

UNIVERZITA PARDUBICE  
DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2020

Jiří Stratil

UNIVERZITA PARDUBICE  
DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA

Způsoby preference průjezdu tramvají křižovatkou ve vztahu k jízdnímu řádu

Jiří Stratil

Bakalářská práce

2020

Univerzita Pardubice  
Dopravní fakulta Jana Pernera  
Akademický rok: 2019/2020

# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Jiří Stratil**  
Osobní číslo: **D16280**  
Studijní program: **B3709 Dopravní technologie a spoje**  
Studijní obor: **Technologie a řízení dopravy: Technologie a řízení dopravních systémů**  
Téma práce: **Způsoby preference průjezdu tramvají křižovatkou ve vztahu k jízdovému řádu**  
Zadávací katedra: **Katedra technologie a řízení dopravy**

## Zásady pro vypracování

Úvod  
1. Používaná řešení preference tramvají  
2. Klíčové požadavky  
3. Návrh řešení  
Závěr

Rozsah pracovní zprávy: **30-40**  
Rozsah grafických prací: **3-4**  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:

PŘIBYL, Pavel a Miroslav SVÍTEK. Inteligentní dopravní systémy. Praha: BEN – technická literatura, 2001. ISBN 80-7300029-6.  
SVOBODA, Vladimír a Miroslav SVÍTEK. Telematika nad dopravními sítěmi. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2004. ISBN 8001-03087-3.  
SUROVEC, Pavel. Hromadná osobná doprava. Žilina: EDIS – vydavatelstvo ŽU, 2007. ISBN 978-80-8070-686-9.  
DRDLA, Pavel. Technologie a řízení dopravy – městská hromadná doprava. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2005. ISBN 807194-804-7.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Petr Nachtigall, Ph.D.**  
Katedra technologie a řízení dopravy

Datum zadání bakalářské práce: **6. února 2020**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **22. května 2020**

L.S.

---

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

---

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

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

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

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

V Pardubicích dne 22. května 2020

Jiří Stratil

**Poděkování:**

Děkuji zadavateli této práce Dopravnímu podniku hlavního města Prahy a.s., jmenovitě Ing. Jiřímu Sedláčkovi, za čas věnovaný upřesnění zadání práce, vedoucímu bakalářské práce, Ing. Petru Nachtigalovi Ph.D. za poskytnuté rady, Brněnským komunikacím a.s. a Dopravnímu podniku Ostrava a.s. za poskytnuté materiály. Brněnským komunikacím a.s. dále děkuji za podporu během celé doby studia.

## **ANOTACE**

Tato práce se zabývá možnostmi preference tramvají podle odchylky od jízdního řádu, zejména v podmínkách Dopravního podniku hlavního města Prahy a.s. Práce se věnuje vymezení nezbytných přenášených informací, volbou vhodné technologie a návrh úprav vybraných světelných signalizačních zařízení potřebných k uskutečnění cílů stanovených zadavatelem.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

dopravní telematika, preference, hromadná doprava, jízdní řád, světelné signalizační zařízení, tramvaj

## **TITLE**

The possibilities of tram preference at junctions in relation with the timetable

## **ANNOTATION**

This bachelor thesis deals with possibilities of tram preference in relation with the timetable, mostly in conditions of Dopravní podnik hlavního města Prahy a. s. Thesis is focused on definition of necessary transferred information, selection of appropriate technology and draft of changes at selected light-controlled junction required for realization of the objectives set by the contractor of the bachelor thesis.

## **KEYWORDS**

transport telematics, preference, public transportation, timetable, signal lights, tram

# OBSAH

Úvod.....	12
1 Očekávání Zadavatele - Dopravního podniku hlavního města Prahy a.s. ....	13
1.1 Řazení tramvají v úseku souběžného vedení linek .....	13
1.2 Preference tramvají bez volné koleje za SSZ.....	15
1.3 Další přání zadavatele .....	15
2 Používaná řešení preference tramvají .....	17
2.1 Možnosti preference MHD a stručná historie .....	17
2.2 Řešení používaná v České republice.....	18
2.2.1 Praha .....	18
2.2.2 Brno .....	18
2.2.3 Ostrava .....	22
2.3 Vybraná zahraniční řešení preference tramvají.....	22
2.3.1 Bratislava (SK) .....	22
2.3.2 Bordeaux (F).....	23
3 klíčové požadavky .....	25
3.1 Požadované vlastnosti systému na základě analýzy používaných řešení.....	25
3.1.1 Dostatečně moderní řadiče SSZ.....	25
3.1.2 Identifikace vozidla a jeho odchylky od JŘ.....	25
3.1.3 Jednoznačné určení příjezdové i odjezdové větve .....	26
3.1.4 Dosah vysílaných informací .....	26
3.1.5 Zpětná vazba k řidiči.....	27
4 Návrh řešení.....	28
4.1 Volba přenosové technologie .....	28
4.1.1 Vyhrazený radiový systém.....	30
4.1.2 Městská síť TETRA.....	31
4.1.3 ITS-G5 .....	31



4.1.4	Srovnání dostupných technologií.....	33
4.2	Vyhodnocení přijatých zpráv .....	34
4.2.1	Kontrola volnosti koleje.....	34
4.2.2	Preference podle odchylky od jízdního řádu .....	35
4.3	Příklady úprav na vzorových lokalitách.....	36
4.3.1	Požadavky na vzorové lokality .....	37
4.3.2	Celní (přejezd tramvaje), Brno .....	37
4.3.3	Moravské náměstí, Brno .....	40
4.3.4	Palackého třída – Kosmova, Brno .....	42
	Závěr .....	45
	Seznam použitých informačních zdrojů .....	46

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 – Situace s předřazenou tramvají jedoucí podle JŘ.....	14
Obrázek 2 – Situace bez brzdění zpožděné tramvaje .....	14
Obrázek 3 – Preference tramvaje bez volné koleje.....	15
Obrázek 4 – GUI mobilní aplikace pro IAD.....	24
Obrázek 5 - Situační plánec SSZ 2.30 Celní (přejezd tramvaje).....	38
Obrázek 6 - Schéma fází SSZ 2.30 před a po navržených úpravách .....	39
Obrázek 7 - Schéma fází 0.12 Moravské náměstí .....	40
Obrázek 8 - Situační plánec SSZ 0.12 Moravské náměstí .....	41
Obrázek 9 - Situační plánec SZS 7.08 Palackého – Kosmova .....	43
Obrázek 10 - Schéma fází SSZ 7.08 Palackého – Kosmova .....	44

## **SEZNAM TABULEK**

Tabulka 1 – Přenášené informace RIS Brno.....	19
Tabulka 2 – Kódování odchylky od jízdního řádu (+ předjetí, - zpoždění).....	20
Tabulka 3 - Přehled způsobů řízení SSZ .....	29

## SEZNAM ZKRATEK

DORIS	Dopravní radiový informační systém (dispečerský informační systém tramvajové dopravy v Praze)
DPMB	Dopravní podnik města Brna
DPO	Dopravní podnik Ostrava
DPP	Dopravní podnik hlavního města Prahy
GLOSA	Green Light Optimal Speed Advisory – Scénář kooperativních systémů zajišťující informování účastníků provozu o budoucím chování světelných signalizačních zařízení
GPS	Global position system
IAD	Individuální automobilová doprava
ITS-G5	Komunikační standard pro dopravní technologie
JŘ	Jízdní řád
MHD	Městská hromadná doprava
PP	Palubní počítač
RIS	Radiový informační systém (dispečerský informační systém MHD Brno)
SSZ	Světelné signalizační zařízení
TETRA	Terrestrial trunked radio – Standard pro digitální rádiové sítě
IZS	Integrovaný záchranný systém
CAM	Cooperative awareness message
SRM	Signal request message
SSM	Signal state message

## ÚVOD

S rostoucími intenzitami provozu, zejména individuální automobilové dopravy, a rostoucími nároky na konkurenceschopnost hromadné dopravy začala vyvstávat potřeba preferovat městskou hromadnou dopravu.

Vzhledem k technickým možnostem se v první fázi jednalo spíše o preferenci pasivní prováděnou zejména optimalizací signálních plánů světelných signalizačních zařízení (dále jen SSZ) tak aby více vyhovovala městské hromadné dopravě a stavební úpravy komunikací směřující k eliminaci vlivu automobilové dopravy na MHD.

S rozvojem dostupné techniky, začaly jednotlivá města nasazovat aktivní preferenci upravující signální plány na základě přítomnosti vozidel MHD podle předem nastavených podmínek například úpravou délky nebo vložением jindy nevyužívané fáze.

I přes značný pokrok, který už byl v oblasti preference MHD dosažen, stále existuje mnoho prostoru pro zlepšení. Jedná se například o preferenci MHD podle odchylky od jízdního řádu, kterým se zabývá tato bakalářská práce.

**Cílem práce je navrhnout v praxi použitelné řešení preference tramvají pro Dopravní podnik hlavního města Prahy, které vhodně zohlední odchylku tramvaje od jízdního řádu. Preference podle odchylky od jízdního řádu má podle zadavatele práce přinést zejména zlepšení dodržování jízdního řádu a tím návaznosti spojů v rámci IDS.**

# **1 OČEKÁVÁNÍ ZADAVATELE - DOPRAVNÍHO PODNIKU HLAVNÍHO MĚSTA PRAHY A.S.**

Jak bylo výše uvedeno, Dopravní podnik Hlavního města Prahy (dále DPP) již má dlouhodobé zkušenosti s provozem systému preference tramvají při průjezdu SSZ i dalšími možnými způsoby preference.

Na základě těchto zkušeností byla zástupcem zadavatele této bakalářské práce, Ing. Jiřím Sedláčkem vyjádřena při osobní konzultaci myšlenka:

*„My (DPP) jsme se již dostali do situace, kdy překážíme sami sobě.“*

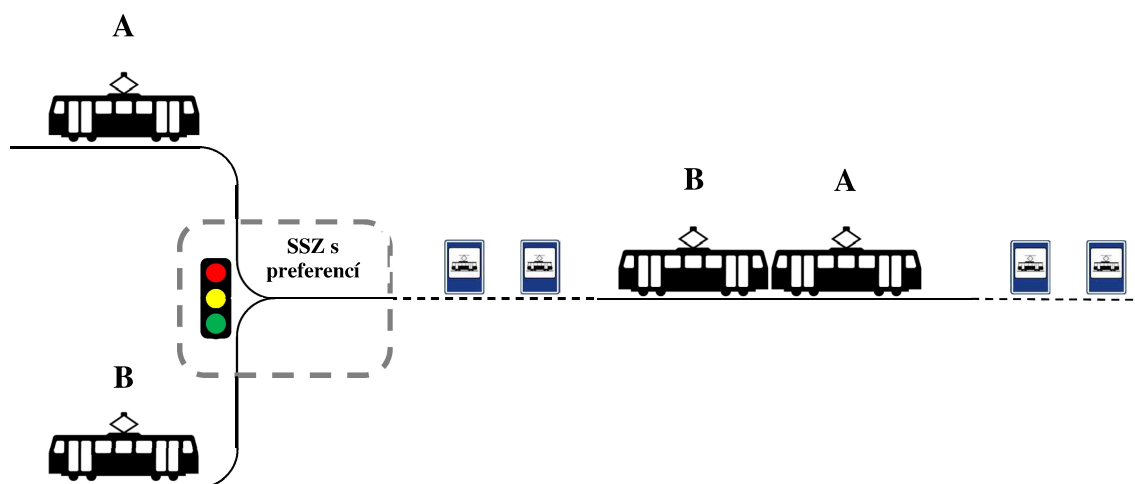
Během konzultace jsme tedy definovali následující problémy, které by mohla tato bakalářská práce řešit:

## **1.1 Řazení tramvají v úseku souběžného vedení linek**

Stávající systém preference tramvají v hlavním městě Praze, stejně jako v mnoha dalších městech nepracuje se zpožděním tramvají. K preferenci jednotlivých vozidel dochází v pořadí, v jakém byl řidiči doručen požadavek. Takto řešená preference pomáhá zkrátit jízdní doby, ale vliv na dodržování jízdního řádu má poměrně malý – neexistuje zde rozdíl mezi preferencí zpožděné tramvaje a tramvaje jedoucí podle jízdního řádu.

V případě pouhého křížení linek není takový systém příliš efektivní, ale současně nepředstavuje větší problém.

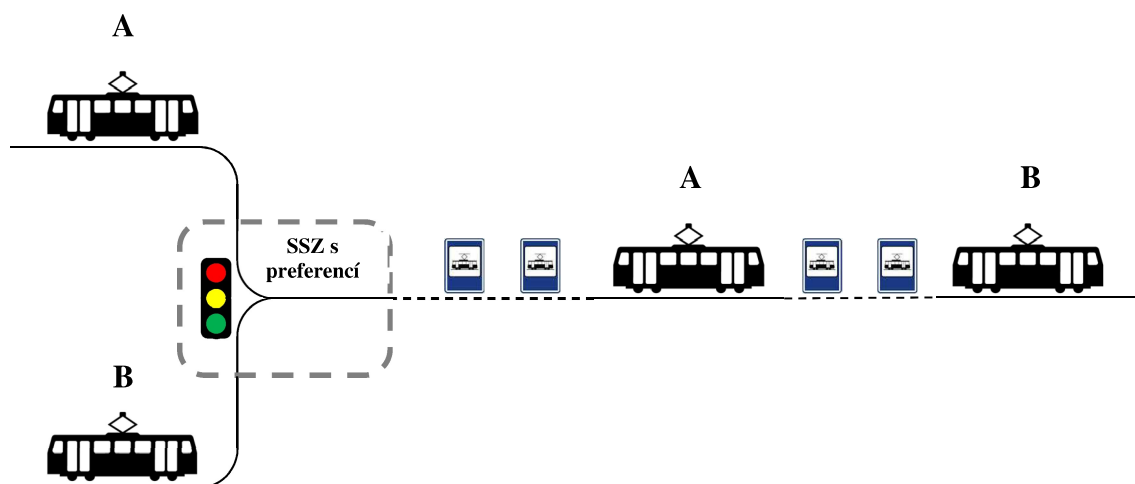
Naopak u SSZ ležících na začátku úseků souběžného vedení více tramvajových linek představuje stávající systém nejen komplikaci ale i jisté bezpečnostní riziko. Toto riziko vzniká v okamžiku předřazení tramvaje jedoucího podle jízdního řádu (Obrázek 1 tramvaj A) před zpožděný spoj (Obrázek 1 tramvaj B). Řidič zpožděné tramvaje, který by rád využil rezervy v jízdním řádu ke snížení zpoždění je pak brzděn na celém úseku předřazenou tramvají, která naopak čeká v zastávkách na čas odjezdu podle jízdního řádu. Mnoho řidičů tramvají, motivovaných zaměstnavatelem k dodržování JŘ, v takovéto stresové situaci nedodržuje bezpečnou vzdálenost se všemi negativními důsledky včetně snížení bezpečnosti jízdy a komfortu jízdy pro cestující vlivem snížené plynulosti jízdy.



Zdroj: Autor s využitím (1) a (2)

Obrázek 1 – Situace s předřazenou tramvají jedoucí podle JŘ

V případě, kdy preference MHD zajistí požadované řazení tramvají, mírným pozdržením tramvaje jedoucí podle jízdního řádu (Obrázek 2 tramvaj A) tak aby došlo k zařazení zpožděné tramvaje (Obrázek 2 tramvaj B) před tramvaj jedoucí podle JŘ, může zpožděná tramvaj využít rezerv obsažených v jízdním řádu, zkrácením doby zastavení zastávek atd. ke snížení nebo úplnému stažení zpoždění. Takovéto fungování preference může mít významný synergický efekt zejména v rámci systémů IDS, kdy zpoždění jednoho spoje často způsobuje ujetí spoje navazujícího a může způsobit výrazný pokles důvěry cestujících v celý systém.

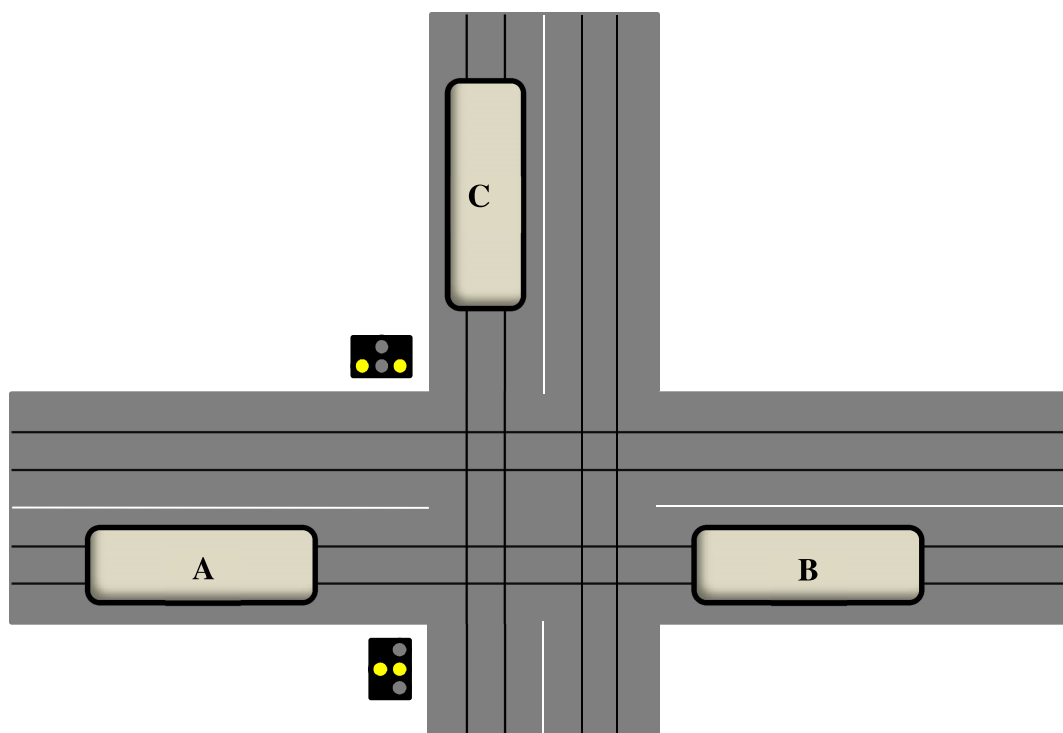


Zdroj: Autor s využitím (1) a (2)

Obrázek 2 – Situace bez brzdění zpožděné tramvaje

## 1.2 Preference tramvají bez volné koleje za SSZ

Dalším problémem souvisejícím s preferencí MHD, které stávající systém vytváří je preference MHD bez ohledu na volnost koleje za křižovatkou. Už tak omezený čas cyklu dané SSZ v takových situacích není efektivně využit, dochází ke zbytečnému omezení vozidel v dalších směrech vlivem preference tramvaje (Obrázek 3 tramvaj A), která ale křižovatkou projet nemůže z důvodu obsazené koleje v požadovaném směru (Obrázek 3 tramvaj B). Tím dochází nejen ke zbytečnému omezování IAD, ale také k omezování vozidel MHD jedoucích v těchto směrech (Obrázek 3 tramvaj C).



Zdroj: Autor

Obrázek 3 – Preference tramvaje bez volné koleje

## 1.3 Další přání zadavatele

S rozvojem dynamického řízení SSZ je pro řidiče dopravního podniku stále těžší odhadnout kdy při příjezdu k SSZ pokračovat v jízdě a kdy už začít brzdit, to vede k narůstajícímu množství situací, kdy řidiče signál SSZ překvapí a následnému náhlému brzdění a poklesu komfortu cestujících. Z tohoto důvodu by pro DPP mohlo být zajímavou možností zavedení zpětné vazby SSZ k řidiči tak aby měl řidič v dostatečném předstihu informaci, kdy dojde ke změně signálu SSZ.

Další přání zadavatele souvisí s pravidelností odjezdu tramvají z tramvajových smyček. Přáním zadavatele je úpravou preference, na SSZ zajišťující bezpečný výjezd tramvaje,



dosáhnout stavu kdy dojde k vysvícení signálu volno vždy ve stejné vteřině minuty dané jízdním řádem (například hh:mm:05).

## 2 POUŽÍVANÁ ŘEŠENÍ PREFERENCE TRAMVAJÍ

### 2.1 Možnosti preference MHD a stručná historie

*„Pojem preference pro vozidla hromadné dopravy znamená, že je jim poskytována definovaná výhoda na světelně řízených křižovatkách tím, že se přizpůsobují signální plány tak, aby tato vozidla mohla co nejplynuleji projet. Nicméně charakter jízdy těchto vozidel je odlišný od charakteru jízdy osobních vozidel. Díky nastupování a vystupování pasažérů a vyššímu ovlivňování jinými, například pomalejšími vozidly je průměrná rychlost těchto vozidel nižší. Nižší rychlost znamená, že autobusy lze obtížně zařadit do výpočtů koordinace, která se provádí pro relativně kompaktní shluky vozidel. Autobus může začít svůj pohyb ve shluku vozidel odjíždějících na zelenou, ale díky zastávce mezi křižovatkami dojíždí na červenou do další křižovatky.“ (3 stránky 158-159)*

Z výše uvedeného důvodu byla s rostoucími nároky na konkurenceschopnost MHD zaváděna preference MHD. Preferenci MHD můžeme rozdělit minimálně na preferenci pasivní a aktivní.

Pasivní preference žádným způsobem nezjišťuje přítomnost vozidla a spočívá zejména v zohlednění odlišností pohybu vozidel MHD při návrhu signálních plánů snížením rychlosti využívané pro výpočet koordinace nebo prodloužením signálu volno ve směru pohybu vozidel MHD.

Pasivní preference je technicky nenáročná, nevyžaduje žádné detekční prvky ani výpočetní výkon řadiče. Naopak zásadní nevýhodou pasivní preference jsou poměrně výrazné negativní dopady na ostatní druhy dopravy a stále poměrně omezený přínos pro MHD – není preferováno skutečně přítomné vozidlo ale vozidlo, které by na křižovatce „mělo být“.

Modernější alternativou k preferenci pasivní je aktivní preference využívající různé systémy detekce vozidel a možností moderních mikroprocesorových řadičů k realizaci preference pouze na požadavek skutečně přítomného vozidla. Takto navržené systémy umožňují snížit dopady preference MHD na ostatní druhy dopravy a současně zlepšit preferenci MHD například na křižovatkách kde dochází ke křížení více linek majících požadavky na preferenci, které jsou ve vzájemném konfliktu.

Nejstarším a nejjednodušším způsobem detekce vozidla jsou trolejové mechanické kontakty, které jsou ale postupně nahrazovány detekcí založenou na radiové komunikaci. Takovéto systémy umožňují přenést poměrně velké množství informací v krátké době a jsou tedy vhodné k realizaci složité logiky řízení zpracovávající velké množství vstupních

informací. Mezi tyto vstupní informace může patřit i odchylka od jízdního řádu a bude jim tedy v této práci věnována větší pozornost.

## **2.2 Řešení používaná v České republice**

### **2.2.1 Praha**

Pro řízení tramvajové dopravy využívá Dopravní podnik hlavního města Prahy informační systém DORIS. Systém DORIS určuje polohu vozidla pomocí poslední ohlášené zastávky ve vozidle. Ve vybraných bodech jsou také rozmístěny infračervené majáky, pomocí kterých je přesně určena poloha tramvaje a po přenesení informace je řídicím systémem určeno zpoždění spoje. Toto vypočítané zpoždění je následně přeneseno zpět do palubního počítače a zobrazeno řidiči.

Pro komunikaci mezi vozem a řídicím systémem je využívána městská radiová síť TETRA schopná přenosu hlasu i datových zpráv.

Preference tramvají je v Praze řešena pouze pomocí trolejových kontaktů a nelze tedy předávat řadiči informace o zpoždění vozidla ani žádné další informace nutné k tvorbě složitější logiky jako například směr jízdy nebo číslo vozu.

Podstatně modernější je systém preference autobusů, který pomocí infračervených majáku na příjezdu ke křižovatce určí polohu svoji přesnou polohu a následně odešle přihlašovací packet po radiové síti TETRA. Tento přihlašovací packet již obsahuje binární informaci (podle JŘ/zpožděno) na kterou následně reaguje řadič podle své logiky řízení větší preferencí zpožděných vozidel. (4)

### **2.2.2 Brno**

Preference MHD na rozdíl od hl. m. Prahy probíhá v Brně jednotným systémem pro všechny používané typy vozidel.

Dnes je v provozu již druhá verze Radiového informačního systému (RIS) který mimo jiné zajišťuje komunikaci mezi vozidly MHD a řadiči světelné signalizace.

Radiový informační systém RIS ve své první generaci využíval radiové sítě na frekvenci 900MHz. Poloha vozidel určována pomocí systému Global position system (GPS), byla přenášena na dispečink Dopravního podniku města Brna (dále DPMB) k dalšímu zpracování, a současně využívána palubním počítačem, mimo jiné k určení přihlašovacích a odhlašovacích bodů pro preferenci.

**Tabulka 1 – Přenášené informace RIS Brno**

Byte	Popis
0	adresa, používá se 8
1	Funkce
2	počáteční adresa
3	počáteční adresa
4	počet registrů
5	počet registrů
6	
7	typ telegramu, viz Tabulka kódu typu paketu
8	kód příjezdové a odjezdové větve D7–4: kód příjezdové větve, 0 znamená větev č.0, atd. D3–0: kód odjezdové větve, 0 znamená větev č.0, atd.
9	číslo křižovatky, bin. kódování, Hi
10	číslo křižovatky, bin. kódování, Lo
11	číslo linky, bin. kódování, 16 bitů, Hi
12	číslo linky, bin. kódování, 16 bitů, Lo
13	číslo cíle, bin. kódování, 16 bitů, Hi
14	číslo cíle, bin. kódování, 16 bitů, Lo
15	číslo směru
16	nevyužívá se, PP posílá 255
17	číslo vozu, bin. kódování, 16 bitů, Hi
18	číslo vozu, bin. kódování, 16 bitů, Lo
19	typ vozu: 0 = tramvaj, 1 = trolejbus, 2 = autobus
20	priorita, 0 nejvyšší. Nevyužívá se, PP posílá 0
21	odchylka od jízdního řádu, viz Tabulka kódování odchylky od jízdního řádu
22	0..59, sekundy RTC okamžiku nachystání telegramu ve voze (vlastní úspěšné odeslání z vozu a úspěšný příjem MR900 na straně křižovatky nastane většinou ihned, někdy během několika sec, max. ale dle nastavené doby timeoutu pro Morse síť s modemy MR900, která bude cca 10 sec.)
23	CRC
24	CRC

Zdroj: (5)

„Palubní počítač odchylku od jízdního řádu vyhodnocuje vzhledem k plánovanému odjezdu ze zastávky. Během jízdy mezi zastávkami a na konečné PP udržuje odchylku vyhodnocenou v okamžiku odjezdu z poslední zastávky. Při stání na zastávce a na výjezdu z konečné PP určuje odchylku vyhodnocením aktuálního času vzhledem k času plánovaného odjezdu z této zastávky. Nejede-li vůz MHD v režimu služba (palubní počítač nezná časy odjezdů ze zastávek), odchylka není nedefinována“ (5)

**Tabulka 2 – Kódování odchylky od jízdního řádu (+ předjetí, - zpoždění)**

<i>Odchylna – dolní mez [min:sec]</i>	<i>Odchylna – horní mez [min:sec]</i>	<i>kód odchylky</i>
- 0:15:00 a větší	- 0:14:56	0
- 0:14:55	- 0:14:51	1
- 0:14:50	- 0:14:46	2
.	.	
+ 0:00:00	+ 0:00:04	180
.	.	
+ 0:06:00	0:06:04	252
+ 0:06:05	0:06:09	253
+ 0:06:10	0:06:14 a větší	254
<i>odchylna nedefinována</i>		255

Zdroj: (5)

Z dostupných informací vyplývá, že i přes hrozící neaktuálnost odchylky od jízdního řádu jsou přenášené informace pro preferenci tramvají podstatně obsáhlejší než v Praze. Informace o zpoždění v pětitveřinových krocích je pro účely preference více než dostatečná a ani do budoucna pravděpodobně nemá příliš smysl rozlišovat menší rozdíly. Prostor pro zlepšení vnímám převážně v oblasti určování zpoždění i mimo zastávky.

Problém nastává v dalším kroku – zpracování přijatých informací v řadiči. Podle sdělení Ing. Pavly Holečkové z Útvaru dopravního inženýrství Brněnských komunikací, a prostudování logiky několika náhodně vybraných SSZ, řadiče s informací o odchylce od JŘ dále nepracují.

V minulosti proběhly pokusy s používáním více úrovní preference podle odchylky od jízdního řádu:

- 1) Předjetý
- 2) Jedoucí podle jízdního řádu
- 3) Zpožděný (více než 4 minuty zpoždění)

Preferovány byly pouze vozidla jedoucí podle jízdního řádu. Toto rozdělení se v novějších dopravních řešeních už nevyskytuje. Preference je tedy poskytována podle pořadí přihlášek.

Místy způsobuje velké problémy neschopnost palubního počítače zpracovávat preferenci na více SSZ současně – přihlášení k další SSZ je možné provést až po odhlášení z předchozí. Tato vlastnost palubního počítače způsobuje problémy v místech, kde jsou SSZ velmi blízko za sebou. K odeslání přihlašovacího packetu tedy dochází až po průjezdu první křižovatkou a řadič druhé projížděné křižovatky nemá dostatek času na zpracování přihlášky a přechod do požadované fáze.

Velmi významné omezení také představují také možnosti používaných řadičů, kdy průměrné stáří výrazně překračuje 10 let, a i na některých dopravně velmi významných křižovatkách stále fungují řadiče staré 20–25 let. Takto staré řadiče samozřejmě nenabízí výpočetní výkon a možnosti modernějších řadičů a neumožňují tedy realizovat preferenci MHD srovnatelné kvality jako modernější řadiče.

V roce 2019 proběhl v Brně přechod na systém RIS II, který mimo jiné přinesl poměrně výrazné změny v oblasti preference MHD. Nově komunikace mezi vozidlem a řadičem MHD probíhá podle standardu ITS-G5. Nové palubní počítače jsou také schopny požadovat preferenci na více SSZ současně, nový systém již tedy nevyžaduje před odesláním přihlášky odhlášení z předchozí křižovatky.

V současnosti ITS-G5 preference probíhá pomocí starší verze standardu využívající CAM zprávy. Cooperative awareness message (dále jen CAM) je základní C-ITS zpráva, kterou má povinnost vysílat každé kooperativní vozidlo a která obsahuje základní informace o typu, poloze, směru, rychlosti vozidla. Tyto základní informace mohou být volitelně doplněny o mnoho dalších informací získaných z palubních systémů vozidla (rozsvícení světel, aktivace stěračů atd.) které lze dále zpracovávat. Pro potřeby preference MHD je ale důležitý hlavně Public transport container obsahující v sobě informace potřebné k preferenci MHD odpovídající německému standardu R09. (6)

DPMB také připravuje přechod na novější verzi standardu využívajících pro preferenci MHD specializované zprávy Signal request message (dále SRM) na kterou řadič odpovídá pomocí Signal state message (dále SSM).

*Pro žádost o preferenční průjezd křižovatkou je používána zpráva SRM, která je vysílána jednotkou OBU ve vozidle v okamžiku, kdy vyhodnotí potřebu upravit signální plán (např. dle obdržných SPaT/MAP zpráv), aby zajistila vozidlu co nejhladší průjezd křižovatkou. V kombinaci se SRM zprávou je dále používána SSM zpráva, která je vysílána RSU jednotkou poté, co obdrží vozidlovou zprávu SRM a zpětně informuje vozidla o zpracovávaných požadavcích na preferenční průjezd. (7)*

SRM a SSM zprávy obsahují podobnou sadu informací jako předešlé systémy, zpráva SSM pak umožňuje informovat řidiče MHD, zda mu bude poskytnuta preference a také kdy a jak dlouho bude poptávaný stav trvat. Tyto informace mohou být pro řidiče poměrně důležité, umožňují podle možností křižovatky například prodloužit pobyt v zastávce nebo upravit jízdu

tak aby nedocházelo k pro cestující nepříjemnému zbytečnému zrychlení a zpomalení vozidla. Jejich využití je ale závislé na možnostech SW palubního počítače tyto informace řidiči zobrazit. SW palubního počítače v současnosti vychází z možností starších řadičů a umožňuje tedy zobrazovat pouze informaci o přijetí přihlášky na straně řadiče, informace o poskytnutí preference a další doplňkové informace nejsou řidiči zobrazovány i pokud jsou palubnímu PC dostupné.

### **2.2.3 Ostrava**

Preferenci v Ostravě zajišťuje podle informací sdělených Ing. Romanem Vaverkou z Dopravního podniku Ostrava a.s. radiová síť přenášející podobné datové zprávy jako v Brně. Odchylna od jízdního řádu je tedy vysílána ve stejném formátu jako v Brně.

Dopravní řešení následně dělí přijaté přihlášky na 2 skupiny:

- 1) Jedoucí podle jízdního řádu
- 2) Zpožděný (více než 4 minuty zpoždění)

Preferována je pouze první skupina vozidel jedoucích podle JŘ.

Drobným rozdílem je přenos směru jízdy pouze pomocí jednoho čísla v rozsahu 0–255 mírně komplikující možnost porovnávat zda 2 různé směry jízdy přijíždí ze stejného ramene křižovatky nebo naopak do stejného ramene odjíždí.

Nejvýraznějším rozdílem od Brněnského systému RIS je ale přenos informací z řadiče SSZ do každého přihlášeného vozu. Vysílány jsou následující zprávy:

- 1) Potvrzení přijetí přihlášky.
- 2) Povel k odjezdu ze zastávky před křižovatkou.

Povel k odjezdu ze zastávky umožňuje tramvaji místo nevyužitého čekání na SSZ počkat už v předchozí zastávce a umožnit delší nástup cestujících.

## **2.3 Vybraná zahraniční řešení preference tramvají**

### **2.3.1 Bratislava (SK)**

Bratislavu stejně jako mnoho dalších českých i evropských měst trápí v oblasti řízení dopravy a preference MHD poměrně pomalá obnova starších řadičů. Z více než 200 Bratislavských SSZ je ale aktivní preference nasazena pouze na 16 SSZ, na většině SSZ v Bratislavě se stále používá pouze pasivní preference MHD pomocí úprav pevných signálních plánů.

*„Bratislava sa aktuálne vydala smerom k absolútnej preferencii električkovej dopravy a podmienenej preferencii autobusovej a trolejbusovej dopravy. Pri výmene križovatkového radiča sa vo väčšine prípadov zrealizuje aj nadstavba pre preferenciu MHD (systém TETRA).“*

Bratislavský systém preference prenáší podobné datové zprávy jako v Brně a Ostravě. Tyto datové zprávy opět obsahují informace o odchylce od jízdního řádu, které se ale opět se dále nevyžívají v logice řízení SSZ a preference MHD probíhá v pořadí přihlášek. (8)

Pravděpodobně největší odlišností Bratislavského systému preference proti systémům používaným v Brně a Ostravě je použití přenosové sítě Terrestrial trunked radio (dále TETRA), umožňující přenos datových i hlasových zpráv v digitální podobě. Takto navržená síť nabízí široké možnosti využití včetně aplikací vyžadujících zabezpečení přenášených informací<sup>1</sup> a umožňuje tedy snížit náklady na provoz systému sdílením přenosové s dalšími městskými organizacemi jako například Městská policie.

### **2.3.2 Bordeaux (F)**

Poměrně nový tramvajový systém francouzského města Bordeaux složený pouze ze 3 tramvajových linek, které jsou po celé délce vedeny samostatně a kde tedy nedochází ke společnému vedení, klade poměrně nízké nároky na preference MHD. Případná odchylka od jízdního řádu není při preference zohledňována a s výjimkou jediné SSZ ve městě, na které dochází ke křížení dvou linek (zbývající dvě křížení jsou neřízená), dochází k absolutní preference tramvají.

V rámci projektu C-the-difference byl ale systém doplněn o vybrané scénáře kooperativních systémů využívajících technologii ITS-G5. Jedním z použitých scénářů je i „Green Light Optimal Speed Advisory“ (dále GLOSA).

---

<sup>1</sup> Například osobní údaje





Zdroj: (9)

Obrázek 4 – GUI mobilní aplikace pro IAD

Grafické prostředí je shodné pro řidiče tramvají i běžné uživatele IAD, jediným rozdílem je jiná podoba zobrazovaného návěstidla (vždy odpovídající příslušným návěstidlům).

Zvláštností aplikace je vynechání běžně používaného číselného odpočítávání a jeho nahrazení barevnou šipkou informující o očekávaném stavu SSZ v okamžiku očekávaného příjezdu k SSZ.

Šipky nabývají tří barev:

- **Zelená:** příslušné návěstidlo bude v okamžiku příjezdu pravděpodobně zobrazovat signál volno.
- **Modrá:** příslušné návěstidlo bude pravděpodobně zobrazovat signál volno, pokud řidič dodrží aplikací doporučenou rychlost
- **Červená:** příslušné návěstidlo bude v okamžiku příjezdu pravděpodobně zobrazovat signál stůj. Pokud je rozdíl mezi očekávaným příjezdem a rozsvícením signálu stůj větší než 7 vteřin, je tento signál doplněn symbolem „ECO“.

Podle prezentace zástupců města Bordeaux, i vlastního pozorování během krátké praktické ukázky umožňuje zobrazené GUI dostatečně věrohodně informovat o očekávaných změnách signálů i u SSZ fungujících v dynamickém režimu. Na rozdíl od běžného číselného odpočítávání nejsou skokové změny způsobené například přihlášením MHD tolik výrazné a GUI také nepřetěžuje řidiče přílišným množstvím informací.

## 3 KLÍČOVÉ POŽADAVKY

### 3.1 Požadované vlastnosti systému na základě analýzy používaných řešení

Ze zjištěných požadavků DPP a vlastností stávajících řešení vyplynuli následující požadavky, které by technické řešení mělo splňovat:

#### 3.1.1 Dostatečně moderní řadiče SSZ

S ohledem na poměrně velké množství podmínek, které bude nutné při preferenci vyhodnotit tak aby docházelo k preferenci zpožděných tramvají, a naopak nedocházelo k příliš dlouhému zdržení tramvají jedoucích podle jízdního řádu, bude zásadní pro případnou realizaci použití dostatečně moderního řadiče schopného vyhodnotit mimo běžných podmínek i nově přidané podmínky související s preferencí MHD podle odchylky od jízdního řádu.

Tento bod je v českých podmínkách často poměrně zásadním problémem, neboť z autorovi dostupných informací vyplývá že i na dopravně velmi zatížených křižovatkách s provozem HMD jsou provozovány z dnešního pohledu zastaralé řadiče s velmi omezenými možnostmi programování. Na těchto typech řadičů často nelze nabídnout víc než jednoduché fázové plány s velmi jednoduchými podmínkami. Dostatečně moderních řadičů je v mnoha českých městech nedostatek a v kombinaci s dalšími požadavky na vzorové lokality je poměrně výrazně limitující.

Výpočetní výkon řadiče lze při použití některých technologií nahradit výpočetním výkonem jiných přidaných zařízení (například ITS-G5 RSU). Starší řadiče ale nebyly navrhovány na propojení s těmito moderními technologiemi a požadavek na vybavení křižovatky moderním řadičem tedy nelze touto cestou obejít.

Alternativně lze uvažovat s výměnou řadiče která si ale často vyžádá kompletní rekonstrukci SSZ výrazně zvyšující cenu případné realizace navrhovaných úprav.

#### 3.1.2 Identifikace vozidla a jeho odchylky od JŘ

*„Kontaktní způsob detekce vozidla MHD plně neumožňuje využít možnosti technického a programového vybavení řadičů SSZ. Důvodem jsou především:*

- *Trolejový kontakt neposkytne informaci, zda se před křižovatkou nahromadilo více souprav nebo zda souprava jede v souladu s jízdním řádem,*

...

*Z uvedeného je zřejmé že se v případě se v případě kontaktní detekce jedná pouze o určení, že neidentifikované vozidlo je v dané vzdálenosti od SSZ.“ (3 stránky 162-163)*

S ohledem na zadání této práce je tedy stávající detekce trolejovými kontakty naprosto nedostatečné a součástí práce bude muset být i návrh nového systému, který umožní předat řadiči například jednoznačný identifikátor vozidla nebo jeho odchylku od jízdního řádu.

### **3.1.3 Jednoznačné určení příjezdové i odjezdové větve**

Pro potřeby preference podle odchylky od jízdního řádu je nezbytně nutné při vyhodnocení preference vyhodnotit i požadovaný směr průjezdu křižovatkou – není možné preferovat tramvaj, dokud tramvaj stojící před ní ve stejné příjezdové větvi neprojde křižovatkou. U stávajících systémů preferujících tramvaje podle pořadí přihlášek tento problém nenastává, protože tramvaje projíždí přihlašovacím bodem v pořadí, v jakém se ke křižovatce blíží, a tedy v tomto pořadí i odesílají přihlašovací packety.

Jako vhodnější se jeví „Brněnský“ model kde jsou samostatně přenášeny vjezdová i odjezdová větev a tím umožňuje snadné porovnávání vjezdové a odjezdové větve různých směrů jízdy. „Ostravský“ model kombinující vjezdovou a odjezdovou větev v jednom přenášeném bytu sice lze vždy rozložit převodní tabulkou na potřebné údaje, ale takovýto převod porovnávání zbytečně komplikuje.

### **3.1.4 Dosah vysílaných informací**

*„Trolejové kontakty jsou mnohdy z technických důvodů umístěny v těsné blízkosti křižovatky, což neumožňuje včasnou změnu dopravního režimu řadiče SSZ“ (3 str. 162)*

Stanovení hodnoty potřebného dosahu je závislé na konkrétní křižovatce, jejím dopravním i stavebním řešení, okolní zástavbě atd. Pro preferenci podle jízdního řádu může minimální vzdálenost, na kterou je nutné spolehlivě přijímat přihlašovací packety ovlivňovat například:

- Délka signálního plánu – V případě příjmu přihlašovacího packetu v nejméně vhodném okamžiku signálního plánu má délka plánu poměrně zásadní vliv na rychlost poskytnutí preference,
- Průměrná rychlost tramvají mezi přihlašovacím bodem a křižovatkou,
- Rušení v dané lokalitě – centra měst, kde obvykle působí MHD, jsou často velmi silně rušena vlivem velkého množství bezdrátových technologií používaných na poměrně malém území,
- Fyzické překážky mezi přihlašovacím bodem a řadičem – v závislosti na použité technologii může být vyžadována i přímá viditelnost,
- Dostupné technologie,

Podrobněji se výběrem vhodné technologie bude zabývat návrhová část této práce.

### **3.1.5 Zpětná vazba k řidiči**

Případné zavedení preference MHD podle odchylky od jízdního řádu prakticky znemožní i zkušeným řidičům odhadnout jaký signál bude při příjezdu k SSZ na příslušném návěstidle zobrazen. Z tohoto důvodu je vhodné při návrhu systému preference MHD pracovat s možností zavést zpětnou vazbu k řidiči tak, aby řidič dostával v reálném čase o očekávaném chování SSZ, ke kterému se právě blíží.

Určitou výhodou je odbornost řidičů MHD, a tedy lepší pochopení dynamického řízení, které u běžných řidičů může vyvolávat dojem chybovosti systému. Naopak přetrvává požadavek na snadnou čitelnost grafického rozhraní tak aby nedocházelo k přílišnému odvedení pozornosti řidiče.

## 4 NÁVRH ŘEŠENÍ

Zjištěné požadavky zadavatele spolu sice poměrně úzce souvisí, ale s ohledem na rozsah bakalářské práce nebude možné se všemi zabývat. Autor této bakalářské práce se tedy bude věnovat převážně preferenci tramvají podle odchylky od jízdního řádu na křižovatkách, kde dochází ke sjíždění více tramvajových linek, a souvisejícím vyhodnocováním volnosti koleje. Práce se ale nebude dále zabývat požadavky na zpětnou vazbu k řidiči a výjezdy z koncových zastávek.

### 4.1 Volba přenosové technologie

Z provedené analýzy používaných řešení vyplynuly mimo nutnosti nahrazení trolejových kontaktů i tři možná řešení pomocí kterých lze zajistit přenos potřebných informací do řadiče SSZ. Jedná se o přenos pomocí vyhrazené radiové sítě pouze pro potřeby MHD, využití existující sítě TETRA a nově zaváděného standardu ITS-G5. Každý z těchto řešení má své výhody i nevýhody.

Použitá technologie musí mimo výše uvedených požadavků na přenášené informace být schopna komunikace na dostatečnou vzdálenost i v podmínkách městské zástavby která často omezuje šíření signálu. Signály na různých frekvencích mají různou schopnost pronikat a odrazet se od pevných překážek. Dále jsou centra větších měst již poměrně silně rušena, často i na frekvencích blízkých frekvencím na kterých pracují přenosové technologie pro preferenci MHD.

Stanovení konkrétní hodnoty, na které by měla být použitá technologie schopna předat je značně závislé na místních poměrech na konkrétní SSZ z výše uvedených důvodů. Pro návrh technologie je vhodné pracovat s nejméně příznivou situací při které je možné plnit stanovené požadavky. Možnosti preference podle odchylky od jízdního řádu jsou při použití způsobu řízení B2 – prodlužování a zkracování fází (10) jsou značně omezené, při běžně používaných délkách oblasti prodlužování jsou možnosti ovlivnění pořadí průjezdu tramvají minimální. Rostoucí délka oblasti prodlužování v poměru k celkové délce plánu sice omezenou možnost ovlivnit pořadí průjezdu nabízí ale příjezd tramvají mimo oblast prodlužování vždy povede k nesprávnému pořadí průjezdů SSZ s výše popsaným negativním vlivem na tramvajový provoz. Autor tedy bude dále předpokládat, že SSZ pracuje v režimech B3-B6 umožňujících provádět preferenci podle jízdního řádu dostatečně efektivně. (10)

**Tabulka 3 - Přehled způsobů řízení SSZ**

A	ROZHODOVÁNÍ PŘI ŘÍZENÍ MIMO PRŮBĚH SIGNÁLNÍHO PLÁNU v delších časových intervalech v krocích řádově desítek minut až hodin		
Volba signálních plánů a režimů řízení	A1	ROZHODOVÁNÍ PŘI ŘÍZENÍ MIMO PRŮBĚH SIGNÁLNÍHO PLÁNU v delších časových intervalech v krocích řádově desítek minut až hodin	
	A2	DOPRAVNĚ ZÁVISLÁ podle aktuálních dopravních nároků v reálném čase	
B	ROZHODOVÁNÍ PŘI ŘÍZENÍ MIMO PRŮBĚH SIGNÁLNÍHO PLÁNU v delších časových intervalech v krocích řádově desítek minut až hodin		
Pevné řízení	Pevný signální plán	B1	ŽÁDNÁ MOŽNOST ZMĚN podle aktuálních dopravních nároků
Dopravně závislé (dynamické) řízení	Modifikace signálního plánu	B2	PROMĚNNÁ DÉLKA VOLNA
		B3	ZMĚNA POŘADÍ FÁZÍ
		B4	VLOŽENÍ FÁZE
	B5	DOPLNĚNÍ NEKOLIZNÍHO VOLNA	
	Tvorba signálního plánu	B6	VOLNÁ MĚNITELNOST PRVKŮ podle aktuálních dopravních nároků

Zdroj: (10)

Řízení způsoby B3-B6 již může být dostatečně dynamické pro potřeby preference MHD podle odchylky od jízdního řádu. Nutnou podmínkou pro efektivní fungování takového systému preference je možnost pozdržet tramvaj jedoucí podle jízdního řádu dostatečně dlouho na průjezd zpožděné tramvaje. Navržené dopravní řešení by tedy nemělo obsahovat oblasti signálního plánu kdy dochází k nepodmíněnému vysvícení signálu volno pro tramvaje. Naopak musí umožňovat ve vhodnou chvíli vkládat signál volno pro požadované skupiny tak aby umožnilo průjezd tramvaj v co nejkratším čase.

Nezanedbatelný vliv má také délka cyklu, TP 81 uvádí jako doporučenou maximální délku cyklu hodnotu 100–120 s, tyto hodnoty jsou v praxi používány v centrech měst, kde je provozována MHD. Zejména u méně dynamických signálních plánů schopných poskytnout preferenci pouze jednou za cyklus budou tedy významně ovlivňovat dobu po kterou by měl mít řadič k dispozici informaci o blížící se tramvaji tak aby dokázal správně reagovat na blížící se vozidla MHD.

Maximální rychlost tramvají v českých podmínkách je 60 km/h, ale v případě použití stejného systému i pro autobusový provoz může být rychlost blízkého se autobusu až 80 km/h. Křižovatky s přibližovacím úsekem na dálnici, které by umožňovali vyšší rychlost se autor rozhodl z důvodu jejich velmi malého počtu zanedbat. Při této rychlosti 80 km/h a délce plánu by potřebná vzdálenost přesahovala 2200 m.

Křižovatky na okrajích měst jsou obvykle řešeny jako izolované a mají tedy obvykle větší volnost při návrhu signálního plánu díky větším vzdálenostem mezi křižovatkami. To řadiči umožňuje vkládat fáze pro preferenci MHD do cyklu častěji a výrazně tím snížit potřebný dosah. V centrech měst je průměrná rychlost jízdy výrazně nižší vlivem častějšího zastavování na zastávkách, SSZ, hustoty provozu atd. Takto vypočtený dosah tedy nebude na většině SSZ využitelný.

Co naopak potřebu delšího dosahu v centrech měst zvyšuje jsou nižší vzdálenosti mezi SSZ, a tedy větší důraz kladený na vzájemnou koordinaci SSZ, a tedy méně dynamické signální plány. Pokud uvažujeme že signální plán je z důvodu zachování koordinace atd. schopen preferovat vozidlo MHD z daného směru nejvýše dvakrát za jeden cyklus délky 100 s pak při průměrné rychlosti tramvaje 18,5 km/h (11) je pak potřebná vzdálenost přihlašovacího bodu asi 250 metrů. Tuto vzdálenost budou dále snižovat například zastávky umístěné v blízkosti křižovatky, nebo další v blízké SSZ.

Z hodnot použitých v praxi, které se autorovi podařilo dohledat lze zmínit například přihlašovací bod autobusů na SSZ 1.26 Stará dálnice – Kohoutovická v Brně, kde je přihlašovací bod ve směru VE umístěn 940 m od stopčáry.

Tyto hodnoty nelze považovat za pevně dané hodnoty, kterých musí systém dosahovat, ale přesto poskytují přibližnou představu o tom, jaký dosah by měla přenosová technologie ideálně nabízet, aby umožňovala co největší volnost při návrhu logiky řízení. S nižšími hodnotami nepochybně půjde pracovat, ale v určitých situacích se mohou ukázat poměrně jako limitující pro potřeby preference a v některých případech si vyžádat využití odlišné technologie jako alternativního způsobu komunikace s řadičem. Použitá technologie by tedy dle autora měla umožňovat komunikaci s řadičem minimálně na vzdálenost 1 km i v místech kde je šíření signálu omezeno okolní vegetací nebo zástavbou. Delší dosah je vždy výhodou ale již 1 km lze považovat za dostatečný.

#### **4.1.1 Vyhrazený radiový systém**

Nejpoužívanější možností pro přenos informací mezi řadičem SSZ a vozidlem MHD je vyhrazený radiový systém obvykle pracující na frekvencích kolem 900MHz. Pravděpodobně

největší výhodou takového systému je tedy ověření v praxi – jedná se o systém mnoho let používaný ve velkém množství českých měst. Tyto systémy přináší poměrně dobrou spolehlivost, dobré šíření signálu na poměrně nízkých frekvencích v městské zástavbě atd. ale také nezanedbatelné nevýhody. K nevýhodám takového systému patří zejména jeho jednoúčelovost zvyšující jak investiční, tak i provozní náklady. Uživatelé těchto systémů také často omezuje neúplná standardizace těchto systémů – i podobná řešení jsou odkázána na proprietární prvky v systému které mohou omezovat dostupnost náhradních dílů atd.

Mimo jiné ze znatelného zájmu dopravních podniků využívajících této technologie o modernější alternativy lze usuzovat že ani stávající uživatelé systémů pro preferenci MHD založených na vyhrazené radiové síti nejsou s tímto řešením příliš spokojeni a pokud již nepřistoupili k jeho nahrazení alternativním řešením tak o tomto kroku minimálně vážně uvažují. Začít s budováním podobného systému DPP nelze doporučit.

#### **4.1.2 Městská síť TETRA**

Další možností je využití v Praze již provozované městské radiové sítě TETRA. Pro DPP se nabízí možnost využít existující systém preference autobusů pracující právě pomocí systému TETRA. Mimo snížení investičních nákladů – některé SSZ ležící na tramvajové síti již budou vybaveny preferencí autobusů lze očekávat i zjednodušení údržby systému díky používání jednotného systému pro všechna vozidla DPP namísto dvou samostatných řešení.

Dopravní podniky ale nejsou prioritním uživatelem této sítě, TETRA je primárně určena pro přenos hlasu a v případě vytížení sítě může omezovat přenos dat. Z tohoto důvodu ji autor nepovažuje za vhodnou technologii pro realizaci preference MHD.

#### **4.1.3 ITS-G5**

Pravděpodobně nejmodernějším standardem využitelným pro preferenci MHD je ITS-G5. Jedná se o připravovaný standard pro kooperativní systémy v dopravě, který umožňuje pomocí jednoznačně definovaných datových zpráv realizovat široké spektrum scénářů. Mimo preference vozidel MHD na světelně řízených křižovatkách umožňuje například:

- Emergency Vehicle Approaching  
Scénář zajišťující preferenci vozidel IZS na světelných křižovatkách a varování řidičů na blížící se vozidlo IZS a aktivovanými majáky.
- Public Transport Safety  
Varování řidičů na nebezpečné situace vyvolané provozem vozidel hromadné dopravy jako například vozidlo v zastávce nebo křížení bez signalizace.



- Road Works Warning  
Varování řidičů v okolí probíhajících prací na silnici.
- GLOSA a TramGlosa  
Informování řidičů o očekávaném chování SSZ v blízké budoucnosti a doporučení rychlosti pro plynulý průjezd.
- Intersection Signal Violation  
Varování řidiče na hrozící průjezd světelnou křižovatkou na signál stůj.
- A mnoho dalších.

Tato univerzálnost umožňuje rozložit náklady na provoz systému mezi více účastníků, a tedy bude snižovat náklady na provoz takového systému pro dopravní podniky.

Pro potřeby této práce je zdaleka nejzajímavější use case Public transport preference (preference veřejné dopravy):

*Use case Public Transport Preference přináší alternativní možnost řešení prioritizace vozidel MHD na křižovatkách řízených SSZ pomocí technologie ITS-G5 (prioritizace jízdy vozidel MHD na křižovatkách je již dnes zajišťována různými technologiemi – např. trolejové kontakty, DSRC-9,6 GHz, aj.). Tento use case spočívá v komunikaci vozidla MHD a RSU jednotky umístěné v blízkosti řadiče SSZ, se kterým je zároveň propojená. V případě, že je vozidlo MHD detekováno v jedné z detekčních zón (vjezdy do křižovatek) je vyslán požadavek na úpravu signálního plánu křižovatkou do řadiče a ten případně nastaví signál „volno“ pro směr vozidla MHD. (6)*

*Vozidlo se do systému řízení křižovatkou přihlásí v předstihu po vjezdu do přihlašovací oblasti formou CAM zprávy a tím vyšle požadavek na prioritní průjezd křižovatkou. Požadavek na prioritní průjezd křižovatkou bude vyslán OBU jednotkou uvnitř vozidla a zpráva CAM bude zachycena jednotkou RSU v blízkosti křižovatkou. (6)*

Z uvedeného vyplývá že pro preferenci MHD pomocí ITS-G5 mohou být využívány Cooperative Awareness Message (dále jen CAM) zprávy. Tyto zprávy jsou základní zprávou C-ITS systémů a do svého okolí šíří základní informace o vozidle, jeho roli (osobní automobil, vozidlo IZS, MHD atd.), poloze, rychlosti atd.

Z autorovi dostupných dalších podkladů vyplývá že CAM zpráva v sobě může nést informace založené na německém protokolu pro preferenci MHD R09 obsahujícím již všechny potřebné údaje včetně odchylky od jízdniho řádu.

Naopak velkým rizikem jsou stále probíhající úpravy pravidel a z nich vyplývající hrozba nutnosti velkých úprav na již nasazených systémech které lze doložit například úpravami UC Public transport preference v roce 2019:

*„Pro žádost o preferenční průjezd křižovatkou je používána zpráva SRM, která je vysílána jednotkou OBU ve vozidle v okamžiku, kdy vyhodnotí potřebu upravit signální plán (např. dle obdržovaných SPaT/MAP zpráv), aby zajistila vozidlu co nejhladší průjezd křižovatkou. V kombinaci se SRM zprávou je dále používána SSM zpráva, která je vysílána RSU jednotkou poté, co obdrží vozidlovou zprávu SRM a zpětně informuje vozidla o zpracovávaných požadavcích na preferenční průjezd.*

*Alternativně lze tento UC realizovat pomocí CAM zpráv, které jednotka OBU ve vozidle MHD vysílá periodicky. RSU jednotka zachycuje tyto CAM zprávy, které obsahují kromě ID vozidla také aktuální polohu, typ vozidla, směr i rychlost, volitelně také číslo linky. RSU/řadič SSZ na základě těchto informací a přednastavených detekčních zón vyhodnotí, zda má konkrétní vozidlo nárok na preferenci a případně zašle povel do řadiče SSZ.“ (7)*

Změny ve specifikacích ilustrují hrozící riziko změn závazných specifikací během udržitelnosti projektu, ze kterého by instalace ITS-G5 jednotek mohla být osazena.

Šíření signálu ITS-G5 je poměrně citlivé na překážky. V případě přímé viditelnosti lze zprávy přenášet na vzdálenost až několika kilometrů, naopak v městské zástavbě se obvykle jedná o několik stovek metrů. Díky výše popsaným vlastnostem provozu MHD však takového chování technologie požadavkům preference vyhovuje a přenosová vzdálenost několika

#### **4.1.4 Srovnání dostupných technologií**

Z autorem získaných informací se autorovi budování nového systému založeného na jednoúčelovém radiovém systému jeví jako neperspektivní. Tyto systémy obvykle splňují všechny požadavky preference MHD podle odchylky od jízdního řádu, jsou ověřeny léty provozu v řadě měst, ale pravděpodobně by se již v blízké budoucnosti ukázaly jako omezující pro další rozvoj.

Naopak se budování systému založeného na ITS-G5 jeví jako značně riziková. ITS-G5 je velmi nadějnou technologií pro přenos dopravních informací ale přesto sebou nese jistá omezení a rizika. Asi největším rizikem je s ohledem na rozsah provozu DPP možná úprava standardů ze strany orgánů evropské unie a tím vyvolané nezanedbatelné náklady. DPP provozuje přes 800 tramvají a 1100 autobusů, celkem tedy zhruba 2000 palubních jednotek. (11) K tomu je nutné připočítat více než 200 jednotek na SSZ s preferencí tramvají a dalších zhruba 250 jednotek pro preferenci autobusů na křižovatkách bez provozu tramvají. (12)

I přesto autor nemůže doporučit budování systému založeném na jiné technologii než právě ITS-G5, potenciál této technologie je z dostupných možností zdaleka největší. Přesto autor považuje za rozumné nespěchat, pokud nebude DPP k změně technologie preference nucen dalšími okolnostmi.

## **4.2 Vyhodnocení přijatých zpráv**

### **4.2.1 Kontrola volnosti koleje**

Jak již bylo výše zmíněno, preference poskytovaná tramvajím ve směru, ve kterém nelze projet křižovatkou z důvodu překážky na trati omezuje možnosti preference dalších vozidel MHD v kolizních směrech a může tedy negativně působit na jejich dodržování stanoveného jízdního řádu. Proto je vhodné, aby byl řadič schopen vyhodnotit, zda tramvajím jedoucím určitým směrem preferenci poskytnout. K tomu je nutné spolehlivě zjišťovat obsazenost koleje za křižovatkou. Na tramvajových kolejích nelze umísťovat indukční smyčky a je tedy nutné využít alternativní způsob detekce.

Nabízí se dvě možnosti pro zjištění volnosti:

- 1) Videodetekce s vhodně nastavenou detekční zónou, výhodou je možnost detekovat nejenom vozidla MHD ale i takřka libovolný předmět na tramvajové trati. Naopak nevýhodou je relativní nespolehlivost takovýchto systémů ve venkovních podmínkách – citlivost těchto systémů na různé stíny, skvrny po úniku kapalin atd.
- 2) Detekce založená na systémech využívaných pro preferenci MHD, které nabízí větší spolehlivost při detekci polohy vozidel MHD, ale nedokáží detekovat jiné překážky jako jsou například vozidla IAD.

Z důvodu vyšší spolehlivosti považuje autor za vhodnější druhé řešení, případně jejich kombinaci. Je ale vždy nutné umožnit řidiči obejít kontrolu volnosti koleje manuálním požadavkem na preferenci z důvodu možných dopadů v případě „falešné“ detekce. Taková možnost sice vnáší do systému riziko, kdy netrpělivý řidič svým rozhodnutím zbytečně zablokuje křižovátku, ale také řeší situace, při kterých by vlivem poruchy systému detekce mohlo dojít k zablokování jízd tramvají do daného ramene křižovatky a tím k postupnému zprůjezdění SSZ pro tramvaje celkově.

Vždy je nutné detekci umísťovat tak aby byl zajištěn dostatečný prostor za křižovatkou pro nejdelší tramvajovou soupravu která je ve městě (případně na linkách projíždějících daným ramenem křižovatky) provozována a tím nedocházelo k zastavení tramvajové soupravy v křižovatce.

Zpracování pak může probíhat následovně. Po přijetí přihlašovacího packetu řadič porovnáním s již přihlášenými tramvajemi vyhodnotí, zda jde o první přihlašovací packet z daného směru, pokud ne nemá smysl s touto přihláškou pracovat, dokud neproběhne uvolnění vjezdu předchozí tramvají. Samozřejmě tato tramvaj může projet křižovatkou na stejný signál jako již čekající tramvaj, logika řízení by ale měla zajistit, aby nedošlo k výzvě, kterou tato tramvaj nemůže využít.

Pokud se jedná o první přihlášku z daného vjezdového ramene, nebo již došlo k uvolnění vjezdu, může vyhodnocování postoupit k dalšímu kroku, a to vyhodnocení volnosti vjezdového ramene křižovatky. Opět musí docházet k pravidelnému vyhodnocování dostupných dat. Dále musí být z důvodu výrazně prodlouženého zpracování přihlášek, proti stávajícímu řešení, zajištěna možnost zpracovávat více přihlášených vozidel současně tak aby nedocházelo k zastavení vyhodnocování preference jednou čekající tramvají.

#### **4.2.2 Preference podle odchylky od jízdního řádu**

Preference podle odchylky od jízdního řádu je, jak již bylo nastíněno výše náročná na technické i stavební řešení. Pro preferenci podle odchylky od jízdního řádu je nutné vkládat signál volno pro tramvaje pouze na výzvu. Jakékoliv pevné vysvícení signálu volno pro tramvaj umožní pokračovat v jízdě tramvaji která zpožděna není, a tedy by měla čekat na průjezd jiné tramvaje která potřebuje pokračovat v jízdě a snižovat své zpoždění.

Dále je nutné zohledňovat odchylku od jízdního řádu ve vhodných krocích, při rozdílu několik vteřin nemá smysl snižovat propustnost křižovatky, narušovat koordinaci se sousedními SSZ a navyšovat zpoždění méně zpožděné tramvaje. Vzhledem k faktu že jízdní řád je zveřejňován a přesností na celé minuty a řadiče SSZ pracují s cyklem délky 1-2 minut nemá pravděpodobně smysl pracovat s rozdílem zpoždění 2 tramvají blížících se ke křižovatce menším než 1 minuta. Horní limit zpoždění, při kterém bude ještě zpožděná tramvaj preferována, není nutné stanovit i když by jeho použití mohlo nabízet jisté výhody – například může zabránit zpoždění jiné tramvaje jedoucí podle jízdního řádu při preferenci tramvaje která je již zpožděna tolik, že nemá možnost zpoždění výrazně snížit.

Doba potřebná pro průjezd tramvaje křižovatkou je závislá na mnoha faktorech, největší vliv bude mít dopravní řešení a prostorové poměry dané křižovatky. Rozlehlé křižovatky mají obvykle delší mezičasy kvůli pomalejším účastníkům provozu, které omezují možnosti řadiče skládat signální plán podle potřeb městské hromadné dopravy. Dlouhé mezičasy ale omezují možnost krátce rozsvítit signál volno k průjezdu tramvaje a tím omezují možnosti řadiče plnit požadavky MHD s minimálními dopady na okolní dopravu.

Další významné omezení představuje nutnost koordinace s okolními SSZ, které se projevuje zejména v centrech měst kde jsou vzdálenosti mezi světelně řízenými křižovatkami kratší, a tedy citlivěji reagují na narušení koordinace.

Pokud se přesto rozhodneme věnovat preferenci MHD podle odchyly od jízdního řádu musí být logika řízení schopna reagovat na přijaté přihlášky ve více krocích a v případě přijetí přihlášky z více zpožděné tramvaje zrušit přihlášku jiných tramvajů, které po preferenci zpožděné tramvaje musí znovu přihlásit a umožnit jim průjezd křižovatkou.

Na rozdíl od předchozí kontroly volnosti koleje za křižovatkou je zde nutné pracovat s manuální přihlášením jako s přihlášením velmi zpožděné tramvaje. Průjezd křižovatkou na ruční přihlášení musí zůstat umožněn, ale nelze spoléhat na chování řidičů kteří by v případě delšího čekání mohli považovat systém za nefunkční a tím narušovat funkci systému.

Vyhodnocení přihlášek by tedy mělo probíhat zhruba následovně:

Vozidlem MHD je vyslán požadavek, který je přijat řadičem SSZ. Řadič přijatou zprávu zpracuje a vyhodnotí, zda má vozidlo na preferenci nárok podle v dopravním řešení nastavených podmínek. Pokud přijatý požadavek splnil podmínky pro udělení preference musí řadič porovnat nově přijatou přihlášku s jinými již přihlášenými vozidly a provést jejich seřazení do požadovaného pořadí a vyzvat nejméně zpožděný směr. Následně je možné vyhledat nekolizní požadavky jiných vozidel MHD která mohou projet křižovatkou současně s jiným požadavkem který dostal vyšší prioritu a tím získat zpět část kapacity obětované pro preferenci podle odchyly od jízdního řádu v porovnání s preferencí poskytovanou s cílem maximálně využít kapacitu.

Na komplikovanějších křižovatkách ale mohou nastat situace kdy je požadavek na preferenci průjezdu tramvajů do jednoho ramene v konfliktu se stejným požadavkem na průjezd do jiného ramene. V takovém případě je pravděpodobně nejjednodušší variantou preferovat nejvíce zpožděnou tramvaj, alternativně lze do logiky zpracovat pravidla určující v takovém případě priority jednotlivých ramen, například podle délky úseku, ve kterém pojedou tramvaje v pořadí odpovídajícím výjezdu z křižovatky.

### **4.3 Příklady úprav na vzorových lokalitách**

Městská správa komunikací a.s., zodpovědná za správu SSZ v hlavním městě Praze, na autorovu žádost o poskytnutí dokumentace k několika pražským SSZ nereagovala, autor se tedy rozhodl využít jako vzorové lokality Brněnské křižovatky, k jejichž dokumentaci má přístup.

### **4.3.1 Požadavky na vzorové lokality**

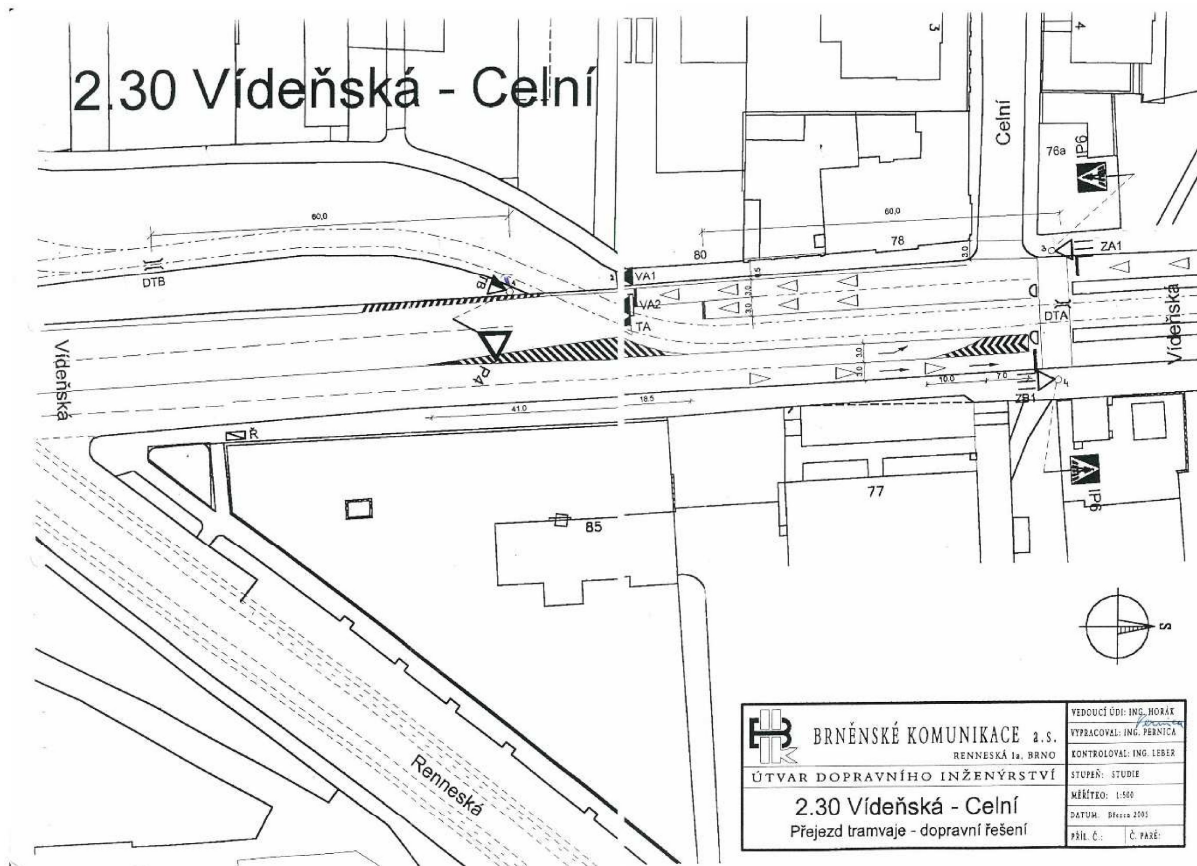
Vzhledem k nevyhnutelnému snížení propustnosti křižovatky při zavedení křižovatky by neměly intenzity dopravy dosahovat příliš vysokých hodnot. Naopak by zde mělo docházet ke sjíždění více tramvajových linek. Tramvaje čekající na průjezd by také neměly bránit v průjezdu ostatních vozidel, je tedy vhodné, pokud prostorové poměry křižovatky minimálně umožňují zřízení samostatných řadících pruhů pro tramvaje.

Dále by křižovatky měly být vybaveny dostatečně moderním řadičem schopným vyhodnocovat větší množství podmínek v reálném čase. Mezi takové řadiče patří například řadiče Siemens C800 a C900, sX, Cross RS4, nebo AŽD MR11. Starší řadiče jako například Siemens MS nebo Cross RS1-3 mají příliš omezené možnosti programování nebo nedostatečný výpočetní výkon.

### **4.3.2 Celní (přejezd tramvaje), Brno**

SSZ 2.30 Celní (přejezd tramvaje) byla vybudována k zajištění bezproblémového a bezpečného přejezdu tramvajů ze samostatného tělesa do středu vozovky a naopak. V těsné blízkosti signalizovaného přejezdu se ale spojují dvě tramvajové tratě – trať z Nového lískovce a trať z Modřic.

Vzhledem k určení signalizačního zařízení nebyla v místě vybudována klasická světelně řízená křižovatka, ale mnoho směrů bylo ponecháno jako nesignalizované. V současnosti má tedy pouze 4 signální skupiny. Vozidlovou skupinu VA zastavující provoz po ulici Vídeňská ve směru z centra (směrem na jih), dvě tramvajové skupiny TA a TB pro tramvaje v obou směrech a blikač ZB upozorňující na vzdálený přechod. (13)

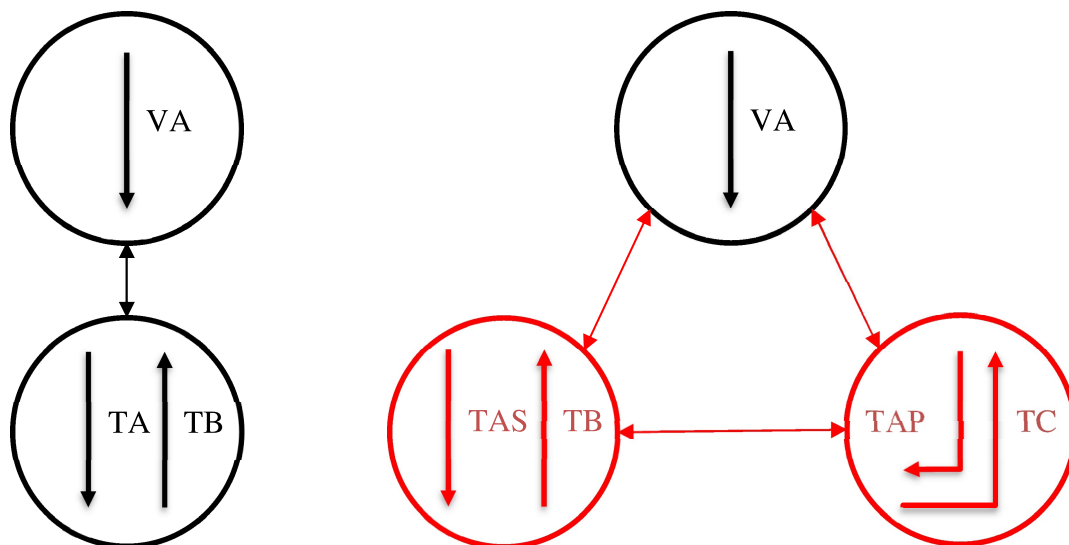


Zdroj: (13)

Obrázek 5 - Situační plánec SSZ 2.30 Celní (přejezd tramvaje)

Zhruba 85 m před návěstidlem TB (směrem k centru) ale dochází ke sjíždění tramvajových linek 2, 5 a 6, a nabízí se tedy možnost dovybavit SSZ možností preference tramvají podle odchylky od jízdního řádu. Takové řešení by mělo minimálními dopady na automobilovou dopravu, čekající tramvaj by v takovém případě stála na samostatném tělese, a díky poměrně jednoduchému řešení stávající křižovatky se nabízí jako vhodná lokalita k testování přínosů takového řešení. Preference tramvají podle odchylky od jízdního řádu vyžaduje samostatnou signalizaci na vjezdech z obou tratí, a tedy posunutí návěstidla TB a doplnění samostatného návěstidla TC. Takové úpravy křižovatky (přejezdu) by sice vyžadovali přepočítání mezičasů, návrh nových fází i fázových přechodů, v podstatě zcela nové dopravní řešení, ale umožní řízené sjíždění tramvají v požadovaném pořadí. Nevýhodou takového řešení je poměrně značné prodloužení mezičasů z důvodu zbytečné vzdálenosti mezi návěstidly a kolizními body v křižovatce. Alternativně lze využít volného prostoru vedle současného vedení kolejí a posunout výhybku blíže k současné pozici návěstidla TB. Tím by došlo ke snížení nárůstu mezičasů proti posunu návěstidel za cenu zvýšení investičních nákladů. V opačném směru nebude provoz tramvají případnou změnou nijak omezen, nedochází zde ke

sjíždění více tramvajových linek, naopak pokračují z jednoho ramene do několika ramen křižovatky.



Zdroj: Autor s využitím (13)

Obrázek 6 - Schéma fází SSZ 2.30 před a po navržených úpravách

I přes minimální počet signálních skupin a velmi jednoduchou logiku řízení je křižovatka je vybavena moderním řadičem Cross RS4 který by v případě úprav křižovatky nevyžadoval výměnu ale pouze drobné hardwarové úpravy jako doplnění dalších spínačových desek pro nové signální skupiny. Jako výrazně nákladnější se jeví nutné výkopové práce, pokládka kabeláže, montáž sloupků a návěstidel v nové poloze které by pravděpodobně překonaly náklady na úpravy softwaru řadiče který by vyžadoval rozsáhlejší úpravy nastíněné výše.

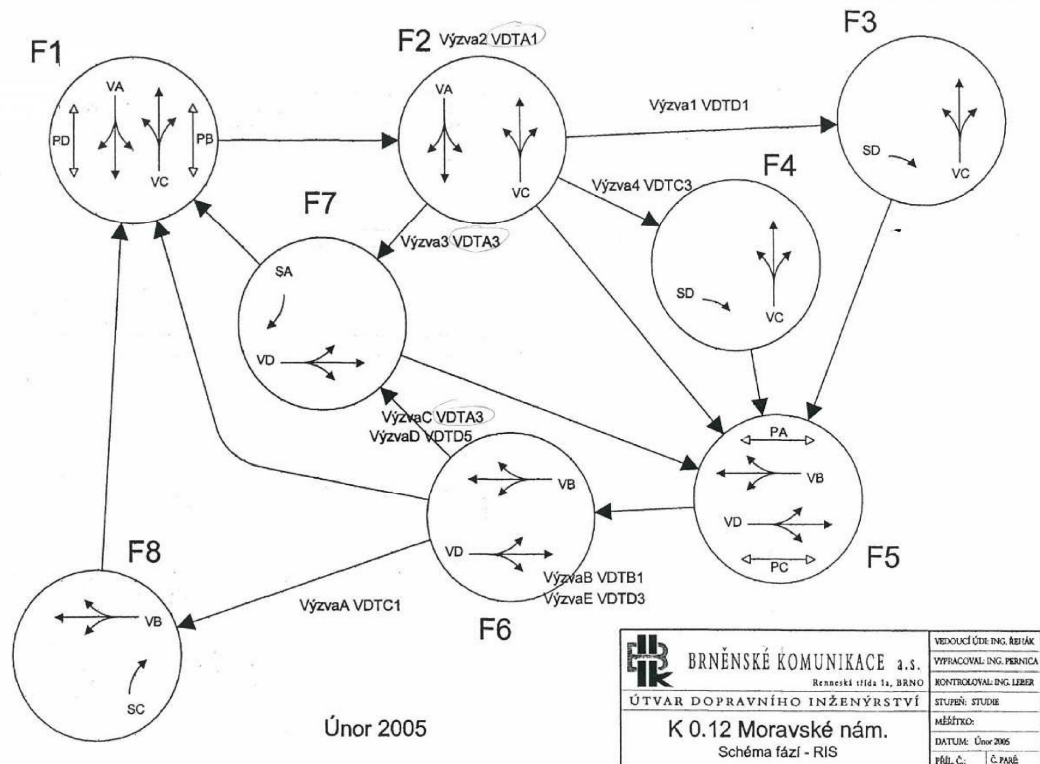
Z autorovi dostupných dat ale vyplývá že na obou tramvajových tratích dochází ve směru do centra k minimálním zpožděním. Obě tratě jsou až po tuto křižovatku vedeny na samostatném tělese a jsou tedy ovlivňovány okolní dopravou minimálně (úrovňové křížení tratě z Modřic s ulicí Jihlavská na SZS 2.04 Jihlavská – Vídeňská) nebo vůbec. Oddělení tramvají od okolního provozu již snížilo odchylky od jízdního řádu na hodnoty, které jsou pouze těžko uchopitelné při zpracování logikou řadiče. Z tohoto důvodu se poměrně vysoké investice související se zavedením preference tramvají podle odchylky od jízdního řádu dají jen těžko obhajovat.



### 4.3.3 Moravské náměstí, Brno

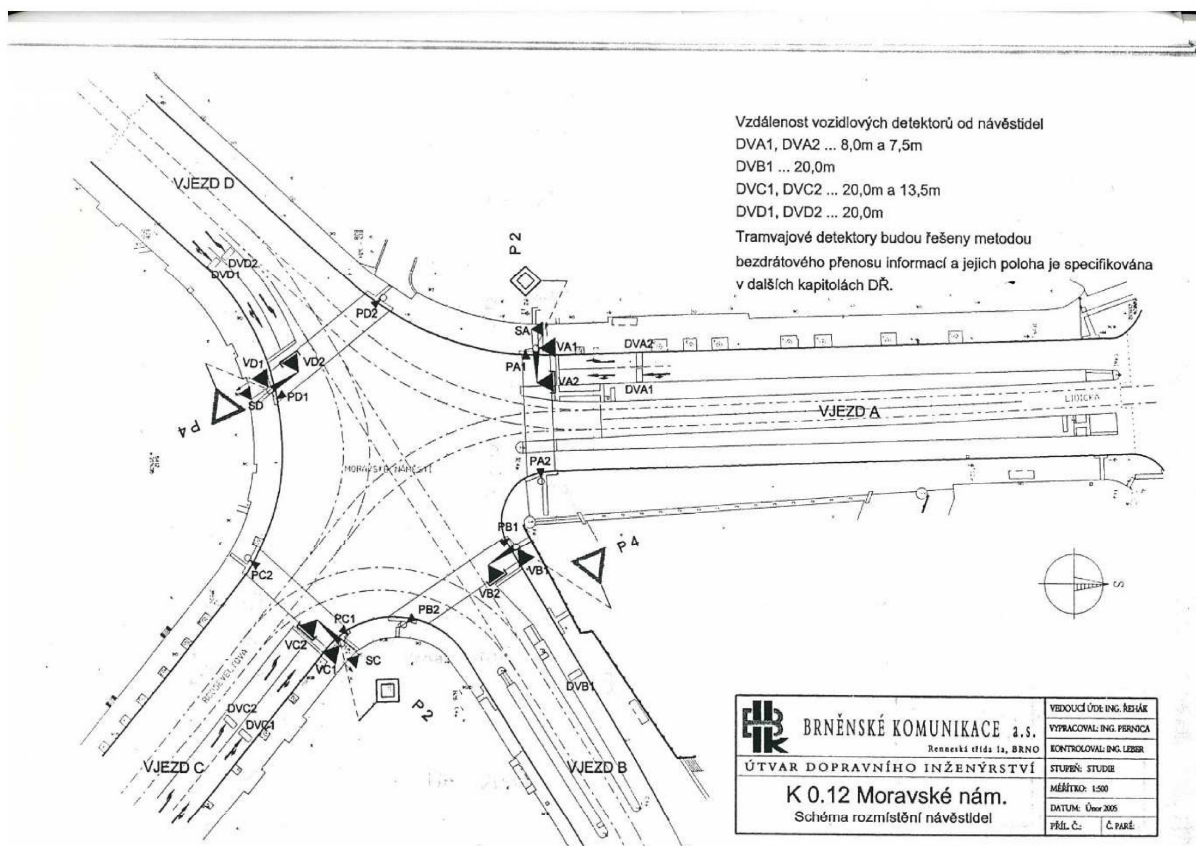
Křižovatka 0.12 Moravské náměstí v Brně je pro zkoušení preference podle odchylky od jízdního řádu vhodná z důvodu poměrně malého zatížení individuální dopravou, a naopak vysokému počtu tramvajových linek které se na této křižovatce setkávají. Křižovatkou projíždí linky 1, 3, 5, 6, 9 a 11 v různých směrech.

Křižovatka samotná je osazena řadičem Siemens C800, který pracuje v kombinaci režimů B2 – Proměnná délka volna a B4 – Vložení fáze. (14)



Zdroj: (14)

Obrázek 7 - Schéma fází 0.12 Moravské náměstí



Zdroj: (14)

Obrázek 8 - Situační plánec SSZ 0.12 Moravské náměstí

Jako problematická se jeví zejména absence tramvajových návěstidel. Řízení tramvajů probíhá pomocí plných signálů společných pro tramvaje i další druhy dopravy. Jízda tramvajů na běžné vozidlové signály tedy neumožňuje pozdržet tramvaj bez negativních dopadů na automobilovou dopravu dle požadavků zmíněných v kapitole 1 Očekávání Zadavatele - Dopravního podniku hlavního města Prahy a.s. . (14)

Pozitivní naopak jsou samostatné řadičí pruhy ze všech ramen, stojící tramvaj tedy nemusí nutně zdržovat individuální dopravu. Ve dvou ze čtyř ramen křižovatky se navíc nachází v těsné blízkosti zastávky a ve třetím je zastávka vzdálena zhruba 120–150 m. Čekající tramvaj tedy může, při případném nasazení technologie informující řidiče o vhodném okamžiku k odjezdu ze zastávky, čekat v zastávce a umožnit nástup dalším cestujícím.

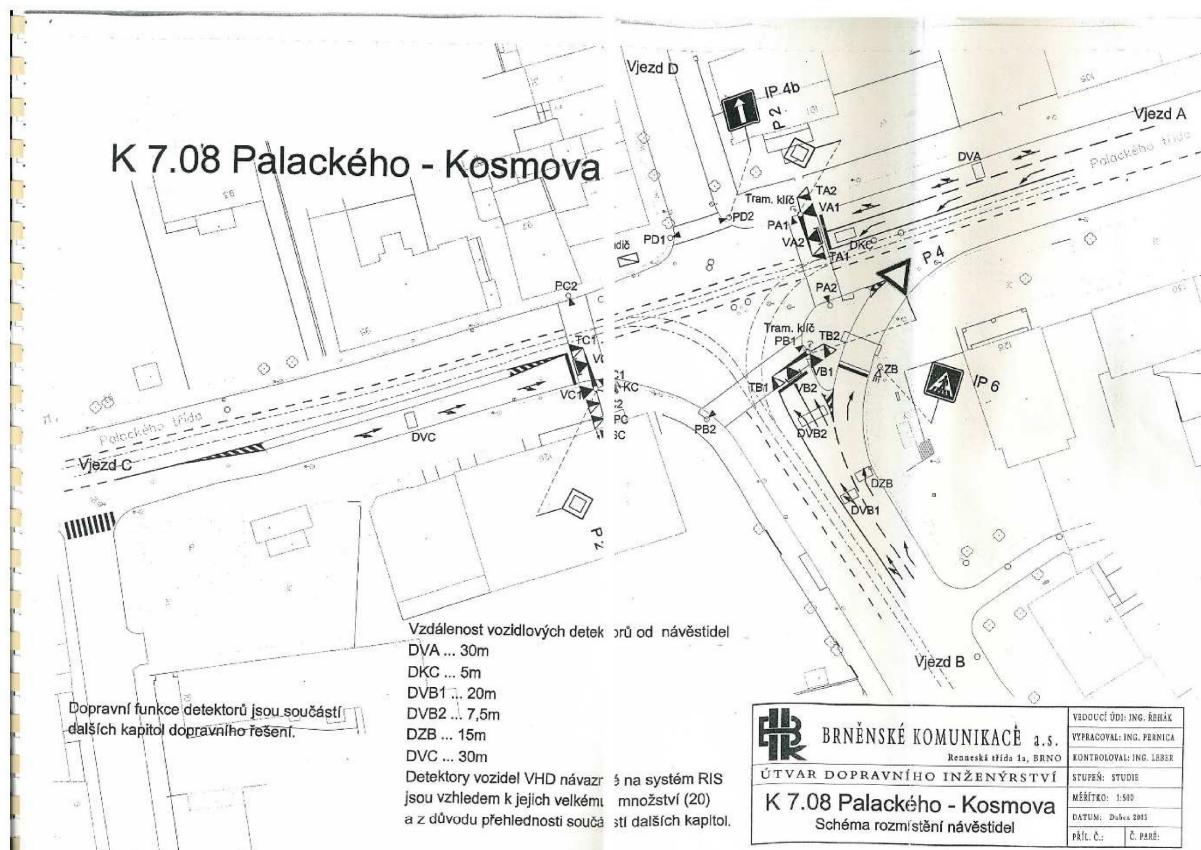
Jednou z možností, jak realizovat preferenci MHD podle odchylky od jízdního řádu by bylo vybavit všechna ramena křižovatky tramvajovými návěstidly. Takové řešení si ale vyžádá poměrně velké úpravy HW i SW řadiče, doplnění samotných návěstidel a bez analýzy stavu kabeláže křižovatky nelze vyloučit i nutnost výkopových prací pro doplnění kabeláže k nově osazeným tramvajovým návěstidlům.

Alternativou je přijmout dopady na automobilovou dopravu a upravit logiku řízení tak aby křižovatka dokázala pracovat v režimu řízení B3 – změna pořadí fází nebo B6 – volná měnitelnost prvků. Taková úprava by snížila náklady na úpravu pouze přeprogramování řadiče SSZ, nevyžadovala by tedy žádné úpravy HW řadiče, kabeláže nebo návěstidel. Nevýhodou takového řešení je narušení koordinace s okolními křižovatkami na malém městském okruhu, které fungují v dynamických plánech s poměrně malými možnostmi reagovat na dopravní situaci z důvodu nutné koordinace po MMO, nelze tedy použít ani možnosti moderních řadičů pracovat v koordinaci v reálném čase pomocí komunikace mezi řadiči pomocí datových sítí.

Vzhledem k minimálnímu provozu je druhá varianta s proměnným pořadím fází pravděpodobně reálnější. Z tohoto důvodu bude autor dále pracovat s možností SW úpravy křižovatky. Pro přechod k režimu řízení pomocí změny pořadí fází je nutné doplnit fázové přechody mezi všemi běžně používanými fázemi, tak aby křižovatka mohla přecházet podle potřeby mezi fázemi a nebyla omezena dnes používaným sledem fází. Po doplnění všech potřebných přechodů by musela následovat nevyhnutelná změna logiky řízení. Tyto změny by umožnily řadiči volit takové pořadí fází které by vyhovovalo potřebám MHD, ale jak již bylo dříve napsáno, takové řízení by zcela ignorovalo potřeby automobilové dopravy.

#### **4.3.4 Palackého třída – Kosmova, Brno**

Světelně řízená křižovatka SSZ 7.08 Palackého třída – Kosmova, leží v severní části Brna na trase tramvajových linek číslo 1 a 6. Ve směru jízdy směrem do centra zde dochází ke sjíždění tramvají těchto linek, které následně pokračují zhruba tři kilometry po společné trati na Moravské náměstí v centru Brna. Tramvajové trati jsou pouze částečně odděleny od okolního provozu. Jsou sice vedeny v samostatném jízdním pruhu, jízdní pruhy jsou ale často pojížděny i vozidly odbočujícími vlevo nebo objíždějícími u krajnice zaparkovaná vozidla atd. Tramvaje tedy mohou být před příjezdem na křižovatku ovlivněny okolní dopravou. U linky č.6 nelze vysoké hodnoty zpoždění očekávat vzhledem k blízkosti výchozí zastávky ale u linky č.1 již ke zpoždění může dojít, běžně k nim ale nedochází.

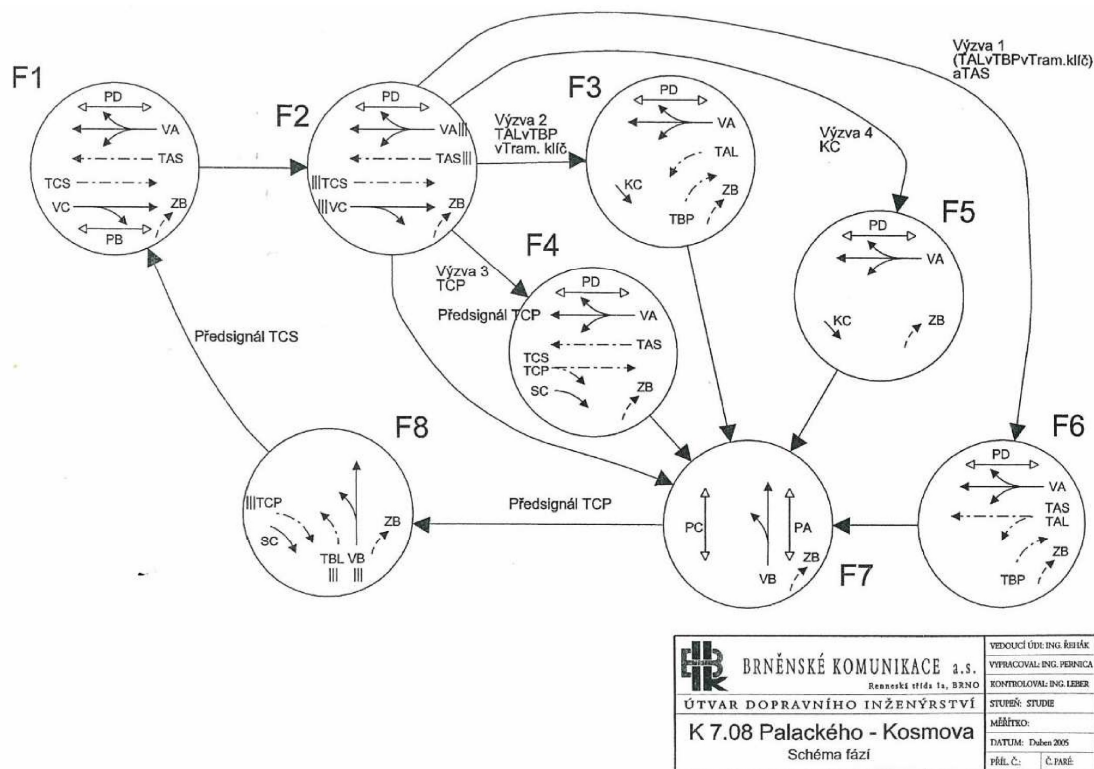


Zdroj: (15)

Obrázek 9 - Situační plánec SZS 7.08 Palackého – Kosmova

Čekající tramvaje stojí na v samostatných pruzích a rozsvícení signálu volno pro automobilovou dopravu tedy není omezováno rozsvícením signálu volno pro tramvaje. Tramvaje jsou řízeny samostatnými tramvajovými signály, Preference podle odchylky od jízdního řádu by na této křižovatce tedy nevyžadovala žádné stavební úpravy nebo rozmístění nových návěstidel. (15)

Křižovatka je ale osazena dnes již poměrně zastaralým typem řadiče Cross RS3, výpočetní výkon a možnosti programování těchto řadičů jsou v porovnání s modernějšími typy omezené a složitá dopravní řešení nejsou na tomto typu realizovatelná. Případná preference MHD podle jízdního řádu by tedy pravděpodobně vyžadovala výměnu celého řadiče za modernější.



Zdroj: (15)

Obrázek 10 - Schéma fází SSZ 7.08 Palackého – Kosmova

Stávající dopravní řešení dokonce obsahuje fázi 7 která odpovídá požadavku na pouze podmíněná vysvícení tramvajových návěstidel. Zbytek cyklu už ale obsahuje pevné signály volno pro tramvaje v různých směrech. Případné nasazení preference podle odchylky od jízdního řádu na tuto křižovatku by tedy opět vyžadovalo téměř celkovou úpravu dopravního řešení, které by mimo zvýšení již tak poměrně vysokého počtu fází spojenou s poměrně výrazným nárůstem počtu podmínek v dopravním řešení. (15)

## ZÁVĚR

Ze získaných informací ale vyplývá že preference tramvají podle odchylky od jízdního řádu klade poměrně náročné požadavky na stavební uspořádání křižovatky, hardware řadiče, možnosti přenosové technologie používané pro komunikaci vozidel MHD s řadičem atd.

Naopak přínosy takového řešení zůstávají pouze přinejlepším sporné. Pravděpodobně jedinou možností, jak zajistit správné seřazení tramvají na výjezdu z křižovatky je pozdržet tramvaj jedoucí podle jízdního řádu do úspěšného průjezdu zpožděné tramvaje. Místo jedné tramvaje tedy získáme dvě, sice méně ale stále, zpožděné tramvaje. Teoretické snížení průměrného zpoždění je závislé na schopnosti jednotlivých spojů využít drobné rezervy v navrženém jízdním řádu ke snižování zpoždění, pokud není tramvaj zpomalena jinou tramvají jedoucí podle jízdního řádu.

Vzhledem k rozsahu znalostí získaných během bakalářského studia není možné zpracovat zadané téma v rozsahu potřebném k případné realizaci navržených opatření. Problematika návrhu signálních plánů, zejména v koordinaci s okolními křižovatkami vyžaduje znalosti z navazujícího studia, které umožní získat lepší představu o skutečném dopadu navržených změn na dopravu na konkrétní křižovatce i v jejím širším okolí.

Z dat autorem získaných na vybraných lokalitách také vyplývá že efektivitu navržených úprav výrazně snižuje dlouhodobá snaha o maximální oddělení tramvajového provozu od okolní dopravy. Při vedení tramvají na samostatném tělese klesají hodnoty zpoždění na úroveň, kterou není možno dále řešit pomocí preference na SSZ. Jediným úkolem preference městské hromadné dopravy na SSZ tak zůstává urychlení průjezdu a zkracování jízdní doby.

**Z těchto důvodů autor nepovažuje další práci na preferenci průjezdu tramvají při průjezdu křižovatkou podle odchylky od jízdního řádu za perspektivní. Pokračování v započatém trendu oddělování tramvajových tratí od okolního provozu je i přes vysoké náklady pravděpodobně přínosnější.**

## SEZNAM POUŽITÝCH INFORMAČNÍCH ZDROJŮ

1. WIKIDWITCH. Standard symbol for a tram as used in road signs in the United Kingdom. *Wikipedia*. [Online] 27. červen 2013. [Citace: 04. 01 2019.] [https://cs.m.wikipedia.org/wiki/Soubor:Uk\\_tram\\_icon.png](https://cs.m.wikipedia.org/wiki/Soubor:Uk_tram_icon.png).
2. TOP Znak s.r.o. *TOP znak*. [Online] TOP Znak s.r.o. [Citace: 04. 01 2019.] <https://www.topznak.cz/produkt/dopravni-znacka-ij4d/>.
3. PŘIBYL, Pavel a SVÍTEK, Miroslav. *Inteligentní dopravní systémy*. Praha : Nakladatelství BEN- technické literatury, 2001. ISBN 80-7300-029-6.
4. BEDNÁŘ, Tomáš. Brno : Eltodo, 21. Listopad 2018.
5. ŠIŠÁK, Ivo. *Preference MHD, Komunikační protokol RACOM*. [Dokument] Zlín : CROSS Zlín a.s., 2011.
6. C-Roads.cz. *Use case katalog verze 1.0*. [Online] 30. Březen 2017. [Citace: 28. Červen 2019.] <http://c-roads.cz/cs/specifikace-systemu-c-roads-czech-republic-1-0>.
7. C-Roads.cz. *Use case katalog verze 1.52*. [Online] Červenec 2019. [Citace: 12. Prosinec 2019.] [https://c-roads.cz/croads/wp-content/uploads/2019/11/C-Roads\\_CZ\\_UC\\_katalog\\_v1.52.pdf](https://c-roads.cz/croads/wp-content/uploads/2019/11/C-Roads_CZ_UC_katalog_v1.52.pdf).
8. *Inteligentné riadenie križovatiek*. KOHAN, Patrik a BÚTORA, Ivan. Bratislava : Oddelenie dopravného inžinierstva, Magistrát hlavného mesta SR Bratislavy, 2018. 47. Medzinárodné stretnutie dopravných odborníkov.
9. Bordeaux metropole. C the Difference. *City Twinning Program*. [Online] 2018. [Citace: 16. 11 2018.] [http://c-thedifference.eu/?page\\_id=22](http://c-thedifference.eu/?page_id=22).
10. *TP 81 - Navrhování světelných signalizačních zařízení pro řízení provozu na pozemních komunikacích*. místo neznámé : MDČR, 2015. 122/2015-120-TN/2.
11. Dopravní podnik hl. m. Prahy v datech. *Dopravní podnik hl. m. Prahy*. [Online] Dopravní podnik hl. m. Prahy a.s., 31. Prosinec 2017. [Citace: 23. Duben 2019.] <https://www.dpp.cz/dpp-v-datech/>.
12. Preference. *Pražská integrovaná doprava*. [Online] [Citace: 18. 5 2020.] <https://pid.cz/o-systemu/preference/>.
13. PERNICA, Marek. dopravní řešení. *2.30 Vídeňská - Celní, přejezd tramvaje*. Brno : Brněnské komunikace a.s., 2005.
14. PERNICA, Marek. dopravní řešení. *0.12 Moravské náměstí*. Brno : Brněnské komunikace a.s., 2005.

15. PERNICA, Marek. dopravní řešení. *7.08 Palackého - Kosmova*. Brno : Brněnské komunikace a.s., 2005.