

UNIVERZITA PARDUBICE  
DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA

DISERTAČNÍ PRÁCE

2024

Ing. Jaroslav Chlumecký

UNIVERZITA PARDUBICE  
DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA

**Synergie preferenčních opatření ve veřejné dopravě**

Ing. Jaroslav Chlumecký

Disertační práce

2024

**Studijní program:**

Technologie a management v dopravě

**Studijní obor:**

Technologie a management v dopravě

**Školitel:** doc. Ing. Pavel Drdla, Ph.D.

**Odborná práce vznikla na školicím pracovišti:**

Katedra technologie a řízení dopravy

Prohlašuji:

Práci s názvem Synergie preferenčních opatření ve veřejné dopravě 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 30.01.2024

Jaroslav Chlumecký v. r

#### Poděkování:

Velice rád bych poděkoval školiteli mé disertační práce doc. Ing. Pavlovi Drdlovi, Ph.D. za pomoc, vstřícný přístup a za cenné rady během zpracovávání disertační práce. Také bych rád rovněž poděkoval doc. Ing. Jaroslavu Kleprlíkovi, Ph.D. za spolupráci na této disertační práci. Kromě výše uvedeného bych rád poděkoval za možnost účastnit se v rámci vědeckovýzkumné činnosti Studentské grantové soutěže na Univerzitě Pardubice (2019–2023), která zásadním způsobem přispěla k dokončení této disertační práce.

## **ANOTACE**

Disertační práce na základě podrobné analýzy vědeckého poznání problematiky preferenčních opatření ve veřejné dopravě obsahuje návrh metodiky na správné hodnocení použití synergického preferenčního opatření. Pojmem synergie se rozumí propojení dvou nebo více opatření upřednostnění jízdy vozidla MHD za účelem zvýšení spolehlivosti dodržování jízdního řádu a zvýšení konkurenceschopnosti veřejné dopravy. K návrhu metodiky je použito několik výzkumných metod. Mezi tyto metody patří primárně matematický nástroj Petriho sítě, který je použit pro účel podrobné charakteristiky jednotlivých synergických opatření. Dále jsou použity vybrané metody vícekriteriálního rozhodování a porovnávání sloužící ke stanovení úhlu pohledu na přístup k řešení dané problematiky. Konkrétně je pro tento účel použita metoda analýzy silového pole a Saatyho metoda. Z této metodické části následně vyplývá verifikace a validace návrhu na konkrétní reálné síti a následné celkové vyhodnocení. Hlavním výstupem práce je obecné hodnocení jednotlivých synergií, které má dát rozhodovateli o realizaci daného preferenčního opatření informaci, zda ta konkrétní zamýšlená varianta je adekvátní či ne.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

městská hromadná doprava, městská mobilita preference veřejné dopravy, synergie

## **TITLE**

The Synergy of preferential measures in public transport

## **ANNOTATION**

The dissertation, based on a detailed analysis of scientific knowledge of the issue of preferential measures in public transport, contains a proposal for a methodology for the correct evaluation of the use of synergistic preferential measures. The term synergy refers to the connection of two or more measures for prioritizing the travel of public transport vehicles in order to increase the reliability of adherence to the timetable and increase the competitiveness of public transport. Several research methods are used to design the methodology. These methods primarily include the Petri net mathematical tool, which is used for the purpose of detailed characterization of individual synergistic measures. Furthermore, selected methods of multi-criteria decision-making and comparison are used to determine the point of view on the approach to the solution of the given issue. Specifically, the force field analysis method and the Saaty method are used for this purpose. This methodical part subsequently results in the

verification and validation of the proposal on a specific real network and subsequent overall evaluation. The main output of the work is a general evaluation of individual synergies, which should give the decision-maker about the implementation of the given preferential measure information whether the specific intended option is adequate or not.

## **KEYWORDS**

priority of public transport, urban public transport, synergy, urban mobility

# OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ.....	11
SEZNAM TABULEK .....	12
SEZNAM ZKRATEK.....	13
ÚVOD .....	14
<b>1 ANALÝZA VĚDECKÉHO POZNÁNÍ.....</b>	<b>15</b>
1.1 Právní prostředí .....	15
1.1.1 <i>Právní prostředí v rámci České republiky .....</i>	<i>15</i>
1.1.2 <i>Právní prostředí v zahraničí .....</i>	<i>16</i>
1.2 Rozdělení preference .....	19
1.3 Shrnutí rozdělení preference .....	21
1.4 Fyzická opatření změny dopravního režimu .....	22
1.4.1 <i>Bus Rapid Transit (BRT).....</i>	<i>22</i>
1.4.2 <i>Segregované tramvajové těleso (LRT) / vlakotramvaje .....</i>	<i>25</i>
1.5 Organizační opatření změny dopravního režimu .....	26
1.5.1 <i>Preference vyhrazenými jízdními pruhy/pásy .....</i>	<i>26</i>
1.5.2 <i>Intermittent or Dynamic Bus Lane (IBL/DBL).....</i>	<i>30</i>
1.5.3 <i>Ostatní organizační opatření .....</i>	<i>36</i>
1.6 Preferenční opatření na světelných signalizačních zařízeních .....	37
1.7 Koordinovaná a ostatní přímá opatření .....	42
1.8 Nepřímá preferenční opatření.....	44
1.8.1 <i>Kvalita veřejné dopravy .....</i>	<i>44</i>
1.8.2 <i>Systém tarifu a jízdních dokladů.....</i>	<i>45</i>
1.8.3 <i>Docházková vzdálenost, uspořádání a konstrukce zastávek a terminálů .</i>	<i>46</i>
1.8.4 <i>Podpůrné systémy veřejné dopravy.....</i>	<i>46</i>
1.8.5 <i>Ostatní .....</i>	<i>47</i>
1.9 Výběr vhodných preferenčních opatření pro návrhovou část .....	48
1.10 Shrnutí analýzy vědeckého poznání .....	51
<b>2 DEFINICE CÍLE PRÁCE.....</b>	<b>53</b>
<b>3 POUŽITÉ VÝZKUMNÉ METODY .....</b>	<b>54</b>
3.1 Identifikace systému.....	54
3.2 Analýza preferenčních opatření coby měkkých systémů .....	55
3.2.1 <i>Analýza silového pole.....</i>	<i>55</i>



3.2.2	<i>Petriho síť</i> .....	56
3.3	Další matematické metody .....	56
3.3.1	<i>BPR Funkce</i> .....	56
3.3.2	<i>Rozhodovací a hodnotící metody</i> .....	59
3.3.3	<i>Metoda bodovací, metoda pořadí</i> .....	59
3.3.4	<i>Saatyho metoda</i> .....	61
3.4	Zvolení přístupu k výběru vhodných metod .....	61
3.5	Výběr výzkumných metod pro sestavení metodiky .....	62
3.6	Shrnutí použitých výzkumných metod.....	64
<b>4</b>	<b>NÁVRH ŘEŠENÍ SYNERGIE MEZI PREFERENČNÍMI OPATŘENÍMI</b>	<b>65</b>
4.1	Identifikace a vymezení synergických opatření .....	65
4.1.1	<i>Identifikace vybraných preferenčních opatření jako systému</i> .....	66
4.1.2	<i>Vymezení synergických opatření pro návrh</i> .....	68
4.2	Rozbor synergických opatření.....	68
4.2.1	<i>Rozbor případu 1. synergie</i> .....	69
4.2.2	<i>Rozbor případu 2. synergie</i> .....	74
4.2.3	<i>Rozbor případu 3. synergie</i> .....	79
4.2.4	<i>Rozbor případu 4. synergie</i> .....	83
4.2.5	<i>Shrnutí rozboru vybraných synergických opatření</i> .....	86
4.3	Hodnocení jednotlivých synergických opatření .....	87
4.3.1	<i>Hodnocení případu 1. synergie</i> .....	88
4.3.2	<i>Hodnocení případu 2. synergie</i> .....	89
4.3.3	<i>Hodnocení případu 3. synergie</i> .....	89
4.3.4	<i>Hodnocení případu 4. synergie</i> .....	90
4.3.5	<i>Porovnání hodnotících kritérií</i> .....	91
4.3.6	<i>Dílčí shrnutí</i> .....	94
4.4	Návrh metodiky pro synergii preferenčních opatření.....	96
4.5	Verifikace .....	100
4.5.1	<i>Verifikace na sledované reálné síti</i> .....	101
4.5.2	<i>Výsledek sledování</i> .....	102
4.6	Validace jednotlivých synergických opatření na konkrétních úsecích .....	104
4.6.1	<i>Validace případu 1. synergie</i> .....	105
4.6.2	<i>Validace případu 2. synergie</i> .....	107
4.6.3	<i>Validace případu 3. synergie</i> .....	107

4.6.4	<i>Validace případu 4. synergie</i> .....	108
4.6.5	<i>Příklad aplikace navržené metodiky</i> .....	110
4.6.6	<i>Dílčí shrnutí</i> .....	118
4.7	Shrnutí návrhu řešení synergie mezi preferenčními opatřeními .....	119
<b>5</b>	<b>PŘÍNOSY NÁVRHŮ, VYHODNOCENÍ A DISKUSE VÝSLEDKŮ</b> .....	<b>120</b>
5.1	Hodnocení použitých výzkumných metod .....	120
5.2	Určení přínosů pro vědu a praxi .....	120
5.3	Sekundární efekty .....	121
5.4	Stanovení oblastí dalších témat výzkumu dané problematiky .....	122
<b>6</b>	<b>PŘÍNOSY DOKTORANDA Z DANÉHO TÉMATU</b> .....	<b>123</b>
	<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>124</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH INFORMAČNÍCH ZDROJŮ</b> .....	<b>125</b>
	<b>PUBLIKAČNÍ ČINNOST DOKTORANDA</b> .....	<b>133</b>

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Dopravní značení - vyhrazené jízdní pruhy pro autobusy v Rakousku .....	17
Obrázek 2: Příklad světelné signalizace určené pro vozidla MHD .....	17
Obrázek 3: Dopravní značení - vyhrazené jízdní pruhy pro autobusy ve Švýcarsku.....	18
Obrázek 4: Návrh rozdělení preferenčních opatření .....	21
Obrázek 5: Segregované pruhy v systému BRT (vlevo Nantes, vpravo Soul) .....	23
Obrázek 6: Systémy LRT vlevo a BRT vpravo v Adelaide .....	24
Obrázek 7: Příklady řešení vyhrazeného pruhu (vpravo Hamburg, vlevo Dresden) .....	28
Obrázek 8: Standardní v levém pruhu vyhrazený jízdní pruh v pražské ulici Úvalská .....	28
Obrázek 9: Schéma přerušovaného vyhrazeného jízdního pruhu (IBL) .....	30
Obrázek 10: Porovnání vztahu objemu dopravy a rychlosti vozidel IAD .....	32
Obrázek 11: Schéma řešení dynamického vyhrazeného jízdního pruhu pro BRT.....	35
Obrázek 12: Schéma systému iBus .....	40
Obrázek 13: Schéma realizování tzv. předvěsti (pre-signal) pro vozidlo MHD .....	42
Obrázek 14: Průběh parametru alfa v BPR Funkci při nabytí hodnot 0,2-2 .....	57
Obrázek 15: Průběh parametru beta v BPR Funkci při nabytí hodnot 0,2-4 .....	58
Obrázek 16: Průběh BPR funkce ze zdroje [82] .....	58
Obrázek 17: Grafické zobrazení oblastí problematiky pro správný výběr metod.....	62
Obrázek 18: Graf vazeb mezi jednotlivými prvky preference .....	66
Obrázek 19: Schéma synergie případu č. 1A .....	69
Obrázek 20: Schéma synergie případu č. 1B .....	70
Obrázek 21: P/T elementy případu č. 1A synergie preferenčních opatření .....	71
Obrázek 22: P/T elementy případu č. 1B synergie preferenčních opatření.....	73
Obrázek 23: Schéma synergie případu č. 2 .....	76
Obrázek 24: P/T elementy případu č. 2 synergie preferenčních opatření .....	77
Obrázek 25: Schéma synergie případu č. 3 .....	80
Obrázek 26: P/T elementy případu č. 3 synergie preferenčních opatření .....	81
Obrázek 27: Schéma synergie případu č. 4 .....	84
Obrázek 28: P/T elementy případu č. 4 synergie preferenčních opatření .....	85
Obrázek 29: Propojení hodnotících metod s pomocí MS Excel .....	95
Obrázek 30: Navržená metodika výběru synergického preferenčního opatření .....	97
Obrázek 31: Schéma úseku řešeného v příkladu aplikace navržené metodiky .....	111
Obrázek 32: Výsledek příkladu aplikace navržené metodiky .....	117

## SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Rozdělení preferenčních opatření .....	20
Tabulka 2: Modal split dopravních prostředků v Soulu v letech 2002-2009 .....	23
Tabulka 3: Hodnoty objemu dopravy, počtu vozidel MHD a průměrných rychlostí .....	33
Tabulka 4: Přehled použití preferenčních opatření v návrhové části disertační práce .....	49
Tabulka 5: Seznam preferenčních opatření použitých pro návrhovou část.....	49
Tabulka 6: Přehled možných metod pro ověření s komentářem k jejich vhodnosti použití ....	63
Tabulka 7: Seznam prvků v rámci preference veřejné dopravy a jim přiřazené funkce .....	67
Tabulka 8: Saatyho matice 1. hodnotícího přístupu .....	93
Tabulka 9: Saatyho matice 2. hodnotícího přístupu .....	93
Tabulka 10: Saatyho matice 3. hodnotícího přístupu .....	94
Tabulka 11: Seznam úseků s nejčastějším případem navyšování zpoždění vozidel MHD....	104
Tabulka 12: Přehled možného použití synergických opatření na problematických úsecích..	105

## SEZNAM ZKRATEK

AVL	automatická lokalizace vozidla / automatic vehicle location
BHLS	autobus vyšší úrovně služeb / bus high level of service
BRT	rychlá autobusová doprava / bus rapid transit
BST	částečně rychlá autobusová doprava / bus semi-rapid transit
ČSN	Československá technická norma / Czechoslovak technical standard
ČR	Česká republika / Czech Republic
DBL	dynamický vyhrazený pruh pro autobusy / dynamic bus lane
DP	disertační práce / dissertation
GPS	světový navigační systém / global positioning system
IAD	individuální automobilová doprava / individual transport
IBL	přerušovaný vyhrazený jízdní pruh / intermittent bus lane
IDS	integrováný dopravní systém / integrated transport system
LRT	lehká železniční doprava / light rail
MD	Ministerstvo dopravy ČR / Ministry of Transport in Czech Republic
MHD	městská hromadná doprava / urban public transport
MK	místní komunikace / local communication
MOVA	mikroprocesorové ovládání vozidla / microprocessor optimised vehicle actuation
PK	pozemní komunikace / roads
P+R	Park and Ride / Park and Ride
SSZ	světelné signalizační zařízení / light signaling device
TP	technické podmínky / technical conditions
XBL	vyhrazený jízdní pruh / exclusive bus lane

# ÚVOD

Celosvětovým trendem mobility obyvatelstva je snaha o maximalizaci využívání veřejné dopravy na úkor dopravy individuální, kde je pro účely disertační práce za zástupce individuální dopravy zpravidla považován osobní automobil. Veřejná doprava tak, aby správně plnila svou funkci a byla vůči individuální dopravě konkurenceschopná, vyžaduje řadu preferenčních (podpůrných) opatření. Preference veřejné dopravy je coby odborný termín tématem s velmi nedávnou historií vzniku, vznikala v 90. letech 20. století především v zemích západní Evropy, kde současně prošla největším rozvojem. V určitých systémech veřejné dopravy je pojmem neznámým, případně v provozu neuplatňovaným.

V posledních 20 letech se ve světě tato preference realizuje ve veřejné dopravě, kde je provedena většina řešení pouze izolovaně bez ohledu vlivu na okolí. Pro vyšší efektivitu aplikace jednotlivých preferenčních opatření je ale nezbytné, aby právě synergie mezi různými izolovanými podpůrnými řešeními pro upřednostnění veřejné dopravy nebyla opomíjena. Oblast synergie preferenčních opatření je v rámci disertační práce primárně zkoumána.

**Cílem disertační práce je s pomocí analýzy a kritického zhodnocení vědeckého poznání o preferenčních opatřeních při využití metod analýzy měkkých systémů a matematických rozhodovacích metod a přístupů sestavit metodiku pro hodnocení synergie preferenčních opatření ve veřejné dopravě. Tato metodika stanoví předběžné rozhodnutí, zda bude dané vybrané synergické opatření při řešení konkrétního problematického úseku dostatečně efektivní.**

# 1 ANALÝZA VĚDECKÉHO POZNÁNÍ

Analýza současného stavu vědeckého poznání je rozčleněna do podkapitol 1.1 – 1.8 vytvářejících logické celky odpovídající jednotlivým uplatněným úhlům pohledu.

Analýza je rozdělena na část zabývající se právním pohledem na řešenou problematiku z pohledu domácího i zahraničního prostředí. Zahraniční právní problematika je analyzována především ze zemí západní Evropy (Německo, Švédsko, Velká Británie), kde, jak již bylo zmíněno v kapitole Úvod, prošla preference veřejné dopravy od doby jejího vzniku největším rozvojem a předpokládá se, že bude v tomto oboru právní prostředí nejvíce propracováno. Následně je definováno rozdělení preferenčních opatření ze čtyř hledisek, jehož výsledkem a cílem je návrh určitého kompromisu tohoto rozdělení přímo autorem. V další části analýzy je pak uvedeno vědecké poznání jednotlivých preferenčních opatření podle jejich druhů napříč všemi informačními zdroji, které byly v rámci této rešerše autorem disertační práce nalezeny. Mezi tyto zdroje patří především odborné články z vědeckých databází, publikace, elektronické verze skript či vědeckých studií, ale také například výroční zprávy a ročenky provozovatelů městské hromadné dopravy (MHD).

Kromě přímých opatření jsou také analyzována preferenční opatření nepřímá. Závěrem této analýzy je realizováno stručné kritické shrnutí a provedena věcná návaznost analýzy vědeckého poznání na kapitoly 3 a 4 v rámci této práce.

## 1.1 Právní prostředí

Z pohledu právního prostředí je problematika preference veřejné dopravy v rámci České republiky i v zahraničí řešena v zákonech upravujících silniční dopravu, vyhláškách, nařízeních vlády, technických normách a v technických podmínkách. V podkapitolách 1.1.1 a 1.1.2 bude následně upřesněno, ve kterých právních předpisech se pojem preference veřejné dopravy, a především vybraná preferenční opatření vyskytují.

### 1.1.1 Právní prostředí v rámci České republiky

Preferenci veřejné dopravy v rámci ČR dle odborného webu o preferenci veřejné dopravy [1] právně řeší vybrané paragrafy (§13, §14, §25, §39, §72) **zákona č. 361/2000 Sb., o provozu na pozemních komunikacích** [2], ve znění pozdějších předpisů a ve vyhláše Ministerstva dopravy ČR č. 294/2015 Sb., kterou se provádějí pravidla provozu na pozemních komunikacích, ve znění pozdějších předpisů.

V následujících bodech je stručné shrnutí, jakou problematiku související s předmětem disertační práce zmíněné paragrafy zákona č. 361/2000 Sb. řeší. Jedná se o podmínky:

- objíždění stojícího vozidla městské hromadné dopravy (MHD) podél nástupního ostrůvku,
- vjezdu na tramvajový pás, či jeho přejíždění,
- jízdy vozidla ve vyhrazeném jízdním pruhu, pro něhož je určen,
- při odbočování vozidla z vyhrazeného jízdního pruhu, pro něhož je určen do pruhu pro ostatní uživatele místní komunikace (MK),
- vyjíždění vozidla MHD z prostoru zastávky do jízdního pruhu,
- používání světelného signalizačního zařízení pro tramvaje.

Výše uvedenou právní úpravu doplňují technické normy, mezi které patří:

- ČSN 73 6110 Projektování místních komunikací,
- ČSN 73 6102 Projektování křižovatek pozemních komunikací,
- ČSN 73 6425-1 Autobusové, trolejbusové a tramvajové zastávky, přestupní uzly a stanoviště.

Zároveň tuto právní úpravu doplňují také následující technické podmínky:

- TP 65 Zásady pro dopravní značení na pozemních komunikacích,
- TP 81 Navrhování SSZ pro řízení silničního provozu,
- TP 103 Navrhování obytných a pěších zón.

### **1.1.2 Právní prostředí v zahraničí**

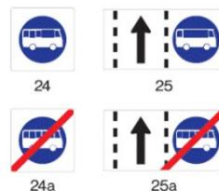
V zahraničních právních úpravách týkajících se problematiky tématu disertační práce se vyskytuje řada různých ustanovení. Mezi tato ustanovení v souvislosti s tématem preference veřejné dopravy se řadí ustanovení o respektování podélného i vodorovného dopravního značení o vyhrazených jízdních pruzích, případně o dávání přednosti vozidlům MHD například při výjezdu ze zastávkového zálivu či z terminálů. Konkrétní pravidla a předpisy v těchto právních úpravách jednotlivých států jsou uvedeny v následujících odstavcích této kapitoly.

V **Německu** jsou dopravní předpisy stanoveny v silničním dopravním řádu StVO (Straßenverkehrs – Ordnung) a v obecných předpisech silničního provozu VwV – StVO (Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Straßenverkehrs – Ordnung). [3, část 3] Součástí pravidel silničního provozu je dopravní značka č. 245, která stanovuje povolení vjezdu pouze



autobusům. Povolení pro další typy vozidel je zpravidla doplněno vodorovným dopravním značením. Dle katalogu pokut [4] jsou stanoveny finanční sankce v případě porušení tohoto značení, které začínají ve výši 15 EUR, v případě zastavení v daném pruhu až 55 EUR.

V **Rakousku** platí konsolidovaný spolkový zákon [5] předpisů o silničním provozu BGBl. Nr. 159/1960 (Bundesrecht konsolidiert: Gesamte Rechtsvorschrift für Straßenverkehrsordnung) ve znění pozdějších předpisů. Dopravní značení dále doplňuje a upravuje zákon StVZO (Straßenverkehrszeichenverordnung). Zde je stanovena dopravní značka o vyhrazeném jízdním pruhu pro autobusy, kterou zobrazuje obrázek 1 (§53 BGBl. Nr. 159/1960). [5] Podmínky a finanční sankce za neoprávněné užití vyhrazeného jízdního pruhu jsou podobné těm, které stanovují právní předpisy v Německu.



Obrázek 1: Dopravní značení - vyhrazené jízdní pruhy pro autobusy v Rakousku

Zdroj: [5]

Kromě dopravního značení informující o vyhrazených jízdních pruzích se v Německu či Rakousku uvádí a realizuje často také zvláštní světelné signalizační zařízení pro vozidla MHD, která je rovněž součástí dopravního značení. Takovou signalizaci zobrazuje Drdla [6] na obrázku 2. Na tomto obrázku se kromě signálů v levé části nachází také výzvodová návěstidla zobrazující směr, pro který je připravovaný signál pro vozidla MHD detekován.

Signál	Význam	Signál	Význam
	<b>Fahrt frei für geradeaus</b> Volno přímo		<b>Halt</b> Stůj
	<b>Fahrt freigegeben nur nach rechts</b> Volno vpravo		<b>Halt zu erwarten</b> Pozor! Následuje stůj
	<b>Fahrt freigegeben nur nach links</b> Volno vlevo		<b>Fahrt freigegeben unter Beachtung der Abbiegeregeln nach §9 der Straßenverkehrsordnung</b> Volno při respektování pravidel pro odbočení podle § 9 Nařízení o silničním provozu. Používá se tam, kde tramvaj nemá ani signalizaci zajištěn bezkolizní průjezd křižovatkou.
	<b>Fahrt-Bereitschaft</b> Pohotovost k jízdě. Obdobě české předzvěsti NÁSLEDUJE VOLNO. Umísťuje se obvykle na signalizaci v blízkosti zastávek. Řidič se může na tento polyn připravit k odjezdu.		<b>Kontakt-Anforderung</b> Přihlašovací signál. Signalizuje přijetí preferenčního nároku vozidla.
	<b>Türen schließen</b> Dveřní signál. Stejný význam jako F, tedy NÁSLEDUJE VOLNO. V Mnichově se nepoužívá, ale obvyklý je jinde v Německu.		<b>Anforderungssignal</b> Přihlašovací signál. Stejný význam jako K. V Mnichově se nepoužívá, ale obvyklý je jinde v Německu.
	<b>Abfahren</b> Odjezd! Odjezdový signál na zastávkách, který informuje řidiče, kdy odjet ze zastávky, aby na blízké signalizaci projel plynule.		



Obrázek 2: Příklad světelné signalizace určené pro vozidla MHD

Zdroj: [6]

Ve **Švýcarsku** platí vyhláška o signalizaci (Signalisationsverordnung) SR 741.21 [7] z roku 1979, aktualizovaná 1. ledna 2021, kde jsou rovněž uvedeny informace o dopravním značení, informující o přítomnosti vyhrazeného jízdního pruhu pro vozidla MHD jak v podélném, tak v příčném provedení. Značení vyhrazeného pruhu zobrazuje obrázek 3.



Obrázek 3: Dopravní značení - vyhrazené jízdní pruhy pro autobusy ve Švýcarsku

Zdroj: [7]

Ve **Velké Británii** platí dopravní zákon Transport Act [8] z roku 1968 (ve znění všech pozdějších změn), který dále rozšiřuje celá řada vyhlášek a novelizací, konkrétně například zákon o regulaci silničního provozu z roku 1984 (Road Traffic Regulation Act 1984), nebo vyhláška o světelných signálech z roku 1988 (Road Vehicles Lighting Regulations). Zde je upravena problematika dávání přednosti vozidlům MHD, zákaz objíždění školních autobusů či dodržování zákazu vjezdu do vyhrazených jízdních pruhů.

I například **švédská** vyhláška o dopravních značkách (Vägmärkesföreläggning SFS 2007:90) z roku 2007 [9] zahrnuje dopravní značení týkající se vyhrazených jízdních pruhů. V této vyhlášce jsou uvedena i návěstidla pro jízdu vozidel MHD, které určují směr a volnost dané dopravní cesty. Tyto typy signalizace se používají i v Německu nebo v Rakousku, součástí obecných pravidel silničního provozu ovšem nejsou.

V problematice pravidel silničního provozu s návazností na vedení vozidel veřejné dopravy není ve všech subsystémech jednotnost pravidel nezbytná. Kolejové městské subsystémy jsou zpravidla v rámci jedné konkrétní sítě (jednoho či více do nich zapojených měst) uzavřené a nebývají propojené s jinými zahraničními kolejovými subsystémy. Naopak u silniční respektive nekolejové dopravy by měla být dopravní řešení co nejvíce homogenní tak, aby i zahraniční řidiči IAD (individuální automobilové dopravy) správně pochopili a reagovali na daná preferenční řešení a ta tak byla co nejvíce efektivní.

V rámci jednotného právního prostředí EU neexistuje žádný právní dokument, který by vysloveně nutnost preference veřejné dopravy nařizoval, každý stát má tak vlastní právní přístup k této problematice.

Má-li být provedeno shrnutí této kapitoly 1.1, pak je nezbytné zmínit, že podrobnější právní pohled na preferenci veřejné dopravy v rámci vybraných dokumentů řešících právní úpravu států o pravidlech silničního provozu a s tím souvisejících uveden není. Zákony, předpisy, vyhlášky a nařízení jsou sice průběžně aktualizovány, nicméně jejich vznik je poplatný době, kdy byla problematika preference veřejné dopravy spíše neznámým pojmem.

## 1.2 Rozdělení preference

V obecném pohledu na preferenci veřejné dopravy existují různé způsoby opatření, jak danou preferenci realizovat. Gardner [10, s. 12] uvádí **rozdělení preferování vozidel MHD** na fyzická opatření, prioritu vozidel na SSZ a na opatření integrovaná.

Mezi **fyzická opatření** preference patří vyhrazené jízdní pruhy, ulice vyhrazená pouze pro autobusy s vyloučením IAD nebo vyhrazené pruhy pro autobusy v opačném směru jednosměrné ulice. **Opatření integrovaná** jsou pak taková opatření, kde je realizována kombinace fyzického opatření a umožnění **priority vozidel MHD na SSZ**. Ta jsou dle Gardnera [10, s. 13] realizována tam, kde samotný jeden druh opatření není efektivní.

Drdla [6, s. 105] naopak rozděluje preferenční opatření na opatření přímá a nepřímá, které následně dělí podle provedení daného opatření. Přímé nástroje preference jsou pak rozděleny dvěma způsoby. **První způsob členění přímých nástrojů** je na:

- koncepční preference (začlenění preference již v rámci koncepce řešení dopravní politiky, studií a projektů komunikačních sítí atd.),
- prostorovou plynulost a preference (vyhrazená či vyznačená plocha vozovky),
- provozní preference (přednost MHD na základě zvláštního dopravního opatření),
- legislativní preference (přednost vyplývající ze zákona a jiných právních úprav),
- dozorovou preference (kontrola dodržování pravidel silničního provozu).

**Druhý způsob členění přímých nástrojů** je dle Drdly [6, s. 105] pak na:

- preference na světelných signalizačních zařízeních,
- preference vyjádřenou dopravním značením příp. změnou dopravního režimu,
- preference využívající stavebních úprav včetně úprav zastávek.

Tento druhý způsob členění podrobněji zobrazuje tabulka 1.

Výše uvedený pohled na problematiku rozdělení preference vozidel MHD je v podstatě podobný tomu, který uvádí Gardner [10, s. 12]. Pojem fyzická opatření zde zastupuje opatření

využívající stavebních úprav, pojem priority vozidel na SSZ zahrnují v rozdělení oba uvedené zdroje, naopak Drdla navíc řeší opatření nepřímá, která by neměla být v rámci preference veřejné dopravy rozhodně opomíjena.

Tabulka 1: Rozdělení preferenčních opatření

<b>PŘÍMÉ</b>	PREFERENCE NA SSZ – formy preference	ABSOLUTNÍ
		PODMÍNĚNÁ
	PREFERENCE NA SSZ – způsoby preference	ZMĚNA POŘADÍ FÁZÍ
		PRODLUŽOVÁNÍ/ZKRACOVÁNÍ FÁZÍ
		VLOŽENÍ FÁZE NAVÍC
		PŘEDSAZENÍ SSZ
		ZVLÁŠTNÍ SIGNÁLY PRO MHD
	PREFERENCE NA SSZ – dle způsobu detekce vozidla	PASIVNÍ DETEKCE
		SMĚROVÁ DETEKCE
		RUČNÍ NÁROK NA PREFERENCI (kontaktní zámky)
	PREFERENCE VYJÁDŘENÁ DOPRAVNÍM ZNAČENÍM/ZMĚNOU DOPRAVNÍHO REŽIMU	ZÁKAZY/PŘÍKAZY
		VYHRAZENÉ JÍZDNÍ PRUHY
		VYHRAZENÉ KOMUNIKACE
		ZMĚNA ORGANIZACE DOPRAVY
	PREFERENCE VYUŽÍVAJÍCÍ STAVEBNÍCH ÚPRAV	VLASTNÍ TĚLESO DOPRAVNÍ CESTY
ZVÝŠENÉ TĚLESO DOPRAVNÍ CESTY		
FYZICKÉ ODDĚLENÍ		
OSTATNÍ (knoflíky, sloupky, ...)		
<b>NEPŘÍMÉ</b>	KVALITNÍ NABÍDKA ODPOVÍDAJÍCÍ POPTÁVCE	
	VYTVÁŘENÍ INTEGROVANÝCH DOPRAVNÍCH SYSTÉMŮ	
	INFORMAČNÍ SYSTÉMY A SYSTÉMY PRODEJE JÍZDNÍCH DOKLADŮ	
	PRAVIDELNOST A PŘESNOST PROVOZU	
	ŘEŠENÍ ZASTÁVEK	
	NASAZOVÁNÍ NOVÝCH VOZIDEL	
	ZAVÁDĚNÍ NOVÝCH SYSTÉMŮ DO MHD	

Zdroj: [6]

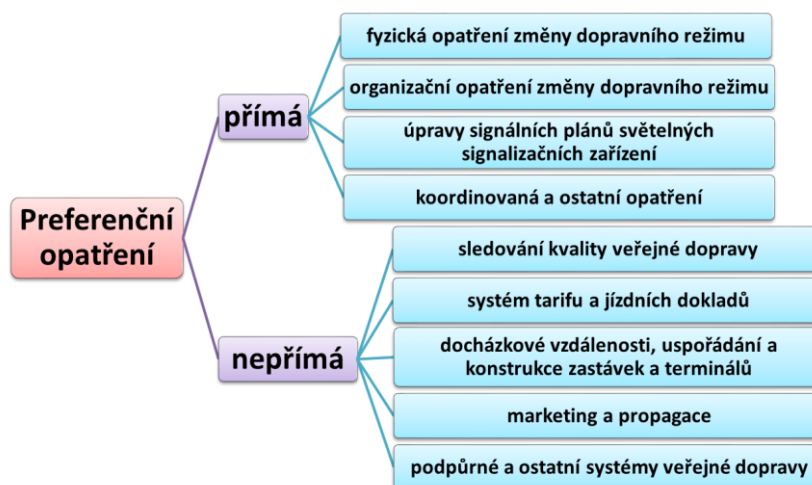
Na rozdělení preference je možno také nahlížet z pohledu tímto nástrojem potlačovaných negativních jevů, které způsobují narušení (prodloužení) jízdních dob vozidel MHD. Novotný [11] zmiňuje základní faktory, které působí na jízdu vozidla MHD, konkrétně objem automobilové dopravy ve vztahu ke kapacitě PK, SSZ na křižovatkách, parametry jejich signálních plánů a úrovně priority veřejné dopravy a rozložení PK, uspořádání uliční sítě, uspořádání jízdních pruhů, právo na cestu atd.

Birr [12] řeší nejčastější vlivy na zdržení vozidla MHD (především autobusů či trolejbusů), které se jednotlivě dají rovněž vnímat jako určité dělení preference. Hlavními důvody podle Birra jsou zdržení vozidla na zastávce MHD, zdržení vozidel na křižovatce řízené SZZ, zdržení vozidel v místě kongescí a zdržení vozidel z důvodu dávání přednosti v jízdě. Vuchic [13, s. 244] také rozděluje ve své monografii systémy MHD podle míry jejich oddělení

od IAD, a to následně na systémy se zcela oddělenou dopravní cestou od IAD, s částečně oddělenou dopravní cestou od MHD a společné s IAD.

### 1.3 Shrnutí rozdělení preference

Autor práce následně navrhuje zjednodušené dělení preferenčních opatření na základě rešerše dostupných zdrojů, které se tímto členěním zabývají. První úroveň rozdělení preferenčních opatření je dle autora jednoznačně dělení na preferenční opatření **přímá** a **nepřímá**. Zde se autor přiklání k rozdělení Drdly [6, s. 105]. Je nezbytné, aby bylo na preferenci pohlíženo na dvou úrovních, a to na úrovni konkrétního provedení toho kterého opatření, ale zároveň také na opatření podpůrná. Není efektivní, aby byla realizována úplná segregace se 100% spolehlivostí jízdy vozidel MHD bez podpůrných opatření. Druhou úroveň rozdělení preferenčních opatření navrhuje autor následovně. Přímá preferenční opatření autor navrhuje rozdělit na **fyzická opatření změny dopravního režimu, organizační opatření změny dopravního režimu, úpravy signálních plánů SSZ, koordinovaná a ostatní opatření přímé preference**. **Nepřímá preferenční opatření** autor rovněž navrhuje dělit následně na sledování kvality veřejné dopravy, systém tarifů a jízdních dokladů, docházkové vzdálenosti, uspořádání zastávek a terminálů, marketing a propagace, podpůrné a ostatní systémy veřejné dopravy. Grafické navrhované dělení preferenčních opatření zobrazuje graf na obrázku 4.



Obrázek 4: Návrh rozdělení preferenčních opatření

Zdroj: autor s využitím [6], [10], [11], [12]

Následující kapitoly 1.4 – 1.6 výše uvedené body analyzují podrobněji. Nepřímá preferenční opatření podrobněji charakterizuje kapitola 1.7.

## 1.4 Fyzická opatření změny dopravního režimu

Mezi hlavní fyzická opatření změn dopravního režimu patří systémy BRT (Bus Rapid Transit) a LRT (Light rail). Tyto systémy jsou v rámci preferenčních opatření velmi efektivní, jelikož zcela segregují jízdu vozidla MHD od ostatních vozidel (IAD) a zajišťují tak v podstatě garanci dodržování jízdního řádu a rychlého spojení bez výrazného zdržení v místech křížení s ostatní dopravou. Jedná se dle Vuchice [14, s. 256] o tzv. mezistupně mezi klasickým autobusovým a tramvajovým subsystémem a subsystémem metra. Tyto dva základní systémy, které vyžadují nákladnější fyzické opatření a větší zábor městského prostoru, charakterizují kapitoly 1.4.1 a 1.4.2.

### 1.4.1 Bus Rapid Transit (BRT)

Princip systému BRT je dle Fioria [15] založen na zcela odděleném provozu autobusů od IAD. V různých zemích, kde je tento systém provozován, má různá pojmenování, například: velkokapacitní autobusové systémy (high-capacity bus systems), vysoce-kvalitní autobusové systémy (high-quality bus systems), metrobus, povrchové metro, expresní autobusový systém (express bus system), BST („Bus Semirapid Transit“), BHLS (Bus High Level of Service), či jednoduše autobusová místní komunikace. Tato pojmenování uvádí ve své monografii jak Vukan [13, s. 254], tak Fernandez-Sanchez [16]. Dle S. Levinsona [17] je velkou výhodou BRT oproti kolejové dopravě nezávislost na dopravní cestě v celé síti. Vzhledem k tomu, že BRT je nekolejový druh dopravy, tak není nutné budovat například obratiště, nebo vyhrazenou jízdní dráhu v oblastech předměstí, či v extravilánu. Oproti kolejové dopravě má BRT výrazně větší provozní flexibilitu a potenciálně nižší provozní náklady.

Systém úplné segregace tranzitní autobusové dopravy BRT je dle Fioria [15] a S. Levinsona [17] v provozu například v Severní a Jižní Americe (Ottawa, Miami, Houston, Los Angeles, ...), Asii (především Čína, Jižní Korea, ale i Indie), Austrálii (Melbourne, Brisbane), ale také i v Evropě (Essen, Leeds, Rouen). Stále se rozšiřuje například ve Francii, Velké Británii či v Irsku. Dle Fernandez-Sancheze [16] se BRT využívá celkem ve 186 městech na světě. Kapacita vozidel autobusů systému BRT je 80-150 cestujících v závislosti na typu vozidla. Například v Irsku se dle oficiální zprávy [18] používají vozidla standardní délky 12 metrů, či článková o délkách 18,5 nebo 24,5 metru.

Pucher [19] řeší například realizaci systému BRT ve městě Soul. Nepříliš dobře fungující veřejná doprava ve městě se v roce 2004 změnila. Bylo zde kromě běžných vyhrazených jízdních pruhů realizováno přes 200 km vyhrazených pruhů pro BRT. Řešení

systemu BRT zobrazuje obrázek 5. Principem je řešení vyhrazeného pruhu systému BRT uprostřed místní rychlostní komunikace a na rozdíl od běžných vyhrazených jízdních pruhů řešených v kapitole 1.5.1 zde není možnost vést vozidla taxislužby či umožnit průjezd cyklistům. Přístup k zastávkám BRT, které jsou rovněž uprostřed, je zpravidla v úrovni (přechodem pro chodce), výjimečně je řešen mimoúrovňově.



Obrázek 5: Segregované pruhy v systému BRT (vlevo Nantes, vpravo Soul)

Zdroj: [19][95]

Město Soul považuje tento systém rychlé autobusové přepravy (BRT) v rámci segregovaných jízdních pásů jako levnější a výhodnější alternativu městské dráhy/metra. Po zavedení systému BRT se zvýšila průměrná rychlost autobusů na dané infrastruktuře o 33-64 %. Kim, Cheon a Lim [20] po zavedení systému BRT v Soulu hodnotí, jaký přínos pro kvalitu veřejné dopravy v předmětném městě tento systém přinesl. Výsledkem studie je výrazné snížení podílu IAD ve městě. Tímto segregovaným systémem jsou vedeny jak linky okružní, tak tangenciální či příměstské. [20] Studie zároveň poukazuje na zjednodušení systému veřejné dopravy, lepší orientaci mezi jednotlivými linkami a obecně snížení počtu uživatelů IAD. Modal split procentuálního využití jednotlivých dopravních prostředků zobrazuje tabulka 2.

Tabulka 2: Modal split dopravních prostředků v Soulu v letech 2002-2009

Rok	Autobus	Metro	IAD	Taxi	Ostatní
2002	26,0	34,6	26,9	7,4	5,1
2003	25,6	35,6	26,4	7,1	5,3
2004	26,2	35,8	26,4	6,6	5,0
2005	27,5	34,8	26,3	6,5	4,9
2006	27,6	34,7	26,3	6,3	5,1
2007	27,6	34,9	26,3	6,2	5,0
2008	27,8	35,0	26,0	6,2	5,0
2009	27,8	35,2	25,9	6,2	4,9

Zdroj: [20]

Vlivem provozu BRT v Soulu kromě výše uvedeného došlo také navíc k rozvoji městských center, především pak přesídlení firem i části obyvatel z předměstí. Zde tak BRT dle



studie a vyhodnocení Miung-Jina [21] slouží jako protiváha k nežádoucímu rozrůstání měst do extravilánu.

McGreevy [22] řeší systém BRT ve městě Adelaide (O'Bahn BRT) v Austrálii. Cena za kilometr této segregované dráhy činí 1–10 milionů dolarů, což je zhruba sedmina nákladů na jeden kilometr tzv. LRT (neboli rychlé tramvajové rychlodráhy). BRT dle průzkumu ve studii Caina a Flynnna [23] je oblíbené i u cestujících, kteří běžně využívají pouze kolejovou dopravu, jelikož se jedná o rychlý a kolejové dopravě blízký systém. Poukazují také na to, že realizace segregovaných tras BRT nevyžaduje nákup nových autobusů, využijí se dopravní prostředky z běžného autobusového provozu. Struktura veřejné dopravy města Adelaide spočívá v páteřní městské rychlodráze v centru města, nicméně do okrajových částí města a na předměstí je autobusová doprava vedena pouze omezeně, a navíc po běžných PK, které jsou kapacitně nad limitem díky vysoké intenzitě IAD a potýká se tak s častými provozními nerovnoměrnostmi. Právě v takových případech je u těchto typů městských systémů ekonomicky a provozně přijatelné budování BRT. Systém BRT se uplatní především na těch PK, kde je více jízdních pruhů, pokud není veden zcela mimo PK segregovaně. V Adelaide je navíc dle Trubii a spol. [24] použita zcela odlišná konstrukce koridoru BRT, která zamezuje užití této dopravní cesty vozidly IAD, čemuž oddělený běžný asfaltový segregovaný pás vždy nezamezí.



Obrázek 6: Systémy LRT vlevo a BRT vpravo v Adelaide

Zdroj: [22]

V návrhové části nebude s problematikou BRT dále pracováno. Jedná se o fyzické opatření vyžadující značné náklady na realizaci, které je v souladu se stanoveným cílem práce vhodné ponechat na nezbytném minimu. Zjištěné informační zdroje a jejich obsah zabývající se BRT autor uvedl z důvodu komplexnosti analýzy všech preferenčních opatření, která se ve světě vyskytují a kterými se zabývají odborníci na tuto problematiku. Na základě zjištěných



informací uvedených informačních zdrojů vyplývá, že BRT jako systém nacházející se svou funkcí na rozhraní mezi autobusovým subsystémem a subsystémem metra (městske dráhy) vyžaduje také kromě značných nákladů na jeho realizaci podstatný zábor prostoru. Ten ale zpravidla při řešení problematických úseků s pomocí preferenčních opatření není k dispozici.

#### **1.4.2 Segregované tramvajové těleso (LRT) / vlakotramvaje**

Použití segregovaného tramvajového tělesa je dle Novotného a spol. [25] účelné především v místech komplikovaného křížení s PK (pozemní komunikací), se železniční tratí a případně pro zajištění kvalitního a rychlého spojení tramvajovou dopravu s minimálním, respektive vyloučeným narušením ze strany ostatních uživatelů dopravního prostoru. V některých státech (např. Austrálie) se místo segregovaného tramvajového tělesa používá označení LRT, neboli Light rail/rychlodrážní tramvaj, vybrané evropské země používající tento systém jej nazývají jako vlakotramvaj. Zjednodušeně existují dvě hlavní formy tzv. LRT, konkrétně jako rychlé tramvajové spojení v rámci města výhradně po segregovaných tramvajových tratích (ekonomicky přijatelnější alternativa k městske dráze/metru) nebo síť tramvajové dopravy přecházející na předměstí či za hranicemi města v typickou železniční dopravu (vlakotramvaje/tramtrain). Novotný a spol. [25] či Furlan a Sipe [26] uvádí, že LRT, nebo light rail, je mezníkem mezi klasickou tramvají a konvenční železnicí. De Bruijn a Veenemand [27] ve své studii řeší možnosti zavedení daného systému v Nizozemsku. Ve světě se rychlodrážní tramvaje provozují například v Mulhouse ve Francii, v Karlsruhe v Německu, v Portlandu v USA, v Sheffieldu ve Velké Británii, či například v Dauhá v Kataru. V Austrálii je provozována rychlodrážní tramvaj například v Adelaide (viz obrázek 6). [26] [27]

Lehká železnice může být dle Olesena [28] a Ferbache [29] realizována buď rekonstrukcí a úpravou klasické tramvajové tratě, či zcela nově vybudována. Studie autorů porovnávala vliv lehké železnice na začlenění do města vybraných odlišných systému ve Francii a Norsku. Podle nich je nezbytné, aby bylo budování těchto tratí LRT chápáno jako projekt klíčového městskeho rozvoje, změnu městske struktury a designu. Jen tak lze docílit kladného přijetí systému budoucími potenciálními uživateli.

V Karlsruhe je dle oficiálních webových stránek provozovatele veřejné dopravy [30] takto provozováno 18 linek, kde síť LRT tvoří běžné tramvajové trasy v centru města, do předměstských a příměstských oblastí využívají linky této sítě běžné železniční tratě. Systém zde funguje již od roku 1979, počet cestujících se od doby začátku fungování tohoto systému

několikanásobně zvýšil, přispěl také k velkému rozvoji bydlení podél tras LRT linek. V Německu je síť LRT obecně velmi rozšířená, zpravidla se označuje pojmem „Stadtbahn“, což je v překladu lehká železnice a zahrnuje jak klasický tramvajový provoz, tak také navazující úseky (tj. LRT úseky) s vyšší průměrnou rychlostí. Ta se v Německu pohybuje dle dostupné statistiky [31] mezi 23,2 – 33,5 km·h<sup>-1</sup>, přičemž běžný tramvajový provoz například v Praze má dle statistik Dopravního podniku hlavního města Prahy, [32] a.s. průměrnou rychlost ve výši 19,5 km·h<sup>-1</sup>. V rámci ČR rovněž navíc existují plány [33] na realizaci vlakotramvaj (po vzoru systému v Karlsruhe), které by měly zajišťovat spojení okrajových obcí extravilánu s centrem města. Ve Vídni kromě klasických tramvaj „Stadtbahn“ je dle [34] v provozu také tzv. Badner Bahn. Jedná se o kombinaci jízdy po klasické tramvajové trati na území města Vídeň a Baden, zatímco trasa mimo města vede po zcela segregované trati, kde je traťová rychlost ve výši až 80 km·h<sup>-1</sup>.

Stejně, jako BRT je i LRT opatřením pro preferenci veřejné dopravy, které vždy vyžaduje zásadní stavební úpravy a jejich použití znamená vynaložení značných finančních prostředků. Pro návrhovou část autor jejich zahrnutí tak rovněž do tohoto návrhu nepředpokládá, byť efekt těchto opatření zpravidla bývá ve vztahu k stabilizaci jízdního řádu dotčených vozidel MHD velmi znatelný. Důvodem nezahrnutí těchto opatření pro tvorbu návrhové části této disertační práce a do návrhu metodiky hodnocení synergických opatření jsou právě vysoké náklady na realizaci. Tato uvedená problematika však může být podkladem pro další výzkum v rámci tohoto řešeného oboru.

## **1.5 Organizační opatření změny dopravního režimu**

Organizační opatření změny dopravního režimu jsou ta opatření, která jsou z hlediska nákladů na realizaci levnější než ta fyzická. Tato opatření jsou zpravidla realizována v rámci stávající dostupné sítě PK a není tak nutné rozšiřovat těleso PK. Efekt těchto opatření není ve všech případech tak výrazný, jako u opatření fyzických. Využívají se spíše k zajištění vyšší stability jízdního řádu. Tato opatření podrobněji charakterizují kapitoly 1.5.1 a 1.5.2.

### **1.5.1 Preference vyhrazenými jízdními pruhy/pásky**

Dle Viegase a Lu [35] je na PK v oblastech SSZ, kde dochází k častým kongescím a prodlužování cestovní doby autobusů v rámci MHD, zpravidla aplikováno preferenční opatření formou vyhrazeného jízdního pruhu pouze pro autobusy (popř. trolejbusy). Vyhrazený pruh pro autobusy je nízkonákladová možnost preference, která je obecně při aplikaci preferenčních opatření nejžádanější. Toto opatření je dle jejich studie realizovatelné pouze

u dvou a vícepruhových komunikací, kdy je jeden z pruhů vyhrazen pro vozidla MHD. Může mít různá provedení ať už z hlediska vozidel, která mohou tyto vyhrazené pruhy použít, tak také z hlediska časového omezení. Realizován je také v ČR, kde je dle ročenky dopravy z roku 2020 [36, s. 53] například v Praze délka vyhrazených jízdních pruhů pro autobusy 56 km. Toto opatření se nachází v mnoha dalších městech v ČR, například v Plzni, Jihlavě, Pardubicích, Českých Budějovicích, Ostravě či v Brně. [36] [37] [38] [39] V ČR se nejčastěji používají vyhrazené jízdní pruhy s vyhrazením pro použití vozidel MHD, cyklistů, vozidel taxislužby a vozidel integrovaného záchranného systému. **Vyhrazené jízdní pruhy** mohou být časově omezené (tj. s vyhrazením pouze v hodinách dopravní špičky v pracovních dnech) nebo trvalé. Dle Novotného a spol. [25] je nutno podotknout, že vozidla MHD takový vyhrazený jízdní pruh mohou, ale nemusí využít. Zároveň upozorňují na to, že časově omezený vyhrazený jízdní pruh není zcela vhodným řešením především z toho důvodu, že v době mimo dopravní špičku není tak vysoká dopravní intenzita, během níž by bylo nutné umožnit vjezd vozidlům IAD i do vyhrazeného pruhu pro autobusy a měnit tak v tomto období jeho funkci.

Pro návrhovou část je zde zásadní, že existuje několik forem vyhrazených jízdních pruhů a jejich provedení v závislosti na tom, čeho je nezbytné či žádoucí v problematickém úseku, kde dochází ke snižování cestovní rychlosti vozidel MHD, docílit. Konkrétní rozbor synergie vyhrazeného jízdního pruhu s ostatními preferenčními opatřeními bude dále charakterizován v návrhové kapitole 4.2 a v související verifikační (kapitola 4.5) a validační (kapitola 4.6) části návrhové kapitoly.

Dalším typem v rámci vyhrazených pruhů je dle Novotného a spol. [25] také tzv. **vyhrazený řadicí pruh**, který se realizuje před křižovatkou a umožňuje tak rychlé předjetí vozidla MHD případné kongesce ve standardních jízdních pruzích. Používá se také **výlučný směr v řadicím pruhu**, kde vozidlo MHD využije řadicí pruh (pro ostatní vozidla pruh určen výlučně pro odbočení), na který navazuje standardní vyhrazený jízdní pruh v příslušném směru.

Na obrázcích 7 a 8 jsou uvedeny příklady vyhrazeného jízdního pruhu trvale či časově omezeného, případně společného tělesa pro tramvaje i autobusy v německých Drážďanech.



Obrázek 7: Příklady řešení vyhrazeného pruhu (vpravo Hamburg, vlevo Dresden)

Zdroj: [93][94]

Na autobusových zastávkách se dle Novotného a spol. [25] instalují v místech, kde je vyšší intenzita provozu, také **vyhrazené pruhy pro výjezd ze zastávky s výlučnou předností vozidel MHD**, kdy ostatní vozidla v průběžných jízdnicích musí dát vozidlu MHD přednost. Přednost může být v některých případech doplněna i světelným signalizačním zařízením. Kromě výše uvedeného je v současnosti často realizováno opatření, kde jsou vyhrazené jízdnicí pruhy pro autobusy součástí tramvajového pásu (tzv. **sdužený tramvajový a autobusový pás**). Novotný a spol. [25] také uvádí tzv. **Tempo 50**, kdy je vyhrazený jízdnicí pruh kombinován se světelným signalizačním zařízením. V takovém případě je dle zdroje [40] podmínkou součinnost světelné signalizace a fyzické jízdy autobusu, přičemž tuto koordinaci podrobněji charakterizují kapitoly 1.6 a 1.7.

Vyhrazený jízdnicí pruh/pás má různé druhy, z nichž nejčastější je ten běžný (výše charakterizovaný). Vyskytují se i tzv. zcela segregované, které jsou součástí systému Bus Rapid Transit (uvedený v kapitole 1.4.1), či tzv. přerušované vyhrazené jízdnicí pruhy (uvedené v kapitole 1.5.2).



Obrázek 8: Standardní v levém pruhu vyhrazený jízdnicí pruh v pražské ulici Úvalská

Zdroj: Autor

Trvale vyhrazený jízdní pruh (v některých zdrojích označovaný jako EBL/XBL – exclusive bus lane) řeší například studie Abdelfataha a Abdulwahida [41], kteří se zaměřují na několik doporučení při používání vyhrazeného jízdního pruhu. ShuGuang a YongFeng [42] poukazují na to, že vyhrazené jízdní pruhy pro vozidla MHD mají vliv na průměrnou rychlost vozidel IAD především při vyšší, než 75% hodnotě dopravního zatížení daného úseku PK. V takových případech je vhodné aplikovat trvale vyhrazený jízdní pruh. Jeho realizací nicméně dochází k výraznému zpomalení IAD a tvorbě kongescí, které mohou mít dopad i na průměrnou rychlost u souvisejících PK. Dále stanovují, že při zatížení PK mezi 55-75 % je vhodné vyhrazený jízdní pruh časově omezit (např. na období dopravní špičky). Při zatížení PK pod 55 % nemá ale uvedených autorů vyhrazený jízdní pruh na jízdu IAD v zásadě vliv. Hlavním výstupem této části analýzy trvale vyhrazeného jízdního pruhu pro návrhovou část disertační práce je skutečnost, že trvale vyhrazený jízdní pruh má sice svůj hlavní efekt, totiž striktně preferovat jízdu vozidla MHD, ale snižuje kapacitu daného úseku místní komunikace, s níž je nezbytné řádně hospodařit. Blíže bude tato problematika využita v hodnotící návrhové kapitole č. 4.3.

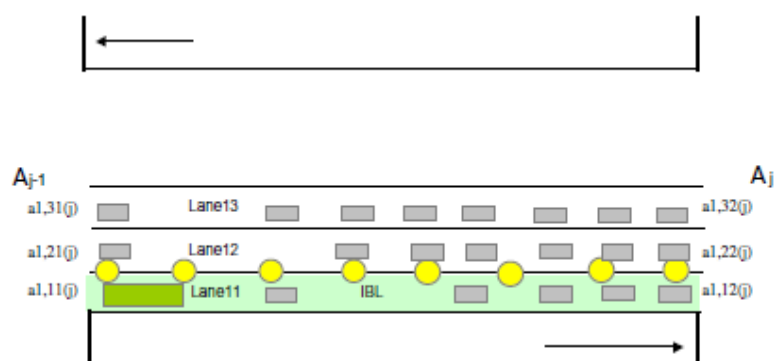
Procentuální vztah průměrné rychlosti vozidel MHD a IAD (resp. TAXI) řeší také studie Shaopenga a Daniela [43] nebo Thamizha a Vedagiriho [44], kteří na základě výpočtů stanovili, že v případě realizace XBL se průměrná rychlost autobusů zvýší o 8,2 %, zatímco u vozidel IAD je pokles 9,9 %. V opačném případě je pokles průměrné rychlosti autobusů o 10 %, u IAD je nárůst o 25,9 %. Z pohledu ekonomického a užitkového hodnotí běžné vyhrazené jízdní pruhy studie Grahama Currie [45]. Výkonnost vyhrazeného jízdního pruhu zahrnuje kompromis mezi výhodami uživatelů MHD vlivem rychlejšího a spolehlivějšího cestování oproti nevýhodě uživatelů IAD, kteří jsou povinni využívat o XBL omezenou kapacitu PK. [45] Podle průzkumu Frondela [46] mají být vyhrazené jízdní pruhy naopak realizovány pouze tehdy, dojde-li ke snížení počtu jízdních pruhů pro vozidla IAD. V souvislosti se zátěží na životní prostředí není dle Frondela [46] žádoucí, aby byla v souvislosti s vyhrazeným jízdním pruhem rozšiřována PK a zvětšován zábor půdy.

Odborná literatura 21. století obecně vnímá standardní trvale vyhrazený jízdní pruh jako běžné a ve světě velmi často využívané preferenční opatření v MHD. V rámci výzkumů z různé dostupné aktuální literatury v této problematice je spíše řešen kompromisnější systém, tzv. přerušovaný vyhrazený jízdní pruh, který podrobně charakterizuje kapitola 1.5.2.

## 1.5.2 Intermittent or Dynamic Bus Lane (IBL/DBL)

Řešením, jak výrazně nesnížit kapacitu ulic prostřednictvím trvale vyhrazených jízdních pruhů, může být dle Viegase [35] tzv. **intermittent bus lane (IBL)**, což je **přerušovaný jízdní pruh** pro autobusy. Přerušovaný jízdní pruh pro autobusy funguje jako běžný vyhrazený pruh s upřednostněním pro vozidla MHD pouze v okamžiku, kdy se zde skutečně vozidlo MHD nachází, či se k němu blíží. V okamžiku, kdy zde žádné vozidlo MHD není, funguje pruh jako běžný jízdní pruh i pro ostatní vozidla. O preferenci s pomocí přerušovaného jízdního pruhu pro autobusy se zabývá také Wu a Hounsell [47], který ze zdroje [35] vychází. Wu a Hounsell [47] a Eichler a F. Daganzo [48] navíc uvádějí, že IBL nesnižuje kapacitu ulic tak, jako běžný vyhrazený pruh pro autobusy. Zároveň dle Kampouriho a Politise [49] dochází také ke snížení produkce emisí. Tento systém se využívá k minimalizaci narušení jízdy autobusů MHD na společné PK s IAD, zároveň však maximalizuje průjezd vozidel IAD daným úsekem. Na obrázku 9 je Viegasem [35] zobrazeno jednoduché schéma, jak vypadá umístění vyhrazeného pruhu IBL a jak vypadá provedení signalizace, která zobrazuje, zda bude daným vyhrazeným pruhem projíždět vozidlo MHD, či může být využit běžnými prostředky IAD. Signalizace je zde názorně umístěna mezi pruhy 11 a 12, pruh IBL je zvýrazněn zelenou barvou.

Hlavními faktory, které určují, zda v tomto systému dochází k úspoře času, jsou dle Viegase [35] i dle Wu a Hounsella [47] velikost dopravního zatížení, frekvence autobusů, výše úspory cestovního času autobusu při využití IBL a poměr objemu cestujících v IAD k objemu přepravených v autobuse MHD.

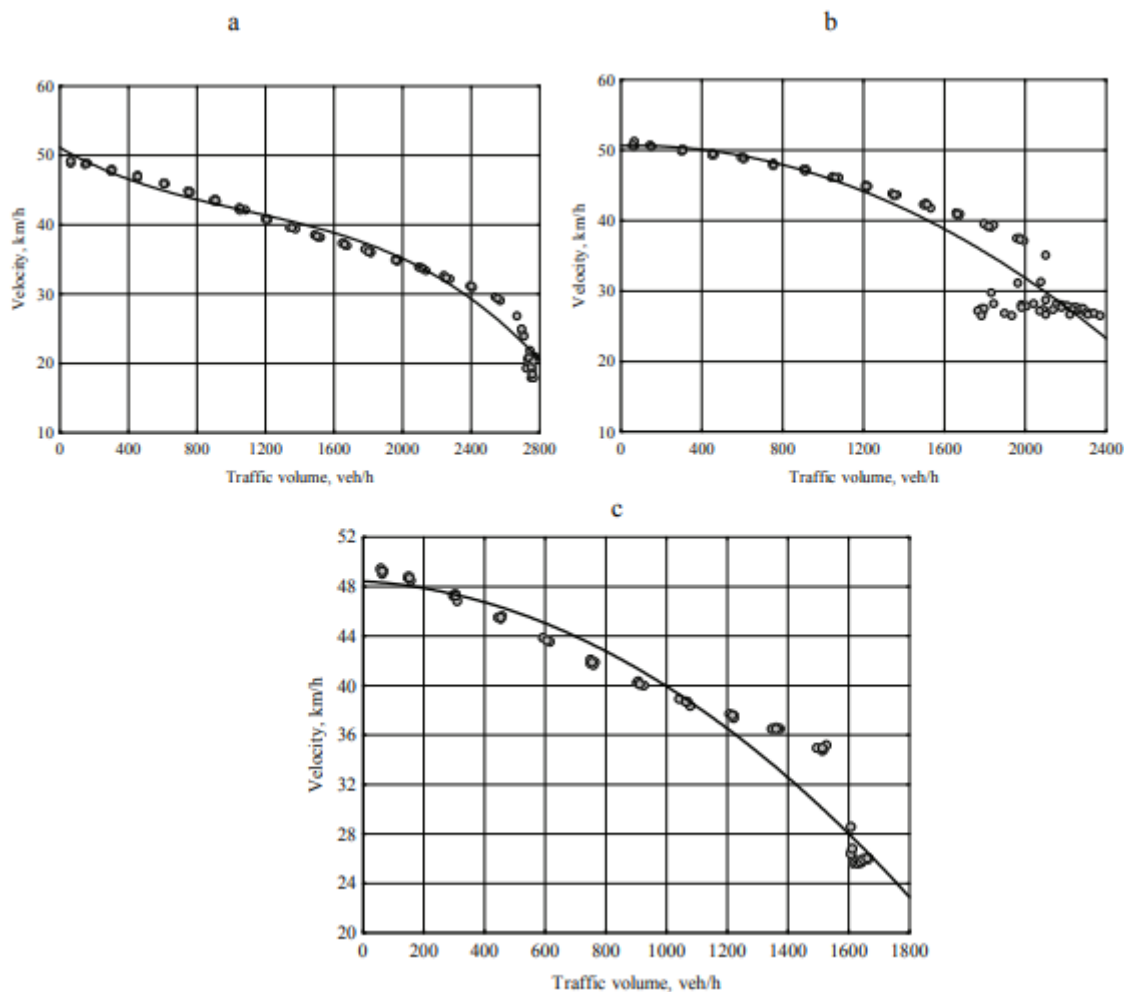


Obrázek 9: Schéma přerušovaného vyhrazeného jízdního pruhu (IBL)

Zdroj: [35]

IBL byl v rámci studie jeho efektivnosti instalován do zkušebních provozů ve vybraných ulicích světových měst, mezi která patří Lisabon, Melbourne či Lyon. Jedna ze studií chování vozidel IAD a MHD při instalaci tohoto pruhu byla studie zpracovávaná Chiabautem a Barcetem [50] ve francouzském Lyonu. Jedná se o ulici Avenue Laccasagne, která je pro vozidla MHD průjezdná v obou směrech, pro IAD pouze v jednom. Instalace IBL zde byla realizována z důvodu navyšování zpoždění spojů MHD, které byly vedeny v jízdním pruhu, který je společný i pro vozidla IAD. V okamžiku, kdy přijíždí vozidlo MHD vysílající signál, je znemožněn vjezd do daného jízdního pruhu pro upřednostnění vozidla MHD. Po průjezdu tohoto vozidla je opět umožněn průjezd vozidel IAD. Ze studie Chiabauceta a Barceta vyplývá, že instalace IBL coby kompromisního řešení ke standardnímu vyhrazenému jízdnímu pruhu má své opodstatnění při periodách vozidel MHD kolem cca 10 minut a zároveň na PK, kde není dostatek uličního prostoru pro vybudování samostatného vyhrazeného jízdního pruhu. Výsledkem studie byla úspora jízdních dob a snížení zpoždění vozidel MHD s minimalizací dopadů na IAD. Podobné výsledky přináší i studie Chiabauta, Xiaoyana a Leclercqa [51]. Nevýhodou tohoto řešení je nedostatečný respekt a povědomí o správném používání daného opatření ze strany uživatelů IAD.

Další z měst, pro které byla použita studie týkající se IBL, bylo ruské město Rostov na Donu. Studie, kterou uvádí autoři Zyryanov a Mironchuk [52], je založená na matematické simulaci chování vozidel IAD a MHD v případě stavu bez preference vyhrazeným jízdním pruhem, stavu s běžným trvale vyhrazeným jízdním pruhem pro autobusy a stavu s tzv. přerušovaným vyhrazeným jízdním pruhem pro autobusy IBL.



Obrázek 10: Porovnání vztahu objemu dopravy a rychlosti vozidel IAD

Zdroj: [52]

Obrázek 10 autorů Zyryanova a Mironchuka [52] znázorňuje vztah mezi objemem dopravy (počet vozidel  $\cdot$  hod<sup>-1</sup>) a průměrnou rychlostí vozidel v jednotlivých výše uvedených případech. Objem dopravy je ve všech případech znázorněn na ose  $x$ , průměrná rychlost vozidel je znázorněna na ose  $y$ . Příklad *a* zobrazuje základní stav bez žádné preference vozidel MHD. Zde je patrné, že průměrná rychlost s narůstajícím objemem dopravy rovnoměrně klesá. Druhý případ *b* zobrazuje stav s preferencí přerušovaným vyhrazeným jízdním pruhem IBL, kde je viditelné, že se sice před průjezdem vozidla MHD snižuje průměrná rychlost vozidel IAD, ale po průjezdu vozidla MHD průměrná rychlost neklesá. Příklad *c* znázorňuje situaci, kdy je uplatněna preference trvale vyhrazeným jízdním pruhem pro vozidla MHD. Tento průběh vztahu objemu dopravy a rychlosti v případě přerušovaného vyhrazeného jízdního pruhu nebude dále využit z toho důvodu, že takové opatření není fyzicky zatím nikde realizováno a není tak možné zjistit vhodná data na konkrétních situacích. Případná teoretická realizace tohoto typu opatření bude nicméně dále rozebrána v kapitolách 4.3.4 a 4.6.4.



Při nižších objemech dopravy je rozdíl mezi jízdou vozidel IAD a MHD minimální, v případě vyššího objemu pak průměrná rychlost vozidel IAD skokově klesá, zatímco u vozidla MHD vlivem jeho preference trvale vyhrazeným jízdním pruhem zůstává konstantní. Studie Zyryanova a Mironchuka [52] uvádí výpočet tzv. kritických hodnot, které uvádí, za jakých podmínek by bylo efektivní tento přerušovaný jízdni pruh (IBL) realizovat. Jedná se o rovnost určitých hodnot počtu vozidel IAD za hodinu, počtu autobusů za hodinu a průměrných rychlostí obou typů dopravních prostředků. Tyto hodnoty zobrazuje tabulka 3.

Tabulka 3: Hodnoty objemu dopravy, počtu vozidel MHD a průměrných rychlostí

Dopravní intenzita pro 2 jízdni pruhy [voz·h <sup>-1</sup> ]	Počet průjezdů BUS	Rychlost BUS [km·h <sup>-1</sup> ]	Rychlost vozidel IAD [km·h <sup>-1</sup> ]
2 700	2	21,4	34,1
2 550	4	21,3	35,1
2 550	6	21,3	33,2
2 400	8	21,0	33,7
2 250	10	21,5	35,1
2 100	12	21,5	36,5
1 950	16	21,5	37,4
1 500	20	21,4	40,9

Zdroj: [52]

Podobnou simulační studii provedli také Szarata, Olszewski a Bichaiło [53], kteří tzv. **dynamický autobusový pruh (dynamic bus lane - DBL)**, což je analogie k IBL, implementovali na vybrané ulice v polském městě Rzeszów. Apelují na to, že případná realizace tohoto systému vyžaduje důkladnou identifikaci uličních segmentů pomocí mikrosimulačních modelů. Autoři rozdělují režimově pruh DBL na tzv. aktivní a pohotovostní, tedy na režim, kdy se blíží vozidlo MHD na průjezd předmětným pruhem a kdy je možné tento pruh užívat všemi účastníky daného dopravního prostoru. Autoři zmiňují případnou formu signalizace blížícího se vozidla MHD například pomocí chodníkových LED-světelných či proměnných dopravních značek. Klíčové pravidlo správného a efektivního používání DBL je takové, aby při aktivaci systému DBL (rozsvícení LED-světelných/proměnných dopravních značek) mohla vozidla IAD již „přítomná“ v daném pruhu v jízdě tímto pruhem pokračovat a vozidla, která se k danému pruhu blíží, používat pouze zbývající volné pruhy a umožnit tak volný průjezd vozidla MHD. Princip průjezdu vozidla MHD, a tedy současné aktivace DBL by měl být ohraničen detekčními body vstupu vozidla do daného pruhu a detekčními body jeho výstupu. Autoři stanovují vzorec (1.1) celkové doby aktivace pruhu DBL. [25]

$$t_C = t_{op} + t_{Rt} \quad (1.1)$$

kde:

$t_C$  je celková doba aktivace jízdního pruhu potřebná k tomu, aby vozidlo MHD projelo [s],

$t_{op}$  je čas potřebný k uvolnění aktivovaného jízdního pruhu pro autobusy [s],

$t_{Rt}$  je doba jízdy autobusem [s].

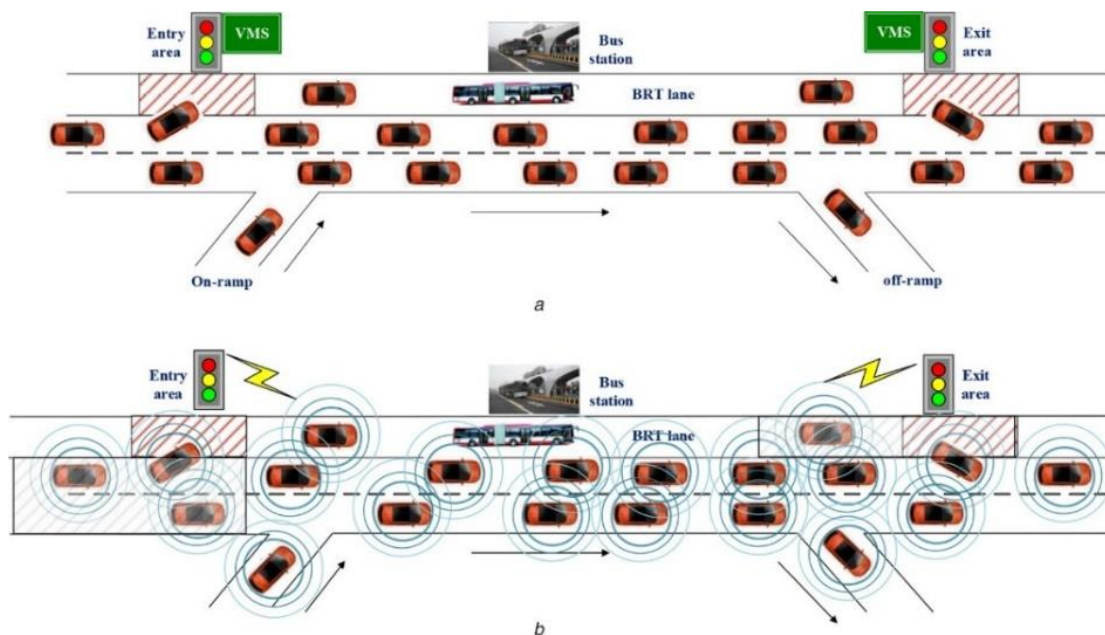
Uvedený matematický vztah je však velmi teoretický, autor disertační práce by v případě jeho dalšího využití více rozčlenit na dílčí časové hodnoty, konkrétně na čas rozjezdu vozidla MHD z místa zastavení (na křižovatce, v zastávce MHD), na čas na zastavení vozidla MHD v daném místě zastavení, na reakční čas řidičů vozidel IAD při rozsvícení signálu dávajícího informaci o nutnosti opustit vyhrazený jízdní pruh pro MHD či případně na časovou prodlevu zařazení se vozidel IAD do jízdního pruhu se standardní funkcí.

Výsledkem studie Szaraty [53] pomocí mikrosimulace je u sledovaných ulic ve vybraném městě při použití DBL zkrácení jízdní doby vozidlem MHD o 9 % tam, kde zatím není žádný vyhrazený jízdní pruh, naopak v případě použití standardního vyhrazeného jízdního pruhu v takové ulici došlo o 8 % nárůstu jízdní doby pro MHD (jedná se o velmi frekventovanou PK navazující na klíčovou mezinárodní silnici 1. třídy s problematickým počátečním úsekem sledování). Ve sledované ulici, kde v tuto chvíli existuje standardní vyhrazený jízdní pruh (a je zde úspora doby jízdy vozidla MHD 33 %), by v případě použití DBL došlo navíc k ušetření až 13 % cestovního času vozidel IAD. Szarata [53] zároveň pozdvihuje výhodu DBL také z vizuálního hlediska pro uživatele IAD, kterým pruhy DBL snižují dojem prázdného nevyužívaného pruhu a snižují tak tendenci k porušování pravidel silničního provozu vjížděním do takových pruhů, kdy mají být užity vozidlem MHD.

Studie Dingxin Wu [54] a Jia Hu [55] řešila tzv. V2V (vehicle-to-vehicle) komunikaci, což znamená, že každé vozidlo IAD může podle informací v reálném čase (tj. poloha a rychlost vozidel) vyhodnotit, zda je vozidlo MHD v dosahu a je tak vozidlo IAD povinno IBL opustit. Ve studii byly primárně řešeny PK se třemi jízdními pásy.

I v rámci systému BRT (který je charakterizován v kapitole 1.4.2) existují studie kompromisního řešení v případech, kdy segregovaný pás BRT není zrovna využíván vozidlem MHD. Fangfang [56] navrhuje dynamické využití jízdních pruhů BRT i vozidly IAD v podstatě stejným principem, jaký je popsán v rámci této podkapitoly výše. Ve studii řeší tranzitní rychlostní komunikaci ve městě Chengdu v Číně, která má v obou směrech tři jízdní pruhy, přičemž v každém směru je jeden z nich zcela segregován pro vozidla MHD. Následující obrázek 11 znázorňuje schematicky princip dynamického vyhrazeného jízdního pruhu BRT,

který je doplněn o sérii světelných signalizačních zařízení, které dávají řidičům IAD informaci, zda mohou tento vyhrazený jízdní pruh využít, nebo ho mají opustit.



Obrázek 11: Schéma řešení dynamického vyhrazeného jízdního pruhu pro BRT

Zdroj: [56]

Studie švédského autora Johana Olstama [57] poukazuje především na možné situace chování řidičů v případě existence pruhů IBL/DBL. Největším úskalím by bylo samotné zavedení takového systému, který řidiči doposud neznají a v prvních fázích jeho existence by nejspíše působil řadu nepředvídaných situací a možného celkového prodloužení cestovních dob všech uživatelů předmětného dopravního prostoru. Jako nejméně bezpečné momenty vyhodnocuje především okamžik, kdy bude zobrazen signál o nutnosti opustit pruh DBL/IBL a řidiči se začnou hromadně zařazovat do pruhu levého s pravděpodobně hustším dopravním proudem (při pravostranném provozu). Zároveň je tímto autorem [57] zmíněna situace, kdy bude v daném úseku přerušovaného vyhrazeného jízdního pruhu přítomno nákladní vozidlo, jehož zábor předmětného prostoru a prostoru pro manévrování je výrazně vyšší než u osobních automobilů. Zařazení tohoto vozidla do běžného jízdního pruhu v momentě, kdy je dle zobrazené signalizace nutné tento jízdní pruh opustit a umožnit tak bezkolizní průjezd upřednostněných vozidel MHD, bude tudíž mnohem obtížnější. Autor této studie však zmiňuje, že opakování těchto situací a zvyknutí si na daný nový systém přinese ta pozitiva, která v sobě tento systém nese, a která tento systém zvyhodňuje nad běžné pevné vyhrazené jízdní pruhy. Podmínkou správného fungování takového systému je především intuitivnost daného opatření, vhodný výběr dopravního prostoru pro realizaci takového opatření, dostatečná kampaň

o existenci takového systému pro stávající i nové řidiče či vhodná implementace do domácího a případně i do zahraničního právního prostředí.

Výsledky této studie autor disertační práce považuje za přínosné i pro případnou možnou implementaci do domácího právního prostředí za podmínky, že bude dodržena bezpečnost všech účastníků silničního provozu a současně, že bude zajištěno odpovídající vymáhání případného nedodržení včasného opuštění daného přerušovaného vyhrazeného jízdního pruhu ze strany řidičů IAD v okamžiku, kdy jim je toto opuštění přikázáno.

### 1.5.3 Ostatní organizační opatření

Ve městech, kde jsou vybrané linky MHD vedeny jednosměrnými ulicemi (zpravidla z prostorových důvodů), existuje dle Drdly [6, s. 108] také organizační forma preference veřejné dopravy pomocí **možnosti jízdy vozidla MHD jednosměrnou ulicí v opačném směru**. Ve zklidněných ulicích, kde je vyloučen vjezd vozidel IAD, je možné také případné **povolení jízdy vozidla MHD pěší zónou**. Tato opatření se používají právě u diametrálních či radiálních linek obsluhujících městské či historické centrum, zpravidla je tato výjimka kombinována s povolením průjezdu cyklistů. Jedná se dle Novotného a spol. [25] o nezbytná opatření, kde je v oblastech s úplným vyloučením IAD nutno zajistit základní rozsah dopravní obslužnosti. Koordinace cyklistů, pěších a vozidel MHD v pěší zóně není vždy žádoucí, nicméně je nezbytné nastavit pravidla pro vzájemné sdílení daného prostoru. Pěšími zónami se zabývá například Lejda [58], který zdůrazňuje ve své studii, že je vhodné pro linky veřejné dopravy vedoucí pěší zónou mít alternativní trasu v případě, že jsou pěší zóny součástí nějaké kulturní nebo společenské akce, obzvláště v historických centrech větších měst. Analogicky k předchozí uvedené větě je možné naopak pěší zónou, která umožňuje provoz MHD, vést odklonové trasy spojů veřejné dopravy z místní komunikace umožňující vjezd také vozidlům IAD v případě uzavírky či mimořádnosti.

Vybrané formy organizačních opatření pro účely tvorby návrhové části této disertační práce budou základem pro vytvoření těchto návrhů i návrhu metodiky pro hodnocení synergie preferenčních opatření. Nejčastější formou organizačních opatření je dle analýzy právě vyhrazený jízdní pruh a jeho ve vztahu ke kapacitě místní komunikace kompromisnější vyhrazený jízdní pruh přerušovaný. Právě s těmito formami organizačních opatření bude v rámci návrhové části nejvíce pracováno, konkrétně pak v kapitolách 4.2, 4.3, 4.5 a 4.6.

## 1.6 Preferenční opatření na světelných signalizačních zařízeních

Dalším ze základních preferenčních opatření, které jsou aplikovány v místech, kde pravidelně dochází ke kongescím či zdržení vozidel MHD, je preference formou změny signálního plánu či jiné úpravy na světelném signalizačním zařízení (SSZ). O tomto typu preference vozidel MHD pojednává řada titulů literatury (například od Gardnera [10]), ať už s vysvětlením principu dané preference, či řešení daného problému na vybraném místě.

Preferenci na SSZ tvoří dva základní předpoklady – **vztah preferované křižovatký k řízeným okolním křižovatkám a forma provedení dané preference.**

Gardner [10, s. 8, 9, 10] uvádí z hlediska **vztahu preferovaných křižovatek k okolním řízeným křižovatkám** rozdělení na:

- izolované systémy,
- systémy s pevným signálním plánem na základě historických údajů,
- systémy ovládané pohybem vozidla MHD,
- systém MOVA (systém detekující pohyb vozidel a umožňující načasování signálu v závislosti na zpoždění atd.),
- koordinované systémy preference formou SSZ (např. zelená vlna).

**Koordinované systémy** pracují dle Gardnera [10, s. 10] na principu minimalizace celkového zpoždění spoje MHD v rámci více míst se SSZ. Jedná se v zásadě o princip správného načasování udělení signálu volno na více SSZ najednou. Mezi vybrané koordinované systémy pro koordinaci signálních plánů jednotlivých SSZ v rámci sítě veřejné dopravy patří systémy **SCOOT, SCATS, SPOT, UTOPIA, TRANSIT-7F či PRIBUSS**. S těmito vyjmenovanými koordinovanými systémy sloužícími pro minimalizaci vzniklého zpoždění vozidel MHD na křižovatkách se SSZ nebude v rámci návrhové části podrobněji pracováno, nicméně autor s pomocí uvedených citových zdrojů uvádí jejich stručnou charakteristiku pro úplnost komplexní analýzy všech preferenčních opatření.

Systém SCOOT umožňuje centrální i místní provedení preference pro vozidla MHD. Provedení koordinace signálů současně zobrazující volno provádí v různých fázích s jinými časovými údaji, avšak jen s nepatrnými změnami tak, aby zůstal celý systém preference stabilní. Umožňuje také s určitou časovou prodlevou prodloužit signál volno pro přijíždějící vozidlo MHD, které přijíždí před plánovaným koncem tohoto signálu.

Pro koordinaci signálů na více SSZ slouží dle Wahlstedta [59] také systém SCATS, který je v současné době používán v Austrálii. Systém SCATS je založen na podobném principu jako SCOOT s rozdílem tím, že systém SCATS umožňuje výběr signálního plánu, který bude aplikován na síť křižovatek se SSZ, kde je zamýšlena koordinace. Tento systém je vhodný dle Wahlstedta [60] pro realizaci tzv. zelené vlny, kde má vyšší prioritu směr hlavního dopravního proudu oproti vedlejším.

V Itálii byl dle Wahlstedta [59] vyvinut také systém SPOT, respektive UTOPIA. Systém SPOT nastavuje časování signálních skupin na každé křižovatce dle jejího významu a vztahu k okolí, zatímco systém UTOPIA pak provádí celkovou koordinaci a optimalizaci sítě signálních skupin. Systém SPOT se používá například v italském Torinu, či ve švédském Stockholmu. Zde bylo změřeno, že systém dokáže zkrátit celkový cestovní čas veřejnou dopravou o 7, respektive o 10 %.

Americký systém TRANSIT-7F, který charakterizují Skabardonis [61] a Satiennam [62], sloužící pro koordinaci více signálů SSZ za sebou, je rovněž založen na principu plánování časového signálu. Vstupními daty jsou dle těchto autorů pro tento systém využívající deterministický simulační a optimalizační model objemy provozu, saturační toky, vzdálenosti mezi křižovatkami, cestovní rychlost a nastavení signálu SSZ.

Systém PRIBUSS byl vyvinut ve Švédsku, kde se také pro danou problematiku primárně využívá. Princip systému je dle Wahlstedta [60] založen na možnosti výběru signální skupiny pro danou křižovátku se SSZ. Je aplikovatelný jak pro izolované, tak pro koordinované řízení signálních plánů. Tvoří ho šest možných postupů, jak dané preferenční opatření v rámci signálního plánu provést, konkrétně prodloužení probíhajícího signálu volno, navrácení signálu volno v případě, že tento signál ještě nezačal v kolizní signální skupině, zkrácení probíhající fáze, vložení další fáze mezi běžné fáze, zkrácení více fází po sobě jdoucích najednou, zkrácení současné fáze a vložení jiné fáze.

Tzv. **zelená vlna (green wave)** je systém založený rovněž na koordinaci dvou a více signálů volno sériově za sebou. Při nastavování délky „zelené fáze“ a obecně při tvorbě signálního plánu je dle Warberga, Larsena a Jøergensena [63] nejdůležitější správné nastavení času. To lze docílit dostatečnou analýzou intenzity dopravy ve směru, kterým má být zelená vlna realizována, ale také i ve směrech kolizních a předejít tak tvorbě kongescí v těchto směrech, kde vlivem delší fáze signálu volno ve směru zelené vlny dojde k prodloužení doby

rozsvícení signálu stůj. Autoři [63] signály zelené vlny rozdělují na předem načasované, aktivní a adaptivní.

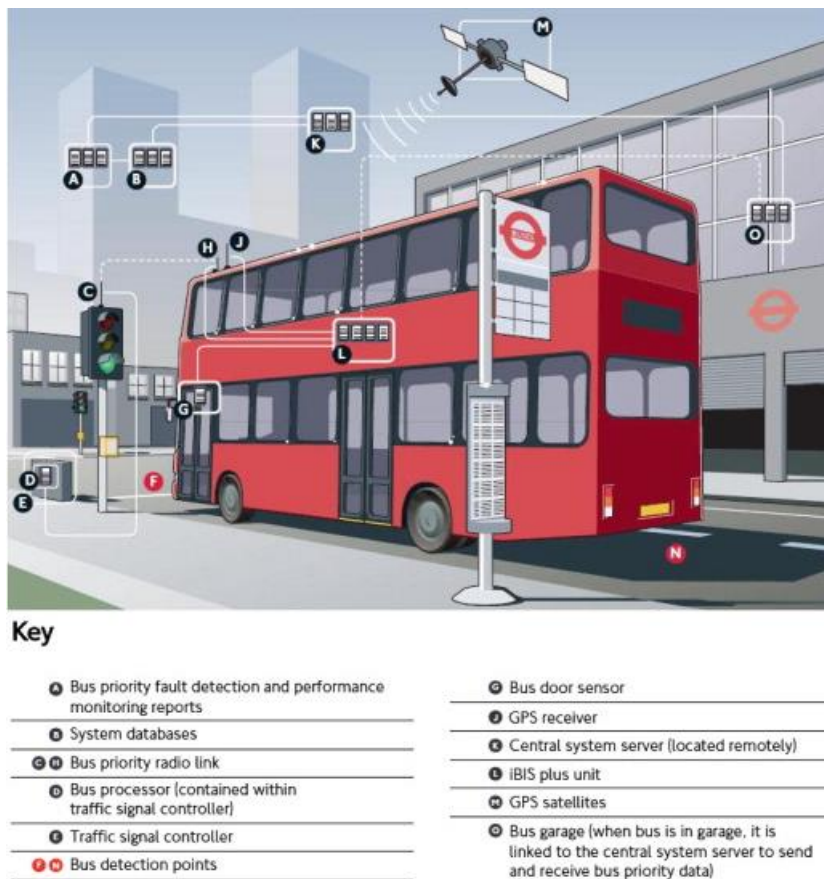
Předem načasované mají dle Warberga, Larsena a Jøergensena [63] pevnou dobu současného signálu volno, aktivní vyhodnocují intenzitu provozu ve směru zelené vlny a jsou schopny prodloužit dobu signálu volno do určité časové meze, adaptivní reagují i na provoz ve směrech kolizních, poskytují signál volno v podstatě při každém příjezdu vozidla k SSZ v závislosti na dopravní situaci v kolizních směrech. Dle Shenody a Machemela [64] jsou adaptivní systémy velmi proměnné a nezohledňují maximální možný čas rozsvícení signálu volno, ale reagují vždy na aktuální dopravní situaci.

**Forma provedení** preferenčního opatření na SSZ je buď aktivní, nebo pasivní. *Aktivní* preference dle Gardnera [10, s. 7] umožňuje preferovat všechna vozidla MHD bez ohledu na jejich zpoždění a zobrazí signál volno ihned bez ohledu na zdržení IAD. *Pasivní* preference umožní zobrazit či prodloužit signál volno v přítomnosti vozidla MHD, pokud to okolní situace dovolí. Rozhodnutí o udělení/prodloužení signálu volno je v takovém případě na řadiči dané křižovatky se SSZ, který danou situaci vyhodnocuje. V případě, že má fáze pro směr s vyšší intenzitou v danou chvíli volno, signál volno pro vozidlo MHD je v jiném směru udělen až po ukončení fáze předchozí. [10, s. 7] Aplikace pasivní preference pro dané vozidlo MHD na SSZ může mít různá omezení, která mohou být dle Wahlstedta [59] například prostřednictvím stanovení maximálního limitu pro prodloužení délky fází, omezením možnosti preference v obdobích mimo dopravní špičku, popřípadě umožnění preference pouze pro zpožděné spoje MHD.

K provedení preference vozidla MHD v místě SSZ je dle Gardnera [65] nutná **detekce jízdy vozidla** tak, aby vozidlo dostalo signál povolující průjezd křižovatkou v ten správný okamžik, tzn. ne příliš brzy ani příliš pozdě. Zařízení pro detekci vozidla MHD v rámci PK mohou být umístěna buď jen na vozidle (GPS), nebo pouze na komunikaci (indukční smyčky, majáky, čidla detekující průjezd vozidla MHD – nutnost homogenity vozového parku), popřípadě může být jak na vozidle, tak na PK zároveň (**AVL – Automatic Vehicle Location**).

AVL je dle Yadana [66] vhodný jednak pro plánování realizace podpůrných opatření pro jízdu vozidel MHD (například na základě analýzy problematických úseků s častým zpožděním), zároveň také jako podklad pro informační systémy, které dávají cestujícím přesnou informaci o výši zpoždění předmětného spoje.

V Londýně na základě integrace se systémem AVL dle Hounsella [67] funguje tzv. **systém iBus**, který sleduje na 8 000 londýnských autobusů a každých 30 s zasílá informaci o poloze do centrální jednotky AVL. Jednotku iBus tvoří 3 komponenty – palubní jednotku, datový server a vzdálený centrální server, který ukládá veškeré informace. Systém iBus charakterizuje obrázek 12 převzatý ze zdroje [68].



Obrázek 12: Schéma systému iBus<sup>1</sup>

Zdroj: [68]

Existují také studie autorů, kteří se zabývají **vyhodnocováním dopravní situace** celkového dopravního proudu z dat průměrných rychlostí vozidel MHD s pomocí aktivních majáků. Místa, kde dochází k poklesu průměrné rychlosti vozidel, mohou pak sloužit jako

<sup>1</sup> Překlad obrázku: A – detekce chyb preference autobusu a zprávy o výkonu monitorování; B – systémové databáze; C, H – rádiové spojení; D – přijímač signálu řadiče SSZ; E – řadič SSZ; F, N – detekční body zachycující přítomnost autobusu; G – senzor dveří; J – GPS přijímač; K – hlavní systémový server; L – jednotka iBIS; M – GPS satelit; O – systém pro informaci, že se autobus nachází v garáži (a není nutné tak předpokládat jeho preferenci na křižovatce se SSZ)



podklad pro identifikaci vhodnosti realizace preferenčního opatření. Takovou studii se zabýval například M. Körner [69].

Preferenci na SSZ používá dle Gardnera [10] či dle Hounsella [65] řada evropských městských systémů hromadné dopravy, mezi které patří například Aalborg, Cardiff, Genova, Glasgow, Helsinky, London, Malmö, Praha, Stockholm, Stuttgart, Torino, York, Wien, Zürich a mnoho dalších. Některá města preferují na SSZ vozidla MHD i v jiných světadílech, například australské Brisbane, či americké San Francisco. Seznam výše uvedených měst není zcela vyčerpávající.

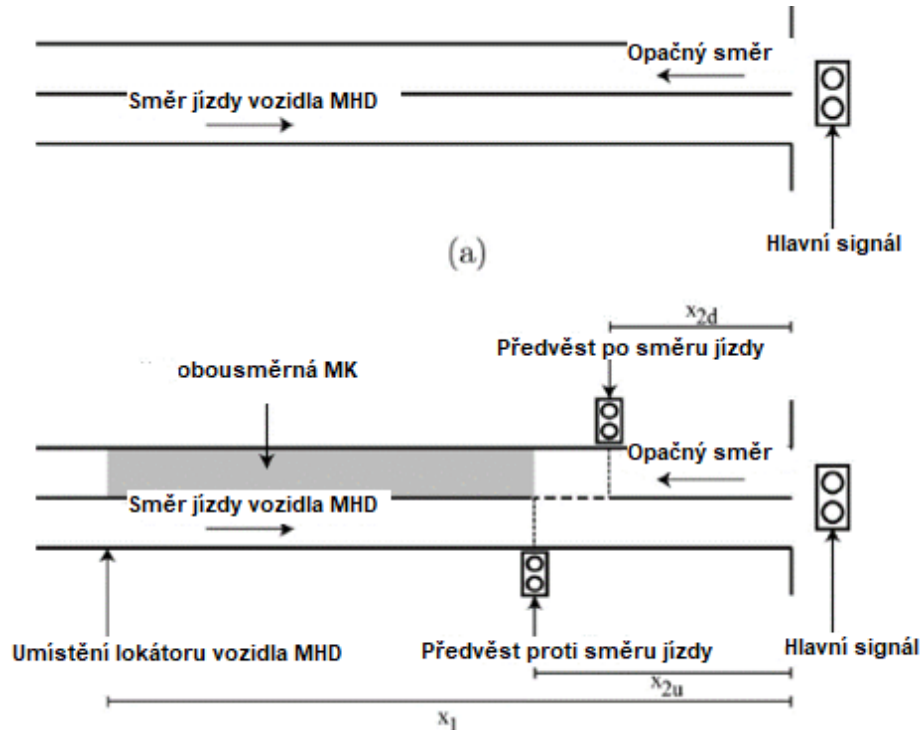
V ČR, zde konkrétně v Praze, je dle odborného webu [1] preference na SSZ používána jak pro autobusy, tak pro tramvaje. Většinou je detekce přítomnosti vozidla MHD řešena trolejovými kontakty (přihlašovací a odhlašovací), případně u autobusů pomocí GPS či indukčními smyčkami ve vozovce. Stejně jako ve světě je i v ČR preference na SSZ absolutní či podmíněná. Velmi podrobně se preferencí MHD v rámci ČR zabývá projekt PREFOS [1] a současně odborný článek Novotného a spol. [25]. Na tramvajové síti v Praze je dle ročenky Technické správy komunikací, a.s. [36, s. 50] preference SSZ instalována na 219 SSZ z celkových 247, detekce pro preferenci autobusů na SSZ je na celkových 251 SSZ. V Brně je dle Hermanna [70] zhruba 80 SSZ, které spolupracují s dispečerským systémem RIS a na základě preferenčního požadavku preferují na těchto křižovatkách vozidla MHD.

V rámci návrhové části disertační práce je předpoklad do jednotlivých navržených synergických opatření zahrnout vždy odpovídající formu preference na SSZ, která je nezbytná pro vhodnou organizaci preferované jízdy vozidla MHD předmětným problematickým místem. Z těchto forem preference veřejné dopravy autor použije především podmíněnou preferenci na křižovatce se SSZ (která je nezbytná pro vhodné načasování jízdy vozidla MHD tak, aby časová ztráta čekáním vozidla MHD na signál dovolující volno byla minimální), preferenci formou zelené vlny (pro řešení zlepšení průjezdu vozidel MHD na rozsáhlejších území) či případné modifikace těchto řešení. Tato řešení budou dále charakterizována v návrhových kapitolách 4.2 – 4.7, následně také v kapitolách hodnotících 4.3.1 – 4.3.4 a ve verifikační (4.5) a validační kapitole (4.6). Vybrané uvedené koordinované systémy (např. SCATS či UTOPIA) autor dále nevyužije, jelikož se jedná o systémy používané v zahraničí a cílem práce není podrobnější řešení těchto systémů z funkčního hlediska.

## 1.7 Koordinovaná a ostatní přímá opatření

**Integrovanou/koordinovanou preferenci** tvoří jak fyzická opatření, tak opatření na SSZ. Její provedení mohou být dle Gardnera [10] formou přemístění fronty a tzv. **předvěsti** (pre-signal) integrovaných opatření využívajících například vyhrazený jízdní pruh a realizace signálních opatření na SSZ. Nutné podotknout, že se typově i významově jedná o zcela jiný typ předvěsti, než o tu, která se běžně používá v železniční dopravě.

Výše zmíněná předvěst umožní v místě před křižovatkou zastavit vozidla IAD a zajistit možnost upřednostnit před těmito vozidly vozidlo MHD. Předvěsti se dle Wu a Hounsella [47] umísťují na konci běžného vyhrazeného autobusového pruhu, či v jeho blízkosti. Toto preferenční opatření blíže řeší také Guler ve zdrojích [71] a [72], který navrhuje opatření využití předvěsti, která poskytne vozidlu MHD signál volno a umožní vozidlu projet protisměrným jízdním pásem a objet tak čekající vozidla IAD před křižovatkou. Před touto operací předvěst ve směru opačném zastaví jedoucí vozidla. V tomto okamžiku plní jízdní protisměrný pás funkci vyhrazeného pruhu pro vozidlo MHD ve směru správném. Zjednodušené schéma principu předvěsti a způsobu preference vozidel MHD zobrazuje obrázek 13, který je převzat od Gulera [71].



Obrázek 13: Schéma realizování tzv. předvěsti (pre-signal) pro vozidlo MHD

Zdroj: [71]

Použití takové předvěsti je účelné především tam, kde je menší rozměr uličního prostoru, respektive nižší počet jízdních pruhů tak, aby mohl být realizován samostatný jízdní pruh pro vozidla MHD. Předvěst dle Gulera [72] zároveň slouží k tomu, aby byla v případě „nepřítomnosti“ vozidla MHD zajištěna maximální plynulost vozidel IAD. Toto opatření Guler doporučuje aplikovat v případech, kdy jsou počty vozidel MHD nižší, tzn. jednotky spojů za hodinu. Jedná se o opatření maximalizující dynamické využití uličního prostoru ve vztahu k udržitelnému rozvoji města, minimalizaci externalit (hluk, vibrace, exhalace v případě zastavení vozidel) a zachování životního prostředí.

Tzv. předvěsti byly aplikovány do běžného provozu pouze v Londýně a v Curychu. Obě tato města tyto řešené předvěsti používají, přičemž každé z nich trochu jiným způsobem. V Londýně je běžné použití předvěsti v kombinaci s vyhrazeným jízdním pruhem pro vozidlo MHD zprava tak, aby objelo čekající frontu vozidel IAD před křižovatkou. V Curychu dochází k objíždění vozidla MHD čekající fronty zleva. Toto opatření se v Curychu využívá v kombinaci s vyhrazeným jízdním pruhem. Existuje také forma opatření, kde je vyhrazený jízdní pruh realizován pouze k tzv. předvěsti a v úseku mezi předvěstí a hlavním signálem již vyhrazený jízdní pruh není. Vozidlo MHD tak předjede vozidla IAD čekající u předvěsti se signálem stůj, přičemž na hlavním SSZ v okamžiku signálu volno pokračuje jako první. Tuto modifikaci uvádí ve studii například Haitao He [73].

Vyhodnocení vlivu aplikace tohoto opatření na provoz vozidel MHD bylo provedeno pouze v Curychu, v Londýně nikoliv. Dle vyhodnocení Gulera [72] se v řešeném městě ukázalo, že umístění předvěsti pro účely preferování jízdy vozidla MHD nemá v případě nepřítomnosti takového vozidla na běžný provoz vozidel IAD žádný vliv. Celkové zpoždění dle výsledků Gulera [73] u IAD zůstává stejné s rozdílem, že se toto zpoždění rozloží mezi čekání u předvěsti hlavního signálu a u hlavního signálu samotného. Předvěsti se pro preferenci vozidel MHD dle jeho vyhodnocení vyplatí v případech, kdy je obsazenost vozidel MHD 15 až 70krát vyšší, než je obsazenost vozidel IAD.

Dalším typickým koordinovaným opatřením je dle Novotného a spol. [25] například „zelená vlna“ (podrobněji řeší vybrané odstavce kapitoly 1.5.). Pro lepší efektivitu v rámci koordinace jednotlivých druhů opatření v případě „zelené vlny“ je možné v rámci určitého úseku při existenci dvou a více pruhové komunikace **doplnit například vyhrazeným jízdním pruhem**. Tato opatření se dle Správy veřejného statku města Plzně [71] běžně realizují v úsecích PK s vyšší intenzitou dopravy, kde jsou současně vedeny páteřní linky MHD.

Koordinovaná opatření budou v rámci návrhové části disertační práce do daného návrhu zahrnuta. Důvodem jejich zahrnutí do návrhu je především předmětný synergický efekt, kterého lze právě s použitím těchto opatření velmi vhodně využít pro efektivnější řešení zkrácení cestovní doby průjezdu vozidla MHD problematickým úsekem. Jednotlivá synergická opatření budou s pomocí metody Petriho sítě rozebrána v rámci kapitol 4.2.1 – 4.2.5. Forma předvěsti tak, jak je mj. charakterizována v 2. – 5. odstavci této kapitoly, je dle autora velmi přínosná pro včasnou informaci řidičům vozidel MHD o tom, že mají na hlavní křižovatce se SSZ očekávat signál volno a urychlit tak průjezd daným problematickým místem, což je primárním cílem této formy preferenčního opatření.

## **1.8 Nepřímá preferenční opatření**

Kromě přímých nástrojů preferování veřejné dopravy je nutné uvažovat také nástroje nepřímé. Na rozdíl od přímých již charakterizovaných nástrojů preference jsou nepřímé nástroje komplikovanější exaktně stanovitelné. Nicméně platí, že přímé bez nepřímých nástrojů a naopak nemohou pro udržení konkurenceschopnosti veřejné dopravy jeden bez druhého existovat. I sebelepší technické či organizační řešení přímé preference příliš nepomůže systému MHD, kde nejsou nasazena vhodná vozidla, správně umístěné zastávky, pohodlné přestupní terminály, logické návaznosti či správná a atraktivní tarifní politika.

Mezi nepřímé nástroje preference dle Drdly [6, s. 109, 110] patří především sledování a měření kvality veřejné dopravy, tvorba IDS, vytváření výhodných časových tarifů a inteligentních systému prodeje jízdních dokladů, vytváření opatření na propojení veřejné a individuální dopravy (například záchytných parkovišť) a mnoho dalších. S pomocí zdrojů [6], [10], [11] a [12] stanovil autor dělení nepřímých nástrojů preference veřejné dopravy v kapitole 1.3 a tato konkrétní opatření jsou podrobněji charakterizována v podkapitolách 1.8.1 až 1.8.5.

### **1.8.1 Kvalita veřejné dopravy**

Hlavním nástrojem preference, který není řešen stavební nebo organizační úpravou přímo v dopravním prostoru, je řešení **kvality veřejné dopravy**. Problematika kvality veřejné dopravy není z hlediska historie dlouho řešeným tématem. Podle Redmana, Frimana, Garlinga a Hartiga [75] se kvalita dělí na fyzickou a vnímanou. Fyzickou kvalitou se rozumí spolehlivost (dodržování jízdního řádu), frekvence (celodenní nabízení služeb veřejné dopravy, periodické jízdní řády), rychlost (průměrná cestovní rychlost, čekací doby v místech přestupů), přístupnost (limit docházkových vzdáleností na zastávku), cena (časové jízdenky, IDS), poskytování informací, přestupní vazby či stav vozidla MHD. Vnímanou kvalitou je dle těchto autorů pak

**pohodlí** (uspořádání vozidel, bezbariérovost, ...), bezpečnost či **estetika** (vzhled přestupních terminálů).

Redman, Friman, Garling a Hartig [75] poukazují na to, že zvyšování kvality veřejné dopravy by mohlo být efektivnější, pokud by byla vylepšení a preferenční opatření realizována až po důkladné analýze požadavků na kvalitu z oblasti potencionálních uživatelů. Je nutné si uvědomit, že pro stále uživatele automobilů bude veřejná doprava atraktivní až po splnění požadavků nad rámec základních požadavků mobility ve městě, které splňuje automobil. To však nelze ve veřejné dopravě realizovat vždy. Dle výše uvedených autorů zabývajících se kvalitou veřejné dopravy je primární řešit nejdříve základní úroveň kvality rovnocenně s výhodami, které poskytuje osobní automobil a následně řešit specifitější požadavky na oslovení individuálních potřeb a hodnot cílového trhu. Cantwell, Countfield a O'Mahony [76] prováděli průzkum mezi obyvateli Dublinu týkající se oblíbenosti využívání veřejné dopravy. Shledali několik rizikových faktorů, které snižují kvalitu, a mezi které patří například vyšší míra přeplněnosti vozidel, doba čekání na spoj či celková doba dojíždění. Tyto faktory lze ovlivnit důkladnou analýzou přepravních proudů, nasazení dostatečně kapacitních vozidel či dostatečnou nabídkou spojů v časech vyšší poptávky.

### 1.8.2 Systém tarifu a jízdních dokladů

Dle studie Erikssona [77] je sice **cena** důležitým ukazatelem pro preferování veřejné dopravy a ustoupení od používání IAD, nicméně není důležitým ukazatelem jediným. Podstatným ukazatelem je také frekvence služeb a doba jízdy. Vliv na přechod k veřejné dopravě má také právě vytvoření IDS nebo souvisejících garantovaných přestupních vazeb.

Dalším nepřímým nástrojem preference jsou **systémy prodeje jízdních dokladů**. Souvislost s plynulostí provozu vozidel MHD má například možnost či nutnost zakoupení jízdního dokladu u řidiče. Dle Dorbritze [78] tvoří na základě průzkumu prodej jízdenek u řidiče vozidla MHD až 20 % celkové doby jízdy. Minimalizace dopadu zdržení díky prodeji jízdních dokladů ve vozidle může mít formu zvýšení či zavedení přírážky k jízdnímu dokladu zakoupeného u řidiče, minimalizace typů a variability nabízených jízdních dokladů či výhodnější nabídka nákupu jízdních dokladů před nástupem do vozidla (výhodnější časové jízdenky, automaty na zastávkách, online nákupy, platba platební kartou ve vozidlech atd.). Pro minimalizaci nutnosti prodeje jízdenek u řidiče slouží dle Reillyho [79, kap. 1 s. 1] například **samoobslužné bezbariérové systémy** pro nákup jízdních dokladů, tzv. Self-Service Barrier-Free Fare Collection.

Ve městě Freiburg in Breisgau (Německo) existuje dle Beima a Haaga [80] **levná měsíční jízdenka** (ekologická karta) tzv. „Umweltkarte/Regio-Karte“ pro neomezené cestování veřejnou dopravu v rámci města i regionu. Zvýšení využívání veřejné dopravy se zavedením této výhodné síťové jízdenky dle uvedených autorů narostlo o téměř 7 %.

### 1.8.3 Docházková vzdálenost, uspořádání a konstrukce zastávek a terminálů

Jako jeden z příkladů kvalitativního ukazatele je **limit docházkových vzdáleností na zastávku** veřejné dopravy (neboli přístupnost veřejné dopravy). Tento ukazatel je v rámci hodnocení přístupnosti veřejné dopravy doplněn také o hodnotu počtu nabízených spojů, či o hodnotu úrovně vybavení zastávek. Použití IAD u neuspokojených potenciačních zákazníků není důsledkem pouze délky chůze na zastávku a nemá tak na tento jev dle Ivana [81] přímý vliv. Průměrná dostupnost zastávek se dle jeho studie liší mezi různými městskými systémy i více než o 100 metrů, kdy například v Ostravě je průměrnou hodnotou 568 metrů, naopak v Olomouci jen 439 metrů. Dle Černé a Černého [82] existuje v rovnoběžné síti paralelních linek vztah mezi zkracující se docházkovou vzdáleností a prodlužujícím se intervalem. To znamená, že uživatelé jsou ochotni překonat delší docházkovou vzdálenost na zastávku subsystému veřejné dopravy s vyšší nabídkou spojů, a naopak v případě kratší vzdálenosti jsou ochotni čekat na spoj delší dobu.

V australském Sydney Daniels a Mulley [83] stanovují tabulku porovnání počtu cest na vybrané typy dopravních prostředků (autobus, školní autobus, vlak) dle docházkové vzdálenosti. Jejich studie vyzkoumala, že variabilitu v docházkové vzdálenosti do značné míry odráží rozdíly v nabídce každého druhu veřejné dopravy. K železničním stanicím jsou lidé ochotni překonat podstatně delší docházkovou vzdálenost než na zastávku autobusu.

V Montrealu v Kanadě na základě průzkumů zjistil El-Geneidy [84], že běžná docházková vzdálenost na autobusovou zastávku činí v průměru 524 metrů, na stanici kolejové dopravy pak 1 259 m. Autoři této studie nicméně zdůrazňují, že průměrná docházková vzdálenost by měla být při plánování umístění zastávek a trasování linek veřejné dopravy posuzována individuálně **podle konkrétní oblasti a dostupné infrastruktury** (tzn. pěších koridorů, demografie dané oblasti atd.).

### 1.8.4 Podpůrné systémy veřejné dopravy

Do zavedených nových systémů podporujících využívání a preferenci městské hromadné dopravy patří dle Drdly [6] také **systémy záchytných parkovišť** nacházejících se

v blízkosti stanic a zastávek veřejné dopravy. Mezi tyto systémy patří P+R (park and ride), B+R (bike and ride), K+R (kiss and ride), P+B (park and bike), P+Go (park and go), hail and ride a mnoho dalších. Jedním z příkladné aplikace tohoto systému preferenčního opatření jsou systémy P+R a B+R v Brémách. Záchytná parkoviště v Brémách zajišťuje organizace Brepark [85], pod níž spadá celkem 8 záchytných parkovišť (P+R) pro automobily a jeden parkovací dům pro cyklistickou dopravu. Všechna záchytná parkoviště se dle interaktivního plánu veřejné dopravy [86] nachází u zastávek veřejné dopravy tak, aby uživatel automobilu mohl pohodlně přestoupit mezi IAD a MHD. Město tak reguluje počet průjezdů vozidel IAD v historickém centru. V souvislosti s velkým růstem výkonů a podílů cyklistické dopravy ve vybraných městech především v Evropě, ale i v jiných světadílech, je nezbytné cílit v souvislosti s preferencí veřejné dopravy i na tyto uživatele. Systém B+R řeší také například Martens [87] v Nizozemsku. Zde je podíl využívání jízdního kola jako dopravního prostředku nejvyšší na světě, celkem 27 %. V rámci kombinace s MHD je to pak 25 % všech cest v rámci veřejné dopravy ve větších městech. Martens upozorňuje, že na využívání cyklistické dopravy v kombinaci s MHD je nezbytná nejen kvalitní infrastruktura, ale především možnost vhodného a bezpečného parkování kol v blízkosti terminálů MHD. Ve své starší studii [88] Martens zároveň uvádí, že průměrná vzdálenost, kterou cestující MHD překonají na kole na zastávku MHD je 2-5 km. V případě rychlejšího subsystému (rychlodráhy, železnice) je to i více.

Součástí propojení podpory cestování MHD v kombinaci s využíváním jízdního kola je rovněž nezbytné nasazení vhodných vozidel MHD, které přepravu umožňují. Zároveň Ahrens [89] doporučuje zřízení půjčoven kol v blízkosti terminálů MHD, úložných uzamykatelných boxů, či stojanů pro případnou údržbu kol. Ideální je dle Möllerse [90] kombinovat jízdní doklad MHD s půjčovným/úschovným pro kola.

### 1.8.5 Ostatní

Jako příklad ostatních nepřímých preferenčních opatření, která nelze striktně zařadit mezi výše uvedená, je ve veřejné dopravě bezpochyby **bezpečnost v dopravních prostředcích**. Ta může být vnímána jako bezpečnost pohybu v dopravním prostoru (bezpečné přechody pro chodce, nástupiště, nadchody), bezpečnost ve vozidle (kriminalita, krádeže), ale také bezpečnost proti nákaze (desinfekce veřejných prostor, dopravních prostředků atd.). Toto třetí téma je v posledních letech mnohem více diskutované a má vliv na celkovou kvalitu veřejné dopravy o to více, kdy svět zasáhla pandemie COVID-19.

Téma bezpečnosti a strachu cestujících z cestování vozidly MHD kvůli útokům a kriminalitě zkoumá ve své studii Delbosce a Currie [91]. Jejich studie přináší tvrzení, že velký vliv na atraktivitu veřejné dopravy má především oblast, kde by potenciální cestující veřejnou dopravu použili (jiná bude v bezpečných čtvrtích, jiná obecně ve čtvrtích s vyšší kriminalitou). Pojem bezpečnost, co se týče vlivu na atraktivitu veřejné dopravy, má dle Delbosce [91] na základě průzkumu v Melbourne zhruba stejnou váhu jako například parametr vzdálenosti od centra města nebo vlastnictví osobního automobilu v domácnosti. V současné době, kdy celý svět řešil respirační onemocnění COVID-19, se pod pojem bezpečnost dá považovat také **riziko přenosu tohoto onemocnění v dopravních prostředcích**, především pak ve vozidlech MHD. Toto riziko je současně podstatné pro problematiku upřednostňování využívání veřejné dopravy. Dle Musselwhita [92] je nezbytné důkladné čištění vnitřních interiérů vozidel MHD, dezinfekce a časté větrání. Naopak za běžných okolností preferovaná a doporučená klimatizace v moderních vozidlech MHD není v souvislosti s možným přenosem předmětné nákazy vhodná. V této studii Musselwhite zdůrazňuje, že obavy o cestování MHD během pandemie mělo i více než 75 % cestujících. Je tedy nutné při řešení kvality veřejné dopravy apelovat i na tuto problematiku.

## 1.9 Výběr vhodných preferenčních opatření pro návrhovou část

Autor se zaměřuje primárně na **problematiku vyhrazených jízdních pruhů** a jejich kompromisnějšího systému, tj. již zmíněných přerušovaných vyhrazených jízdních pruhů, jelikož se na základě analýzy vědeckého poznání jedná o nejjednodušší formu, jak jízdu vozidel MHD preferovat s minimálními náklady na realizaci. Synergicky s touto problematikou autor uvádí **propojení s opatřeními na SSZ** a zároveň s přihlédnutím k opatřením nepřímým, které byly řešeny v kapitole 1.8. Opatření nepřímá autor v rámci návrhové části zmíní především formou komentářů a v definování přínosů řešených návrhů.

Opatření fyzická, respektive opatření stavebního charakteru autor v návrhové části zanedbal. Stejně tak zamítnul podrobněji zohledňovat problematiku detekce a sledování polohy vozidel veřejné dopravy. Důvodem zanedbání těchto druhů preferenčních opatření (byť autor v žádném případě nevyklučuje jejich efekt a účel pro zvýšení spolehlivosti jízdy vozidel MHD) jsou především jejich vyšší náklady na realizaci i složitost dané realizace a současně je cílem autora tímto vymezit rozsah velmi obsáhlého tématu pro návrhovou část této práce. Primárně se tak dle v předchozí větě uvedeného budou v rámci návrhu řešit opatření organizační. Tabulka 4 sjednocuje, která opatření autor používá v rámci návrhové části, a která nikoli.



Tabulka 4: Přehled použití preferenčních opatření v návrhové části disertační práce

Preferenční opatření	Použití v návrhové části dis. práce
Bus Rapid Transit (BRT)	NE
Light Rail Train (LRT)	NE
Vyhrazený jízdní pruh (XBL)	ANO
Přerušovaný vyhrazený jízdní pruh (IBL)	ANO
Vedení MHD pěší zónou	NE
Jiná řešení vyhrazeného jízdního pruhu	ANO
Preference na SSZ	ANO
Koordinace preference SSZ (např. zelená vlna)	ANO
Předvěst (pre-signal) pro přemístění kongesce	ANO
Nepřímá opatření	ANO

Zdroj: Autor

V tabulce 5 jsou s pomocí číselného označení na základě tabulky 4 stanovena všechna konkrétní možná preferenční opatření, se kterými bude následně pracováno. Zkratka VP reprezentuje opatření, která spadají do kategorie vyhrazených jízdních pruhů a jeho modifikací, zkratka ZO pak reprezentuje organizační opatření změnou dopravního režimu a zkratka SP reprezentuje opatření na SSZ.

Tabulka 5: Seznam preferenčních opatření použitých pro návrhovou část

Číslo opatření	Popis preferenčního opatření
VP1	standardní vyhrazený jízdní pruh (trvalý)
VP2	standardní vyhrazený jízdní pruh (časově omezený – platný v době dopravní špičky)
VP3	přerušovaný vyhrazený jízdní pruh (se signalizací přítomnosti vozidel MHD)
VP4	výlučný směr v řadicím pruhu (např. povolení jízdy vozidla MHD rovně v odbočovacím pruhu pro IAD jen vpravo)
VP5	vyhrazené pruhy pro výjezd ze zastávky s výlučnou předností vozidel MHD
VP6	vyhrazený řadicí pruh
ZO1	povolení jízdy vozidel MHD jednosměrnou ulicí v opačném směru
ZO2	vedení vozidla autobusu po tramvajovém páse
SP1	absolutní preference pro vozidla MHD
SP2	podmíněná preference pro vozidla MHD
SP3	použití předvěsti pro předjetí stojících vozidel vozidlem MHD
SP4	zelená vlna

Zdroj: Autor s využitím [6], [10], [11], [12], [37]

Pokud by měly být řešeny všechny možné synergie těch preferenčních opatření, která obsahuje tabulka 5, jednalo by se o příliš velkou škálu možností (přesahující desítky opatření), která by značně převyšovala cíl a účel této disertační práce. Předpokládalo-li by se, že se mohou synergicky propojovat pouze preferenční opatření z různých kategorií (tzn. různé formy vyhrazených pruhů s provedením preference na SSZ, nebo různé typy změny organizace dopravy s provedením preference na SSZ), bylo by nutné řešit 44 různých případů synergií. Z tohoto důvodu budou níže na základě analytické části a výzkumu autora disertační práce (řešené v kapitole 1) vybrána ta synergická opatření, jejichž konkrétní typ preference či přímo synergie se vyskytuje v rámci světa nejčastěji, a to jak ve formě přímé realizace na reálné síti, či v rámci studií a výzkumné literatury.

Mezi nejčastější případy řešení, jak preferovat vozidlo MHD, je bezpochyby vyhrazený jízdní pruh (blíže charakterizovaný v kapitole 1.5.1). Svědčí o tom nejen podíl témat odborné literatury v rámci řešené problematiky, ale také poměr typu provedení preferenčního opatření k celkovému počtu autorem sledovaných a zkoumaných úseků v České republice i v zahraničí. V synergii s vyhrazeným jízdním pruhem je nejčastěji spojována preference jízdy vozidla MHD (absolutní i podmíněná) na křižovatkách se SSZ, která se využívá nejen v České republice, ale především ve velkém počtu měst v západní Evropě.

Dalším velmi často se objevujícím případem, kde je uplatněn synergický efekt více opatření, je kombinace vyhrazeného jízdního pruhu společně s tzv. zelenou vlnou. V mnoha systémech MHD se toto opatření uplatňuje především na sběrných a rychlostních místních komunikacích, kterými jsou vedeny linky MHD a současně je zde v sérii za sebou několik křižovatek se SSZ, které řídí křížení předmětné místní komunikace s méně významnými místními komunikacemi. Kromě řady autorů použitých informačních zdrojů zabývajících se zelenou vlnou i vyhrazeným jízdním pruhem (např. Fangfang nebo Warberg), existuje také řada měst, kde je toto opatření aplikováno. Nachází se například ve Varšavě v Polsku (ul. Radzymińska), ve vybraných úsecích v Darmstadtu v Německu či v Praze ve Vrchlického ulici.

Z hlediska změny organizace dopravy se vůbec nejčastěji vyskytuje synergie mezi vedením autobusu tramvajovým pásem a následné preference na křižovatce se SSZ. Je to běžně používané preferenční opatření, které nevyžaduje ani snížení kapacity místní komunikace, ani zvláštní technická opatření. Jedinou podmínkou je konstrukce tramvajového tělesa na asfaltovém povrchu namísto standardního povrchu otevřeného. Toto opatření se dle výzkumu

autora disertační práce často vyskytuje ve městech západní Evropy (v Berlíně, Drážďanech, Vídni, Lyonu a v mnoha dalších městech), kde je tramvajový subsystém. V České republice se toto opatření vyskytuje v Praze (například v ulici Vršovická či Bělohorská), v Brně (např. na Šilingrově náměstí) či v Plzni (např. v ulici Slovanská). V jiných světadílech ve městech s tramvajovými provozy se zpravidla tato kombinace preferenčních opatření nevyskytuje, obvykle jsou tramvaje vedeny po otevřených tělesech, či po místních komunikacích společně s autobusy i s IAD.

Dalších kromě výše jmenovaných vyskytujících se synergických opatření je sice velké množství, ale zpravidla s menší četností. Řadí se mezi ně například kombinace výlučných směrů pro vozidla MHD s následnou preferencí na SSZ v různých formách řadičoho pruhu; vedení vozidel MHD jednosměrnými ulicemi v opačném směru s doplněním preferovaného SSZ; využití pěších zón pro jízdu vozidel MHD s následnou preferencí na SSZ v křižovatce spojující pěší zónu a běžný úsek místní komunikace a mnoho dalších. Existují ale také synergická opatření, která se vyskytují spíše ve formě studií, konkrétně již několikrát zmíněný přerušovaný vyhrazený jízdní pruh s případnou synergií s preferencí vozidla MHD na následující křižovatce.

## **1.10 Shrnutí analýzy vědeckého poznání**

V odborných člancích, studiích i obecně v odborné literatuře, která je citována v seznamu použitých informačních zdrojů, byla autorem této disertační práce v kapitolách 1.1 – 1.8 provedena analýza vědeckého poznání a následně v kapitole 1.9 byl proveden výběr těch preferenčních opatření, se kterými bude následně v návrhové části pracováno. V této kapitole 1.10 je provedeno shrnutí analytické části disertační práce.

Autor této disertační práce s pomocí dostupných zdrojů nejprve navrhuje vlastní upravené dělení na preferenční opatření přímá a nepřímá, které následně rozděluje podle typu provedení. V rámci dostupné světové literatury je řešena především přímá preference čili samotná fyzická realizace daných opatření, nicméně je méně poukazováno na velmi podstatnou preferenci nepřímou, bez které nebudou ani sebelepší přímá řešení preference dostatečně a efektivně fungovat. Dostupná literatura z pohledu preferenčních opatření obecně uvádí preferenční opatření vyžadující stavební nebo organizační opatření včetně jejich vzájemné kombinace. Mezi nejčastější fyzická opatření změny dopravního režimu se řadí segregované jízdní pásy pro autobusy a zcela oddělené rychlé tramvajové tratě pro vozidla MHD. Nejvíce autorem této disertační práce citovaných odborných článků i studií se zabývá preferenčním

opatřením vyhrazenými jízdními pruhy pro vozidla MHD. Téměř v každé z těchto studií je však velice často poukazováno na to, že standardní vyhrazené jízdni pruhy snižují kapacitu komunikací (při dvoupruhové místní komunikaci až o 50 %). Jejich realizace je sice poměrně snadná a jednoduchá, nicméně budování standardních vyhrazených jízdniých pruhů mívá následky na celkovou mobilitu v rámci města, či oblasti, kde dochází k navyšování kongescí a dopravní intenzity vlivem snížení kapacity místní komunikace tam, kde se předmětný vyhrazený pruh realizuje. Zhruba 70 % autorů studií zabývajících se vyhrazenými jízdniými pruhy citovaných v seznamu použitých informačních zdrojů tak hledají taková opatření, kde by vyhrazený jízdni pruh plnil svůj účel pouze v okamžiku jízdy daného vozidla MHD (tzv. dynamic/intermittent bus lane), v ostatní době by pak takový pruh mohli využívat všichni ostatní uživatelé dopravního prostoru. Autor shledává také podstatné nedostatky v právním prostředí, především pak téměř ve všech pravidlech silničního provozu, kde je nedostatek informací o preferenci veřejné dopravy, respektive o dodržování a respektování preferenčních opatření ze strany ostatních uživatelů dopravního prostoru. Jediná informace, která je v právním prostředí (v rozsahu, které autor analyzoval v kapitole 1.1) ve spojení s problematikou preference veřejné dopravy uvedena, je informace o vyhrazených jízdniých pruzích a jejich vodorovném a svislém značení.

Další podstatná část z analýzy jsou pak opatření na světelných signalizačních zařízeních (SSZ). V rámci systémů MHD jsou možnosti, jakým způsobem vozidla MHD v rámci křižovatek preferovat. Nejčastěji se používají různé formy detekce příjezdu vozidla MHD před SSZ, kde je následně v nejbližším vhodném časovém okamžiku poskytnut danému vozidlu signál volno. Dostupné zdroje zkoumají formy detekce (pomocí GPS, trolejových kontaktů, indukčních smyček apod.), druhy signálů pro vozidla MHD jsou pak řešeny spíše okrajově. V rámci preferenčních opatření jak fyzických, tak změnou dopravního režimu, se zpravidla řeší izolovaná místa čili určité samostatné křižovatky či jízdni pruhy. Bylo by tak vhodné zaměřit se více právě na zmíněný synergický efekt. Pro účely návrhové části tak bude analýza těchto opatření využita jen částečně ve výchozí části návrhové kapitoly (v kapitole 4.2) především ve smyslu následného vytvoření předmětných synergických opatření.

Pojem synergie v této problematice se navíc pro zlepšení kvality a konkurenceschopnosti veřejné dopravy nerozumí jen jako synergie mezi jednotlivými konkrétními preferenčními opatřeními, ale také se tím rozumí určitá synergie s IAD, kterou není možné při řešení tohoto problému zanedbat.

## 2 DEFINICE CÍLE PRÁCE

**Cílem disertační práce je s pomocí analýzy a kritického zhodnocení vědeckého poznání o preferenčních opatřeních při využití metod analýzy měkkých systémů a matematických rozhodovacích metod a přístupů sestavit metodiku pro hodnocení synergie preferenčních opatření ve veřejné dopravě. Tato metodika stanoví předběžné rozhodnutí, zda bude dané vybrané synergické opatření při řešení konkrétního problematického úseku dostatečně efektivní.**

K dosažení cíle bude nejprve provedena identifikace preferenčních opatření jako systému, následně bude provedeno stanovení vybraných synergických opatření, které zastupují všechna preferenční izolovaná opatření vybraná pro návrh v kapitole 1.8. Podkladem pro identifikační část je především analýza vědeckého poznání, v níž jsou řešena různá preferenční opatření realizovaná v České republice i v zahraničí (např. v Německu, Rakousku či Velké Británii) za účelem zvýšení konkurenceschopnosti veřejné dopravy.

Vybraná synergická opatření budou nejprve detailně charakterizována verbálně a následně bude jejich proces charakterizován s pomocí Petriho sítě. S pomocí Saatyho metody bude následně provedeno porovnání těchto opatření, stanoveny tři rozhodovací přístupy a pohledy na danou problematiku a následně bude stanovena metodika výběru vhodného synergického opatření.

Tato metodika výběru synergie preferenčních opatření má za cíl subjektu, který bude takové opatření realizovat, poskytnout ještě před zahájením realizace **předběžné rozhodnutí, zda bude dané vybrané synergické opatření při řešení konkrétního problematického úseku dostatečně efektivní. Pojmem** dostatečně efektivní se rozumí takovým způsobem, že bude toto opatření sloužit k eliminaci vznikajícímu nežádoucímu zpoždění vozidel MHD na předmětném problematickém úseku, případně ke zkrácení cestovní doby. **Subjektem**, který by tuto metodiku využil, by mohl být například realizátor tohoto opatření z pozice technické správy místních komunikací, či navrhovatel tohoto opatření z pozice provozovatele či koordinátora veřejné dopravy v rámci daného města (či v rámci dotčených linek veřejné dopravy). Samotný **proces výběru** má za cíl zohlednit co nejnižší náklady na realizaci takového opatření s minimálním dopadem na jízdu vozidel (tj. pokud možno bez navýšení čekací doby těchto vozidel), které nejsou předmětem preference a současně s co nejvyšším efektem pro vozidla preferovaná.

## 3 POUŽITÉ VÝZKUMNÉ METODY

Pro naplnění cíle stanoveného v kapitole 2 disertační práce se nabízí použití metod systémové analýzy (např. metod identifikace systémů, analýzy preferenčních opatření s použitím měkkých systémů atd.), matematických a modelovacích metod a metod rozhodovacích a hodnotících.

V této kapitole 3 jsou uvedeny vybrané metody, které by bylo možné použít pro tvorbu návrhu i pro jeho verifikaci a validaci. Následně v kapitolách 3.4, 3.5, 3.6 a v samotné návrhové části pak autor oblast možných metod na základě jejich vhodnosti použití s příslušným komentářem konkrétně vymezuje.

### 3.1 Identifikace systému

Základní metodu systémové analýzy tvoří **identifikace systémů**, která je složena z jednotlivých kroků. Mezi ně patří dle Černé a Černého [82] stanovení rozlišovací hladiny, určení prvků systémového modelu, přiřazení funkcí, určení a parametrizace vazeb a určení cílového chování.

Rozlišovací hladina pro účely práce je mezoskopická (kde systém jako takový je řešen makroskopicky, části spojené s využitím konkrétní preference jsou pak v rámci návrhové části řešeny spíše mikroskopicky).

Prvky systémového modelu jsou vymezovány pro vykonávání budoucích funkcí v daném systému. Prvky okolí tohoto systému daný systém ovlivňují (ať už negativně, či pozitivně), zadávají vstupy a přejímají výstupy. Jejich využití nelze předpokládat pro vnitřní funkci předmětného systému.

Přiřazené funkci jednotlivým prvkům v daném systému určují jejich roli a význam pro daný systém. Množina těchto funkcí odpovídá schopnosti daného systému. Prvkům okolí se z hlediska systému funkce nepřirazují.

Určení vazeb probíhá na základě znalosti technologie procesů, které je třeba v této etapě identifikovat. Součástí tohoto kroku je určení rozhodovacích podmínek, určení návazných dvojic prvků a určení vazeb hraničních prvků systému s prvky jeho okolí.

Parametrizace vazeb zahrnuje stanovení parametrů a druhů vlastností na identifikovaných vazbách systému.

Cílové chování je pak rozpoznání toho, čeho je žádoucí dosáhnout u existujících systémů, respektive čeho je nezbytné dosáhnout u systémů projektovaných.

Součástí této metody je dle Černého a Černé [82] orientovaný graf na určení vazeb mezi jednotlivými opatřeními a také schéma předchůdců a následovníků.

**Využití** této metody podrobněji autor realizuje v kapitole 4.1.1, kde je provedena identifikace preferenčních opatření v systémovém pohledu. Právě identifikace, která bude realizována v kapitole 4.1.1 je pro následující návrhové řešení (prováděné od kapitoly 4.2 po kapitolu 4.6) nezbytná z důvodu stanovení jednotlivých prvků, které vstupují do celého systému konkrétního preferenčního opatření a je tímto možné zohlednit nejen samotné řešení pro zlepšení nežádoucího stavu, ale současně i dopady na podstatné okolí, které do tohoto systému vstupuje.

## **3.2 Analýza preferenčních opatření coby měkkých systémů**

Pro danou problematiku a jejich analýzu se nabízí použití metod analýzy měkkých systémů. Samotná preferenční opatření přímá i nepřímá jsou poměrně složitě matematicky vyjádřitelná, proto je vhodné užít právě tohoto druhu analýzy. Je nezbytné zmínit, že je možné využít i tzv. tvrdé metody, nicméně pouze za konkrétních podmínek a na základě prvotní analýzy systémů měkkých.

Mezi uvažované metody analýzy měkkých systémů pro potřeby disertační práce patří analýza silového pole a Petriho sítě. Postupně budou v rámci této kapitoly tyto metody charakterizovány a bude uvedeno, kde a k čemu budou tyto metody v rámci návrhové části disertační práce využity.

### **3.2.1 Analýza silového pole**

Analýza silového pole se zabývá silnými a slabými aspekty neboli zajišťuje identifikaci pozitivních a negativních sil působících na problém. Analýza silového pole slouží jako podklad pro plánování změn v systému, které jsou podle míry převahy pozitivních či negativních sil následně vyhodnoceny. [82] Opakovanou otázkou u analýzy silového pole je častý výskyt subjektivity při hodnocení významu jednotlivých sil. Nezbytné je tedy tuto analýzu sestavit tak, aby byla případná subjektivita maximálně odstraněna. Ve smyslu návrhové části disertační práce se současně tato metoda využívá k identifikaci toho, jak je možné dané síly upravit, aby případné opatření mohlo být zavedeno, budou-li negativní síly opravdu odpovídajícím způsobem kompenzovány.

**Použití** analýzy silového pole bude proveden v rámci porovnání a verifikace návrhu v kapitole 4.3 pro účel ohodnocení jednotlivých charakterizovaných synergických preferenčních opatření a stanovení kladných a záporných sil.

### 3.2.2 Petriho síť

Jako další z hodnotících, respektive metod charakteristiky měkkých systémů se nabízí metoda popisu dynamických systémů s pomocí Petriho sítí. Petriho síť jsou dle W. Reisiga [100, s. 11, 12] univerzální matematický a grafický nástroj pro popis dynamických systémů. Graficky jsou tyto systémy popsány jako bipartitní orientované grafy, kde uzly reprezentují stavy a akce a hrany popisují, jakým způsobem je možné přejít z jednoho stavu do druhého. Vzhledem k tomu, že se jedná spíše o obecný popis chování daného systému, je možné tuto metodu použít v různých oborech. Rozlišují se základní dva typy Petriho sítí, konkrétně síť C/E (Condition/Events) a P/T (Place/Transitions). Následně se pak Petriho síť dělí na síť s inhibičními hranami, s prioritami, časované, barevné, hierarchické a objektové. Z hlediska řešené problematiky synergie preferenčních opatření se nabízí jako nejvhodnější obecné P/T Petriho síť. Ty disponují dvěma množinami elementů, konkrétně P-elementů (stavové elementy, místa) a T-elementů (přechodové elementy, přechody). Pro charakteristiku chování více preferenčních opatření a elementů (vozidel) v nich se pohybujících je hlavním přínosem, že Petriho síť umožňují souběžný rozbor více v jednu chvíli současně probíhajících úkonů.

**Použití** metody Petriho sítě je provedeno v kapitolách 4.2.1 až 4.2.5, kde bude tato metoda využita k rozboru jednotlivých autorem disertační práce v kapitole 4.1.2 vybraných synergických opatření pro dostatečné znázornění jednotlivých kroků dané synergie. Hlavním důvodem použití této metody je grafické znázornění (které má podstatně vyšší vypovídající hodnotu, než standardní verbální rozbor) návazností jednotlivých kroků dané konkrétní preference.

## 3.3 Další matematické metody

Mezi matematické metody, přínosné pro návrhovou část dané disertační práce, patří BPR Funkce či metody rozhodovací a hodnotící.

### 3.3.1 BPR Funkce

BPR Funkce je dle Černého a Černé [82] metoda sloužící pro vyjádření závislosti nárůstu času potřebného pro překonání vybraného úseku v závislosti na rostoucí intenzitě dopravního proudu na tomto úseku. Pro vyjádření této závislosti je nutné znát hodnoty dopravní



intenzity daného úseku, kapacity daného úseku a cestovního času. BPR Funkce je vyjádřena vztahem (1.2).

$$T_i = T_0 \left( 1 + \alpha \left( \frac{I}{Q} \right)^\beta \right) \quad (1.2)$$

kde platí:

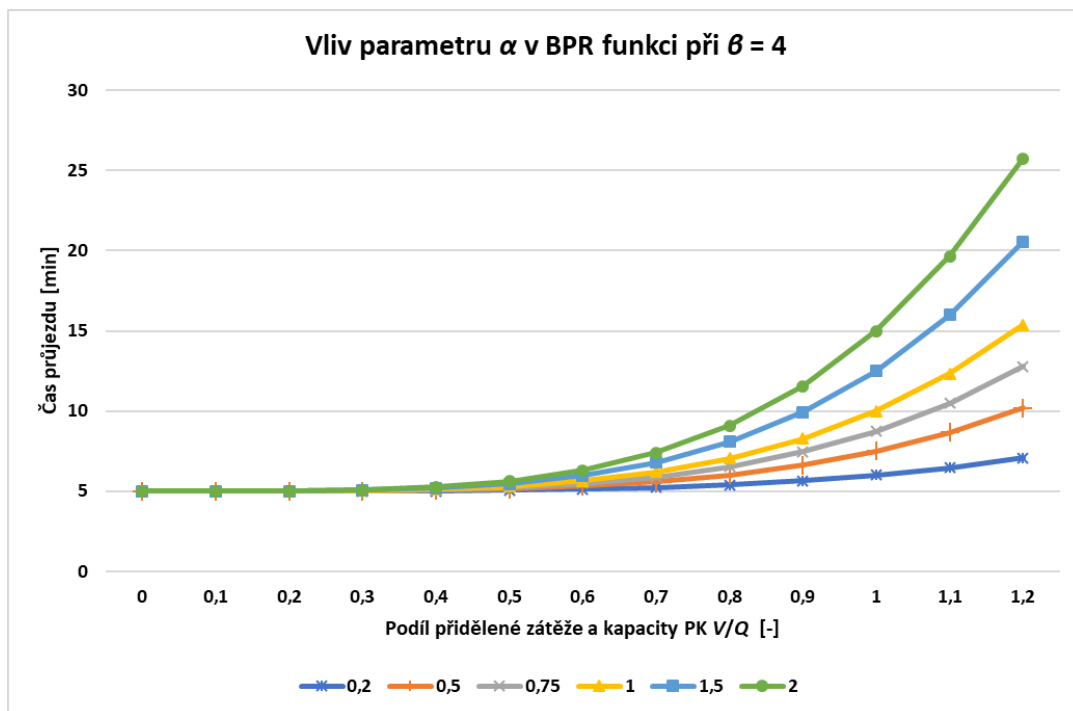
$\frac{I}{Q}$  je poměr intenzity ke kapacitě úseku [-]

$T_0$  je cestovní čas pro volný dopravní proud [min]

$\alpha$  je parametr dané komunikace (dle třídy či významu) [-]

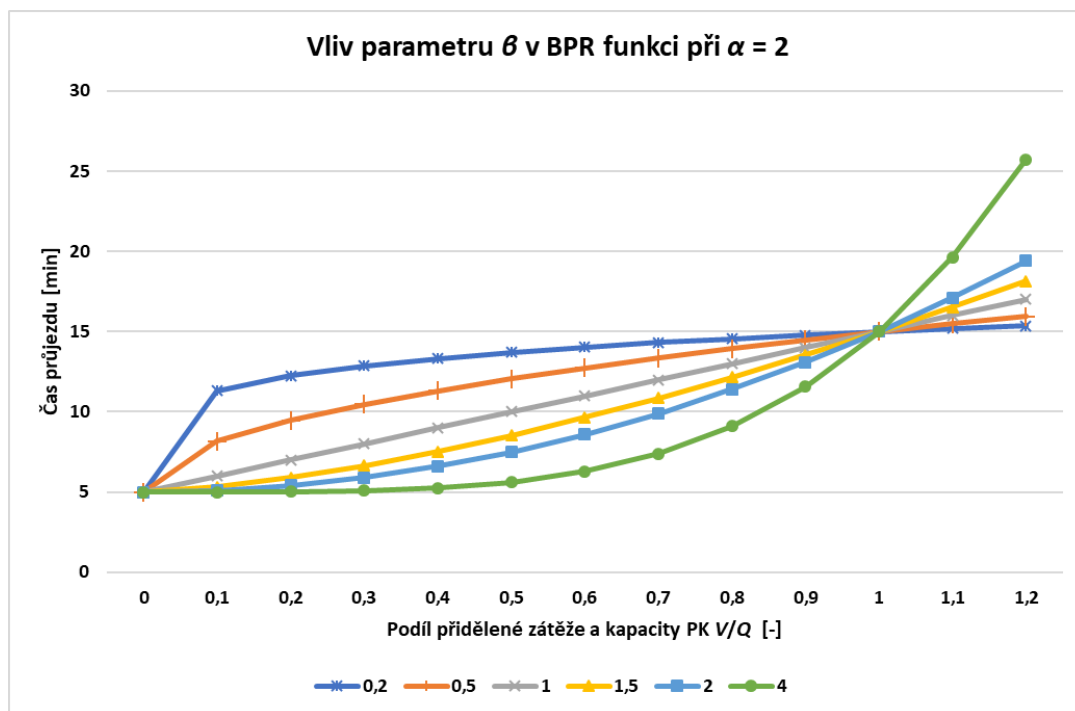
$\beta$  je parametr dané komunikace většinou v hodnotě cca 4 [-]

Parametry dané komunikace se odvíjí od toho, o jaký typ pozemní/místní komunikace se jedná. BPR vyjadřuje závislost osy x (poměr intenzity ke kapacitě úseku - využití kapacity dané PK) na ose y (cestovní čas). Průběhy vlivu parametru alfa v BPR funkci při hodnotě beta ve výši 4 a při jednotlivých podílech využití kapacity pozemní komunikace zobrazuje obrázek 14. Vliv parametru beta v BPR funkci při hodnotě alfa ve výši 2 pak zobrazuje obrázek 15.



Obrázek 14: Průběh parametru alfa v BPR Funkci při nabytí hodnot 0,2-2

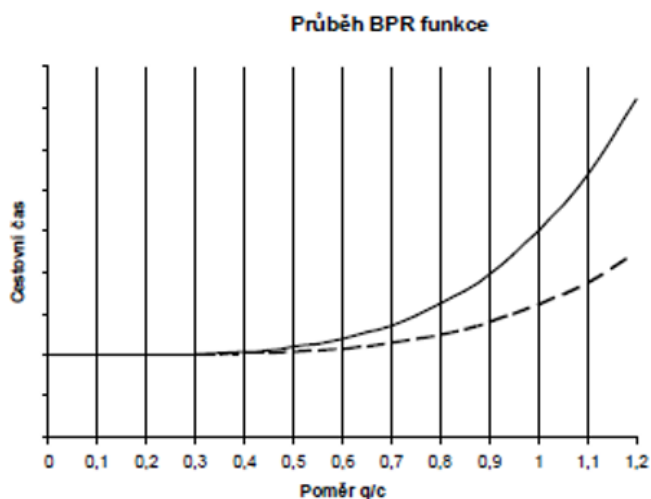
Zdroj: [82] [103]



Obrázek 15: Průběh parametru beta v BPR Funkci při nabytí hodnot 0,2-4

Zdroj: [82] [103]

Průběh BPR funkce dle Černé a Černého [82] zobrazuje graf na obrázku 16. Na ose y je vyjádřena hodnota cestovního času, na ose x pak poměr intenzity a kapacity místní komunikace.



Obrázek 16: Průběh BPR funkce ze zdroje [82]

Zdroj: [82]

Metoda přináší exaktní výsledek průběhu nárůstu cestovního času při známosti všech hodnot výše uvedených veličin, a tedy i uvědomění si dopadu zvýšení či naopak snížení intenzity na cestovní čas dotčených vozidel. Pro účely stanovení metodiky synergie

preferenčních opatření je možné touto metodou vypočítat změnu cestovního času na konkrétních úsecích, nicméně je nezbytné znát všechny potřebné hodnoty uvedené ve vztahu (1.2). Metoda neřeší dopad na okolí, ale posuzuje jeden konkrétní případ na konkrétním úseku.

### 3.3.2 Rozhodovací a hodnotící metody

Rozhodování je proces výběru mezi několika alternativami řešení určitého problému podle stanovených kritérií. Jedná se o druh matematických metod, do kterých zpravidla vstupují subjektivní preference posuzovatelů, a které zpravidla nepodávají tak objektivní obraz o skutečnosti, jako např. v předchozí kapitole zmíněná metoda BPR Funkce.

V rámci porovnávání samostatných preferenčních opatření i jejich synergie jsou však metody rozhodování pro vytváření různých návrhů řešení klíčové. Metody multikriteriálního rozhodování autor disertační práce považuje za nezbytné, jelikož při každém rozhodovacím procesu o aplikaci daného preferenčního opatření či synergie je nutné zohlednit více kritérií (vliv na cestovní čas, dopad na kolizní směry atd.). Přesný výběr metod bude následně proveden v kapitole 3.5. Použitá metoda rozhodování závisí především na tom, jaký výsledek ten který příklad či model bude vyžadovat.

Uplatňuje se použití vícekriteriálních metod **rozhodování při neurčitosti** (nebude předem znám efekt daného propojení preferenčních opatření, nebude známa reakce okolí na konkrétní opatření) metod **diskrétního rozhodování** (metody s ordinální či kardinální informací) či metod **odhadu vah kritérií**.

Právě metody párového srovnávání autor předpokládá primárně využít, jelikož se pojmem synergie, jak již bylo dříve uvedeno, pro účely této práce rozumí propojení dvou preferenčních opatření.

Rozhodovací a hodnotící metody zpravidla nepřinášejí tak přesné výsledky, jako metody matematické (např. výše uvedená BPR funkce), nicméně nabízí komplexnější pohled na řešený problém. Autor disertační práce v těchto metodách shledává pro stanovení metodiky synergie preferenčních opatření především význam v tom, že je jimi možné provést rozbor také vlivu na okolí u konkrétních řešených problémů, což je při realizaci preferenčních opatření zcela nezbytné.

### 3.3.3 Metoda bodovací, metoda pořadí

Mezi zcela základní metody rozhodování patří metoda bodovací a metoda pořadí. **Bodovací metoda** dle Triantaphyllou [101] spočívá v přiřazení určitého počtu bodů ze zvolené

stupnice každému kritérii. Maximální počet bodů je libovolný, pokud je u všech kritérií stejný. Záleží spíše pak na tom, jak přesně (s jakým krokem) je potřeba rozdíly ve vahách kritérií rozlišovat. Platí pravidlo, že čím důležitější je to dané kritérium, tím více bodů musí získat. V této metodě se často se používají 5 nebo 9ti bodové stupnice. (1.5).

$$v_i = \frac{b_i}{\sum_{j \in K} b_j} \quad \forall i \in K \quad (1.5)$$

kde platí:

$v_i$  odhady vah [–]

$b_{i/j}$  přidělené body za dané kritérium [–]

$K$  celkový počet kritérií [–]

Výše přidělených bodů záleží na rozhodovateli a na jeho preferencích. Jsou-li kritéria, které je žádoucí vypustit, je možné přidělit danému kritériu 0 bodů. Pokud se má za každou cenu kritérium v daném hodnocení ponechat, ale není mu v zásadě v takovém případě připisována žádná váha, pak se ohodnotí 1 bodem. Je také k diskusi, zda je možné připustit rovnocennost více kritérií, nebo v každém případě tuto rovnocennost s pomocí bodového ohodnocení vyloučit. Zvláštní případ bodovací metody je alokace 100 bodů. Princip této modifikace bodovací metody spočívá v rozdělení dávky 100 bodů mezi jednotlivá kritéria v závislosti na jejich významnosti. Počet bodů se musí vždy vyčerpat.

**Metoda pořadí** seřazuje kritéria podle jejich důležitosti od nejdůležitějšího po nejméně důležité. Nejdůležitější kritérium ohodnocuje  $k$  body, následující kritérium v pořadí dle důležitosti ohodnocuje  $k-1$  body. Stejně důležitá kritéria budouje příslušnou průměrnou hodnotou. Vzorec metody pořadí (1.6) je uveden následně:

$$v_i = \frac{b_i}{\sum_{j \in K} b_j} \quad \forall i \in K \quad (1.6)$$

kde platí:

$v_i$  odhady vah [–]

$b_i$  body přidělené kritériu  $i \in K$  [–]

$\sum_{j \in K} b_j$  součet bodů přidělený všem kritériím z množiny kritérií

$k$  celkový počet kritérií [–]

### **Příklad použití bodovací metody, či metody pořadí**

Pro účely stanovení metodiky hodnocení daných synergií může přinést některá z metod vícekritériálního rozhodování náhled na to, která kritéria při srovnávání jednotlivých řešení jsou důležitější a která naopak. Autor by v případě použití této metody zpravidla srovnával následující kritéria hodnocení: úspora cestovního času pro vozidlo MHD, navýšení cestovního času pro vozidlo IAD, vliv na vozidla v kolizních směrech, míra návaznosti z/na následující úseků a další. Metody jsou však velmi teoretické a jejich použití spíše slouží k uvědomění si, jaká role je při řešení konkrétního opatření u jednotlivých kritérií.

Proto se bude autor v rámci návrhové části přiklánět spíše k použití Saatyho metody charakterizované v kapitole 3.3.4.

#### **3.3.4 Saatyho metoda**

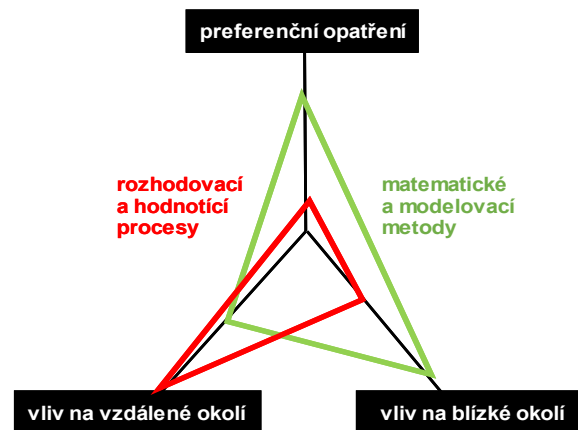
Saatyho metoda slouží dle Černé a Černého [82] ke stanovení míry preference jednoho kritéria před druhým. Míry preference jsou zobrazovány v tzv. Saatyho matici, kde na škále hodnot od 1 do 9 hodnotitel určuje, o jaký význam (v jaké škále) se jednotlivá kritéria liší. Platí, že hodnota 1 znamená rovnocennost kritérií, hodnota 3 znamená, že kritérium  $i$  je slabě preferováno před kritériem  $j$ , hodnota 5 znamená, že kritérium  $i$  je silně preferováno před  $j$ , hodnota 7 znamená, že kritérium  $i$  je velmi silně preferováno před  $j$ , hodnota 9 pak znamená, že kritérium  $i$  je absolutně preferováno před  $j$ . Sudými hodnotami jsou pak ohodnoceny neurčité mezistupně. Je-li preferováno kritérium  $j$  před  $i$ , použije se převrácená hodnota.

Saatyho metoda bude použita v hodnotící kapitole 4.3. Její vhodnost pro tvorbu návrhu je především z důvodu možnosti komplexně porovnat několik kritérií, která vstupují do hodnocení konkrétní synergie preferenčního opatření.

### **3.4 Zvolení přístupu k výběru vhodných metod**

V první řadě je nezbytné provést výběr vhodných metod pro další postup při sestavování metodiky hodnocení synergie preferenčních opatření tak, jak je uvedeno v cíli disertační práce. Pro co nejefektivnější výběr těchto metod jako první se použije grafické trojúhelníkové zobrazení, které uvádí P. Krýže v Nové metodice pro zjišťování kapacity dráhy [103], a které slouží pro komplexní zobrazení vztahu mezi jednoduchostí a vypovídající schopností výsledků. Tento graf je následně nově vytvořen autorem disertační práce pro potřeby řešeného tématu. Nově vytvořený graf obsahuje obrázek 17 a představuje rovinu mezi oblastí problematiky, která je v rámci disertační práce řešena a mezi možnými metodami. Je především poukázáno na to,

s jakými metodami lze pracovat při řešení jednoho konkrétního opatření na určitém místě na síti a naopak, které metody je vhodné používat při řešení daného opatření v komplexnějším měřítku (tzn., zda se jedná o blízké či vzdálenější okolí daného problému).



Obrázek 17: Grafické zobrazení oblastí problematiky pro správný výběr metod

Zdroj: Autor s využitím [102]

Na základě zobrazeného grafu se nabízí metody matematické, modelovací, rozhodovací a případně jejich vzájemná kombinace. Dle grafu na obrázku 17 závisí na použití metod především náhled na velikost vlivu preferenčního opatření na okolí. Současně má na výběr vhodných metod podstatný vliv dostupnost vhodných dat.

V rovině **osy preferenčního opatření** je řešeno jeho konkrétní provedení, tzn. technické a organizační řešení, počet jízdnic pruhů vyhrazených a nevyhrazených, počet SSZ zapojených do konkrétní preference a podobně. V rovině **osy vlivu na blízké okolí** se jedná o dopad preferenčního opatření na konkrétním řešeném místě, tzn. míra zrychlení preferovaných vozidel v rámci daného problematického místa; míra omezení vozidel kolizních v preferovaném směru i vozidel ve směrech kolizních a mnoho dalších dopadů. Z **hlediska vlivu na vzdálené okolí** jsou myšleny například změny dopravní intenzity na souběžných místních komunikacích s místní komunikací, kde byla realizována preference; dopady na jízdní dobu i cestovní rychlost vozidel MHD v kolizních směrech. Současně jsou tím myšleny i případné dopady na přestupní vazby.

### 3.5 Výběr výzkumných metod pro sestavení metodiky

Pro **stanovení metodiky synergie preferenčních opatření je možné při ověřování použít několik metod**. Hlavním kritériem pro výběr vhodné metody je dostupnost vstupních dat potřebných pro danou metodu a očekávání od výsledku, jaký ta která konkrétní metoda

přinese. Na základě předchozí charakteristiky a ilustračních metod autor vybírá ty metody, které následně při jejich ověřování v kapitole 4 použije. Tabulka 6 obsahuje přehled všech výše charakterizovaných metod a komentář informující o vhodnosti jejich použití.

Tabulka 6: Přehled možných metod pro ověření s komentářem k jejich vhodnosti použití

Metoda	Komentář k dané metodě
<b>Matematické metody</b>	
BPR Funkce	Metoda vhodná pro exaktní výsledek vývoje cestovního času v závislosti na poměru intenzity a kapacity. Vhodné použití této metody autor shledává v aproximaci reálného chování jednotlivých elementů v konkrétním úseku a případě. Neposkytuje však dostatečný rozbor a informace o dopadu na okolí.
<b>Metody rozhodování</b>	
Bodovací metoda a metoda pořadí	Jedná se o teoretické metody sloužící pro uvědomění si významu kritérií a jejich upřednostnění. Jsou vhodné pro finální hodnocení, nicméně neposkytují dostatečné informace o řešeném problému.
Saatyho metoda	Metoda je vhodná pro uvědomění si rozsahu významu dvojic kritérií. Vhodné pro finální hodnocení, nicméně neposkytuje dostatečné informace o řešeném problému. Má však pro potřeby porovnání dvojic srovnávaných opatření pro účely této práce větší vypovídající schopnost.
<b>Metody charakteristiky měkkých systémů</b>	
Analýza silového pole	Metoda sloužící pro identifikaci pozitivních a negativních sil působících na problém. Pro řešení téma práce je tato metoda přínosná pro uvědomění si dopadu jednotlivých synergických opatření na síť jako celek.
Matematický nástroj Petriho sítě	Metoda se využívá především pro grafické zobrazení chování daného problému jako dynamického systému. Metoda je výhodná pro grafický i matematický rozbor více procesů probíhajících současně, což synergická preferenční opatření beze sporu jsou.

Zdroj: Autor s využitím [82], [100], [101]

Dle komentářů k jednotlivým možným použitelným metodám uvedených v tabulce 8 dojde k primárnímu využití matematického nástroje **Petriho sítě** pro charakteristiku řešeného problému a následně budou pro hodnocení a verifikaci využity metody **analýzy silového pole** a **Saatyho metoda**.

Na základě výběru nejvhodnějších metod bude následně v kapitole 4.2 provedeno ověření aplikace metody rozboru dynamického systému pomocí matematického nástroje

Petriho síť na 4 vybraných případech synergií preferenčních opatření stanovených v kapitole 4.1.2. V kapitole 4.7 následně bude provedeno shrnutí těchto rozborů konkrétních případů a budou specifikovány dílčí závěry plynoucí z jednotlivých provedených rozborů.

### **3.6 Shrnutí použitých výzkumných metod**

V kapitole 3 byla provedena charakteristika a výběr metod, které budou v rámci návrhové části disertační práce použity. Současně byly k těmto metodám doplněny komentáře o vhodnosti použití v návrhové části a odkazy na kapitolu, v níž jsou tyto metody použity. Byl současně doplněn komentář o vhodnosti těchto metod. Následně byl stanoven přístup pro konečný výběr vhodných metod a tento výběr byl na základě tohoto přístupu proveden.

Pro výpočetní operace v rámci metod vícekritériálního rozhodování, které budou použity v návrhové části, bude využit software MS Excel. Toto použití je konkrétně provedeno v kapitole 4.3.6 a v kapitole 4.6.5.



## 4 NÁVRH ŘEŠENÍ SYNERGIE MEZI PREFERENČNÍMI OPATŘENÍMI

S pomocí podrobné analýzy problematiky preference veřejné dopravy realizované v kapitole 1 a použití stanovených výzkumných metod shrnutých v kapitole 3 následuje autorem sestavená návrhová část předmětné disertační práce. Návrhovou část tvoří přehled preferenčních opatření, která budou v daném návrhu použita, aplikaci vybraných metod na identifikaci, rozhodování, porovnávání a verifikaci a následné zhodnocení návrhů a stanovení metodiky. Jednotlivá opatření budou řešena pohromadě, konkrétní možná synergická opatření pak samostatně.

**Pojmem synergie** se v této problematice pro účely návrhové části rozumí **spojení dvou a více opatření, u nichž se předpokládá vzájemná spolupráce**. Hodnocení synergie je následně závislé dle toho, jaký efekt to které opatření přináší především z hlediska časové úspory, případně z dalších hledisek a přístupů, které jsou v následujících podkapitolách řešeny.

**Pojmem preferenční opatření** se rozumí takové opatření, které slouží k zlepšení a zefektivnění průjezdu vozidla MHD daným problematickým místem.

**Vhodná synergie preferenčních opatření** na daném problematickém místě **musí splňovat několik parametrů**, konkrétně musí být taková kombinace opatření co nejjednodušší na realizaci s co nejnižšími náklady. Současně také musí parametry takové synergie zohledňovat minimalizaci dopadů na vozidla v kolizních směrech se směry jízdy vozidel preferovaných, eliminovat počet možných kolizních situací a zároveň maximalizovat využití kapacity dané místní komunikace.

### 4.1 Identifikace a vymezení synergických opatření

Na základě analýzy a jejího shrnutí (v kapitole 1.9) bylo již vymezeno, která opatření pro preferenci veřejné dopravy budou zohledněna, a se kterými opatřeními bude dále pracováno v návrhové části.

Primárně bude návrh řešení pracovat s organizačními opatřeními, konkrétně s:

- vyhrazeným jízdním pruhem (a jeho modifikacemi),
- přerušovaným vyhrazeným jízdním pruhem,
- preferencí na SSZ a
- změnou organizace dopravy.

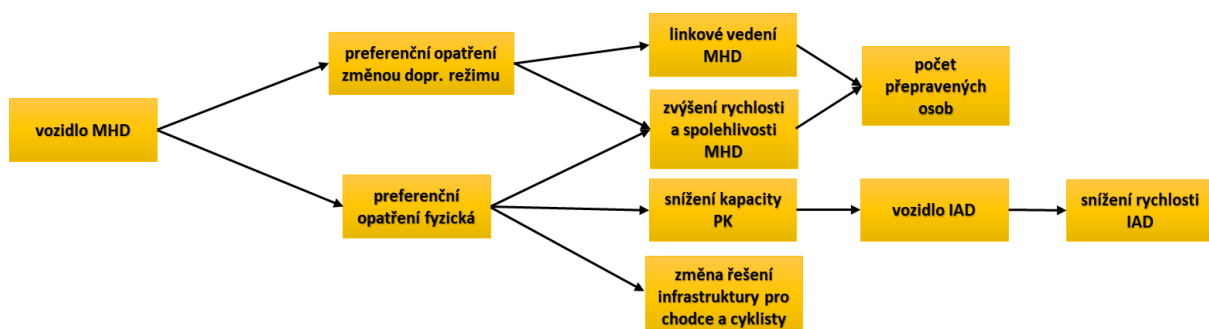
#### 4.1.1 Identifikace vybraných preferenčních opatření jako systému

V kapitole 1.3 autorem provedené rozdělení přímých preferenčních opatření na fyzická, organizační, opatření na SSZ, koordinovaná a ostatní je nutné pro účely návrhu synergie dále identifikovat. Základem identifikace je topologická definice pohledem systémové analýzy. Je následně nezbytné nalézt, co se v rámci jednotlivých preferenčních opatření dá brát za vnitřní systém, co za podstatné okolí a s čím bude následně v návrhu pracováno.

V 1. etapě, tj. ve stanovení rozlišovací hladiny, je určen stupeň podrobnosti zkoumání daného opatření, respektive jeho v návrhu řešená část. Zde je jednoznačně nutno zmínit, že bude zkoumáno provedení daného opatření, jeho technické či organizační řešení (vnitřní systém) a následně nejbližší okolí, kterým jsou vozidla MHD, trasování linek MHD a vliv na IAD. Za méně podstatné (a zpravidla neřešené okolí) je například považován vliv kongesce v rámci místních komunikací z důvodu snížení jejich kapacity na příjezdové úseky dálniční sítě pozemních komunikací do města.

V 2. etapě je určení prvků systémového modelu a jeho okolí. Jednotlivými prvky jsou vozidla IAD, vozidla MHD, detekční zařízení, SSZ, řídicí systém, řadič a konkrétní preferenčních opatření. Určením vazeb v rámci identifikace je propojení mezi jednotlivými prvky, konkrétně například přenos informace z detektoru na řadič či na vozidlo s informací o možnosti či nemožnosti průjezdu vozidla MHD daným místem (za dodržení podmínek), ale i vliv těchto opatření na jednotlivé uživatele dopravního prostoru (přepravené osoby, řidiči vozidel IAD atd.).

Podrobněji tyto prvky a vazby mezi nimi charakterizuje autorem sestavený graf na obrázku 18. Současně s prvky jsou v grafu znázorněny i jejich vazby.



Obrázek 18: Graf vazeb mezi jednotlivými prvky preference

Zdroj: Autor

Další etapa je přiřazení funkcí jednotlivým řešeným prvkům systému. Funkce jednotlivých prvků jsou informace, co který konkrétní prvek v systému vykonává, případně jakou má roli. Na to může být nahlíženo hned z několika hledisek, především ovlivněných tím, jaký uživatel dopravního prostoru tato hlediska hodnotí. Funkce jednotlivých prvků zobrazuje tabulka 7.

Tabulka 7: Seznam prvků v rámci preference veřejné dopravy a jim přiřazené funkce

PRVEK	FUNKCE Z POHLEDU VEŘEJNÉ DOPRAVY	FUNKCE Z POHLEDU IAD
Preferenční opatření	Pozitivní vliv na jízdu vozidla MHD	Omezující prvek na jízdu vozidla IAD
Vozidlo MHD	Zlepšení průjezdu problematickým místem	Zdržení v problematickém místě z důvodu upřednostnění MHD
Snížení kapacity PK (vlivem např. realizace vyhrazeného jízdního pruhu)	Spolehlivější jízda vozidla MHD	Snížení průměrné cestovní rychlosti, tvorba kongescí

Zdroj: Autor

Obecně platí, že většina preferenčních opatření v případě v textu výše řešeného úhlu pohledu je výhodná pro vozidla MHD, přičemž benefity těchto preferenčních opatření, které „pomohou“ vozidlům MHD, naopak „uškodí“ vozidlům individuální dopravy.

Z hlediska vazeb zobrazených v grafu na obrázku 18 plyne následující:

- **vozidlo MHD** – vyžaduje preferenční opatření sloužící pro zvýšení spolehlivosti průjezdu problematickými místy;
- **preferenční opatření** – využívá se pro vozidla MHD, mají různé formy (fyzická, změnu dopravního režimu atd.);
- **linkové vedení MHD** – vedení linek MHD v rámci města (systému) je realizováno často souběžně s IAD;
- **rychlost a spolehlivost vozidel MHD** – odvíjí se od linkového vedení a v něm existujících problematických úseků a současně od použitých preferenčních opatření;
- **počet přepravených osob** – ukazatel výkonnosti systému MHD, který je podkladem pro celkovou koncepci MHD;

- **vozidlo IAD** – primárně není v konfliktu s MHD, v případě realizace preferenčního opatření je vozidlo IAD vozidlem MHD v určitých situacích omezováno, při snížení kapacity PK může dojít ke snížení jeho cestovní rychlosti.

Cílovým chováním systému je tedy na základě výše v textu uvedeného **zmenšovat objem problémů při provozu MHD se zachováním relativně akceptovatelné úrovně kvality provozu IAD a ostatních uživatelů dopravního prostoru** (např. chodci, cyklisti).

#### **4.1.2 Vymezení synergických opatření pro návrh**

Autor práce stanovuje čtveřici typů synergií preferenčních opatření, které byly na základě analýzy jak reálných opatření, tak opatření řešených ve studijních materiálech zanalyzovány jako nejčastěji řešené či realizované (uvedené v kapitole 1.9). Jedná se o následující opatření:

- 1. kombinace vyhrazeného jízdního pruhu a preference na křižovatce se SSZ** (opatření obecně nejčastěji se vyskytující jak v literatuře, tak v reálném provedení),
- 2. kombinace vyhrazeného jízdního pruhu a tzv. zelené vlny** (opatření zastupující větší počet úseků a vyšší formu preference nad rámec jedné konkrétní ulice/křižovatky),
- 3. kombinace vedení autobusu tramvajovým pásem se zastávkou MHD a předvěstí na SSZ** (opatření zastupující jinou formu preference, než běžný vyhrazený jízdní pruh),
- 4. kombinace přerušovaného vyhrazeného jízdního pruhu a preference na křižovatce se SSZ** (opatření zastupující zatím spíše zkoumané řešení jiné formy vyhrazeného jízdního pruhu zohledňující maximální využití kapacity místní komunikace).

Ačkoliv je možností opatření, jak již bylo výše uvedeno, celá řada, pro účely disertační práce autor předpokládá, že tyto 4 opatření jsou dostatečnými zástupci pro rozbor dané synergie. Seznam opatření samozřejmě není vyčerpávající, a tudíž mohou být další jejich formy předmětem budoucích výzkumů.

## **4.2 Rozbor synergických opatření**

V kapitolách 4.2.1 – 4.2.4 je autorem proveden rozbor vybraných synergií preferenčních opatření. K tomuto rozboru bude použit matematický nástroj Petriho sítě na všech v kapitole

4.1.2 stanovených formách synergických opatření. Poté je autorem disertační práce provedeno v kapitole 4.2.5 shrnutí tohoto rozboru a navázání na hodnotící kapitolu 4.3.

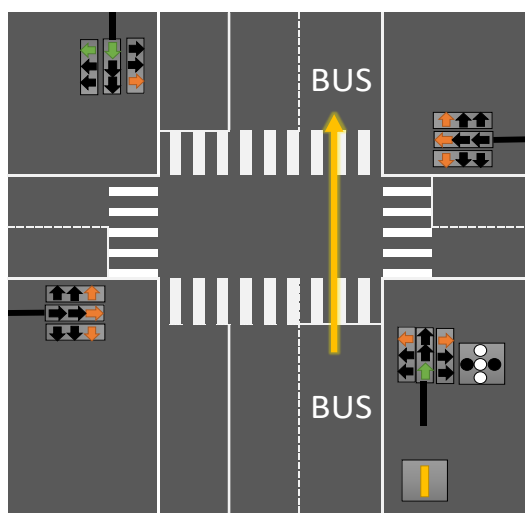
#### 4.2.1 Rozbor případu 1. synergie

Jako první případ je řešena synergie opatření **standardním vyhrazeným jízdním pruhem s preferencí vozidel MHD na SSZ** coby nejčastěji se vyskytující kombinací více preferenčních opatření. S pomocí matematického nástroje Petriho sítě bude následně charakterizován a okomentován tento dynamický systém propojení více opatření současně.

##### Verbální rozbor synergie

Jedná se o umožnění jízdy vozidla MHD (autobusu či trolejbusu) vyhrazeným jízdním pruhem s následnou absolutní či podmíněnou preferencí na SSZ. Toto opatření vyžaduje při jeho realizaci vícepruhovou místní komunikaci (alespoň 2 jízdni pruhy), která je zaústěna do křižovatky se SSZ. Forma průjezdu vozidla MHD danou křižovatkou může být následující:

- **Případ 1A:** Vozidlo MHD projíždí jízdním pruhem a při současném signálu volno na SSZ pokračuje navazujícím vyhrazeným pruhem ve svém směru. V tomto případě je nezbytné zkoordinovat SSZ tak, aby vozidla IAD jedoucí kolizními směry obdržela signál stůj a současně dostala signál volno pouze vozidla IAD jedoucí stejným či nekolizním směrem, jako vozidla MHD.

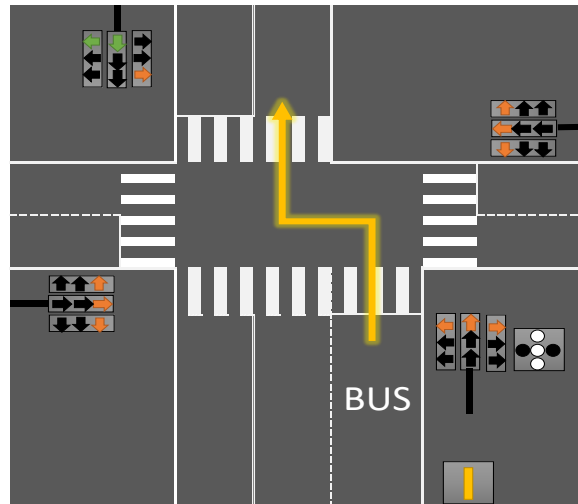


Obrázek 19: Schéma synergie případu č. 1A

Zdroj: Autor

- **Případ 1B:** Vozidlo MHD projíždí jízdním pruhem a při současném signálu volno na SSZ pokračuje ve svém směru jízdním pruhem společným s vozidly

IAD. V takovém případě je nezbytné zkoordinovat SSZ tak, aby vozidla IAD obdržela signál stůj vždy, jelikož se ve všech případech souběžné jízdy MHD a IAD řízenou křižovatkou bude jednat o jízdu kolizní.



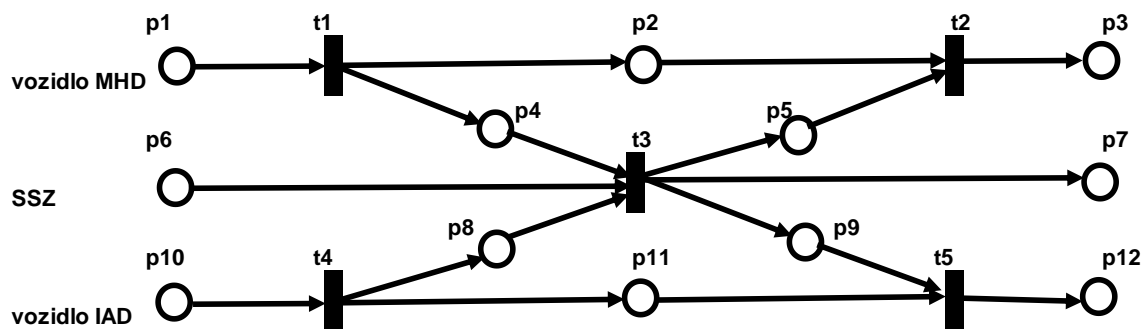
Obrázek 20: Schéma synergie případu č. 1B

Zdroj: Autor

Schéma případů synergií 1A a 1B obsahují obrázky 19 a 20.

### **Rozbor synergie případu 1A pomocí matematického nástroje Petriho sítě**

S pomocí vybrané metody Petriho sítě bude případ 1A níže rozebrán. Je dán orientovaný graf matematického nástroje Petriho sítě, kde P-elementy zobrazují stavové elementy (tj. stav vozidla na daném řešeném problému) a T-elementy zobrazují přechody vozidel (tj. signál volno, kolizní jízda atd.) Grafický rozbor případu 1A zobrazuje graf na obrázku 21, včetně přiřazení funkcí jednotlivým elementům.



- |  |  |
|--|--|
| p1 vozidlo MHD se blíží k úseku případu č.1                              | t1 vozidlo MHD vjíždí do vyhrazeného jízdního pruhu                      |
| p2 vozidlo MHD vyčkává zobrazení signálu volno                           | t2 vozidlo MHD vjíždí do následujícího úseku s vyhrazeným jízdním pruhem |
| p3 vozidla v kolizních směrech jsou připravena na signál volno           | t3 SSZ mění signál na volno  |
| p4 vozidlo MHD se přiblížilo před SSZ a je připraveno pokračovat v jízdě | t4 vozidlo IAD vjíždí do běžného jízdního pruhu                          |
| p5 vozidlo MHD projíždí skrz SSZ   | t5 vozidlo IAD vjíždí do následujícího úseku s běžným jízdním pruhem     |
| p6 SSZ detekuje blížící se přítomnost vozidla MHD                        |  |
| p7 SSZ ukončil zobrazení signálu volno pro MHD i IAD                     |  |
| p8 vozidlo IAD se přiblížilo před SSZ a je připraveno pokračovat v jízdě |  |
| p9 vozidlo IAD projíždí skrz SSZ   |  |
| p10 vozidlo IAD se blíží k úseku případu č.1                             |  |
| p11 vozidlo IAD vyčkává zobrazení signálu volno                          |  |
| p12 situace je připravena na udělení signálu volno v kolizních směrech   |  |

Obrázek 21: P/T elementy případu č. 1A synergie preferenčních opatření

Zdroj: Autor

Dynamický rozbor případu č. 1A s pomocí matematického nástroje Petriho sítě má následující kroky:

a) Ve výchozím stavu  $M_0$  rozboru případu č. 1A je ideální situace taková, že vyhrazený jízdní pruh pro vozidla MHD i běžný jízdní pruh pro vozidla IAD jsou nerušené a signalizace na předmětné SSZ signalizuje signál stůj.

$$M_0 = [p_1 = 1, p_2 = 0, p_3 = 0, p_4 = 0, p_5 = 0, p_6 = 1, p_7 = 0, p_8 = 0, p_9 = 0, p_{10} = 1, p_{11} = 0, p_{12} = 0]$$

b) Do řešeného úseku vstupují vozidla MHD i IAD (P-elementy ani T-elementy nedisponují žádným číselným ohodnocením, jelikož není stanoven ani maximální počet vozidel MHD/IAD, ani kapacita řešené místní komunikace) prostřednictvím přechodů  $t_1$  a  $t_4$ . Nastává tak stav, kdy se vozidlo MHD ve vyhrazeném jízdním pruhu a současně vozidlo IAD v běžném jízdním pruhu blíží ke křižovatce se SSZ vybavenou absolutní či podmíněnou preferencí. Vozidlo MHD je současně detekováno s požadavkem ihned, či jakmile to okolní situace dovolí pokračovat skrz signál volno dále ve směru své trasy. Nastává tak situace  $M_1$ .

$$M_1 = [p_1 = 0, p_2 = 1, p_3 = 0, p_4 = 1, p_5 = 0, p_6 = 1, p_7 = 0, p_8 = 1, p_9 = 0, p_{10} = 0, p_{11} = 1, p_{12} = 0]$$

c) V situaci  $M_1$  současně vozidla MHD i IAD v předmětném směru vyčkávají na rozsvícení signálu volno, co nejdříve to bude možné, případně při absolutní preferenci pro vozidlo MHD okamžitě. Se zohledněním dopravní situace v kolizních směrech, či okamžitě (v případě absolutní preference) dochází k rozsvícení signálu volno, tedy k přechodovému elementu  $t_3$ . Nastává tak situace  $M_2$ .

$$M_2 = [p_1 = 0, p_2 = 0, p_3 = 0, p_4 = 0, p_5 = 1, p_6 = 0, p_7 = 1, p_8 = 0, p_9 = 1, p_{10} = 0, p_{11} = 0, p_{12} = 0]$$

d) Situace  $M_2$  je tvořena současnou jízdou (vzhledem k tomu, že následuje úsek místní komunikace s oddělením běžného a vyhrazeného jízdního pruhu) vozidel MHD i IAD skrz předmětnou křižovátku se SSZ a následuje opuštění sledovaného úseku a vjezd do úseku následujícího, který má stejné (nebo lepší) parametry než úsek sledovaný. Nastává tak přechod  $t_2$  a  $t_5$  a tedy situace  $M_3$ .

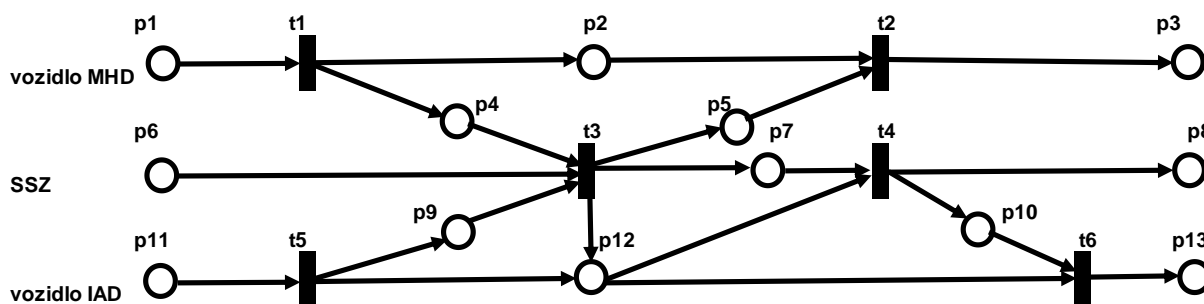
$$M_3 = [p_1 = 0, p_2 = 0, p_3 = 1, p_4 = 0, p_5 = 0, p_6 = 0, p_7 = 0, p_8 = 0, p_9 = 0, p_{10} = 0, p_{11} = 0, p_{12} = 1]$$

e) V tento okamžik je rozbor dynamického systému pro řešený úsek ukončen. Nastává situace, kdy je možné poskytnout signál volno vozidlům v kolizních směrech, nenárokuje-li poskytnutí signálu volno při absolutní či za vhodných podmínek při podmíněné preferenci další vozidlo MHD jedoucí vyhrazeným jízdním pruhem v řešeném úseku.

### **Rozbor synergie případu 1B pomocí matematického nástroje Petriho sítě**

Případ 1B je oproti případu 1A rozdílný v tom, že v následujícím úseku za řešenou křižovátkou se SSZ není vyhrazený jízdní pruh pro vozidla MHD, ale pouze běžný společný jízdní pruh. Grafický rozbor tohoto odlišného případu zobrazuje obrázek 22.





- |  |  |
|--|--|
| p1 vozidlo MHD se blíží k úseku případu č.1                              | t1 vozidlo MHD vjíždí do vyhrazeného jízdního pruhu                      |
| p2 vozidlo MHD vyčkává zobrazení signálu volno                           | t2 vozidlo MHD vjíždí do následujícího úseku s vyhrazeným jízdním pruhem |
| p3 vozidla IAD v řešeném směru jsou připravena na signál volno           | t3 SSZ mění signál na volno pouze pro vozidla MHD                        |
| p4 vozidlo MHD se přiblížilo před SSZ a je připraveno pokračovat v jízdě | t4 SSZ mění signál na volno pouze pro vozidla IAD                        |
| p5 vozidlo MHD projíždí skrz SSZ   | t5 vozidlo IAD vjíždí do běžného jízdního pruhu                          |
| p6 SSZ detekuje blížící se přítomnost vozidla MHD                        | t6 vozidlo IAD vjíždí do následujícího úseku s běžným jízdním pruhem     |
| p7 SSZ ukončil zobrazení signálu volno pro MHD                           |  |
| p8 SSZ ukončil zobrazení signálu volno pro IAD                           |  |
| p9 vozidlo IAD se přiblížilo před SSZ a je připraveno pokračovat v jízdě |  |
| p10 vozidlo IAD projíždí skrz SSZ  |  |
| p11 vozidlo IAD se blíží k úseku případu č.1                             |  |
| p12 vozidlo IAD vyčkává zobrazení signálu volno                          |  |
| p13 situace je připravena na udělení signálu volno v kolizních směrech   |  |

Obrázek 22: P/T elementy případu č. 1B synergie preferenčních opatření

Zdroj: Autor

Případ č. 1B je odlišný především tím, že pro vozidla IAD je proces vyčkávání na signál volno v příslušném směru prováděn dvakrát. První dva kroky jsou totožné s případem 1A, další kroky se ve smyslu předchozí věty liší. Jednotlivé kroky rozboru dynamického systému případu č. 1B jsou následující:

- a) V prvním kroku je totožná situace, jako u případu číslo 1A.

$$M_0 = [p_1 = 1, p_2 = 0, p_3 = 0, p_4 = 0, p_5 = 0, p_6 = 1, p_7 = 0, p_8 = 0, p_9 = 0, p_{10} = 0, p_{11} = 1, p_{12} = 0, p_{13} = 0]$$

- b) Do řešeného úseku vstupují vozidla MHD i IAD prostřednictvím přechodů t1 a t5. Nastává tak v zásadě stejná situace M1, jako u případu č. 1A.

$$M_1 = [p_1 = 0, p_2 = 1, p_3 = 0, p_4 = 1, p_5 = 0, p_6 = 0, p_7 = 0, p_8 = 0, p_9 = 1, p_{10} = 0, p_{11} = 0, p_{12} = 1, p_{13} = 0]$$

- c) V situaci M1 současně vozidla MHD i IAD v předmětném směru vyčkávají udělení signálu volno, co nejdříve to bude možné, případně při absolutní preferenci pro vozidlo MHD okamžitě. Se zohledněním dopravní situace v kolizních směrech, či okamžitě (v případě absolutní preference) dochází k rozsvícení signálu volno pro vozidla MHD, tedy

k přechodovému elementu  $t_3$ . Vozidla IAD mají stále rozsvícený signál stůj. Nastává situace  $M_2$ .

$$M_2 = [p_1 = 0, p_2 = 0, p_3 = 0, p_4 = 0, p_5 = 1, p_6 = 0, p_7 = 1, p_8 = 0, p_9 = 0, p_{10} = 0, p_{11} = 0, p_{12} = 1, p_{13} = 0]$$

d) Situace  $M_2$  je tvořena jízdou vozidel MHD skrz předmětnou křižovatku se SSZ a následuje opuštění sledovaného úseku a vjezd do úseku následujícího, který již tvoří pouze běžný jízdní pruh bez vyhrazeného pro vozidla MHD. Nastává tak přechod  $t_2$  a tedy situace  $M_3$ .

$$M_3 = [p_1 = 0, p_2 = 0, p_3 = 1, p_4 = 0, p_5 = 0, p_6 = 0, p_7 = 1, p_8 = 0, p_9 = 0, p_{10} = 0, p_{11} = 0, p_{12} = 0, p_{13} = 0]$$

e) V tuto chvíli je možné po opuštění předmětné křižovatky se SSZ vozidlem MHD (nenachází-li se v předmětném úseku s požadavkem na poskytnutí signálu volno další preferované vozidlo MHD) poskytnout signál volno pro vozidla IAD. Nastává tedy akce  $t_4$  a současně situace  $M_4$ .

$$M_4 = [p_1 = 0, p_2 = 0, p_3 = 0, p_4 = 0, p_5 = 0, p_6 = 0, p_7 = 0, p_8 = 1, p_9 = 0, p_{10} = 1, p_{11} = 0, p_{12} = 0, p_{13} = 0]$$

f) Vozidla IAD opouštějí sledovanou křižovatku se SSZ a nastává tak akce  $t_6$  a současně situace  $M_5$ .

$$M_5 = [p_1 = 0, p_2 = 0, p_3 = 0, p_4 = 0, p_5 = 0, p_6 = 0, p_7 = 0, p_8 = 0, p_9 = 0, p_{10} = 0, p_{11} = 0, p_{12} = 0, p_{13} = 1]$$

g) Vozidla IAD rovněž projela předmětnou křižovatkou a nastává tak ukončení rozboru systému případu č. 1B. Až teprve v tuto chvíli je možné zobrazit signál volno pro vozidla vyčkávající v kolizních směrech.

#### 4.2.2 Rozbor případu 2. synergie

Druhým případem synergie je synergie **opatření vyhrazeného jízdního pruhu a zelené vlny**. Stejně jako předchozí případ bude i tento charakterizován nejdříve verbálně a následně i pomocí matematického nástroje Petriho sítí.

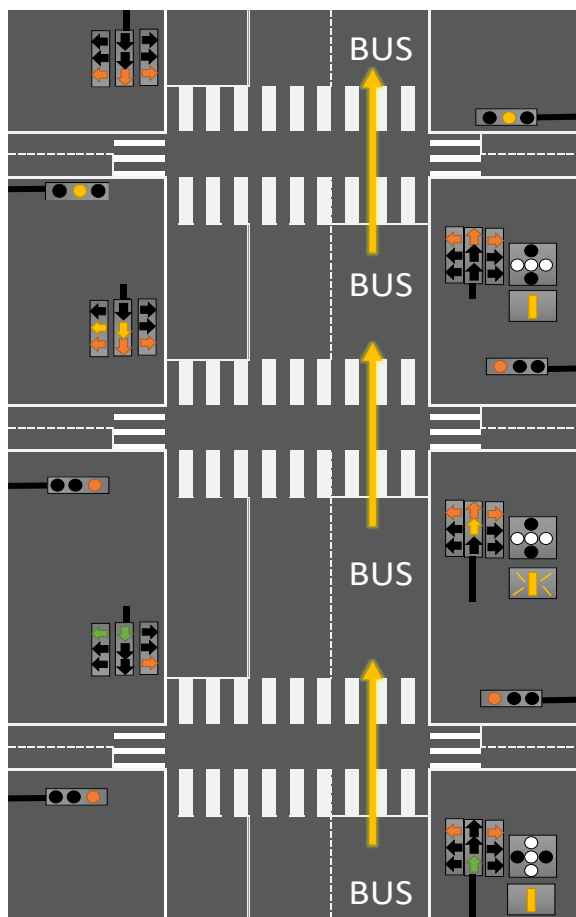
##### Verbální rozbor synergie

Synergie mezi vyhrazeným jízdním pruhem a zelenou vlnou, coby vyšší úrovně formy preference na SSZ, má především za účel umožnit vozidlu MHD projet plynule několik za sebou jdoucích křižovatek se SSZ najednou, přičemž vyhrazený jízdní pruh jako doplňující opatření zabezpečuje, aby tak došlo bez vlivu IAD na plynulou jízdu vozidla MHD.

Princip opatření je následující. Vozidlo MHD přijíždí k řešenému úseku soustavy více křižovatek se SSZ v běžném či vyhrazeném jízdním pruhu v předcházejícím úseku, ze kterého vjíždí do řešeného úseku vyhrazeným jízdním pruhem. Současně první z křižovatek se SSZ detekuje přítomnost vozidla MHD a poskytuje mu tak signál volno (okamžitě, či jakmile to okolní situace umožní) a následující křižovatky se SSZ zapojené do systému zelené vlny poskytují signál volno ve vhodném časovém odstupu (tedy nikoli příliš brzo ani příliš pozdě) tak, aby preferované vozidlo MHD projelo daným úsekem co nejplynuleji, v ideálním případě konstantní rychlostí.

Nachází-li se v tomto úseku zastávka MHD, kterou předmětné vozidlo MHD obsluhuje, pak se celý proces časově posouvá dle polohy vozidla a doby obsluhy zmíněné zastávky.

Vzhledem k tomu, že se případ č. 2 zabývá spíše vedením vozidla MHD vyhrazeným jízdním pruhem a rolí jednotlivých křižovatek v rámci zelené vlny, dalo by se teoreticky chování vozidel IAD zanedbat. Pokud budou vozidla MHD vedena ve směru rovně, respektive ve směru zelené vlny, vzájemně se s vozidly IAD neruší. V případě odbočování vozidel IAD ve směru kolizním se směrem vyhrazeného jízdního pruhu pak dochází k nutnosti správně upravit přednost vozidel IAD, či takto doplnit SSZ směrovými šipkami. Schéma daného případu synergie obsahuje obrázek 23.

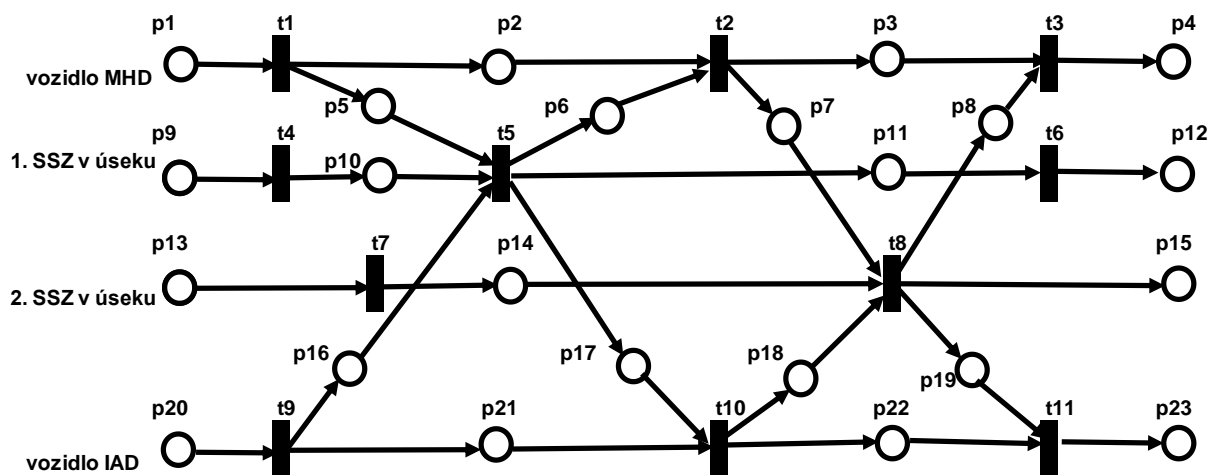


Obrázek 23: Schéma synergie případu č. 2

Zdroj: Autor

### **Rozbor synergie případu č. 2 pomocí matematického nástroje Petriho sítě**

S použitím matematického nástroje Petriho sítě je popsán i 2. případ jednotlivých vybraných synergií. Hlavní rozdíl mezi řešením v případech č. 1A a 1B je, že se v daném řešeném případě vyskytuje více křižovatek se SSZ. Pro jednoduchost rozboru pomocí této metody budou zobrazeny pouze tři křižovatky se SSZ, v reálném případě se může jednat o větší počet zapojených křižovatek do řešené zelené vlny. Grafický rozbor tohoto případu s pomocí zmíněného matematického nástroje zobrazuje obrázek 24.



- |  |  |
|--|--|
| p1 vozidlo MHD se blíží k řešenému úseku               | p19 vozidlo IAD projíždí skrz 2.SSZ              |
| p2 vozidlo MHD očekává signál volno na 1.SSZ           | p20 vozidlo IAD se blíží k řešenému úseku        |
| p3 vozidlo MHD očekává signál volno na 2.SSZ           | p21 vozidlo IAD očekává signál volno na 1.SSZ    |
| p4 vozidlo MHD pokračuje do následujícího úseku        | p22 vozidlo IAD očekává signál volno na 2.SSZ    |
| p5 situace je připravena na průjezd vozidla MHD 1.SSZ  | p23 vozidlo IAD pokračuje do následujícího úseku |
| p6 vozidlo MHD projíždí skrz 1.SSZ                     |  |
| p7 situace je připravena na průjezd vozidla MHD 2.SSZ  | t1 vstup MHD do úseku před 1.SSZ                 |
| p8 vozidlo MHD projíždí skrz 2.SSZ                     | t2 vstup MHD do úseku před 2.SSZ                 |
| p9 na 1.SSZ je rozsvícen signál stůj                   | t3 vstup MHD mimo sledovaný úsek                 |
| p10 na 1.SSZ je ukončeno rozsvícení signálu stůj       | t4 detekce vozidla MHD na 1.SSZ                  |
| p11 na 1.SSZ je ukončeno rozsvícení signálu volno      | t5 změna signálu na volno na 1.SSZ               |
| p12 na 1.SSZ je rozsvícen signál stůj                  | t6 změna signálu na stůj na 1.SSZ                |
| p13 na 2.SSZ je rozsvícen signál stůj                  | t7 detekce vozidla MHD na 2.SSZ                  |
| p14 na 2.SSZ je ukončeno rozsvícení signálu stůj       | t8 změna signálu na volno na 2.SSZ               |
| p15 na 2.SSZ je ukončeno rozsvícení signálu volno      | t9 vstup IAD do úseku před 1.SSZ                 |
| p16 situace je připravena na průjezd vozidla IAD 1.SSZ | t10 vstup IAD do úseku před 2.SSZ                |
| p17 vozidlo IAD projíždí skrz 1.SSZ                    | t11 vstup IAD mimo sledovaný úsek                |
| p18 situace je připravena na průjezd vozidla IAD 2.SSZ |  |

Obrázek 24: P/T elementy případu č. 2 synergie preferenčních opatření

Zdroj: Autor

Případ č. 2 tvoří minimálně 4 paralelní složky rozboru chování tohoto dynamického systému, konkrétně: vozidlo MHD, vozidlo IAD, 1. a 2. SSZ. Jak již bylo výše zmíněno, počet SSZ může být vyšší, jejich chování však s každým dalším SSZ bude vzhledem k významu zelené vlny analogické. Následují jednotlivé kroky rozboru tohoto případu:

a) V prvním kroku k řešenému úseku přijíždí současně vozidla MHD a IAD a na křižovatce s 1. SSZ v tento okamžik svítí signál stůj. Dochází tak k výchozímu stavu.

$$M_0 = [p_1 = 1, p_2 = 0, p_3 = 0, p_4 = 0, p_5 = 0, p_6 = 0, p_7 = 0, p_8 = 0, p_9 = 1, p_{10} = 0, p_{11} = 0, p_{12} = 0, p_{13} = 1, p_{14} = 0, p_{15} = 0, p_{16} = 0, p_{17} = 0, p_{18} = 0, p_{19} = 0, p_{20} = 1, p_{21} = 0, p_{22} = 0, p_{23} = 0]$$

b) Nastává vstup vozidel MHD i IAD do řešeného úseku, a tudíž i detekce vozidla/vozidel MHD křižovatkou s 1. SSZ. Současně s tímto tak dochází k ukončení rozsvícení signálu stůj na 1. SSZ. Nastává tak akce  $t_1$ ,  $t_4$  a  $t_9$  a situace  $M_1$ .

$$M_1 = [p_1 = 0, p_2 = 0, p_3 = 0, p_4 = 0, p_5 = 1, p_6 = 0, p_7 = 0, p_8 = 0, p_9 = 0, p_{10} = 1, p_{11} = 0, p_{12} = 0, p_{13} = 0, p_{14} = 0, p_{15} = 0, p_{16} = 1, p_{17} = 0, p_{18} = 0, p_{19} = 0, p_{20} = 0, p_{21} = 0, p_{22} = 0, p_{23} = 0]$$

c) V situaci  $M_1$  vozidla MHD i IAD současně v předmětném směru očekávají poskytnutí signálu volno na 1. SSZ co nejdříve to bude možné, případně při absolutní preferenci pro vozidlo MHD okamžitě. Se zohledněním dopravní situace v kolizních směrech, či okamžitě, dochází k rozsvícení signálu volno pro vozidla MHD i IAD a k průjezdu danou křižovatkou předmětnými vozidly. Současně s tímto dochází k detekci vozidel MHD u následujícího 2. SSZ, jehož řadič zaznamená rozsvícení signálu volno na 1. SSZ a připravuje se tak na správné načasování rovněž rozsvícení signálu volno a k co nejrychlejšímu ukončení rozsvíceného signálu stůj v řešeném směru. Nastává situace  $M_2$  a současně akce  $t_5$  a  $t_7$ .

$$M_2 = [p_1 = 0, p_2 = 1, p_3 = 0, p_4 = 0, p_5 = 0, p_6 = 1, p_7 = 0, p_8 = 0, p_9 = 0, p_{10} = 0, p_{11} = 0, p_{12} = 0, p_{13} = 0, p_{14} = 1, p_{15} = 0, p_{16} = 1, p_{17} = 1, p_{18} = 0, p_{19} = 0, p_{20} = 0, p_{21} = 1, p_{22} = 0, p_{23} = 0]$$

d) Situace  $M_2$  je tvořena jízdou vozidel MHD přes 1. řešenou křižovátku se SSZ a následuje přiblížení se vozidla MHD i souběžně jedoucích vozidel IAD ke 2. řešené křižovatce se SSZ v rámci zelené vlny. V tento okamžik již může řadič 1. SSZ ukončit rozsvícení signálu volno v daném směru a naopak řadič 2. SSZ se musí na rozsvícení signálu volno připravit. Vozidla MHD i IAD očekávají na 2. SSZ signál volno. Nastává tak přechod  $t_2$  a  $t_{10}$  a tedy situace  $M_3$ .

$$M_3 = [p_1 = 0, p_2 = 0, p_3 = 1, p_4 = 0, p_5 = 0, p_6 = 0, p_7 = 1, p_8 = 0, p_9 = 0, p_{10} = 0, p_{11} = 1, p_{12} = 0, p_{13} = 0, p_{14} = 0, p_{15} = 0, p_{16} = 0, p_{17} = 0, p_{18} = 1, p_{19} = 0, p_{20} = 0, p_{21} = 0, p_{22} = 1, p_{23} = 0]$$

e) V situaci  $M_3$  dochází k rozsvícení signálu volno na 2. SSZ a současně k rozsvícení signálu stůj na 1. SSZ a možností průjezdu vozidel v kolizním směru na tomto SSZ. Vozidla MHD i IAD pokud možno bez nutnosti zastavení po rozsvícení signálu volno 2. předmětnou křižovátku se SSZ projíždí. Nastává tedy akce  $t_6$  a  $t_8$  a současně situace  $M_4$ .

$$M_4 = [p_1 = 0, p_2 = 0, p_3 = 0, p_4 = 0, p_5 = 0, p_6 = 0, p_7 = 0, p_8 = 1, p_9 = 0, p_{10} = 0, p_{11} = 0, p_{12} = 0, p_{13} = 0, p_{14} = 0, p_{15} = 0, p_{16} = 0, p_{17} = 0, p_{18} = 0, p_{19} = 1, p_{20} = 0, p_{21} = 0, p_{22} = 1, p_{23} = 0]$$

f) Po průjezdu vozidel MHD i IAD 2. řešenou křižovátkou se SSZ vstupují daná vozidla do následujícího již nesledovaného úseku. Tím může být buď další křižovatka v rámci zelené vlny již v tomto rozboru neřešená, či běžná místní komunikace bez preferenčních opatření nebo s jinými preferenčními opatřeními. V tomto okamžiku tak na 1. SSZ svítí signál stůj (s případnou predikcí opakování celého zde rozebraného dynamického systému)

a současně je na 2. SSZ možné zahájit ukončení rozsvícení signálu volno. Nastává tak akce v grafickém znázornění označená jako  $t_3$  a  $t_{11}$  a současně tak situace  $M_5$ .

$$M_5 = [p_1 = 0, p_2 = 0, p_3 = 0, p_4 = 1, p_5 = 0, p_6 = 0, p_7 = 0, p_8 = 0, p_9 = 0, p_{10} = 0, p_{11} = 0, p_{12} = 1, p_{13} = 0, p_{14} = 0, p_{15} = 1, p_{16} = 0, p_{17} = 0, p_{18} = 0, p_{19} = 0, p_{20} = 0, p_{21} = 0, p_{22} = 0, p_{23} = 1]$$

V tuto chvíli je celý dynamický rozbor synergie mezi vyhrazeným jízdním pruhem a zelené vlny ukončen. U obou řešených SSZ je nyní rozsvícen signál volno v kolizních směrech a detekční zařízení vyčkává na opětovné zahájení celého procesu v případě blížícího se dalšího vozidla MHD.

### 4.2.3 Rozbor případu 3. synergie

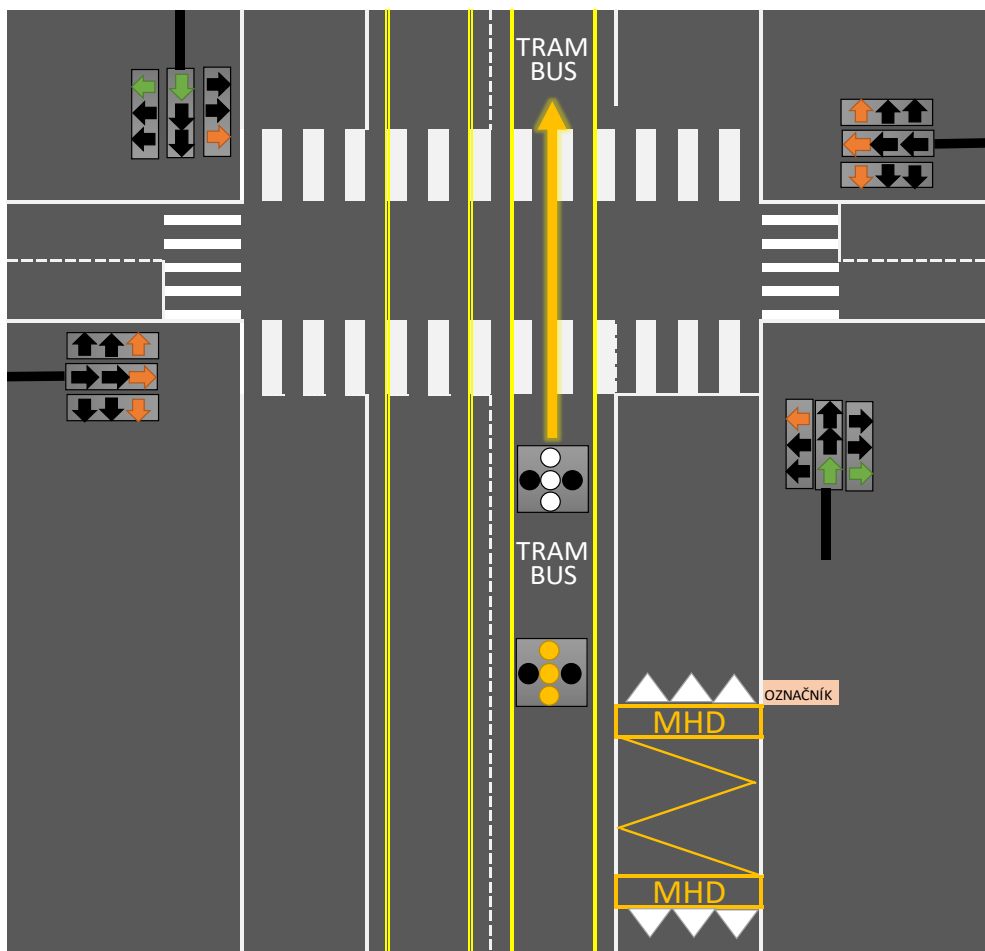
Třetím případem synergie řešeným pomocí matematického nástroje Petriho sítě je opatření změny organizace dopravy, konkrétně **vedení autobusu tramvajovým pásem, v němž se nachází zastávka MHD a současně je preference na SSZ** zajištěna předvěstí pro upřednostnění jízdy vozidel MHD.

#### Verbální rozbor synergie

Princip případu č. 3 je následující. Jedná se o místní komunikaci tvořící běžný jízdni pruh pro vozidla IAD a segregovanou tramvajovou trať, v níž je současně umožněna jízda autobusů. V tramvajové trati v daném řešeném úseku se navíc nachází zastávka MHD, do níž je umožněn přístup cestujícím prostřednictvím zastávky s pojižděným zastávkovým mysem (dále jen vídeňské zastávky) umístěné v běžném jízdni pruhu pro ostatní vozidla. V prostoru za vídeňskou zastávkou se nachází křižovatka osazená SSZ s preferencí vozidel MHD. Současně se v těsné blízkosti zmíněné zastávky MHD nachází tzv. předvěst hlavního SSZ, která je určena pro informaci řidičům vozidel MHD, že se z prostoru zastávky mohou rozjet s jistým očekáváním, že na hlavním SSZ bude zobrazen rovněž signál volno. Odjezd z prostoru zastávky tak bude plynulejší a v případě blížícího se dalšího vozidla MHD může řidič v tomto vozidle očekávat, že zastaví opět v úrovni zastávkového sloupku.

Proces v rámci případu č. 3 tedy tvoří přiblížení se vozidel MHD i IAD do prostoru zastávky MHD, kde vozidlo MHD zahajuje obsluhu dané zastávky a současně vozidlo IAD dle zákona č. 361/2000, Sb. o provozu na pozemních komunikacích musí zastavit v určeném místě před danou vídeňskou zastávkou. Po obsluze vozidla MHD v zastávce se vozidla IAD rozjíždí až do prostoru určeného před hlavní křižovatkou se SSZ, zatímco vozidla MHD po průjezdu předvěsti hlavního SSZ očekávají plynulý průjezd křižovatkou s hlavním SSZ. Vozidla IAD

v tento okamžik v prostoru před hlavním SSZ stojí. Po průjezdu vozidel MHD danou křižovatkou se signál volno pro MHD ukončí a SSZ zahajuje rozsvícení signálu volno pro ostatní vozidla. V případě, že je v následujícím úseku opět realizována segregace tramvajového pásu s umožněním jízdy autobusů a běžného jízdniho pruhu, může pak být současně rozsvícen signál volno i pro vozidla IAD jedoucí stejným či nekolizním směrem, jako vozidla MHD. Celý proces se tak opakuje v případě blížícího se dalšího vozidla MHD. Podmínkou daného opatření není skutečnost, že se v pokračujícím úseku za křižovatkou nachází opět sloučený tramvajový pás s umožněním jízdy autobusů. Autobusy mohou v prostoru za křižovatkou pokračovat běžným jízdniím pruhem za podmínky, že při rozsvícení signálu volno pro vozidla MHD není současně rozsvícen signál volno pro vozidla v kolizním směru odbočující do běžného jízdniho pruhu ve směru jízdy autobusů. Schéma synergie případu č. 3 zobrazuje obrázek 25.



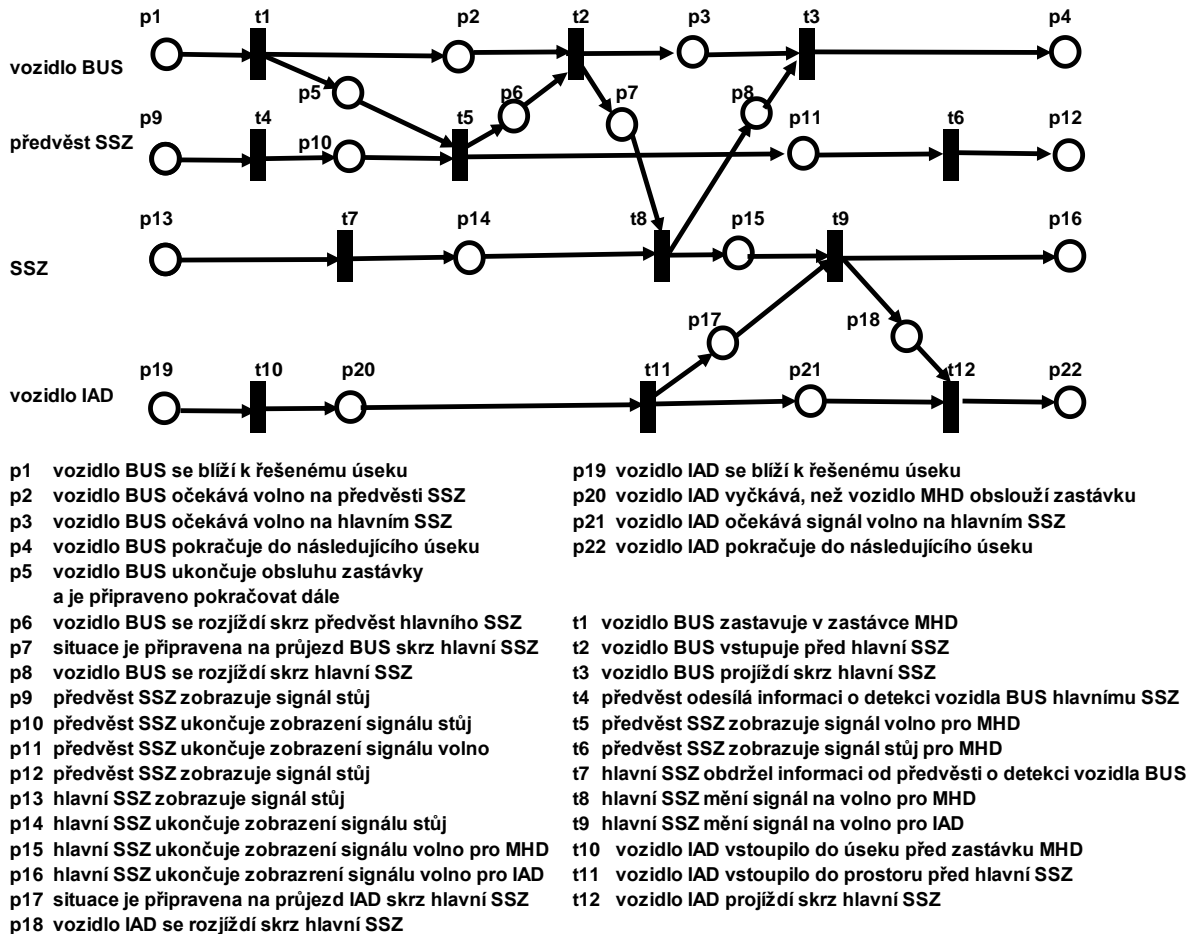
Obrázek 25: Schéma synergie případu č. 3

Zdroj: Autor



## Rozbor synergie případu č. 3 pomocí matematického nástroje Petriho sítě

S použitím matematického nástroje Petriho sítě následuje rozbor případu č. 3. Grafické znázornění problému obsahuje obrázek 26.



Obrázek 26: P/T elementy případu č. 3 synergie preferenčních opatření

Zdroj: Autor

Případ č. 3 tvoří minimálně 4 paralelní složky rozboru chování tohoto dynamického systému, konkrétně vozidlo MHD, vozidlo IAD, předvěst SSZ a hlavní SSZ. V souvislosti s provedením tohoto synergického řešení by se nabízelo rozčlenit vozidla MHD zvlášť na autobusy (resp. trolejbusy) a tramvaje, nicméně v tomto případě je jízda autobusů v zásadě zastoupena totožně se chovající jízdou tramvaje. Jediným rozdílem by v tuto chvíli bylo řešení pokračování vozidel za křižovatkou, pokračoval-li by autobus již běžným jízdním pruhem namísto tramvajového pásu. V takovém případě by se pouze lišil slovní rozbor elementu p4. Následují jednotlivé kroky rozboru případu č. 3:

- a) V prvním kroku k řešenému úseku přijíždí současně vozidla MHD a IAD a na předvěsti i hlavním signálu SSZ je rozsvícen signál stůj.

$$M_0 = [p_1 = 1, p_2 = 0, p_3 = 0, p_4 = 0, p_5 = 0, p_6 = 0, p_7 = 0, p_8 = 0, p_9 = 1, p_{10} = 0, p_{11} = 0, p_{12} = 0, p_{13} = 1, p_{14} = 0, p_{15} = 0, p_{16} = 0, p_{17} = 0, p_{18} = 0, p_{19} = 1, p_{20} = 0, p_{21} = 0, p_{22} = 0]$$

- b) Nastává vstup vozidel MHD i IAD do řešeného úseku, a tudíž i detekce vozidla/vozidel MHD předvěstí hlavního SSZ a současně odeslání informace řadiči hlavního SSZ, že je potřeba zahájit ukončení rozsvícení signálu stůj a připravit se na poskytnutí signálu volno pro vozidla MHD. Vozidla MHD v tento okamžik obsluhují zastávku, vozidla IAD vyčkávají v prostoru před zastávkou, než vozidla MHD zastávku obslouží. Nastává tak akce  $t_2$ ,  $t_4$ ,  $t_7$  a  $t_{10}$  a současně situace  $M_1$ .

$$M_1 = [p_1 = 0, p_2 = 0, p_3 = 0, p_4 = 0, p_5 = 0, p_6 = 0, p_7 = 0, p_8 = 0, p_9 = 0, p_{10} = 1, p_{11} = 0, p_{12} = 0, p_{13} = 0, p_{14} = 1, p_{15} = 0, p_{16} = 0, p_{17} = 0, p_{18} = 0, p_{19} = 0, p_{20} = 1, p_{21} = 0, p_{22} = 0]$$

- c) V situaci  $M_1$  vozidla MHD dokončují obsluhu zastávky, vozidla IAD se rozjíždí přes nástupní prostor vídeňské zastávky a pokračují do prostoru před hlavní SSZ. Předvěst SSZ zobrazuje signál volno a současně je hlavní SSZ připraveno bez odkladu rovněž rozsvítit signál volno. Nastává situace  $M_2$  a současně akce  $t_2$ ,  $t_5$  a  $t_{11}$ .

$$M_2 = [p_1 = 0, p_2 = 1, p_3 = 0, p_4 = 0, p_5 = 1, p_6 = 0, p_7 = 0, p_8 = 0, p_9 = 0, p_{10} = 0, p_{11} = 0, p_{12} = 0, p_{13} = 0, p_{14} = 0, p_{15} = 0, p_{16} = 0, p_{17} = 0, p_{18} = 0, p_{19} = 0, p_{20} = 0, p_{21} = 0, p_{22} = 0]$$

- d) Situace  $M_2$  zahrnuje rozjezd vozidel MHD z prostoru zastávky okolo předvěsti SSZ a vstup do prostoru před hlavní SSZ, kde je očekáváno okamžité poskytnutí signálu volno. Vozidla IAD v této situaci stojí v prostoru před hlavním SSZ a vyčkávají poskytnutí signálu volno, který však může být rozsvícen až po ukončení signálu volno pro vozidla MHD (nejednalo-li se o souběžnou nekolizní jízdu). Nastává akce  $t_8$  a současně situace  $M_3$ .

$$M_3 = [p_1 = 0, p_2 = 0, p_3 = 1, p_4 = 0, p_5 = 0, p_6 = 1, p_7 = 1, p_8 = 0, p_9 = 0, p_{10} = 0, p_{11} = 0, p_{12} = 0, p_{13} = 0, p_{14} = 0, p_{15} = 0, p_{16} = 0, p_{17} = 0, p_{18} = 0, p_{19} = 0, p_{20} = 0, p_{21} = 0, p_{22} = 0]$$

- e) V situaci  $M_3$  je rozsvícen signál volno pro vozidla MHD na hlavním SSZ a vozidla tak mohou libovolnými směry (nejsou-li současně umožněny jízdy kolizních směrů) vstoupit dále do následujícího úseku. Vozidla IAD jsou připravena na rozsvícení signálu volno. Předvěst hlavního SSZ v tuto chvíli rozsvícení signálu volno ukončuje. Nastává tak situace  $M_4$ .

$$M_4 = [p_1 = 0, p_2 = 0, p_3 = 0, p_4 = 1, p_5 = 0, p_6 = 0, p_7 = 0, p_8 = 1, p_9 = 0, p_{10} = 0, p_{11} = 1, p_{12} = 1, p_{13} = 0, p_{14} = 0, p_{15} = 1, p_{16} = 0, p_{17} = 1, p_{18} = 0, p_{19} = 1, p_{20} = 0, p_{21} = 1, p_{22} = 0]$$

f) V situaci  $M_4$  dochází k zahájení ukončení rozsvícení signálu volno pro vozidla MHD a současně k zahájení poskytnutí signálu volno pro vozidla IAD na hlavním SSZ, zatímco na předvěsti hlavního SSZ již svítí signál stůj. Vozidla IAD jsou připravena na rozjezd a mohou po rozsvícení signálu volno pro IAD pokračovat dále do následujícího úseku. Nastává situace  $M_5$  a současně akce  $t_6$ ,  $t_9$  a  $t_{12}$ .

$$M_5 = [p_1 = 0, p_2 = 0, p_3 = 0, p_4 = 0, p_5 = 0, p_6 = 0, p_7 = 0, p_8 = 0, p_9 = 0, p_{10} = 0, p_{11} = 0, p_{12} = 0, p_{13} = 0, p_{14} = 0, p_{15} = 0, p_{16} = 1, p_{17} = 0, p_{18} = 1, p_{19} = 0, p_{20} = 0, p_{21} = 0, p_{22} = 1]$$

V tomto okamžiku je celý proces případu č. 3 ukončen. Sledovaná vozidla MHD i IAD opustila předmětnou křižovatku se SSZ a pokračují do následujícího úseku, kterým je buď totožně řešený úsek, či úsek s otevřeným tramvajovým tělesem a běžným jízdním pruhem, kterým jsou vedena jak vozidla MHD, tak vozidla IAD.

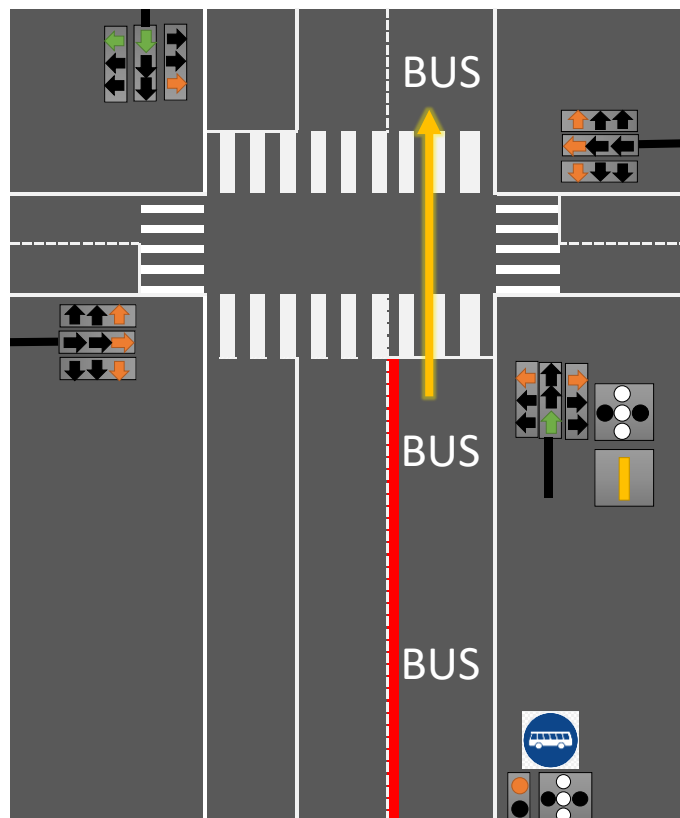
#### 4.2.4 Rozbor případu 4. synergie

Posledním případem synergie preferenčních opatření řešeným v rámci návrhové části práce je případ č. 4., konkrétně **kombinace přerušovaného vyhrazeného jízdního pruhu a preference na křižovatce se SSZ.**

##### Verbální rozbor synergie

Jedná se o synergii v zásadě již jednoho samo o sobě synergického opatření tzv. přerušovaného vyhrazeného pruhu (IBL), který blíže charakterizuje kapitola 1.5.2 s opatřením ve formě příslušné preference na SSZ. Princip dané synergie je následující: Vozidlo MHD k vyhrazenému jízdnímu pruhu přijíždí velmi obdobně, jako v případě č. 1, nicméně se v této situaci jedná o vyhrazený jízdní pruh přerušovaný (na základě např. delších intervalů vozidel MHD a nevhodnosti řešení trvalým vyhrazeným jízdním pruhem). Přerušovaný vyhrazený jízdní pruh (dále jen IBL) je osazen detekčním zařízením blížícího se vozidla MHD a světelnou signalizací ve vozovce či na hraně chodníku zobrazující informaci vozidlům IAD o možnosti, či nemožnosti jízdy tímto jízdním pruhem. Po detekci blížícího se vozidla MHD začne IBL signalizovat zákaz jízdy vozidlům IAD (tj. stávajícím tímto pruhem projíždějícím vozidlům IAD zobrazuje signál o jeho bezodkladném opuštění a vozidlům projíždějícím běžným jízdním pruhem zobrazuje informační signál o zákazu vjezdu do tohoto IBL). Vozidlo MHD následně vstoupí do IBL, kterým se pohybuje standardně, jako běžným vyhrazeným jízdním pruhem. Křižovatka se SSZ, jako souběžné opatření, rovněž detekuje přijíždějící vozidlo MHD a okamžitě, či jakmile to okolní situace dovolí, poskytne vozidlu MHD signál volno. Signál volno je současně poskytnut také vozidlům IAD za podmínky, není-li souběžná jízda vozidel

MHD a IAD danou křižovatkou kolizní. Po průjezdu vozidla MHD křižovatkou se SSZ, či pevně daným detekčním bodem, (je-li jiný, než předmětná křižovatka se SSZ) umožňuje signalizací pruh IBL opět vjezd také vozidlům IAD. V ideálním případě (při uvažování maximálního využití kapacity místní komunikace) bude takto poskytnuto ihned po průjezdu vozidla MHD, kde se vozidla IAD mohou okamžitě řadit v tomto pruhu za preferovaným průjezdem vozidla MHD. Křižovatka se SSZ v podstatě „pracuje“ stejně jako u případu č. 1. Schéma této synergie obsahuje obrázek 27.



Obrázek 27: Schéma synergie případu č. 4

Zdroj: Autor

### Rozbor synergie pomocí matematického nástroje Petriho sítě

S pomocí matematického nástroje Petriho sítě následuje rozbor případu č. 4, který graficky zobrazuje obrázek 28.

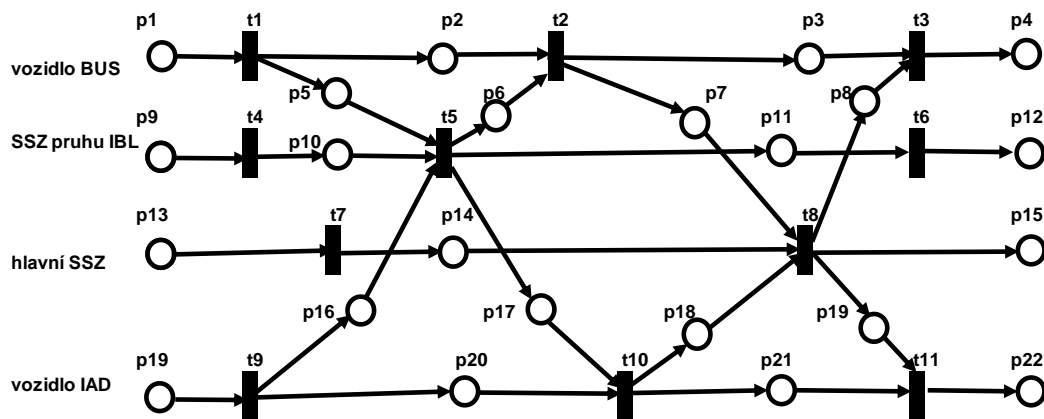
Jednotlivé kroky/procesy daného případu jsou následující:

- a) V prvním kroku k řešenému úseku přijíždí současně vozidla MHD a IAD, kde v danou chvíli pruh IBL umožňuje vjezd všem vozidlům a na následujícím hlavním signálu SSZ je rozsvícen signál stůj. Nastává tak výchozí situace  $M_0$ .

$$M_0 = [p_1 = 1, p_2 = 0, p_3 = 0, p_4 = 0, p_5 = 0, p_6 = 0, p_7 = 0, p_8 = 0, p_9 = 1, p_{10} = 0, p_{11} = 0, p_{12} = 0, p_{13} = 1, p_{14} = 0, p_{15} = 0, p_{16} = 0, p_{17} = 0, p_{18} = 0, p_{19} = 1, p_{20} = 0, p_{21} = 0, p_{22} = 0]$$

b) Vozidlo MHD je v tuto chvíli detekováno detekčním zařízením, které „spolupracuje“ s pruhem IBL a toto detekční zařízení je připraveno zajistit, aby byl bez odkladu zahájen signál zakazující vjezd vozidel IAD do tohoto pruhu. Nastává tak akce  $t_1$ ,  $t_4$  a  $t_9$  a současně situace  $M_1$ .

$$M_1 = [p_1 = 0, p_2 = 0, p_3 = 0, p_4 = 0, p_5 = 1, p_6 = 0, p_7 = 0, p_8 = 0, p_9 = 0, p_{10} = 1, p_{11} = 0, p_{12} = 0, p_{13} = 0, p_{14} = 0, p_{15} = 0, p_{16} = 1, p_{17} = 0, p_{18} = 0, p_{19} = 0, p_{20} = 0, p_{21} = 0, p_{22} = 0]$$



- |   |  |
|---|--|
| <p>p1 vozidlo BUS se blíží k řešenému úseku<br/> p2 vozidlo BUS očekává volný pruh IBL<br/> p3 vozidlo BUS očekává volno na hlavní SSZ<br/> p4 vozidlo BUS pokračuje do následujícího úseku<br/> p5 vozidlo BUS je připraveno na vjezd do pruhu IBL<br/> p6 vozidlo BUS projíždí pruhem IBL<br/> p7 vozidlo BUS je připraveno projet křižovatkou se SSZ<br/> p8 vozidlo BUS projíždí skrz křižovátku se SSZ<br/> p9 SSZ IBL pruhu umožňuje vjezd všech vozidel<br/> p10 SSZ IBL pruhu umožňuje vjezd pouze vozidel MHD<br/> p11 SSZ IBL pruhu ukončuje omezení pro vjezd vozidel IAD<br/> p12 SSZ IBL je opět ve výchozím stavu<br/> p13 hlavní SSZ zobrazuje signál stůj<br/> p14 hlavní SSZ ukončuje zobrazení signálu stůj<br/> p15 hlavní SSZ je připraveno zahájit ukončení signálu volno<br/> p16 vozidla IAD se nachází v běžném jízdním pruhu a jsou připravena po průjezdu MHD využít opět i pruh IBL<br/> p17 vozidla IAD opět vstupují také do pruhu IBL</p> | <p>p18 vozidla IAD jsou připravena na průjezd hlavní SSZ<br/> p19 vozidla IAD se nachází v řešeném úseku bez omezení vjezdu do všech jízdních pruhů<br/> p20 vozidla IAD očekávají opětovný vjezd do pruhu IBL<br/> p21 vozidla IAD očekávají volno na hlavní SSZ<br/> p22 vozidla IAD vstupují do následujícího úseku</p> <p>t1 vozidlo MHD vstupuje do řešeného úseku<br/> t2 vozidlo MHD vstupuje před hlavní SSZ<br/> t3 vozidlo MHD projíždí hlavní SSZ<br/> t4 SSZ pruhu IBL detekuje blížící se vozidlo MHD, kterému zajistí signál volno a současně signál zakazující vjezd IAD<br/> t5 SSZ pruhu IBL zobrazuje signál volno pouze pro MHD<br/> t6 SSZ pruhu IBL zobrazuje signál volno pro MHD i IAD<br/> t7 hlavní SSZ detekuje blížící se vozidlo MHD<br/> t8 hlavní SSZ zobrazuje signál volno MHD i IAD<br/> t9 vozidlo IAD opouští pruh IBL<br/> t10 vozidlo IAD vstupuje před hlavní SSZ<br/> t11 vozidlo IAD projíždí hlavní SSZ</p> |
|---|--|

Obrázek 28: P/T elementy případu č. 4 synergie preferenčních opatření

Zdroj: Autor

c) V situaci  $M_1$  vozidla MHD vjíždí do pruhu IBL, zatímco vozidla IAD mají v této situaci vjezd do pruhu IBL zakázáný. Hlavní SSZ detekuje přítomnost vozidel MHD a zahajuje ukončení signálu volno pro kolizní směry. Nastávají tak akce  $t_5$  a  $t_7$  a situace  $M_2$ .

$$M_2 = [p_1 = 0, p_2 = 1, p_3 = 0, p_4 = 0, p_5 = 0, p_6 = 1, p_7 = 0, p_8 = 0, p_9 = 0, p_{10} = 0, p_{11} = 0, p_{12} = 0, p_{13} = 0, p_{14} = 1, p_{15} = 0, p_{16} = 0, p_{17} = 0, p_{18} = 0, p_{19} = 0, p_{20} = 1, p_{21} = 0, p_{22} = 0]$$

d) Situace  $M_2$  zahrnuje současnou jízdu vozidel MHD ve vyhrazeném jízdním pruhu IBL, který je v prostoru před vozidlem MHD volný a současně zahrnuje přípravu na opětovné rozsvícení signálu dovolující jízdu tímto pruhem také pro vozidla IAD. Vozidlo MHD stejně jako vozidla IAD ve stejném či nekolizním směru očekávají u hlavního SSZ signál volno. Nastává situace  $M_3$  a akce  $t_2$  a  $t_{10}$ .

$$M_3 = [p_1 = 0, p_2 = 0, p_3 = 1, p_4 = 0, p_5 = 0, p_6 = 0, p_7 = 1, p_8 = 0, p_9 = 0, p_{10} = 0, p_{11} = 1, p_{12} = 0, p_{13} = 0, p_{14} = 0, p_{15} = 0, p_{16} = 0, p_{17} = 1, p_{18} = 1, p_{19} = 0, p_{20} = 0, p_{21} = 1, p_{22} = 0]$$

e) V tuto chvíli dochází k poskytnutí signálu volno na hlavním SSZ a k průjezdu všech vozidel danou křižovatkou (za podmínky souběžné nekolizní jízdy). Současně je pruhem IBL umožněn průjezd i vozidel IAD, přičemž řadič (zařízení) detekující blížící se další vozidlo MHD je připraven na situaci, že bude opětovně jízdu vozidel IAD tímto pruhem zakazovat. Nastává tak situace  $M_4$  a současně akce  $t_6$  a  $t_8$ .

$$M_4 = [p_1 = 0, p_2 = 0, p_3 = 0, p_4 = 0, p_5 = 0, p_6 = 0, p_7 = 0, p_8 = 1, p_9 = 0, p_{10} = 0, p_{11} = 0, p_{12} = 0, p_{13} = 0, p_{14} = 0, p_{15} = 0, p_{16} = 0, p_{17} = 0, p_{18} = 0, p_{19} = 1, p_{20} = 0, p_{21} = 0, p_{22} = 0]$$

f) Nyní vstupují jak vozidla MHD, tak vozidla IAD po projetí křižovatkou s hlavním SSZ do následujícího úseku. IBL nyní umožňuje vjezd všech vozidel a probíhá tak standardní stav. Nastává tak situace  $M_5$  a akce  $t_3$  a  $t_{11}$ .

$$M_5 = [p_1 = 0, p_2 = 0, p_3 = 0, p_4 = 1, p_5 = 0, p_6 = 0, p_7 = 0, p_8 = 0, p_9 = 0, p_{10} = 0, p_{11} = 0, p_{12} = 1, p_{13} = 0, p_{14} = 0, p_{15} = 1, p_{16} = 0, p_{17} = 0, p_{18} = 0, p_{19} = 0, p_{20} = 0, p_{21} = 0, p_{22} = 1]$$

V tomto okamžiku je celý proces případu č. 4 ukončen. Hlavní SSZ je připraveno po průjezdu předmětných vozidel k zahájení ukončení signálu volno a k opakování celého výše charakterizovaného dynamického systému. Řadič pruhu IBL je připraven, že opět bude opakovat zobrazení zákazu vjezdu vozidel IAD ve prospěch jízdy vozidla MHD.

#### 4.2.5 Shrnutí rozboru vybraných synergických opatření

V rámci předchozích kapitol 4.2.1 až 4.2.6 došlo autorem k provedení verbálního rozboru a k rozboru matematickým nástrojem Petriho sítí u vybraných 4 typů synergií mezi preferenčními opatřeními. Použitou metodou byly řešeny jednotlivé kroky daného procesu, které byly tvořeny jednotlivými zúčastněnými subjekty. Ty tvořily v celkovém shrnutí tyto subjekty:

- vozidla MHD,
- vozidla IAD,

- křižovatka se SSZ,
- a doplňkové zařízení (např. předvěst či signál pruhu IBL).

Tyto subjekty a jejich synergické chování bylo možné na základě této metody charakterizovat a zobrazit tak především jejich pro tuto problematiku nezbytné souběžné chování. Z tohoto výše aplikovaného matematického nástroje pro charakteristiku následně vyplývají jednotlivé kroky charakteristiky chování dané synergie, které se dají použít univerzálně (vyskytují se ve všech 4 případech). Tyto dané jednotlivé kroky tvoří:

- přiblížení vozidel k danému úseku,
- jízda vozidel daným úsekem,
- vjezd vozidel do úseku následujícího,
- funkce jednotlivých SSZ,
- a jízda vozidel v kolizních směrech.

V kapitole 4.3 autor provede porovnání chování jednotlivých variant řešení s pomocí provedeného rozdělení subjektů a kroků synergie v kapitole 4.2.5.

### 4.3 Hodnocení jednotlivých synergických opatření

V kapitole 4.2 autor řešil 4 (respektive 5) možností synergie mezi preferenčními opatřeními, které charakterizoval verbálně a následně pomocí matematického nástroje Petriho sítí. V kapitole 4.3 je autorem provedeno s pomocí metody **analýzy silového pole** a poté **Saatyho metodou** porovnání jednotlivých výše řešených synergických opatření.

Analýza silového pole je provedena bez bodového ohodnocení. Důvodem zanedbání této běžné součásti u této metody je především velmi obtížná kvantifikace u těchto sil. Na danou problematiku je několik úhlů pohledu, které mohou generovat protichůdná bodová ohodnocení (např. bude-li hlavním pohledem cena a náklady na realizaci, pak mohou být síly řešící například rozložení jednotlivých procesů v rámci synergie, či počet kolizních situací opomenuty, k čemuž by však nemělo dojít).

Jednotlivé uvedené kladné a záporné síly vycházejí primárně z technického řešení jednotlivých charakterizovaných synergických opatření, kde tyto kladné síly zpravidla zahrnují jednoduchost realizace (důraz na minimalizaci nákladů při realizaci daného synergického opatření), jejich efektivitu ve vztahu k zúčastněným vozidlům MHD i IAD i důraz na maximalizaci využití dotčené pozemní komunikace, tak, jak je uvedeno v úvodu kapitoly 4. Ty

záporné síly pak zpravidla zahrnují vyšší náklady na realizaci, či rizika spojená se změnou organizace dopravy souvisejících s provedením takového synergického preferenčních opatření.

Kvantifikace těchto sil je provedena jen rámcově, řadu daných kladných a záporných sil nelze příliš vhodně kvantifikovat (např. zjistit hodnotu změny využití kapacity pozemní komunikace před a po realizaci takového opatření). U těch, kde je kvantifikace provedena, se zpravidla jedná o absolutní hodnotu počtu úkonů (stavebních či organizačních opatření) nezbytných pro jejich realizaci a následně souvisejících s jejich fungováním (počty souběžných a kolizních procesů atd.).

#### **4.3.1 Hodnocení případu 1. synergie**

Analýzou silového pole je následně provedeno hodnocení případu č. 1. Synergie mezi vyhrazeným jízdním pruhem a preferencí na SSZ má na základě použité metody následující kladné a záporné stránky.

Kladné síly případu:

- + synergie je jednoduchá na realizaci (3 základní úpravy: úprava vodorovného a svislého dopravního značení souvisejícího s vyhrazeným jízdním pruhem, realizace podmíněné či absolutní preference na SSZ – mobilní i stabilní část včetně doplnění SSZ o zvláštní signál pro MHD);
- + procesy probíhají souběžně (je-li splněna podmínka pokračování vyhrazeného pruhu i v navazujícím úseku);
- + malý počet možných kolizních situací (za podmínky použití směrových šipek signálů na SSZ bez kolizních situací, za podmínky standardních plných signálů na SSZ 3 kolizní situace – nedání přednosti v jízdě vozidlům MHD při odbočování vpravo; je-li umožněna současná jízda vozidel MHD i IAD; nedání přednosti v jízdě vozidlům v protisměru při odbočování vlevo; nedání přednosti chodcům na přechodech při odbočování).

Záporné síly případu:

- neumožněna současná jízda vozidel MHD i IAD (není-li splněna podmínka pokračování vyhrazeného jízdního pruhu);
- snížení kapacity místní komunikace (u dvoupruhové až o 50 %);
- nutnost osazení zvláštního SSZ pro vozidla MHD.



### 4.3.2 Hodnocení případu 2. synergie

Níže je provedeno opět metodou analýzy silového pole hodnocení popsaného případu č. 2, tedy synergie mezi vyhrazeným jízdním pruhem a zelenou vlnou.

Kladné síly případu:

- + synergie umožňuje průjezd dotčených vozidel více křižovatkami najednou bez nutnosti zastavení;
- + umožněna současná jízda vozidel MHD i IAD ve stejném směru, či u vozidel IAD i ve směru doprava;
- + není nutné osazovat zvláštní signál pro vozidla MHD.

Záporné síly případu:

- větší počet kolizních situací (za podmínky použití směrových šipek signálů na SSZ bez kolizních situací, za podmínky standardních plných signálů na SSZ 4 kolizní situace – nedání přednosti v jízdě vozidlům MHD při odbočování vpravo, je-li umožněna současná jízda vozidel MHD i IAD; nedání přednosti v jízdě vozidlům v protisměru při odbočování vlevo; nedání přednosti chodcům na přechodech při odbočování; při projíždění více křižovatek současně obecně vyšší cestovní rychlost a větší případné následky kolizí);
- snížení kapacity místní komunikace (u dvoupruhové až o 50 %);
- výrazné prodloužení doby čekání vozidel v kolizních směrech;
- synergie je složitější na realizaci (4 základní úpravy – úprava vodorovného a svislého dopravního značení souvisejícího s vyhrazeným jízdním pruhem; realizace absolutní či podmíněné preference na SSZ; realizace detekčního zařízení řešící koordinaci více křižovatek za sebou; doplnění zvláštního signálu pro MHD).

### 4.3.3 Hodnocení případu 3. synergie

Níže je provedeno opět metodou analýzy silového pole hodnocení popsaného případu č. 3, tedy synergie mezi jízdou vozidla MHD tramvajovým pásem a preferencí vozidel MHD na křižovatce se SSZ.

Kladné síly případu:

- + synergie je jednoduchá na realizaci (za podmínek existující tramvajové tratě s tělesem umožňujícím vjezd i vozidel MHD jsou 3 základní úpravy – doplnění zvláštních signálů pro MHD; realizace absolutní či podmíněné preference na SSZ; úprava zastávky MHD na tzv. vídeňský typ);
- + procesy probíhají souběžně (je-li splněna podmínka pokračování vyhrazeného pruhu i v navazujícím úseku);
- + zastavování vozidel BUS i TRAM ve společné zastávce (přestupní vazby);
- + nedochází ke snížení kapacity místní komunikace (využití již existující tramvajové trati).

Záporné síly případu:

- větší počet kolizních situací (za podmínky použití směrových šipek signálů na SSZ 1 kolizní situace – nezastavení před vídeňskou zastávkou v případě stojícího vozidla MHD a související ohrožení cestujících; za podmínky standardních plných signálů na SSZ 4 kolizní situace – nezastavení před vídeňskou zastávkou v případě stojícího vozidla MHD a související ohrožení cestujících; nedání přednosti v jízdě vozidlům MHD při odbočování vlevo, je-li umožněna současná jízda vozidel MHD i IAD; nedání přednosti v jízdě vozidlům v protisměru při odbočování vlevo; nedání přednosti chodcům na přechodech při odbočování);
- prodloužení čekací doby v kolizním směru, bude-li v daném okamžiku probíhat současná jízda tramvaje i autobusu, či nebude-li v následujícím úseku autobus pokračovat tramvajovým pásem, ale bude využívat běžný jízdní pruh;
- nutnost instalace předvěsti hlavního SSZ a doplňujících zvláštních signálů na hlavním SSZ.

#### **4.3.4 Hodnocení případu 4. synergie**

Hodnocení stejnou metodou jako u případů č. 1 až 3 je provedeno hodnocení také u případu č. 4, tedy u synergie přerušovaného vyhrazeného jízdního pruhu a preference na křižovatce se SSZ.

Kladné síly případu:

- + nižší snížení kapacity místní komunikace oproti běžnému vyhrazenému jízdniému pruhu (při nevyužití vozidlem MHD funguje jako běžná dvoupruhová/vícepruhová místní komunikace);
- + umožněna současná jízda vozidel MHD i IAD ve stejném směru, či u vozidel IAD i ve směru vlevo (za podmínky pokračování oddělených jízdniých pásů také v následujícím úseku);
- + efektivnější řešení pro maximální využití dostupné kapacity PK.

Záporné síly případu:

- synergie je složitější na realizaci (4 základní úpravy – úprava vodorovného a svislého dopravního značení souvisejícího s vyhrazeným jízdniím pruhem; realizace podmíněné či absolutní preference na SSZ – mobilní i stabilní část včetně doplnění SSZ o zvláštní signál pro MHD; doplnění vodorovné a svislé signalizace pro daný přerušovaný vyhrazený jízdnií pruh);
- větší počet kolizních situací (za podmínky použití směrových šipek signálů na SSZ 1 kolizní situace – ohrožení vozidel IAD při odbočování z vyhrazeného jízdniího pruhu do běžného jízdniího pruhu, začne-li signalizace zakazovat vjezd do vyhrazeného pruhu; za podmínky standardních plných signálů na SSZ 4 kolizní situace – ohrožení vozidel IAD při odbočování z vyhrazeného jízdniího pruhu do běžného jízdniího pruhu, začne-li signalizace zakazovat vjezd do vyhrazeného pruhu; nedání přednosti v jízdě vozidlům MHD při odbočování vpravo, je-li umožněna současná jízda vozidel MHD i IAD; nedání přednosti v jízdě vozidlům v protisměru při odbočování vlevo; nedání přednosti chodcům na přechodech při odbočování);
- nutnost doplnění signalizace do vozovky či na svislé dopravní značení do pruhu IBL (společně s detekčním zařízením).

#### 4.3.5 Porovnání hodnotících kritérií

S pomocí analýzy silového pole, tedy stanovení kladných sil pro řešené případy charakterizující jejich výhody a určení záporných sil pojednávajících v jejich neprospěch, byly autorem dané případy č. 1 až 4 ohodnoceny. V rámci shrnutí této hodnotící části byly stanoveny opakující se tvrzení (která budou následně použita jako **hodnotící kritéria**) uvedená

v kapitolách 4.3.1. až 4.3.4, kde je proveden rozbor kladných a záporných sil. Tato kritéria jsou následující:

- **složitost realizace,**
- **využití kapacity místní komunikace,**
- **nezbytná technická opatření,**
- **počty možných kolizních situací,**
- **počty možných souběžných procesů a**
- **čekací doby v kolizních směrech.**

S pomocí metod vícekritériálního rozhodování budou následně autorem jednotlivá kritéria porovnána a příslušně okomentována. Pro větší vypovídající schopnost daného porovnání jednotlivých řešení je použita Saatyho metoda. Následuje porovnání jednotlivých kritérií na základě 3 různých přístupů. Počet přístupů k hodnocení může být pochopitelně vyšší, případně mohou být tyto přístupy propojeny. Důvodem stanovení konkrétně 3 následujících hodnotících přístupů jsou základní 3 parametry, které jsou sledovány obecně u všech preferenčních opatření na základě celkové analýzy této problematiky, a to konkrétně:

- **časová úspora**, či eliminace zpoždění, kterou preferenční opatření přinese,
- **náklady**, které musí být na realizaci takového opatření realizovány a
- **bezpečnostní hledisko**, které stanovuje, zda dané opatření není v rozporu s vyhlášenými dopravními předpisy.

Jednotlivé váhy jsou pak stanoveny autorem se zohledněním, jaký směr zrovna ten který přístup sleduje.

### **Návrh 1. přístupu**

Tabulka 8 zobrazuje Saatyho matici u 1. přístupu hodnocení. Jsou zde porovnávána stanovená kritéria na základě hodnocení případů č. 1 až 4 provedeného v kapitolách 4.3.1 až 4.3.4.

Tabulka 8: Saatyho matice 1. hodnotícího přístupu

Kritérium	K1	K2	K3	K4	K5	K6	Průměr	Váhy
<b>K1</b> - složitost realizace	1	0,2	0,3333	0,1429	1	0,3333	0,383	0,0452
<b>K2</b> - využití kapacity místní komunikace	5	1	3	0,3333	3	5	2,054	0,2424
<b>K3</b> - nezbytná technická opatření	3	0,3333	1	0,2	1	3	0,918	0,1084
<b>K4</b> - počty možných kolizních situací	7	3	5	1	5	7	3,928	<b>0,4636</b>
<b>K5</b> - počty možných souběžných procesů	1	0,3333	1	0,2	1	1	0,637	0,0752
<b>K6</b> - čekací doby v kolizních směrech	3	0,2	0,3333	0,1429	1	1	0,553	0,0653
<b>SUMA</b>							<b>8,473</b>	<b>1</b>

Zdroj: Autor

Tento přístup autor navrhuje nazvat jako **kapacitně-bezpečnostní** a měl by být zvolen tam, kde je riziko, že nebudou řidiči jednotlivých zúčastněných stran respektovat „zúčastněné druhé strany“. Vhodný je na základě studia předchozích použitých charakteristických a hodnotících metod v situacích, kde je více kolizních směrů a kde je pro zachování maximálního využití kapacity místní komunikace žádoucí poskytovat více směrům signál volno najednou. To znamená, že by bylo vhodné tento přístup uvažovat u synergických opatření, kde probíhá současně více procesů (souběžná jízda tramvají a autobusů, nutnost poskytnout přednost vozidlům jedoucím v protisměru, případně v souběžně vedoucím vyhrazeném jízdním pruhu, odbočuje-li vozidlo směrem kolizním se směrem rovně u vyhrazeného pruhu atd.).

## Návrh 2. přístupu

Tabulka 9 obsahuje Saatyho matici u 2. přístupu hodnocení. Jsou zde porovnávána stanovená kritéria na základě hodnocení případů č. 1 až 4 provedeného v kapitolách 4.3.1 až 4.3.4.

Tabulka 9: Saatyho matice 2. hodnotícího přístupu

Kritérium	K1	K2	K3	K4	K5	K6	Průměr	Váhy
<b>K1</b> - složitost realizace	1	1	0,2	3	3	1	1,103	0,1444
<b>K2</b> - využití kapacity místní komunikace	1	1	0,3333	1	1	7	1,152	0,1508
<b>K3</b> - nezbytná technická opatření	5	3	1	7	5	3	3,411	<b>0,4466</b>
<b>K4</b> - počty možných kolizních situací	0,3333	1	0,1429	1	1	5	0,787	0,1031
<b>K5</b> - počty možných souběžných procesů	0,3333	1	0,2	1	1	5	0,833	0,109
<b>K6</b> - čekací doby v kolizních směrech	1	0,1429	0,3333	0,2	0,2	1	0,352	0,0461
<b>SUMA</b>							<b>7,638</b>	<b>1</b>

Zdroj: Autor

2. přístup k porovnání stanovených kritérií autor navrhuje nazvat jako **ekonomicko-organizační**. Je určený pro ty rozhodovatele, pro které je primární zohlednění nákladů na dané řešení a jeho celková složitost provedení. Je vhodný tam, kde se neočekává tak velká přidaná hodnota opatření, či tak velký efekt pro jízdu vozidel MHD při jeho realizaci. Může se tak stát

v případech, kdy je například velmi skoková výše intenzity dopravy v průběhu dne a ke zpoždění (které se předpokládá realizací daného opatření snížit či eliminovat) dochází jen v několika případech za den. Tento přístup naopak významně nezohledňuje situaci v kolizních směrech, bezpečnost (počet možných kolizních situací) a počty souběžných procesů.

### Návrh 3. přístupu

Poslední z kritérií hodnotících přístupů obsahuje tabulka 10. Jsou zde porovnávána stanovená kritéria na základě hodnocení případů č. 1 až 4 provedeného v kapitolách 4.3.1 až 4.3.4.

Tabulka 10: Saatyho matice 3. hodnotícího přístupu

Kritérium	K1	K2	K3	K4	K5	K6	Průměr	Váhy
<b>K1</b> - složitost realizace	1	0,2	1	0,3333	0,2	0,2	0,372	0,0435
<b>K2</b> - využití kapacity místní komunikace	5	1	3	0,3333	0,2	0,2	0,765	0,0894
<b>K3</b> - nezbytná technická opatření	1	0,3333	1	0,2	0,1429	0,2	0,352	0,0411
<b>K4</b> - počty možných kolizních situací	3	3	5	1	0,3333	0,1429	1,135	0,1327
<b>K5</b> - počty možných souběžných procesů	5	5	7	3	1	1	2,840	0,3319
<b>K6</b> - čekací doby v kolizních směrech	5	5	5	7	1	1	3,093	<b>0,3614</b>
<b>SUMA</b>							<b>8,558</b>	<b>1</b>

Zdroj: Autor

Tento hodnotící přístup autor navrhuje nazvat jako **technologicko-sít'ový**. Jedná se o takový pohled na synergické preferenční opatření, který bere primárně v potaz možnost plynule v co nejvíce možných směrových kombinacích projet danou klíčovou křižovatkou se SSZ. Současně zohledňuje situaci v kolizních směrech a vliv na ně. Je vhodný především tam, kde mají kolizní směry podobnou intenzitu dopravy a významnost, jako směry preferované. Nezohledňuje složitost realizace a nezbytná technická řešení, čili je obvykle určen pro situace, kde náklady na realizaci daného opatření mají nižší váhu než dopad na celkové dopravní toky v oblasti.

#### 4.3.6 Dílčí shrnutí

V kapitolách 4.3.1 až 4.3.5 bylo autorem provedeno hodnocení jednotlivých synergických opatření, která byla stanovena v kapitole 4.1.2 a následně byl proveden jejich verbální a charakteristický rozbor v kapitolách 4.2.1 až 4.2.4 metodou Petriho sítí. Následuje shrnutí hodnotící části, tedy celé kapitoly 4.3.

V první řadě byl analýzou silového pole stanoven počet a věcný obsah pozitivních a negativních sil. Následně byla na základě nejčastěji se vyskytujících typů působících sil stanovena hlavní sledovaná kritéria. Tato kritéria byla následně Saatyho metodou porovnána ve

smyslu jednotlivých přístupů k hodnocení. Tyto jednotlivé tři přístupy nejsou brány jako pevně stanovené, jedná se o rámcově navržené přístupy, které samozřejmě mohou být modifikovány. Jedná se spíše o jakési „vodítko“ pro konečného rozhodovatele při výběru synergického opatření a náhledu na něj.

Nabízí se uvést komplexní model tohoto hodnotícího postupu s použitím výše uvedených metod. Ten je zobrazen pomocí programu MS Excel na následujícím obrázku 29, kde dosazené hodnoty do jednotlivých případů jsou pouze ilustrační. Reálné hodnoty budou v rámci validační části budoucí navržené metodiky dosazeny až v kapitole 4.6.5.

1. kolo výběru				
Analýza silového pole	KLADNÉ	ZÁPORNÉ	rozdíl	vzorce
1. opatření	3	4	-1	$E7 - F7$
2. opatření	2	3	-1	$E8 - F8$
3. opatření	3	2	1	$E9 - F9$
4. opatření	4	1	3	$E10 - F10$
<b>výsledek</b>			<b>3</b>	$MAX(G7:G10)$

**1. výsledek výběru** 4. opatření

$KDYŽ(G7=MAX(\$G\$7:\$G\$10);"1. opatření";KDYŽ(G8=MAX(\$G\$7:\$G\$10)"2. opatření";KDYŽ(G9=MAX(\$G\$7:\$G\$10);"3. opatření";KDYŽ(G10=MAX(\$G\$7:\$G\$10);"4. opatření";""))))$

2. kolo výběru						
Hodnotící kritéria	trend	1. opatření	2. opatření	3. opatření	4. opatření	jednotka
K1 - složitost realizace	MIN	1	2	4	3	počet úprav
K2 - využití kapacity místní komunikace	MAX	50	75	100	25	% využití
K3 - nezbytná technická řešení	MIN	2	3	2	4	počet řešení
K4 - počty možných kolizních situací	MIN	2	2	2	3	počet situací
K5 - počty možných souběžných procesů	MAX	4	5	6	2	počet procesů
K6 - čekací doby v kolizních směrech	MIN	15	30	45	5	% navýšení jízdní doby
<b>úspěch dle kritérií</b>		<b>3</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	

$SUMA((KDYŽ(F14=MIN(\$F\$14:\$I\$14);1;0));KDYŽ(F15=MAX(\$F\$15:\$I\$15);1;0);KDYŽ(F16=MIN(\$F\$16:\$I\$16);1;0);KDYŽ(F17=MIN(\$F\$17:\$I\$17);1;0);KDYŽ(F18=MAX(\$F\$18:\$I\$18);1;0);KDYŽ(F19=MIN(\$F\$19:\$I\$19);1;0))$

**2. výsledek výběru** 3. opatření

$KDYŽ(F20=MAX(\$F\$20:\$I\$20);"1. opatření";KDYŽ(G20=MAX(\$F\$20:\$I\$20);"2. opatření";KDYŽ(H20=MAX(F20:I20);"3. opatření";KDYŽ(I20=MAX(F20:I20);"4. opatření";""))))$

3. kolo výběru							
Přístup k řešení - VÁHY	K1	K2	K3	K4	K5	K6	
kapacitně-bezpečnostní		0,045	0,242	0,108	0,464	0,075	0,065
ekonomicko-organizační		0,144	0,151	0,447	0,103	0,109	0,046
technologicko-síťový		0,044	0,089	0,041	0,133	0,332	0,361

$(\$E33*(MIN(\$F\$18:\$I\$18)/F\$18))+(\$F33*(F\$19/MAX(\$F\$19:\$I\$19)))+(\$G33*(MIN(\$F\$20:\$I\$20)/F\$20))+(\$H33*(MIN(\$F\$21:\$I\$21)/F\$21))+(\$I33*(F\$22/MAX(\$F\$22:\$I\$22)))+(\$J33*(MIN(\$F\$23:\$I\$23)/F\$23))$

**3. výsledek výběru**

Přístup k řešení - VÁHY	1. opatření	2. opatření	3. opatření	4. opatření	MAX
kapacitně-bezpečnostní	0,8103	0,8138	0,9081	0,5292	3. opatření
ekonomicko-organizační	0,8575	0,6846	0,8507	0,4603	1. opatření
technologicko-síťový	0,6038	0,5857	0,6461	0,6179	3. opatření

$KDYŽ(E39=MAX(E39:H39);"1. opatření";KDYŽ(F39=MAX(E39:H39);"2. opatření";KDYŽ(G39=MAX(E39:H39);"3. opatření";KDYŽ(H39=MAX(E39:H39);"4. opatření";""))))$

Obrázek 29: Propojení hodnotících metod s pomocí MS Excel

Zdroj: Autor

Na základě výše uvedeného postupu sjednocení všech použitých metod jsou pro docílení vhodného výběru daného synergického opatření provedeny 3 kroky výpočtu. Prvním krokem je spíše obecné stanovení počtu negativních a pozitivních sil, kde rozdíl počtu pozitivních a negativních sil stanoví číselnou hodnotu vhodnosti daného opatření, přičemž opatření s nejvyšší touto hodnotou se předpokládá jako nejlepší. Je to však pouze obecný náhled a absolutní počet daných pozitivních a negativních sil není navíc v tomto případě kvantifikován.

V druhém kroku je výběr opatření na základě stanovených hodnotících kritérií a jejich stanovené účelové funkci (trendu). Zde je opatřením s nejlepším výsledkem to opatření, kde došlo ke splnění dané účelové funkce u největšího počtu kritérií. Stane-li se, že vyjdou stejné hodnoty úspěšnosti u více než jednoho opatření, je nutné přejít k 3. kroku (což se však nevylučuje ani u případu, kde takto vyjde nejlépe jen jedno opatření).

Ve 3. kroku následně probíhá výběr opatření dle jednotlivých v kapitole 4.3.5 stanovených hodnotících přístupů. Tyto hodnotící přístupy autor stanovil Saatyho metodou na základě porovnání jednotlivých kritérií v kapitole 4.3.5.

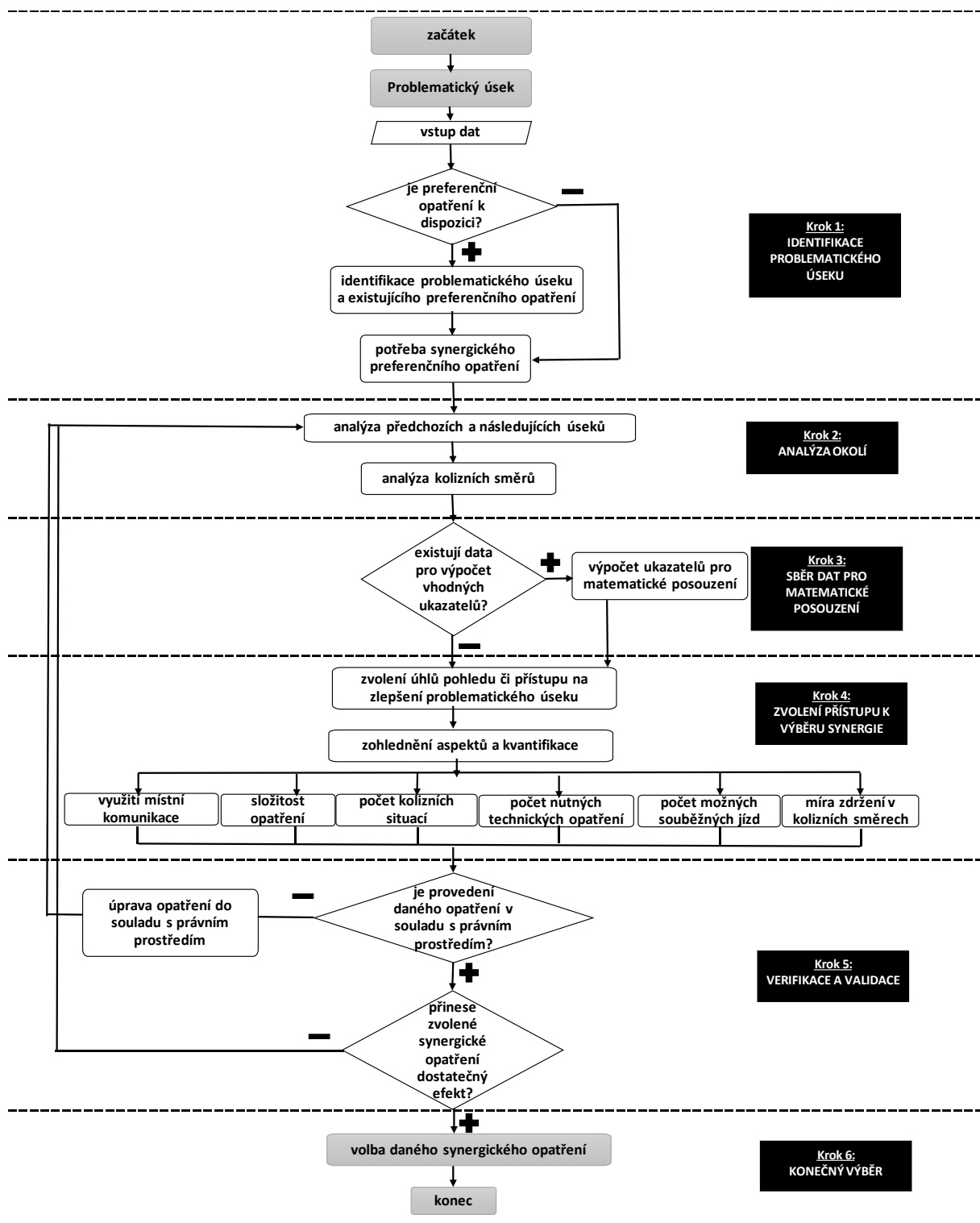
Konečný výběr daného opatření pak závisí na všech dílčích výběrech a na přístupu daného rozhodovatele, který plánuje na konkrétním problematickém úseku realizovat některé ze synergických preferenčních opatření.

S pomocí předchozích návrhových a hodnotících kapitol (4.1 až 4.3) následuje návrh metodiky pro hodnocení synergických preferenčních opatření.

#### **4.4 Návrh metodiky pro synergii preferenčních opatření**

Na základě použitých výzkumných metod v kapitolách 4.1 až 4.3 předmětné práce, jejich porovnání a zhodnocení, je autorem navržena metodika pro hodnocení a výběr synergie mezi preferenčními opatřeními. Stanovenou navrženou metodiku zobrazuje následující vývojový graf na obrázku 30, přičemž jednotlivé body jsou následně okomentovány v textu pod daným grafem.





Obrázek 30: Navržená metodika výběru synergického preferenčního opatření

Zdroj: Autor

V **1. kroku** dochází k **identifikaci problematického úseku**. Tento krok by měl obsahovat následující:

- technický rozbor daného úseku (délka, šířka, počet jízdních pruhů, existence pruhů pro cyklistickou dopravu, existence parkovacích míst atd.);
- stanovení počtu křižovatek s vlivem na dopravní intenzitu a jejich technické řešení;
- analýzu dat z informačních systémů pro sledování vozidel (šetření, zda v daném úseku dochází k častým dopravním komplikacím, které je v plánu řešit);
- analýzu již případných existujících preferenčních opatření a jejich stávající efektivity a účelovosti;
- posouzení nezbytnosti provést synergické preferenční opatření (výběr vhodných synergií, které by bylo možné pro řešený problém použít).

Ve **2. kroku** dochází k **analýze okolí**. Zde by měly být provedeny následující úkony:

- identifikace významu kolizních místních komunikací;
- stanovení dopravní intenzity kolizních směrů;
- identifikace linkového vedení spojů MHD v kolizních směrech a jejich parametrů (interval, významnost daných linek, přepravní výkon);
- identifikace opatření v předchozích či následujících úsecích (v trase linek MHD).

V **3. kroku** dochází ke **sběru dat pro matematické posouzení**. V tomto kroku by se mělo posuzovat následující:

- výběr metody pro sběr dat (pozorování, dopravní průzkum, statistiky, záběry z kamerového systému atd.);
- stanovení dopravní intenzity úseku (příp. kapacity);
- identifikace tras linek MHD;
- identifikace počtu spojů linek MHD (vč. přepravního výkonu);
- stanovení průměrných časových rozestupů mezi jednotlivými spoji MHD;
- stanovení časových údajů (doba jízdy, průměrná rychlost při daném využití kapacity místní komunikace atd.).

Ve **4. kroku** následuje zvolení **přístupu k výběru daného preferenčního synergického opatření** a tvoří jej následující kroky:

- kvantifikace jednotlivých parametrů, které mají vliv na zvolení daného přístupu (využití místní komunikace [%], složitost realizace, počet kolizních situací, počet nutných technických opatření, počet možných souběžných jízd, míra zdržení v kolizních směrech);
- výběr přístupu dle očekávání efektu od dané synergie preferenčního opatření:
  - přístup s dosažením efektu se zohledněním nákladů na realizaci (ekonomicko-organizační),
  - přístup s maximálním zachováním bezpečnosti silničního provozu (kapacitně-bezpečnostní),
  - přístup s minimálním dopadem na okolí (technologicko-síťový),
  - jiný zvolený přístup případně modifikace výše uvedených;
- využití metody silového pole a Saatyho metody pro vícekritériální posouzení.

V **5. kroku** dané metodiky dochází k **verifikaci a validaci** daného vybraného synergického opatření a zvoleného přístupu k jeho realizaci. Zde by měly být provedeny tyto úkony:

- posouzení, zda je navržené synergické opatření v souladu s platnými právními předpisy (se zákonem č. 361/2000, Sb. o provozu na pozemních komunikacích, s platnými technickými podmínkami či s normami atd.):
  - v případě nesouladu je nutné vrátit se na začátek celého procesu a zvolit ve smyslu výše uvedeného jiné či modifikované opatření;
- posouzení následujících efektů v případě realizace dané synergie preferenčního opatření:
  - vliv na kapacitu místní komunikace,
  - vliv na jízdní řád vozidel MHD a související úsporu cestovní doby/eliminaci vznikajících zpoždění,
  - vliv na kolizní směry a cestovní dobu dotčených vozidel v kolizních směrech,
  - vliv na předchozí a navazující úsek (např. prodloužení délky kongesce vozidel IAD zasahující do předchozích úseků, případně poukázání na nezbytnost realizovat preferenční opatření také v navazujícím úseku atd.),
  - případné další efekty.

V **6. kroku** dochází k závěrečnému úkonu, a to sice ke **konečnému výběru** dané synergie preferenčních opatření a je tak ukončen celý proces navržené metodiky.

Následuje provedení verifikace a validace dané metodiky a použitých výzkumných metod v kapitolách 4.4 a 4.5.

## **4.5 Verifikace**

Na základě všech použitých charakteristických i hodnotících metod v kapitolách 4.2 až 4.3 a navržené metodiky v kapitole 4.4 bude autorem následně provedena verifikace daného návrhového řešení.

Pro rozbor jednotlivých synergických opatření autor použil grafickou metodu rozboru dynamických systémů Petriho sítí. Následně bylo provedeno hodnocení jednotlivých řešení pomocí analýzy silového pole a pomocí Saatyho metody, coby metody vícekritériálního rozhodování. Tyto metody byly použity na základě výběru z možných předpokládaných uvažovaných metod v kapitolách č. 3.4 a 3.5. Petriho sítě pro rozbor daných synergií byly použity především z důvodu nedostatku vhodných dat, která by se dala dosadit do odpovídajících výpočetních matematických metod. Současně byly shledány přednosti této metody pro charakteristiku více sériově či paralelně probíhajících procesů v rámci daných sledovaných úseků na síti. Matematické metody (např. BPR Funkce či další) by bylo vhodné použít spíše pro konkrétní situace na jedné dané křižovatce, či úseku místní komunikace. Bylo však především nezbytné přiblížit, jaké procesy vstupují do toho kterého řešení synergie a právě metoda popisu měkkých systémů, jako jsou Petriho sítě, byla shledána jako nejvhodnější. Obecně lze říci, že přístup k celkovému modelu v rámci kapitol 4.2 až 4.3 byl především založen na rozhodování a vyhodnocování, jakým směrem by se rozhodovatel měl vydat, když má řešit určitý dopravní problém, jehož řešení vede cestou realizace preferenčního opatření. To znamená, že se jedná o situaci, kde ještě žádné preferenční opatření neexistuje.

Může však nastat také případ, kde již preferenční opatření realizováno je. U takového případu se nabízí otázka, zda opatření dostatečně řeší danou situaci (zvyšování spolehlivosti průjezdu MHD problematickým úsekem, minimální dopad na kolizní směry a na jízdu vozidel IAD atd.). K analýze a vyhodnocení daného preferenčního již realizovaného opatření je možné využít právě některou z matematických metod, do nichž je možné získat z již realizovaného řešení data. Podmínkou pro co nejefektivnější analýzu stávajícího opatření je existence i dat historických, která byla naměřena ještě před danou realizací, např.:

- změna průměrné cestovní doby mezi dvěma body, mezi kterými se nachází dané opatření,
- vypočítaný průběh BPR funkce před a po realizaci daného opatření pro vozidla MHD i IAD,
- průměrná doba vozidel strávená na křižovatce (provedením simulace, či generace a analýzou dat z dispečerských informačních systémů MHD),
- průměrné zdržení vozidel IAD v kolizních směrech nebo
- změna procentuálního podílu vozidel MHD jedoucích tímto úsekem včas či se zpožděním spolu s hodnotou změny daného zpoždění.

Je však nutné také v souvislosti s výše uvedeným zohlednit rozsáhlejší pohled na souběžné úseky, kterými mohou po realizaci daného preferenčního opatření projíždět tranzitní vozidla IAD. Tato vozidla totiž vlivem realizace pro ně zpravidla restriktivního preferenčního opatření dříve využívala tento předmětný úsek, za který nyní uživatelé těchto tranzitních vozidel hledají alternativu. Tímto zohledněním mohou být absolutní hodnoty dat, která jsou využívána pro výpočet změny parametrů předmětného úseku, výrazně „poškozena“ a neposkytnou tak dostatečně vypovídající výsledek.

Následně je v rámci verifikace dané hodnotící návrhové části disertační práce možné přiblížit tuto problematiku s uvažováním konkrétních případů.

#### 4.5.1 Verifikace na sledované reálné síti

Na základě sledování vývoje zpoždění v časovém horizontu od ledna do března roku 2023 bylo autorem s pomocí internetového portálu [mapa.pid.cz](http://mapa.pid.cz). [96] identifikováno celkem 166 úseků na území hlavního města Prahy, kde opakovaně v rámci zvolené sítě dochází k navyšování zpoždění. Princip sledování byl následující:

- počet sledovaných případů: **380 případů**
- minimální navýšení zpoždění: **2 minuty**
- oblast sledování: **hlavní město Praha**
- typ vozidel: **autobus**
- zahrnuté linky MHD: **100 až 250**
- kalendářní období: **leden 2023 – březen 2023**
- dny v týdnu: **pondělí až pátek (pouze pracovní dny)**
- denní období: **7:00 – 10:00, 14:00 – 18:00 (období dopravní špičky)**

Do těchto případů byly vždy zahrnuty situace, kde, jak je výše uvedeno, došlo ke zvýšení zpoždění na určitém úseku o více než 2 minuty (včetně). Minutové rozdíly byly zanedbány z důvodu významnosti. K tak nízkému navýšení zpoždění zpravidla nemusí docházet vlivem chybějícího či nedostatečně realizovaného preferenčního opatření, nýbrž například vyšší frekvencí cestujících na zastávkách, nástupu osoby s kočárkem či osoby na invalidním vozíku. Minutové navýšení zpoždění může také způsobit signál stůj na SSZ, přijede-li vozidlo MHD těsně po ukončení signálu volno, či na SSZ bez preference či pouze s preferencí podmíněnou, která v daném okamžiku poskytuje signál volno koliznímu směru. Dle zkušeností Technické správy komunikací hlavního města Prahy, a.s. [104] se průměrná doba cyklu pohybuje mezi 60-80 sekundami, což rovněž potvrzuje vyloučit minutový rozdíl zpoždění z daného rozsahu sledování. Seznam řešených případů je také „očištěn“ o situace, kdy k výraznému navýšení zpoždění došlo v místě, kde se nachází křížení s železniční dopravní cestou a v daném okamžiku bylo v činnosti přejezdové zabezpečovací zařízení. Tento případ není možné nijak efektivně řešit pomocí preferenčního opatření v souladu s právními předpisy ve prospěch upřednostnění jízdy vozidla MHD. Důvodem zahrnutí pouze městských autobusových linek bylo to, že u linek příměstské autobusové dopravy není možné specifikovat, zda za navýšení zpoždění může chybějící preferenční opatření, či například prodloužení doby zastavení v zastávce při nákupu jízdního dokladu cestujícím u řidiče. K této příčině navýšení doby obsluhy zastávky u městských autobusových linek nedochází, nebo pouze natolik ojediněle, že je možné tyto situace zanedbat. Zároveň by byl s uvažováním i příměstských autobusových linek rozsah sledování pro účely verifikace zbytečně velký. Jednotlivé uvažované případy byly také „očištěny“ o situace, kdy došlo k mimořádným událostem a důvod zpoždění jednotlivých spojů tak nebyl z důvodu absence případného preferenčního opatření.

#### 4.5.2 Výsledek sledování

Sledování dle stanoveného principu v kapitole 4.5.1 má následující výsledky:

- počet problematických úseků: **166 úseků**
- průměrný počet případů na úsek: **2,3 případů**
- celkové průměrné navýšení zpoždění: **2,88 minuty**
- medián: **3 minuty**
- směrodatná odchylka: **1,22**
- rozptyl: **1,49**
- nejnižší hodnota navýšení zpoždění: **2 minuty**

- nejvyšší hodnota navýšení zpoždění: **13 minut**
- počet dotčených linek: **53 linek**
- linka MHD s nejvíce případy: **linka 136**
- průměrný počet případů na linku: **6,8 případů**

Výsledkem sledování je identifikace 10 úseků, kde k navýšení zpoždění došlo nejčastěji. Pro účely a rozsah verifikační a validační části původní hodnotu všech identifikovaných úseků odpovídajícím způsobem autor vymezil. Jedná se o tyto konkrétní úseky: Olšanské náměstí – Flora, Na Planině – Ryšánka, Nemocnice Krč - Zálesí, Spojovací – Pod Tábořem, Flora – Orionka, Anděl – Klamovka, OC Čakovice – Trutnovská, Vozovna Střešovice – Na Petynce, Perlit – Spalovna Malešice, Na Proutcích – U Studánky. Seznam identifikovaných úseků spolu s uvedením počtu případů navýšení zpoždění a uvedenými dotčenými linkami tímto navýšením uvádí tabulka 11. Po výběru těchto úseků na základě jednotlivých navýšení zpoždění bylo s pomocí dostupných zdrojů řešících stavební omezení, například internetovou aplikací dopravninfo.cz [105], zjištěno, zda se v konkrétních úsecích neprováděla rozsáhlá stavební činnost (snížení kapacity PK, instalace nového SSZ atd.), která by vyvolala příčinu zpoždění, ke kterému by za standardního stavu nedocházelo. Na základě výsledku tohoto zjišťování bylo shledáno, že v problematickém úseku Na Planině – Ryšánka probíhaly během doby měření stavební práce, které mají rozsáhlý vliv na včasnost jízdy vozidel MHD. Z tohoto důvodu je tento úsek z verifikační části vypuštěn a je zařazen v pořadí další nejproblematictější úsek. Tím je úsek Slavia - Bělocerkevská. Předmětné sledování dle výše uvedeného principu přineslo mimo jiné také tvrzení, že k nejčastějšímu navyšování zpoždění dochází na linkách 124, 136, 175, 177, 180 a 195. U těchto linek došlo k více, než 15ti případům z celkových 380 případů. Vzhledem k trasování daných linek platného v období tvorby návrhové části disertační práce je tak evidentní, že k navyšování zpoždění dochází ve větší míře ve východní části Prahy, především pak v městských obvodech Prahy 3, Prahy 4, Prahy 8 a Prahy 10. Významný počet navyšování zpoždění je zaznamenán také v západní části Prahy u linky 180, kde k navyšování zpoždění nejčastěji dochází v městském obvodu Prahy 6, konkrétně v lokalitách Břevnov a Dejvice.

Tabulka 11: Seznam úseků s nejčastějším případem navyšování zpoždění vozidel MHD

Sledovaný úsek	Počet případů	Dotčené linky MHD
<b>CELKOVÉ MĚŘENÍ</b>	<b>380</b>	<b>Denní městské autobusové linky</b>
Olšanské náměstí - Flora	21	136, 175
Spojovací – Pod Tábořem	17	109, 146, 177, 182, 183, 195
Na Planině – Ryšánka	13	124, 134
Nemocnice Krč – Zálesí	13	113, 189, 215
Flora – Orionka	11	136, 175
Anděl – Klamovka	8	123, 167, 191
OC Čakovice - Trutnovská	8	110, 136, 140, 158, 166
Vozovna Střešovice – Na Petynce	8	149, 180
Perlit – Spalovna Malešice	7	181, 182, 183
Na Proutcích – U Studánky	7	197
Slavia - Bělocerkevská	6	135, 136, 150, 213

Zdroj: Autor s využitím [96]

#### 4.6 Validace jednotlivých synergických opatření na konkrétních úsecích

V jednotlivých úsecích byla autorem vysledována buď funkčnost daného preferenčního opatření, které je již dle informací získaných v portálu preference veřejné dopravy [98] realizováno, či bylo na základě analýzy a stanovení možných preferenčních opatření pro návrhovou část odhadnuto, která preferenční opatření a jejich synergie by pro dané úseky přinesla největší efekt. Přesné stanovení takového efektu nelze bez realizace takového opatření určit, proto je v takovém případě nezbytné provést validaci s pomocí analytické části a již výše použitých metod.

Pro validační část jsou použity již dříve v rámci disertační práce řešené jednotlivé případy synergických opatření, konkrétně:

- **1. synergie:** kombinace vyhrazeného pruhu a preference na křižovatce se SSZ,
- **2. synergie:** kombinace vyhrazeného jízdního pruhu a zelené vlny,
- **3. synergie:** kombinace vedení autobusů po tramvajovém tělese a preference na SSZ,
- **4. synergie:** kombinace přerušovaného vyhrazeného pruhu a preference na SSZ.



Možnost použití těchto vybraných synergických opatření na vybraných 10 problematických úsecích obsahuje tabulka 12. Je-li dané synergické opatření v konkrétním problematickém úseku za určitých podmínek možné použít, je zde uvedeno „ano“, v opačném případě „ne“.

Tabulka 12: Přehled možného použití synergických opatření na problematických úsecích

úsek	1. synergie	2. synergie	3. synergie	4. synergie
<b>Olšanské náměstí - Flora</b>	NE	NE	ANO	NE
<b>Spojovací – Pod Tábořem</b>	NE	NE	NE	NE
<b>Nemocnice Krč – Zálesí</b>	ANO	NE	NE	NE
<b>Flora – Orionka</b>	ANO	ANO	ANO	ANO
<b>Anděl – Klamovka</b>	ANO	ANO	ANO	ANO
<b>OC Čakovice - Trutnovská</b>	NE	NE	NE	NE
<b>Vozovna Střešovice – Na Petynce</b>	ANO	ANO	NE	ANO
<b>Perlit – Spalovna Malešice</b>	ANO	ANO	NE	ANO
<b>Na Proutcích – U Studánky</b>	NE	NE	NE	NE
<b>Slavia - Bělocerkevská</b>	ANO	ANO	NE	NE

Zdroj: Autor s využitím [96], [97]

V kapitolách 4.6.1 až 4.6.4 je následně k jednotlivým řešeným synergiím a jejich možného či nemožného použití proveden komentář s vysvětlením, proč jsou dané synergie na konkrétních úsecích využitelné či nikoli.

#### 4.6.1 Validace případu 1. synergie

První ze synergických opatření (tj. kombinace vyhrazeného jízdního pruhu a preference na SSZ) je možné použít pro 6 z 10 stanovených problematických úseků.

V úseku Nemocnice Krč – Zálesí je možné vyhrazený jízdní pruh realizovat, jelikož se jedná o dvoupruhovou PK. Preference na SSZ již osazena je, je však nezbytné ji správně zkoordinovat s jízdou vozidel MHD v daném sledovaném problematickém směru, tedy ve směru z ulice Zálesí do ulice Štúrova. Je současně nezbytné buď realizovat vyhrazený pruh i v následujícím úseku, nebo doplnit předvěst/prioritní signál volno nejdříve pro vozidla MHD.

Podobně lze také realizovat vyhrazený jízdní pruh v úseku Flora – Orionka (vzhledem k tomu, že všechny autobusy odbočují směr vlevo, tak by měl být vyhrazený jízdní pruh ten vnější), jelikož se jedná o dvoupruhovou PK. Preference na SSZ jako v předchozím případě již

osazena je, je však nezbytné ji správně zkoordinovat. Je současně nezbytné buď realizovat vyhrazený pruh v následujícím úseku, či doplnit předvěst/prioritní signál volno nejdříve pro vozidla MHD.

Toto řešení je možné i v úseku Anděl – Klamovka, kde je v současné době realizován pouze vyhrazený jízdní pruh pro autobusy při odbočování z prostoru sdruženého tramvajového pásu za účelem napojení se na běžné jízdní pruhy. Vyhrazený jízdní pruh je však možné realizovat pouze v dílčích úsecích, především mezi křižovatkou ulice Plzeňské s ulicí Mahenova a Podbělohorská (s příslušnou preferencí na SSZ na křižovatce Plzeňská a Podbělohorská).

Kromě výše uvedených tří úseků je toto řešení možné použít i v úsecích Vozovna Střešovice – Na Petynce a Perlit – Spalovna Malešice. Zde se jedná v obou případech o dvoupruhové místní komunikace, kde jsou současně umístěny křižovatky se SSZ. Hlavní nevýhodou tohoto řešení v těchto dvou úsecích je, že se jedná o místní komunikace s vysokou intenzitou dopravy a s podstatným tranzitním významem. V případě trvale vyhrazeného jízdního pruhu tak dojde k výraznému snížení kapacity dané komunikace a k riziku prodloužení délky kongescí vozidel IAD zasahujících i do úseků v okolí (a tedy i k přenesení problému do jiných lokalit).

Poslední z 6 úseků, kde je možné toto opatření využít, je úsek Slavia – Bělocerkevská. Zde se v současné době již v části úseku vyhrazený jízdní pruh pro autobusy nachází. Tento vyhrazený pruh je možné realizovat pro celý mezizastávkový úsek za podmínky, že bude na křižovatce se SSZ ulic Bělocerkevská a Vršovická doplněn signál pro autobusy, který umožňuje jejich průjezd a současně znemožňuje odbočení vozidel IAD vpravo v daném směru sledovaného úseku. Nevýhodou řešení může být kolizní směr, kde je větší intenzita nejen vozidel IAD, ale také vozidel tramvají, na jejichž včasnost by takové řešení mohlo mít dopad.

V ostatních sledovaných úsecích toto řešení možné není z následujících níže uvedených základních důvodů:

- nedostatečná šířka dané pozemní komunikace a související nutné stavební rozšíření,
- absence křižovatek se SSZ (kde by dané synergické opatření postrádalo význam a postačilo by opatření samostatné).

#### **4.6.2 Validace případu 2. synergie**

Druhé z čtyř synergických opatření (kombinace vyhrazeného jízdního pruhu a zelené vlny) lze využít v 5 z 10 sledovaných problematických úseků.

Pro první z úseků (Flora – Orionka), kde je tento typ synergie přípustný, je nezbytnou podmínkou nutnost koordinace dané zelené vlny s křižovatkami se SSZ v navazujících úsecích. V tomto úseku nemá samostatně toto řešení dostatečný efekt (pouze 2 křižovatky se SSZ, u kterých v obou případech vozidlo MHD odbočuje).

Dalším z úseků je úsek Anděl – Klamovka, kde jsou vozidla MHD sledovaných linek vedena částečně po tramvajovém tělese a částečně je možné jejich vedení vyhrazeným jízdním pruhem. V daném úseku je 5 křižovatek se SSZ, u nichž je možné provést koordinaci řešenou zelenou vlnou a přispět tak k plynulejšímu průjezdu daných vozidel.

Podobné řešení je také možné realizovat v úseku Vozovna Střešovice – Na Petynce, kde jsou za sebou ve směru jízdy vozidla MHD umístěny 3 křižovatky se SSZ. Výhodou je rovněž, jak již je uvedeno v kapitole 4.6.1, že je téměř celý úsek dvoupruhový, a tudíž je řešení vyhrazeného jízdního pruhu společně se zmíněnou zelenou vlnou jednoduché na realizaci.

V dalších úsecích, kde je možné realizovat synergii vyhrazeného pruhu a zelené vlny (konkrétně v úsecích Perlit – Spalovna Malešice a Slavia – Bělocerkevská), se nabízí velmi podobné řešení jako u uvedených úseků v předchozích třech odstavcích.

Ostatní úseky, kde není možné tento typ synergického řešení realizovat, mají tyto vlastnosti:

- absence křižovatek se SSZ (křižovatky jsou zpravidla okružní),
- nedostatečný počet křižovatek se SSZ (lze realizovat pouze 1. typ synergie),
- nedostatečná délka úseku pro realizaci zelené vlny (dané řešení by nebylo efektivní).

#### **4.6.3 Validace případu 3. synergie**

Třetí synergické opatření (kombinace vedení autobusů po tramvajovém páse a preference na SSZ) je možné realizovat na 3 z 10 problematických úseků. Základní podmínkou pro realizaci tohoto synergického opatření je pochopitelně existence tramvajové trati v daném úseku.

V prvním možném úseku (tj. Olšanské náměstí – Flora) by vedení vozidla MHD v tramvajovém tělese bylo možné za podmínky odstranění parkovacích míst ve směru Flora, čímž by se docílilo dvou jízdních pruhů, z nichž ten vnitřní jízdní pruh by byl pro vozidla tramvají a autobusů. Ten vnější jízdní pruh v daném směru by pak využívala vozidla IAD. Řešení autobusové zastávky Flora by bylo možné pro zajištění přístupu chodců ošetřit např. vídeňskou zastávkou.

V úseku druhém (Flora – Orionka) by bylo možné realizovat toto opatření v kombinaci se zkoordinováním SSZ křižovatky Vinohradská a Boleslavská pro vozidla tramvaje. Nezbytné je umožnit využívání signálu pro tramvaje také autobusům.

Třetím úsekem je úsek Anděl – Klamovka. Jak již bylo výše uvedeno, tímto úsekem jsou po tramvajovém tělese vedeny autobusy jen částečně. Zde by bylo možné vést autobusy po tramvajovém tělese v celém úseku až po křižovatku ulic Plzeňská a Podbělohorská. Nutnou a omezující podmínkou je však odlišná „zastavovací politika“ tramvajových a autobusových linek, kterou by bylo v tomto případně nutné sjednotit (nemožnost předjíždění tramvají autobusy v předmětných zastávkách) do „zastavovací politiky“ linek tramvajových. Takové řešení by tím pádem přineslo v souvislosti s cestovní dobou autobusů opačný efekt, a to sice navýšení jízdní doby. Na druhou stranu by toto řešení mohlo přinést novou nabídku ve formě nových zastávek v trase linek autobusů. Výhodnost tohoto řešení je tak v tomto případě spíše sporná.

V ostatních případech není možné tuto synergii využít především z těchto důvodů:

- daným úsekem neprochází tramvajová trať,
- daným úsekem prochází tramvajová trať na otevřeném tělese.

#### **4.6.4 Validace případu 4. synergie**

V případě 4. synergie (kombinace přerušovaného vyhrazeného jízdního pruhu a signalizace na SSZ) v rámci validační části disertační práce je možné toto řešení provést na 4 z 10 sledovaných problematických úseků.

Ve většině úseků, kde je možné tento typ synergie použít, je provedení obdobné tomu, jaké je v případě synergie 1. To znamená, že je pro realizaci této synergie nezbytné mít k dispozici 2 jízdní pruhy, z nichž jeden bude mít formu přerušovaného vyhrazeného jízdního pruhu.

V případě úseku Flora – Orionka je možné formou přerušovaného vyhrazeného jízdního pruhu zrealizovat levý odbočovací jízdní pruh, jehož signalizace bude zkoordinována se SSZ křižovatky ulic Jičínská a Vinohradská a křižovatky ulic Vinohradská a Boleslavská. Důvodem této žádoucí koordinace je dostatečný vyklízeční čas pro vozidla IAD z tohoto vyhrazeného jízdního pruhu v případně blížícího se vozidla MHD.

V úseku Anděl – Klamovka je tento typ synergie možné realizovat v těch úsecích, kde jsou dva jízdní pruhy, přičemž ani jeden z nich není odbočovací. Zde by dané řešení mohlo zvýšit průměrnou rychlost vozidel MHD. Současně by daný přerušovaný vyhrazený jízdní pruh mohl méně snížit kapacitu daného úseku PK než vyhrazený jízdní pruh běžný. Důvodem tohoto předpokladu o nízkém předpokládaném snížení kapacity místní komunikace je to, že jsou tímto úsekem vedeny pouze 3 linky MHD, které nejsou vedeny zcela v prokladu (dochází tak k častým časovým rozestupům mezi průjezdy spojů daných linek, v nichž může daný jízdní pruh umožňovat i jízdu vozidel IAD).

V úseku Vozovna Střešovice – Na Petynce je situace velmi obdobná předchozímu řešenému úseku, přičemž v 75 % délky daného úseku je místní komunikace dvoupruhová. V daném úseku jsou vedeny pouze 2 linky MHD s průměrným počtem průjezdů 12 vozidel MHD za hodinu bez vzájemného prokladu. Přerušovaný vyhrazený jízdní pruh by tak v daném úseku mohl být vhodným řešením uvažující minimální snížení kapacity místní komunikace, kterou po dobu více než 50 % času v dopravní špičce neprojíždí žádné vozidlo MHD a ani se do daného úseku neblíží (předpoklad přiblížení uvažován 1 minutu před plánovaným časem průjezdu daného vozidla MHD).

Posledním z úseků, kde je možné využít 4. synergické opatření, je úsek Perlit – Spalovna Malešice. V celé délce řešeného úseku je místní komunikace dvoupruhová, tudíž je základní podmínka pro realizaci tohoto řešení splněná. Jsou zde vedeny 3 autobusové linky MHD, mezi kterými se v dopravní špičce (7 – 8krát za hodinu) opakuje časová prodleva mezi průjezdy dvou vozidel MHD ve výši 7 minut. Z toho důvodu se nabízí toto řešení jako mnohem efektivnější, než vyhrazený jízdní pruh trvalý a uvažuje tak minimální snížení kapacity dané místní komunikace. Stejně, jako v kapitole 4.6.1, je ale nutné poznamenat, že i toto řešení bude mít podstatný dopad na délku případné kongesce a ke snížení cestovní rychlosti omezených vozidel IAD dojde i přesto, že generuje nižší snížení kapacity místní komunikace, než řešení v 1. synergii.

V ostatních případech není možné tuto synergii využít především z těchto důvodů:

- nedostatečná šířka místní komunikace pro realizaci vyhrazeného jízdního pruhu,
- absence křižovatek se SSZ,
- velký počet spojů MHD za hodinu,
- vysoká dopravní intenzita vozidel IAD.

#### **4.6.5 Příklad aplikace navržené metodiky**

Na jednom z vybraných úseků, u kterých byla autorem v předchozích kapitolách (4.6.1 až 4.6.4) provedena validace řešených 4 synergických opatření stanovených v kapitole 4.1.2, bude následně provedena aplikace navržené metodiky v kapitole 4.6.5.

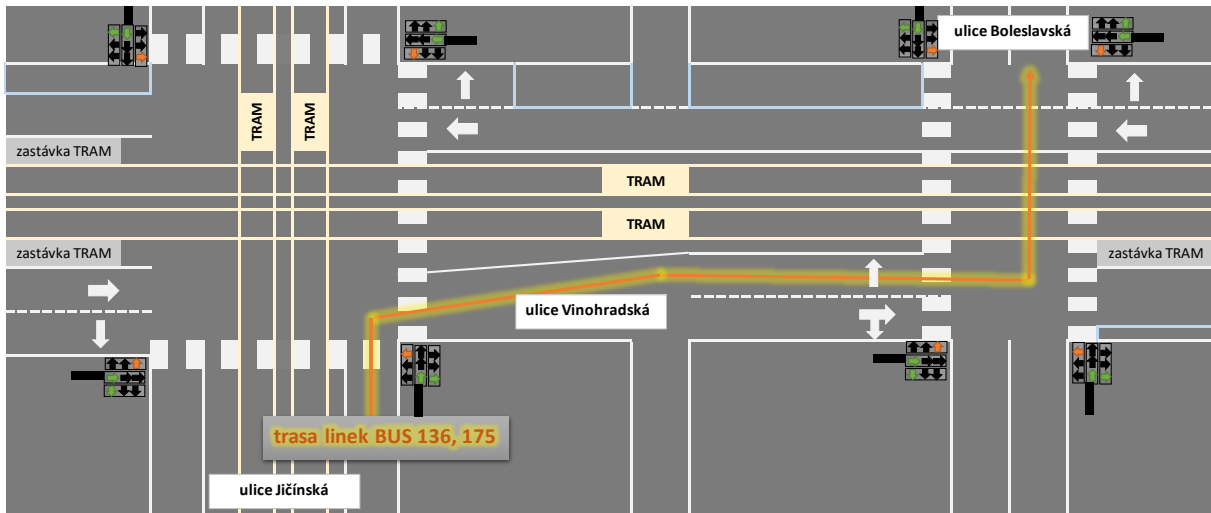
Vzhledem k tomu, že stanovených problematických úseků v rámci verifikace je 10, bude nutné provést výběr jednoho z nich, u něhož bude navržená metodika aplikována. Pro zjednodušení výběru je vybrán úsek, u něhož přichází v úvahu možnost využít nejvíce stanovených synergických opatření. Tím jsou úseky Flora – Orionka a Anděl – Klamovka. Následuje výběr toho, u něhož je vyšší počet vzniku navýšení zpoždění, čemuž na základě sledování charakterizovaného v kapitole 4.5.1 odpovídá **úsek Flora – Orionka**.

Následuje aplikace navržené metodiky v jednotlivých v této metodice navržených krocích.

##### **1. krok (identifikace problematického úseku)**

Jedná se o úsek dlouhý 420 metrů, v němž se nachází 3 křižovatky se SSZ (křižovatka ulic Jičínská a Vinohradská, ulic Vinohradská a Boleslavská a ulic Boleslavská a Slezská). V celém úseku je vyjma odbočovacích pruhů místní komunikace jednopruhová, u prvních dvou zmíněných křižovatek autobusy dotčených linek odbočují nejprve vpravo a následně vlevo. Daný úsek disponuje jedním v současné době aplikovaným preferenčním opatřením, které využívají autobusy. Tímto preferenčním opatřením je konkrétně podmíněná preference na křižovatce ulic Jičínská a Vinohradská. V době analýzy problematických úseků provedeným sledováním již byla tato preference realizována, přesto však docházelo u dotčených vozidel MHD k navyšování zpoždění. Činnost již realizovaného opatření je závislá (jedná se o podmíněnou preferenci) na činnosti preferenčního opatření pro tramvaje, které jsou touto křižovatkou vedeny všemi směry. Má-li být stávající stav eliminován, či snížen počet případů navýšení zpoždění, nabízí se možnost využít jedno ze synergických opatření. Na základě analýzy dat z informačních systémů zde došlo k 11 případům navýšení zpoždění s průměrnou

hodnotou pozitivní změny zpoždění autobusů o 2,91 minuty. V 7 případech se jednalo o linku 136, ve 4 případech o linku 175. Trasování obou autobusových linek je v rámci řešeného případu totožné. Schéma úseku obsahuje obrázek 31.



Obrázek 31: Schéma úseku řešeného v příkladu aplikace navržené metodiky

Zdroj: Autor s využitím [97]

## 2. krok (analýza okolí)

Řešený úsek primárně ovlivňuje ulice Vinohradská, kterou jsou dané linky vedeny pouze v délce úseku dané ulice mezi křižovatkou Vinohradská a Jičínská po křižovatku ulic Vinohradská a Boleslavská (tj. 180 metrů). Ulicí Vinohradská je v souběžném směru s autobusy vedena také tramvajová trať, kterou využívají 2 tramvajové linky. S trasou dotčených linek autobusů jsou trasy linek tramvajů kolizní na křižovatce ulic Vinohradská a Boleslavská, kde jsou linky autobusů trasovány směrem vlevo kolizně s tramvajovou tratí. Ostatní trasy tramvajových linek vedené křižovatkou ulic Jičínská a Vinohradská s trasami linek autobusů kolizní nejsou.

Kolizní tramvajové linky jsou vedeny v určitém prokladu, přičemž obě mají ve špičkových časech pracovních dnů průměrný interval 7,5 minuty, v mimošpičkových časech pak 10 minut. Časové rozestupy mezi spoji dané jízdním řádem jsou ve špičce 2-6 minut, mimo špičku pak 4-6 minut. Významnost tramvajových linek není nijak kvantifikována, pro obsluhu oblasti ulice Vinohradská s vymezením této ulice mezi křižovatkami s ulicí Jičínskou až po křižovatku s ulicí Legerovou jsou základem dopravní obslužnosti.

Dopravní intenzita v kolizních směrech je následující: V ulici Vinohradská ve směru jízdy sledovaných autobusů před křižovatkou ulic Vinohradská a Jičínská je ve výši

8 800 vozidel·den<sup>-1</sup>, v ulici Vinohradská v opačném směru jízdy sledovaných autobusů před křižovatkou ulic Vinohradská a Boleslavská je v hodnotě 9 400 vozidel·den<sup>-1</sup>.

### 3. krok (sběr dat pro matematické posouzení)

Daný úsek má z hlediska průjezdu vozidel MHD a IAD následující data:

- **Dopravní intenzita** v trase dotčených autobusových linek je dle ročenky Technické správy komunikací hlavního města Prahy, a.s. [99] následující: v ulici Jičínská ve směru sledovaného úseku je v hodnotě 6 500 vozidel·den<sup>-1</sup>, v ulici Vinohradská je v hodnotě 6 800 vozidel·den<sup>-1</sup>, v ulici Boleslavská je v hodnotě 4 100 vozidel·den<sup>-1</sup>.
- **Počet spojů** sledovaných linek autobusů je celkem 190 spojů·den<sup>-1</sup>, průměrný časový rozestup mezi spoji obou dotčených linek je 8,86 minuty. Dle hodnoty dopravní intenzity vozidel mimo MHD a počtu spojů vozidel MHD je průměrně každý 34. průjezd libovolného vozidla ulicí Vinohradskou právě autobus.
- Dle jízdního řádu je **doba jízdy vozidla MHD** daným úsekem (420 metrů) ve výši 3 minut a průměrná rychlost vozidla MHD tak v dané relaci odpovídá výši 8,4 km·h<sup>-1</sup>.

### 4. krok (zvolení přístupu k výběru synergie)

Na základě analýzy daného úseku, analýzy okolí a vymezení dostupných dat je provedena kvantifikace jednotlivých parametrů stanovených v kapitole 4.3.5 a současně proveden příklad výběru přístupu k nalezení vhodné synergie.

#### Využití místní komunikace

Ke stanovení této hodnoty je nezbytné mít k dispozici data o kapacitě dané místní komunikace. Pro zjednodušení tohoto příkladu využití navržené metodiky jsou stanoveny hodnoty, kde standardní vyhrazený jízdní pruh u dvoupruhové místní komunikace snižuje kapacitu o 50 %, přerušovaný vyhrazený jízdní pruh snižuje kapacitu o 0-50 % v závislosti na tom, zda je dané vozidlo MHD přítomno, či ne a současně, jak často se tato situace opakuje. Není-li řešen vyhrazený jízdní pruh v rámci dvoupruhové PK, uvažuje se možnost využití kapacity PK na 100 %.

#### Složitost realizace

V případě 1. synergie preferenčních opatření je nezbytné realizovat podmíněnou či absolutní preferenci na křižovatce ulic Vinohradská a Boleslavská a současně změnit funkci



odbočného jízdního pruhu na vyhrazený jízdní pruh a funkci jízdního pruhu směr rovně a vpravo doplnit také o možnost jízdy směr vlevo. V tomto případě se tedy jedná o 2 základní úpravy.

V případě 2. synergie preferenčních opatření je nezbytné také kromě opatření u výše uvedené 1. synergie realizovat podmíněnou/absolutní preferenci také na křižovatce Boleslavská a Slezská a na křižovatce Vinohradská a Jičínská. Tuto preferenci je nutné realizovat se vzájemnou koordinací mezi řidiči daných křižovatek se SSZ a mobilní částí v autobusech tak, aby byl signál volno poskytnut vždy ve správný čas. V tomto případě se tak jedná o 5 základních úprav.

V případě 3. synergie není nutné měnit funkci jízdních pruhů, pouze je nutné změnit funkci tramvajového pásu z běžného na tramvajový pás s umožněním průjezdu také autobusům. Současně je nezbytné realizovat podmíněnou/absolutní preferenci na křižovatce ulic Vinohradská a Boleslavská. V tomto případě se jedná o 2 základní úpravy.

V případě 4. synergie je nutné provést stejná opatření jako v případě 1. synergie s rozdílem, že je nezbytné osadit levý jízdní pruh také signalizací ve vozovce a zvláštním signálem také před daným úsekem, který umožní či zakáže jízdu vozidel IAD dle polohy vozidla MHD. Zde se tedy jedná o 4 základní úpravy.

#### Počet kolizních situací

1. synergie: Na křižovatce ulic Vinohradská a Boleslavská se nachází směrové šipky na SSZ, přičemž pro správné fungování daného opatření je jejich osazení nezbytné ponechat. V takovém případě za dodržení všech platných podmínek nedojde ke kolizním situacím, budou-li veškeré signály správně umístěny. Současná jízda autobusů a IAD ve směru trasy linek autobusů možná není, jelikož následuje úsek pouze s jedním jízdním pruhem.

2. synergie: Za podmínky směrových šipek signálů na SSZ je rovněž průjezd daným úsekem v případě této synergie preferenčních opatření bez kolizních situací.

3. synergie: Za podmínky umožnění využívání signálů pro tramvaje také autobusům je i tento případ bez kolizních situací při současném zachování směrových šipek na křižovatce se SSZ pro vozidla IAD.

4. synergie: Za podmínky směrových šipek signálů na SSZ je v tomto případě 1 kolizní situace, konkrétně se jedná o ohrožení vozidel IAD při odbočování z vyhrazeného jízdního pruhu do běžného jízdního pruhu, začne-li signalizace zakazovat vjezd do vyhrazeného pruhu.

### Počet nutných technických opatření

- 1. synergie: 2 technická opatření (vyhrazený pruh + řešení preference na SSZ).
- 2. synergie: 4 technická opatření (vyhrazený pruh + úprava preference na SSZ na 3 křižovatkách + koordinace mezi nimi).
- 3. synergie: 2 technická opatření (označení tramvajového pásu možností jízdy také autobusům + řešení preference na SSZ).
- 4. synergie: 4 technická opatření (vyhrazený pruh + řešení preference na SSZ + zvláštní signál vyhrazeného pruhu + SSZ vyhrazeného pruhu).

### Počet možných souběžných jízd

- 1. synergie: S jízdou autobusu v řešeném směru je možná souběžná jízda vozidel IAD ve směru rovně a doprava křižovatkou ulic Vinohradská a Boleslavská a současně jízda vozidel IAD z ulice Boleslavská ve směru vpravo do ulice Vinohradská. Z toho plynou 3 možné souběžné jízdy.
- 2. synergie: Pro křižovátku Vinohradská a Boleslavská platí stejný počet souběžných jízd, jako u případu 1. synergie, tedy rovněž 3.
- 3. synergie: S jízdou autobusu odbočujícím vlevo v řešeném směru po tramvajovém pásu je možné rovněž poskytnout signál volno tramvajím ve stejném směru jedoucím směrem rovně. Stejně, jako u 1. synergie, také vozidlům IAD jedoucím stejným směrem rovně a vpravo a vozidlům jedoucím ulicí Boleslavská směr vpravo do ulice Vinohradská. Z toho plynou 4 možné souběžné jízdy.
- 4. synergie: Za podmínky, že bude přerušovaný vyhrazený pruh umožňovat v případě nepřítomnosti vozidla MHD jízdu vozidel IAD s odbočením směr vlevo, pak je možné stejné řešení jako u synergie č. 1. Z toho tedy plynou 3 možné souběžné jízdy.

### Míra zdržení v kolizních směrech

Míra zdržení v kolizních směrech se odvíjí podle maximální délky signálu volno ve prospěch jízdy vozidla MHD. Délka signálu volno je tvořena časovým úsekem od detekce vozidla MHD s pozitivní odpovědí na ni po průjezd vozidla předmětnou křižovatkou (ideálně po okamžik, kdy vozidlo křižovátku opustí). S dostupnými daty pro hodnocení a výběr synergie pro tento problematický úsek není bohužel možné tyto hodnoty v tomto případě přesně stanovit.

Základním podkladem pro výpočet těchto hodnot jsou poměry dob standardní délky rozsvícení signálu stůj k době prodlouženého rozsvícení signálu stůj v případě realizované preference pro tyto směry.

## **5. krok (verifikace a validace)**

### Posouzení, zda je opatření v souladu s platnými právními předpisy

- 1., 2. synergie: Vyhrazený jízdní pruh je součástí zákona č. 361/2000 Sb., o provozu na pozemních komunikacích.
- 3. synergie: Vedení autobusu tramvajovým pásem je rovněž součástí právních předpisů.
- 4. synergie: Přerušovaný vyhrazený jízdní pruh v současné době právní předpisy ČR neznají.

### Posouzení efektu v případě realizace daného synergického opatření

Vzhledem k tomu, že není k dispozici poměr hodnot počtu vozidel jedoucích předmětnou křižovatkou rovně k počtu vozidel odbočujících, není tak možné přesně stanovit, jaký vliv bude mít na kapacitu místní komunikace realizovaný vyhrazený jízdní pruh ve stávajícím odbočném pruhu. Zásadní vliv na okolí u všech 4 možných opatření lze však předpokládat na opačný směr ulice Vinohradská. V této ulici zmíněného opačného směru je v rámci celého řešeného území nejvyšší denní dopravní intenzita, přičemž prodloužení signálu stůj ve prospěch jízdy vozidla MHD v příslušném preferovaném směru bude v tomto kolizním směru trvat delší dobu a bude tak mít vliv na délku fronty čekajících vozidel. Z hlediska jízdního řádu lze předpokládat, že dojde alespoň k dílčí eliminaci opakovaně vznikajícího zpoždění u vozidel ve směru preferovaném. Naopak lze také předpokládat, že v určitých situacích (kdy již bude vozidlo v preferovaném směru přihlášené na řídicí jednotku SSZ) dojde k prodloužení čekací doby protisměrně vedených vozidel tramvají, u nichž v tu chvíli dojde k navýšení zpoždění. Je tak nutné zvážit z hlediska významnosti zúčastněných linek MHD, zda je vhodné upřednostnit jízdu vozidel MHD v preferovaném směru oproti upřednostnění jízdy vozidel MHD ve směru opačném. Případně je nutné zvážit postupný sled poskytnutí signálů volno na SSZ pro všechna vozidla MHD a vhodně tento sled zkoordinovat tak, aby ke zdržení těchto vozidel došlo v minimálním možném počtu případů.

Závěr verifikační a validační části aplikace případné synergie doplňuje komentář, kde jsou následně shrnuty primární důsledky jednotlivých synergií související s průjezdem vozidla MHD:

- Důsledky realizace 1. synergie: *sníží kapacitu místní komunikace, urychlí průjezd vozidla MHD problematickým místem, prodlouží délku signálu stůj v kolizních směrech. (1 pozitivní, 2 negativní).*
- Důsledky realizace 2. synergie: *sníží kapacitu místní komunikace, urychlí průjezd vozidla MHD větším počtem problematických míst, výrazněji prodlouží délku signálu stůj v kolizních směrech. (1 pozitivní, 2 negativní).*
- Důsledky realizace 3. synergie: *nesníží kapacitu místní komunikace, urychlí průjezd vozidla MHD problematickým místem, prodlouží délku signálu stůj v kolizních směrech. (2 pozitivní, 1 negativní).*
- Důsledky realizace 4. synergie: *částečně sníží kapacitu místní komunikace, urychlí průjezd vozidla MHD problematickým místem, prodlouží délku signálu stůj v kolizních směrech, částečně znehlední řešení dané křižovatky. (1 pozitivní, 3 negativní).*

## **6. krok (konečný výběr)**

Konečný výběr konkrétní synergie je závislý na mnoha faktorech. Jedním ze zásadních faktorů je primární očekávání od daného opatření (např. je-li cílem zkrátit dobu jízdy nebo pouze eliminovat opakovaně vznikající zpoždění). Dalšími faktory je složitost realizace na daném problematickém úseku, dopad na okolí i to, zda je dané opatření možné realizovat v souladu s právními předpisy.

1. kolo výběru						
Analyza silového pole	KLADNÉ	ZÁPORNÉ	rozdíl			
1. opatření	1	2	-1			
2. opatření	1	2	-1			
3. opatření	2	1	1			
4. opatření	1	3	-2			
výsledek			1			
1. výsledek výběru			3.opatření			
2. kolo výběru						
Hodnotící kritéria	trend	1. opatření	2. opatření	3. opatření	4. opatření	jednotka
K1 - složitost realizace	MIN	2	5	2	4	počet úprav
K2 - využití kapacity místní komunikace	MAX	50	50	100	75	% využití
K3 - nezbytná technická řešení	MIN	2	3	2	4	počet řešení
K4 - počty možných kolizních situací	MIN	1	1	1	2	počet situací
K5 - počty možných souběžných procesů	MAX	3	3	4	3	počet procesů
K6 - čekací doby v kolizních směrech	MIN	1	1	1	1	% navýšení jízdní doby
úspěch dle kritérií		4	2	6	1	
2. výsledek výběru			3.opatření			
3. kolo výběru						
Přístup k řešení - VÁHY	K1	K2	K3	K4	K5	K6
kapacitně-bezpečnostní	0,045	0,242	0,108	0,464	0,075	0,065
ekonomicko-organizační	0,144	0,151	0,447	0,103	0,109	0,046
technologicko-síťový	0,044	0,089	0,041	0,133	0,332	0,361
3. výsledek výběru						
Přístup k řešení - VÁHY	1. opatření	2. opatření	3. opatření	4. opatření	MAX	
kapacitně-bezpečnostní	0,8600	0,7968	1,0000	0,6120	3.opatření	
ekonomicko-organizační	0,8973	0,6618	1,0000	0,5880	3.opatření	
technologicko-síťový	0,8723	0,8325	1,0000	0,7860	3.opatření	

Obrázek 32: Výsledek příkladu aplikace navržené metodiky

Zdroj: Autor

Na obrázku 32 jsou uvedeny všechny autorem zjištěné či rámcově odhadnuté hodnoty (pro účely tohoto příkladu) jednotlivých aspektů, které slouží k hodnocení daného synergického preferenčního opatření. Nejlepších hodnot u největšího počtu kritérií dosahuje 3. synergické opatření, tedy synergie vedení autobusů po tramvajovém páse s odpovídající preferencí na křižovatce se SSZ.

Hodnoty míry zdržení v kolizních směrech nejsou stanoveny z toho důvodu, že v daných kolizních směrech nejsou k dispozici příslušná data (jak již bylo výše zmíněno). Pro zamezení dělení nulou je však ve finální tabulce uvedena u všech čtyř synergických opatření hodnota 1. Je nutné také podotknout, že hodnoty počtu kolizních situací jsou podmíněny osazením směrových šipek na SSZ včetně zvláštních signálů pro MHD tak, aby byla zajištěna maximální bezpečnost a bezkoliznost průjezdu jednotlivých vozidel. Hodnoty kolizních situací jsou pro správnost výpočtu a zamezení dělení nulou rovněž navýšeny vždy o jednu jednotku.

Stejně tak je nutné zmínit, že hodnoty počtu technických řešení jsou uvedeny absolutně. V reálném provedení jsou však tyto hodnoty nedostatečné, protože každé technické řešení vyžaduje jinou dobu na realizaci a jinou výši pořizovacích nákladů. Tuto problematiku ale tato disertační práce detailněji dle stanoveného cíle v kapitole 2 neřeší.

#### 4.6.6 Dílčí shrnutí

V rámci verifikace a validace byly verbálně charakterizovány možnosti, jak využít stanovená synergická opatření v rámci reálných s pomocí sledovacích aplikací stanovených problematických úseků. Všechny komentáře uvedené v kapitolách 4.6.1 až 4.6.4 jsou uvedeny spíše teoreticky. To, jakým způsobem by to které konkrétní synergické opatření na daných úsecích mělo být realizováno, závisí na mnoha aspektech a přístupech. Pokud se má k daným úsekům a k jejich vyřešení pomocí synergií opatření přistupovat přístupem **kapacitně-bezpečnostním** (jak je uvedeno v kapitole 4.3.5), pak je nezbytné řešit správné vodorovné i svislé značení, analyzovat, jaké jakou kolizní směry a zda nebude nesprávným pochopením daného opatření ze strany všech uživatelů dopravního prostoru docházet ke střetům jednotlivých elementů a podobně. Z hlediska **ekonomicko-organizačního** je třeba vyhodnotit, jaké benefity dané opatření poskytne a jaká bude jeho ekonomická návratnost. Má-li se zohledňovat hledisko **technologicko-síťové**, pak je nezbytné řešit i kolizní směry a dopady na jejich dopravní intenzitu a navýšení cestovních dob, což je v případě řešených reálných problematických úseků poměrně častý jev.

Současně je evidentní vzhledem k technickému provedení sledovaných problematických úseků, že daná synergická opatření stanovená v kapitole 4.1.2 a rozebraná v kapitolách 4.2.1 až 4.2.4 se sice jeví jako univerzální, nicméně jejich aplikování do reálných úseků je často podmíněno buď stavebním zásahem, či významnou reorganizací uličního prostoru. Příkladem navržené metodiky uvedené v kapitole 4.4 je její strukturovaná aplikace na jednom vybraném problematickém úseku z celkové množiny těchto úseků uvedené v kapitole 4.6. Z tohoto příkladu plyne, že je vhodné pro finální výběr možného synergického opatření kvantifikovat jednotlivá kritéria a provést daný výběr na základě ideálního trendu daných kritérií (maximalizační/minimalizační). V hodnocení reálného problému je však pro zamezení chybného primárního úsudku nutné zohlednit, zda postačí prostá absolutní kvantifikace těchto kritérií, nebo je navíc nutné zohlednit rozsah jednotlivých uvedených hodnot (např. nákladovost realizace jednotlivých technických řešení, závažnost určité konkrétní možné kolizní situace atd.).

## 4.7 Shrnutí návrhu řešení synergie mezi preferenčními opatřeními

V kapitolách 4.1 až 4.6 autor disertační práce sestavil návrh na hodnocení synergie mezi preferenčními opatřeními. Tento návrh v rámci celé 4. kapitoly tvoří identifikaci preferenčních opatření, která připadají pro účel disertační práce v úvahu, následně jsou vybrány metody, které jsou postupně v rámci kapitoly aplikovány. U daných vybraných synergických opatření je s pomocí **charakteristického nástroje Petriho sítě proveden jejich detailní rozbor**, který slouží primárně **pro správně pochopení procesů v těchto opatřeních** pro případného rozhodovatele zamýšlejícího provést jejich realizaci.

Následně provedl autor hodnocení těchto jednotlivých synergických opatření, jehož **výstupem je 6 hodnotících kritérií a 3 rámcové přístupy k hodnocení** pro správný výběr takového opatření.

Autorem **navržená metodika** následně stanovuje **doporučený rámcový přístup při postupu výběru daného synergického opatření na vybraném problematickém úseku**. Rámcový příklad použití této navržené metodiky je následně po autorem provedeném sledování a identifikaci problematických úseků na reálné síti proveden ve validační části této návrhové kapitoly.

Na návrhovou část navazuje kapitola 5, kde jsou určeny přínosy návrhu, stanoveny sekundární efekty a případné další oblasti výzkumu dané problematiky.

## 5 PŘÍNOSY NÁVRHŮ, VYHODNOCENÍ A DISKUSE VÝSLEDKŮ

V kapitole 5 jsou autorem uvedeny přínosy vytvořených návrhů v kapitole č. 4, jejich vyhodnocení a diskuse výsledků. Danou kapitolu tvoří hodnocení použitých metod, určení přínosů pro vědu a praxi dané problematiky, stanovení sekundárních efektů (se zaměřením na nepřímá opatření) a nakonec stanovení oblastí dalších témat výzkumu dané problematiky.

### 5.1 Hodnocení použitých výzkumných metod

Autorem disertační práce byly z důvodu nižšího počtu dostupných vhodných dat pro přesné výpočty použity především měkké výzkumné metody. Důvodem jejich použití byla také skutečnost, že bylo primárním cílem návrhu sestavit metodiku synergie daných opatření, které jsou tvořeny sestavou více procesů najednou, a které je tudíž možné výpočetně charakterizovat jen velmi obtížně. Jako primární výzkumná metoda byl matematický nástroj Petriho sítě. Tato metoda graficky i verbálně zobrazuje, jak se jednotlivé synergické opatření a s ním související jednotlivé elementy chovají. Tato daná metoda poměrně vhodně danou problematiku zachycuje, ale nedisponuje žádnými konkrétními matematickými výsledky, v čemž autor vidí nepatrnou nevýhodu použití této metody. Na druhou stranu shledává benefit ve zcela netradičním pohledu na danou problematiku řešící preferenční opatření nikoli jako technickoorganizační model konkrétního místa či problému, ale jako na měkký rozhodovací proces. Tento proces by měl zajistit včasné rozhodnutí o vhodnosti aplikace daného opatření a teprve následně se s ním zabývat podrobněji.

Dalšími metodami, které byly použity pro návrhovou část a pro část srovnávací, byly metody vícekritériálního rozhodování a metody pro analýzu silných a slabých stránek. Tyto metody autor považuje za nezbytné v případě tvorby rozhodovacího procesu a měly by tak být nedílnou součástí přípravy jakéhokoli řešení pro zmírnění či odstranění nežádoucího stavu v souvislosti s problematikou preferenčních opatření.

### 5.2 Určení přínosů pro vědu a praxi

Hlavním přínosem návrhů v rámci dané disertační práce autor shledává **ve vytvoření nové metodiky na hodnocení synergického efektu mezi preferenčními opatřeními**. Navržený přístup by měl dát případnému rozhodovateli několik otázek a odpovědí ještě před zahájením výpočtové, technické, konstrukční a realizační fáze.



Dalším podstatným přínosem pro vědu či praxi autor shledává **v náhledu na řešení preferenčních opatření jako na neizolované subjekty**, tedy na zaměření se nejen na konkrétní místo na síti, ale současně zohlednit i místa zaústěná do daného řešeného problému. V mnoha studiích je uvedeno, co je předmětem úpravy či zlepšení existujícího konkrétního jednotlivého problému, ale zpravidla bývá zanedbán dopad na nejbližší i na vzdálené dotčené okolí.

Kromě přínosu z hlediska náhledu na danou problematiku či na synergické uvažování, shledává autor přínos i z použitých metod v rámci návrhové části, které **uvažují vozidla IAD jako „rovnocenného partnera“**. V současné době se velmi často nahlíží na vozidla IAD v rámci sítě MHD jako na rušící element a na součást dopravního prostoru, kterou je pro účely preference vozidel MHD nezbytné potlačovat. Výklad celé návrhové části včetně navržené metodiky a zhodnocení však tuto hypotézu nepotvrzuje. Směr práce je spíše ubírán dostatečnou analýzou případných dopadů na zavedená i plánovaná řešená preferenční opatření a zamezení tvorby kongescí a s tím souvisejících důsledků.

### **5.3 Sekundární efekty**

Kromě primárních efektů návrhové části je nezbytné také stanovit efekty sekundární. Tyto efekty primárně tvoří nepřímá preferenční opatření, která byla v analytické části a v cíli práce již několikrát zmiňována.

Jedním ze sekundárních efektů je jednoznačně **úspora času** jako takového. Tento efekt vyplývající z realizovaného preferenčního opatření by měl být jeho hlavním cílem a pro docílení tohoto efektu se zpravidla daná preferenční opatření primárně realizují. Tato úspora času je tvořena úsporou času jízdy vozidla MHD (spotřeba paliva, opotřebení vozidla), úsporou času do tohoto procesu zapojeného personálu (řidiči vozidel, dispečerský aparát, záložní řidiči atd.), úsporou časové ztráty cestujících (doba strávená ve vozidle, náklady vzniklé cestujícím v případě pozdních příchodů, sociální náklady, náklady promarněné příležitosti atd.) a také současně úsporou externích nákladů (nižší exhalace a znečištění vlivem zvýšení plynulosti dopravy). Tato výše komentovaná úspora může být v oblastech nákladů na jízdu vozidla MHD či na mzdy personálu poměrně jednoduše vyčíslena, v oblastech časové ztráty cestujícího či v externalitách je výpočet výše nákladů a dokázání tak návratnosti investice do daného preferenčního opatření mnohem komplikovanější.

Z případných dalších sekundárních efektů je možné zmínit obecně **zlepšení vnímání kvality veřejné dopravy** z pohledu nejen již existujících uživatelů/zákazníků, ale také z pohledu zákazníků potencionálních. Tento typ zákazníků může díky správně a co nejméně

restriktivně realizovanými preferenčními opatřeními sledovat zvyšující se přesnost a spolehlivost vozidel MHD a minimálně v některých případech zamýšlených cest přistoupit k využití veřejné dopravy namísto té individuální.

#### **5.4 Stanovení oblastí dalších témat výzkumu dané problematiky**

Za žádných okolností není možné na závěr uvést, že je výzkum v rámci tématu dané disertační práce ukončen. Naopak lze vyslovit a potvrdit na základě provedené analytické části disertační práce hypotézu, že je spíše problematika synergie preferenčních opatření a jejího zkoumání na začátku. Preferování veřejné dopravy se sice aplikuje řadu let, nicméně konkrétní náhled na propojení jednotlivých opatření a jejich vzájemné koordinace není ještě příliš vyzkoumán.

Budoucí možné **oblasti dalšího zkoumání** daného problému autor dělí na dvě podskupiny, konkrétně na podskupinu technickou a technologickou a na podskupinu marketingovou a rozhodovací.

Z oblasti technické a technologické je rozhodně značný prostor pro výzkum inovativních preferenčních řešení upřednostnění jízdy vozidel MHD s použitím stále se vyvíjejících IT technologií, digitalizace či s použitím umělé inteligence. Inovace autor vidí například ve zkoordinování číselně neohrazeného počtu křižovatek se SSZ, kterým by vozidlo MHD mohlo projet, a kterým by mohla být zajištěna téměř 100% spolehlivost dodržování jízdního řádu. Současně je velký prostor v další studii fungování přerušovaných vyhrazených jízdních pruhů (IBL) a v aplikaci tohoto řešení na vybrané úseky a následnou analýzu fungování daného opatření. V dalších oblastech výzkumu se nabízí také paradoxně restriktivní téma na studii omezování realizací vyhrazených jízdních pruhů a rozšiřování tak místních komunikací na úkor území s původní jinou funkcí a současně hledání jiného více efektivního řešení s maximálním snížením externích nákladů.

V oblasti marketingové a rozhodovací autor vidí prostor na studii důkladnějších analýz významu a výsledného efektu plánovaných opatření ještě před jejich realizací a zamezení tak vytváření řešení bez dostatečné analýzy dopadu na okolí. Autor vidí také velký prostor pro studie a výzkumy v oblasti marketingové, konkrétně v rozšíření povědomí ve veřejné správě i široké veřejnosti o nezbytnosti preferovat veřejnou dopravu a podporovat její konkurenceschopnost. Stejně tak o rozšíření různých kampaní pro řidiče IAD s účelem zvýšit míru respektování daných opatření pro dosažení co nejvyšší souhry a bezpečného pohybu v rámci dopravního prostoru.

## 6 PŘÍNOSY DOKTORANDA Z DANÉHO TÉMATU

V této disertační práci provedl autor nejprve analýzu daného tématu. Na základě dané rešerše autor dospěl k závěru, že není dostatečně řešena problematika synergie mezi jednotlivými preferenčními opatřeními. Nicméně i přesto je tato problematika na základě autorem zpracované analýzy dostupné literatury velice rozsáhlá a musela tak být pro potřeby návrhové části disertační práce odpovídajícím způsobem vymezena.

Na základě této analýzy byla sestavena návrhová část tvořící identifikaci preferenčních opatření a jejich začlenění do systému veřejné dopravy i obecně dopravního prostoru. S pomocí verbálních, matematických i charakteristických metod byl proveden rozbor 4 vybraných synergických opatření, které vybral autor s pomocí uvedené literatury, sledování a studia jednotlivých systémů veřejné dopravy i na základě osobních zkušeností. Charakteristickou metodou Petriho sítí byl studován proces synergických opatření jako dynamického systému, jehož řešení a provedení bylo s pomocí metod vícekritériálního rozhodování porovnáno. Výsledkem srovnávací části bylo vytyčení základních kritérií pro následné hodnocení synergického efektu mezi preferenčními opatřeními, jehož vytvořená metodika byla primárním ukončením celé návrhové části. Zmíněná metodika byla s pomocí příkladu z reálné sítě verifikována a validována.

Autor vidí hlavní osobní přínos disertační práce v rozsahu zkoumané charakteristiky české i světové literatury v problematice preferenčního opatření, v nástinu možného pohledu na vnímání preference veřejné dopravy se zohledněním a uvažováním všech uživatelů dopravního prostoru. Kromě tohoto je zde také značný přínos v novém přístupu k hodnocení jednotlivých opatření na základě metod popisu měkkých systémů, které mohou sloužit jako předchozí krok před samotnou technickou a technologickou realizací těchto opatření.

## ZÁVĚR

Autor disertační práce se zabýval se preferenčními opatřeními ve veřejné dopravě, podrobně řešil analýzu dostupných zdrojů vědeckého poznání předmětného tématu a bylo provedeno kritické shrnutí této analýzy, v němž autor vystihuje největší nedostatky v této problematice a českého i světového náhledu na ní. Autor stanovil metody, které předpokládal využít pro návrhovou část, z nichž vybral ty nejvhodnější a ty nejvíce vypovídající k řešení charakteristiky synergických efektů preferenčních opatření. Následně provedl identifikaci 4 vybraných typů synergických opatření, u nichž provedl verbální i metodický rozbor a následně porovnal a stanovil vhodná kritéria sloužící k návaznému hodnocení. V návaznosti na tento rozbor a porovnání navrhl metodiku pro hodnocení těchto synergických opatření. Autorem navržená metodika je tvořena šesti kroky, konkrétně identifikací problematického úseku, sběrem dat pro matematické posouzení, analýzou okolí, zvolení přístupu k výběru dané synergie, validací a verifikací a následně konečným výběrem daného opatření. Autor tuto metodiku sestavil primárně jako rozhodovací nástroj pro výběr vhodného synergického preferenčního opatření v konkrétním problematickém úseku, kde je v současnosti realizované buď preferenční opatření s nedostatečnou efektivitou, případně v takovém úseku není preferenční opatření realizováno vůbec. Tuto metodiku pak verifikoval a validoval na vybraném konkrétním problematickém úseku na reálné síti. Tento problematický úsek byl identifikován na základě tříměsíčního sledování vývoje zpoždění autobusů v rámci území hlavního města Prahy. Předmětný proces výběru dané synergie následně v rámci validace shrnul do souhrnného výpočetního postupu. Tento výpočetní postup tvoří 3 kola výběru z několika možných opatření, která je přípustné v daném problematickém úseku v úvahu realizovat. Tato 3 kola výběru pak na základě porovnání 6 autorem disertační práce stanovených kritérií slouží pro finální výběr opatření, které v rámci hodnotícího postupu splní co nejvíce kritérií. Výběr opatření je v rámci hodnotícího postupu také vymezen 3 navrženými přístupy k hodnocení, která si realizátor zvolí podle toho, jaký efekt od daného vybíraného opatření očekává.

Autor na závěr disertační práce stanovuje, jaké jsou hlavní přínosy z navržené metodiky a hodnotícího postupu výběru. Tento přínos primárně spočívá ve vložení rozhodovacího kroku před samotnou realizací preferenčních opatření s účelem zamezit realizaci nedostatečně efektivního opatření bez důkladné analýzy vlivu na řešené problematické místo a současně na podstatné okolí, na něž bude mít daná realizace předmětného opatření dopad.

## SEZNAM POUŽITÝCH INFORMAČNÍCH ZDROJŮ

- [1] *Legislativa: Odborný web o preferenci veřejné dopravy* [online]. [cit. 2019-10-02]. Dostupné z: <http://preferencevhd.info/index.php/legislativa/ceske-technicke-normy-csn/>
- [2] Zákon č.361/2000 Sb., o provozu na pozemních komunikacích a o změnách některých zákonů
- [3] Straßenverkehrs-Ordnung: Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz [online]. [cit. 2021-8-17]. Dostupné z: [https://www.gesetze-im-internet.de/stvo\\_2013/](https://www.gesetze-im-internet.de/stvo_2013/)
- [4] *Bußgeldkatalog 2022: Busspur – So verhalten Sie sich richtig* [online]. [cit. 2022-03-04]. Dostupné z: <https://www.bussgeldkatalog.org/busspur/>
- [5] Bundesrecht konsolidiert: Gesamte Rechtsvorschrift für Straßenverkehrszeichenverordnung 1998 [online]. [cit. 2021-8-17]. Dostupné z: <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10012793>
- [6] DRDLA, Pavel. *Osobní doprava regionálního a nadregionálního významu*. 3. upravené. Univerzita Pardubice, 2021. ISBN 978-80-7560-361-6.
- [7] *741.21 Signalisationsverordnung (SSV)* [online]. 5. September 1979 [cit. 2022-10-01]. Dostupné z: [https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/1979/1961\\_1961\\_1961/de](https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/1979/1961_1961_1961/de)
- [8] Road Traffic Regulation Act 1984 [online]. [cit. 2021-8-17]. Dostupné z: <https://www.legislation.gov.uk/ukpga/1984/27/contents>
- [9] *Vägmarkesförordning (2007:90): Sveriges riksdag* [online]. [cit. 2022-10-01]. Dostupné z: [https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/vagmarkesforordning-200790\\_sfs-2007-90](https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/vagmarkesforordning-200790_sfs-2007-90)
- [10] GARDNER, Kevin, Chris D'SOUZA, Nick HOUNSELL, Birendra SHRESTHA a David BRETHERTON. *Interaction of buses and signals at road crossings: Review of Bus Priority at Traffic Signals around the World* [online]. April 2009. [cit. 2019-11-22]. Dostupné z: <http://content.tfl.gov.uk/interaction-of-buses-and-signals-at-road-crossings.pdf>
- [11] NOVOTNÝ, Vojtěch, Dagmar KOČÁRKOVÁ, Ondřej HAVLENA a Martin JACURA. Detailed analysis of public bus vehicle ride on urban roads. *Transport Problems* [online]. 2016, 11(4) [cit. 2019-11-22]. Dostupné z: doi:10.20858/tp.2016.11.4.5
- [12] BIRR, Krystian, Kazimiers JAMROS a Wojciech KUSTRA. *Travel Time of Public Transport Vehicles Estimation* [online]. 2014, 359 - 365 [cit. 2019-11-22]. Dostupné z: doi:10.1016/j.trpro.2014.10.016.
- [13] VUKAN, R. Vuchic. *URBAN PUBLIC TRANSPORTATION SYSTEMS* [online]. University of Pennsylvania, USA, 2002 [cit. 2021-12-17]. ISSN 2532-2558. Dostupné z: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.362.6956&rep=rep1&type=pdf>
- [14] VUKAN, R. Vuchic, *Urban transit systems and technology*. John Wiley & Sons, 2007.
- [15] FIORIO, Carlo V., Massimo FLORIO a Giovanni PERUCCA. User satisfaction and the organization of local public transport: Evidence from European cities [online]. SEP 2013, 29, 209-218 [cit. 2021-04-17]. Dostupné z: doi:10.1016/j.tranpol.2013.06.004
- [16] FERNANDEZ-SANCHEZ, Gonzalo a Alvaro FERNANDEZ-HEREDIA. Strategic Thinking for Sustainability: A Review of 10 Strategies for Sustainable Mobility by Bus for Cities. *Sustainability* [online]. 2018 [cit. 2022-03-07]. Dostupné z: doi:10.3390/su10114282

- [17] LEVINSON, Herbert S., Samuel ZIMMERMANN, Jennifer CLINGER a G. Scott RUTHERFORD. Bus Rapid Transit: An Overview. *Transportation* [online]. [cit. 2022-02-27]. Dostupné z: [doi:http://doi.org/10.5038/2375-0901.5.2.1](http://doi.org/10.5038/2375-0901.5.2.1)
- [18] *Bus Rapid Transit (BRT) Core Dublin Network* [online]. October 2012 [cit. 2022-03-21]. Dostupné z: <https://www.nationaltransport.ie/wp-content/uploads/2012/11/Bus-Rapid-Transit-Core-Network-report.pdf>
- [19] PUCHER, John, Hyungyong PARK, Mook HAN KIM a Juming SONG. Public Transport Reforms in Seoul: Innovations Motivated by Funding Crisis. *Journal of Public Transportation* [online]. December 2005, 8(5), 41-62 [cit. 2021-03-14]. ISSN 2375-0901. Dostupné z: <http://doi.org/10.5038/2375-0901.8.5.3>
- [20] KIM, Kwang Sik, Seung-Hoon CHEON a Sam-Jin LIM. *Performance assessment of bus transport reform in Seoul* [online]. SEP 2011, 38(5), 719-735 [cit. 2021-04-17]. ISSN 1572-9435. Dostupné z: [doi:10.1007/s11116-011-9330-4](http://doi.org/10.1007/s11116-011-9330-4)
- [21] MYUNG-JIN, Jun. Redistributive effects of bus rapid transit (BRT) on development patterns and property values in Seoul, Korea. *Transport Policy* [online]. January 2012, 85-92 [cit. 2022-03-17]. Dostupné z: [doi:https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2011.09.003](http://doi.org/10.1016/j.tranpol.2011.09.003)
- [22] MCGREEVY, Michael. *Cost, reliability, convenience, equity or image? The cases for and against the introduction of light rail and bus rapid transit in inners suburban Adelaide, South Australia* [online]. MAR 2021, 9(1), 271-279 [cit. 2021-04-17]. ISSN 2213-6258. Dostupné z: [doi:10.1016/j.cstp.2021.01.001](http://doi.org/10.1016/j.cstp.2021.01.001)
- [23] CAIN, Alsaider a Jeniffer FLYNN. Examining the Ridership Attraction Potential of Bus Rapid Transit: A Quantitative Analysis of Image and Perception. *Journal of Public Transportation* [online]. 2013 [cit. 2022-03-20]. Dostupné z: [doi:10.5038/2375-0901.16.4.4](http://doi.org/10.5038/2375-0901.16.4.4)
- [24] TRUBIA, Salvatore, Alessandro SEVERINO, Salvatore CURTO, Fabio ARENA a Giovanni PAU. On BRT Spread around the World: Analysis of Some Particular Cities. *Infrastructures 2020* [online]. 20 October 2020 [cit. 2022-03-17]. Dostupné z: [doi:https://doi.org/10.3390/infrastructures5100088](http://doi.org/10.3390/infrastructures5100088)
- [25] NOVOTNÝ, Vojtěch, Ondřej HAVLENA a Klára CIESLOVÁ. *Katalog preferenčních opatření pro veřejnou hromadnou dopravu: Přehled a charakteristika preferenčních opatření VHD* [online]. [cit. 2021-10-16]. Dostupné z: <https://pid.cz/wp-content/uploads/2017/10/Katalog-preferencnich-opatreni.pdf>
- [26] FURLAN, Raffaello a Neil SIPE. Light rail transit (LRT) and transit villages in Qatar: A planning strategy to revitalise the built environment of Doha. *Journal of Urban Regeneration and Renewal* [online]. 11th February, 2017, 1-20 [cit. 2022-03-17]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/profile/Raffaello-Furlan-2/publication/319245946\\_Light\\_rail\\_transit\\_LRT\\_and\\_transit\\_villages\\_in\\_Qatar\\_A\\_planning\\_strategy\\_to\\_revitalise\\_the\\_built\\_environment\\_of\\_Doha/links/5a0298520f7e9b68874c602f/Light-rail-transit-LRT-and-transit-villages-in-Qatar-A-planning-strategy-to-revitalise-the-built-environment-of-Doha.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Raffaello-Furlan-2/publication/319245946_Light_rail_transit_LRT_and_transit_villages_in_Qatar_A_planning_strategy_to_revitalise_the_built_environment_of_Doha/links/5a0298520f7e9b68874c602f/Light-rail-transit-LRT-and-transit-villages-in-Qatar-A-planning-strategy-to-revitalise-the-built-environment-of-Doha.pdf)
- [27] DE BRUIJN, Hans a Wijnand VEENEMAN. Decision-making for light rail. *TRANSPORTATION RESEARCH PART A-POLICY AND PRACTICE* [online]. MAY 2009 [cit. 2021-11-16]. ISSN 0965-8564. Dostupné z: [doi:10.1016/j.tra.2008.11.003](http://doi.org/10.1016/j.tra.2008.11.003)
- [28] OLESEN, Mette a Claus LASSEN. Rationalities and materialities of light rail scapes. *Journal of Transport Geography* [online]. June 2016, 373-382 [cit. 2022-03-20]. Dostupné z: [doi:10.1016/j.geoforum.2017.01.013](http://doi.org/10.1016/j.geoforum.2017.01.013)

- [29] FERBACHE, Fiona a Richard D.KNOWLES. City boosterism and place-making with light rail transit: A critical review of light rail impacts on city image and quality. *Geoforum* [online]. March 2017, 103-113 [cit. 2022-03-21]. Dostupné z: doi:10.1016/j.geoforum.2017.01.013
- [30] *Karlsruher Verkehrsverbund: Bahn und Bus* [online]. [cit. 2022-10-01]. Dostupné z: <https://www.kvv.de/>
- [31] Durchschnittsgeschwindigkeit der Stadtbahnen in ausgewählten deutschen Städten [online]. [cit. 2022-02-27]. Dostupné z: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/921422/umfrage/durchschnittsgeschwindigkeit-der-stadtbahnen-in-deutschland/>
- [32] Provozně-technické ukazatele [online]. [cit. 2022-02-27]. Dostupné z: <https://www.dpp.cz/spolecnost/o-spolecnosti/dpp-v-datech>
- [33] *Vlakotramvaje: Budoucnost cestování mezi Prahou a Středočeským krajem* [online]. [cit. 2022-10-01]. Dostupné z: [https://www.praha.eu/jnp/cz/o\\_meste/magistrat/tiskovy\\_servis/tiskove\\_zpravy/vlakotramvaje\\_budoucnost\\_cestovani\\_mezi.html](https://www.praha.eu/jnp/cz/o_meste/magistrat/tiskovy_servis/tiskove_zpravy/vlakotramvaje_budoucnost_cestovani_mezi.html)
- [34] *Badner Bahn: von Wien nach Baden* [online]. [cit. 2022-03-23]. Dostupné z: <https://www.stadt-wien.at/wien/oeffentl-verkehrsmittel/badner-bahn-von-wien-nach-baden.html>
- [35] VIEGAS, José a Baichuan LU. *The Intermittent Bus Lane signals setting within an area* [online]. DEC 2004, 453-469 [cit. 2019-11-22]. Dostupné z: doi:10.1016/j.trc.2004.07.005.
- [36] *Ročenka dopravy Praha 2020: Technická správa komunikací hlavního města Prahy, a.s.* [online]. [cit. 2021-11-13]. Dostupné z: <https://www.tsk-praha.cz/static/udi-rocenka-2020-cz.pdf>
- [37] *Odborný web o preferenci veřejné dopravy* [online]. [cit. 2019-11-13]. Dostupné z: <http://preferencevhd.info/index.php/2018/03/27/plzen-pristavba-buspruhu-na-karlovarske-tride/>
- [38] *Odborný web o preferenci veřejné dopravy: Pohled do Českých Budějovic: Co nového se podařilo?* [online]. [cit. 2019-11-13]. Dostupné z: <http://preferencevhd.info/index.php/2017/01/31/pohled-do-ceskych-budejovic-co-noveho-se-podarilo/>
- [39] *Ročenka dopravy Brno 2018: Brněnské komunikace* [online]. [cit. 2019-11-13]. Dostupné z: <https://www.bkom.cz/informacni-centrum/rocenky-dopravy-brno-15/rocenka-dopravy-brno-2018-pdf-166>
- [40] *FAHRRÄDER und BUSSE: INFRASTRUKTUR / NETZANBINDUNGEN* [online]. [cit. 2022-03-04]. Dostupné z: [http://www.rupprecht-consult.eu/uploads/tx\\_rupprecht/06\\_PRESTO\\_Infrastruktur\\_fahrer\\_und\\_busse.pdf](http://www.rupprecht-consult.eu/uploads/tx_rupprecht/06_PRESTO_Infrastruktur_fahrer_und_busse.pdf)
- [41] ABDELFAH, Akmal a Amro R. ABDULWAHID. Impact of Exclusive Bus Lanes on Traffic Performance in Urban Areas. *Civil Engineering Department* [online]. [cit. 2022-02-27]. ISSN 2371-5294. Dostupné z: doi:10.11159/icte17.125
- [42] SHUGUANG, Li a Ju YONGFENG. Evaluation of Bus-Exclusive Lanes. *IEEE* [online]. 24 April 2009, 236 - 245 [cit. 2022-02-27]. Dostupné z: doi:10.1109/TITS.2009.2018326
- [43] SHAOPENG, Zhong a Daniel (Jian) SUN. A Regression Discontinuity-Based Approach for Evaluating the Effect of Exclusive Bus Lanes on Average Vehicle Speeds. *Business and Management* [online]. 2022, 73-96 [cit. 2022-03-04]. Dostupné z: doi:10.1007/978-981-16-8016-8\_4
- [44] THAMIZH Arasan, V. a P. VEDAGIRI. Study of the impact of exclusive bus lane under highly heterogeneous traffic condition. *Public Transportation* [online]. 9 June 2010, 135-155 [cit. 2022-03-09]. Dostupné z: doi:10.1007/s12469-010-0021-x

- [45] CURRIE, Graham, Majid SARVI a Bill YOUNG. A new approach to evaluating on-road public transport priority projects: balancing the demand for limited road-space. *Transportation* [online]. 15 November 2006, 413-428 [cit. 2022-03-17]. Dostupné z: doi:10.1007/s11116-006-9107-3
- [46] ANDOR, Marc A., FRONDEL, Manuel, HORVATH, Marco et al. Präferenzen und Einstellungen zu vieldiskutierten verkehrspolitischen Maßnahmen: Ergebnisse einer Erhebung aus dem Jahr 2018. *List Forum* 45, 255–280 (2020). Dostupné z: doi:10.1007/s41025-019-00184-x
- [47] WU, Jianping a Nick HOUNSELL. *Bus priority using pre-signals. TRANSPORTATION RESEARCH PART A-POLICY AND PRACTICE* [online]. NOV 1998, 563-583 [cit. 2019-12-04]. Dostupné z: doi:10.1016/S0965-8564(98)00008-1.
- [48] EICHLER, Michael a Carlos F.DAGANZO. *Bus lanes with intermittent priority: Strategy formulae and an evaluation* [online]. [cit. 2021-12-17]. Dostupné z: doi:https://doi.org/10.1016/j.trb.2005.10.001
- [49] KAMPOURI, Aiakaterini a Ioannis POLITIS. Optimization of a Bus Lane with Intermittent Priority dynamically activated by the road traffic. *Proceedings of the 23rd Transport and Air Pollution (TAP) conference – Part I* [online]. [cit. 2021-12-17]. Dostupné z: doi:10.2760/289885
- [50] CHIABAUT, Nicolas a Anais BARCET. *Demonstration and evaluation of an intermittent bus lane strategy* [online]. OCT 2019, , 443-456 [cit. 2020-02-21]. DOI: Dostupné z: doi:10.1007/s12469-019-00210-3.
- [51] CHIABAUT, Nicolas, Xie XIAOYAN a Ludovic LECLERCQ. *Road Capacity and Travel Times with Bus Lanes and Intermittent Priority Activation: Analytical Investigations* [online]. [cit. 2021-12-17]. Dostupné z: doi: https://doi.org/10.3141/2315-19
- [52] ZYRYANOV, Vladimir a Aleksandr MIRONCHUK. Simulation study of intermittent bus lane and bus signal priority strategy. *Procedia Social and Behavioral Sciences* [online]. 2012, 1464 - 1471 [cit. 2020-11-16]. Dostupné z: doi:10.1016/j.sbspro.2012.06.1122.
- [53] SZARATA, Mateusz, Leslaw BICHAJLO a Piotr OLSZEWSKI. Simulation Study of Dynamic Bus Lane Concept. *SUSTAINABILITY* [online]. FEB 2021 [cit. 2021-11-14]. ISSN 2071-1050. Dostupné z: doi:10.3390/su13031302
- [54] DINGXIN, Wu, Wei DENG, Yan SONG, Jian WANG a Dewen KONG. *Evaluating Operational Effects of Bus Lane with Intermittent Priority under Connected Vehicle Environments* [online]. 19 Apr 2017 [cit. 2022-03-17]. Dostupné z: doi:https://doi.org/10.1155/2017/1659176
- [55] HU, Jia, Park BYUNGKYU a A. Emily PARKANY. Transit Signal Priority with Connected Vehicle Technology [online]. [cit. 2022-03-17]. Dostupné z: doi:https://doi.org/10.3141/2418-03
- [56] FANGFANG, Zheng, Chen JINBIAO, Wang HENG, Liu HENRY a Liu XIAOBO. Developing a dynamic utilisation scheme for exclusive bus lanes on urban expressways: an enhanced CTM-based approach versus a microsimulation-based approach [online]. 13 October 2020 [cit. 2021-8-19]. Dostupné z: doi:https://doi.org/10.1049/iet-its.2019.0546
- [57] OLSTAM, Johan, Carl-Henrik HÄLL, Göran SMITH, Azra HABIBOVIC a Anna ANUND. Dynamic bus lanes in Sweden – a pre-study: PROVDYK – Final report [online]. Media-Tryck, Lunds universitet, 2015, 2015-08-20 [cit. 2021-11-14]. ISBN 978-91-7623-449-5. Dostupné z: https://www.k2centrum.se/sites/default/files/fields/field\_uppladdad\_rapport/dynamic\_bus\_lanes\_in\_sweden.pdf
- [58] LEJDA, Kazimierz., Maksymilian MADZIEL, Sylwia SIEDLECKA a Edyta ZIELINSKA. The future of Public Transport in light of solutions for sustainable transport development. *Scientific Journal of Silesian*



- University of Technology. Series Transport* [online]. 2017, 97-108 [cit. 2022-03-17]. Dostupné z: doi:10.20858/sjsutst.2017.95.10.
- [59] WAHLSTEDT, Johan. *Impacts of Bus Priority in Coordinated Traffic Signals* [online]. 2011, 16 [cit. 2020-02-05]. Dostupné z: doi:10.1016/j.sbspro.2011.04.478.
- [60] WAHLSTEDT, Johan. Evaluation of the two self-optimising traffic signal systems Utopia/Spot and ImFlow, and comparison with existing signal control in Stockholm, Sweden. *IEEE* [online]. [cit. 2022-03-07]. Dostupné z: doi:10.1109/ITSC.2013.6728449
- [61] SKABARDONIS, Alexander *Control strategies for transit priority* [online]. 2000, , 20-26 [cit. 2020-02-20]. Dostupné z: DOI:10.3141/1727-03.
- [62] SATIENNAM, Thaned, Atsushi FUKUDA, Toshiaki MUROI a Sarawut JANSUVAN. An enhanced public transport priority system for two-lane arterials with nearside bus stops. *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies* [online]. 2005, 1309 - 1321 [cit. 2022-03-04]. Dostupné z: <https://www.webofscience.com/wos/woscc/full-record/WOS:000236346601038>
- [63] WARBERG, Andreas, Jesper LARSEN a Rene Munk JØRGENSEN. Green Wave Traffic Optimization – A Survey. *Department of Informatics and Mathematical Modelling* [online]. February 2008 [cit. 2022-03-21]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/profile/Jesper-Larsen/publication/267938298\\_Green\\_Wave\\_Traffic\\_Optimization\\_-\\_A\\_Survey/links/555f873308ae6f4dcc92705c/Green-Wave-Traffic-Optimization-A-Survey.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Jesper-Larsen/publication/267938298_Green_Wave_Traffic_Optimization_-_A_Survey/links/555f873308ae6f4dcc92705c/Green-Wave-Traffic-Optimization-A-Survey.pdf)
- [64] SHENODA, Michael a Randy MACHEMEL. *Development of a phase-by-phase, arrival-based, delay-optimized adaptive traffic signal control methodology with metaheuristic search.* [online]. Texas Transport Institute, 2006 [cit. 2022-03-21]. Dostupné z: <https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/40317>
- [65] HOUNSELL, Nick, Birendra SHRESTHA a Chris. D'SOUZA. Using automatic vehicle location (AVL) data for evaluation of bus priority at traffic signals. *IET and ITS Conference on Road Transport Information and Control (RTIC 2012)* [online]. September 2012 [cit. 2022-03-09]. Dostupné z: doi:10.1049/cp.2012.1550
- [66] YADAN, Yan, Liu ZHIYUAN a Bie YIMING. Performance Evaluation of Bus Routes Using Automatic Vehicle Location Data. *American Society of Civil Engineers* [online]. 2016 [cit. 2022-03-04]. Dostupné z: doi:10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000857
- [67] HOUNSELL, Nick., Birendra. SHRESTHA a Alane WONG. Data management and applications in a world-leading bus fleet. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* [online]. June 2012 [cit. 2022-03-09]. Dostupné z: doi:10.1016/j.trc.2011.12.005
- [68] *Bus priority at traffic signals keeps London's buses moving* [online]. [cit. 2022-03-09]. Dostupné z: <https://content.tfl.gov.uk/svd-brochure.pdf>
- [69] KOERNER Matthias, L. FITZTHUM a C. GASSEL. *Stauidentifikation auf Grundlage der Positionsdaten von ÖV-Fahrzeugen im Mischverkehr* [online]. Technische Universität Dresden, Dresden [cit. 2021-12-17]. Dostupné z: <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:14-qucosa-222101>
- [70] Ivo HERMAN, ING. CSC. *PREFERENCE VEŘEJNÉ DOPRAVY POMOCÍ V2X* [online]. [cit. 2021-11-21]. Dostupné z: <https://www.herman.cz/en/produkty/isrd/komunikace-v2x/v2x-pro-verejnou-dopravu/preference-pomoci-v2x-2/>

- [71] GULER, S. Ilgin, Vikash V. GAYAH a Monica MENENDEZ. *Bus priority at signalized intersections with single-lane approaches: A novel pre-signal strategy* [online]. FEB 2016, , 51-70 [cit. 2019-11-29]. Dostupné z: doi:10.1016/j.trc.2015.12.005.
- [72] GULER, S. Ilgin a Monica MENENDEZ. *Pre-signals for bus priority: basic guidelines for implementation* [online]. DEC 2015, 339 - 354 [cit. 2020-02-28]. Dostupné z: doi:10.1007/s12469-015-0104-9.
- [73] HAITAO, He, S. Ilgin GULER a Monica MENENDEZ. Adaptive control algorithm to provide bus priority with a pre-signal. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* [online]. 28-44 [cit. 2021-12-17]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2016.01.009>
- [74] *Koordinace řízení – zelená vlna* [online]. SPRÁVA VEŘEJNÉHO STATKU MĚSTA PLZNĚ [cit. 2021-11-21]. Dostupné z: [https://www.svsmp.cz/Files/svs/svetelna\\_signalizace/KoordinaceRizeni-ZelenaVlna.pdf](https://www.svsmp.cz/Files/svs/svetelna_signalizace/KoordinaceRizeni-ZelenaVlna.pdf)
- [75] REDMAN, Lauren, Margareta FRIMAN, Tommy GARLING a Terry HARTIG. Quality attributes of public transport that attract car users: A research review [online]. JAN 2013, 25, 119-127 [cit. 2021-04-17]. ISSN 1879-310X. Dostupné z: doi:10.1016/j.tranpol.2012.11.005
- [76] CANTWELL, Mairead, Brian COUNTFIELD a Margaret O'MAHONY. Examining the Factors that Impact Public Transport Commuting Satisfaction. *Journal of Public Transportation* [online]. 1-21 [cit. 2022-03-09]. Dostupné z: doi:10.5038/2375-0901.12.2.1
- [77] ERIKSSON, Lars, Margareta FRIMAN a Tommy GARLING. *Stated reasons for reducing work-commute by car* [online]. NOV 2008, 11(6), 427-433 [cit. 2021-04-17]. ISSN 1369-8478. Dostupné z: doi:10.1016/j.trf.2008.04.001
- [78] DORBRITZ, Robert, Marco LUETHI, Ulrich WEIDMANN a Andrew NASH. *Effects of Onboard Ticket Sales on Public Transport Reliability* [online]. 2009, , 112-119 [cit. 2019-12-13]. Dostupné z: doi:10.3141/2110-14.
- [79] J. REILLY, Robert. A Toolkit for Self-Service, Barrier-Free Fare Collection. *Transportation Research Board - National research Council* [online]. [cit. 2021-12-17]. ISSN 1073-4872. Dostupné z: [https://books.google.cz/books?hl=cs&lr=&id=ENre\\_ThHJy0C&oi=fnd&pg=PA1&dq=A+Toolkit+for+Self-Service,+Barrier-Free+Fare+Collection&ots=aSNFFHkH-E&sig=3C9GvbYBZJwy3cP09tTZ-0ljngc&redir\\_esc=y#v=onepage&q=A%20Toolkit%20for%20Self-Service%2C%20Barrier-Free%20Fare%20Collection&f=false](https://books.google.cz/books?hl=cs&lr=&id=ENre_ThHJy0C&oi=fnd&pg=PA1&dq=A+Toolkit+for+Self-Service,+Barrier-Free+Fare+Collection&ots=aSNFFHkH-E&sig=3C9GvbYBZJwy3cP09tTZ-0ljngc&redir_esc=y#v=onepage&q=A%20Toolkit%20for%20Self-Service%2C%20Barrier-Free%20Fare%20Collection&f=false)
- [80] BEIM, Michal a Martin HAAG. Freiburg's way to sustainability: the role of integrated urban and transport planning. *CITIES FOR EVERYONE. Liveable, Healthy, Prosperous* [online]. 2010 [cit. 2022-03-20]. Dostupné z: [https://corp.at/archive/CORP2010\\_56.pdf](https://corp.at/archive/CORP2010_56.pdf)
- [81] IVAN, Igor, Jiří HORÁK, Lenka ZAJÍČKOVÁ, Jaroslav BURIAN a David FOJTÍK. *Factors Influencing Walking Distance to the Preferred Public Transport Stop in selected urban centres of Czechia* [online]. JUN 2019, , 16-30 [cit. 2019-10-16]. Dostupné z: doi:10.2478/geosc-2019-0002.
- [82] ČERNÁ, Anna a Jan ČERNÝ. *Manažerské rozhodování o dopravních systémech*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2014. ISBN 978-80-7395-849-7
- [83] DANIELS, Rhonda a Corrine MULLEY. Explaining walking distance to public transport: The dominance of public transport supply. *The Journal of Transport and Land use* [online]. 2013, 5-20 [cit. 2022-03-04]. Dostupné z: doi:10.5198/jtlu.v6i2.308

- [84] EL-GENEIDY, Ahmed, Michael GRIMSRUD a Rania WASFI. New evidence on walking distances to transit stops: identifying redundancies and gaps using variable service areas. *Transportation* [online]. 2014, 193-210 [cit. 2022-03-21]. Dostupné z: doi:10.1007/s11116-013-9508-z
- [85] *Brepark* [online]. [cit. 2020-02-12]. Dostupné z: <https://www.brepark.de/parken/park-ride/>
- [86] *Bremen bewegen* [online]. [cit. 2020-02-12]. Dostupné z: <https://www.bsag-netz.de/>
- [87] MARTENS, Karel. Promoting bike-and-ride: The Dutch experience. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* [online]. May 2007, 326-338 [cit. 2022-03-09]. Dostupné z: doi:10.1016/j.tra.2006.09.010
- [88] MARTENS, Karel. The bicycle as a feeding mode: experiences from three European countries. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* [online]. July 2004, 281-294 [cit. 2022-03-09]. Dostupné z: doi:10.1016/j.trd.2004.02.005
- [89] AHRENS, Gerd-Axel, Tanja AURICH, Thomas BÖHMER, Jeannette KLOTZSCH. *Interdependenzen zwischen Fahrrad-und ÖPNV-Nutzung* [online]. Dresden, Januar 2010 [cit. 2022-03-17]. Dostupné z: <https://repository.difu.de/jspui/bitstream/difu/126843/1/DB1193.pdf>
- [90] MÖLLERS, Jürgen. *Das Bike-and Ride Konzept der Stadt Köln - Die Erfolgsgeschichte* [online]. Dresden, März 2009 [cit. 2022-03-17]. Dostupné z: <https://repository.difu.de/jspui/bitstream/difu/126986/1/DB1341.pdf>
- [91] DELBOSC, Alexa a Graham CURRIE. Modelling the causes and impacts of personal safety perceptions on public transport ridership. *Transport policy* [online]. NOV 2012, 302-309 [cit. 2021-11-18]. ISSN 0967-070X. Dostupné z: doi:10.1016/j.tranpol.2012.09.009
- [92] MUSSELWHITE, Charles, Erel AVINERI a Yusak SUSILO. Restrictions on mobility due to the coronavirus Covid19: Threats and opportunities for transport and health. *JOURNAL OF TRANSPORT & HEALTH* [online]. MAR 2021, , 20 [cit. 2021-11-18]. ISSN 2214-1405. Dostupné z: doi:10.1016/j.jth.2021.101042
- [93] *Dresdner Verkehrsbetriebe AG* [online]. [cit. 2021-11-21]. Dostupné z: <https://www.dvb.de/de-de/>
- [94] *VERKEHRSPLANUNG* [online]. [cit. 2022-03-07]. Dostupné z: <https://via-bus.hamburg.de/contentblob/8264140/864f1ad77a920a70228d72559ec56dc2/data/20170227-glossar-2-auflage.pdf>
- [95] *BusWay in Nantes, France, from City of Nantes* [online]. May 2011 [cit. 2022-03-21]. Dostupné z: <https://www.linkedin.com/pulse/bus-rapid-transit-light-rail-what-difference-ben-ross>
- [96] *Online mapa provozu: Pražská integrovaná doprava* [online]. [cit. 2023-01-14]. Dostupné z: <https://mapa.pid.cz/?filter=&zoom=11.0&lon=14.4500&lat=50.0800>
- [97] *Mapy.cz* [online]. [cit. 2023-01-14]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=15.6252330&y=49.8022514&z=8>
- [98] *Interaktivní mapa preference: Pražská integrovaná doprava* [online]. [cit. 2023-03-22]. Dostupné z: <https://ropid.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=e7b90000010d41fcb796dba91ba85cef>
- [99] *Technická správa komunikací hl.m. Prahy, a.s.: Intenzity dopravy v roce 2022* [online]. [cit. 2023-04-13]. Dostupné z: <https://www.tsk-praha.cz/wps/portal/root/dopravni-inzenyrstvi/intenzity-dopravy>
- [100] REISIG, Wolfgang. *Petri nets: an introduction* [online]. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1985 [cit. 2023-04-26]. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-642-69968-9

- [101] TRIANTAPHYLLOU, Evangelos. *Multi-criteria decision-making methods* [online]. Springer, Boston, MA [cit. 2023-08-16]. ISBN 978-1-4419-4838-0.
- [102] *Vědeckotechnický sborník Správy železnic, státní organizace* [online]. 3. 2020 [cit. 2023-04-24]. ISSN 2694-9172. Dostupné z:  
<https://www.spravazeznic.cz/documents/50004227/117048102/VTS+Spr%C3%A1vy+%C5%BEeleznic+3-2020.pdf/c23181d5-bb63-466c-93ad-009205f44933>
- [103] JUNIJE Zhang, MIAOMIAO Liu, Bin Zhou, *Analytical Model for Travel Time-Based BPR Function with Demand Fluctuation and Capacity Degradation* [online], *Mathematical Problems in Engineering*, vol. 2019, 13 pages, 2019. [cit. 2023-08-08]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1155/2019/5916479>
- [104] *Doba provozu světelné signalizace a bezpečnost dopravy: Technická správa komunikací hlavního města Prahy, a.s.* [online]. [cit. 2023-05-31]. Dostupné z: [https://www.tsk-praha.cz/wps/wcm/connect/www.tsk-praha.cz/20642/5ff8ad3e-3edb-4c40-9b64-775440029c34/Doba\\_provozu\\_svetelne\\_signalizace\\_a\\_bezpecnost\\_dopravy.docx?MOD=AJPERES](https://www.tsk-praha.cz/wps/wcm/connect/www.tsk-praha.cz/20642/5ff8ad3e-3edb-4c40-9b64-775440029c34/Doba_provozu_svetelne_signalizace_a_bezpecnost_dopravy.docx?MOD=AJPERES)
- [105] *Dopravní informace: Ředitelství silnic a dálnic České republiky* [online]. [cit. 2023-05-31]. Dostupné z: <https://dopravniinfo.cz/>

# PUBLIKAČNÍ ČINNOST DOKTORANDA

## **Publikační činnost související s tématem disertační práce**

CHLUMECKÝ, Jaroslav, Jan FRONĚK a Daniel VYMĚTAL. Proposals for Improving Mobility in the City of Pardubice and its Surroundings Through Selected Measures. *Transport Means 2021: PROCEEDINGS OF THE 25th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE* [online], LT, 2021, [cit. 2022-02-20]. ISSN 2351-7034.

CHLUMECKÝ, Jaroslav, Daniel VYMĚTAL, Jan FRONĚK a Petr VANĚK. Selected Methods for Improving Public Transport. *Transport Means - Proceedings of the International Conference* [online]. LT, Kauno Technologijos Universitetas, 2022, **22**, 921-925 [cit. 2023-05-10]. ISSN 1822-296X.

CHLUMECKÝ, Jaroslav, Jan FRONĚK a Daniel VYMĚTAL. Porovnání výhodnosti aplikace preferenčních opatření na vybrané autobusové lince v Praze. *VEREJNÁ OSOBNÁ DOPRAVA 2021* [online]. Bratislava, 2021, 141-146 [cit. 2022-03-26]. ISBN 978-80-89565-49-8.

FRONĚK, Jan, Jaroslav CHLUMECKÝ a Daniel VYMĚTAL. Příklady opatření pro zatraktivnění veřejné dopravy ve městě i v regionu. *VEREJNÁ OSOBNÁ DOPRAVA 2020* [online]. Bratislava, 2020 [cit. 2022-03-26]. ISBN 978-80-89565-43-6.

CHLUMECKÝ, Jaroslav, Daniel VYMĚTAL a Jan FRONĚK. Příklady vhodného i nevhodného použití vyhrazeného jízdního pruhu pro vozidla MHD. *Veřejná osobná doprava 2022 : zborník* [online]. Bratislava, 2022 [cit. 2023-05-10]. ISSN 978-80-89565-54-2.

## **Publikační činnost ostatní**

FRONĚK, Jan, Daniel VYMĚTAL, Tomas HORNÍK a Daniel VYMĚTAL. Development of modal split in the Czech Republic according to national census. *Transport Means* [online]. LT, 2020, 30 September 2020, (234), 1000-1005 [cit. 2021-03-05]. ISSN 2351-7034.

VYMĚTAL, Daniel, Jan FRONĚK a Jaroslav CHLUMECKÝ. Navržení umístění parkovacích systémů Park and Ride v Moravskoslezském kraji. *VEREJNÁ OSOBNÁ DOPRAVA 2021* [online]. Bratislava, 2021, 117-121 [cit. 2022-03-26]. ISBN 978-80-89565-49-8.

FRONĚK, Jan, Jaroslav CHLUMECKÝ a Daniel VYMĚTAL. Veřejná doprava v regionu po modernizaci tratě Praha - Kladno. *VEREJNÁ OSOBNÁ DOPRAVA 2021* [online]. Bratislava, 2021, 136-140 [cit. 2022-03-26]. ISBN 978-80-89565-49-8.

FRONĚK, Jan, Daniel VYMĚTAL a Jaroslav CHLUMECKÝ. Analýza tarifních struktur IDS. *Veřejná osobná doprava 2022 : zborník* [online]. Bratislava, 2022 [cit. 2023-05-10]. ISSN 978-80-89565-54-2.

FRONĚK Jan, Jaroslav CHLUMECKÝ a Daniel VYMĚTAL. Covid-19 pandemic vs. public transport attractiveness - literature research and selected solutions and recommendations. *Perner's Contacts* [online]. Pardubice, 30-06-2021 [cit. 2021-11-18]. ISSN 1801-674X.

CHLUMECKÝ, Jaroslav, Jan FRONĚK a Daniel VYMĚTAL. Regional Railway Transport Between Regions in the Czech Republic. *Transportation Research Procedia* [online]. 2020, 2021, (27), 132-137 [cit. 2021-03-05]. Dostupné z: doi:10.1016 / j.trpro.2021.02.01

VYMĚTAL, Daniel, Jan FRONĚK a Jaroslav CHLUMECKÝ. Hierarchizace záchytných parkovišť v rámci regionu. *Verejná osobná doprava 2022 : zborník* [online]. Bratislava, 2022 [cit. 2023-05-10]. ISSN 978-80-89565-54-2.

CHLUMECKÝ, J., D. VYMĚTAL a J. FRONĚK. The Effect of the Shortcomings of Selected Transfer Terminals on the Time Lost by Passengers. *Transport Means 2023 Sustainability: Research and Solutions* [online]. Kaunas, 2023, 27(I), 482-486 [cit. 2023-11-03]. ISSN 2351-7034. Dostupné z: doi:10.5755/e01.2351-7034.2023.P1

FRONĚK, Jan, Jaroslav CHLUMECKÝ a Daniel VYMĚTAL. Travel Speed of 100 km·h<sup>-1</sup> as the Limit of Competitiveness of Railway Transport. *Horizons of railway transport* [online]. Žilina, 2023, (77), 94-100 [cit. 2024-01-19]. ISSN 2352-1465. Dostupné z: doi:10.1016/j.trpro.2024.01.001