí (soupravy jedou do více směrů). Optimalizovaný signální plán v tomto případě zajistí co nejdříve možný signál volno pro směry příslušných čekajících spojů podle pořadí. Zřídka kdy tak celkové zpoždění vozidla činí časovou hodnotu větší, než je délka cyklu. Oproti tomu bez těchto preferenčních opatření může být jízda druhé tramvaje na právě vysílaný signál volno pro ni požadovaný směr znemožněna vyčkávající první tramvají. Nejen že standardně bude tato souprava zdržena o celý cyklus, další vozidla stojící za danou soupravou budou zdržena nejméně o stejnou dobu. Nejvíce se pak teoreticky zdrží o další dobu cyklu připadající na každý z před ní stojící spoj [21].

Jako doplnění vložení vlastní fáze při přihlášení vozidla do řadiče slouží **okamžité doplnění tramvajového volna do právě probíhající fáze** za okrajových podmínek. Vždy musí platit, že aktuální fáze je nekolizní k signální skupině MHD a spoj projede nejpozději v maximální možné době fáze, kdy má doplnění smysl. Díky tomuto opatření je tak spoj zpožděn ještě méně než při čekání na zařazení speciální fáze. Samotný cyklus a fáze v něm navíc nebudou dále narušeny [21].

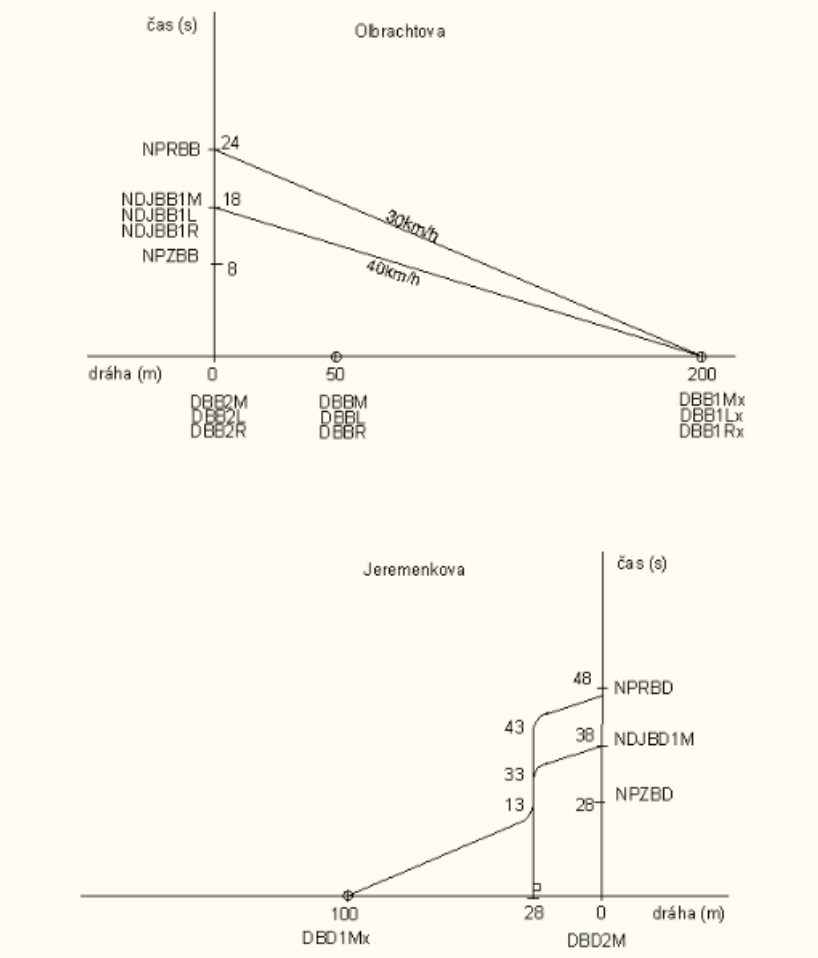
Dále se používají různé další kombinace uvedených metod provedení preference až k zcela volné úpravě signálního programu [21]. Zde bývá při zpracování zaprvé problematické správně

nastavit všechny podmínky zařazené do řídicí logiky SSZ a zadruhé důležité zaměření na určité zásady. V rámci nich musí složitost možných úprav odpovídat výsledné efektivitě volného průjezdu spojů, samozřejmě zároveň s co nejméně omezenou ostatní dopravou.

Jak již bylo zmíněno v podkapitole Tendence zmírnění dopadů a zdržení ostatních druhů dopravy, u řízení dopravy je v rámci preference stěžejní zajistit **kompenzaci** volného průjezdu signálních skupin v kolizních fázích. Průměrná doba signálu volno by tak pro jednotlivé signální skupiny měla odpovídat poptávané denní intenzitě provozu zjistitelné například z dopravního průzkumu [5].

Dříve hojněji využívaným preferenčním opatřením byl tzv. **časový ostrůvek** využívaný před zastávkami se zastávkovým ostrůvkem. Vozidlo MHD tedy bylo detekováno, avšak pouze pro splnění podmínky v řídicí logice, která na návěstidle pro IAD mění signál volno na signál stůj. Zastavení dopravního proudu před zastávkou vybavenou pouze úzkým zastávkovým ostrůvkem, který odděluje zpravidla nezvýšená úroveň vozovky, má primární funkci zajištění bezpečnosti pohybu cestujících ze a na zastávku. Zároveň se dá mluvit o rychlejším nástupu a výstupu cestujících a tím pádem i o celkovém urychlení zastávkových pobytů. Důraz je většinou kladen na viditelné umístění návěstidel, které dnes kvůli ustupujícímu používání tohoto upřednostňování vozidel MHD (rušeny s rekonstrukcemi a modernizacemi uličních prostor pro nahrazení nejčastěji stavebními úpravami nástupních ploch zastávek) řidiči automobilů tím spíše před prostorem zastávky neočekávají. Prostřednictvím zastávkového mysu či tzv. Vídeňské zastávky může být tento problém kritického místa nástupu a výstupu vyřešen i bez SSZ spolu s náklady na techniku a negativními externalitami. Kolikrát navíc zůstane jízda dopravních prostředků v prostoru zastávky díky úpravám nepřerušena [3]. Další diskuzi však vyvolává rizikové chování řidičů IAD, kteří na takovou změnu uspořádání jízdní dráhy nedbají a například objíždí tramvajovou soupravu zleva (tam, kde to není povoleno) nebo projíždí kolizní částí vozovky v době stanicování vozidla v dané zastávce. Takovou nebezpečnou jízdou tito účastníci provozu často ohrožují bezpečnost chodců i ostatních řidičů patrně ještě více než při variantě zastávkového ostrůvku s přechodem pro chodce bez řízení světelnou signalizací. Řešením mohou též být v Praze nepoužívané kombinace uvedených řešení, kupříkladu Vídeňská zastávka s časovým ostrůvkem. Světelná závora, jak se časové ostrůvky také někdy označují, může být však použita i pro další účely často i více spjaté se samotnou preferencí. Za vhodných podmínek jako například jednoduché křížení dvou komunikací se toto opatření provádí na způsob absolutní preference. Často jde o tramvajový pás vedený oddělené vedle silniční komunikace, který přechází do zvýšeného tramvajového pásu mezi jízdními pruhy silniční dopravy. V menší míře je soupravě po detekování ihned umožněn volný průjezd z a do obratiště [2][14].

Jeden z nutných prvků pro správnou funkci dynamického řízení SSZ, a tedy i preference MHD (zde popsány detektory konkrétně pro tramvaje) na SSZ jsou detektory. V rámci zaměření celé práce však není žádoucí ze široka rozebírat problematiku této části techniky. Pro úplnost a představení možností jejich aplikace zejména v tramvajové dopravě (v závislosti na praktickou část práce) budou uvedeny různé typy detekcí a detektorů a blíže popsány nejvyužívanější z nich a jejich běžné umístění v infrastruktuře. Obvykle se samotné senzory rozdělují do skupin **kontaktních** a **bezkontaktních**. Co se týče kontaktního typu detekce vozidel, výsledkem průjezdu spoje konkrétním detektorem je jeho pouhé zaznamenání bez jakýchkoliv dodatečných informací o jízdě soupravy a situaci před vjezdem SSZ. Obecně u takových trolejových kontaktů bývá problém s umístěním v optimální vzdálenosti před SSZ komplikující proces reakce řadiče na preferenční nárok. Aplikaci lze zamýšlet pouze pro trolejová vozidla a u varianty rozvětvené tratě musí být zkombinována s jiným typem detektoru (často umístěným u křižovatky, což také zhoršuje funkci preference) [16]. Základní instalované technické vybavení tvoří přihlašovací a odhlašovací trolejový kontakt. Pro zajištění času na reakci řadiče zhruba mezi čtvrt a třičtvrtě minutou se v případě trati bez křižovatek a zastávek nedaleko před daným SSZ umísťují přihlašovací detektory do vzdálenosti 150–300 metrů před SSZ. Narozdíl od tohoto standardního způsobu se právě případy se zastávkou nebo jiným SSZ před daným osazovaným SSZ musí řešit individuálně. Větší vzdálenost mezi kontaktem a SSZ zajišťující včasné nárokování nahradí u zastávky před SSZ doba stanicování. Přihlašovací kontakt se tak umístí před jejím vjezdem, respektive několik metrů před označník zastávky. Když se zastávka nachází ve větší vzdálenosti od SSZ, zpravidla stačí vůz detekovat až za zastávkou při jeho odjezdu. V případě jiného SSZ v blízkosti zkoumaného SSZ lze například využít odhlašovacího kontaktu prvního ze SSZ jako přihlašovací pro druhé SSZ. Při dodržení klasického umístění odhlašovacích detektorů nad stopčáru je teoreticky možné detekování spojů MHD zajistit popsaným způsobem v minimální vzájemné vzdálenosti právě 150 m. Účelem umísťování odhlašovacích kontaktů hned nad stopčárou, tedy v místě vjezdu do křižovatky je okamžitě zaznamenat odbavení nároku soupravy a v rámci řídicí logiky umožnit okamžitý přechod do jiné fáze. Je-li součástí SSZ také návěstidlo s tramvajovou předvěstí, odhlašovací detektor se umístí nad něj kvůli další včasné zprávě řadiči o brzkém projetí spoje křižovatkou [21]. Takové návěstidlo se signály očekávej stůj a očekávej volno dává primárně informaci řidiči vozidla MHD o signálu, jež má na tramvajovém návěstidle před křižovatkou očekávat. Řidič tak může hlavně v případě předvěsti očekávej stůj přizpůsobit jízdu zjištěné budoucí situaci v době příjezdu ke křižovatce [23].



Obrázek 1: Příklad diagramu dráha-čas s plynulou jízdou od přihlašovacího detektoru a s variantou zastávky před SSZ [28]

Existuje řada druhů kontaktních detektorů, avšak v běžné praxi se typů kontaktů vyskytuje v pražských podmínkách pouze několik. **Pružinová detekce** hojněji využívaná v devadesátých letech minulého století funguje na bázi dvou vodičů umístěných svisle s trolejí mezi nimi. Tyto často poruchové kontakty následně zaznamenávají průjezd pantografu. „*Na základě tohoto dotyku dochází k elektrickému signálu ze sběrače o trakčním napětí 600 V, který je veden odporovým kabelem do detektorové skříňky, která bývá umístěna na sloupu SSZ nebo trolejového vedení. Signál je odtud veden o napětí 24 V kabelem do řadiče umístěného ve skříni na zemi u křižovatky.*“ [25] V Praze nejvíce rozšířeným typem trolejových kontaktů je **pryžový trolejový kontakt**. Díky pryžovým částem jsou velmi spolehlivé a i v dnešní době používané, bezproblémové a pro svou funkci dostačující. Spíše výjimečně jsou dále instalovány dvojité podélné pružiny, infračervený detektor STOD 1 či jiné mechanické detekce [24][25]. Když se přesuneme k detektorům bezkontaktním, jejich zřejmou hlavní předností je možnost zjištění a vyhodnocení mnoha vstupů dopravních parametrů. Často se kterékoliv preferované druhy vozidel MHD přihlašují do křižovatky nejprve předběžně pro předání prvotních informací o směru jízdy a plnění jízdního řádu. V některých systémech je

řadič informován například i o zavírání dveří v blízké zastávce a je následováno běžným hlavním přihlášením již poblíž prostoru před stopčárou [16]. Výhradně pro případ větvení tramvajových tratí je k detekci využito **elektrické ovládání výhybek**, respektive výstupy z něj identifikované radiovým přijímačem v kolejovém svršku. Pro poskytnutí dřívější částečné informace o příjezdu vozidla MHD se dá použít v kombinaci s trolejovými kontakty. Na základě vyhlášených zastávek a načtené trasy linky tramvaj vysílá informace radiovými signály o směru jízdy na následující výhybce. Stejné signály zaznamenávají **vzdálená radia** využívající výhod kontaktních detektorů a výstupů z elektrického ovládání výhybek. Ve větší vzdálenosti před SSZ jsou totiž schopna zjistit o vozidle a jeho jízdě konkrétní údaje. Přijímač umístěný v kolejišti nebo variantně například v řadiči SSZ teoreticky získá mimo uvedených informace o pořadí nárokovaných směrech jízdy, obsazenost vozidla, významnosti linky vůči ostatním atd. V praxi pražského systému se ovšem lze setkat se zpracováním pouze základních údajů spoje pro využití v řídicí logice. Okrajovými způsoby detekování jsou indukční smyčky, videodetekce nebo infračervené detektory. Zejména autobusy v Praze hojně využívají způsoby detekování pomocí GPS a inframajáků. Speciálním tramvajovým detektorem je kontaktní zámek pro nouzové ruční přihlášení do SSZ v situacích, kdy například z důvodu nefunkčnosti klasických detektorů není zaznamenán nárok soupravy na signál volno a SSZ tedy o vozidle neví [25][21]. Další součástí SSZ s tímto související je výzvové návěstidlo, u rozvětvených tratí doplněné o signalizaci postavení výhybky. Výzvové návěstidlo pro tramvaje, kterým disponuje SSZ zpracovávající nárokování souprav, vysílá signální obrazy sdělující tři možné základní informace. V rámci návěsti „volno nárokováno“ je v příslušném směru rozsvícen signál ve tvaru čáry znázorňující právě směr jízdy. V tu chvíli řadič s přiřazením volna počítá a těsně před umožněním průjezdu se signální obraz na výzvovém návěstidle rozbliká (signál „následuje volno“). Naopak stav, kdy žádné vozidlo nebylo detekováno či z jiného důvodu není přihlášeno v křižovatce, odpovídá nerozsvícenému signálu (označený jako „volno není nárokováno“) [23]. V momentě příjezdu vozidla MHD k návěstidlu, které vysílá takový signální obraz, je nutné využít právě ruční přihlášení řidičem pomocí čtyřhranu do kontaktního zámku.

3.1.2.1 Absolutní preference

Absolutní preferencí na SSZ se rozumí opatření, které při příjezdu vozidla MHD před křižovatku zajistí takovému spoji okamžitý možný vjezd na signál volno. V rámci řídicí logiky je proces nastaven takovým způsobem, aniž by vozidlo MHD muselo výrazně zpomalit, zastavit, či bylo jinak zbytečně zdrženo. Prostřednictvím radiových signálů i trolejových kontaktů je však v tramvajové dopravě při jízdě více souprav bezprostředně za sebou vždy absolutně preferována pouze první z tramvají. U dalších spojů záleží právě na daných podmínkách

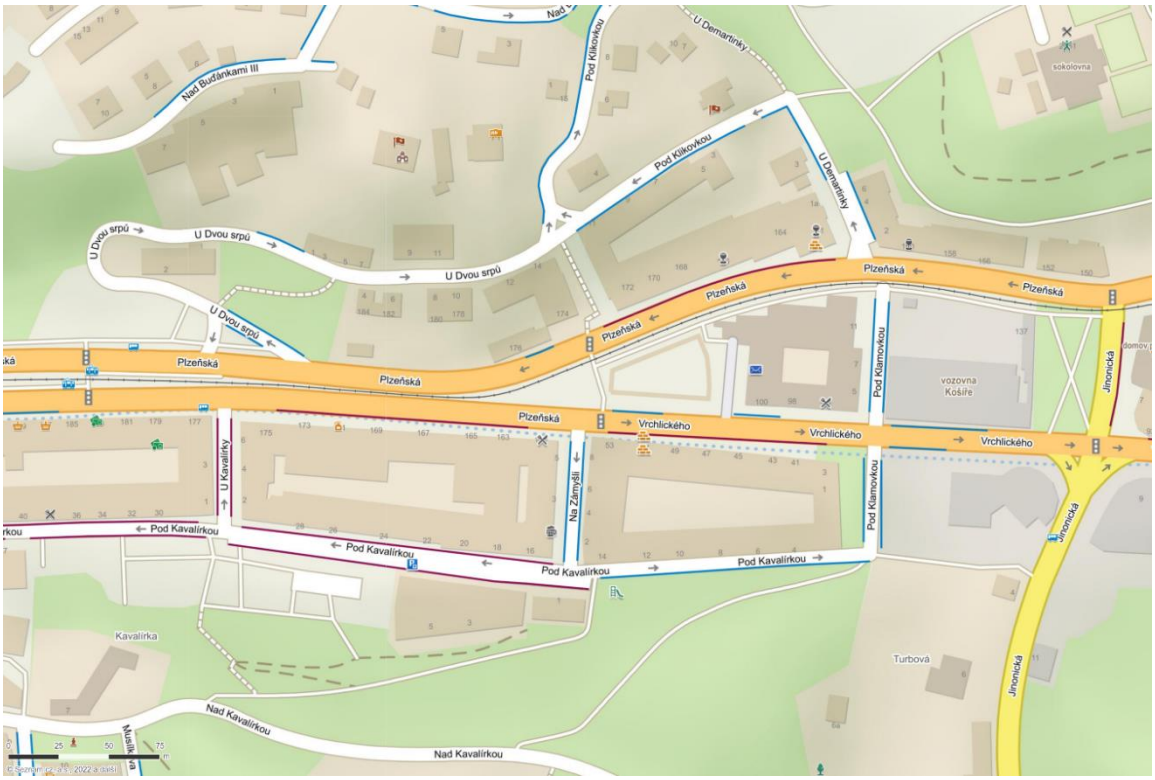
omezujících kupříkladu maximální délku volna pro tramvajovou signální skupinu. Důležitá doporučení zavedení absolutní preference se týkají izolovaného řízení SSZ pro co nejmenší dopady na okolní dopravní situaci, nanejvýš střední denní intenzity provozu IAD, vedení infrastruktury na vlastním tramvajovém tělese kvůli volnému příjezdu ke vjezdu do křižovatky a jeden směr průjezdu vozidel MHD [3][21]. Výhodou jsou poté kratší jízdní doby na daných mezizastávkových úsecích (nadto samozřejmě kladný vliv i na celkovou cestovní dobu vozidel MHD) vykazující menší rozptyl právě díky pokaždé zajištěné plynulé volné jízdě skrz jinak úzké hrdlo na trati. Cestování je tak v úseku z pohledu SSZ maximálně plynulé, rychlé a komfortní. Co se týče samotného tramvajového provozu, ideální a prospěšné pro další řízení SSZ i energetickou náročnost je opět průjezd křižovatkou zároveň i opačně jedoucího spoje. V tomto případě lze toto jistě do určité míry ovlivnit nastavením jízdního řádu, avšak zajištění dělicího bodu v křižovatce v rámci koordinace zde, jak bylo uvedeno, není vhodné. Pokles průměrného zdržení spojů na SSZ se konkrétně pohybuje kolem 90 % [5].

Naopak slabé stránky absolutní preference představují pravidelné a okamžité diskrétní rozdílné hodnoty parametrů dopravy. Tyto negativní změny řízení dopravních proudů způsobují nemalé časové ztráty IAD i chodců. Za určitých okolností se zde mohou vytvářet kongesce negativně ovlivňující průjezdnost území pro všechna vozidla. Další problematika se týká již uvedeného stavu nadjetí spoje a pro zamezení nadbytečného vyčkávání v následující zastávce je žádoucí alternativa koordinace změn s jízdním řádem [16].

3.1.2.2 Podmíněná preference

Zavedením prvků podmíněné preference na SSZ se stále docílí celkového zvýhodnění vozidel MHD. Ovšem v závislosti na řešení a podmínkách řízení této křižovatky není průjezd uzlem zajištěn pokaždé okamžitě a pro každý spoj. V procesu se zohledňuje několik faktorů v provozu, které následně určí, jestli vozidlo MHD bude preferováno, jakým způsobem a kdy bude preference provedena. Mezi teoretické nejdůležitější porovnávané parametry patří moment v cyklu SSZ odpovídající přihlášení spoje, časová mezera či délka kolony vozidel na vjezdu ve stejném i ostatních směrech, soulad jízdy vozidla s jízdním řádem, možné upřednostnění určitého druhu dopravních prostředků (například tramvají před autobusy) atd. Jedná se tak zpravidla o složitější a zatíženější křižovatky a v podstatě se tato preference zavádí u křižovatek, kde není přípustná či vhodná preference absolutní. Větší narušení řízení dopravních proudů by totiž kupříkladu u koordinovaných SSZ a krátkých řadících pruhů způsobovalo časté komplikace zejména pro IAD a ovlivňovalo plynulou dopravu i řízení okolních SSZ [16][21].

4 Analýza řízení konkrétního SSZ



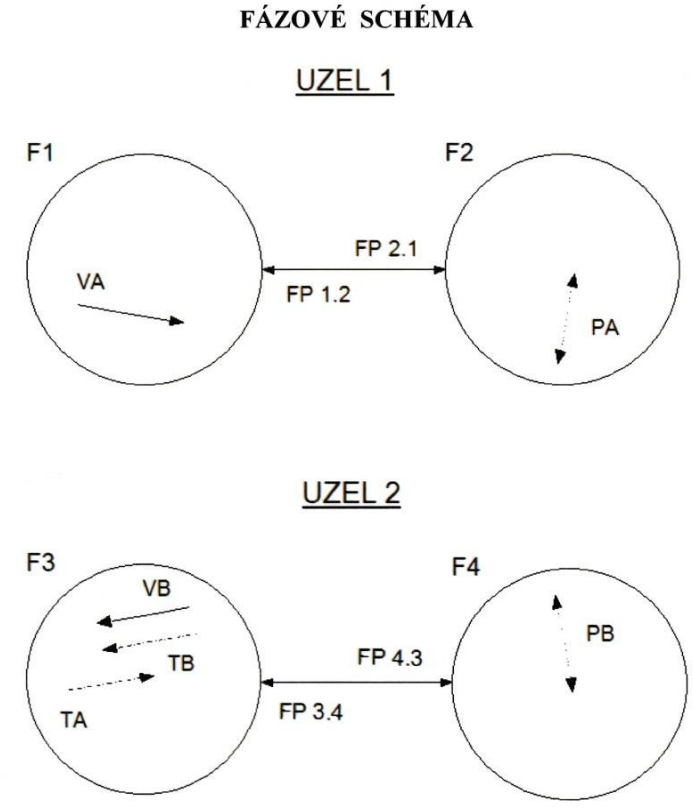
Obrázek 2: Lokalita vybraného SSZ Plzeňská – Vrchlického (uprostřed mapy) [26]

Pro praktickou část práce bylo vybráno konkrétní SSZ s provozem tramvají, automobilů a chodců. Jedná se o zabezpečený přechod pro chodce řízený standardně v koordinaci pevným programem s výzvami. Do SSZ se však přihlašují pouze pěší, preference MHD zde není aplikována. Zjednodušeně to znamená, že dopravnímu proudu tvořenému tramvajovými soupravami a automobilovou dopravou svítí na návěstidlech stálý signál volno. Tato fáze je přerušena až tehdy, kdy je detekována výzva na tlačítku pro chodce a dle základní řídicí logiky rozhodnuto o fázovém přechodu na fázi se signálem volno pro chodce. Co se týče zvoleného SSZ, nachází se ve městské čtvrti Košíře v městské části Praha 5 a je označen jako SSZ Plzeňská – Vrchlického. Ulice Plzeňská je sběrnou komunikací s jízdními pásy směrově rozdělenými tramvajovou tratí. Poblíž místa SSZ se od sebe jízdní pásy oddělují a jsou vedeny východním směrem od SSZ jako samostatné jednosměrné ulice Plzeňská a Vrchlického (přičemž tramvajová trať je vedena v přidruženém dopravním prostoru severněji umístěné komunikace, Plzeňské ulice). Jižněji vedená silnice pak představuje ulici Vrchlického. Zabezpečený přechod je tak z tohoto důvodu rozdělen na dva uzly řízené SSZ propojené komunikací pro pěší dopravu. Zmíněná silniční komunikace je ve zkoumané oblasti čtyřpruhová (každý jízdní pás má tedy dva jízdní pruhy). Šířka celého jízdního pásu ulice Plzeňská je 6,6 m (oba jízdní pruhy tak mají 3,3 m) a spolu s šířkou tramvajového pásu 6,7 m je přechod na severním uzlu SSZ dlouhý zhruba 13,3 m. Naopak šířky jízdních pruhů

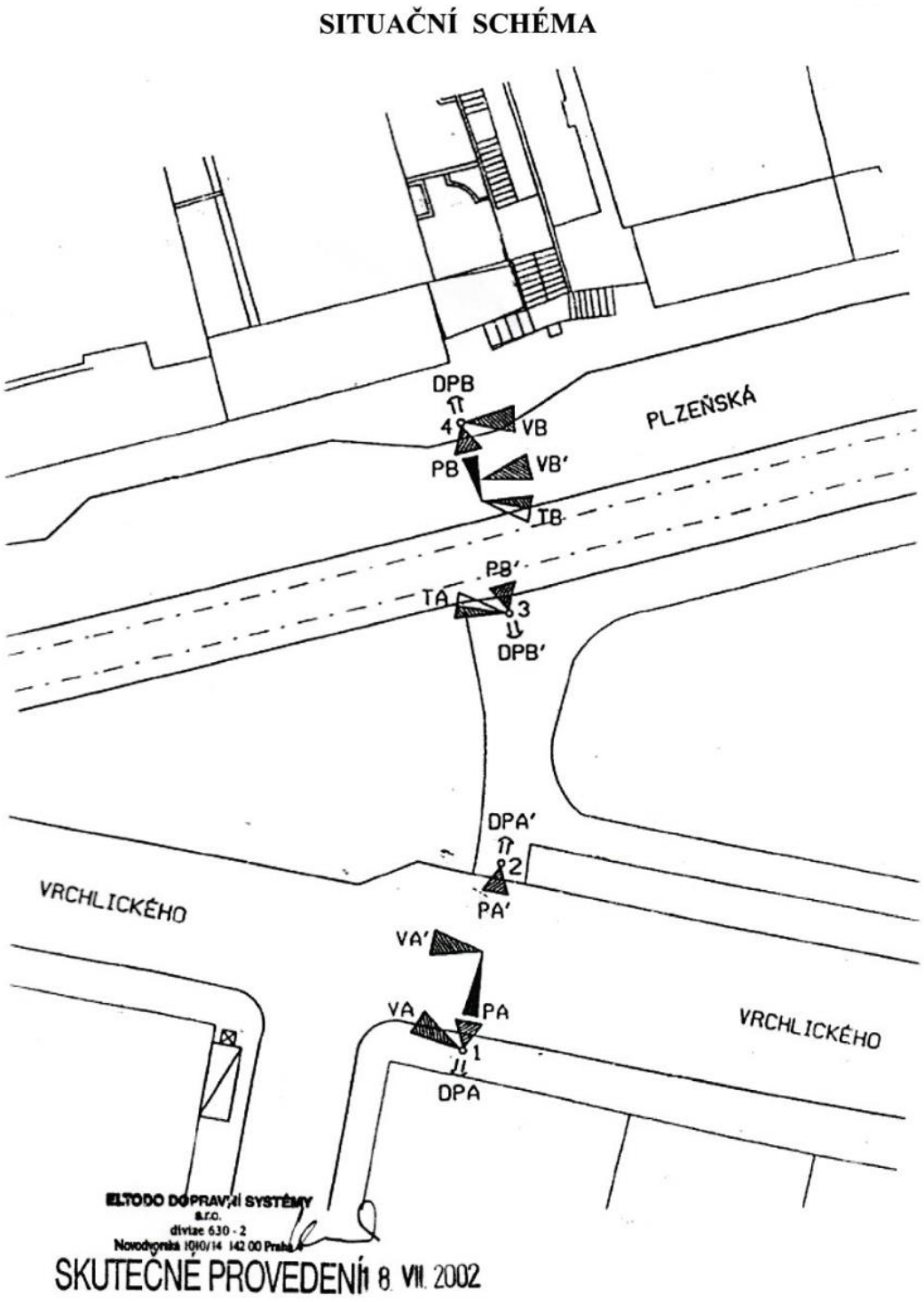
u stopčáry v ulici Vrchlického jsou 3,6 a 3,4 m. Přechod na této komunikaci je však prodloužený až do parkovacích pruhů na obou stranách ulice a měří tedy přibližně 12,8 metrů. Podélný sklon je před stopčárou severního uzlu v jednosměrné Plzeňské ulici téměř nulový, záporná hodnota (též blízká nule) je před jižní částí zabezpečeného přechodu z hlediska řízení ještě méně podstatná. Délky řadících pruhů obou komunikací činí přibližně 43 metrů [27]. Denní intenzita automobilové dopravy bez MHD činila v roce 2021 na těchto SSZ 35 900 vozidel [28]. Na jižní straně od zabezpečeného přechodu se nachází vysokopodlažní zástavba tvořená činžovními domy. Na opačné straně SSZ je umístěna též bytová zástavba s předsazeným parterem, který nabízí řadu obchodů a služeb. Dále se v tomto směru nachází vyvýšená, hůře dostupná a řídká nízkopodlažní zástavba. Území mezi ulicemi Plzeňská a Vrchlického tvoří stavba budoucí kancelářské budovy, budova České pošty, služby a byty [26].

4.1 Obecné parametry a kritéria konkrétního SSZ

SSZ Plzeňská – Vrchlického obsahuje šest signálních skupin, z toho vždy dvě se signály pro vozidla, pro tramvaje a pro chodce. Řadič SSZ s ručním řízením se nachází poblíž uzlu v ulici Vrchlického. Detektory v podobě tlačítek pro chodce jsou umístěny na každém ze čtyř stožárů světelné signalizace. V následujících částech práce bude čerpáno z dat a informací



Obrázek 3: Fázový sled obou uzlů v SSZ Plzeňská – Vrchlického [29]



Obrázek 4: Situační schéma SSZ Plzeňská – Vrchlického s vyznačenými signálními skupinami [29]

z dokumentace aktuálního dopravního řešení řízení SSZ Plzeňská – Vrchlického zpracovaného TSK hlavního města Prahy [29]. Co se tedy týče dalších konkrétních faktorů řešeného SSZ, v ulici Vrchlického jsou na vjezdu dva jízdní pruhy. Z nich je pravý jízdní pruh označený jako BUS pruh s platností v pracovní dny v době 6:00–10:00 a 14:00–19:00. Provoz na obou těchto pruzích je řízen plnými světelnými signály na návěstidlech patřících do stejné

signální skupiny VA. Signální skupina pro kolizní dopravní proud chodců je v tomto uzlu značen PA. Na části zabezpečeného přechodu v ulici Plzeňská se nachází signální skupina VB se dvěma návěstidly řídící dopravní proud vozidel též ve dvou jízdních pruzích. Tramvajové spoje se ve stejném směru jízdy řídí signály tramvajového návěstidla signální skupiny TB. Opačnému směru, tedy do centra náleží tramvajová signální skupina TA. Vůči dopravním proudům řízeným signálními skupinami TA, TB a VB je kolizní komunikace pro chodce s označením PB. Protože jsou oba uzly SSZ řízeny odděleně, má každý vlastní fáze, fázový sled i řídicí logiku. V první fázi s označením F1 má signál volno signální skupina VA. Ve fázi druhé, značené F2 je volný vstup do kolizního prostoru naopak signalizován v rámci signální skupiny PA. V druhém uzlu jsou ve fázi číslo tři (F3) aktivní signální skupiny VB, TA a TB. Fáze F3 může za určitých podmínek přejít do fáze F4 se signálem volno pro signální skupinu PB [29]. Protože má každý uzel pouze dvě fáze, fázový sled spočívá v jejich vzájemném střídání prostřednictvím později okomentovaných fázových přechodů, které jsou značeny zkratkou FP.

TABULKA MEZIČASŮ

Vodorovně: vyklizuje Svisle: najíždí

Vyklizovací a najížděcí rychlosti pro výpočet mezičasů (dle TP81):
Signály pro motorová vozidla: v přímém směru 35 km/h
Signály pro tramvaje: v přímém směru v úsecích bez kolejových konstrukcí 25 km/h
Signály pro chodce: 5 km/h

		přijíždějící					
		VA	VB	TA	TB	PA	PB
vyklizení	VA		-	-	-	4	-
	VB	-		-	-	-	4
	TA	-	-		-	-	4
	TB	-	-	-		-	4
	PA	10	-	-	-		-
	PB	-	10	10	8	-	

Obrázek 5: Tabulka mezičasů signálních skupin zkoumaného SSZ [29]

Pro další řešení ve smyslu například střídání fází, respektive signálních skupin je vždy třeba sestavit tabulku mezičasů. Jedná se o bezpečnostní prvek definovaný jako „*časový interval od konce signálu volno signální skupiny po začátek signálu volno kolizní signální skupiny.*“ [30] Vzájemně kolizní signální skupiny představují v celém zabezpečeném přechodu pouze chodecké signály vůči signálním skupinám pro vozidla, respektive pro tramvaj. Například z důvodu kratší vyklizovací dráhy signální skupiny PB při najíždění TB je příslušný mezičas oproti ostatním menší. Při vyklizování vozidlových, respektive tramvajových signálních skupin se k vyklizovacím drahám navíc připočítává celková délka vozidla. Kupříkladu najížděcí dráha chodců je zde vůči vyklízejícím signálním skupinám VB a TA nulová. Celá doba takového mezičasu v tomto případě spočívá ve vyklizovacích časech a bezpečnostní době obou

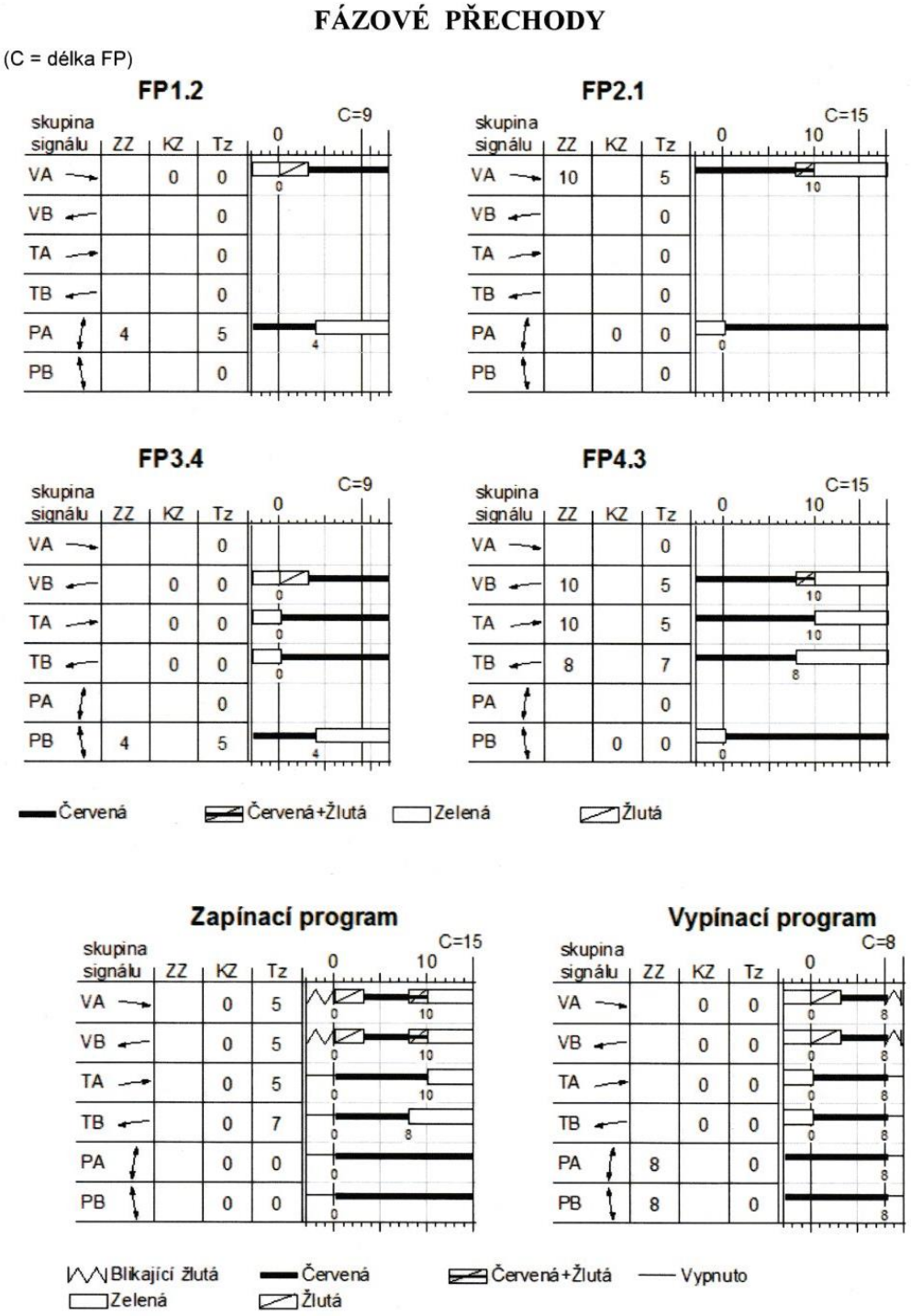
signálních skupin. Na základě nájezdových a vyklizovacích časů spočtených základními vzorci při konstantní rychlosti je mezičas určen následovně.

$$t_m = t_v - t_n + t_b \tag{4.1}$$

kde je t_m mezičas;
t_v vyklizovací čas;
t_b bezpečnostní čas. [31]

Fázové přechody dále za daných podmínek zajišťují bezpečnou změnu fází cyklu. Obvykle se základní délka fázového přechodu rovná maximálnímu mezičasu kolizních signálních skupin z příslušných fází. U ostatních menších mezičasů se provede přesah volna buď pro signální skupinu v končící fází, nebo prostřednictvím dřívějšího začátku signálu volno pro signální skupinu v pokračující fázi. Přesah signálu volno je zde realizován pro najíždějící signální skupinu TB. Toto dřívější umožnění průjezdu lze provést díky 8s mezičasu (při vyklizování signální skupiny PB a najíždění signální skupiny TB), který je o dvě sekundy kratší než maximální mezičas. V případě řešeného zabezpečeného přechodu je k délce pevného fázového přechodu připočítáno minimální trvání signálu volno, konkrétně 5 s.

Hlavními třemi programy řízení předmětného SSZ, které jsou za normálních podmínek v provozu v pracovní dny i o víkendech, jsou programy P1 / 80, P2 / 60 a P3 / 80. První a třetí zmíněné programy s 80s délkou cyklu se uplatňují standardně podle komunikace s Oblastní dopravní řídící ústřednou v dobách se silným a běžným provozem, respektive se silným provozem a platností BUS pruhu. Program P2, jež pracuje s minutovou délkou cyklu, je zařazen při slabém provozu v nočních a brzkých ranních hodinách. SSZ je řízeno koordinovaně při klasickém bezproblémovém stavu ve všech třech uvedených signálních programech. Pod označením N2 až N5 jsou dále definovány hodnoty pro časové podmínky v řídicí logice. Ty jsou zapsány v závislosti s různými časovými čítači. V praxi jednotlivé čítače představují momentální čas uplynulý od začátku daného časového intervalu (například časový čítač cyklu odpovídá aktuální časové hodnotě ze signálního plánu). Jednoduchý algoritmus v dolní části Obrázku 8: Řídicí logika při koordinovaném řízení zajišťuje v momentě, kdy se časový čítač cyklu rovná době cyklu, cykličnost právě onoho čítače. Ten se za uvedené podmínky vynuluje a může být dále porovnáván v časových podmínkách obou řízených uzlů.



Obrázek 6: Fázové přechody obou řízených uzlů na SSZ Plzeňská – Vrchlického [29]

Pro bližší vysvětlení předmětného procesu bude uveden praktický příklad fungování řízení kupříkladu na uzlu v ulici Plzeňská při aktivním programu P1. Již probíhající signální plán s dynamickým řízením plní akční prvek, v rámci něhož probíhá fáze F3. Tento probíhá do doby, než je splněna následující podmínka. Konkrétně pro ni musí být splněna logická podmínka L4 (aktivováno tlačítko pro chodce DPB nebo DPB‘) a zároveň musí čítači odpovídat 45. sekunda cyklu (když L4 není splněno a čítač odpovídá pozdější hodnotě, doba cyklu se

vždy zopakuje až do chvíle aktivace detektoru pro pěší). Při jejím splnění algoritmus přechází do fázového přechodu do fáze F4, samotné chodecké fáze a následuje 15s fázový přechod opět do fáze F3. Zbylých 8 s do konce cyklu se využije právě pro fázi F3. Po jejich uplynutí je tedy časový čítač cyklu roven nule a celý proces se opakuje. V popsaném průběhu cyklu tak dohromady svítí signál volno pro tramvajovou signální skupinu TA 58 s a pro skupinu TB 60 s. Řízení v ulici Vrchlického probíhá v principu stejně, liší se v zásadě jen proměnná hodnota N2 v časové podmínce. Takové vychýlení chodeckých fází je většinou provedeno kvůli přibližnému navázáni na volnou fázi na druhém uzlu pro co nejplynulejší průchod oběma z uzlů [29][30].

DATA, PARAMETRY A ČÍTAČE

Popis	Časové parametry	Data: Označení	Signální programy P1	P2	P3	P4	P5
Přepínací bod	-	UZP	10	50	10		
Délka cyklu	-	C	80	60	80		
Izol. řízení: zadat N1 = 0 Koor. řízení: zadat N1 = 1	-	N1	1	1	1		
délka F1 v cyklu	-	N2	12	59	12		
délka F2	-	N3	3	0	3		
délka F3 v cyklu	-	N4	45	12	45		
délka F4	-	N5	3	0	3		

Časové čítače

t	časový čítač cyklu
tFx	časový čítač fáze Fx (doba od začátku fáze)
tFP	časový čítač fázového přechodu (doba od začátku fázového přechodu)

Nulování nároků na výzvových detektorech (tlačítka pro chodce) - po celou dobu trvání příslušného volna

Obrázek 7: Část přílohy Data, parametry a čítače k řízení SSZ Plzeňská – Vrchlického [29]

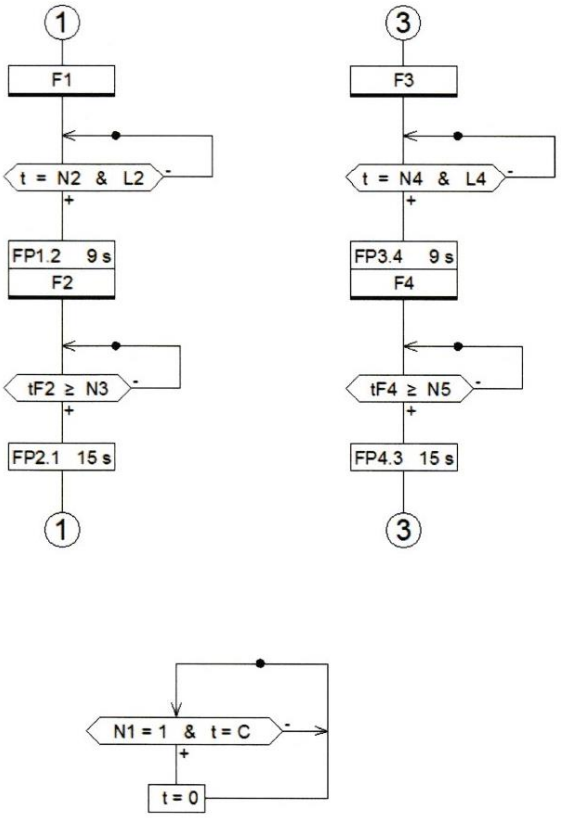
Systém zabezpečeného přechodu je vybaven tramvajovými detektory nepoužívanými pro řízení na zkoumaném SSZ. Pro potenciální detekci tramvajových souprav lze pro směr z centra (z východního směru) využít odhlašovacího kontaktu ze SSZ Plzeňská x Jinonická na přihlašování tramvají do zkoumaného SSZ. Obdobně je v opačném směru (do centra) možné použít přihlašovací kontakt stejné křižovatky Plzeňská x Jinonická jako odhlašovací kontakt pro zabezpečený přechod Plzeňská – Vrchlického. Oba detektory jsou vůči předmětnému SSZ umístěny pro plánovanou úpravu vhodně, první ze jmenovaných přibližně 260 metrů před stopčárou, druhý přesně v úrovni přechodu pro chodce. Z toho tedy vyplývá, že pro každý směr by byl zapotřebí doplnit jeden trolejový kontakt. V blízkosti SSZ Plzeňská – Vrchlického, konkrétně uzlu na Plzeňské je dále na trolejovém vedení tramvajové trati umístěn úsekový dělič. Při průjezdu pantografu takovým děličem nelze z troleje odebírat proud [32].

LOGICKÉ PODMÍNKY

L2 = A(DPA v DPA')	nárok na F2
L4 = A(DPB v DPB')	nárok na F4

Obrázek 9: Logické podmínky do řídicí logiky SSZ Plzeňská – Vrchlického [29]

VÝVOJOVÝ DIAGRAM 1
ZÁKLADNÍ ŘÍDICÍ LOGIKA



Obrázek 8: Řídicí logika signálního plánu SSZ Plzeňská – Vrchlického [29]

4.2 Průzkum pěší dopravy

V rámci fyzického křížení pěší dopravy s automobilovou a tramvajovou dopravou byl za předpokladu nárůstu doby zdržení chodců v oblasti po zavedení preference tramvajové dopravy proveden průzkum pěší dopravy na obou zmíněných přechodech pro chodce. Podle technických podmínek TP 189 Stanovení intenzit dopravy na pozemních komunikacích byl proveden průzkum za příznivých povětrnostních vlivů, v libovolný pracovní den, v měsíci červnu, ve dvou časových intervalech (7:00–11:00 a 14:00–18:00). Odpolední část průzkumu tak odpovídala pozdější dopravní špičce ve městě a ranní část byla dále za účelem zpřesnění výsledků provedena jiný pracovní den než část odpolední [33]. Konkrétně byla první část průzkumu uskutečněna ve středu, druhá ranní část však byla kvůli nepříznivým povětrnostním

podmínkám ve čtvrtek provedena až v páteční den. V rámci zaznamenání co nejpřesnějších výsledků byl tedy průzkum proveden během nejbližšího možného všedního dne. I přes volbu méně vhodného pátku to považuji za přijatelné rozhodnutí, které výsledky průzkumu nijak negativně neovlivní.

Průzkum automobilové dopravy v oblasti naopak nebyl vůbec uvažován. Zejména nebyl proveden kvůli skutečnosti, kdy u kapacitního posouzení křižovatky, pro který se ve výsledku průzkum většinou dělá, předpokládám, že nynějšímu provozu v rámci přípustných hodnot odpovídá (u místních komunikací nejnižší možný provozovaný požadavek označený stupněm E). Při plánovaném zdržení chodců při preferenci tramvaje tak bude IAD logicky také zvýhodněna (jsou ve stejné fázi F3).

Během samotného průzkumu bylo také zaměřeno na dopravní chování chodců, které ve většině případů spočívalo v chůzi pouze po jednom z přechodů a předcházejícímu příchodu, respektive následujícímu odchodu po infrastruktuře mezi přechody vedoucí východně od místa průzkumu k budově České pošty a další zástavbě. Možných zdrojů a cílů cest pěších je prostřednictvím této komunikace celá řada od zmíněné budovy České pošty přes další služby jako restaurace, zubní ordinace či kadeřnictví až po samotné bytové jednotky. Pro následný závěr z průzkumu toto znamená malý význam a důraz na potenciální koordinaci chodeckých signálů volno v rámci řízení obou přechodů. Tudíž lze v tomto smyslu ponechat aktuálního stavu nezávisle řízených signálních skupin.

Další charakteristický znak souvisí s nastavením řízení provozu a používanou technologií zdejší pěší dopravy na samotných přechodech pro chodce. Když chodci stisknou tlačítko výzvy pro umožnění volného přejití kolizní komunikace, v případě uvážení momentální bezpečné možnosti vkročení do kolizní plochy se poté lidé poměrně často rozhodnuli pro chůzi i přes signál stůj. Zaznamenaný požadavek se však na základě řídicí logiky poté zpracoval a v daný čas vyhodnotil prostřednictvím světelného signálu volno na daném návěstidle. Výsledkem je tedy zastavení dopravního proudu automobilů a tramvají v momentě, kdy chodec zabezpečený přechod již překonal. Příčinou tohoto opakujícího se jevu je zřejmě například 53s délka fáze F3 udávající signály volno právě pro automobilové a tramvajové dopravní proudy v programech řízení P1 a P3 fungujících přes den v pracovních dnech a většinu času o víkendech [29]. Ideálním řešením by měl být stav, kdy chodec nebude na signál volno čekat tak dlouho, aby ho to k tomuto činu svádělo. Za aktuálních adekvátně nastavených podmínek řízení (na základě mimo jiné vyšších intenzit automobilové dopravy) takové opatření není příliš reálné, a vzhledem k intenzitám pěší dopravy ani zvlášť potřebné.

V průběhu průzkumu byl zaznamenán problém také s nepřiměřenou reakcí řidičů tramvají především ve směru do centra. Občasně se totiž rozhodli pro průjezd vozidla při relativně vysoké rychlosti i přes světelný signál stůj zobrazený před příjezdem soupravy. Řešením by mohla být aplikace návěstidla předvěsti alespoň v uvedeném směru, které dává řidičům tramvají informaci, jaký světelný signál mají v době příjezdu na dalším návěstidle očekávat.

Protokol pro výpočet odhadu denní intenzity pěší dopravy podle TP 189			
Komunikace	–	Stanoviště	Plzeňská x Vrchlického ZC
Datum průzkumu	15.6.2022	Den týdne	středa
Doba průzkumu	14:00 – 18:00		
Vypracoval	Tomáš Gregora	Datum zpracování	16.6.2022
1	Intenzita pěší dopravy za dobu průzkumu běžného pracovního dne	*I* *[ch./doba průzkumu]*	126
2	Přepočtový koeficient denních variací intenzit dopravy	$k_{m,d}$ *[-]*	2,6
3	Denní intenzita pěší dopravy (v den průzkumu)	I_{24} *[ch./den]*	328
4	Orientační odhad přesnosti určení intenzity pěší dopravy	*[%]*	10,6
Komentář:			

Tabulka 1: Vyplněný protokol z průzkumu pěší dopravy, odpoledne na přechodu v ulici Plzeňská směrem z centra [33]

Protokol pro výpočet odhadu denní intenzity pěší dopravy podle TP 189				
Komunikace		–	Stanoviště	Plzeňská x Vrchlického DC
Datum průzkumu		15.6.2022	Den týdne	středa
Doba průzkumu		14:00 – 18:00		
Vypracoval		Tomáš Gregora	Datum zpracování	16.6.2022
1	Intenzita pěší dopravy za dobu průzkumu běžného pracovního dne		I *[ch./doba průzkumu]*	217
2	Přepočtový koeficient denních variací intenzit dopravy		$k_{m,d}$ *[-]*	2,6
3	Denní intenzita pěší dopravy (v den průzkumu)		I_{24} *[ch./den]*	564
4	Orientační odhad přesnosti určení intenzity pěší dopravy		*[%]*	10,6
Komentář:				

Tabulka 3: Vyplněný protokol z průzkumu pěší dopravy, odpoledne na přechodu v ulici Plzeňská směr do centra [33]

Protokol pro výpočet odhadu denní intenzity pěší dopravy podle TP 189				
Komunikace		–	Stanoviště	Plzeňská x Vrchlického ZC
Datum průzkumu		17.6.2022	Den týdne	pátek
Doba průzkumu		7:00 – 11:00		
Vypracoval		Tomáš Gregora	Datum zpracování	17.6.2022
1	Intenzita pěší dopravy za dobu průzkumu běžného pracovního dne		I *[ch./doba průzkumu]*	117
2	Přepočtový koeficient denních variací intenzit dopravy		$k_{m,d}$ *[-]*	4,4
3	Denní intenzita pěší dopravy (v den průzkumu)		I_{24} *[ch./den]*	511
4	Orientační odhad přesnosti určení intenzity pěší dopravy		*[%]*	14,5
Komentář:				

Tabulka 2: Vyplněný protokol z průzkumu pěší dopravy, dopoledne na přechodu v ulici Plzeňská směr z centra [33]

Protokol pro výpočet odhadu denní intenzity pěší dopravy podle TP 189				
Komunikace		–	Stanoviště	Plzeňská x Vrchlického DC
Datum průzkumu		17.6.2022	Den týdne	pátek
Doba průzkumu		7:00 – 11:00		
Vypracoval		Tomáš Gregora	Datum zpracování	17.6.2022
1	Intenzita pěší dopravy za dobu průzkumu běžného pracovního dne		I *[ch./doba průzkumu]*	162
2	Přepočtový koeficient denních variací intenzit dopravy		$k_{m,d}$ *[-]*	4,4
3	Denní intenzita pěší dopravy (v den průzkumu)		I_{24} *[ch./den]*	707
4	Orientační odhad přesnosti určení intenzity pěší dopravy		*[%]*	14,5
Komentář:				

Tabulka 4: Vyplněný protokol z průzkumu pěší dopravy, dopoledne na přechodu v ulici Plzeňská směr do centra [34]

Na časově rozdílných průzkumech prováděných oba v jiné dny podle doporučení z technických podmínek se projevil fakt, že u intenzity pěší dopravy v obydleném extravilánu na území velkého města na faktoru času příliš nezáleží. Ačkoliv lze stejně jako u každé jiné dopravy zaznamenat určité špičkové doby v procházení chodců, odchylky hodinových intenzit nejsou na první pohled bez absolutních číselných hodnot nijak výrazně znát. Tento jev potvrzují také skupiny respondentů s viditelným záměrem či cílem cesty. Stejně jako v ranních hodinách i v těch odpoledních přechody využili kupříkladu zaměstnanci dodávkových a jiných služeb či obyvatelé okolních budov. V dopolední části průzkumu se vymykaly určité skupiny lidí využívající hojněji uvedených blízkých služeb. Nejen z tohoto důvodu byla v odpoledních hodinách vypočtena denní intenzita pěší dopravy menší než na základě dat z ranního měření. Dopolední část průzkumu se podle orientačního odhadu přesnosti ukázala jako směrodatnější. Pro akceptování zjištěného trendu v dopravním chování chodců byla navíc určena denní intenzita pro každý z přechodů pro chodce z hodnot obou měření dohromady. Výpočet podle stejného vzorce z technických podmínek, který se použil v tabulce protokolu z průzkumu, je proveden nejdříve pro směr z centra (Plzeňská ulice), následně pro směr do centra (Vrchlického ulice).

$$I_{d,ZC} = I_m \bullet k_{m,d} = 243 \bullet \frac{100}{61,1} = 398 \text{ ch./den} \quad (4.2)$$

$$I_{d,DC} = I_m \bullet k_{m,d} = 379 \bullet \frac{100}{61,1} = 620 \text{ ch./den} \quad (4.3)$$

4.3 Pohled různých druhů dopravy na řízení SSZ a okolní provoz

4.3.1 Pohled pěší dopravy

Teoretické potenciální zdroje a cíle cest pěší dopravy, v rámci kterých chodci využívají SSZ Plzeňská – Vrchlického, mohou být představovány okolní bytovou zástavbou, budovou České pošty, obchody a službami. Pro tyto i další účely, které byly více rozebrány v rámci průzkumu pěší dopravy, je zabezpečený přechod umístěn vhodně vůči nejbližším okolním SSZ. Od nich od obou je vzdálený zhruba 250 m.

Další potenciál ve využití přechodů pro chodce byl shledán v nové zástavbě v těsné blízkosti zkoumané křižovatky. Jedná se o víceúčelovou polyfunkční budovu s půdorysem zhruba ve tvaru trojúhelníku situovanou v prostoru mezi zabezpečeným přechodem Plzeňská x Vrchlického a budovou České pošty. Stavba tedy bude zahrnovat různé služby a obchody, avšak většinu ploch obsadí kanceláře [34]. Vzniknou tak nové potenciální cíle cest buď na každodenní bázi, nebo pouze příležitostně. Objekt přispívající k tvorbě města krátkých vzdáleností tím pádem také zvýší intenzitu pěší dopravy, se kterou je právě nutné do budoucnosti počítat [35].

Co se týče délky volna pro pěší dopravní proud, 8s hodnota je i na základě dat z průzkumu pěší dopravy dostačující. Z celého popisu dopravních vztahů na zabezpečeném přechodu však vyplývá, že ani mírná úprava doby čekání pěších na signál volno by nezpůsobila těmto účastníkům provozu na pozemních komunikacích téměř žádnou újmu.

4.3.2 Pohled tramvajové a automobilové dopravy

Komunikace jak pro silniční, tak tramvajovou dopravu je pro cesty v oblasti stěžejní. Denní intenzity dopravy i počet tramvajových linek potvrzují jejich velkou důležitost. V závislosti na charakteru silniční komunikace a funkci v oblasti je spolu s okolní infrastrukturou mnohdy přetížena. Ulice Plzeňská, respektive Vrchlického je radiální pozemní komunikace vedená ze západu od hranic pražských čtvrtí Zličín, Stodůlky a Řepy přes městskou část Praha 5 (konkrétně Motol, Košíře a Smíchov) až po zastávku MHD Anděl. V rámci automobilové dopravy tak propojuje například obce Hostivice, Chýně a Chrášťany, již zmíněné městské

čtvrtě na okraji hlavního města a další oblasti na ulici napojené s širším centrem Prahy. Na základě dopravě závislých dat je navíc právě oblast Smíchova řízena decentralizovanými systémy (TASS, MOTION atd.) [24]. I proto je žádoucí zajistit průjezd dopravního proudu v oblasti s často zhoršenou dopravní situací co nejplynulejší. Této myšlence odpovídá popsané zvýhodnění vozidlových signálních skupin spolu s tramvajovou dopravou v podkapitole Průzkum pěší dopravy.

Větev tramvajové trati procházející zkoumaným uzlem je vedena od křižovatky u tramvajové zastávky Anděl až do panelového sídliště v pražských Řepích. Na trati se nachází mezilehlá smyčka Kotlářka, využívaná pro stálé ukončení některých linek, ukončení linky pouze v obdobích sedla či při mimořádných událostech. Dále po větší části této tratě zatahují a jsou vypravovány soupravy dalších linek do, respektive z vozovny v Motole. Po řešeném úseku trati mezi zastávkami Kavalírka a Klamovka jsou tedy za běžného provozu vedeny denní tramvajové linky 9, 10, 15, 16 a další spoje mířící právě z či do tramvajové vozovny Motol. Trasy linky 10 a páteřní linky 9 končí až v zastávce Sídliště Řepy, linka 15 je ukončena ve smyčce Kotlářka a linka 16 je ve špičkách pracovních dnů vedena též až do Řep, jinak jen na Kotlářku. Právě ve špičkových hodinách tak pouze v jednom směru projede uzlem souprava v intervalu necelých dvou minut. Při takto časté nabídce obsluhy jedním směrem již při bezdůvodném zastavení soupravy na SSZ vzniká tendence dojetí zastaveného spoje následujícím. Vyústění pak může spočívat v nabírání dalšího zpoždění na následujících úzkých hrdlech na trase. Pro doplnění linkové obsluhy v nočních hodinách jezdí úsekem tramvajové linky 98 a 99. Zabezpečeným přechodem pro chodce mimoto projíždějí také městské autobusové linky 123 a 167, pro které je ve směru do centra vyhrazen zmíněný BUS pruh. Pro úplnost je nutné zmínit obsluhu tratě v nočních hodinách, jež zajišťují tramvajové linky 98 a 99.

Hlavní komplikace řešeného SSZ spočívá v zastavení signálních skupin TA, TB a VB podle podmínek řídicí logiky. Pro tyto dopravní proudy jako takové je jejich zastavení docela náhodné. Toto je poté problematické zejména pro tramvajové soupravy, které jsou občasně zastaveny, přestože by na úkor například mírného prodloužení chodeckého signálu stůj mohly pokračovat bez zastavení či výrazného zpomalení dál v jízdě.

5 Úprava konkrétního SSZ

Zaměření této kapitoly se bude týkat nadále SSZ Plzeňská – Vrchlického. Tento zabezpečený přechod nedisponuje jako jediný na trati Sídliště Řepy – Anděl žádnou preferencí (u třech SSZ funguje pasivní preference) [14]. Na tomto konkrétním SSZ bude nejen proto demonstrováno zabezpečení aktivní preference po stránce řízení dopravy.

V rámci úprav SSZ je vhodné okomentovat problém vypozorovaný z průzkumu pěší dopravy, kdy chodci přecházeli kolizní komunikace navzdory signálu stůj kvůli dlouhé aktivní kolizní fázi. V praxi i ze zkušenosti z jiných plně dynamických řízení provozu je obvyklé, že i navzdory upřednostňování tramvaje při zadání nároku na jízdu není zdržení chodců výrazné. Je samozřejmostí, že při sestavování řídicí logiky a samotného signálního plánu také záleží na intenzitách dopravních proudů, které v podobě zdejší pěší dopravy v poměru s jinými světelně řízenými křižovatkami dosahují spíše podprůměrných hodnot. Z logiky věci tedy zřejmé prodloužení základního intervalu signálu volno pro automobilovou a tramvajovou dopravu. Otázkou poté zůstává, jestli by v rámci změn prvků v dynamickém signálním plánu měl být sekundární záměr zvýhodnit i pěší dopravu. Díky efektivnějšímu využití fází by totiž dalo očekávat alespoň mírné snížení průměrné doby čekání chodců. Přesto bylo kvůli kombinaci vysoké denní intenzity automobilové dopravy a spíše nižším intenzitám náhodně přicházejících chodců rozhodnuto o zachování základní délky fáze F3.

5.1 Technické zařízení pro preferenci

Aby mohlo SSZ poskytovat preferenci pro MHD (zde pro tramvaje), musí být schopné pomocí svých technických komponentů zajistit co nejplynulejší průjezd spoje. Postupně tedy zpravidla detekuje příslušné vozidlo, zajistí bezpečný přechod do fáze se signálem volno pro přijíždějící spoj a při jeho odhlášení se většinou podle způsobu zvýhodňování MHD vyhodnotí následující průběh řízení dopravy. Před samotnou změnou podmínek řízení bude připomenuto aktuální vybavení SSZ a prvky, které je nutné a potenciálně možné doplnit. Zabezpečený přechod je tedy momentálně řízen prostřednictvím řadiče (vhodný pro preferenci MHD) i s ručním řízením, tramvajových, vozidlových a chodeckých návěstidel na celkem čtyřech nosných konstrukcích a tlačítek pro chodce zaznamenávajících jejich nárok. V tomto případě je předpokládáno ponechání i pro řízení s tramvajovou preferencí. K možnému využití jsou v rámci vedlejšího SSZ osazeny dva trolejové detektory. Pro plnohodnotné zajištění detekce souprav bude instalován přihlašovací pryžový trolejový kontakt pro směr do centra v oblasti přechodu pro chodce u zastávky Kavalírka a odhlašovací detektor pro směr z centra v místě již osazeného odhlašovacího kontaktu pro protější směr. Přesné umístění detektorů je zřejmé z Přílohy 2: Upravený situační výkres řešeného SSZ zasazený do území.

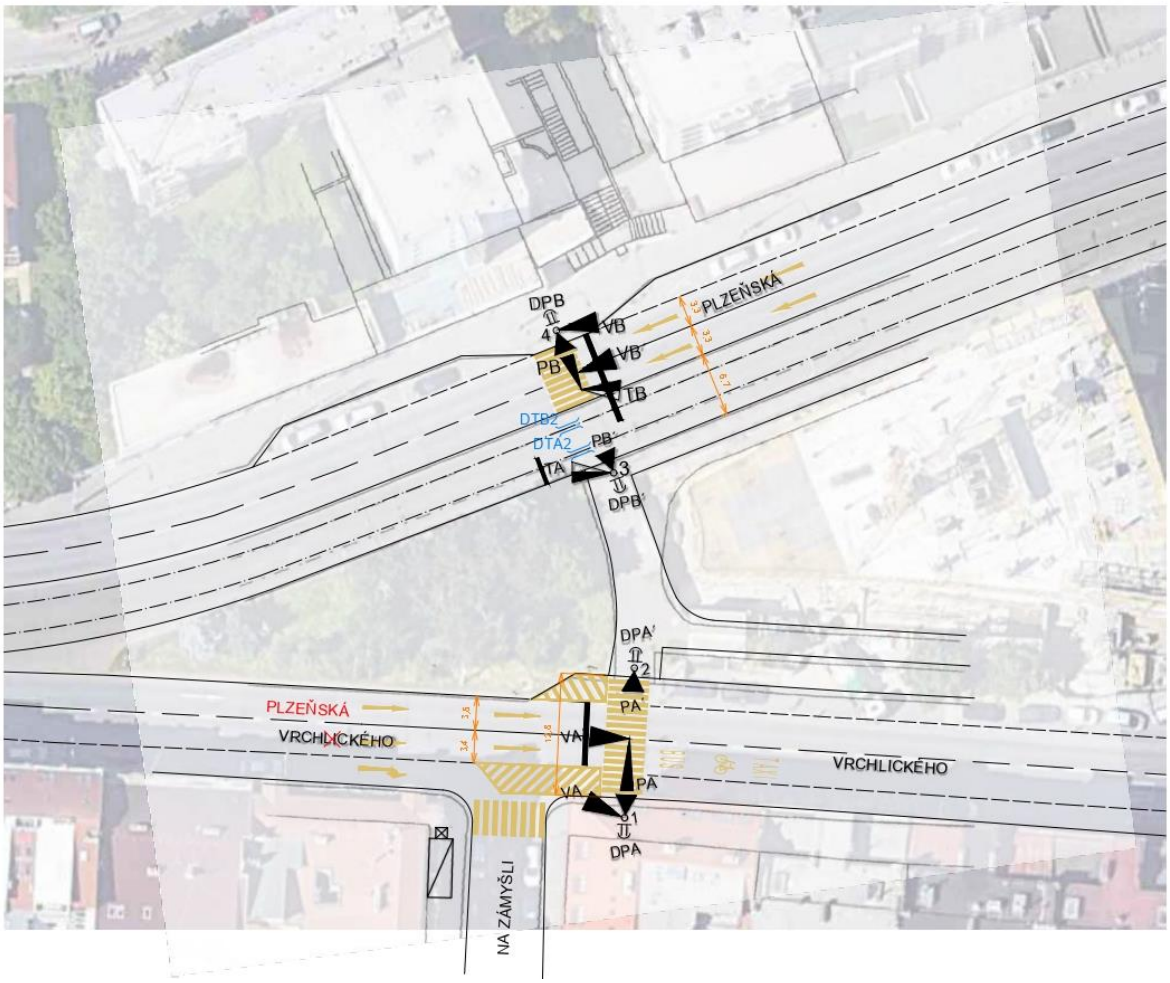
V oblasti Plzeňské ulice byla již na začátku tohoto tisíciletí snaha preferovat tramvajové soupravy a zmenšit jízdní dobu po okrajové větvi tramvajové tratě. Rozvoj v řízení dopravy se měl podle dostupných informací týkat také předmětného SSZ Plzeňská – Vrchlického. Zdroj zabývající se preferencí pražských tramvají totiž přibližuje historii upřednostňování tohoto druhu dopravy právě na zkoumané tramvajové trati. Již v roce 2005 bylo na Plzeňské ulici

zrenovováno 6 SSZ, přičemž většina z těchto modernizací byla provedena na okolních křižovatkách od křižovatky Plzeňská – Vrchlického [36].

„*Rekonstrukce SSZ na Plzeňské by měla brzy pokračovat. Na výjezdu ze zastávky Kavalírka ve směru do centra je už osazen další přihlašovací tramvajový detektor pro křižovatku Plzeňská – Vrchlického…*“ [37]

Takto byl ukončen článek o modernizaci SSZ právě na Plzeňské ulici. V případě tohoto SSZ lze podle textu vycítit autorovo očekávání blízkého zavedení preference tramvají. Již tehdy bylo nejspíše s podivem, že na takovéto pro řízení jednoduché křižovatce stále nefunguje zařízení upřednostňující tramvajové soupravy v jízdě po jinak nepřerušené jízdě po vlastním tělese. To ostatně potvrzuje další článek, podle kterého byly právě v polovině roku 2005 nainstalovány už tři tramvajové detektory, což znamená, že chyběl pouze jediný k možné plnohodnotné detekci spojů (pro každý směr po jednom přihlašovacím a odhlašovacím detektoru) [36]. Nicméně jak již bylo uvedeno, nyní lze pro detekci tramvají pro jejich preferování použít jen dva trolejové kontakty. V aplikaci maps.google.com totiž není možné na snímcích od roku 2011 popisovaný třetí trolejový kontakt najít [27].

Nejen umístění právě nově osazených trolejových detektorů je znázorněno v situačním výkresu. Výkres přiblížený na samotný zabezpečený přechod je obsažen v Příloze 1, oddálené schéma zobrazující všechny 4 tramvajové detektory je připojeno pod Přílohou 2. V pozadí výkresu byla použita ortofotomapa i původní situační schéma z dokumentace [29]. Podstatná je především poloha trolejových kontaktů, podle které byla měřena jízdní doba tramvajových souprav.



Obrázek 10: Situační výkres SSZ Plzeňská – Vrchlického z Přílohy 1

5.2 Návrh změny řízení dopravy

5.2.1 Nová a upravená data k řízení SSZ

Pro správné nastavení a úpravu řídicí logiky bylo zapotřebí určit jízdní doby tramvají od instalovaných detektorů. Během dne tak bylo naměřeno 7 hodnot doby jízdy soupravy pro oba směry zvlášť od zamýšleného místa trolejového kontaktu k návěstidlu SSZ. Bylo tak provedeno pro přibližné zjištění doby na celou adekvátní reakci řadiče a pro návrh možností upřednostnění tramvají v různých fázích cyklu. Zaznamenané doby zároveň byly použity v samotné řídicí logice.

Jízdní doby od detektoru k SSZ [s]	Signální skupina TB, směr ZC: Klamovka – Kavalírka				Signální skupina TA, směr DC: Kavalírka – Klamovka			
Dopoledne	20,16	22,2	21,42		21,44	22,85	23,42	
Odpoledne	22,05	23	22,85	21,13	21,4	23,78	23,31	22,52
Minimum	20,16 ≅ 20				21,4 ≅ 21			
Maximum	22,85 ≅ 23				23,78 ≅ 24			
Průměr	21,83				22,67			

Tabulka 5: Jízdní doby tramvaje od detektoru k návěstidlu (SSZ Plzeňská – Vrchlického) pro oba směry jízdy

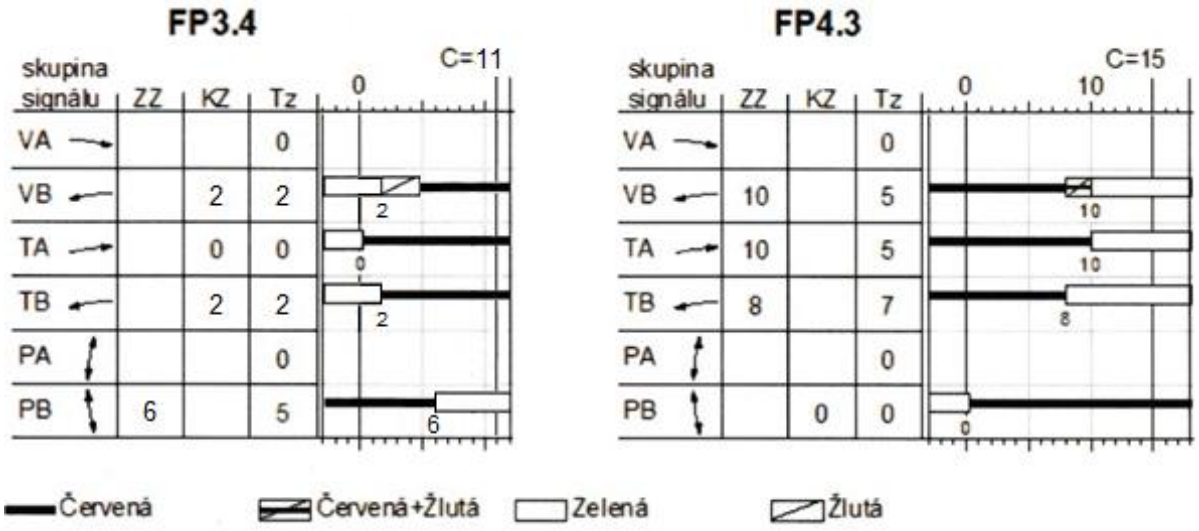
Když se bude vycházet z aktuálního zastavení dopravního proudu automobilů a tramvají (v případě přechodu do chodecké fáze F4, jejího trvání a fázového přechodu zpět do fáze F3), doba signálu stůj pro signální skupinu TA činí 22 sekund a pro skupinu TB 20 sekund. Ve směru jízdy tramvaje z centra (tedy z Klamovky na Kavalírku), kdy průměrná jízdní doba od detektoru k SSZ byla necelých 22 s, tak odpovídá přerušení signálu stůj přibližně o dvě sekundy menší hodnota. Ve směru do centra je situace podobná, protože delší průměrná doba příjezdu od kontaktu k návěstidlu připadá na též delší trvání signálu stůj pro tramvajové soupravy. Zjednodušeně by se dal záměr upřednostnění tramvaje popsat následovně. V případě, kdy by byla detekována tramvaj a zároveň by měl před průjezdem spoje začít fázový přechod do kolizní fáze F4, změna by nastala až po zaznamenání průjezdu odhlašovacím kontaktem a za splnění dalších případných podmínek. Kdyby však při průjezdu pod kontaktem již probíhal jeden z fázových přechodů nebo samotná kolizní fáze, nebyla by oproti momentálnímu řízení zřejmá žádná změna. Signál volno pro tramvaje by se totiž měl rozsvítit ve valné většině případů ještě před příjezdem soupravy. U krajní varianty zahájení fázového přechodu do fáze F4 těsně před přihlášením tramvaje by i při nejkratší naměřené době jízdy k návěstidlu ve směru z centra nemuselo být s řízením dopravy nijak manipulováno (bez rezervy pro reakční doby řadiče i řidiče tramvaje atd.). Signál volno by se při zmíněné jízdní době rozsvítil přibližně několik desetin sekundy před dosažením návěstidla. Při reálném posouzení by byl spoj nejhůře jen mírně zpomalen. Ve směru do centra by byl za posuzování průměrné doby jízdy dosažen stejný stav, označitelný za podmíněnou preferenci.

Kvůli pochybnostem o vhodně nastavených parametrech byla dále s odkazem na zmiňovanou tabulku mezičasů zkontrolována jedna z jejích hodnot. Jakožto základní bezpečnostní prvek by mezičasy a jejich aktualizace měly být primárním nástrojem pro eliminaci rizikových situací při fázových přechodech. Jak bylo uvedeno v podkapitole Průzkum pěší dopravy, tramvaje občasně vjížděly do kolizní plochy vyšší rychlostí při změně signálu volno na signál stůj. Bylo proto rozhodnuto o zkontrolování hodnoty mezičasu, kdy tramvajové skupiny TA a TB vyklizují kolizní plochu a chodecká skupina PB do ní vchází. Celý postup ověření mezičasu je v souladu s Technickými podmínkami 81. Podle doporučení z tohoto dokumentu tak byl záměr například pro výpočet vyklizovacího času tramvají použít délku tramvaje 15 m a reálnou vyklizovací rychlost souprav, stanovenou na přibližnou hodnotu 40 km/h, respektive 11,11 m/s v obou směrech. Protože u původního výpočtu tabulky mezičasů bylo počítáno s vyklizovací rychlostí tramvají 25 km/h, tato vstupní hodnota byla nakonec snížena na 35 km/h, tedy 9,7 m/s. [29][30]

vyklizuje	najíždí	l_v [m]	l_n [m]	$l_v + l_{voz}$ [m]	t_v [s]	t_n [s]	t_b [s]	t_m pomocné [s]	t_m [s]
TA	PB ↓	8,11	9,90	23,11	2,38	7,07	3	−1,69	0
TA	PB ↑	8,11	0	23,11	2,38	0	3	5,38	6
TB	PB ↓	6,22	6,65	21,22	2,19	4,75	3	0,44	1
TB	PB ↑	6,22	3,35	21,22	2,19	2,39	3	2,80	3

Tabulka 6: Kontrolní výpočet dvou mezičasů SSZ Plzeňská – Vrchlického [30]

Tabulka znázorňující výpočet části hodnot tabulky mezičasů spěje ke dvěma výsledným mezičasům (vždy vyšší hodnota z výsledků pro dvě stejné signální skupiny). V mezičase s vyklizující signální skupinou TA a najíždějící skupinou PB vyšla za uvedených podmínek hodnota 6 s. Kdybych hodnotu vyklizovací rychlosti tramvaje ještě více snížil pro přiblížení výchozích parametrů, tato doba by byla logicky ještě delší. To samé platí mimochodem pro 3s mezičas, kdy kolizní plochu vyklizuje signální skupina TB a najíždí skupina PB. V tomto druhém případě by se snížením rychlosti dostala hodnota zpět na původní hodnotu 4 s, kterou pro bezpečnost provozu v řízení ponechám i nadále. Naopak právě mezičas týkající se signální skupiny TA bude též z důvodu bezpečnosti pro další části práce navýšen na vypočítanou hodnotu 6 s. Změní se tím pádem také příslušný fázový přechod. Díky nezměněným hodnotám ostatních mezičasů je zároveň možné signál volno pro takové signální skupiny prodloužit právě o rozdíl 2 s. Touto úpravou se kvůli zachování zaručené 5s doby signálu volno pro chodeckou signální skupinu prodlouží celý fázový přechod na dobu 11 s.



Obrázek 11: Upravený fázový přechod FP3.4 uzlu 2 SSZ Plzeňská – Vrchlického [29]

Detekce							
Funkce:	(ZL) časové mezery	(A) výzva	(B) doba obsazení	přihlašování	odhlašování	jiná	videokamera
Tlačítka pro chodce: U všech tlačítek je instalováno světlo „čekej“, které svítí od prvního nároku zaregistrovaného na tlačítku v době po začátku příslušné červené, až do začátku příslušné zelené							
DPA		*					
DPA´		*					
DPB		*					
DPB´		*					
Trolejové kontakty pro tramvaje							
DTA1				*			
DTA2					*		
DTB1				*			
DTB2					*		

Tabulka 7: Detekce v rámci dynamického řízení SSZ Plzeňská – Vrchlického [29]

Před komentářem prováděné změny na SSZ je dlužno upřesnit, že úprava řízení dopravy je navržena jen pro uzel 2, tedy část zabezpečeného přechodu v Plzeňské ulici s provozem tramvají. V rámci detekce a následného upřednostnění tramvajových vozidel tak nebyl záměr měnit řídicí prvky celého SSZ Plzeňská – Vrchlického. Pro přípravu samotné úpravy řídicí logiky je zapotřebí definovat si určité proměnné a další například konstantní data. Všechny důležité změny týkající se současných příloh jsou zaznamenány v tabulkách, případně obrázcích. V tabulce s nadpisem Detekce jsou kupříkladu definovány nově přidané detektory pro přihlašování a odhlašování tramvajových souprav.

Dále bylo pro správný chod řízení dopravy nutné doplnit tabulky dat, parametrů a čítačů. U konstantních parametrů jsem dbal na zachování časové polohy dat kvůli liniové koordinaci

v území. Interval teoretického přerušení fáze F3 a přechodu do kolizní fáze F4 má navíc přesah v již zmiňovaném vzájemném vychýlení hodnoty délky F3 v cyklu v obou uzlech předmětného SSZ. Parametry s popisem obsahujícím označení „v cyklu“ zde například znamenají konkrétní moment vztažený k začátku cyklu. Přepínací bod se týká přechodů ze zapínacího programu nebo do vypínacího programu. Ty jsou tedy použity, když je předtím, respektive poté SSZ vypnuto a neřídí dopravu. Primárně jsou zároveň upravovány signální programy P1 a P3, tedy programy pro běžný a silný provoz, v případě P3 s platností BUS pruhu. Tyto byly vybrány jako nejčastěji provozované a také nejvhodnější pro aplikaci aktivní preference tramvají.

Popis konstantních parametrů	Časové parametry	Označení	Konkrétní data	
			P1	P3
Přepínací bod		UZP	10	10
Délka cyklu		C	80	80
Koordinované řízení: N1 = 1 (izol.: N1 = 0)		N1	1	1
Délka F3 v cyklu		N4	45	45
Délka F4		N5	3	3
Max. délka F3 pro tramvaj	T6	N6	40	40
Min. délka F3 pro tramvaj v cyklu		N7	30	30
Požadované prodloužení TA dle DTA1		N32	30	30
Požadované prodloužení TB dle DTB1		N34	35	35
Pomocné parametry detekce tramvají	T31, T33			
Rozdíl přihlášení a odhlášení tramvají pro odvození poruch tramvajových detektorů		N50	10	10
Doba zkrácení max. prodloužení pro rozhodování o výběru a prodlužování:				
TA dle DTA1		N51	5	5
TBA dle DTB1		N52	5	5

Tabulka 8: Data a parametry pro řídicí logiku SSZ Plzeňská – Vrchlického

Za stavové proměnné parametry s označením začínajícím na „M“ jsou průběžně dosazovány hodnoty podle aktuální situace. Některé jsou spjaté přímo s cyklem, většina však uchovává informace z provozu tramvajových detektorů. V neposlední řadě jsem určil logické podmínky používané v rozhodovacích prvcích řídicí logiky, kde se stejně jako u ostatních zápisů vyjadřují závislosti pravidly Booleovy algebry. Poslední tabulka definuje časové čítače jakožto aktuální sekundu příslušného celku [30]. V řídicí logice je užitečný pro odpočet různých dob daných časových prvků.

Stavové parametry	
Označení	Popis
M1 = 1	Běží doba od momentu t = N7 & N1 = 1 do konce F3
M10 = 1	t ≥ délka F3 v cyklu
M31	Počet přihlášených tramvají na DTA1
M32	Počet přihlášených tramvají na DTA1 v době změny přihlašování
M33	Počet přihlášených tramvají na DTB1
M34	Počet přihlášených tramvají na DTB1 v době změny přihlašování
M81, M83	Pomocné parametry pro detekci tramvají
MP51, MP52	Pomocné parametry pro detekci tramvají
MP1	Logická porucha DTA2
MP2	Logická porucha DTB2

Tabulka 9: Stavové parametry (proměnné) pro řídicí logiku SSZ Plzeňská – Vrchlického

Časové čítače	
t	Časový čítač cyklu
tFx	Časový čítač fáze Fx (doba od začátku fáze)
tFP	Časový čítač fázového přechodu (doba od začátku fázového přechodu)
tXX	Doba od začátku volna signální skupiny XX do konce volna
t1	Doba od začátku M1 = 1 do konce F3
tAN32	Doba od posledního přihlášení na DTA1
tAN34	Doba od posledního přihlášení na DTB1

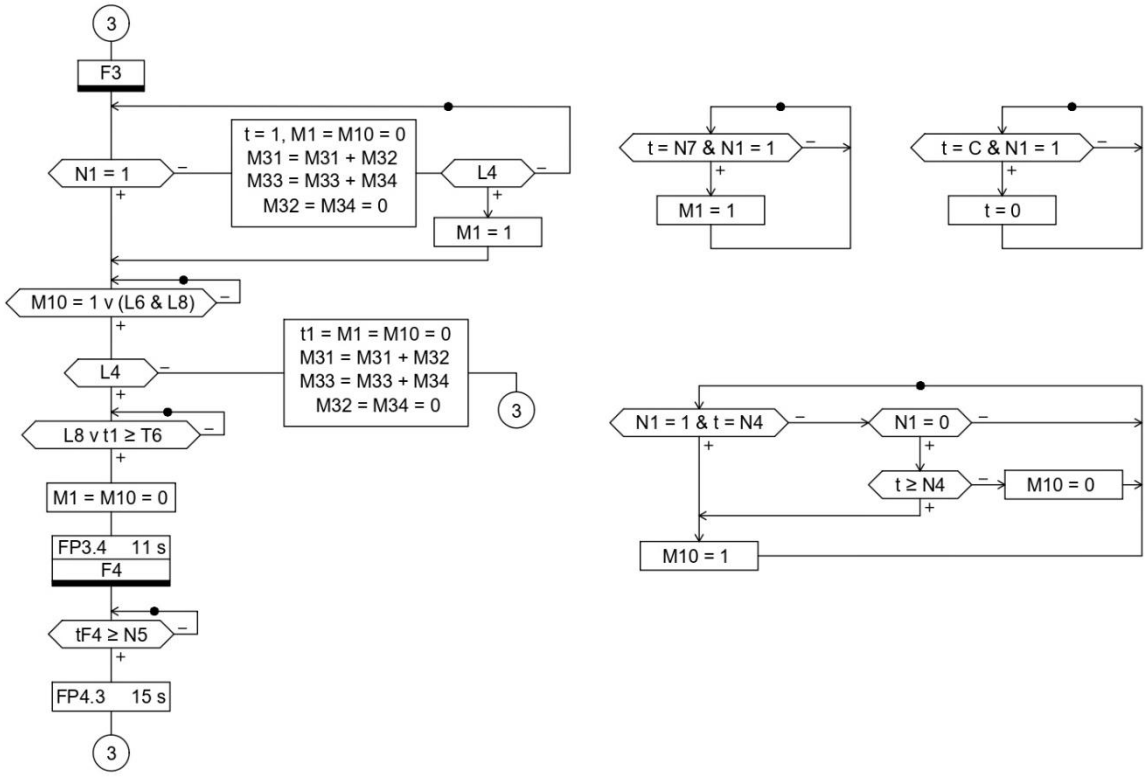
Tabulka 10: Časové čítače pro řídicí logiku SSZ Plzeňská – Vrchlického

Návrh neobsahuje konkrétní časové nastavení programů. Počítá se s nynějším nastavením, které zařazuje v denních hodinách od pondělí do soboty (6. – 21. hodina) programy P1 a P3, v neděli je program P1 vybrán až v odpoledních hodinách (13. – 21. hodina). Úpravy se však dají aplikovat i na ostatní programy v souladu s jejich individuálním nastavením (odlišná délka cyklu atd.) a jinými specifiky. Pro smysl a účel práce byly úpravy parametrů, dat a dalších vstupních hodnot omezeny jen na uvedené. Dalším přílohám jako kupříkladu zpracování a reakce na poruchy detektorů tak nebyla věnována větší pozornost. [29][38]

Logické podmínky	
L4 = A (DPB ∨ DPB´)	Nárok na F4
L6 = M32 + M34 > 0	Nárok na tramvaj v F3
L8 = [M31 = 0 ∨ (tTA ≥ 30 & tAN32 > N32)] & & [M33 = 0 ∨ (tTB ≥ 30 & tAN34 > N34)]	Tramvaj dále neprodlužuje

Tabulka 11: Logické podmínky vyjádřené pomocí definovaných parametrů pro řídicí logiku SSZ Plzeňská – Vrchlického

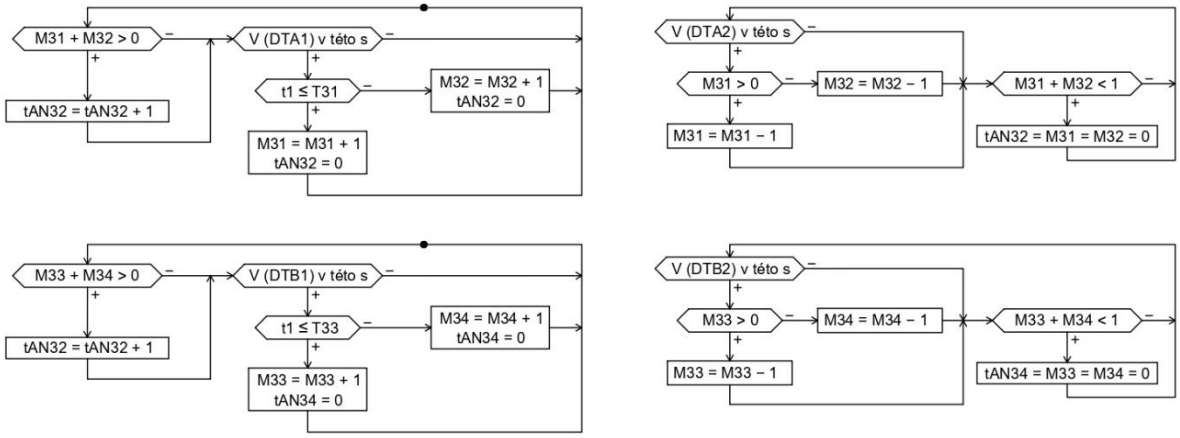
5.2.2 Řídicí logika



Obrázek 12: Základní řídicí logika SSZ Plzeňská – Vrchlického z Přílohy 3

Upravený algoritmus řízení dopravy zabezpečeného přechodu Plzeňská – Vrchlického v uzlu Plzeňská se, co se dopravního proudu týká, rozhoduje (kromě chodeckých výzev) pouze na základě dat z tramvajového provozu. Celá řídicí logika zkoumaného SSZ zjednodušeně preferuje tramvaje při jejich výzvě až do určitého momentu v cyklu. Tím nejzazším okamžikem, kdy může začít fázový přechod do kolizní fáze F4, je splnění podmínky t1 ≥ T6 obvykle

(v signálním programu P1 nebo P3 a za koordinovaného řízení) v 70. sekundě cyklu. Naopak v případě, že je detekována výzva na tlačítku pro chodce a žádná tramvaj není přihlášená (kromě detekcí po určitém časovém limitu), je kolizní fáze předvybrána ještě před nynějším momentem cyklu (konkrétně ve 41. sekundě). Právě ve stavu, kdy je v návaznosti na další závislosti dosaženo minimální délky fáze pro tramvaj a ta se zároveň přihlásí a propíše do stavového parametru M32, respektive M34, začne fázový přechod FP3.4 ještě ve stejné sekundě. Taková situace umožní překonání kolizní plochy chodcům s velmi malým či nulovým zdržením tramvaje, neboť změřená jízdní doba zhruba odpovídá době tramvajového signálu stůj (jak již bylo uvedeno v rámci měření jízdní doby). Výzvy k projetí tramvaje zaznamenané do parametru M32 či M34 tak zkráceně znamenají, že řadič již s přednostním průjezdem této tramvaje „nepočítá“ a fázi F3 na základě přihlášení dané tramvaje nebude prodlužovat. Na druhou stranu sníží zdržení soupravy právě předvybráním kolizní fáze F4. Existují však i situace kombinující tramvaje přihlášené v rámci parametru M31 (respektive M33) a parametru M32 (respektive M34), které vyústí zastavením později přihlášené tramvaje těsně před příjezdem k návěstidlu. Také kvůli zachování koordinovaného charakteru řízení a cykličnosti řízení v podobě střídání fází v určitých intervalech, jsou takové specifické případy nevyhnutelné. Co se dále týče řízení pěší dopravy, oproti původnímu řízení mohou chodci za daných podmínek dostat signál volno dokonce dříve než za původního řízení dopravy (konkrétně po 43 sekundách). Naopak když po splnění první logické podmínky zjišťující stav přihlašování tramvají a momentu cyklu není aktivní chodecká výzva, musí tito účastníci provozu vyčkat nejméně téměř celou délku cyklu na postoupení do posledního rozhodovacího bodu před fázovým přechodem. V tuto chvíli je vhodné připomenout, že časové možnosti přechodu do fáze F4 odpovídají kromě zachované liniové koordinace s okolními křižovatkami také vychýlení parametrů druhého uzlu, čehož mohou využít právě chodci při překonávání obou částí SSZ.



Obrázek 13: Vývojový diagram – detekce tramvají z Přílohy 3

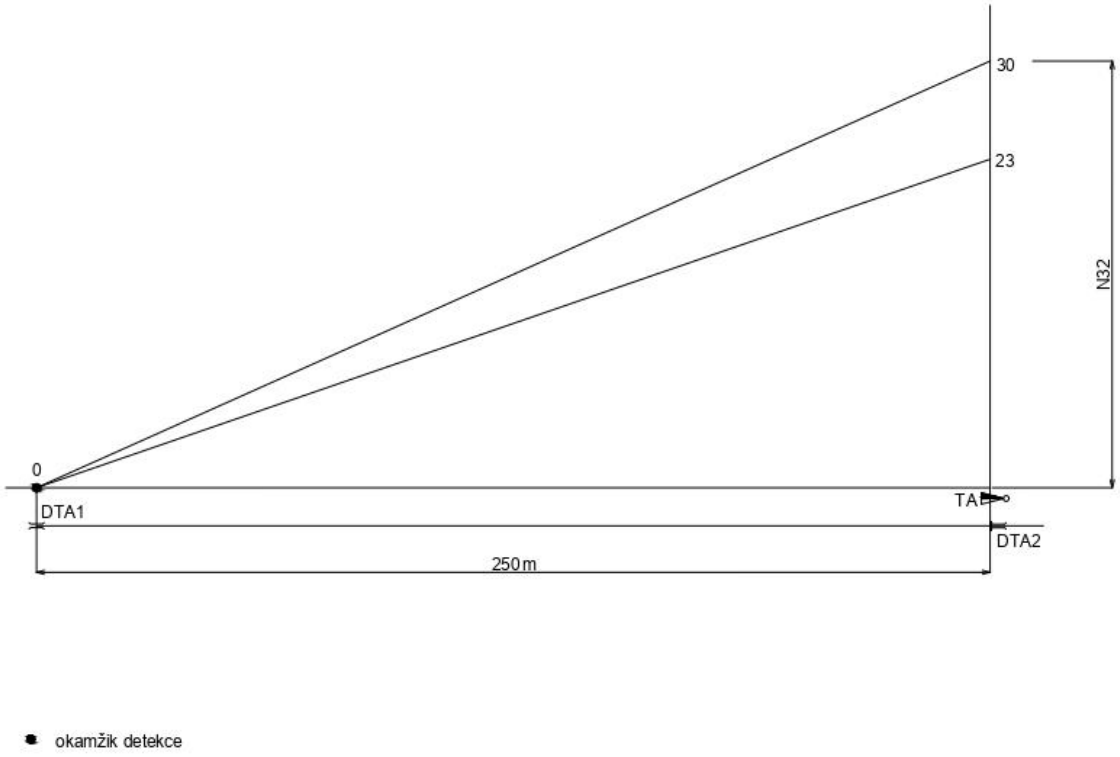
V řídicí logice by mělo být myšleno i na varianty stavu řízení dopravy, pro které je žádoucí vést SSZ izolovaně. Jsou jimi obecně různé dlouhodobé i krátkodobé mimořádné události, konkrétně například uzavření jednoho jízdního pruhu. V takových případech se nebere zřetel na chod čítače a fázový přechod může být započat nehledě na moment cyklu. Jedním z důkazů nezávislosti na časovou polohu v cyklu je stále vynulovaný stavový parametr M10. Záruka správného chodu řídicí logiky i za neobvyklých situací jako například za uvedeného izolovaného řízení je zřejmá též v dalších diagramech v Příloze 3. Při aplikaci logiky s daty jiného signálního programu by se mohlo stát, že by se pomocný parametr T31 či T33 při daných závislostech dostal do záporných hodnot. Proto je nutné správně nastavit parametr T6 přímo figurující kupříkladu také v základní řídicí logice. Ten se tedy může maximálně rovnat většímu z rozdílů požadovaného prodloužení volna TA, respektive TB a doby zkrácení prodloužení signální skupiny TA, respektive TB. Nejnižší možná hodnota parametrů T31 a T33 bude tím pádem nulová. V samotném základním řízení by se tato minimální hodnota projevila v nejdřívějším možném okamžiku zahájení fázového přechodu. V momentě dosažení minimální délky F3 pro tramvaj v cyklu by totiž mohly být splněny logické podmínky L6 a následně L8, což by okamžitě umožnilo zahájit právě proces přechodu do fáze F4. Už z logiky věci by navíc bylo nereálné porovnávat v diagramu detekce tramvají časový čítač se záporným parametrem. Jak je dále běžné u řídicích logik jiných pražských SSZ s provozem tramvají, jsou přizpůsobeny i poruchám detekcí. Například parametr MP1 = 1 právě když odhlašovací detektor neregistruje projíždějící tramvaj a zároveň jsou poté každou sekundu nulovány parametry uchovávající hodnotu počtu přihlášených tramvají a preference tohoto dopravního prostředku je tím pádem neaktivní. Zapsání chybového kódu 4 může však také způsobit mimořádná událost před odhlašovacím detektorem typu nehody, kdy se nashromáždí nejméně deset tramvajových souprav mezi přihlašovací a odhlašovací trolejový kontakt. Navrácení do původního režimu u všech takových případů zajistí zapsání kódu 5 do registru událostí. [38]

Obsahem Přílohy 4 jsou diagramy dráha-čas pro oba směry příjezdu tramvají. Zjednodušeně představují průběh jízdy od přihlašovacího detektoru k předmětnému SSZ. Zde je na obrázku zobrazen diagram pro signální skupinu TA se vzdáleností od přihlašovacího kontaktu DTA1 k odhlašovacímu detektoru DTA2 250 m.

5.2.3 Zhodnocení úpravy zejména z pohledu pěší dopravy

Co se týče provozu za aktivního signálního programu P1 či P3 s koordinovaným řízením dopravy, v porovnání s původním řízením je pěší doprava v rámci zaměření na efektivitu tramvajového provozu bezesporu alespoň krátkodobě ovlivněna. Zatímco právě řídicí logika bez preference tramvají umožňovala přejít do fázového přechodu pouze v daném momentu

v cyklu, v návrhu je variabilita ve vybírání kolizního směru větší. Při spuštění fáze F4 později v cyklu tak například řadič s opětovným vybráním vyžádané chodecké fáze nutně nečeká na stejnou dobu v cyklu. Za daných zejména dopravně závislých podmínek může být přechod do fáze F4 znovu zvolen po zhruba polovině doby cyklu. Na druhou stranu při původním řízení byla nejdelší doba čekání chodce na signál volno po zmáčknutí tlačítka pro chodce rovna době cyklu navýšeným o 4s mezičas, po úpravě se zdržení na úkor zvýhodnění tramvajové dopravy může dostat až na hodnotu 110 s. Nutno však zdůraznit, že v momentě, kdy během doby od splnění logické podmínky M10 = 1 $\vee$ (L6 & L8) dále není zaznamenána přijíždějící preferovaná tramvaj (započítaná do parametrů M31, respektive M33), je ihned dopravní proud chodců upřednostněn. Dalo by se říci, že čas, o který je dynamicky prodloužen chodecký signál stůj, využije kromě tramvajové dopravy také ta automobilová. Celkově je ovšem střední hodnota délky zeleného signálu stejná jako před změnou už jenom kvůli vybrání fáze F4 při výzvě stále maximálně jednou za cyklus (jen v delší možné definované části cyklu). Když je tedy prodloužen signál volno pro hlavní vozidlový směr, v jednom z dalších cyklů bude fáze F3 v porovnání s řízením před úpravou naopak kratší (fázový přechod FP3.4 začne zase dříve). Kdyby pro názornost začal v popisované situaci například hned v dalším cyklu fázový přechod do fáze F4 ve 45. sekundě (jako začíná podle nynější řídicí logiky), celková doba volna pro fáze F3 i F4 by byla stejná. Průměrné zdržení ukázané právě na příkladu začátku FP3.4 v jednom cyklu v poslední možné 70. sekundě a v dalším cyklu hned ve 45. sekundě je nakonec stejné. Některým z náhodně přicházejících chodců se tak zdržení prodlouží, od momentu původního ukončení fáze F3 čeká v uvedeném případu každý chodec v porovnání s řízením bez úpravy kratší dobu (do 70. sekundy by beze změny čekali až do dalšího cyklu, od konce signálu volno pro PB čekají maximálně zhruba polovinu cyklu místo celého). V návrhu ovšem jednoznačně mírně prodlužuje dobu, kdy nemá žádný směr volný vjezd do kolizní plochy, zvětšený mezičas okomentovaný v podkapitole 5.2.1 Nová a upravená data k řízení SSZ. Zkráceně je tedy využíváno okamžitého navýšení prodloužení signálu stůj pro chodce, kterým se čekání ve výsledku vykompenzuje jednou z dřívějších dalších volných fází, za dosažení zamýšlené podmíněné preference tramvajové dopravy.



Obrázek 14: Diagram dráha-čas pro jízdu tramvaje v signální skupině TA z Přílohy 4

Specifickými účastníky provozu, kterých se změna dotkne popsaným způsobem, jsou autobusy Pražské integrované dopravy. Díky faktu, že se v mezikřižovatkovém úseku Plzeňská x Jinonická a Plzeňská – Vrchlického nenachází zastávka, mají autobusy stejné podmínky i výhody jako ostatní automobily projíždějící územím. Z pohledu tohoto dopravního prostředku lze proto navrženou úpravu brát jako zachovanou pasivní preferenci. V případné jiné budoucí práci je možné se v rámci dalšího zlepšení místní dopravní situace zaměřit právě na plynulejší průjezd autobusů nejspíše společně s detekováním automobilové dopravy a jejím zpracováním v řídicí logice či v neposlední řadě na detailnější vyhodnocení zdržení a časové úspory v simulačním prostředí.

6 Vyhodnocení dopadů na sledovaném SSZ

6.1 Konkrétní výhody a výsledné hodnoty parametrů v tramvajovém provozu

Je zřejmé, že SSZ Plzeňská – Vrchlického bylo původně zřízeno na základě kritéria intenzit z hlediska chodců současně se zařazením mezi SSZ v liniové koordinaci. Podle Metodiky pro volbu způsobu řízení světelných signalizačních zařízení v období slabého provozu [39] je kritérium plynulosti spojů MHD pro zavedení světelné řízené křižovatky následující: „*zdržení nejméně každého druhého vozu na dobu delší než dvě minuty ve třech nejzatíženějších*

hodinách dne“. Ze všech popisovaných parametrů je zřejmé, že toto kritérium bylo splněno před úpravou řízení SSZ i po ní a nemá smysl se s ním dále zabývat. Uvedený zdroj však dále zmiňuje další důvody řídit MHD světelnými signály, které jsou podle názoru autora přibližně stejně úzce spjaty také při přechodu z pevného řízení na dynamické s preferencí tramvají. Jedná se o přínosy v delším časovém horizontu spočívající v uspoření vozidel MHD a nákladů s tím spojených či například energeticky výhodnějším plynulejším průjezdem kolizní plochou.

Jeden z měřitelných přínosů dosažitelný právě preferencí v rámci dynamického řízení dopravy je úspora doby jízdy daných spojů linky. Na upravovaném řízení zabezpečeného přechodu bude na základě zjistitelných parametrů určena průměrná doba zdržení tramvaje. Nutno si předem uvědomit, že s přihlédnutím na nižší intenzitu kolizního směru chodců a již původní fázi F3 aktivní většinu cyklu, není předpoklad dřívějšího výrazného zdržení tramvají ani finální úspory jízdní doby. Vstupními údaji k výpočtu jsou předpokládaný počet příjezdů (počet příjezdů tramvají podle jízdního řádu), maximální a střední počet příjezdů, střední počet chodců (podle dat z provedeného průzkumu) a další parametry zřejmé z dokumentace původní a upravené řídicí logiky. Všechny tyto hodnoty budou uvedeny za dobu jednoho cyklu. Pro určení hodnoty předpokládaného počtu příjezdů tramvají je potřeba si připomenout intervaly projíždějících linek. Páteřní linka 9 je ve špičce, pro kterou je zapotřebí vypravit nejvíce pořadí v rámci dne, provozována ve 4 minutovém intervalu, linka 15 přijíždí po 8 minutách a linky 10 a 16 v prokladu též každá po 8 minutách. Zkráceně uzlem za minutu projede 0,625 soupravy, za cyklus je poté hodnota příjezdů 0,83. Dalším prvkem rozhodujícím o vývoji řídicího algoritmu je střední počet chodců za cyklus. Podle technických podmínek je tento údaj dán výpočtem podobným jako u počtu tramvají podle následujícího vztahu.

$$„P = I_{ped} \bullet \frac{t_c}{3600} \tag{6.1}$$

kde je P *střední počet chodců za cyklus [ch/c],*

I_{ped} *intenzita přecházejících chodců [ch/h];*

t_c *doba cyklu [s].“* [40]

Nyní je do vzorce dosazena hodnota cyklu a hodinové intenzity z odpolední části dopravního průzkumu.

$$\mathrm{P} = \mathrm{I_{ped}} \bullet \frac{\mathrm{t_c}}{3600} = 31{,}5 \bullet \frac{80}{3600} = 0{,}7\ \mathrm{ch/c} \tag{6.2}$$

V neposlední řadě je ještě důležité si ujasnit, jak budou do výpočtu zpoždění spojů po úpravě promítnuty možnosti, při kterých je tramvaj zdržena. Tato vyčíslená informace bude zastupovat střední hodnotu zastavení na spoj z původního vzorce. Část cyklu, kdy je tramvaj při změněném řízení skutečně zpomalena či zastavena, byla pro jednoduchost definována za použití průměrné doby jízdy od přihlašovacího k odhlašovacímu kontaktu následovně. Vyjadřuje dobu od prvního možného přihlášení již nepreferovaného spoje v řešeném směru (zaznamenán do parametru M32, respektive M34) po poslední možný příjezd k odhlašovacímu detektoru protijedoucí tramvaje, která je ještě vyhodnocena jako preferovaná (zařazena do parametru M31, respektive M33). Pro směr do centra (signální skupina TA) se tak jedná o začátek této doby ve 46. sekundu cyklu (první příjezd jako M32) s koncem v 62. sekundě (jakožto poslední možné odhlášení protijedoucí tramvaje zařazené do M33). V opačném směru připadá začátek doby možného zdržení spoje na 41. sekundu cyklu (první příjezd jako M34) a konec na 68. sekundu (poslední možné odhlášení tramvaje v signální skupině TA zařazené do M31) a celá doba tak trvá 27 sekund. Kvůli rozdílné době změny přihlašování obou signálních skupin (změna zařazení z parametru M31 do M32, respektive z M33 do M34) je tak rozdíl obou částí cyklu 11 sekund. Důvodem zmíněné odlišnosti je zvýšený parametr N34 (oproti N32) zajišťující dostatečný čas na průjezd tramvaje v rámci signální skupiny TB, jejíž plynulá jízda může být narušena vozidly odbočujícími vlevo přes koleje a zařazenými do stejné fáze na křižovatce Plzeňská x Jinonická. Výsledným poměrem pro signální skupinu TA (do centra) $\frac{16}{80}$, tedy 0,2 se zde rozumí pravděpodobnost, že přijíždějící spoj libovolné linky bude o určitou dobu zdržen. Pro určení skutečné pravděpodobnosti popsané situace je však třeba zahrnout do výpočtu nezávislost příjezdu obou protijedoucích tramvají v definovaný časový interval (v podobě umocnění hodnoty). Díky stanoveným hodnotám je možné vypočíst parametr zohledňující právě variabilitu výběru přechodu do fáze F4 i četnost vstupů jednotlivých účastníků provozu. V návrhu řízení představuje tedy pravděpodobnost jakéhokoliv zdržení tramvaje v období dopravní špičky. Tento výpočet bude uveden dohromady s určením výsledné doby zdržení tramvajové soupravy v cyklu.

$$n_{SZ} = P \bullet p_{tram} \bullet T \tag{6.3}$$

kde je
- n_{SZ} střední hodnota zastavení na spoj [zast/spoj];
- P střední počet chodců za cyklus [ch/c];
- p_{tram} pravděpodobnost zdržení přijíždějícího spoje;
- T počet spojů za cyklus [spoj/c].

$$n_{SZ2.\ DC} = 0{,}7 \bullet 0{,}2^2 \bullet 0{,}83 = 0{,}023\ \text{zast/spoj} \tag{6.4}$$

$$n_{SZ2,\ ZC} = 0{,}7 \bullet 0{,}3375^2 \bullet 0{,}83 = 0{,}066\ \text{zast/spoj} \tag{6.5}$$

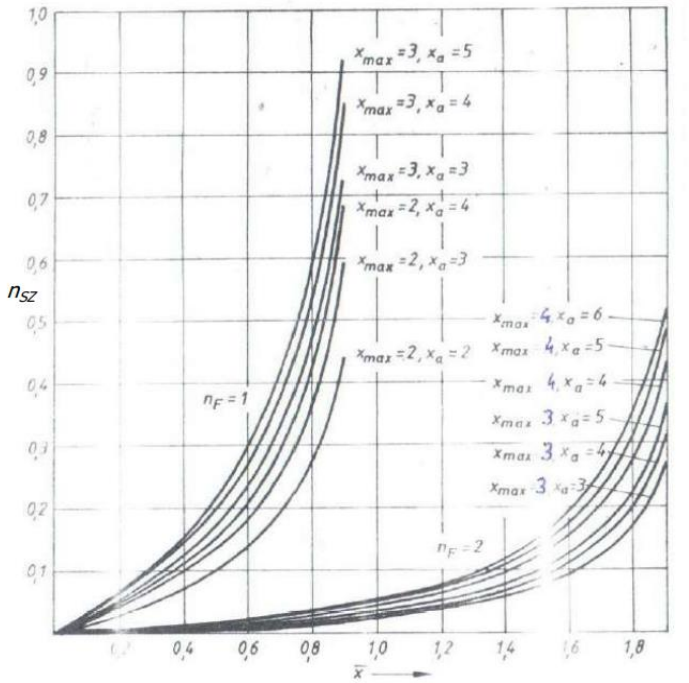
$$t_{SZ} = n_{SZ} \bullet \frac{t_s}{t_p} \bullet \frac{t_s}{2} + n_{SZ} \bullet t_s \tag{6.6}$$

kde je t_{SZ} střední hodnota doby zdržení na spoj [s];
n_{SZ} střední hodnota zastavení na spoj [zast/spoj];
t_s délka kolizní fáze, respektive délka signálu stůj v cyklu [s];
t_p délka cyklu [s].

$$t_{SZ2,\ DC} = 0{,}023 \bullet \frac{24}{80} \bullet \frac{24}{2} + 0{,}023 \bullet 24 = 0{,}635\ \text{s} \tag{6.7}$$

$$t_{SZ2,\ ZC} = 0{,}066 \bullet \frac{20}{80} \bullet \frac{20}{2} + 0{,}066 \bullet 20 = 1{,}485\ \text{s} \tag{6.8}$$

Pro porovnání úspory jízdní doby ještě obdobně určím dobu zdržení tramvaje při původním řízení. Co se týče dat z provozu, zde budou hrát roli pouze střední počet chodců za cyklus a počet spojů za cyklus. Základ střední hodnoty zastavení zde bude určen podle grafu z původního zdroje. Hodnota n_F vyjadřující předpokládaný počet příjezdů je zde rovna 1, střední počet příjezdů $\bar{x}$ jsem zvolil stejný jako dříve okomentovanou hodnotu počtu spojů za cyklus a maximální počet průjezdů x_{MAX} je zde stejně jako hodnota x_a rovna 2. Střední hodnota zastavení na spoj n_{SZ} bude výsledně opět upravena o střední počet chodců za cyklus. [20]



Obrázek 15: Graf střední hodnoty na spoj připadajících zastavení n_{SZ} v závislosti na středním počtu příjezdů $\bar{x}$ [20]

$$n_{SZ1,\ DC,ZC} = 0{,}7 \bullet 0{,}32 = 0{,}224\ \text{zast/spoj} \tag{6.9}$$

$$t_{SZ1,\ DC} = 0{,}224 \bullet \frac{22}{80} \bullet \frac{22}{2} + 0{,}224 \bullet 22 = 5{,}606\ \text{s} \tag{6.10}$$

$$t_{SZ1,\ ZC} = 0{,}224 \bullet \frac{20}{80} \bullet \frac{20}{2} + 0{,}224 \bullet 20 = 5{,}04\ \text{s} \tag{6.11}$$

Z vypočítaných parametrů doby zdržení t_{SZ} lze nyní určit zkrácení jízdní doby tramvají v řešeném mezizastávkovém úseku pro oba směry jízdy.

$$t_{SZ1,\ DC} - t_{SZ2,\ DC} = (5{,}606 - 0{,}635)\ \text{s} = 4{,}971\ \text{s} \cong 5\ \text{s} \tag{6.12}$$

$$t_{SZ1,\ ZC} - t_{SZ2,\ ZC} = (5{,}04 - 1{,}485)\ \text{s} = 3{,}555\ \text{s} \cong 3{,}6\ \text{s} \tag{6.13}$$

Úspora jízdní doby pro všechny linky je při zohlednění všech známých okolností pochopitelně téměř zanedbatelná. Relativní pokles zdržení na zabezpečeném přechodu tvoří ovšem v prvním případě 11,3 % z původního zdržení a v případě druhém 29,5 %. Pro další interpretaci bude určena celkové úspora za jeden provozní den v závislosti na počtu tramvají, které uzlem projedou. Tento počet průjezdů jedním směrem byl určen z linkových jízdních řádů.

$$\text{úsp}_{\text{den,DC}} = (t_{SZ1,\ DC} - t_{SZ2,\ DC}) \bullet n_{\text{tr DC,den}} = 4{,}971 \bullet 700 = 3479{,}7\ \text{trams} \cong 58\ \text{trammin} \tag{6.14}$$

$$\text{úsp}_{\text{den,ZC}} = (t_{SZ1,\ ZC} - t_{SZ2,\ ZC}) \bullet n_{\text{tr ZC,den}} = 3{,}555 \bullet 700 = 2488{,}5\ \text{trams} \cong 41{,}5\ \text{trammin} \tag{6.15}$$

kde je $\text{úsp}_{\text{den,DC}}$ celková úspora za provozní den [trams, trammin];

$n_{\text{tr DC,den}}$ počet tramvají, které projedou za provozní den jedním směrem [tram].

Z výsledků je zřejmá maximální téměř hodinová celková úspora jízdních dob po navrhované úpravě. Lze si také všimnout, že součet úspor v obou směrech téměř odpovídá dobám jízdy mezi konečnými zastávkami v jednom oběhu. Nad rámec dále počítané úspory vozidel se tak teoreticky dá uvažovat, že přibližně celkem 4 takové křižovatky by mohly ušetřit jeden oběh v období ranní a odpolední špičky (ty byly celkem uvažovány v sedmi hodinách za den). Výraznější úspora by přicházela v úvahu při preferenční úpravě křižovatek se silnějšími kolizními proudy z pohledu tramvajové signální skupiny. U těch je předpoklad většího rozdílu u porovnávaných stavů řízení kvůli výchozímu většímu poměru fáze se signálem stůj pro tramvaj ku celkové době cyklu.

V návaznosti na uvedeném výpočtu bude následující část věnována páteřní lince 9 a potenciálnímu snížení potřebného počtu vozidel. Na základě vztahu již zmiňovaného v teoretické části práce bude ověřena hodnota počtu vozidel na lince. Z toho důvodu, že na

lince 9 jsou řidiči pro čerpání přestávky odděleni od vozu, dobu obratu teoreticky tvoří pouze manipulace s vozem a čas na vyrovnání případného zpoždění. Pro vyčíslení rezervy v rámci obratových dob bude určena minimální doba obratu v oběhu, se kterou budou porovnány aktuální doby obratů. [41][42][43][44]

$$t_{o,C,min} = -\frac{t_{př,C}^2}{3000} + \frac{t_{př,C}}{6} + 2 = -\frac{106^2}{3000} + \frac{106}{6} + 2 = 15{,}9\,\text{min} \cong 16\,\text{min} \quad (6.16)$$

kde je $t_{o,C,min}$ minimální doba obratu v oběhu [min];
$t_{př,C}$ doba přepravy v oběhu [min].

Obratové doby musí tedy dohromady splňovat limit 16 minut. Reálné doby obratu jsou poté navýšeny právě o rezervu. Pro určení nynějšího počtu vozidel bude použit vzorec (2.1) z podkapitoly Provozní důvody.

$$n_{voz} = \frac{2 \bullet t_{jízdy} + t_{obratu,A} + t_{obratu,B}}{t_{taktu}} = \frac{2 \bullet 53 + 17 + 13}{4} = \frac{136}{4} = 34\,\text{voz} \quad (6.17)$$

Abychom mohli hovořit o úspoře vozidla, pro navýšení vzniklého několikasekundového zkrácení jízdní doby je zapotřebí zvýšit stupeň preference na dalších křižovatkách na trase. V úvahu přichází optimalizace liniové koordinace v úseku Bertramka – Anděl či zlepšení podmínek upřednostňování spojů na křižovatce U Bulhara nebo u Olšanského náměstí. Zrychlení celkové cestovní doby by u této páteřní linky, u kterých by mělo být dodržování jízdního řádu prioritou, napomohly i různé stavební nebo organizační úpravy komunikací. Jelikož linka projíždí centrem města, jízdní dráhu zde často sdílí s ostatními účastníky provozu. Nejnovější úpravou takového typu je znemožněné odbočování automobilů směrem z mostu Legií doleva na Smetanovo nábřeží. Právě například taková změna, kdy odbočující vozidla nezastaví v kolizním prostoru křižovatky, může tramvaji zajistit výrazně plynulejší průjezd křižovatkou. Jak bude dále ověřeno, pro úsporu vypravené soupravy by bylo potřeba ušetřit v jednom směru alespoň 1,5 min, bezpečně však 2 min. Místo automatického zkrácení dané doby jízdy by však vždy mělo být prostřednictvím zkrácení jízdní doby přednostně dbáno na zajištění spolehlivosti a pokrytí zpoždění. Iniciativa s výsledkem možnosti uspoření spoje by tak měla být směřována na linky, na jejichž trase se nachází více SSZ s větším potenciálem snížení doby zdržení. Další konkrétní příklady budou uvedeny v poslední podkapitole.

$$n_{voz\,úsp} = \frac{2 \bullet (t_{jízdy} - t_{pref}) + t_{obratu,A} + t_{obratu,B}}{t_{taktu}} = \frac{2 \bullet (53 - 2) + 17 + 13}{4} = 33\,\text{voz} \quad (6.18)$$

kde je $n_{voz\,úsp}$ úspora vozidel [voz];
t_{pref} zkrácení jízdní doby v jednom směru [min].

V praxi by se dala v rámci finálních úprav úspora počtu linek dosáhnout menší rezervou u dob obratů. Pro uvedení příkladu bude doba obratu v oběhu ponížena o 10 minut a úspora jízdní doby bude činit v jednom směru 1 minutu.

$$n_{\text{voz úsp}} = \frac{2 \bullet (t_{\text{jízdy}} - t_{\text{pref}}) + t_{\text{obratu,A}} + t_{\text{obratu,B}}}{t_{\text{taktu}}} = \frac{2 \bullet (53 - 1) + 12 + 8}{4} = 31 \text{ voz} \quad (6.19)$$

V rámci ekonomiky dopravního podniku bych mohl dále uvažovat nad finanční úsporou z ušetření jedné nebo více tramvají, do které by se promítla mzda řidiče, variabilní a fixní náklady na soupravu za určitý čas atd.

Dalším přínosem je snížení spotřeby trakční energie díky častějšímu průjezdu křižovatkou bez zastavení. V tento moment není příliš žádoucí okamžitá vyšší rychlost soupravy jako spíše rychlost konstantní. Úspora by se v rámci součinu nákladů na trakční energii na jedno sedadlo a jízdní doby spoje dala ve vzájemném porovnání stavů řízení jednoduše odečíst. V neposlední řadě je pozitivním efektem pro cestující také zvýšení komfortu jízdy. [45][46]

6.2 Reálné přínosy a negativní dopady pro automobilovou a pěší dopravu

Jednou z největších výhod navrhované změny je již zmiňovaná zachovaná liniová koordinace s okolními SSZ. I přes možnost výběru přechodu do fáze F4 v přibližně půlminutovém intervalu bude toto přerušení fáze F3 odpovídat nynějším parametrům koordinace. Průměrně by se totiž mělo jednat o hodnotu kolem 50. sekundy v cyklu. Na stejné bázi vybírání kolizních fází ke koordinovaným směrům na základě detekování příjezdu vozidel funguje právě i řada ostatních světelně řízených křižovatek patřících do této liniové koordinace.

S odkazem na část minulé kapitoly je pozitivem také podpořená pasivní preference linkových autobusů. Nejen, že je zachován plynulý průjezd v rámci koordinace (přímo se SSZ Plzeňská x Jinonická), momentální prodloužení signálu volno například v období dopravní špičky (díky očekávanému častějšímu detekování tramvají, tedy i v době rozhodování o prodloužení) může zajistit nepřerušené překonání uzlu i souběžně jedoucím autobusovým spojům. Zásluhou menšího počtu vhodně umístěných autobusových zastávek na Plzeňské ulici lze liniová koordinace v části trasy využít ještě lépe. V mezizastávkovém úseku Klamovka – Kavalírka (zejména u zastávky Klamovka) je zřejmý účel aplikace polohy zastávek popisované v první kapitole. Právě autobusová zastávka Klamovka pro linky 123 a 167 je oproti tramvajovým zastávkám předsazená před SSZ Plzeňská x Podbělohorská. Po odjezdu ze zastávky se poté vozidlo připojí do signálního svazku, překoná 3 SSZ včetně zkoumaného zabezpečeného přechodu a opět zastaví až v zastávce Kavalírka. Ta bohužel původní

myšlenku dvou zastávek umístěných před a za dvěma sousedními křižovatkami (zde třemi) nesplňuje z logického důvodu. Poloha u tramvajového ostrůvku primárně dbá na komfortní přestupní vazby mezi oběma módy, což ale v důsledku utváří další mezikřižovatkový úsek Kavalírka – Kotlářka bez autobusové zastávky.

Obecně vzato je přínosem v oblasti také potenciální snížená intenzita automobilové dopravy vlivem zatraktivnění tamní významné tramvajové dopravy. Jak již bylo uvedeno v teoretické části, kratší cestovní doba dosažená úpravami řízení SSZ může mít důsledky i v pozitivním ovlivnění potenciálních cestujících. Ačkoliv by tohoto výsledku bylo dosaženo až v synergii se zavedením či optimalizací preferenčních opatření na dalších křižovatkách, vedlejším efektem by mohl být právě zvýšený modal split ve prospěch MHD a tím pádem i menší intenzita dopravy. To dále souvisí i s teoreticky menší pravděpodobností tvorby kongescí v řešené oblasti. K popisované synergii je však logicky nutné prosazovat preference na jednotlivých úzkých hrdlech. Těmi nejsou v ohledu tramvajového provozu míněna přímo SSZ v Plzeňské ulici, kde je stav preferování tohoto druhu dopravy obecně téměř bezproblémový. V návaznosti na uvedené by díky takovému výsledku mohla těžit právě i autobusová doprava, které by se mimo mírný nárůst cestujících týkala i pozitiva z nižší denní intenzity dopravy.

Je důležité zmínit, že při vyšších intenzitách pěší dopravy, jež se očekávají při dostavbě rohové kancelářské budovy v blízkosti zabezpečeného přechodu, bude též chodecká výzva aktivována pravidelněji. Souvislost s tímto tvrzením jsem hledal ve středním počtu chodců za cyklus, který je podle aktuální intenzity pěší dopravy zjištěné z dopravního průzkumu 0,7 chodců za cyklus [40]. Díky tomu existuje předpoklad menší pravděpodobnosti, že cyklus proběhne zcela bez vybrání fáze F4.

Co do negativních dopadů úpravy na silniční dopravu, rozptyl možného ukončení signálu volno pro signální skupinu VB může způsobit modifikaci signálního svazku. Tehdy lze specificky při brzkém opakování fáze F4 očekávat, že část vozidel v původním svazku bude zastavena buď při prvním, nebo při druhém přerušení fáze F3. To je spjaté s další nedokonalostí, kdy nejsou vyhodnocovány žádné parametry jízdy dopravních prostředků řízených v rámci signální skupiny VB. Nejčastěji se jedná o porovnávání časových mezer mezi vozidly s určitou maximální přijatelnou hodnotou [38].

6.3 Role a směřování rozvoje SSZ v závislosti na výsledcích

Hlavní myšlenkou, která vychází z návrhu úpravy řízení SSZ, je především podpora tramvajové dopravy, zkrácení jízdních dob a tím pádem také vyšší cestovní rychlost.

V prostředí hlavního města Prahy, kde již valná většina SSZ disponuje aktivní (zejména podmíněnou) preferencí, je však žádoucí rozvoj tohoto upřednostňování MHD dále podporovat. Ačkoliv absolutní úspora doby jízdy v rámci dalších jednotlivých potenciálních úprav řízení dopravy na křižovatkách pravděpodobně nebude dosahovat velkých hodnot a efekt takových opatření se bude zdát malý, v kombinaci s dalšími opatřeními, která byla v práci též zmíněna, může být efekt v synergii výrazný.

Zejména na problémových linkách zaznamenávajících pravidelné zpoždění je vhodné se zaměřit na synergii více prvků v systému. Co se týče úprav řízení v rámci upřednostňování MHD na SSZ, obecně by směřování mělo pokračovat ve dvou myšlenkách. Tím prvním cílem v rozvoji efektivního řízení dopravy by z hlediska tramvajového a částečně i autobusového provozu mělo být postupné zvyšování stupně preference na SSZ. Výjimkou jsou samozřejmě případy, kde není změna například pevného řízení zamýšlena z důvodu stabilizace zdržení všech účastníků dopravy na křižovatkách komunikací s vysokou intenzitou dopravy. Na mnoha místech s průměrným vytížením a vedením kupříkladu dvou denních linek by stálo za úvahu zavedení absolutní preference. Druhým typem změny řízení dopravy jak v ohledu tramvají, tak i ostatních účastníků provozu jsou zachování křižovatek řízených dopravními značkami, případně omezování provozu zavedených specifických SSZ. V jiných městech jsou pro zabezpečení přechodů pro chodce též aplikovány jiné specifické prvky jako kupříkladu přerušované žluté světlo, výstražné svislé dopravní značky či jiné formy upozornění na přijíždějící tramvaj. Příkladem z pražského prostředí mohou být zabezpečené přechody, kde je chodecká fáze nepřetržitě aktivní až do chvíle tramvajové výzvy, kdy je v rámci absolutní preference volný vstup pěších krátce přerušen. Tento způsob řízení dopravy se podle všeho nově nenavrhuje, stále se však používá u podobných zabezpečených přechodů. Nejen že kupříkladu při poruše detekce řadič nemůže nerozhodnout o okamžitém volném průjezdu pro tramvaj, stále svítící zelený signál pro chodce může mít i další negativní dopady jako kupříkladu snížená pozornost pěších se sklony k vlastnímu vyhodnocení bezpečnosti přecházení nezávisle na signalizaci. Při aplikaci tlačítka pro chodce a stálého zprůjezdnění kolizní plochy tramvají se nabízí řešení prodloužení vlastní tramvajové fáze či naopak předvybrání té chodecké (podobně jako u navržené úpravy SSZ Plzeňská – Vrchlického). V tomto konkrétním případu je příhodné aplikovat v Praze minoritní řešení, kdy je světelná signalizace v období mimo dopravních špiček vypnuta většinou pro menší intenzitu dopravy. U podobných SSZ, na kterých je provoz řízen signálními programy s běžným cyklem nepřetržitě (například i v nočních hodinách) se navíc dá diskutovat o vedlejších negativních dopadech. Mimo zdržení se jedná o nadbytečný světelný smog a nárůst nákladů na spotřebu elektřiny. Na několika dalších vytíženějších uzlech je v rámci určitých opatření rozhodnuto o vypínání SSZ či ponechání křižovatek bez jejich instalaci. Častokrát je takové východisko

v oblasti zvoleno z důvodů vysokých zdržení určitých účastníků dopravy a místo technických řešení je tak dáván prostor lidské domluvě. Zkušenosti z praxe jsou nadto u takto výjimečných křižovatek zpravidla kladné, ať už co se týče reakcí řidičů automobilů či nízkého počtu nehod [47]. Rozhodující je finální zhodnocení změn pro všechny účastníky provozu, důležité je proto vždy konkrétní situaci posoudit individuálně.

Pro podporu spolehlivosti je kromě vytížených linek potřeba myslet také na problematické úseky tras linek tvořící důležitý proklad s další linkou na jiné části tratě. V takovém případě je totiž vhodné zabraňovat jevu popisovanému v teoretické části práce. Na několika takových společných úsecích (častokrát v hustší zástavbě v širším centru města s vytíženými komunikacemi) je rizikový příjezd jedné z takových linek s určitým zpožděním, které je poté zpravidla navyšováno například delším pobytem v zastávkách z důvodu odbavování více cestujících. Rizikovost uváděné situace je ještě větší při nepoměru počtu SSZ na větvích obou linek. U linky projíždějící větším množstvím SSZ je též zvlášť přínosná adekvátní koordinace možných preferenčních úprav a případných rezerv v jízdním řádu.

Spíše z dlouhodobého hlediska je též potřeba se soustředit na prvky zvyšující zejména plynulost tramvajové dopravy, kterými jsou možné aplikace rychlostních výhybek v oblasti větvení tratí (také většinou u světelně řízených křižovatek) či vyšší maximální rychlosti na zvýšených tramvajových tělesech s minimálním (nejlépe nulovým) křížením. Dále se mimo samotného zřizování oddělených tramvajových pásů nabízí zabezpečení přejezdů a jiných rizikových míst pro minimalizaci dopravních nehod. Podobná opatření jsou ovšem také většinou specifická k řešení a mohou být zkoumanou problematikou v dalších odborných pracích. Každopádně především v synergii s nabízenými organizačními či technickými úpravami je péče o rozvoj MHD ve výsledku skutečně znát a konečný účinek může představovat výraznější zlepšení stavu tramvajové dopravy.

Návrh úpravy SSZ je do určité míry také kompatibilní se změnou vytíženosti vstupů do řízení, které se nejvíce očekává u dopravního proudu chodců. Při nadměrnému navýšení denní intenzity chodců je kromě zmiňované větší pravděpodobnosti detekce a volby přechodu do fáze F4 možné poupravit parametry v řídicí logice zkracující okamžité zdržení jednotlivých chodců. V neposlední řadě se použité principy podmíněné preference prostřednictvím prodlužování vlastní fáze či předvybrání kolizní fáze dají aplikovat i na ostatní křižovatky spojující spíše méně vytížené komunikace.

7 Závěr

Aktivní preference na světelně řízených křižovatkách je již několik let vnímána z pohledu tramvajového provozu jako efektivní využití signálů volno ve fázích cyklu SSZ. Zároveň toto upřednostňování MHD přináší řadu přínosů a dopadů na všechny účastníky provozu na pozemních komunikacích. V rámci vlivů preference byl nejdříve rozebrán vztah k atraktivitě vnímané cestujícími a možné souvislosti s dělbou přepravní práce. Plynulý průjezd úzkými hrdly by tak teoreticky měl přesvědčit řidiče osobních automobilů, kteří jsou často v takových oblastech navíc zdrženi kongescemi. Další spojitost byla shledána u jízdních řádů. Nejen že díky podobné či stejné periodě může být v určitých specifických případech zaváděna pasivní komunikace, koordinace dob uspořených zavedenou preferencí a samotnými jízdními řády je též klíčová například pro větší spolehlivost MHD. Tyto dva parametry je třeba adekvátně nastavit či upravit vůči sobě. Obecně se v mezizastávkových úsecích s upraveným řízením SSZ jízdní doba v jízdním řádu zkrátí, neboť zpoždění je pro samotný provoz oproti nadjetí přijatelnější. Ve společných částech trasy určitých linek má preferování spojů MHD ještě další význam. Přesná obsluha jednotlivých zastávek na trati může být narušena nadstandardním zdržením při průjezdu například tramvajové soupravy nevhodně řešeným SSZ. Větší množství cestujících na následujících zastávkách zpoždění spoje jedné z linek jenom dále prodlužuje. Ačkoliv jsou periodicita příjezdů spojů například na trati s více linkami a cyklus SSZ relativně podobné, vzájemný vliv SSZ s ostatními prvky provozu mnohdy vytvářejí pro dodržování jízdního řádu komplikace. Specifické řešení je třeba aplikovat u průjezdu liniovou koordinací, neboť například zastávky mohou bát pro tento jinak plynulý průjezd problém.

V téměř čtyřicetiletém historickém pozadí preference na křižovatkách v Praze byl zřejmý vzestup zavádění tohoto opatření až na začátku nového tisíciletí. Tento vývoj pokračuje až dodnes, přičemž byly specifikovány určité případy, kdy kupříkladu není kvůli vyššímu vytížení některých křižovatek pro zabránění nadměrným kongescím žádoucí aktivní preferenci zavádět. Dále byla část práce věnována míře zdržení IAD a chodců. Dopravní proudy příslušící do stejné fáze jako například preferovaná tramvajová souprava mohou též z upřednostnění spoje MHD těžit. Naopak kolizní směry mohou být v takové situaci zejména v okamžitém porovnání zdrženy. Na druhou stranu je takovým signálním skupinám poté zdržení zpravidla kompenzováno. Problematika týkající se umístění zastávky vůči křižovatce se SSZ nabídla různé pohledy s výhodami a nevýhodami pro volbu jak před křižovatkou, tak za ní. Obecně se však kvůli zajištění bezpečnosti vystupujících a nastupujících cestujících a plynulosti dopravy nedoporučuje (ani se tak většinou neděje) zřizovat zastávku pro tramvaj přímo za křižovatkou. Za nutnosti použití dynamického řízení SSZ byly rozděleny způsoby realizace upřednostnění vozidla MHD do základních skupin a v nich následně uvedeny konkrétní charakteristické

metody preference. Zatímco opatření spadající pod pasivní preference zvyšují určitou pravděpodobnost volného průjezdu spoje bez použití aktuálních dat, v rámci aktivní preference SSZ vozidla detekuje a na základě předem určených vztahů či dalších momentálních informací může okamžitě modifikovat průběh cyklu. Čaasto je tak využíváno prodloužení vlastní fáze, zkrácení kolizní fáze, případně zkrácení vlastní fáze zároveň s předvybráním kolizní fáze. Co se týče samotné detekce vozidel, hlavními zástupci v pražském prostředí jsou pryžový trolejový kontakt či modernější technologie komunikace pomocí radiových signálů. Tématiku zakončovaly předpoklady a doporučení pro volbu absolutní a podmíněné preference v rámci právě aktivní preference.

Praktická část práce byla představena prostřednictvím popisu konkrétního dále zkoumaného SSZ Plzeňská – Vrchlického, které se nachází v městské části Praha 5. Po představení širších dopravních vztahů a konkrétních parametrů tohoto zabezpečeného přechodu a okolních komunikací bylo přiblíženo aktuální nastavení řízení SSZ. Pro celé zmapování intenzit pěší dopravy a chování jednotlivých účastníků provozu byl na předmětném SSZ proveden průzkum pěší dopravy. Cílem návrhu bylo dále upravit signální program s chodeckými výzvami v koordinaci přidáním detekování na stav s preferováním tramvajových souprav navíc. Bylo přitom nutné přihlédnout na zdržení chodců a zachování liniové koordinace s okolními SSZ. Před samotným návrhem změny zejména řídicí logiky bylo SSZ kupříkladu dovybaveno dvěma tramvajovými detektory a určena jízdní doba mezi přihlašovacím a odhlašovacím kontaktem pro oba směry. Podle základní řídicí logiky spolu s vývojovými diagramy detekce tramvají je zřejmé prodlužování fáze F3 při přihlášení tramvaje do určitého času. Po této době v cyklu je naopak předvybrána kolizní chodecká fáze F4, přičemž průjezd tramvaje by zpravidla neměl být například díky krátkým fázovým přechodům se samotnou fází F4 výrazně omezen. Jako podklad zejména k praktické části práce byla použita dokumentace řízení konkrétních SSZ poskytnuta TSK hlavního města Prahy.

V rámci vyhodnocení přínosů a dopadů konkrétního opatření bylo pohlíženo na všechny druhy dopravy. Ačkoliv je zdržení chodců v okamžitém hledisku občasně delší v porovnání s nynějším řízením, dlouhodobě je situace pro pěší srovnatelná. Tramvaje však podle výpočtu zaznamenaly v obou směrech úsporu jízdní doby prostřednictvím zmenšení průměrného zdržení na hodnoty přibližně 1 sekundy. Kvůli již relativně malému podílu signálu stůj pro tramvajové signální skupiny absolutní zkrácení jízdní doby nedosahovalo příliš vysokých hodnot, avšak v kombinaci s dalšími zejména organizačními opatřeními a zmenšení rezerv na obratištích byla vypočítána potenciální úspora nejméně jednoho vozidla. Taková skutečnost by dále souvisela s nižšími náklady zejména v ohledu na personál a údržby samotného vozidla.

V návaznosti na komentář stavu zvýhodňování zejména tramvají na SSZ v Praze byl popsán dnešní postoj a adekvátní rozvoj zavádění preferenčních opatření. Směřování preferování MHD v zásadě spočívá v soustředění na problémové úseky či linky (kupříkladu s pravidelným zpožděním), kde je zapotřebí další zefektivňování řízení dopravy na SSZ v synergii s vhodnými stavebními či organizačními opatřeními (jako například rychlostní výhybky, rozřazovací koleje u křižovatek či oddělený tramvajový pás). V ohledu právě na zpoždění způsobené průjezdy úzkými hrdly, ostatní dopravní proudy je zároveň obecně vhodné posuzovat SSZ individuálně. Domnívám se tedy, že aplikace návrhu úpravy SSZ Plzeňská – Vrchlického by doplnila preferenční osu v Plzeňské ulici. Závěrem pevně věřím ve využití získaných poznatků i ve své další práci.

8 Seznam použité literatury

[1] NOVOTNÝ, Vojtěch a Tomáš PROUSEK. Proč preference VHD? In: *PreferenceVHD.info* [online]. Praha: ČVUT v Praze Fakulta dopravní, ROPID [cit. 2022-06-20]. Dostupné z: http://preferencevhd.info/index.php/proc-preference/

[2] Preferenční opatření pro tramvajovou dopravu. In: *PreferenceVHD.info* [online]. Praha: ČVUT v Praze Fakulta dopravní, ROPID [cit. 2022-06-23]. Dostupné z: http://preferencevhd.info/index.php/projektovani/preferencni-opatreni-pro-tramvajovou-dopravu/

[3] DRDLA, Pavel. *Technologie a řízení dopravy - městská hromadná doprava*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2005, 136 s. ISBN 80-719-4804-7.

[4] SŮRA, Jan. Pražské tramvaje čeká další zrychlení díky úpravám křižovatek. In: Zdopravy.cz [online]. Avizer Z, 4.5.2021 [cit. 2022-06-29]. Dostupné z: https://zdopravy.cz/prazske-tramvaje-ceka-dalsi-zrychleni-diky-upravam-krizovatek-80674/

[5] Preference MHD světelnou signalizací. In: *Preference pražských tramvají* [online]. [cit. 2022-04-25]. Dostupné z: https://preference.prazsketramvaje.cz/showpage.php?name=ssz

[6] *Koncepce veřejné dopravy 2020-2025 s výhledem do roku 2030* [online]. Praha: Ministerstvo dopravy, září 2020 [cit. 2022-06-19]. Dostupné z: https://www.mdcr.cz/getattachment/Dokumenty/Verejna-doprava/Pravni-predpisy/Zelena-a-bila-kniha-koncepce-verejne-dopravy/Koncepce-verejne-dopravy.pdf.aspx

[7] Ročenka dopravy Praha 2020. In: *TSK Praha: Ročenky TSK*. Praha: Technická správa komunikací hlavního města Prahy, 2021 [cit. 2022-06-22].

[8] ČESKÁ REPUBLIKA. *Vyhláška o jízdních řádech veřejné linkové dopravy*. Praha: Ministerstvo dopravy, částka 52, č.122/2014, s. 1218. Dostupné také z: https://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/SearchResult.aspx?q=2014&typeLaw=zakon&What=Rok&stranka=10

[9] ČERNÁ, Anna a Jan ČERNÝ. *Teorie řízení a rozhodování v dopravních systémech*. Vyd. 1. Pardubice: Institut Jana Pernera, 2004. 150 s. ISBN 80-86530-15-9.

[10] JANOŠ, Vít. Projektování dopravní obslužnosti: Oběhy vozidel [online]. Praha: ČVUT, Fakulta dopravní, Ústav logistiky a managementu dopravy, 2021 [cit. 2022-06-24]. Dostupné z: https://docplayer.cz/39891160-Projektovani-dopravni-obsluznosti-obehy-vozidel.html

[11] Standardy kvality PID (tramvaje): Jednotlivé kvalitativní standardy a jejich definice. In: *Pražská integrovaná doprava* [online]. Praha [cit. 2022-06-25]. Dostupné z: https://pid.cz/standardy-kvality/tramvaje/

[12] STANDARDY KVALITY PID - TRAMVAJE: souhrnné výsledky. In: *Pražská integrovaná doprava: Ke stažení* [online]. Praha, 24.2.2019 [cit. 2022-06-25]. Dostupné z: https://pid.cz/wp-content/uploads/system/standardy_kvality/sk_tram_rocni.pdf

[13] Historické mezníky pro preferenci MHD v Praze. In: *Preference pražských tramvají* [online]. [cit. 2022-06-29]. Dostupné z: http://preference.prazsketramvaje.cz/showpage.php?name=mezniky

[14] Preference. In: *Pražská integrovaná doprava: O systému* [online]. Praha [cit. 2022-06-28]. Dostupné z: https://pid.cz/o-systemu/preference/

[15] Antipreference. In: *Preference pražských tramvají* [online]. [cit. 2022-06-29]. Dostupné z: http://preference.prazsketramvaje.cz/showpage.php?name=antipreference

[16] PŘIBYL, Pavel. Inteligentní dopravní systémy a dopravní telematika. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005, 182 s. ISBN 80-01-03122-5.

[17] REZISTOR. Proč tramvajáci neotvírají již jednou zavřené dveře? [video]. In: *YouTube* [online]. 28.7.2020 [cit. 2022-06-27]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=UN5RHpxcQFk&ab_channel=Rezistor

[18] BÖDEFELD, Annika. Warum gehen die Türen der Bahn manchmal nicht nochmal auf?. In: *Rheinbahn blog* [online]. 7.7.2016 [cit. 2022-06-27]. Dostupné z: https://blog.rheinbahn.de/2016/07/07/warum-gehen-die-tueren-der-bahn-manchmal-nicht-nochmal-auf/

[19] NOVÁKOVÁ, Ladislava. *Přednáška č. 3 UMÍSŤOVÁNÍ AUTOBUSOVÝCH A TROLEJBUSOVÝCH ZASTÁVEK* [online]. 2016, s. 6 [cit. 2022-06-27]. Dostupné z: https://docplayer.cz/9427799-Prednaska-c-3-umistovani-autobusovych-a-trolejbusovych-zastavek.html

[20] POSPÍŠIL, Jiří. *Systémy městské a regionální kolejové dopravy: Křižovatky a zelená vlna* [online]. Praha: ČVUT, Fakulta dopravní, Ústav logistiky a managementu dopravy, 10 s. [cit. 2022-06-27]. Interní materiál z předmětu Systémy městské a regionální kolejové dopravy 17Y1SK.

[21] Preference VHD na SSZ (TP81). In: *PreferenceVHD.info: legislativa* [online]. ČVUT v Praze Fakulta dopravní, ROPID [cit. 2022-06-27]. Dostupné z: http://preferencevhd.info/index.php/legislativa/preference-vhd-na-ssz-tp81/

[22] *Signální program* [online]. Praha: ČVUT, Fakulta dopravní, Ústav inteligentních dopravních systémů, 2022. Interní materiál z předmětu Řízení silniční dopravy 20RISI.

[23] Vysvětlení funkce předsignálů, výzvových signálů a preference tramvají. In: *Správa veřejného statku města Plzeň* [online]. Plzeň, 2010 [cit. 2022-07-13]. Dostupné z: https://www.svsmp.cz/archiv/2010/vysvetleni-funkce-predsignalu-vyzvovych-signalu-a-preference-tramvaji.aspx

[24] TICHÝ, Tomáš. *Preference MHD + Management oblasti* [online]. Praha: ČVUT, Fakulta dopravní, Ústav inteligentních dopravních systémů, 2022. Interní materiál z předmětu Řízení silniční dopravy 20RISI.

[25] Technika. In: *Preference pražských tramvají* [online]. [cit. 2022-07-13]. Dostupné z: https://preference.prazsketramvaje.cz/showpage.php?name=technika

[26] *Mapy.cz* [online]. Seznam.cz, 2022 [cit. 2022-07-14]. Dostupné z: https://mapy.cz/zakladni?x=14.3750339&y=50.0701497&z=17

[27] *Mapy Google* [online]. Google, 2022 [cit. 2022-07-14]. Dostupné z: https://www.google.com/maps/@50.0701539,14.370928,3a,53.3y,137.06h,94.94t/data=!3m7!1e1!3m5!1sGyXiYPrzMf6q1ZIbOYqGeA!2e0!5s20110601T000000!7i13312!8i6656

[28] Intenzity automobilové dopravy na sledované síti, rok 2021, pracovní den, 0-24 h. In: *Technická správa komunikací hlavního města Prahy: Intenzity dopravy v roce 2021* [online]. Praha, 18.3.2022 [cit. 2022-07-14]. Dostupné z: https://www.tsk-praha.cz/wps/portal/root/dopravni-inzenyrstvi/intenzity-dopravy

[29] HAVLÍČEK, Tomáš. *5.509 Plzeňská – Vrchlického: Změna 7/13 2013 07 01*. Praha: TSK, 2013.

[30] MINISTERSTVO DOPRAVY. *Technické podmínky 81: Navrhování světelných signalizačních zařízení pro řízení provozu na pozemních komunikacích* [online]. Třetí. EDIP, 2015, 174 s. [cit. 2022-07-16]. Dostupné z: http://www.pjpk.cz/technicke-podminky-tp/

[31] *Výpočet mezičasů* [online]. Praha: ČVUT, Fakulta dopravní, Ústav inteligentních dopravních systémů, 2022. Interní materiál z předmětu Řízení silniční dopravy 20RISI.

[32] Návěsti pro sběrač tramvaje. In: *Pražské tramvaje* [online]. [cit. 2022-07-15]. Dostupné z: https://www.prazsketramvaje.cz/view.php?cisloclanku=2011111101

[33] MINISTERSTVO DOPRAVY. *Technické podmínky 189: Stanovení intenzit dopravy na pozemních komunikacích* [online]. Třetí. EDIP, 2018, 70 s. [cit. 2022-06-16]. Dostupné z: http://www.pjpk.cz/technicke-podminky-tp/

[34] *DOLEŽAL ARCHITEKTI s.r.o.: Projekt polyfunkčního domu Košíře* [online]. Praha [cit. 2022-06-17]. Dostupné z: https://www.aude.cz/projekty.html

[35] MAIER, Karel a kol. *Udržitelný rozvoj území*. 1. vyd. Praha: Grada, 2012. 256 s. ISBN 978-80-247-4198-7.

[36] Preference na Plzeňské II. In: Preference pražských tramvají [online]. 14.11.2005 [cit. 2022-06-29]. Dostupné z: http://preference.prazsketramvaje.cz/view.php?cisloclanku=2005111401

[37] Preference na Plzeňské. In: Preference pražských tramvají [online]. 15.8.2005 [cit. 2022-06-29]. Dostupné z: http://preference.prazsketramvaje.cz/view.php?cisloclanku=2005081501

[38] KYP, Ondřej. *Dopravně inženýrské podklady: SSZ 5.519 Plzeňská x Podbělohorská*. Praha: ELTODO, 2003 [cit. 2022-07-30]. Změna 9/2015.

[39] *Metodika pro volbu způsobu řízení světelných signalizačních zařízení v období slabého provozu* [online]. Praha: AF-CITYPLAN, prosinec 2015 [cit. 2022-08-02]. Dostupné z: https://www.mdcr.cz/getattachment/Dokumenty/Veda-a-vyzkum/Certifikovane-metodiky/Silnicni-metodiky/Metodika-pro-volbu-zpusobu-rizeni-SSZ-v-obdobi-sla/Metodika-pro-volbu-zpusobu-rizeni-SSZ-v-obdobi-slabeho-provozu.pdf.aspx

[40] MINISTERSTVO DOPRAVY. *Technické podmínky 188: Posuzování kapacity křižovatek a úseků pozemních komunikací* [online]. EDIP, srpen 2018, 152 s. [cit. 2022-08-02]. Dostupné z: http://www.pjpk.cz/technicke-podminky-tp/

[41] Linka 9. In: *TRAM-BUS.cz* [online]. 7.9.2016 [cit. 2022-08-04]. Dostupné z: https://www.tram-bus.cz/mhd-praha/tramvaje/linky-tramvaji/denni/linka-9/

[42] CHODOUNSKÝ, Josef a redakce. Přestávky řidičů tramvají. In: *Pražské tramvaje* [online]. [cit. 2022-08-04]. Dostupné z: https://www.prazsketramvaje.cz/view.php?cisloclanku=2018010201

[43] Sídliště Řepy – Spojovací. In: *Jízdní řády IDOS* [online]. iDNES.cz [cit. 2022-08-04]. Dostupné z: https://idos.idnes.cz/pid/spojeni/vysledky/?time=16:00&f=S%C3%ADdli%C5%A1t%C4%9B%20%C5%98epy&fc=301003&t=Spojovac%C3%AD&tc=301003&direct=true

[44] POSPÍŠIL, Jiří. *Optimalizace linkového vedení* [online]. Praha: ČVUT, Fakulta dopravní, Ústav logistiky a managementu dopravy, 29 s. [cit. 2022-08-06]. Interní materiál z předmětu Systémy městské a regionální kolejové dopravy 17Y1SK.

[45] JACURA, Martin, Ondřej HAVLENA a Marián SVETLÍK. Měřitelné přínosy preference veřejné hromadné dopravy. In: *PreferenceVHD.info* [online]. Praha, 5.12.2016 [cit. 2022-08-04]. Dostupné z: http://preferencevhd.info/index.php/2016/12/05/meritelne-prinosy-preference-verejne-hromadne-dopravy/

[46] Proč preference MHD. In: *Preference pražských tramvají* [online]. [cit. 2022-08-04]. Dostupné z: http://preference.prazsketramvaje.cz/showpage.php?name=procpreference

[47] REZISTOR. Tramvajová křižovatka Horní Palmovka [video]. In: *Youtube* [online]. 15.12.2016 [cit. 2022-08-04]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=aYkBKrshIV0&ab_channel=Rezistor

9 Seznam tabulek

Tabulka 1: Vyplněný protokol z průzkumu pěší dopravy, odpoledne na přechodu v ulici Plzeňská směrem z centra [33] 44

Tabulka 2: Vyplněný protokol z průzkumu pěší dopravy, dopoledne na přechodu v ulici Plzeňská směr z centra [33] 45

Tabulka 3: Vyplněný protokol z průzkumu pěší dopravy, odpoledne na přechodu v ulici Plzeňská směr do centra [33] 45

Tabulka 4: Vyplněný protokol z průzkumu pěší dopravy, dopoledne na přechodu v ulici Plzeňská směr do centra [34] 46

Tabulka 5: Jízdní doby tramvaje od detektoru k návěstidlu (SSZ Plzeňská – Vrchlického) pro oba směry jízdy 52

Tabulka 6: Kontrolní výpočet dvou mezičasů SSZ Plzeňská – Vrchlického [30] 53

Tabulka 7: Detekce v rámci dynamického řízení SSZ Plzeňská – Vrchlického [29] 55

Tabulka 8: Data a parametry pro řídicí logiku SSZ Plzeňská – Vrchlického 57

Tabulka 9: Stavové parametry (proměnné) pro řídicí logiku SSZ Plzeňská – Vrchlického 58

Tabulka 10: Časové čítače pro řídicí logiku SSZ Plzeňská – Vrchlického 59

Tabulka 11: Logické podmínky vyjádřené pomocí definovaných parametrů pro řídicí logiku SSZ Plzeňská – Vrchlického 60

10 Seznam obrázků

Obrázek 1: Příklad diagramu dráha-čas s plynulou jízdou od přihlašovacího detektoru a s variantou zastávky před SSZ [28] 32

Obrázek 2: Lokalita vybraného SSZ Plzeňská – Vrchlického (uprostřed mapy) [26] 35

Obrázek 3: Fázový sled obou uzlů v SSZ Plzeňská – Vrchlického [29] 36

Obrázek 4: Situační schéma SSZ Plzeňská – Vrchlického s vyznačenými signálními skupinami [29] 37

Obrázek 5: Tabulka mezičasů signálních skupin zkoumaného SSZ [29] 38

Obrázek 6: Fázové přechody obou řízených uzlů na SSZ Plzeňská – Vrchlického [29] 40

Obrázek 7: Část přílohy Data, parametry a čítače k řízení SSZ Plzeňská – Vrchlického [29] 41

Obrázek 9: Řídicí logika signálního plánu SSZ Plzeňská – Vrchlického [29] 42

Obrázek 8: Logické podmínky do řídicí logiky SSZ Plzeňská – Vrchlického [29] 42

Obrázek 10: Situační výkres SSZ Plzeňská – Vrchlického z Přílohy 1 51

Obrázek 11: Upravený fázový přechod FP3.4 uzlu 2 SSZ Plzeňská – Vrchlického [29] 54

Obrázek 12: Základní řídicí logika SSZ Plzeňská – Vrchlického z Přílohy 3 60

Obrázek 13: Vývojový diagram – detekce tramvají z Přílohy 3 61

Obrázek 14: Diagram dráha-čas pro jízdu tramvaje v signální skupině TA z Přílohy 4 64

Obrázek 15: Graf střední hodnoty na spoj připadajících zastavení n_{SZ} v závislosti na středním počtu příjezdů $\bar{x}$ [20] 67

11 Seznam příloh

Příloha 1: Upravený situační výkres řešeného SSZ

Příloha 2: Upravený situační výkres řešeného SSZ zasazený do území

Příloha 3: Řídicí logika s vývojovými diagramy pro detekci tramvají

Příloha 4: Diagram dráha čas pro jízdu tramvají v obou směrech