České vysoké učení technické v Praze
Fakulta dopravní

Bc. David Bursík

Preference veřejné hromadné dopravy v Českých Budějovicích

Diplomová práce

2017

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

K612..... **Ústav dopravních systémů**

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Bc. David Bursík

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

N 3710 – DS – Dopravní systémy a technika

Název tématu (česky): **Preference veřejné hromadné dopravy v Českých Budějovicích**

Název tématu (anglicky): Public Transport Priority in České Budějovice

Zásady pro vypracování

Při zpracování diplomové práce se řiďte osnovou uvedenou v následujících bodech:

- Úvod
- Preference veřejné hromadné dopravy
- Vyhledání problémových lokalit
- Simulace dopravní situace v programu VISSIM
- Návrh možných opatření
- Simulace navržených opatření
- Zhodnocení navržených opatření
- Závěr

Rozsah grafických prací: stanoví vedoucí diplomové práce

Rozsah průvodní zprávy: minimálně 55 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)

Seznam odborné literatury: Kočárková, D., Kocourek, J., Jacura, M.: Základy dopravního inženýrství, skripta ČVUT, 2009

TP 81 Navrhování světelných signalizačních zařízení pro řízení provozu na pozemních komunikacích

Kotas, P.: Dopravní systémy a stavby, skripta ČVUT, 2007

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Ivo Novotný**

Ing. Tomáš Padělek

Datum zadání diplomové práce: **30. června 2016**
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání diplomové práce: **30. května 2017**
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

L. S.

prof. Ing. Pavel Přibyl, CSc.
vedoucí
Ústavu dopravních systémů

prof. Dr. Ing. Miroslav Svítek, dr. h. c.
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.

Bc. David Bursík
jméno a podpis studenta

V Praze dne.....30. června 2016

Poděkování

Na úvod bych rád poděkoval vedoucímu práce Ing. Ivu Novotnému za odbornou pomoc, konzultace a podporu při vytváření této diplomové práce. Dále bych rád poděkoval zaměstnancům z Dopravního podniku města České Budějovice, a. s. za poskytnutí cenných materiálů, které sloužily jako podklad při zpracování některých kapitol. Také si velice vážím poskytnutých materiálů od pana Ing. Petra Jaroše z Odboru správy komunikací Magistrátu města České Budějovice.

Prohlášení

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

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

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

V Praze dne 30. května 2017 ……..……

podpis

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

Preference veřejné hromadné dopravy v Českých Budějovicích

Diplomová práce

květen 2017

Bc. David Bursík

ABSTRAKT

Tato diplomová práce mapuje v Českých Budějovicích místa, kde dochází ke zdržení vozidel veřejné hromadné dopravy v důsledku vzniklých kongescí. Pro vybrané problémové místo navrhne opatření vedoucí k redukci hodnot zdržení. Funkčnost těchto opatření se otestuje při dopravní simulaci v programu VISSIM. Cílem této práce je doporučit vhodné a efektivní opatření.

ABSTRACT

This Master´s thesis maps places in the city of České Budějovice, where there can be some delay of public transportation occurring due to congestions. This thesis will suggest measures leading to the reduction of the delay of the public transportation for chosen problematic place. Functionality of these measures will be tested in simulation in program “VISSIM”. The aim of this thesis is to suggest suitable and effective measures.

Klíčová slova

Preference veřejné hromadné dopravy, kongesce, individuální automobilová doprava, vyhrazený jízdní pruh, světelné signalizační zařízení

Keywords

Public transport priority, traffic jam, car traffic, priority lane, traffic lights

Obsah

Obsah ..... - 1 -

Seznam použitých zkratek ..... - 3 -

Úvod ..... - 4 -

1 Analýza současného stavu ..... - 5 -

1.1 Veřejná hromadná doprava ve městě ..... - 6 -

1.1.1 Regionální dopravci ..... - 7 -

1.1.2 Městská hromadná doprava ..... - 7 -

1.2 Individuální automobilová doprava a místní komunikace ..... - 12 -

2 Preference veřejné hromadné dopravy ..... - 15 -

2.1 Základní dělení preference VHD na SSZ ..... - 15 -

2.2 Další dělení preference veřejné hromadné dopravy ..... - 16 -

2.3 Efekty preference VHD ..... - 19 -

2.4 Technologie preference veřejné hromadné dopravy ..... - 19 -

3 Vyhledání problémových lokalit ..... - 23 -

3.1 Lokality ..... - 23 -

3.1.1 Rudolfovská třída x Nádražní ..... - 23 -

3.1.2 Pražská třída x Pekárenská ..... - 24 -

3.1.3 E. Rošického x Husova třída ..... - 24 -

3.2 Vybrané problémové místo Rudolfovská třída x Nádražní ..... - 25 -

4 Simulace dopravní situace v programu VISSIM ..... - 32 -

4.1 Dopravně simulační program VISSIM ..... - 32 -

4.2 Vyhodnocení současného stavu ..... - 34 -

5 Návrh možných opatření ..... - 38 -

5.1 Varianta A ..... - 38 -

5.2 Varianta B ..... - 40 -

6 Simulace navržených opatření ..... - 43 -

6.1 Navržení algoritmu ..... - 43 -

6.2 Simulace varianty A ..... - 45 -

6.3 Simulace varianty B ..... - 47 -

6.3.1 Simulace varianty B1 ..... - 47 -

6.3.2 Simulace varianty B2 ..... - 50 -

6.3.3 Simulace varianty B3 ..... - 52 -

6.3.4 Simulace varianty B4 ..... - 54 -

6.3.5 Simulace varianty B5 ..... - 56 -

6.3.6 Simulace varianty B6 ..... - 58 -

6.3.7 Simulace varianty B7 ..... - 60 -

7 Zhodnocení navržených opatření ..... - 63 -

8 Závěr ..... - 67 -

9 Použitá literatura ..... - 68 -

10 Seznam obrázků ..... - 70 -

11 Seznam tabulek ..... - 71 -

12 Seznam grafů ..... - 72 -

13 Seznam příloh ..... - 73 -

Seznam použitých zkratek

ČSAD	Autobusy České Budějovice, a. s.
DPMČB	Dopravní podnik města České Budějovice, a. s.
IAD	Individuální automobilová doprava
VHD	Veřejná hromadná doprava
MHD	Městská hromadná doprava
SSZ	Světelné signalizační zařízení
VDZ	Vodorovné dopravní značení
SDZ	Svislé dopravní značení
ŽP	Životní prostředí
JIKORD	Jihočeský koordinátor dopravy
ŘSD	Ředitelství silnic a dálnic
IDS	Integrovaný dopravní systém
MO	Městský okruh
IZS	integrovaný záchranný systém
ROP	Regionální operační program
ÚKD	Úroveň kvality dopravy

Úvod

Tato diplomová práce má čtenáři v teoretické části objasnit problematiku týkající se preference veřejné hromadné dopravy, vysvětlit, proč je důležitá, objasnit různé pojmy používané v této oblasti a ukázat technologická opatření, jimiž zabezpečujeme plynulost provozu vozidel hromadné dopravy.

V praktické části se tato práce zaměří na současný stav dopravy v Českých Budějovicích. Na základě jeho analýzy se vyhledají problémová místa, kde často dochází ke kongescím, jejichž důsledkem jsou nepravidelnosti v jízdních řádech VHD. Ve vybraném kritickém místě se provede analýza dopravního průzkumu. Zjištěná data budou sloužit jako vstupní parametry pro simulaci v programu VISSIM. Po provedené simulaci se stávající stav podrobí analýze a vyhodnocení. Poté se navrhnou variantní řešení, které se budou snažit využít veškerého potenciálu preference VHD. Následně bude provedena dopravní simulace těchto variant, které se následně opět zanalyzují a vyhodnotí. Návrhy se porovnají s původním stavem. Výsledkem by mělo být nejvhodnější řešení z pohledu celkového ztrátového času.

Cílem této práce je na základě dopravních simulací navržených variant a jejich následného vyhodnocení doporučit efektivnější návrh možného preferenčního řešení vybraného dopravně problémového místa. Tato opatření mohou mít významný vliv na hlavní sledovaný parametr, tedy jízdní dobu vozidel VHD a na počet cestujících. Důsledkem těchto opatření by se měla zlepšit i kvalita života ve městě.

1 Analýza současného stavu

Město České Budějovice je významným centrem Jihočeského kraje. V současné době zde žije přibližně 93 500[1] obyvatel. Ve městě sídlí řada státní orgánů, škol, bank, atd. Je zde i mnoho pracovních příležitostí a obchodních center. Na severu města je umístěna obchodní zóna. Mezi významné firmy se sídlem v krajském městě patří MADETA, Budějovický Budvar, Bosch, atd. Město je známé nejenom pro produkci piva, ale také pro různé kulturní akce a významné exhibice, které se konají na místním výstavišti. Největší sídliště Máj leží na západní straně města a žije zde přibližně čtvrtina obyvatel, druhé největší sídliště Vltava leží na severu. Městem protéká řeka Vltava, která by měla být výhledově splavněna až do Prahy, za tímto účelem byl již postaven přístav. Další významnou řeknou ve městě je Malše. Letiště v Českých Budějovicích by mělo být v budoucnosti využíváno pro komerční lety.

Městský okruh (MO) je tvořen silnicemi I. třídy (I/3) a II. třídy (II/156), (II/157). Silnice I/20, která vede přes Písek, Protivín a okolo Vodňan přivádí dopravu do města v severní části, kde se napojuje na MO. Silnice I/3 začíná nedaleko Benešova, dále směřuje přes Tábor a Veselí nad Lužnicí, napojuje se také v severní části na MO. V této části se také napojuje silnici I/34, která vede z Jindřichova Hradce přes Třeboň a Lišov. V jižní části města se silnice I/3 v místě trubkovité křižovatky odpojuje a směřuje přes Velešín až k hranicím s Rakouskou republikou. Silnice II/156 v jižní části míří na Trhové Sviny. Nejvýznamnější místní sběrné komunikace s funkcí dopravně obslužnou jsou vedeny radiálně. Jedná se o Rudolfovskou třídu, Pražskou třídu, Husovu třídu, Žižkovu třídu a Lidickou třídu. V centru jsou spojeny ulicí Na Sadech (obrázek č. 1).

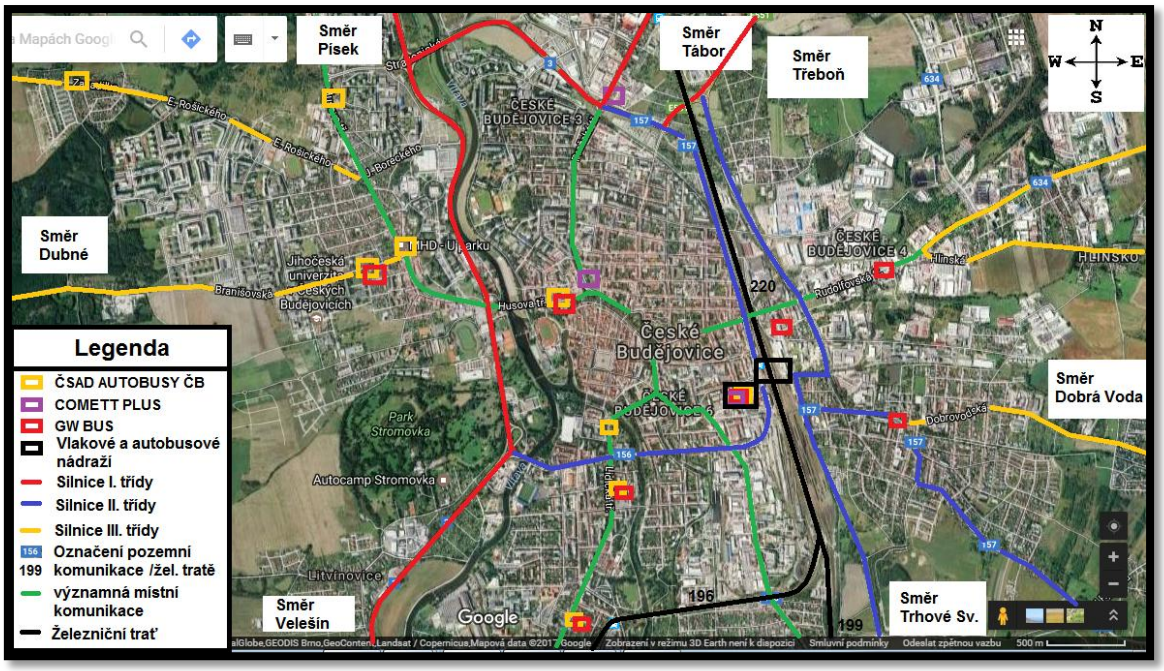
Autobusové nádraží je umístěno na střeše nákupního centra Mercury, které se nachází přibližně 1 km od historického centra města. Naproti nákupnímu centru je situováno vlakové nádraží. Mezi oběma budovami je veden městský okruh. Historické centrum je spojeno s vlakovým a autobusovým nádražím Lannovou třídou (pěší zóna).

Autobusové nádraží má celkem 34 zastávek. Jsou rozmístěny po vnitřním obvodu. Nákupní centrum je obsluhováno MHD (obrázek č. 1). Dvě zastávky jsou z boku centra, další dvě pak v docházkové vzdálenosti a poslední je nově přemístěna před

[1] Český statistický úřad, k 1. 1. 2016

budovu vlakového nádraží. Během dne zde zastavuje celkem 15 linek MHD. Jedná se tak o jednu z nejvytíženějších zastávek. Společně s regionální vlakovou a autobusovou dopravou tvoří významný přestupní dopravní uzel. V noci zde zastavují noční linky 53 a 59.

Českými Budějovicemi prochází IV. tranzitní železniční koridor, který začíná na severu České republiky, prochází městy Děčín, Ústí nad Labem, Praha, Tábor, České Budějovice a Horní Dvořiště. Zajišťuje spojení českých měst se Spolkovou republikou Německo a Rakouskou republikou. Jedná se o mezinárodní železniční koridor. Mezi další významné tratě patří č. 190 (Plzeň), 196 (Horní Dvořiště), 199 (České Velenice), 194 (Český Krumlov).



Obrázek 1 Mapa města zobrazující významné pozemní komunikace a zastávky, které jsou obsluhovány v rámci IDS [Zdroj: (1)]

1.1 Veřejná hromadná doprava ve městě

Veřejná hromadná doprava neodmyslitelně patří ke každému většímu městu, stejně tak jako ke každodennímu životu mnoha z nás. Podle počtu obyvatel a charakteru města, velikosti poptávky po přepravě a technických možnostech je vybrán mód veřejné dopravy, který odpovídá místním potřebám a podmínkám.

Dopravní obslužnost je definována Zákonem č. 194/2010 Sb. o veřejných službách v přepravě cestujících a o změně dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů.

„*Dopravní obslužností se rozumí zabezpečení dopravy po všechny dny v týdnu především do škol a školských zařízení, k orgánům veřejné moci, do zaměstnání, do zdravotnických zařízení poskytujících základní zdravotní péči a k uspokojení kulturních, rekreačních a společenských potřeb, včetně dopravy zpět, přispívající k trvale udržitelnému rozvoji územního obvodu*“ [Zdroj : (2)]

1.1.1 Regionální dopravci

Dopravní obslužnost některých městských částí, respektive zastávek zajišťují také regionální dopravci. Mezi ně patří například GW BUS (dříve ČSAD JIHOTRANS a. s.), ČSAD AUTOBUSY České Budějovice a. s., COMETT PLUS spol. s r.o., České dráhy, a. s. Všichni tito dopravci společně s DPMČB jsou zahrnuti v systému integrovaného dopravního systému, který završuje JIKORD.

Obsluhované zastávky jsou vyznačeny na mapě v obrázku č. 1. Dopravci jsou odlišeni barevně. Seznam linek zařazených do IDS a které obsluhují i městské části Českých Budějovic je v příloze č. 1.

1.1.2 Městská hromadná doprava

První vozidla VHD se v ulicích města objevila již v roce 1909. Jednalo se o tramvajovou trať, která začínala před budovou nádraží a končila na Pražské předměstí, podle kterého byla pojmenována písmenem „P“. Byla dlouhá necelé tři kilometry. Druhá trať byla uvedena do provozu v roce 1910 a nesla označení L. Tramvajový provoz byl ukončen v roce 1950.

První trolejbus začal jezdit ulicemi města již v roce 1909. V provozu byl pouhých pět let. Další provoz trolejbusů se podařilo obnovit v roce 1948, a to až do roku 1971, kdy veškerou obsluhu začaly zajišťovat výhradně autobusy. Tak tomu bylo až do roku 1991. Tehdy byla opětovně zprovozněna trolejbusová linka. Postupně byly zaváděny nové trolejbusové linky. Převážně spojovaly sídliště s centrem města.

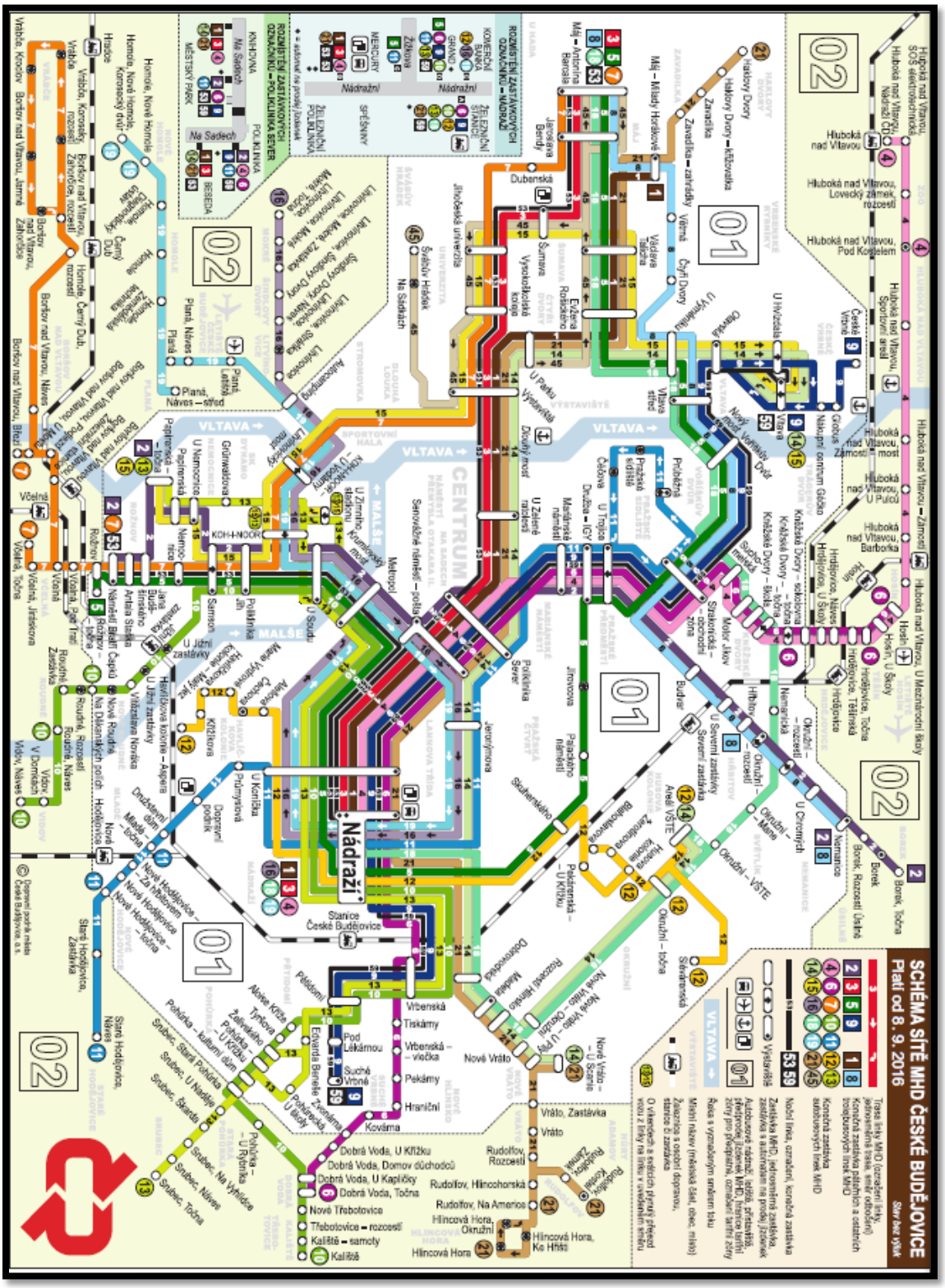
Dopravní podnik města České Budějovice (DPMČB) provozuje autobusy a trolejbusy. V tabulce č. 1 níže je uvedena základní charakteristika o provozu MHD. Schéma linkového vedení je zobrazeno na obrázku č. 2. Trolejbusy jsou označeny čísly 1, 3, 5, 8, 9. Čísly 53 a 59 jsou označeny noční trolejbusové linky. V schématu jsou zobrazeny

v barevném čtverci. Autobusové linky jsou zobrazeny barevným kruhem čísly 4, 6, 7, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 18, 19, 21, 45. Průměrně denně využije 105 000[2] občanů městskou hromadnou dopravu, jakožto způsobu dojíždění do zaměstnání, k doktorovi, na úřady, do školy a jiné.

Tabulka 1 Základní charakteristika MHD [Zdroj: (3)]

Typ vozidla	Počet	Počet linek	Délka linek [km]	Počet zastávek
Autobus	54	14	164,6	400
Trolejbus	43	8	65,8	

[2] Výroční zpráva DPMČB 2015



Obrázek 2 Schéma linkového vedení MHD[Zdroj: (4)]

- **Koridor MHD**

Jedná se o projekt, který je známý v několika zahraničních městech. České Budějovice jsou prvním městem v České republice, kde se tento projekt realizuje. Jde o sérii opatření, která jsou koncentrována v celé délce vybrané trasy. Byla vybrána trasa linky 3, jenž je nejvytíženější (obrázek č. 3), zajišťuje totiž obsluhu největšího městského sídliště Máj s centrem města a nádražím. Mezi opatření patří především preference MHD, vybavení zastávek, stavební uspořádání zastávek a přechodů pro chodce, atd. Jelikož jde o poměrně rozsáhlé úpravy, je realizace rozložena do několika etap. Přehled průběhu realizace je v následující tabulce č. 2.

Tabulka 2 Průběh realizace projektu Koridor [3]MHD [Zdroj: (5)]

Doposud realizovaná opatření	Částečně realizovaná opatření	Dosud nerealizovaná opatření
Zast. Senovážné náměstí	Preference MHD a přechod pro chodce u výstaviště	Světelné křižovatky v ulici Jana Opletala
Zast. U Koníčka	Zast. na sídlištích Máj a Šumava	Křižovatka Na Sadech x Rudolfovská
Úpravy v přednádraží		
Křižovatka na Mariánském náměstí		
Křižovatka Senovážné nám X Kanovnická		

Světelné křižovatky v ulici Jana Opletala - dvě křižovatky budou vybaveny světelným signalizačním zařízením, jež umožní plynulý průjezd vozidlům VHD. V těchto místech dochází ke zpoždění v důsledku vyčekávání při odbočování z vedlejší komunikace na hlavní. V případě, že se nebude blížit vozidlo VHD, bude nejdelší cyklus volno pro vozidla na hlavní komunikaci Oskara Nedbala. Stejná situace nastává i na druhé křižovatce. Vozidla VHD odbočují z vedlejší komunikace. Cyklus volno bude opět delší pro vozidla na hlavní komunikaci Branišovská. Navržené opatření bude mít vliv na provoz linek 1, 3, 15, 21, 53.

Preference MHD a přechod pro chodce u výstaviště – Od zastávky Výstaviště až ke křižovatce s ulicí Na Dlouhé louce bude vyhrazený jízdní pruh. V závislosti na počtu vozidel VHD ve vyhrazeném pruhu bude upraven signální plán. Ve fázi pro přímý směr

[3] Stav k měsíci březen 2017

dostanou signál volno nejprve vozidla VHD, poté ostatní vozidla. Toto opatření bude mít vliv na provoz linek 1, 3, 14, 21, 53.

Největší rekonstrukce proběhla v ulici Husova třída, na křižovatce Mariánské náměstí a v ulici Na Sadech. Vyhrazený jízdní pruh byl vyznačen od zastávky U Zelené ratolesti až k zastávce Na Sadech. V místě křižovatky je vyhrazený jízdní pruh veden jako tzv. by-pass. Další vyhrazený jízdní pruh je v opačném směru, konkrétně se jedná o odbočení do ulice Husova třída v místě křižovatky. Platnost tohoto vyhrazení je časově omezena na pracovní dny mezi 6. hodinou a 18. hodinou. Toto opatření má vliv na provoz linek 1, 2, 3, 4, 6, 9, 11, 14, 21.

Křižovatka Na Sadech x Rudolfovská – Levé odbočení z ulice Na Sadech do Rudolfovské třídy bude vyhrazeno pro vozidla VHD ve všední dny mezi 6. hodinou a 18. hodinou. Fáze volno pro tento směr bude zařazena do signálního plánu pouze v případě příjezdu linky 11 či 14 ke křižovatce. Díky tomuto opatření dojde k prodloužení ostatních fází, což bude mít pozitivní vliv na provoz linek 1, 2, 3, 4, 6, 9 a 21.

Zastávka Senovážné náměstí – pošta – Byla postavena zastávka i v opačném směru. Nahradila zastávku Žižkova VŠERS . Nástupní hrana je typu „Kassel“. Tuto zastávku obsluhují linky 1, 2, 3, 4, 6, 9, 16, 19, 21, 53 a 59.

Nové zastávky U Koníčka – vznikly dvě nové zastávky, vybavené nástupní hranou typu „Kassel“. Navazující křižovatka je vybavená návěstidlem pro VHD. Tyto zastávky slouží především jako přestupní uzel mezi jednotlivými linkami. Zastávku obsluhují všechny linky směřující z centra k nádraží.

Přednádraží – před budovu vlakového nádraží byla přesunuta zastávka VHD, zkrátila se tak přestupní vazba mezi dopravními systémy. Úsek Žižkovy třídy mezi ulicemi Chelčického a Nádražní je vyhrazen výhradně pro provoz veřejné dopravy. Křižovatka Žižkova x Nádražní byla rekonstruována. Přilehlé křižovatky jsou řízeny v koordinaci. Byly vystavěny úrovňové přechody pro chodce. Doprava byla usnadněna pro 15 autobusových linek dopravního podniku. Toto opatření má vliv i na regionální autobusové dopravce.

Linka 3 – Intervaly této linky byly zkráceny. Nyní jezdí tato linka v ranní špičce po 4 až 5 minutových intervalech. V odpolední špičce v 5minutových intervalech. Linka je obsluhována převážně nízkopodlažními trolejbusy.

Další preferenční opatření

- Vyhrazený jízdní pruh v ulici Lidická třída (linky 2, 5, 7, 10, 15, 53)
- Vyhrazený jízdní pruh O. Nedbala, světelná závora (linky 1, 5, 15, 18, 21, 45)
- Vyhrazený jízdní pruh Rudolfovská třída (linky 14, 18, 21)

Všechna preferenční opatření[4] včetně Koridoru MHD jsou vyznačena na obrázku č. 3.

Obrázek 3 Preferenční opatření ve městě

1.2 Individuální automobilová doprava a místní komunikace

Nemalé množství lidí však dává přednost individuální automobilové dopravě (IAD). Jedná se o mnoho občanů města a také o obyvatele přilehlých obcí a vesnic, kteří každý den používají automobily za účelem přesunu do místa pracoviště. Vzniklé dopravní proudy často vedou přes centrum města, kde se kříží s linkami veřejné hromadné dopravy. Vznik dopravních kongescí, a to převážně v ranních a odpoledních

[4] Stav k měsíci únor 2017

hodinách, je nevyhnutelný a předvídatelný. Bohužel cestující musí se zdržením a delší jízdní dobou počítat.

S růstem počtu automobilů ve městě roste i objem exhalací, jakožto přímý důsledek častého používání automobilů. Silniční doprava patří mezi velké producenty některých škodlivých látek a má tedy velký vliv na životní prostředí. Mezi látky, které jsou do ovzduší vypouštěny, patří například oxid uhličitý (CO_2), oxid uhelnatý (CO), oxidy dusíku (NO_x), prachové částice, oxidy síry (SO_x), atd.

Automobilová doprava napomáhá vzniku smogu[5]. Hovoříme o tzv. Londýnském, neboli redukčním smogu, pokud je venkovní teplota vzduchu kolem 0 ^{0}C, je vysoká vlhkost a inverzní teplota vzduchu. Tento druh smogu je typický pro zimní období. Při této situaci moou mít především starší lidé a děti problémy s dýcháním. Kalifornský, neboli oxidační smog, se vyskytuje v letním období, kdy se teplota vzduchu pohybuje kolem 30 ^{0}C a sluneční záření interaguje se složkami plynů NO_x, SO, SO_2. Tento druh smogu je dráždivý, trpí především kůže a oči.

Dopravní situaci a životní prostředí ve městě dále komplikuje doprava tranzitní a tangenciální, protože chystaný obchvat Českých Budějovic není dosud hotový. Problémy přináší i doprava zbytná. Jedná se o všechny druhy zbytné dopravy. Kvalita života ve městě se pak snižuje.

Pokud nebudou vytvořeny vhodné podmínky pro existenci VHD, bude stávající trend pokračovat. Nezbytná je podpora v územním plánování, finanční podpora a další. Aby byla veřejná hromadná doprava opět atraktivní, je třeba potenciálním cestujícím navrhnout ucelený koncept, přičemž cestovní doba je pouze jedním z faktorů, který lze systémem preferencí veřejné hromadné dopravy zlepšit.

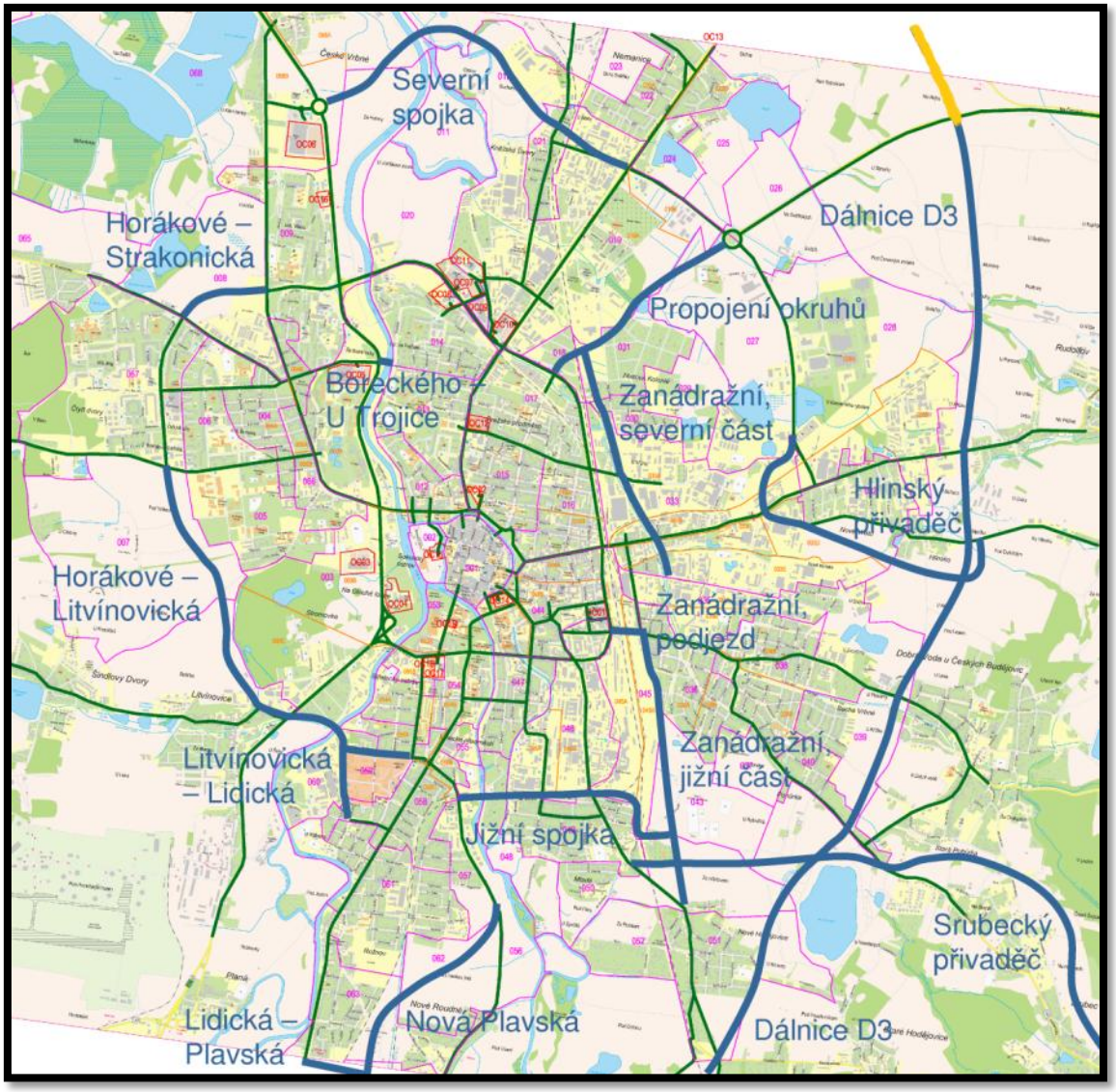
Situaci ve městě je potřeba řešit i dostavbou nových komunikací. Město České Budějovice vytvořilo seznam prioritních dopravních staveb, které jsou vidět na obrázku č. 4. Část dálnice D3, která má zajistit městu chybějící obchvat, je v realizaci. Konkrétně jde o úseky D3 0309/I Bošilec – Ševětín a D3 0309/III Ševětín – Borek. Podle ŘSD by v letošním roce (2017) měl být dostavěn úsek dálnice D3 0309/III Borek – Úsilné (obrázek č. 4 - vyznačen žlutě).

[5] Název vznikl spojením dvou anglických slov smoke (kouř) a fog (mlha).

Stavby celoměstského významu by měly být v provozu do roku 2020. Jedná se o „Zanádražní – severní část, Severní spojka, Horákové – Strakonická, Litvnínovická – Lidická, Horákové – Litvínovická ‚Jižní spojka“.

Nové stavby, které již byly uvedeny do provozu: „Propojení okruhů, Zanádražní – jižní část, Zanádražní – podjezd.

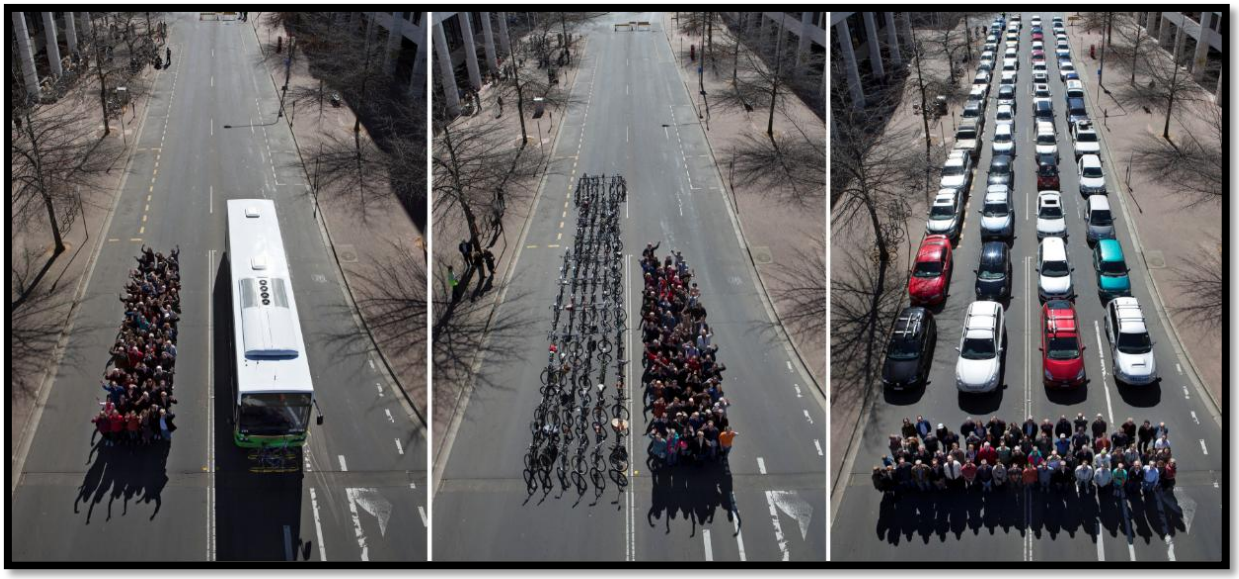
Stavby lokálního významu „Hlinský přivaděč, Srubský přivaděč, Nová Plavská“ jsou zatím v plánu.



Obrázek 4 Vyznačení prioritních dopravních staveb [Zdroj: (6)]

2 Preference veřejné hromadné dopravy

„Preference veřejné hromadné dopravy znamená její upřednostňování před individuální automobilovou dopravou.“ [Zdroj: (7)*].* Snažíme se, aby vozidla veřejné hromadné dopravy jezdila městem plynule, rychle a pokud možno bez zbytečných zpoždění, vzniklých například čekáním vozidel v kongescích. Preferenci VHD také chápeme jako soubor opatření, které vedou ke komplexnímu zvýhodnění (finanční dotace, legislativní opatření, atd). Výsledkem je pak ucelený a dobře fungující systém veřejné hromadné dopravy, který se tak i mimo jiné stává atraktivnější.*„Největších úspěchů je možno dosáhnout u kolejové dopravy, a to tehdy, je-li trať vedena nezávisle na pozemní komunikaci“ [Zdroj:* (7)*].* Kolik uličního prostoru je potřeba pro přepravu stejného počtu lidí je vidět na obrázku č. 5.



Obrázek 5 Srovnání přepravních kapacit vybraných dopravních prostředků [Zdroj: (8)]

2.1 Základní dělení preference VHD na SSZ

2.1.1. Absolutní

„V běžném provozu plynulý průjezd všem vozidlům MHD křižovatkou, lze dosáhnout na SSZ s jednoduššími dopravními poměry“ [Zdroj: (7)*].* Umožňuje aktivně v předstihu ovlivňovat, respektive upravovat signál volno u SSZ tak, aby vozidla veřejné hromadné dopravy projela plynule danou křižovatkou.

2.1.2. Podmíněná

„Neumožní sice všem vozidlům MHD průjezd křižovatkou bez zdržení, ale podstatně sníží počet zastavených a zdržených vozidel, uplatňuje se na složitých křižovatkách.“ [Zdroj: (7)*]*

2.1.3. Aktivní

Umožňuje aktivně v předstihu ovlivňovat, respektive prodlužovat signál volno u SSZ tak, aby vozidla veřejné hromadné dopravy projela plynule danou křižovatkou. To znamená, že s aktivní preferencí lze dosáhnout absolutní preference.

2.1.4. Pasivní

„Takový způsob řízení, při kterém jsou pevné signální programy optimalizovány podle předem zjištěného obvyklého chování vozidel MHD. Jedná se například o koordinované zelené vlny, které zohledňují pravděpodobný pohyb vozidel MHD.“

[Zdroj: (9)]

2.2 Další dělení preference veřejné hromadné dopravy

2.2.1. Částečná segregace

- **Vyhrazený jízdní pruh**

Šířka pruhu je standardně 3,5 m. Existuje několik variant provedení vyhrazeného jízdního pruhu (BUS, BUS na tramvajovém tělese, BUS+CYKLO, BUS+TAXI, BUS+TAXI+CYKLO).

Podle typu vyhrazeného jízdního pruhu je začátek[6] a konec[7] označen příslušnou svislou dopravní značkou. Zároveň se vyhrazený jízdní pruh označuje i VDZ (V 1a nebo V 2b a V 15 „Nápis na vozovce“- např. „BUS“). „*Vyhrazený pruh lze vyznačit i pro jiný druh vozidla nebo k určitému účelu. V takovém případě se v modrém poli vyznačuje příslušný symbol vozidla nebo vhodný stručný nápis (např. „TAXI“).“[Zdroj:* (10)*]* Vyhláška č. 294/2015 umožnila využívat vyhrazený jízdní pruh i pro vozidla linkové osobní dopravy. Dříve mohly vyhrazený jízdní pruh využívat jen dopravní prostředky MHD. Platnost vyhrazeného jízdního pruhu může být časově omezená. Časové vymezení jízdního pruhu bývá v ranní a odpolední dopravní špičce.

Samostatný jízdní pruh může být fyzicky oddělený středním dělícím pásem, jedná se o vysazenou plochu větší jak 5 m^2. Oddělení je možné provést i podélnými dělícími prahy, nebo dopravním stínem.

- **Oddělení tramvajového pásu podélnými dělícími prahy**

Tramvajový pás pro obousměrný provoz má šířku 7,0 m. Oddělený tramvajový pás s dělícími prahy je na obrázek č. 6. Jestliže je tramvajová kolej uzpůsobena pro pojíždění vozidly, může být tramvajový pás využit i pro veřejnou autobusovou dopravu, popřípadě pro vozidla IZS. Vyhrazené jízdní pruhy jsou výhodné proto, že jsou nezávislé na dopravní situaci

[6] SDZ „Začátek vyhrazeného jízdního pruhu“ č. IP20a
[7] SDZ „Konec vyhrazeného jízdního pruhu“ č. IP20b

ve městě. Při dopravních nehodách, kongescích není VHD nijak ovlivněna a systém dopravy po městě funguje i nadále. Nedojde k celkovému kolapsu dopravy ve městě.

- **Místní komunikace s omezeným vjezdem**

V centrech měst mohou být vedeny linky VHD v pěších zónách, v zónách TEMPO 30, či obytných zónách. Vjezd do některých komunikací je umožněn pouze vozidlům MHD, VHD. Zákaz může být celodenní, nebo časově omezený. Takto omezený vjezd je vyznačen dopravním značením B1 doplněným dodatkovou tabulkou E 13 (obrázek č. 7). V některých případech je možné zapustit do povrchu komunikace zajíždějící sloupek. Při detekci prostředku VHD sloupek zajede. Po projetí se sloupek vrátí do původní polohy.

Obrázek 6 Oddělený tramvajový pás, Karlovo náměstí, Praha

Obrázek 7 MK určená výhradně pro provoz VHD, ulice Spálená, Praha

2.2.2. Úplná segregace

Dopravní prostředky jsou provozovány zcela odděleně od ostatní dopravy. Komunikace je uzpůsobená pro provoz pouze určitého dopravního prostředku.

- Podpovrchová tramvaj (Stuttgart)
- Nadzemní dráha (Bangkok, Chicago)
- Lanová dráha (Petřín, Tbilisi)
- Metro (Praha, Londýn, Paříž)

2.2.3. Přednost v jízdě

- Světelné signalizační zařízení

Vozidlům VHD je umožněn plynulý průjezd křižovatkou na základě změny signálního plánu řadičem. Vozidla VHD se přihlašují v příslušné vzdálenosti tak, aby byl řadič schopný adekvátně upravit signální plán. Blíže se tomuto tématu věnuje kapitola 2.4.

- Světelná závora

Světelná závora se používá pro přednostní průjezd vozidel VHD. Může se jednat opřednostní průjezd na křižovatkách řízených SSZ, o přednostní průjezd zúženým prostorem, či převedení vozidla z vyhrazeného jízdního pásu příčně přes pozemní komunikaci, atd. Na obrázku č. 8 a 9 je zobrazena světelná závora v ulici O. Nedbala v Českých Budějovicích. Tato světelná závora je umístěna těsně za zastávkou VHD. Při požadavku vozidla VHD řadič změní signální plán tak, aby vozidlo dostalo přednostně signál volno před IAD ve stejném směru.

Obrázek 9 Světelná závora, signál volno pro VHD

Obrázek 8 Přednostní průjezd prostředku VHD

- Systémová přednost

Systémová přednost umožňuje přednost v jízdě vozidlům VHD uspořádáním místních komunikací. V praxi to znamená, že je například hlavní pozemní komunikace vedena ve směru trasy linky VHD. Dalším příkladem je výjezd z vyhrazeného jízdního pruhu, kdy vozidla ostatní dopravy dávají přednost vozidlům VHD.

2.2.4. Finanční podpora, dotace

- Finanční podpora z rozpočtu města
- Finanční podpora kraje
- Dotace z Evropské Unie – např. ROP Jihozápad.

Jízda vozidly VHD je v souvislosti s rostoucími cenami ropy mnohdy výhodnější. Především také proto, že v 60% - 70% případů je v automobilu přítomna jen jedna osoba.

2.2.5. Kombinace

Nejefektivnější je kombinace několika způsobů preference současně. Například vyhrazený jízdní pruh pro autobus v kombinaci s podmíněnou preferencí na křižovatkách řízených SSZ.

2.3 Efekty preference VHD

2.3.1. Přímé

- *Energetické úspory dosažené snížené počtem zabrzdění a rozjezdů autobusů a trolejbusů před SSZ a v kolonách popojíždějících vozidel*
- *Úspory na počtu vozidel v oběhu a počtu řidičů*
- *Zrychlování MHD ve městě*
- *Zvyšování komfortu přepravy v MHD*

2.3.2. Nepřímé

- *Pozitivní vliv na dělbu práce mezi VHD a IAD, přesun cestujících k VHD*
- *Snižování všech negativních účinků dopravy na životní prostředí*
- *Zlepšení podmínek pro VHD i IAD*

[Zdroj: (11)]

2.4 Technologie preference veřejné hromadné dopravy

K preferenci vozidel VHD na SSZ je zapotřebí celé řady technických opatření. Mezi základní vybavení patří řadič, detektor, výstroj.

2.4.1. Řadič

Řadič je elektronické zařízení, které řídí dopravní provoz na křižovatce pomocí SSZ na základě signálního plánu.

- **Signální plán s pevným cyklem**

Řadič přepíná jednotlivé fáze podle stejného pravidla. Jednotlivé fáze se opakují, trvají stejně dlouho a jejich pořadí je pevně dané. Tento druh řízení je používám u jednodušších křižovatek.

- **Signální plán s pevným cyklem s možností zařazení fáze na výzvu**

Řadič přepíná jednotlivé fáze podle stejného pravidla. Při výzvě zařadí požadovanou fázi. Tento druh řízení je například u křižovatky, kde je umožněn chodcům přechod vozovky po zmáčknutí výzvy.

- **Signální plán s dynamickým řízením**

Při dynamickém řízení křižovatky se signální plán skládá dle aktuální intenzity dopravy, popřípadě preferuje VHD. Umožňuje prodloužení, respektive zkrácení či prohození fází daného signálního plánu. Informace o aktuální dopravní situaci získává z detektorů. Detektory požadavků VHD na preferenci mohou být odlišné.

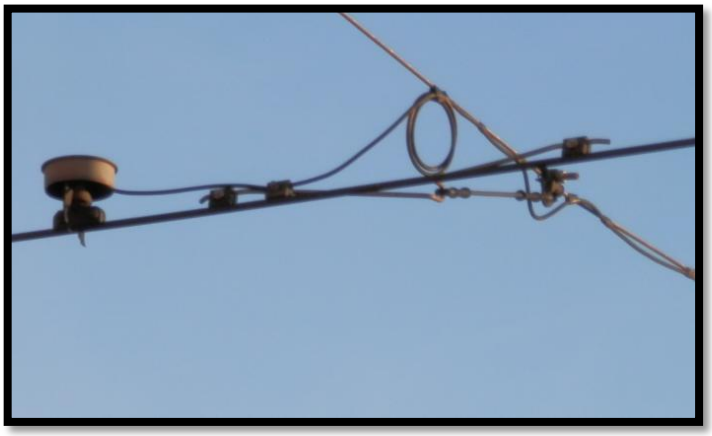
Způsob preference na křižovatkách se světelným signalizačním zařízením

- Prodlužování vlastní fáze, zkrácení kolizní fáze
- Vložení preferenční fáze – při vícefázovém řízení
- Předvýběr kolizní fáze, změna pořadí fází
- Okamžité doplnění volna do fáze
- Časové ostrůvky, výjezdy ze zastávek, výjezdy z vyhrazených pruhů

2.4.2. Detektor

Aby bylo možné řídit signální plán a preferovat vozidla VHD, je třeba vozidla detekovat. K detekci je možné použít trolejové kontakty, kolejové obvody, vidodetekce, radiodetekce, infradetekce, GPS a jiné. Rozeznáváme detektory intrusivní, neintrusivní a detektory umístěné na vozidle. Intrusivní detektory jsou takové detektory, které nějakým způsobem zasahují do vozovky. Většina detektorů vozidel VHD tak patří mezi neintrusivní (obrázek č. 10). Výjimkou je například indukční smyčka. Indukční smyčka reaguje na změnu magnetického pole.

Rozlišuje přihlašovací a odhlašovací detektor. Přihlašovací detektor by se měl nacházet v dostatečné vzdálenosti před křižovatkou řízenou SSZ. Lze tak zajistit dostatek času pro řadič, aby stihl zareagovat a změnil signální plán. Vhodná vzdálenost umístění přihlašovacího detektoru je 200 - 500m v závislosti na okolnostech. Pokud je v blízkosti umístěna zastávka, umisťuje se přihlašovací detektor těsně před vjezdem do zastávky. Bere se zde v úvahu čas strávený v zastávce. Odhlašovací detektor se umisťuje těsně před vjezdem do křižovatky.



Obrázek 10 Kontaktní trolejový detektor

2.4.3. Výstroj

Návěstidlo je zařízení, které je v místě stopčáry umístěno na sloupu a zobrazuje jednotlivé signály „Volno“, „Pozor“, „Stůj“. Jedná se o tříkomorové zařízení. Abychom odlišili signály pro

IAD a VHD, používáme speciální čtyřsvětelná návěstidla tzv, „čočky“, jejichž zobrazované signály mají pouze žlutou barvu. Příslušné signály jsou kombinací rozsvícených žlutých světel. Zobrazované signály jsou „Stůj“ a „Volno“ do jednotlivých směrů (i více směrů najednou). Návěstidlo se používá ve vyhrazeném jízdním pruhu. Jednotlivé světelné terče jsou podstatně menší. Návěstidlo má odlišný tvar (obrázek č. 11, 14).

SSZ určené pro VHD by mělo být doplněno výzvovým návěstidlem. Při zaznamenání přihlášení požadavku vozidla VHD se rozsvítí příslušný směr. Pár sekund před signálem „Volno“ se toto výzvové návěstidlo rozbliká. Toto je nejpoužívanější výstroj v České republice. Ve světě však můžeme narazit na různé typy návěstidel. Na obrázku č. 12 je zobrazeno návěstidlo používané v Bordeaux, Francie. Další příklad – obrázek č. 13 pochází ze Seoulu.

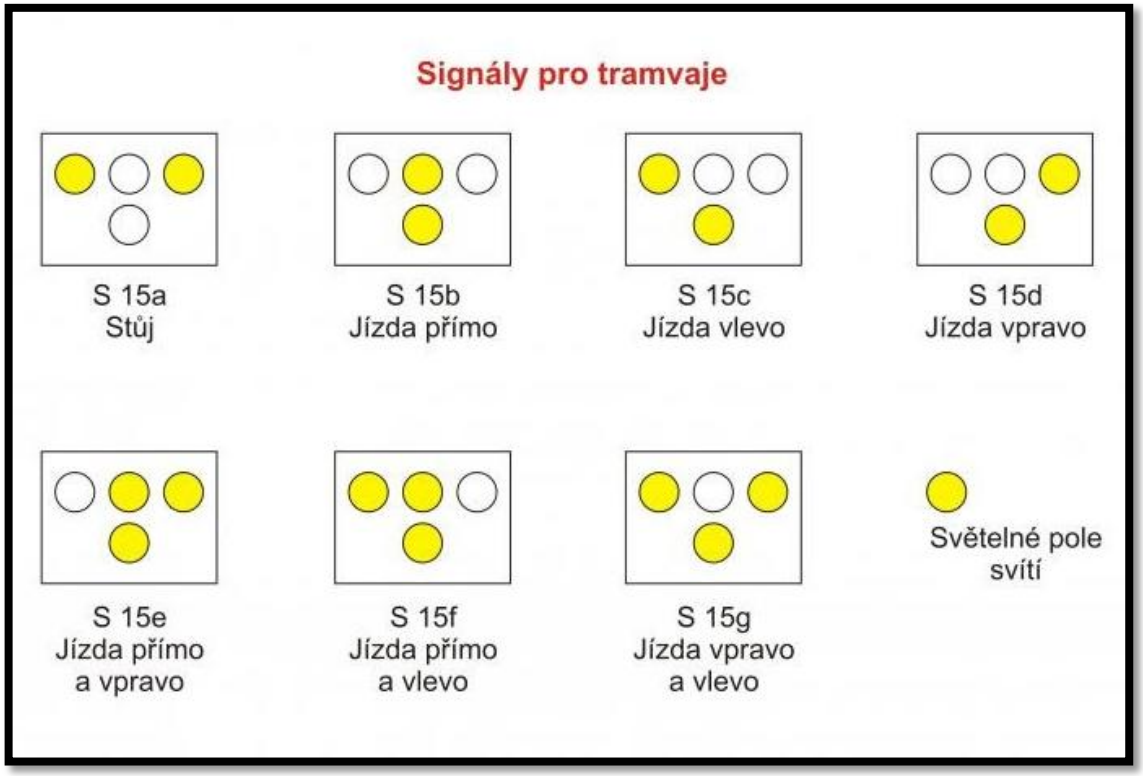
Obrázek 11 Návěstidlo pro tramvaj, výzvové návěstidlo, Bělehradská x Otakarova

Obrázek 12 Návěstidlo pro tramvaj Bordeaux, Francie

Obrázek 13 Návěstidlo pro autobus, Seoul, Jižní Korea

Možnosti preference vozidel VHD při současném požadavku

- Dřív jede opožděnější vozidlo
- Dřív jede vůz, který přijede první
- Dřív jede vůz, který zajišťuje přípoj
- Rozhodnutí podle druhu vozidla VHD
- Dřív jede vůz, který směřuje do centra
- Dřív jede vůz, který bývá vytíženější
- Dřív jede významnější linka



Obrázek 14 Signály používané při preferenci VHD [Zdroj: (14)]

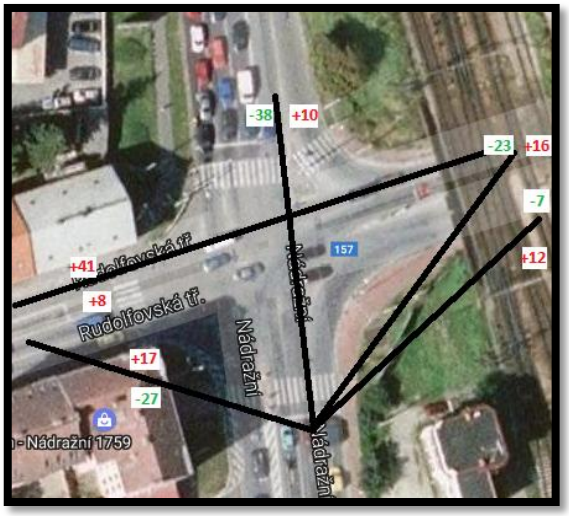
3 Vyhledání problémových lokalit

3.1 Lokality

Průzkum zaměřený na provoz MHD proběhl ve dnech 13. - 22. 10. 2015. Ze zjištěných dat vyplývá, že ke zpoždění prostředků MHD dochází na celé řadě míst. Rozhodujícím faktorem pro výběr třech nejkritičtějších lokalit byl počet linek, který danou lokalitou projíždí, frekvence spojů a počet přepravených osob. Nasbíraná data jsou k dispozici pro ranní špičku, odpolední špičku a pro celodenní průměrnou hodnotu. Zeleně označené číslo znamená snížení zpoždění, naopak červeně označená čísla signalizují nárůst zpoždění. Vybrané lokality mohou mít velký potenciál při zřizování preference VHD. Všechny hodnoty jsou uvedeny pro školní den. Některé úseky nebyly posuzovány, jelikož jejich rekonstrukce v rámci preference VHD je buď již v tuto chvíli hotová, nebo v realizaci. Ukázka zjištěných dat je v příloze č. 1.

3.1.1 Rudolfovská třída x Nádražní

Touto křižovatkou projíždí linky 5, 6, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 18, 19, 21. Průměrný počet přepravených osob tímto místem za jeden školní den je 24 587. Počet spojů projíždějících tímto místem za jeden školní den je 1066. Změna zpoždění je uvedena v následující tabulce č. 3. Z těchto údajů je patrné, že k nárůstu zpoždění došlo v ulici Nádražní v jižní části (Směr 1). Pouze u linky 14 se situace zhoršila v obou směrech. Situace je na obrázku č. 15



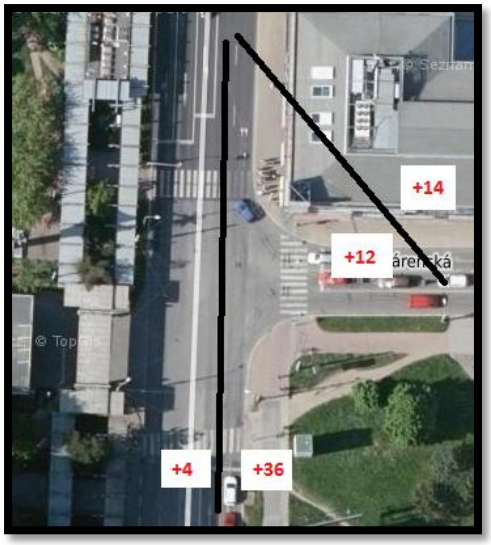
Obrázek 15 Rudolfovská tř. x Nádražní

Tabulka 3 Změna zpoždění

Č. linky	Zpoždění [s]	
	Směr 1	Směr 2
5,12	+10	-38
18,21	+16	-23
6,9,10,13	+12	-7
11,16,19	+17	-27
14	+8	+41

3.1.2 Pražská třída x Pekárenská

Touto křižovatkou projíždí linky 2, 4, 5, 6, 9, 11. Průměrný počet přepravených osob tímto místem za jeden školní den je 24 444. Počet spojů projíždějících tímto místem za jeden školní den je 882. Změna zpoždění je uvedena v následující tabulce č. 4. Z těchto údajů je patrné, že nejhorší situace je v ulici Pražská třída v jižní části (Směr 1). Situace je na obrázku č. 16.



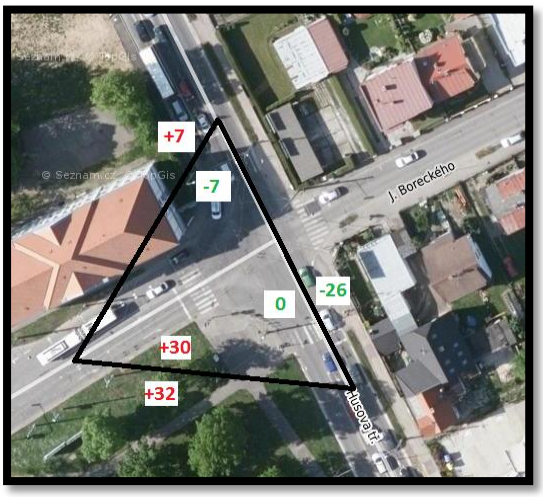
Obrázek 16 Pražská tř. x Pekárenská

Tabulka 4 Změna zpoždění

Č. linky	Zpoždění [s]	
	Směr 1	Směr 2
2,4,6,9,11	+36	+4
5	+14	+12

3.1.3 E. Rošického x Husova třída

Touto křižovatkou projíždí linky 1, 5, 8, 14, 15, 18, 21, 45. Průměrný počet přepravených osob tímto místem za jeden školní den je 10802. Počet spojů projíždějících tímto místem za jeden školní den je 533. Změna zpoždění je uvedena v následující tabulce č. 5. Z těchto údajů je patrné, že nejvíce se zhoršila situace při odbočování z ulice E. Rošického do ulice Husova třída. Špatný výsledek byl zaznamenán i pro měření v opačném směru. Situace je na obrázku č. 17.



Obrázek 17 E. Rošického x Husova tř.

Tabulka 5 Změna zpoždění

Č. linky	Zpoždění [s]	
	Směr 1	Směr 2
5,8,15,18	+7	-7
1,21,45	+32	+30
14	-26	0

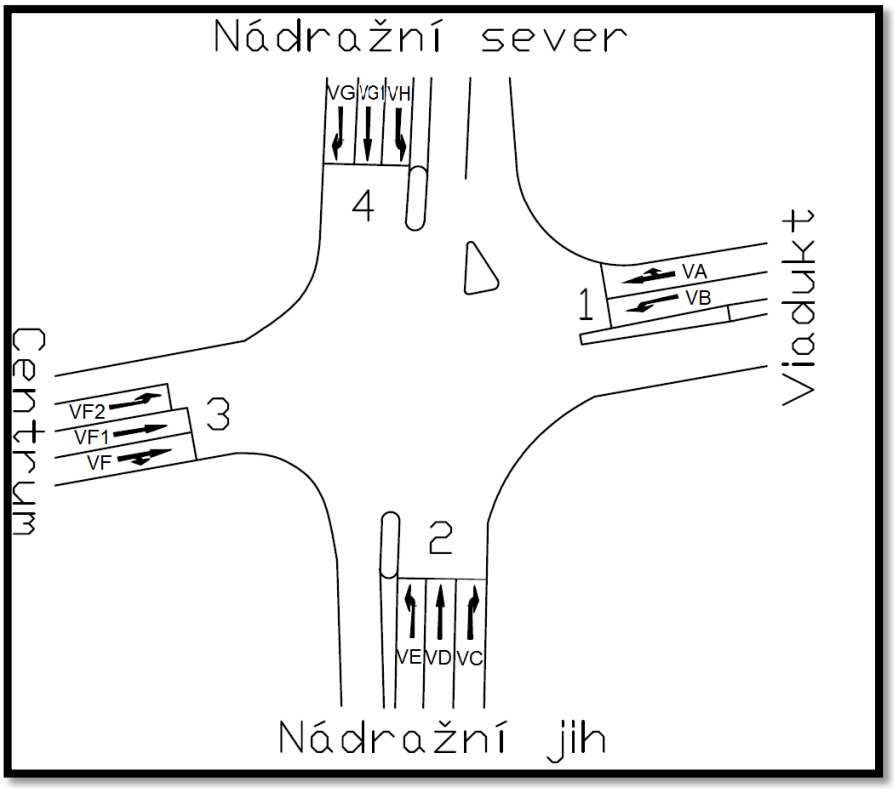
3.2 Vybrané problémové místo Rudolfovská třída x Nádražní

Tato křižovatka byla vybrána kvůli své důležitosti. Tímto místem je vedeno nejvíce tras linek MHD a několik tras linek regionální a dálkové autobusové dopravy. Současně je zde přepraveno nejvíce cestujících. Frekvence spojů MHD je maximální ve srovnání s ostatními uvažovanými lokalitami. Křižovatka je významný spojovací prvek mezi městskými částmi a centrem města.

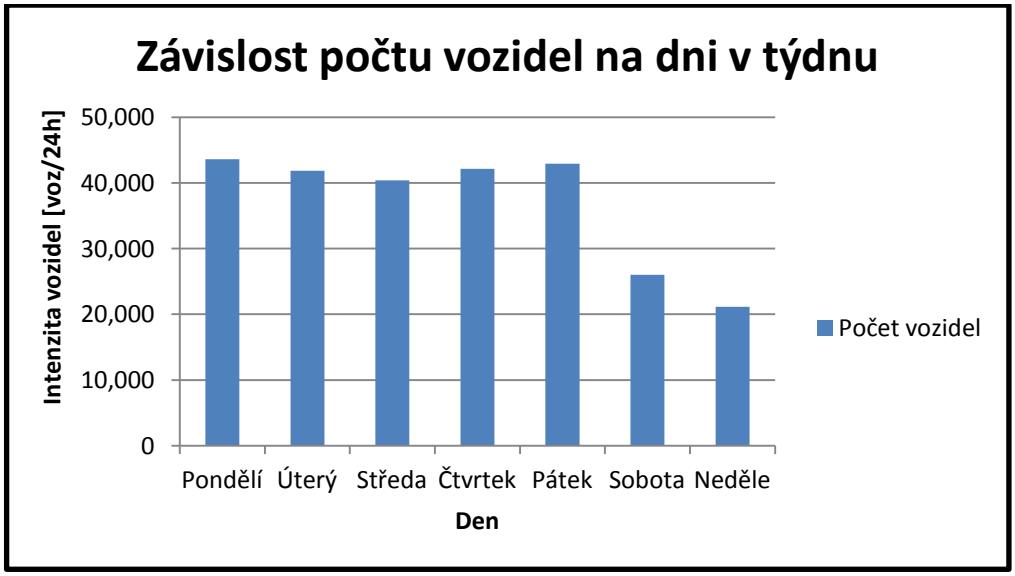
Situace zmíněné křižovatky je k dispozici na obrázku č. 18 a v příloze č. 3. Tato průsečná křižovatka, řízená SSZ s pevným řízením, je součástí městského okruhu. K detekci vozidel stojících před stopčarou jsou použity neintrusivní detektory. Na sloupcích jsou umístěné videokamery, které na obrazu situace v jízdních pruzích vytvoří virtuální smyčky. Na třech ramenech (č. 1, 2, 3) jsou celkem čtyři jízdní pruhy. Na ramenech č. 2 a č. 3 jsou celkem tři řadící pruhy, které směřují do křižovatky, jeden pruh je veden směrem od křižovatky. Na rameni č. 4 je celkem pět jízdních pruhů. Celkem jsou zde dva střední dělící ostrůvky. Oba jsou umístěny na rameni Nádražní (2, 4), v těchto místech jsou také dopravní stíny. Přes tyto střední dělící ostrůvky je veden přechod pro chodce. Třetí přechod pro chodce je v ulici Rudolfovská třída (centrum). Železniční viadukt, který je na pravém rameni 1, prakticky znemožňuje jakékoliv stavební úpravy. Problém spočívá ve fyzickém oddělení městských částí Pětidomí, Suché Vrbné, Pohůrka, Nové Hlinsko, Husova kolonie, které jsou významným zdrojem IAD. Bariéra je tvořena železniční tratí, která je usazena na náspu. Nejkratší možností, jak se dostat do centra města z těchto lokalit, je využít právě komunikaci Rudolfovská třída (viadukt). Toto místo se tak doslova stává dopravním „trychtýřem“. Od řešené křižovatky je v blízké vzdálenosti další průsečná křižovatka Rudolfovská třída x Dobrovodská (rameno 1), řízená též světelnou signalizací. Mezikřižovatkový úsek není dlouhý, měří přibližně 170 m. V tomto průpletovém[8] úseku jsou dva jízdní pruhy, z nichž jeden je určen pro odbočení vlevo, druhý pro směr přímý a odbočení vpravo. Vozidla přijíždějící od křižovatky v průpletovém úseku mění jízdní pruhy, čímž někdy blokují ostatní dopravu.

V místě řešené křižovatky se jednak střetává dopravní proud generovaný v městských částech, jednak dopravna jedoucí po městském okruhu. Výsledkem je vysoká intenzita dopravy, která v pracovních dnech přesahuje hodnotu 40 000 vozidel (graf č. 1). V sobotu byla tato hodnota kolem 25 000 automobilů, v neděli klesla na hodnotu 20 000 automobilů.

[8]Průpletový úsek je takový úsek na pozemní komunikaci, kde dochází ke křížení jízdních proudů za účelem změny jízdního pruhu.



Obrázek 18 Situace křižovatky

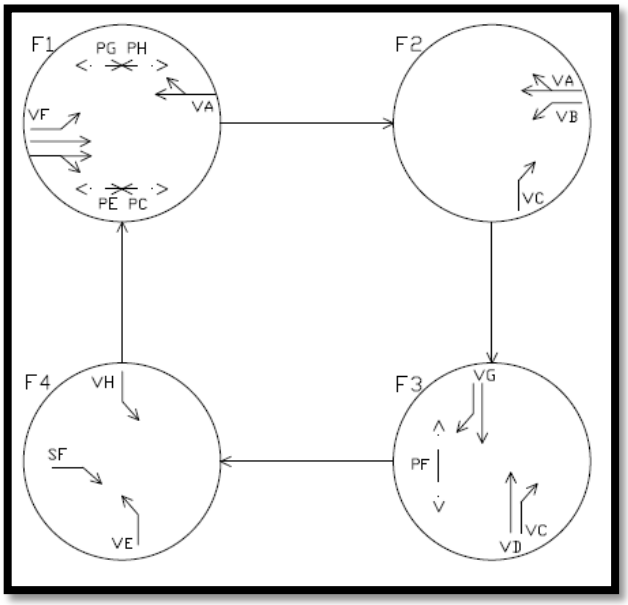


Graf 1 Záznam denní intenzity

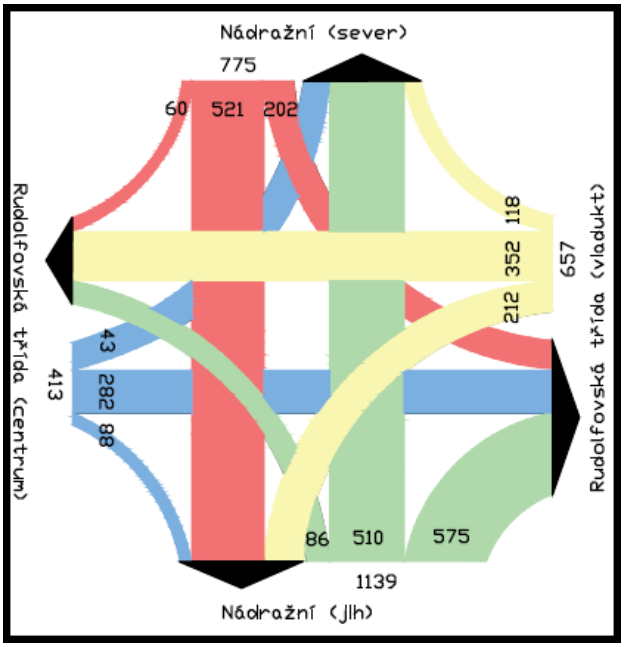
Nasbíraná data z detektorů byla poskytnuta Odborem správy veřejných statků Magistrátu města České Budějovice. Světelná signalizace je v provozu 24 hodin denně. Používají se zde čtyři signální plány. Signální plán P1(80s) se používá pro ranní špičku. Signální plán „P3“ je spuštěn tři krát denně pro běžný provoz s celkovou dobou cyklu 70 s. Pro odpolední špičku slouží plán „P2“(80s). „P5“ je označení pro izolované dynamické řízení - noční provoz. Přehled provozu signálních plánů je v tabulce č. 6. Fázové schéma je vidět na obrázku č. 19. Reálný signální plán pro odpolední špičku ze dne 29. 3. 2017 je vidět na obrázku č. 22.

Tabulka 6 Přehled provozu signálních plánů

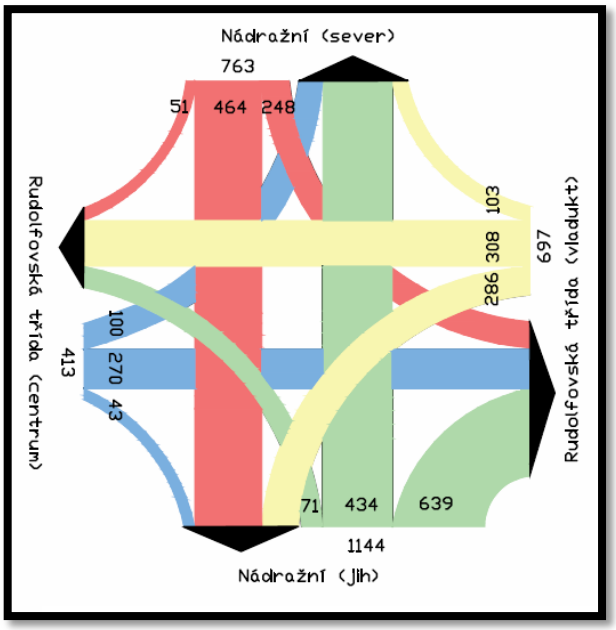
Program	Všední dny	Víkend
P5	23:00-5:00	23:00-5:00
P3	5:00-7:00	
P1	**7:00-9:00**	
P3	9:00-14:00	
P2	**14:00-18:00**	5:00-23:00
P3	18:00-23:00	



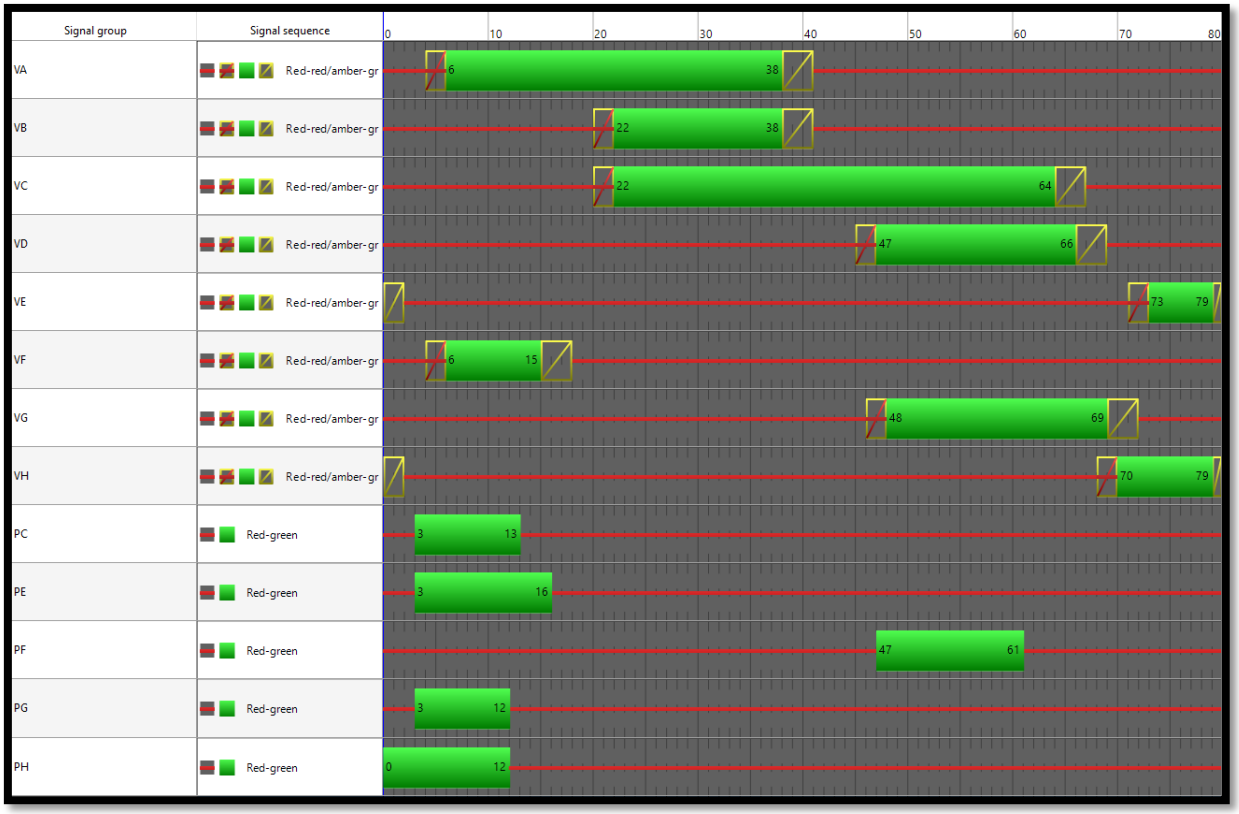
Obrázek 19 Fázové schéma



Obrázek 20 Pentlogram pro ranní špičku (7:30-8:30)



Obrázek 21 Pentlogram pro odpolední špičkovou hodinu (15:00-16:00)

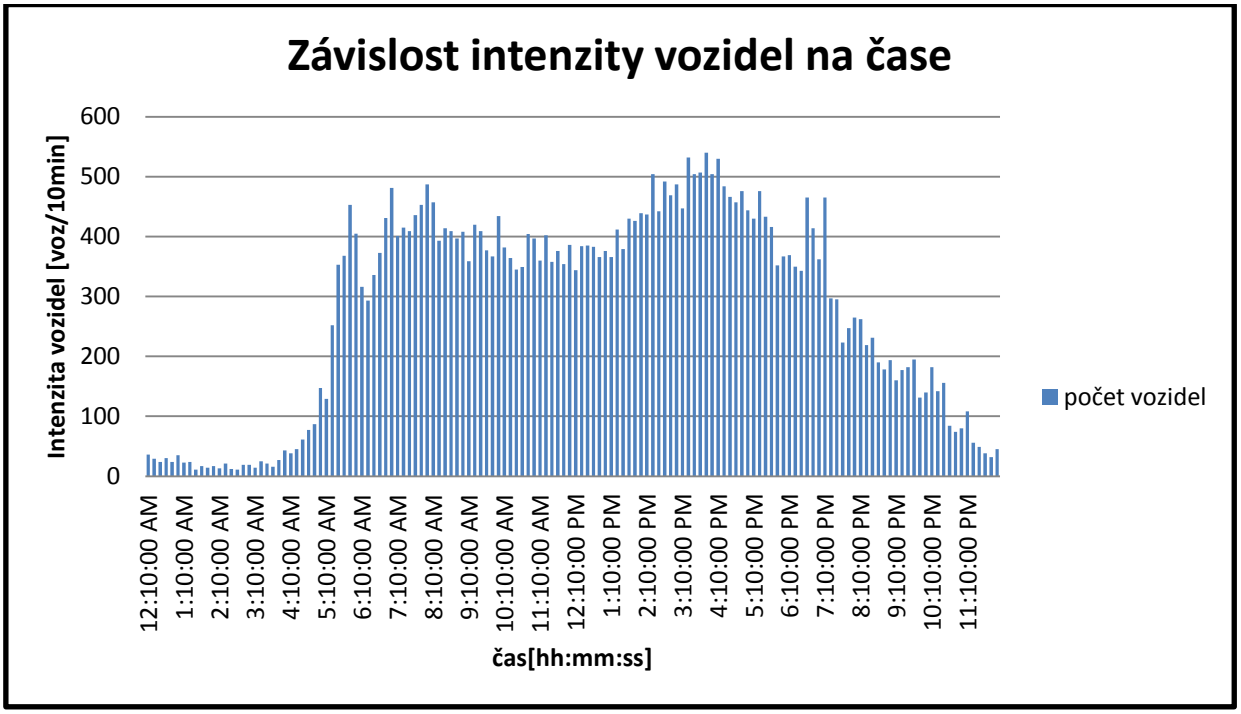


Obrázek 22 Pevný signální plán křižovatky Rudolfovská tř. X Nádražní

Hlavní pozemní komunikace je Rudolfovská třída, která však není součástí městského okruhu, a proto je zde nepřetržitý provoz SSZ důležitý i pro to, neboť bezpečnost provozu by mohla být ovlivněna tzv. psychologickou předností[9]. V odpoledních hodinách se situace obrátí a vzájemná koordinace je ve směru z centra na okraj města.

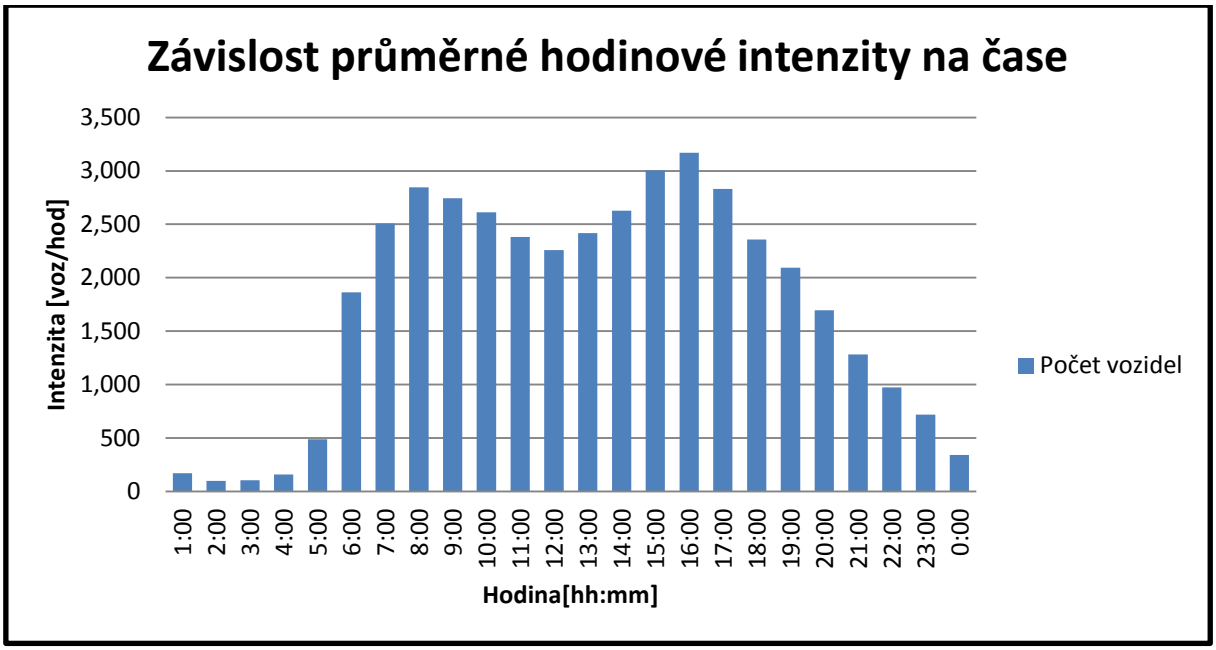
Z diagramu intenzit (obrázek č. 20, 21) plyne, že nejzatíženější směry jsou směr přímý po městském okruhu a směr Nádražní jih Rudolfovská třída směr pod viadukt.

Touto křižovatkou projíždí třináct denních a jedna noční linka MHD a několik desítek linek regionální autobusové dopravy. Problémy v této lokalitě nastávají především v době ranní a odpolední špičky. Nicméně intenzita dopravy je vysoká i v časovém období mezi dopravními špičkami, kdy běžně dosahuje hodnoty vyšší jak 2 250 [voz/h]. Ranní špičková hodina se vyznačuje strmým nárůstem. Odpolední špička narůstá a klesá postupně (graf č. 2, graf č. 3).



Graf 2 Záznam intenzity v průběhu dne 29. 3. 2017

[9] Psychologická přednost znamená automatické vnímání dané PK jako hlavní, šířka komunikace, tvar, vše naznačuje, že se jedná o hlavní PK.



Graf 3 Průměrná hodnota intenzity

ÚKD pro ranní a odpolední špičku je vyhodnocena v příloze č. 2. V ranní špičkové hodině byla stanovena ÚKD stupněm E – nestabilní stav. Je to dáno levým odbočením z Nádražní do Rudolfovské třídy (1), zde dochází k nejvyššímu zdržení, které bylo stanoveno na hodnotu 71,5 s (VH). Zdržení v ostatních řadících pruzích jsou hodnocena v rozmezí A-C. V době odpolední špičky byla úroveň kvality dopravy ohodnocena stupněm F – překročená kapacita. V tomto případě byly překročeny tři hodnoty střední doby zdržení. Tyto doby byly překročeny u směrů VD, VG, VH. Pokud porovnáme obě posouzení, zjistíme, že nejvyšší střední doby zdržení nalezneme právě u směru VH. U odpolední špičky byla zjištěna hodnota >120 s. Obecné hodnocení ÚKD je vidět v tabulce č. 7 níže.

Tabulka 7 Limitní hodnoty na vjezdu do světelně řízené křižovatky střední doby zdržení [Zdroj: (12)]

Úroveň kvality dopravy		Střední doba zdržení $t_{w,lim}$[s]
Označení	Charakteristika kvality dopravy	
A	Velmi dobrá	≤20
B	Dobrá	≤35
C	Dostatečná	≤50
D	Nestabilní stav	≤70
E	Nestabilní stav	>70
F	Překročená kapacita	-[1)]
[1)]ÚKD na stupni F je dosaženo při rezervě kapacity vjezdu *Rez ≤0*		

Stupeň A: doba zdržení je velmi malá.

Stupeň B: Podřazený dopravní proud je ovlivněný. Doba zdržení je malá.

Stupeň C: Doba zdržení je citelná. Vznikají ojedinělé krátké fronty.

Stupeň D: Fronta vozidel vyvolává výrazné časové ztráty. Dopravní situace je ještě stabilní.

Stupeň E: Tvoří se fronta, která se při existujícím zatížení již nesnižuje. Charakteristická je citlivá závislost, kdy malé změny zatížení vyvolávají prudký nárůst ztrát.

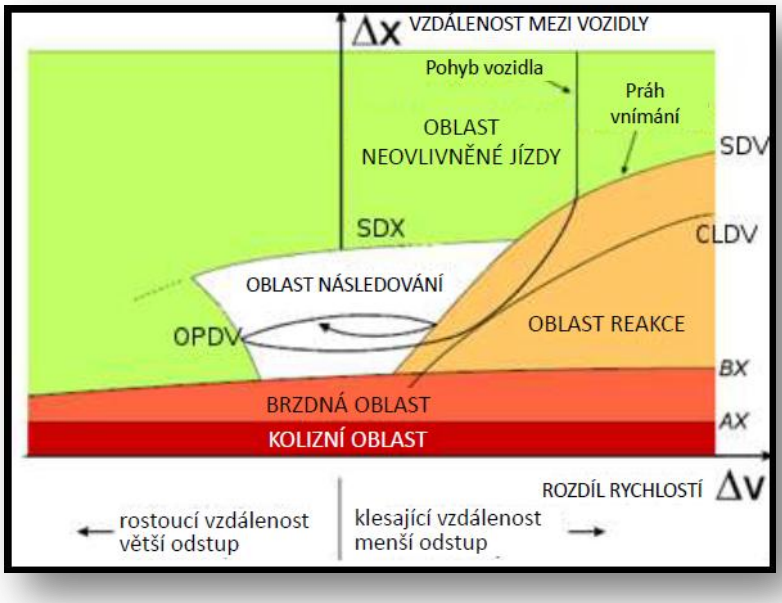
Stupeň F Kapacita je překročena. Fronta vozidel narůstá bez ohledu na dobu čekání. Křižovatka je přetížena v delším časovém intervalu.

[Zdroj: (13)]

4 Simulace dopravní situace v programu VISSIM

4.1 Dopravně simulační program VISSIM

Data, nasbíraná z videodetektorů - videosmyček, byla využita pro simulaci dopravní situace v programu VISSIM. Na ortofoto mapě, která zde slouží jako reálné pozadí a která byla do programu přidána pomocí funkce “Background“, byly vykresleny pomocí funkce „links“ všechny jízdní pruhy. Pro přehlednost situace bylo přidáno vodorovné dopravní značení směrové šipky (V9a) a svislé dopravní značení „Dej přednost v jízdě!“ (P4), „Hlavní pozemní komunikace“ (P2). Komunikace jsou řádně pojmenovány. V nastavení bylo zvoleno chování řidičů „Behavior type“ na „Urban (motorized)“, které je určeno pro chování řidičů v intravilánu, vhodné pro průpletové úseky, sbíhání jízdních pruhů, atd. Konkrétně se jedná o Wiedemannův model. Jde o psycho-fyzikální model chování (obrázek č. 23). Spojnice mezi rameny křižovatky, tzv. „Connectors“, byly vytvořeny funkcí „Links“. Pro vyhlazení křivky byl zvýšen počet bodů tvořící křivku „Spline“. U spojnic „Spline“ byla nastavena funkce „Lane change“, která udává vzdálenost, v jaké začne měnit vozidlo jízdní pruh. Hodnota v simulaci je 200 m.„Emergency stop“ definováno hodnotou 120 m udává poslední možnou pozici, kde vozidlo musí změnit jízdní pruh. Přednost v jízdě byla v místě křižovatky stanovena pomocí „Conflictareas“. Zeleně označená plocha znamená přednost. Naopak červená plocha označuje místo, kde vozidlo dává přednost. V místě sbíhání jízdních pruhů jsou nastaveny dvě červené plochy.



Obrázek 23 Wiedemannůvpsycho-fyzikální model chování řidiče

Na základě tohoto nastavení má v místě dvou červených ploch přednost vozidlo přijíždějící dřív. Na základě naměřených dat a zjištěných intenzit dopravy byly vloženy vstupy vozidel

na jednotlivá ramena pomocí funkce „Vehicle inputs“. V modelu jsou uvažována klasická evropská osobní vozidla. Nákladní automobily jsou bez přívěsu. Skladba dopravního proudu byla vytvořena pro jednotlivá ramena funkcí „Vehicle Compositions“. Model má tedy 4 různé vstupy a je nastaven jako stochastický. Směřování vozidel („Vehicle routing“) bylo nastaveno tak, aby odpovídalo skutečně naměřeným datům ze dne 29. 3. 2017 ve vymezené době odpolední špičky15:00 – 16:00. Směřování vozidel, jedoucí přímo a odbočující, bylo definováno procentuálně. Jelikož je řešená křižovatka v intravilánu, je použita funkce „Desired Speed“, která povoluje nejvyšší dovolenou rychlost. V tomto případě byla nejvyšší dovolená rychlost stanovena dle platných pravidel silničního provozu na 50 km/h. Pro přiblížení chování modelu co nejvíce reálné situaci, byla v obloucích vložena funkce „Reduced Speed“, která simuluje rychlost odbočujících vozidel. Pro rozlišné kategorie vozidel platí různé rychlosti při odbočování. Signální plán byl vytvořen podle podkladu pomocí „Signal Control“. Signální program má celkem čtrnáct signálních skupin. Doba signálu volno závisí na směru. Doba cyklu má 80 sekund. Je tedy nastaven program pro ranní, respektive odpolední špičku.

Komunikace pro pěší byla vytvořena pomocí „Spline“, přičemž v nastavení byl změněn typ pozemní komunikace na „Footh path“. Chodci byli vloženi do modelu pomocí „Vehicle input“, u nichž se změnila skladba vstupu na „Women“ a „Men“ v zastoupení 50 % a 50 %.

„Warm up time“ byl stanoven na 600 s, aby bylo docíleno zahuštění dopravní sítě. V opačném případě by nebyla simulace zcela věrohodná. Model by vykazoval nulovou saturaci křižovatky. Data naměřená z počátku simulace by byla zkreslená. Délka simulace byla nastavena na 4200 s, včetně „Warm up time“. Model sbírá měřená data v řezu jízdního pruhu. Zde je umístěn prvek „Data collection point“. Pro každý jízdní pruh musí být jeden prvek. Jelikož bylo třeba nasbírat data jen v jednom řezu jízdního pruhu, postačilo umístit jen 11 těchto prvků. Díky tomuto prvku bylo možné měřit akceleraci vozidel, celkovou ujetou vzdálenost vozidel od vstupu do sítě, délku vozidel, počet vozidel, počet osob ve vozidle, časové zdržení v kongesci a rychlost vozidel. Dalším možným výstupem je soubor „raw“, ve kterém je možné zjistit čas, kdy přední strana vozidla projela příčným řezem, čas, ve kterém zadní strana vozidla projela příčným řezem, ID vozidla, typ vozidla, okamžitou rychlost, zrychlení, počet osob ve vozidle, celkový čas strávený vozidlem v koloně, délku vozidla. Oba soubory byly zobrazeny pomocí Microsoft Office Excel.

Prvek „Vehicle travel time“ zjišťuje cestovní dobu vozidel v sekundách. Pro úsekové měření bylo zapotřebí umístit začátek a konec úseku. Mezi získanými daty byl počet vozidel, cestovní doba a průměrné časové zdržení. Tento prvek také umožňuje měřit průměrný počet zastavení vozidla v úseku, průměrné časové zdržení na osobu jedoucí ve vozidle, počet osob ve vozidle. Posledním potřebným měřícím prvkem bylo „Queue

counters“, který měří a vyhodnocuje délku kolony. Bylo třeba definovat, kdy se vozidlo nachází v koloně.

Linky MHD byly definovány samostatně funkcí „Public transportation lines“. Namodelovány byly všechny trasy. Každé lince, které jsou v běžném provozu označeny číslicí, byla přiřazena specifická barva. Jelikož některé linky jsou provozovány výhradně velkokapacitními vozy, bylo nutné tyto vozy namodelovat. V nabídce „2D/3D Models“ byl zadán nový prvek pojmenovaný „trolejbus“. Je sestaven ze dvou částí, jeho celková délka je 18,6 m. V modelu nelze namodelovat sběrače elektrické energie.

Pro zobrazení dat byl použit program Microsoft Office Excel. Ukázka naměřených dat ze simulace je uvedena v následující tabulce č. 8.

Time – čas vstupu vozidla do simulace, **No**. – číslo komunikace, kde se vozidlo nacházelo při vstupu do simulace. **Veh** – pořadové číslo vozidla v simulaci, **VehType** – typ vozidla (100 - IAD, 200 – Nákladní aut., 300- autobus), **Trav.** – doba jízdy vozidla mezi vstupem a projetím křižovatky, **Delay.** – zpoždění vozidel

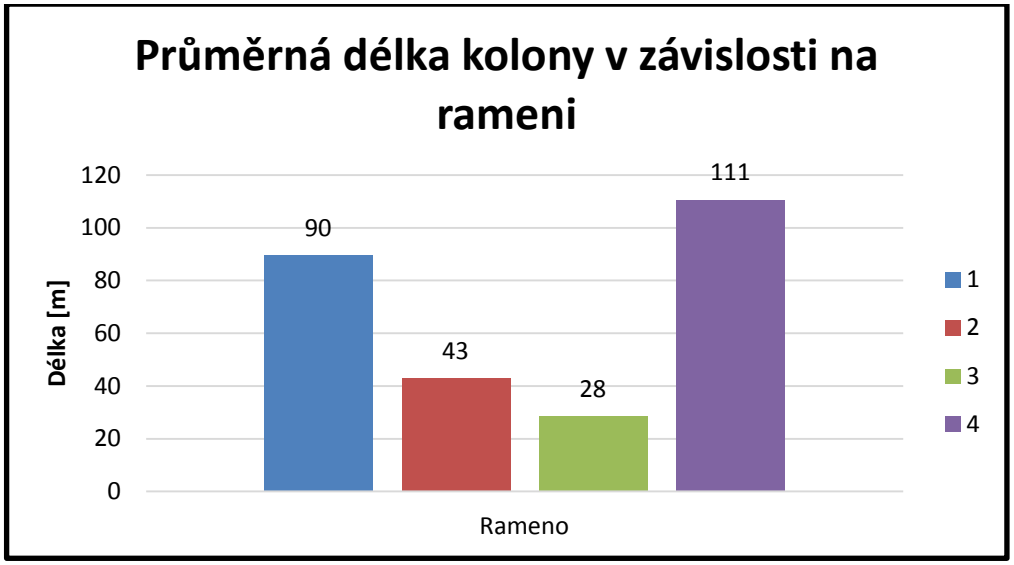
Tabulka 8 ukázka zaznamenaných hodnot detektory

Time	No.	Veh	VehType	Trav.	Delay.
3976.5	1	3530	100	47.2	24.2
3976.7	5	3507	100	77.6	60.6
3978.8	8	3485	100	110.7	92.5
3979.0	5	3522	100	60.7	43.6
3980.6	5	3523	100	58.8	43.2
3982.4	5	3519	100	67.6	52.7
3982.6	6	3462	300	139.5	116.5
3983.8	8	3489	200	109.6	85.1
3984.2	5	3520	100	69.0	52
3985.3	6	3496	200	101.6	81.2
3985.9	5	3527	100	59.8	44
3986.1	8	3449	100	108.2	90.2
3987.3	6	3500	100	97.0	80.8
3987.8	5	3525	100	63.6	48
3988.9	6	3521	100	72.1	55.9
3989.5	5	3526	100	64.1	47.9
3992.2	5	3532	100	61.0	43.6

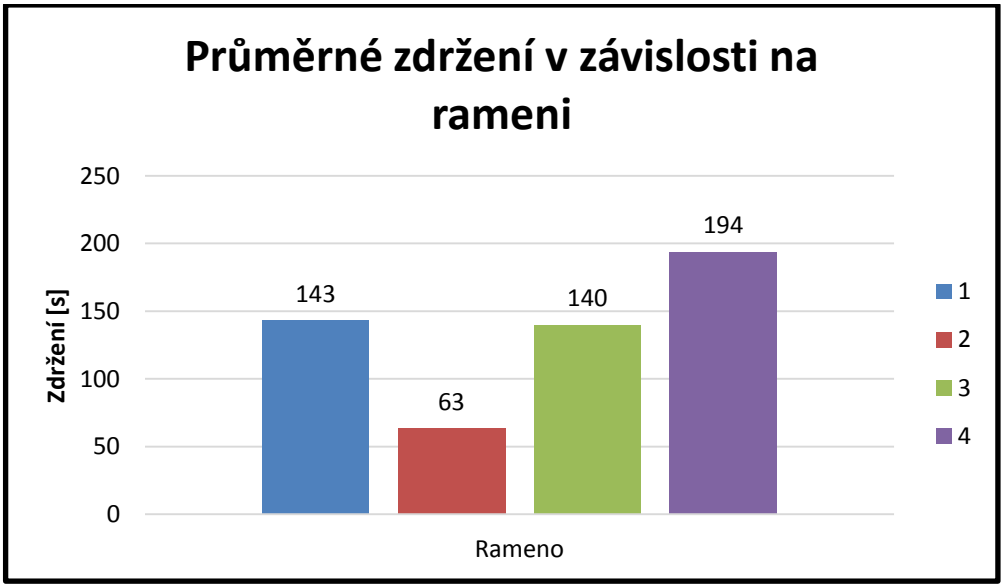
4.2 Vyhodnocení současného stavu

Simulace současné situace byla vyhodnocena v dopravním modelu VISSIM. Ze zjištěných dat vyplývá, že průměrné nejdelší kolony bývají na rameni 1 a 4. Nejmenší kolona je pak na rameni 3. Lze se domnívat, že tento stav odpovídá současnému nastavení signálního plánu,

který reflektuje odpolední dopravní špičku a je nastaven tak, aby byl v koordinaci s ostatními přilehlými křižovatkami a odváděl dopravu směrem z centra města. Průměrná délka kongesce na rameni 1 činila 90 m, na rameni 2 to bylo 43 m, na rameni 3 pak 29 m a na rameni 4 bylo naměřeno 111 m. Nejdelší zaznamenaná kolona byla na rameni 1 a měřila 202 m. Maximální počet zastavení 1452 byl zaznamenán na rameni 4. Z grafu č. 4 by se mohlo zdát, že preference VHD není potřebná, avšak zjištěná data v průzkumech dokazují, že tomu tak není. Graf č. 5 zobrazuje průměrné zdržení všech vozidel podle jednotlivých ramen.



Graf 4 Průměrná délka kolony v závislosti na rameni – současný stav



Graf 5 Průměrné zdržení v závislosti na rameni - současný stav

Pokud ke zdržení vozidel VHD dojde na začátku trasy, velmi těžko se snižuje v dalším průběhu cesty. Pokud dojde ke zdržení a vozidlo dále projíždí centrem města, je logické,

že i v tomto úseku dojde pravděpodobně k dalšímu navýšení zpoždění. Proto jsou opatření vedoucí ke snížení možnosti vzniku zpoždění velmi důležitá.

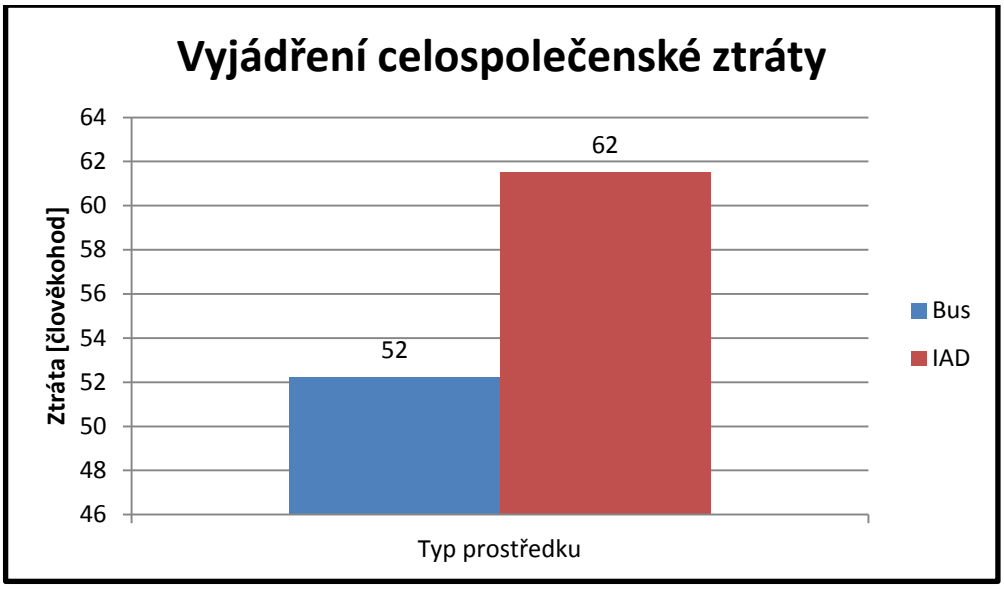
V následující tabulce č. 9 jsou zapsány hodnoty zdržení u vozidel VHD při zohlednění různých směrů. Cestující nejdéle čekají v linkách 6, 9, 10, 13, 18, 21 a ostatních linkách regionálních dopravců ve směru VB. Tento směr přivádí do centra města obyvatele několika městských částí a obyvatele z přilehlých měst a vesnic. Nejnižší hodnota je u směru VA. Důležité hodnoty jsou u směrů VC, VD, VE, VF, které odvádějí dopravu z centra města. Cílem této práce je dosáhnout snížení těchto hodnot. Nejvyšší zaznamenaná hodnota zdržení u VHD byla 354 s, nejmenší 0 s.

Tabulka 9 Zdržení vozidel VHD dle směrů - současný stav

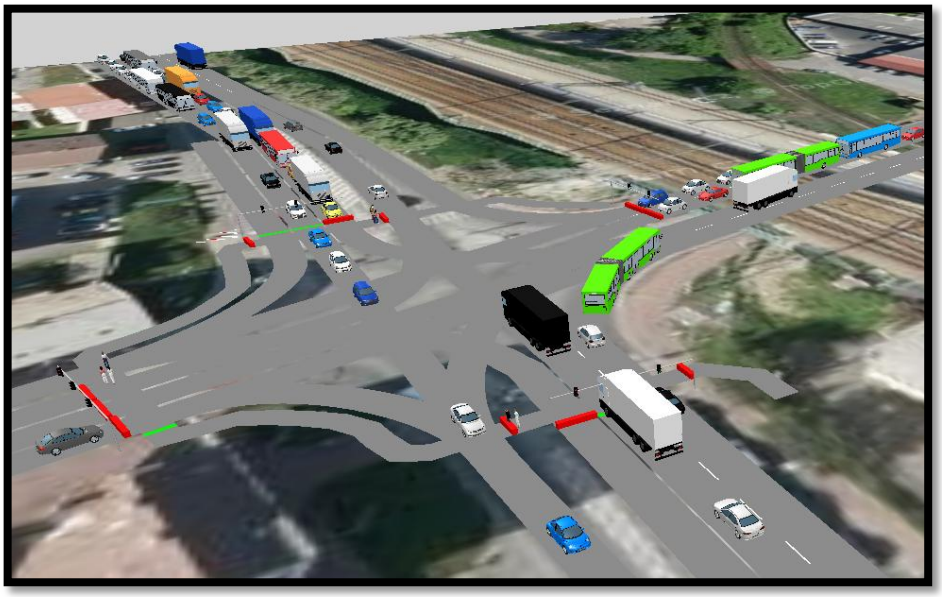
Směr	Zdržení celkem [min]
VA	**4,8**
VB	**45,7**
VC	**9,4**
VD	**11,3**
VE	**11,5**
VF	**12,8**
VG	**25,8**

V následujícím grafu č. 6 byla spočtena celospolečenská ztráta, která vznikne důsledkem časové ztráty, kdy ekonomicky aktivní lidé čekají v dopravní zácpě. Tento univerzální ukazatel bude jedním z hlavních faktorů zohledňovaný při výběru vhodné varianty. Ve výpočtu byl počet osob v automobilu stanoven na 1,5 a v autobusu na 20. Vzorec, pro výpočet celospolečenské ztráty: $Celospolečenská\ ztráta = zdržení\ [hod] * 1{,}5(20)$

Pokud by bylo možné zdržení zmenšit, lidé by získaný čas mohli využít nejen k výdělečné činnosti. Například k nákupům a tím podpořit ekonomiku. Prostředky VHD nabízejí velkou kapacitu, která není zcela vyčerpána. Pokud by se podařilo snížit zdržení vozidel VHD o jednotku času, klesla by celospolečenská ztráta výrazněji, než kdybychom snížili zdržení vozidel IAD o jednotku času. Ukázka simulace současného stavu je vidět na obrázku č. 24.



Graf 6 Vyjádření celospolečenské ztráty - současný stav



Obrázek 24 Ukázka dopravního modelu řešené křižovatky Nádražní x Rudolfovská třída

5 Návrh možných opatření

5.1 Varianta A

Varianta A je zaměřena na možnost preference bez aktivního ovlivňování signálního plánu. Tato varianta nemá být realizačně náročná. Jedná se o levnější způsob preference.

Rameno 1 je okolním stavebním uspořádáním (především kvůli železničnímu viaduktu) velmi komplikované co do preference VHD. V této variantě není možné vozidla VHD na tomto rameni preferovat.

Rameno 2 vykazuje nejvyšší hodnoty intenzity dopravy, přičemž více než 55% vozidel odbočuje vpravo (VC). Jedná se o směr z centra města. V odpolední špičce, na kterou je tato práce primárně zaměřena, hraje tento směr nemalou roli. Po toto rameno byl navržen vyhrazený jízdní pruh. Začínat by měl v zastávce „Nádraží“, jeho konec bude 100 m před křižovatkou. Konec VJP bude před začátkem řadících pruhů. Počítá se s celkovou délkou 140 m. Začátek VJP bude označen SDZ IP 20a. Pro vyšší efektivitu respektovanosti je doporučeno tento pruh, stejně jako v křižovatce Mariánské náměstí x Husova třída, zvýraznit červenou barvou. Za koncem VJP je nutné vyznačit VDZ „Žluté křížené čáry“ V12b. Toto opatření umožní vozidlům VHD snazší změnu jízdního pruhu. Konec VJP bude pak označen SDZ IP 20b. V programu VISSIM bylo nutné doplnit o model funkcí „Priority Rules“, která nastavuje pravidla přednosti. Za koncem VJP byla aplikována tato funkce. Přednost byla nastavena pro vozidla VHD. Ostatní vozidla v druhém pruhu zpomalí, či zastaví, pokud z VJP vyjíždí vozidlo VHD.

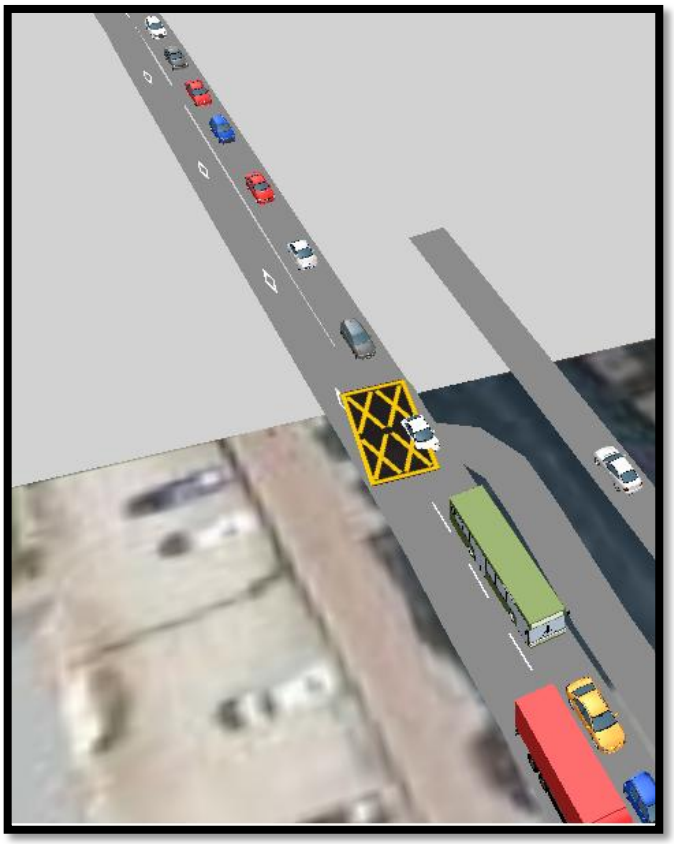
Na rameni 3 bylo doporučeno změnit uspořádání řadících pruhů. VF budu nově pouze pro odbočení vpravo. Vozidla VHD však z tohoto pruhu budou moci jet i přímo. Je nutné změnit SSZ a pro řadící pruh VF přidat pouze šipku. Zároveň je vhodné tento řadící pruh prodloužit. V této souvislosti zaniknou 3 parkovací stání. Pruh bude prodloužen o 20 m. Vozidla VHD se tímto způsobem vyhnou případné menší koloně v řadícím pruhu pro směr přímý. Jelikož řadícím pruhům VF, VF1, VF2 předchází jeden jízdní pruh, je možné, že budou vznikat menší kolony. Intenzita dopravy na rameni 3 není však příliš vysoká, a proto se předpokládá kladný účinek preference.

Rameno 4 je z pohledu preference v odpolední špičce méně důležité. Toto rameno přivádí dopravu do města, tedy opačně, než je v této variantě důležité. I přesto byla snaha v tomto místě co nejvíce upřednostnit vozidla VHD. Bylo navrženo nové uspořádání řadících pruhů. Počítalo se, že řadící pruhy VG a VG1 se sloučí. Nově by vznikl řadící pruh VG pro směr vlevo a směr přímý. Tato varianta se otestovala v dopravním modelu VISSIM a nejevila

se jako žádaná. Z tohoto důvodu se s tímto návrhem dále nepočítá. Rameno 4 bude ponecháno v původním stavu.

Stav navržených opatření je možné vidět na přiloženém obrázku č. 25 a 26.

Obrázek 25 Návrhnuté opatření ve variantě A



Obrázek 26 Autobus předjel kolonu stojících vozidel vyhrazeným jízdním pruhem

5.2 Varianta B

Jedná se o zlepšení varianty A. V tomto řešení se bude navrhovat aktivní ovládání signálního plánu společně s předcházejícími opatřeními. Přihlášení se provádí pomocí radiové komunikace mezi palubním počítačem a řadičem. Jedná se o návrh dražší a technologicky náročnější.

Rameno 1 - Na základě dosavadních zkušeností a pozorování, je preference v tomto místě žádoucí. V tomto úseku se vzhledem k problémům popsaným výše jevila jako nejvhodnější varianta aktivní preference. Na začátku tohoto ramena, tedy hned za první nejbližší křižovatkou se vozidla přihlašují a nárokují preferenci. V tomto případě byla použita aktivní preference v podobě prodloužení signálu volno v příslušném směru. Fáze 2 bude prodloužena na úkor třetí fáze, která se spouští pro směry VC, VD, VG a VG1. Prodloužením F2 se prodlouží volno pro směry VA, VB a VC.

Na **rameni 2** se vozidla VHD budou přihlašovat a žádat o preferenci. V takovém případě bude fáze prodloužena. Ve fázi 2 jsou směry VA, VB a VC. Není důležité, jestli je vozidlo VHD detekováno na rameni 1 nebo 2. Tyto dvě ramena jsou vzájemně provázána a jedná se o nejdůležitější směry, které je nutno preferovat. Vozidla VHD směřující z ramena 2 do centra (VE) nebudou aktivně preferována. Intenzita takto odbočujících vozidel je natolik malá, že není důvod současný stav upravovat. Současně s opatřeními navrženými ve variantě 1 nebudou vozidla ve směru VE zdržena, jelikož využijí VJP. Vozidla VHD ve směru VD rovněž využijí VJP a zkrátí tak svou dobu čekání.

Nejnižší intenzita dopravy je podle nasbíraných dat na **rameni 3**. I přesto občas dojde i v tomto místě ke zdržení vozidel VHD. Na základě těchto důvodů byla varianta 1 doplněna o aktivní preferenci řadícího pruhu VF. Pokud řadič přijme žádost na preferenci, zařadí se do signálního plánu fáze 5, která předchází fázi 1 o několik sekund. Vozidla VHD, která v jízdě pokračují přímo, získají několik sekund navíc, aby v úseku za křižovatkou mohla změnit jízdní pruh bez omezení ostatními vozidly. V dané vzdálenosti před křižovatkou bude nutné, aby se vozidla VHD přihlásila a nárokovala preferenci.

Rameno 4 není v této práci preferováno, jelikož je zaměřena na odpolední stav. V případě opačné situace, např. pro ranní špičku by bylo možné a vhodné aktivně upravovat signální plán dle potřeb.

Fáze 1 umožňuje jízdu na rameni 1 a 3 směrům VA, VF, VF1, VF2 a chůzi po přechodech PC, PE, PG a PH. V této fázi není možné uplatnit nárok na preferenci.

Ve Fázi 2 je signál volno určen směrům VA, VB a VC. Je možné prodloužit signál volno.

Fáze 3 se zkracuje, pakliže byl přijat požadavek na preferenci pro směry VA, VB, VC.

Fáze 4 zůstává nepozměněna.

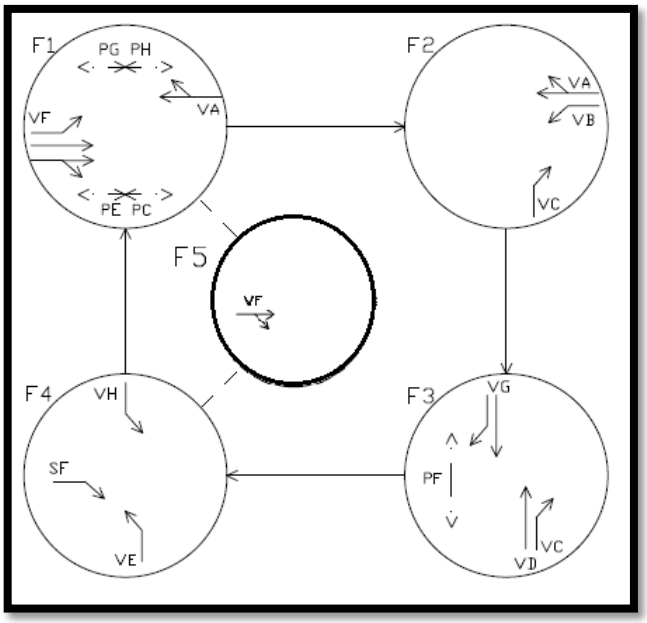
Fáze 5 bude zařazena pouze na výzvu. Signál volno bude v pravém řadícím pruhu (VF) na rameni 3 časově předsazen. IAD bude moci odbočit vpravo. Vozidla VHD mohou jet přímo, nebo odbočit vpravo. Intenzita odbočujících vozidel vpravo je nízká, proto se nepředpokládá, že by v tomto pruhu vznikaly kongesce a význam preference by vymizel. Volno pro tento řadící pruh nastává ve dvou situacích. Vždy ve fázi F1 a po výzvě ve fázi F5.

Nové fázové schéma je možné vidět na obrázku č. 27. Signál „Volno“ v řadícím pruhu VF v časovém předstihu je vidět na obrázcích č. 28, 29 a 30.

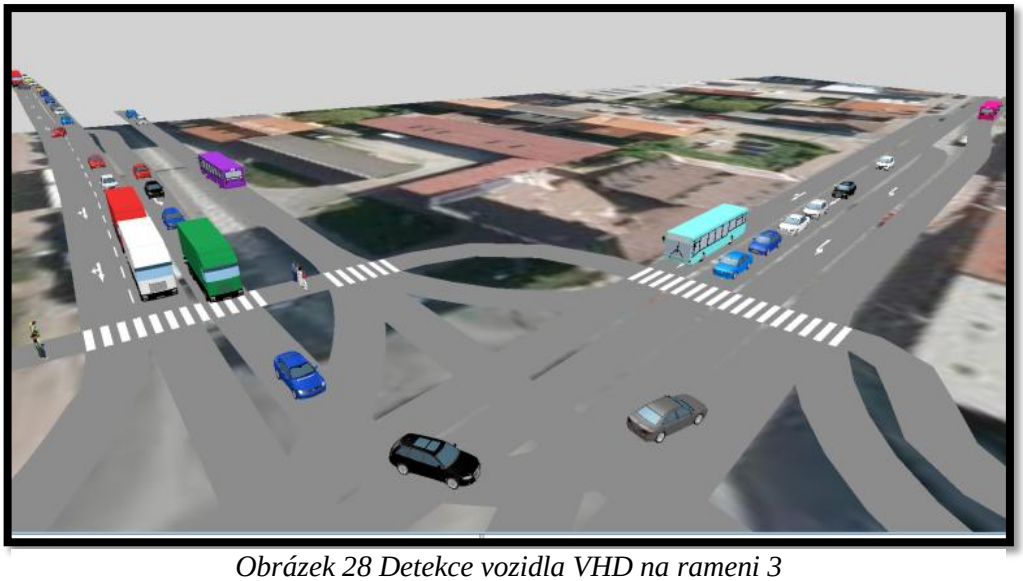
V Českých Budějovicích bude v rámci aktivní preference vozidel VHD využita technologie na bázi rádiové komunikace na síti TETRA. Proto je nezbytné vozidla VHD vybavit příslušným palubním vybavením. V simulaci VISSIM je přihlášení zajištěno pomocí detektorů, které simulují radiovou komunikaci. Pokud nebude přihlášené žádné vozidlo k preferenci na daném rameni, signál pro tento směr nebude prodloužen.

Předpokládá se, že intenzita dopravy bude narůstat každý rok. V budoucnu by bylo možné také prodloužit dobu cyklu, která v dnešní době je 80 s. Vzhledem k vzájemné koordinaci sousedních křižovatek by bylo nutné prodloužit dobu cyklu společně.

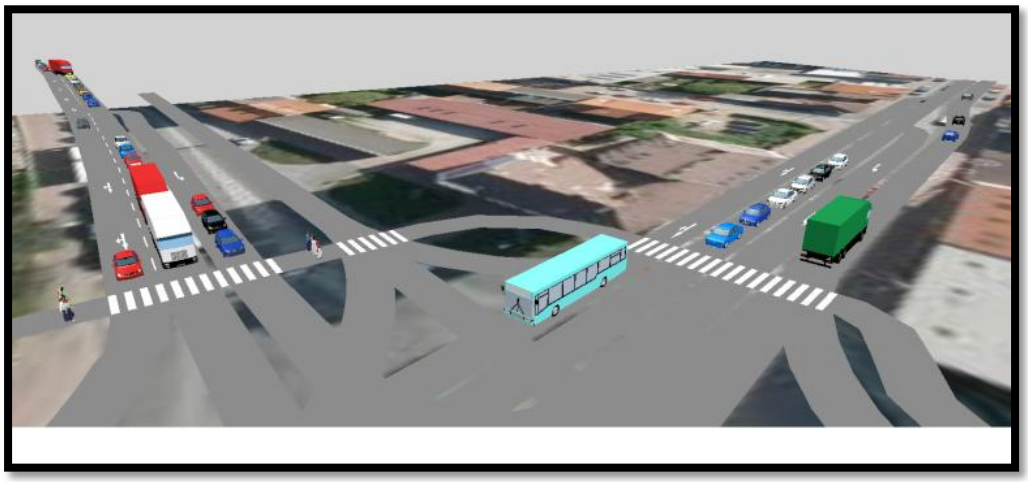
Pro ranní špičku bylo doporučeno prodloužit fázi 2 a fázi 3 na úkor fáze 1. Fázi 1 by bylo možné zkrátit až o 5 s. Dále se doporučuje fázi 2 prodloužit o +3 sekundy a fázi 3 o +2 sekundy.



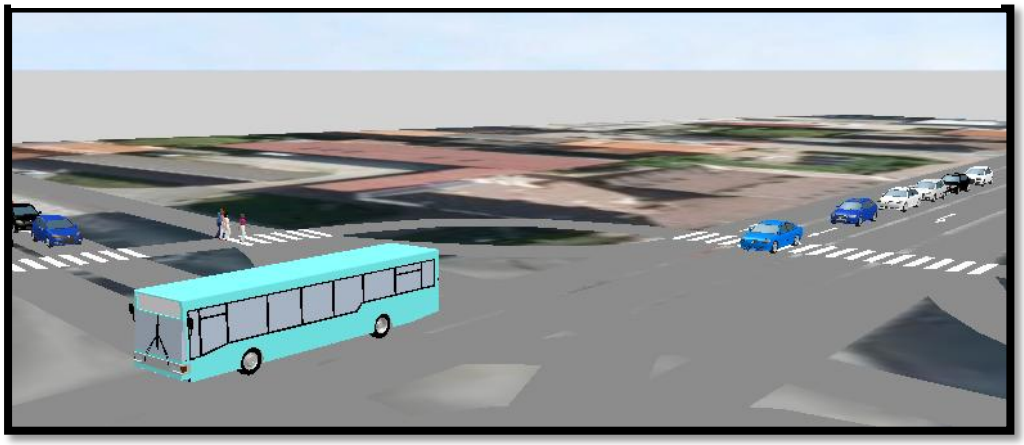
Obrázek 27 Navržené fázové schéma



Obrázek 28 Detekce vozidla VHD na rameni 3



Obrázek 29 Přednostní odjezd autobucu MHD



Obrázek 30 Odjezd ostatních vozidel

6 Simulace navržených opatření

6.1 Navržení algoritmu

V programu VisVAP 2. 16, který je nadstavbou simulačního programu VISSIM, byl navrhnut algoritmus řízení světelné signalizace. Základem pro jeho vznik byl základní pevný signální plán. Ten byl vytvořen v programu VISSIG, který je součástí programu VISSIM. Bylo provedeno příslušné nastavení dle poskytnutých podkladů. Dále bylo třeba signální plán zkompilovat do souboru s koncovkou „.pua“. Tento soubor bude potřeba později vložit do programu VISSIM.

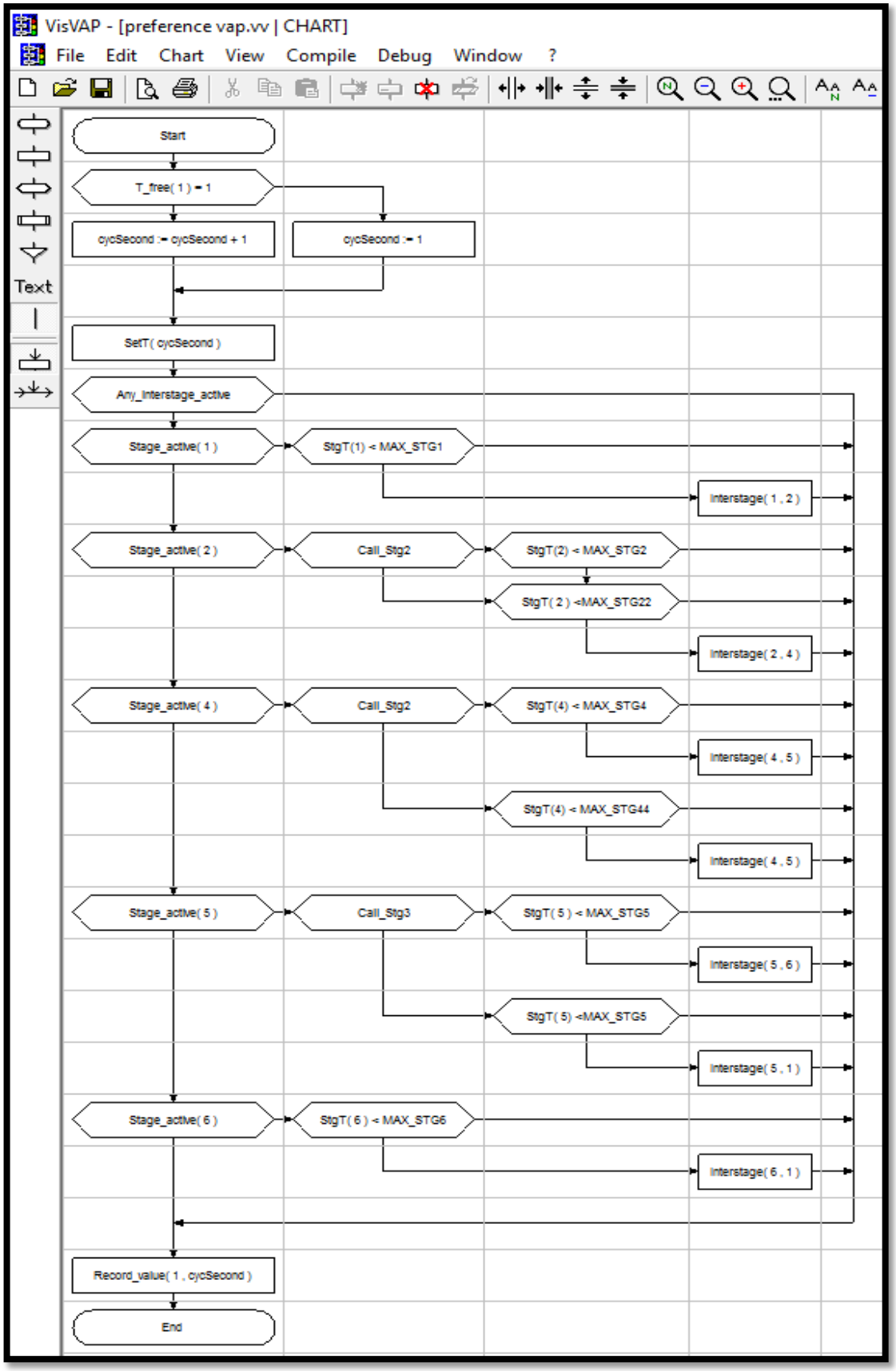
V programu VisVAP byly nastaveny tyto parametry:

„Start“ - spouští simulaci. **„T_free (1)“**- pomocí této funkce se zjistí čas, který uplynul od konce signálu stůj dané signální skupiny. Nastaví se proměnná **„cycSecond“**. Pomocí **„SetT(cycSecond)“** se nastaví délka cyklu. Všechny tyto funkce jsou potřeba pro výpočet délky cyklu.**„Stage_active(no.)“** zjišťuje, která fáze je aktivní.**„StgT(no.)“** zjišťuje délku fáze. Fáze končí po splnění podmínky (délka fáze), dojde k fázovému přechodu pomocí **„Interstage(no., no.)“**. Pokud je délka standardní, ale je přihlášeno vozidlo se svým požadavkem na preferenci (**Call_Stg**), prodlouží se signál volno.

Detektory byly umístěny na specifická místa. Představují virtuální bod přihlášení autobusu do systému. Detektory v simulaci byly nastaveny tak, aby registrovaly pouze projíždějící vozidlo typu „Bus“ a „TBUS“. Jsou umístěny v řadícím pruhu po celé jeho délce.

Bylo nutné definovat parametry a výrazy. Výrazy Call_Stg (2, 3) **Occupancy(no.)** zjišťují přítomnost vozidla VHD – přihlášení a nárokování preference. Parametry **MAX_STG(No. No.)** nastavují prodloužení fáze v případě nároku. MAX_STG (no.) nastavují standardní délku signálu volno. **„Record_value(1, cycSecond)“** zaznamenává zjištěné hodnoty. Navržený algoritmus je vidět na obrázku č. 31.

Celý algoritmus bylo nutné zkompilovat. Výsledný soubor má koncovku „vap.“ Soubory „.pua“ a „.vap“ byly vloženy do programu VISSIM.

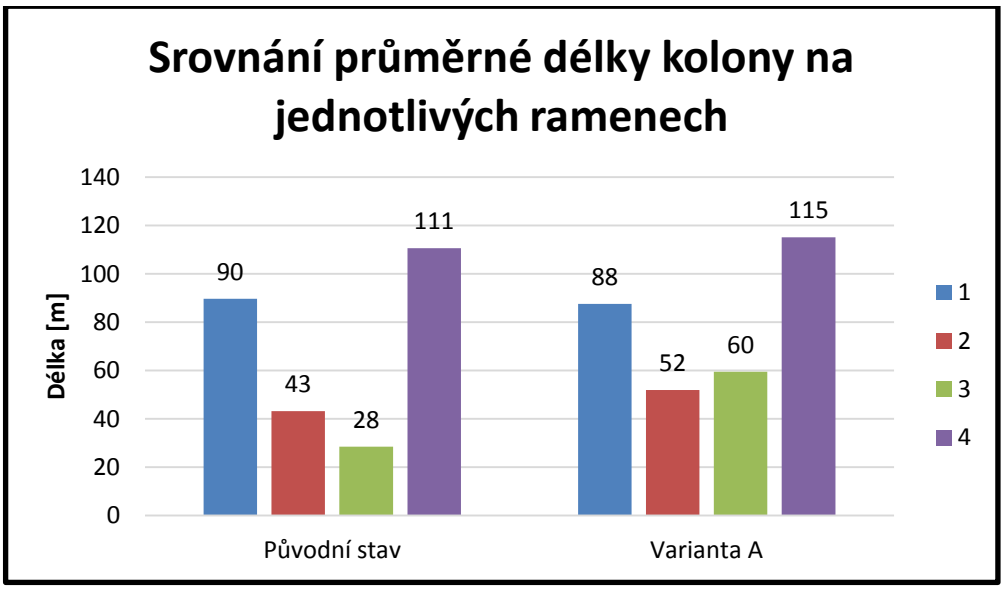


Obrázek 31 Navržený algoritmus řízení SSZ s preferencí VHD

6.2 Simulace varianty A

Navrhnutá preferenční opatření byla implementována do simulačního programu VISSIM. Vyhrazený jízdní pruh byl namodelován funkcí „links“, na jehož načátek byl umístěn vstup „input“. Vozidla na rameni 3 byla přesměrována. Všechna vozidla, která projížděla křižovatkou přímo, byla směřována po jednom řadícím pruhu pro přímý směr. Směřování vozidel VHD bylo pozměněno tak, že vozidla jedoucí přímo, či odbočující vpravo, byla směrována pravým řadícím pruhem, jež umožňuje vozidlům VHD jízdu přímo.

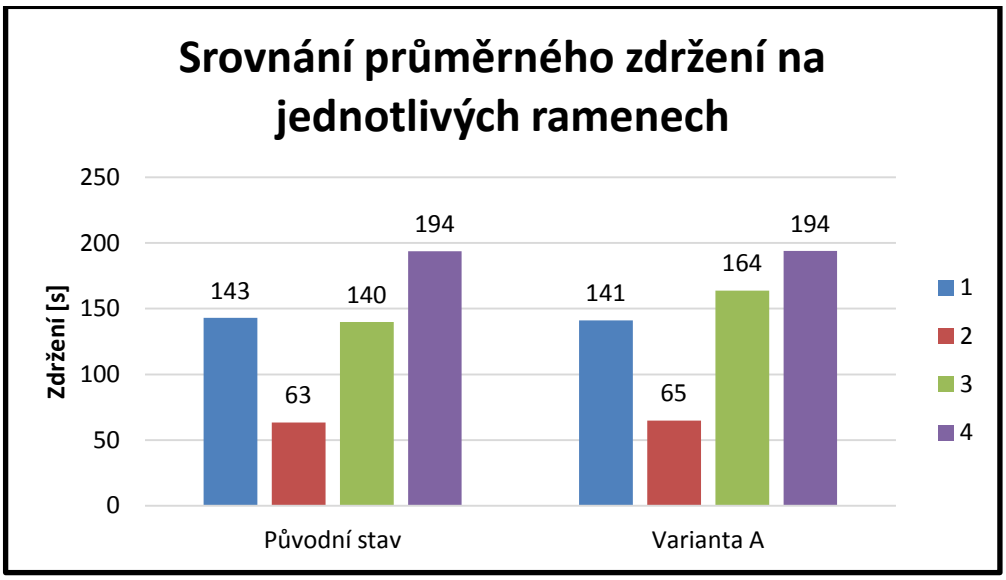
Největší zaznamenaná průměrná délka kongesce činila 115 m (rameno 4), nejdelší zaznamenaná délka kongesce byla 200 m na rameni 1. Jednoznačně největší počet zastavení byl 1598 na rameni 4 (druhá nejvyšší hodnota 938 – rameno 1). Nejmenší průměrná délka kolony byla 52 m na rameni 2. Z přiloženého grafu vyplývá, že očekávané prodloužení kolony nastalo na rameni 2, 3 a 4. Na rameni 2 a 3 byla aplikována opatření preference VHD. Na rameni dva byl navrhnut VJP v délce 140 m, který byl zhotoven na úkor jednoho z jízdních pruhů, důsledkem tohoto faktu se tedy prodloužila délka kolony. Na rameni 3 byl pravý řadící pruh VF vyhrazen pouze pro odbočení vpravo. Vozidla jedoucí přímo nyní mohou využívat pouze jeden řadící pruh namísto dvou, jak tomu je v původní situaci. Na rameni 4 narostla kolona jen mírně. Pokles délky kolony na rameni 1 je také mírný, pravděpodobně zapříčiněn stochastickým nastavením simulace. Zjištěné změny v průměrné délce kolony pro jednotlivá ramena jsou vidět v grafu č. 7.



Graf 7 Změna průměrné délky kolony - varianta A

Na rameni 2 došlo k dobrému výsledku co do průměrného zdržení. Vyhrazený jízdní pruh se nachází v dostatečné vzdálenosti od křižovatky, proto redukce jízdního pruhu pro IAD sice přinesla prodloužení kolony, avšak jen nepatrně ovlivnila průměrnou dobu zdržení.

Předpokládané zvýšení časového zdržení se projevilo na rameni 3. Změřené hodnoty jsou srovnány v následujícím grafu č. 8.



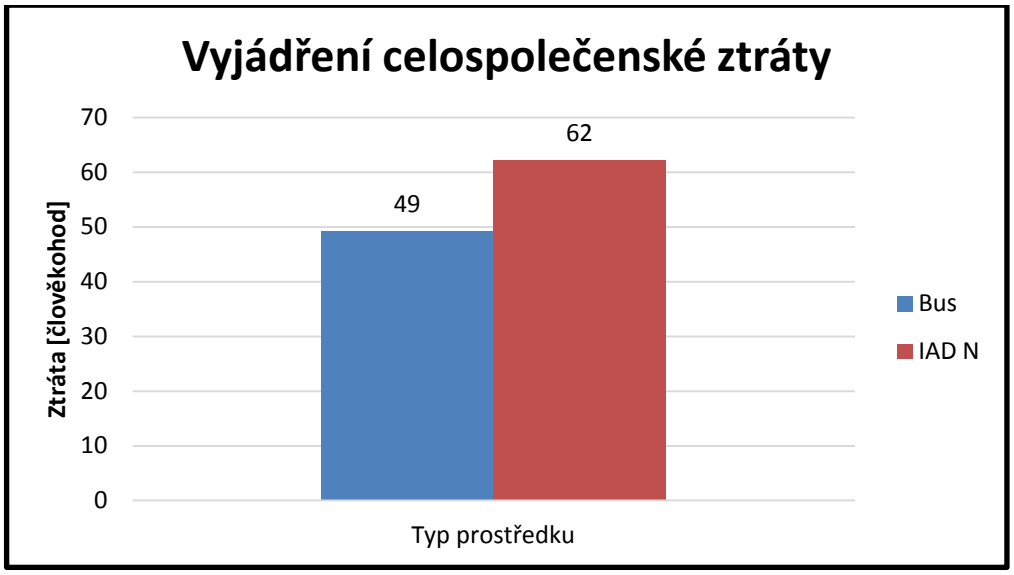
Graf 8 Změna průměrného zdržení – varianta A

Varianta A si klade za cíl preferovat směry VC, VD, VE a VF. Směry VC, VD, VE jsou součástí druhého ramene. V tabulce č. 10 jsou získané hodnoty zdržení pro vozidla VHD v závislosti na směru. Cíl varianty A byl splněn. U VD je nárůst zanedbatelný.

Tabulka 10 Zdržení vozidel VHD dle směrů – varianta A

Směr	Zdržení celkem[min]	
	Současný stav	Varianta A
VA	**4,8**	**4,7**
VB	**45,7**	**45,4**
VC	**9,4**	**8,3**
VD	**11,3**	**11,8**
VE	**11,5**	**10,1**
VF	**12,8**	**7,9**
VG	**25,8**	**25,3**

Následující graf č. 9 ukazuje, jaká by byla celospolečenská ztráta, kdyby byla zavedena opatření uvedená ve variantě A. Oproti současnému stavu bylo registrováno zlepšení u VHD. Hodnota klesla z 52,208 na hodnotu 49,265. Nový stav dopravního uspořádání přinesl úsporu téměř 3 hodin. Opačná situace nastala u celospolečenské ztráty IAD, která mírně vzrostla. Ze současné hodnoty 61,523 se dostala na 62,219. Jedná se o nepatrný nárůst. Tuto hodnotu lze vyjádřit jako 0,7 člověkohodiny.



Graf 9 Vyjádření celospolečenské ztráty - varianta A

6.3 Simulace varianty B

V rámci této varianty bylo odsimulováno několik možností, aby byla nalezena taková varianta, která bude odpovídat požadované kombinaci preferencí. V tabulce č. 11 jsou vidět postupné úpravy doby volna. Ve fázi 2 se přičte hodnota pro směry VB a VC. Ve fázi 3 se zkrátí volno pro směry VC, VD, VG. Fáze 5 je pro směr VF. Před samotnou simulací byla stanovena podmínka délky cyklu. Současná délka cyklu se zachovává. Další stanovenou podmínkou byla průměrná délka zdržení. Tato hodnota by neměla překročit hranici 240 s, tedy 4 minut.

Tabulka 11 Přehled změn dob volno v jednotlivých fázích

	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
F2	+1s	+2s	+3s	+4s	+5s	+6s	+7s
F3	-4s	-5s	-6s	-8s	-9s	-10s	-11s
F5	+3s	+3s	+3s	+4s	+4s	+4s	+4s

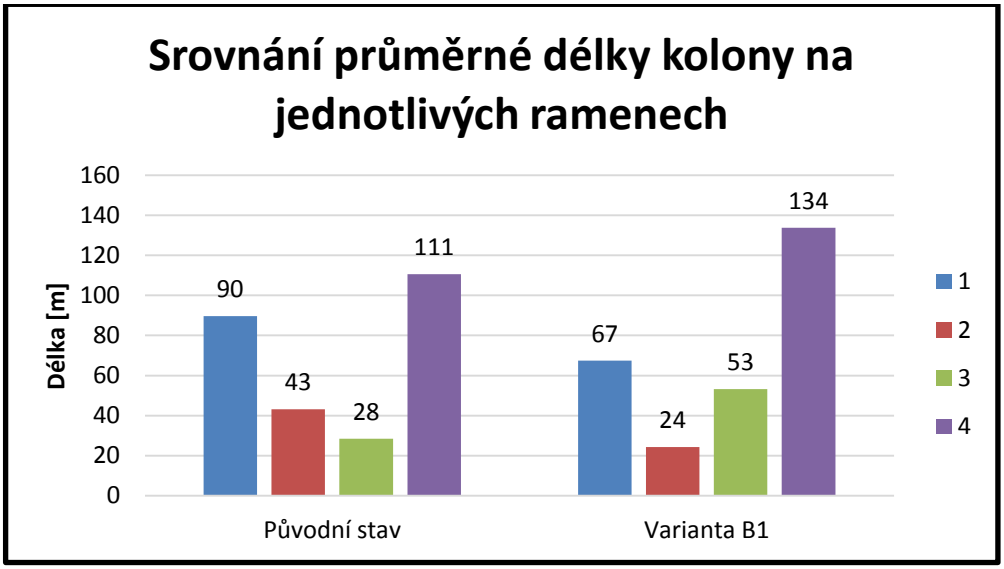
6.3.1 Simulace varianty B1

Pokud bude detekováno vozidlo VHD ve směru VB nebo VC, prodlouží se volno ve fázi dvě o jednu sekundu. Zároveň dojde ke zkrácení fáze 3, která platí pro směry VC, VD, VG. Pokud bude detekováno vozidlo na rameni 3, vloží se do signálního plánu fáze 5, která předchází fázi 1 o několik sekund.

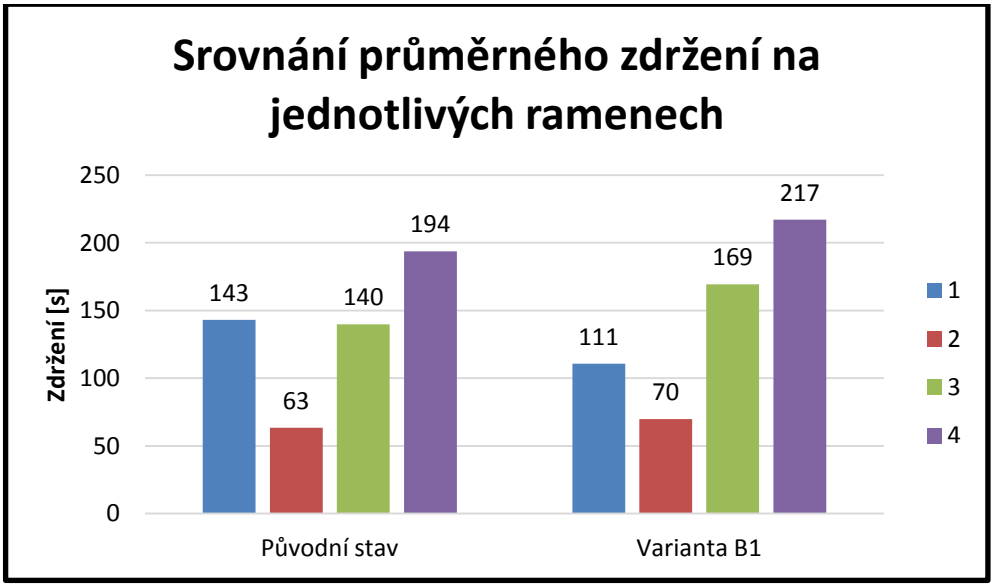
Nejdelší zaznamenaná délka kolony byla stejně jako při současném stavu naměřena ve směru VA. Nejdelší délka byla změřena na rameni 4. Průměrná délka kolony narostla na ramenech 3, 4. Rameno 4 je časově penalizováno. Prodloužení fáze mělo pozitivní vliv na průměrnou délku kolony na ramenech 1 a 2. Na rameni dva bylo prodlouženo volno

v případě detekce vozidla VHD pro směry VA, VB, které jsou ve fázi 2. Naměřené hodnoty jsou v grafu č. 10.

Fáze 3 byla zkrácena o 4 sekundy, a proto narostlo průměrné zdržení na rameni 2 a 4. Průměrné zdržení vzrostlo i na rameni 3. Vozidla nyní využívají pro směr přímý pouze jeden řadící pruh. Z tohoto důvodu mohou vznikat menší kolony. Vozidla na rameni 3 přijíždějí ke křižovatce v jednom jízdním pruhu. Proto se odbočující vozidla zdrží v koloně, jelikož se nemohou zařadit do správného řadícího pruhu, neboť kolona může být delší než řadící pruhy. Snížené zdržení ocení cestující na linkách vedoucí po rameni 1. Je nutné dodat, že na tomto rameni je vedeno nejvíce linek MHD. Naměřené hodnoty jsou v grafu č. 11.



Graf 10 Změna průmerné délky kolony – varianta B1



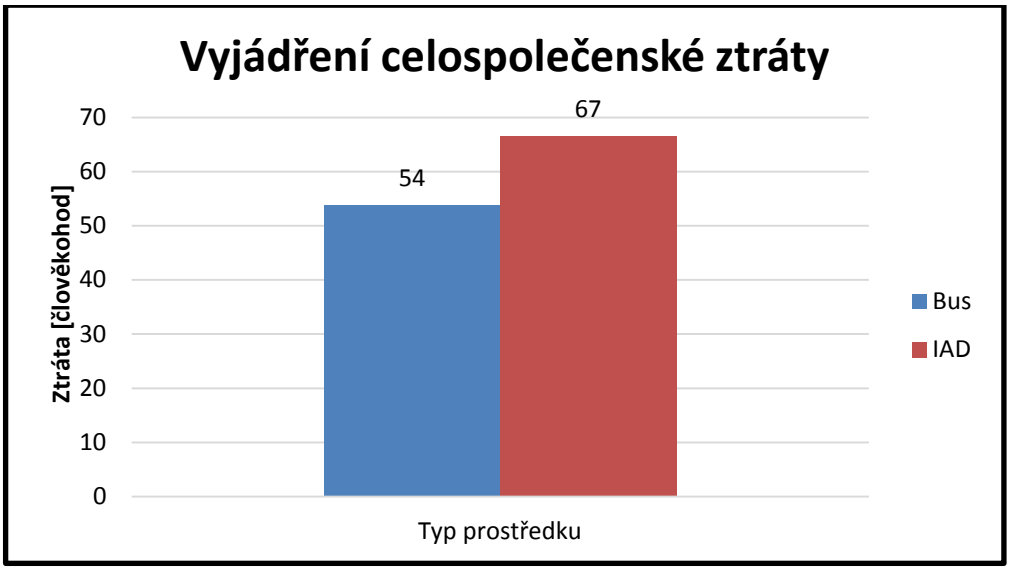
Graf 11 Změna průměrného zdržení – varianta B1

Změřené hodnoty zdržení vozidel VHD ukazuje následující tabulka č. 12. Hodnoty klesly ve dvou případech. Méně se budou zdrženy linky ve směrech VB a VF. Hodnota pro směr VA zůstala konstantní. Zvýšily se hodnoty u směrů VC, VD, VE, VG. Důvodem toho zvýšení je penalizace, která se projeví ve fázi 3. Směry VC, VD a VG jsou součástí této fáze. VC je směr, u něhož je cílem, aby hodnota klesala. Směr VC je ve dvou zahrnut ve fázi 2 a 3. Fáze 2 byla sice prodloužena o +1 s, ale fáze 3 byla penalizována -4 s. Je tedy důležité najít vhodnou kombinaci penalizačních a bonusových časů, pro které se hodnota VC sníží. Směr VG je ve fázi 2, která byla zkrácena. Směr VE je ve fázi 4. Tato fáze nebyla zkrácena. Mírné zvýšení hodnoty je pravděpodobně způsobeno nutností měnit jízdní pruh na konci VJP. Za VJP je umístěno VDZ V 12b. Ne vždy je toto značení řidiči respektováno.

V grafu č. 12 je zobrazena celospolečenská ztráta vypočítaná pro variantu B1. Ve srovnání s původními hodnotami lze konstatovat, že u této varianty nemluvíme o zlepšení. Celospolečenská ztráta u VHD v současné době činí 52,208. Stejný jev nastal u hodnot vypočtených pro IAD. Původní čísla ukazovala hodnotu 61,523.

Tabulka 12 Zdržení vozidel VHD dle směrů - varianta B1

Směr	Zdržení celkem [min]	
	Současný stav	Varianta B1
VA	**4,8**	**4,8**
VB	**45,7**	**44,1**
VC	**9,4**	**11,5**
VD	**11,3**	**14,7**
VE	**11,5**	**13,1**
VF	**12,8**	**3,4**
VG	**25,8**	**31,5**

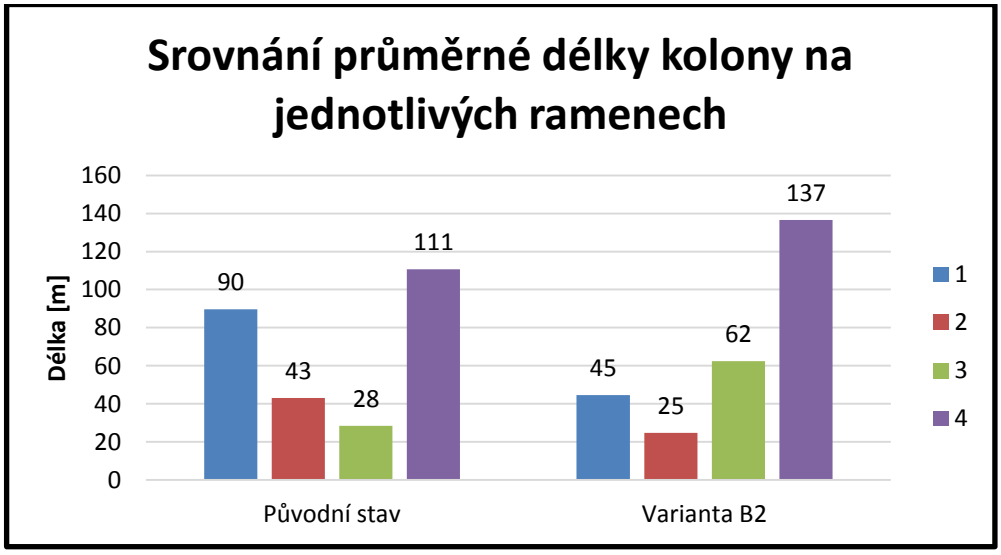


Graf 12 Vyjádření celospolečenské ztráty – varianta B1

6.3.2 Simulace varianty B2

V případě detekce vozidel VHD na rameni 1 nebo 2, dojde k prodloužení druhé fáze o +2 s. Fáze 3 se zkrátí o -5 sekund. Fáze se pět se zařadí v případě detekce vozidla na rameni 3. Fáze 5 předchází fázi 1 o 3 sekundy.

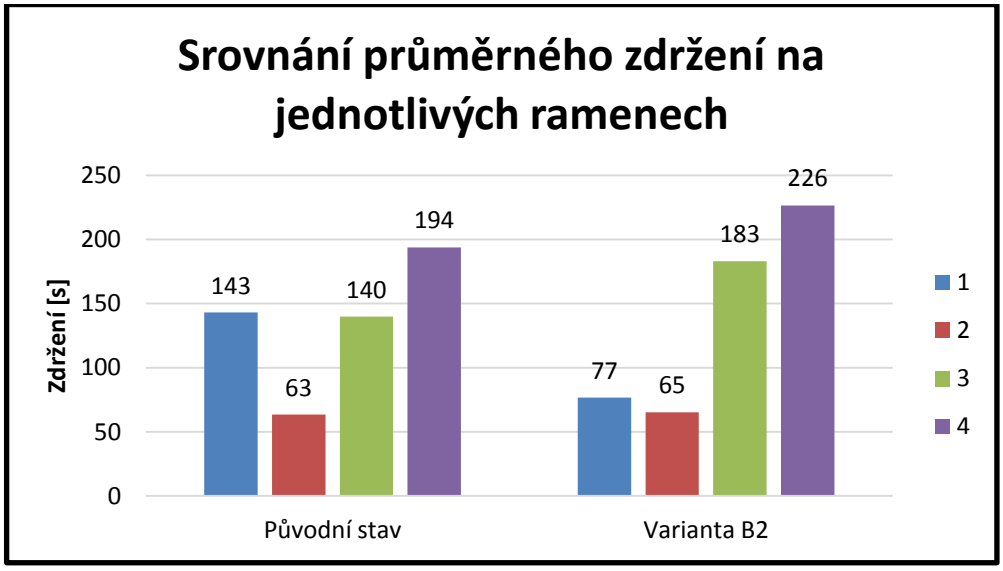
Maximální délka kolony byla zaznamenána na rameni 1. Největší průměrnou délku kolony vykazuje rameno 4. Oproti předchozí variantě tato hodnota vzrostla. V této variantě je doba volna na rameni 4 kratší o -1 s než v předchozí. Největší počet zastavení byl zaregistrován také na rameni 4. Průměrná délka kolony se zvětšila i na rameni 3. Příčinou může být ztrátový čas při fázových přechodech při zařazení fáze 5 do signálního plánu. Naměřené hodnoty jsou v grafu č. 13.



Graf 13 Změna průměrné délky kolony – varianta B2

Zdržení kleslo u ramene 1 v důsledku prodloužení fáze 2, ve které se nacházejí směry VA, VB. Mírný nárůst je vidět na rameni 2. Vezme-li se v úvahu kratší doba fáze, je tento výsledek pozitivní. Zdržení na rameni 3 je vyšší než v současném stavu. Trend růstu průměrného zdržení na rameni 4 je vidět i v této variantě. Zjištěné hodnoty jsou vidět v následujícím grafu č. 14.

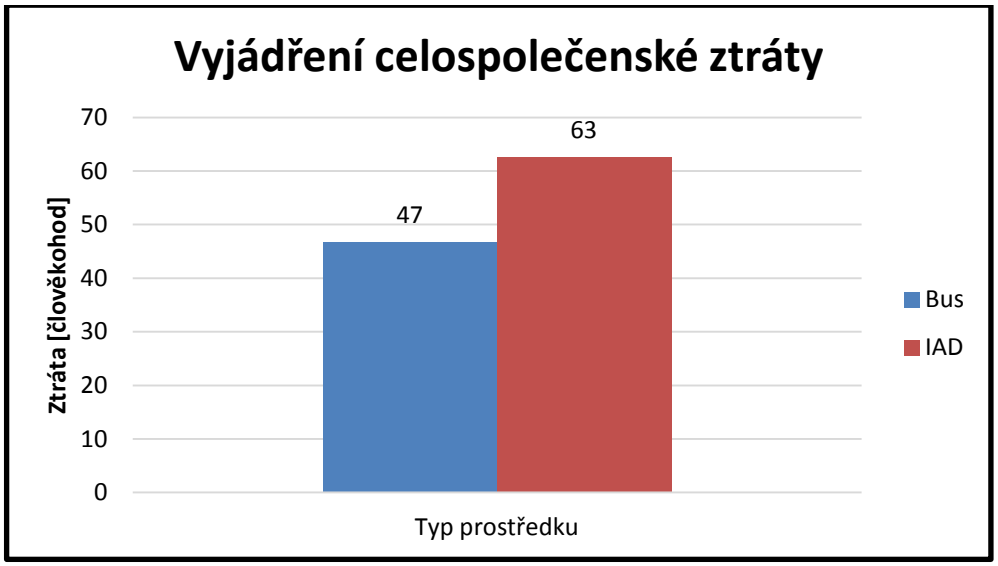
V tabulce č. 13 jsou porovnána naměřená zdržení vozidel VHD v jednotlivých směrech se současným stavem. Zdržení ve směru VA zůstává téměř beze změny. Výrazného poklesu bylo dosaženo ve směru VB, konkrétně -15,3 %. Mírné snížení je u směru VC, ušetřena byla necelá minuta. Cestující na linkách ve směru VF by ušetřili přes 9 minut. Zdržení vzrostlo ve směru VD, VE. Toto zdržení není nijak velké. Ve směru VG by se vozidla zdržela o přibližně 10 minut déle. Preference vozidel byla splněna u směrů VC a VF. Tato varianta nesplnila kompletně očekávání.



Graf 14 Změna průměrného zdržení – varianta B2

Tabulka 13 Zdržení vozidel VHD dle směrů - varianta B2

Směr	Zdržení celkem[min]	
	Současný stav	Varianta B2
VA	**4,8**	**4,7**
VB	**45,7**	**38,7**
VC	**9,4**	**8,6**
VD	**11,3**	**13,8**
VE	**11,5**	**12,5**
VF	**12,8**	**3,5**
VG	**25,8**	**35,6**



Graf 15 Vyjádření celospolečenské ztráty – varianta B2

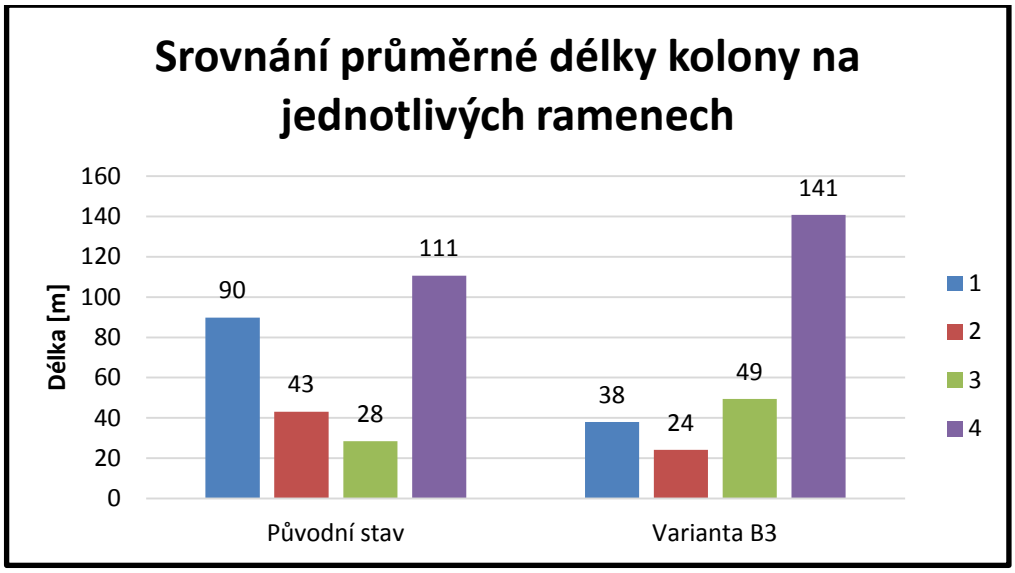
Celospolečenská ztráta, zobrazená v grafu č. 15, dokazuje, že preferencí VHD lze výrazněji snížit celkovou celospolečenskou ztrátu při mírném zvýšení celkového zdržení IAD. U VHD tato hodnota klesla z hodnoty 52,208. U IAD se hodnota mírně zvýšila, původní hodnota byla 61,523.

6.3.3 Simulace varianty B3

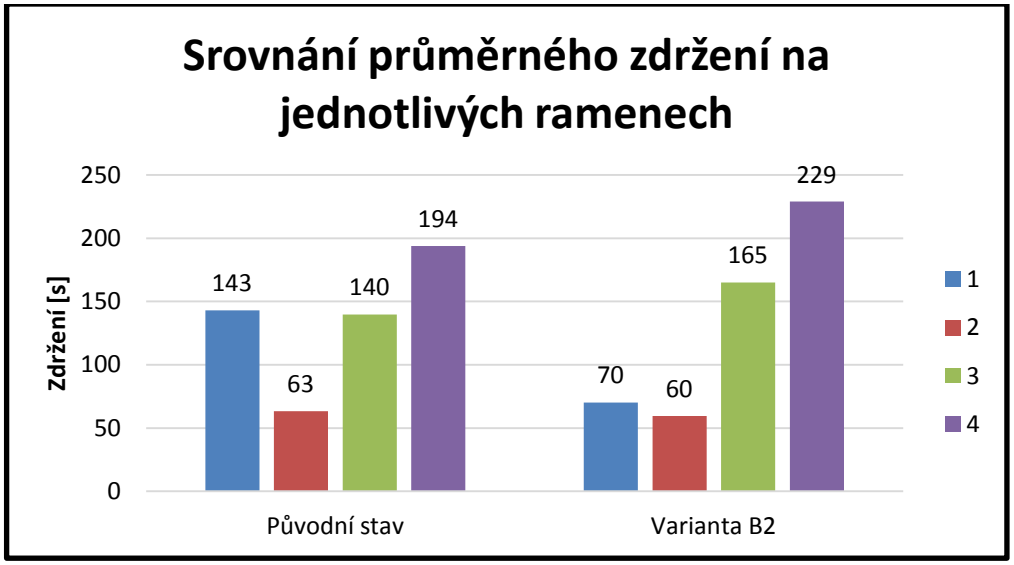
Fáze dvě se prodlouží až o 3 sekundy, pakliže je detekováno vozidlo VHD na příslušných místech. Fáze tři se zkracuje až o 6 sekund. Fáze 5 při zařazení zůstává 3 sekundy dlouhá a časově předchází fázi 1.

Nejdelší zaznamenaná délka kolony byla na rameni 1. Tato hodnota se však od minulé simulace snížila v důsledku preferování směrů na rameni 1. Nejdelší průměrná hodnota byla opět naměřena na rameni 4. Největší počet zastavení byl na rameni 4, jeho hodnota se snížila v závislosti na kratší fázi. Průměrné délky kolon vzrostly na ramenech 3, 4. Více jak o polovinu se snížila hodnota u ramene 1. Naměřené hodnoty jsou k dispozici v grafu č. 16.

Průměrné zdržení vozidel VHD se snížilo na rameni 1 a 2. Poprvé byla zaznamenána nižší hodnota na rameni 2. Hodnota na rameni 1 klesla o více jak polovinu. Je registrován nárůst na rameni 3. Nárůst na rameni 4 je předpokládaný. Podmínka, stanovená na začátku měření, na rameni zatím nebyla překročena. Nejvyšší povolené průměrné zdržení je 240 s. Naměřené hodnoty jsou v grafu č. 17.



Graf 16 Změna průměrné délky kolony – varianta B3



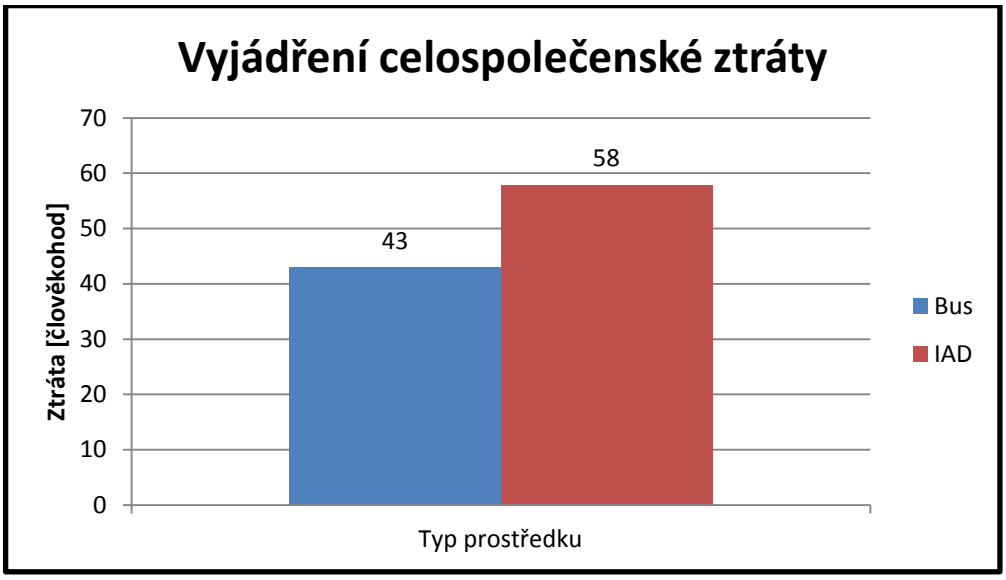
Graf 17 Změna průměrného zdržení – varianta B3

Následující tabulka č. 14 srovnává zdržení vozidel VHD u původního stavu se stavem po zavedení opatření ve variantě B3. Zlepšení bylo registrováno pro směry VB, VC, VE, VF. Stouply hodnoty u směrů VD, VG. Celkově lze konstatovat, že tato varianta splnila vytyčený cíl. Zhoršení u směru VD je v rozmezí přibližně dvou minut. Toto zhoršení bylo pravděpodobně způsobeno nedůsledným respektováním VDZ V 12b.

V této variantě lze postřehnout snížení celospolečenské ztráty jak u vozidel VHD tak u IAD. Hodnota celospolečenské ztráty celkově klesla, a proto se tato varianta jeví jako vhodné řešení. Celospolečenská ztráta je vyjádřena grafem č. 18.

Tabulka 14 Zdržení vozidel VHD dle směrů - varianta B3

Směr	Zdržení celkem[min]	
	Současný stav	Varianta B3
VA	**4,8**	**5,1**
VB	**45,7**	**29,5**
VC	**9,4**	**8,2**
VD	**11,3**	**13,4**
VE	**11,5**	**9,3**
VF	**12,8**	**5,7**
VG	**25,8**	**34,9**



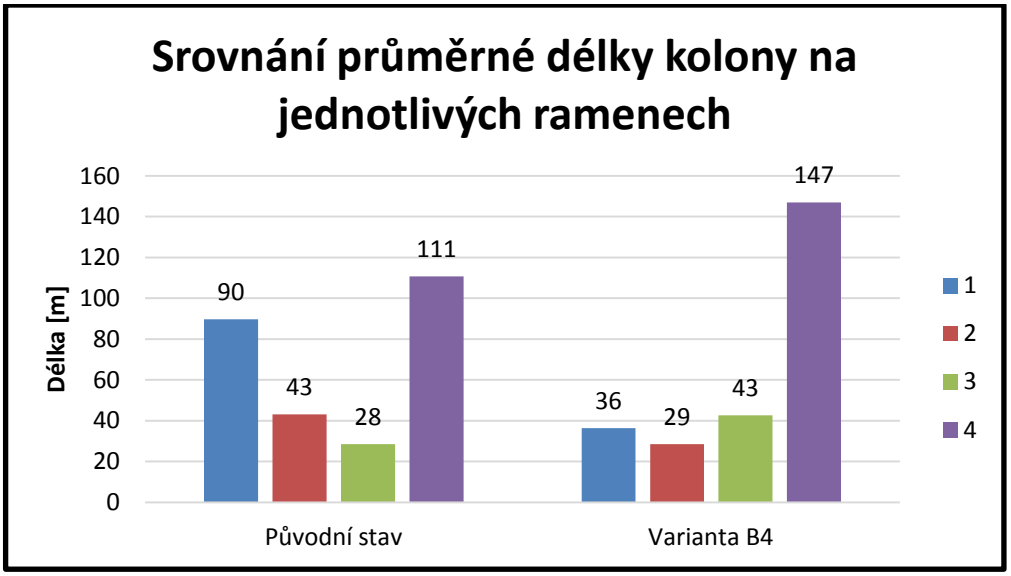
Graf 18 Vyjádření celospolečenské ztráty – varianta B3

6.3.4 Simulace varianty B4

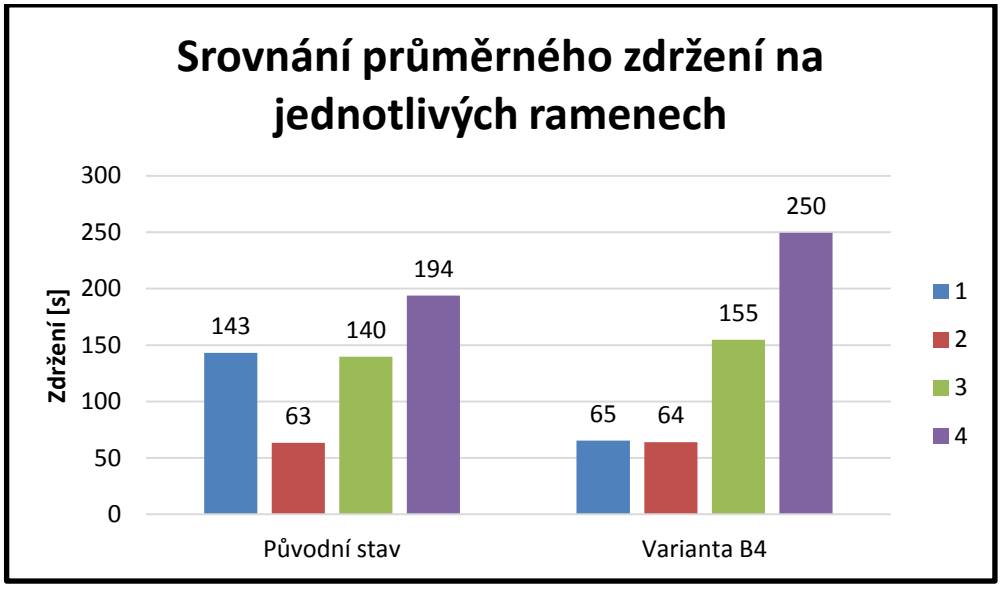
Fázi 2 je možné prodloužit až o 4 sekundy. Tato fáze je prodloužena na úkor fáze 3, která se může zkrátit maximálně o 8 sekund. Fáze 5 se při výzvě zařadí do signálního plánu a předchází fázi 1 o 4 sekundy.

Maximální délka kolony byla naměřena na rameni 1. Největší průměrná hodnota byla naměřena na rameni 4. Největší počet zastavení byl na rameni 4. Průměrná délka kolony narostla na rameni 3 a 4. Průměrné délky kolony poklesly oproti původnímu stavu na ramenech 1 a 2. Průměrná délka kolony na rameni 1 neustále klesá již od varianty B1. Naměřené hodnoty jsou v grafu č. 19

V grafu č. 20 je k nahlédnutí porovnání průměrného zdržení vozidel VHD. Průměrné zdržení vzrostlo na ramenech 3, 4, přičemž na rameni 4 byla porušena stanovená podmínka. Z tohoto důvodu nelze tuto variantu doporučit. V ostatních případech hodnoty klesly.



Graf 19 Změna průměrné délky kolony – varianta B4



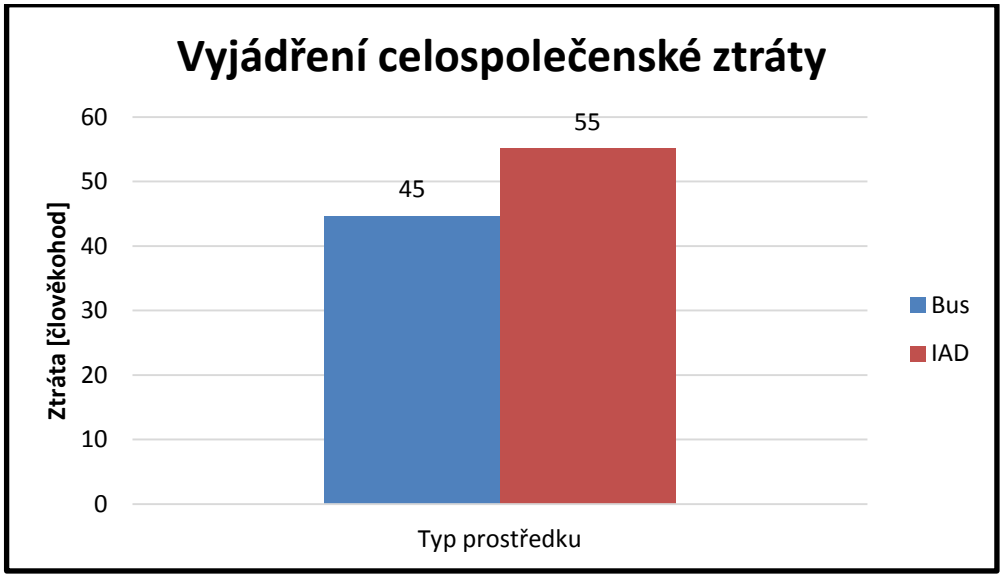
Graf 20 Změna průměrného zdržení – varianta B4

V tabulce č. 15 je vidět, že se situace zlepšila u směrů VA, VB, VC, VE, VF. Negativně by tato varianta ovlivnila směry VD, VG. V těchto dvou směrech jsou vedeny jen dvě linky MHD.

Celospolečenská ztráta, zobrazená v grafu č. 21, vyjadřuje hodnoty, zjištěné v této simulaci. Hodnota u VHD opět vzrostla, zatímco hodnota u IAD klesla. I tak jde o celkové snížení oproti původnímu stavu.

Tabulka 15 Zdržení vozidel VHD dle směrů - varianta B4

Směr	Zdržení celkem[min]	
	Současný stav	Varianta B4
VA	**4,8**	**4,1**
VB	**45,7**	**28,5**
VC	**9,4**	**8,3**
VD	**11,3**	**14,3**
VE	**11,5**	**7,3**
VF	**12,8**	**4,7**
VG	**25,8**	**39,8**

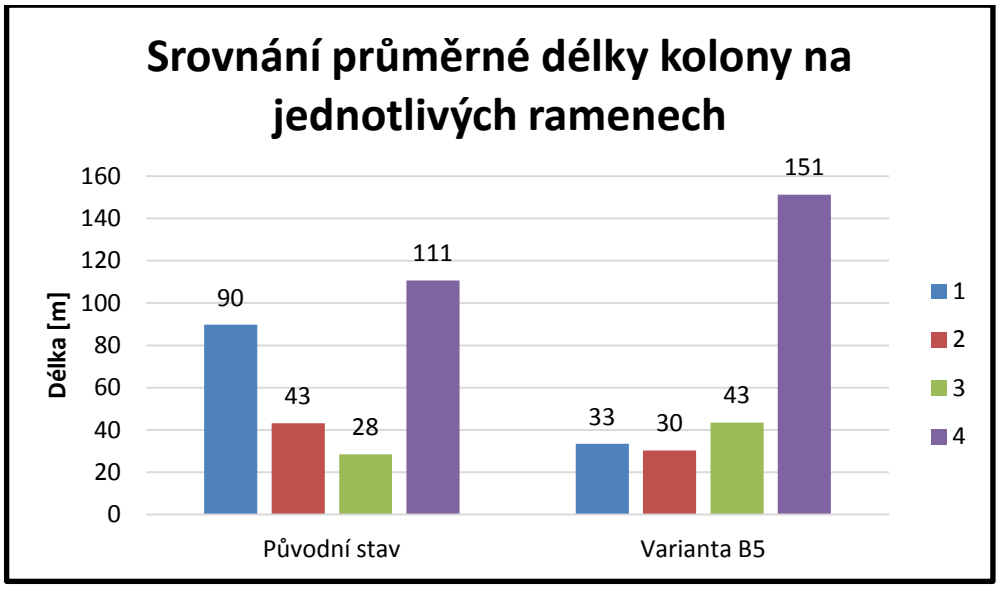


Graf 21 Vyjádření celospolečenské ztráty – varianta B4

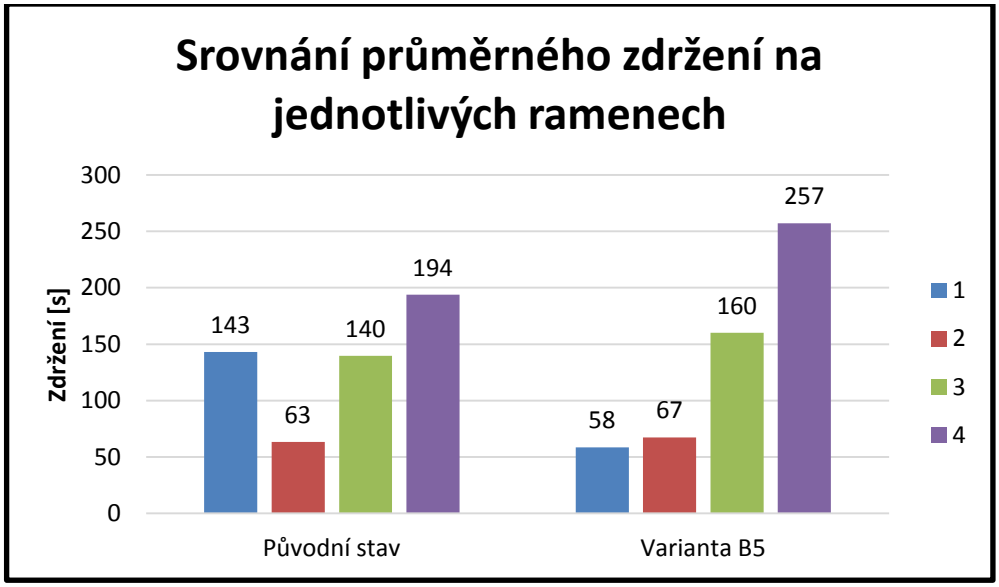
6.3.5 Simulace varianty B5

Fáze 2 může být prodloužena až na 22 sekund. Ve srovnání s původní hodnotou se jedná o nárůst až 5 sekund. Fáze tři se zkracuje až o 9 sekund. Fáze pět předchází fázi jedna o 4 sekundy.

Maximální délka kolony byla po simulaci zaregistrována na rameni 1. Nejdelší průměrná délka kolony byla na rameni 4. Číslo 1152 reprezentuje nejvyšší počet zastavení. Takovéto číslo bylo na rameni 4. Naměřené hodnoty porovnané se současným stavem jsou v grafu č. 22.



Graf 22 Změna průměrné délky kolony – varianta B5



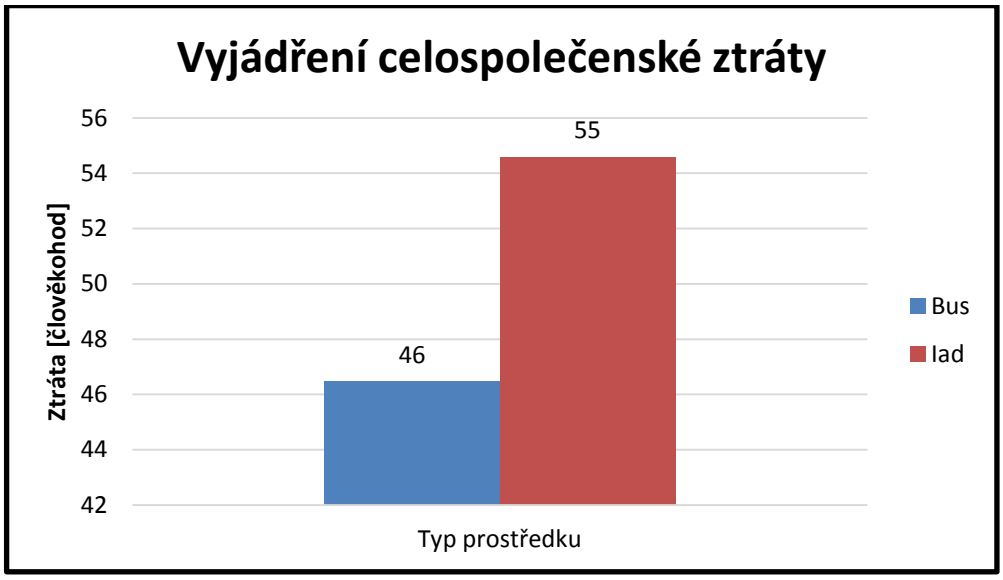
Graf 23 Změna průměrného zdržení – varianta B5

Průměrné zdržení se podařilo snížit pouze na rameni 1. V ostatních případech je registrováno zvýšení. Mírné zvýšení sledované hodnoty se objevil u ramene č. 2. Na rameni 3 byla hodnota zvýšena o 20 s. Na rameni 3 je zvýšení za maximální stanovenou hodnotou. Podmínka pro maximální průměrné zdržení byla překročena o 17 s. Řidiči by na tomto rameni čekali déle jak 4 minuty. Zaznamenané změny jsou vidět v grafu č. 23.

Tato varianta by potěšila cestující na linkách ve směrech VA, VB, VC, VE VF. Zlepšení se projevilo ve třech směrech z pěti, kde je potřeba preferovat VHD v odpolední špičce. U směru VD došlo k dalšímu zhoršení ve srovnání s předchozí variantou. Vizte tabulku č. 16.

Tabulka 16 Zdržení vozidel VHD dle směrů - varianta B5

Směr	Zdržení celkem[min]	
	Současný stav	Varianta B5
VA	**4,8**	**3,7**
VB	**45,7**	**25,9**
VC	**9,4**	**7,3**
VD	**11,3**	**17,1**
VE	**11,5**	**8,3**
VF	**12,8**	**6,2**
VG	**25,8**	**43,7**



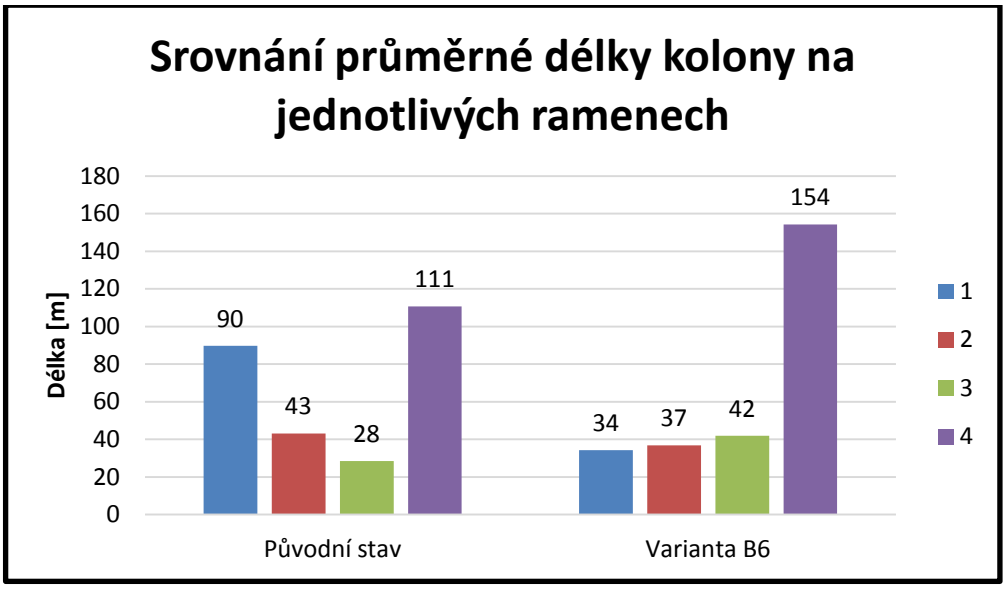
Graf 24 Vyjádření celospolečenské ztráty – varianta B5

Celospolečenská ztráta celkově klesla. Pokles vůči původnímu stavu je vidět jak u VHD, tak u IAD. Oproti předchozí variantě klesla hodnota u IAD, naopak u VHD vzrostla. Vizte graf č. 24.

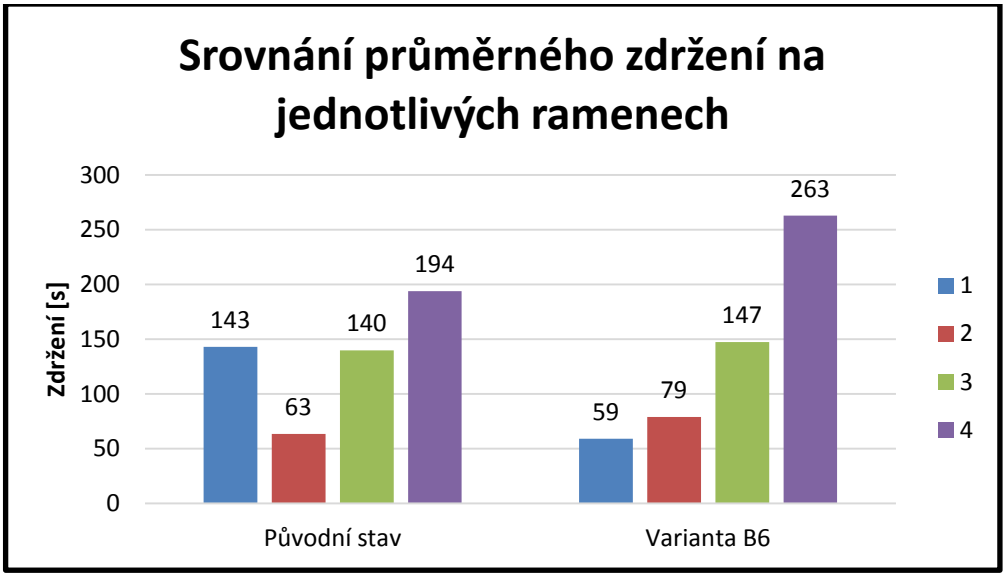
6.3.6 Simulace varianty B6

Fáze 3 může být zkrácena až na hodnotu 9 s. Těchto 10 sekund se využije částečně ve fázi 2, která se může prodloužit o 6 sekund. Fáze pět zůstává nastavena tak, aby předcházela fázi 1 o 4 sekundy. Tato varianta nesplnila základní předpoklad pro řešení. U průměrného zdržení byla naměřena hodnota vyšší 4 minut.

Srovnání hodnot, změřených pro současný stav, s hodnotami, které byly naměřeny pro variantu B6, je možné vidět v grafu č. 25. Na ramenech 1 a 2 se hodnoty zlepšily. Naopak na zbylých ramenech hodnoty stouply.



Graf 25 Změna průměrné délky kolony - varianta B6



Graf 26 Změna průměrného zdržení - varianta B6

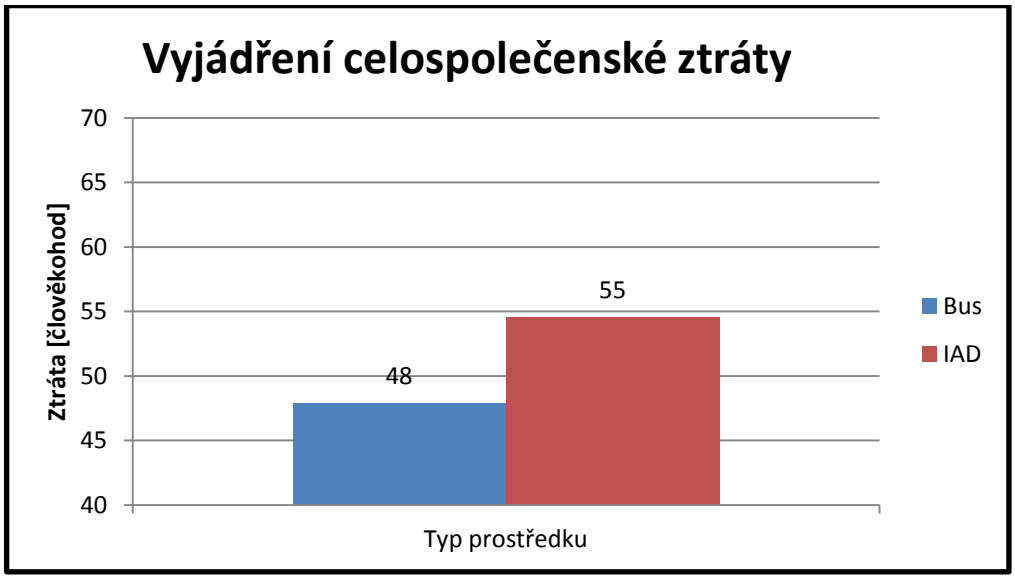
V grafu č. 26, u ramene 4 je naměřená hodnota vyšší, než stanovuje základní podmínka. Proto je tato varianta nevhodná. Průměrné zdržení vozidel vzrostlo tedy celkově na třech ramenech, konkrétně na rameni 2, 3 a 4. Pouze na rameni 1 je registrováno snížení.

Tabulka č. 17 dokazuje, že tato varianta by pomohla u linek ve směrech VA, VB, VC, VE, VF. Negativní dopad je vidět ve směru VD, VG.

Tato varianta vykazuje nižší celospolečenské ztráty. Snížení nastalo jak u VHD, tak u IAD v porovnání se současným stavem. Vizte graf č. 27

Tabulka 17 Zdržení vozidel VHD dle směrů - varianta B6

Směr	Zdržení celkem[min]	
	Současný stav	Varianta B6
VA	**4,8**	**2,8**
VB	**45,7**	**21,6**
VC	**9,4**	**7,8**
VD	**11,3**	**20,6**
VE	**11,5**	**7,6**
VF	**12,8**	**6,5**
VG	**25,8**	**44,1**



Graf 27 Vyjádření celospolečenské ztráty - varianta B6

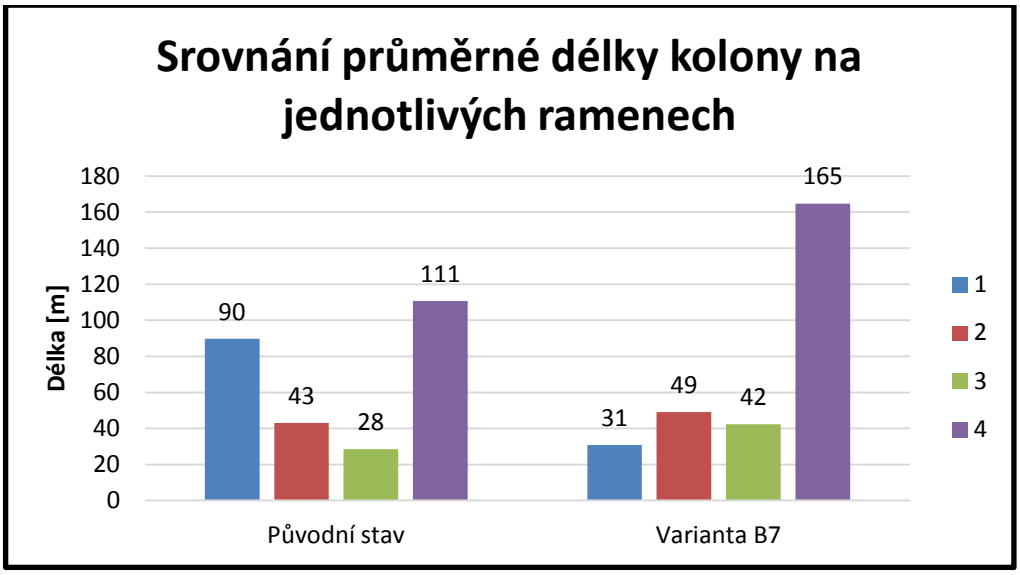
6.3.7 Simulace varianty B7

Poslední varianta uvažuje se zkrácením fáze 3 až o 11 sekund. Fáze 2 se prodlouží o 7 sekund. Fáze 5 je ponechána nezměněna a předchází fázi 5 o 4 sekundy.

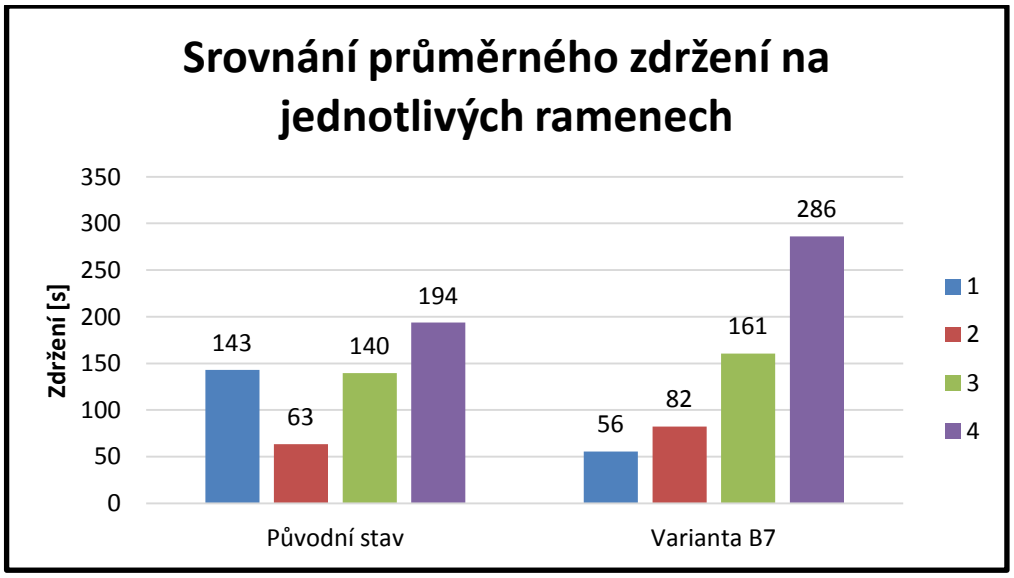
Průměrná délka kolony vzrostla na rameni 2, 3 a 4. Naopak poklesla na rameni 1. Vizte graf č. 28. Kolona na rameni 4 neustále roste od varianty B1. Nejlepšího výsledku bylo dosaženo u ramene 1, kde se průměrná délka kolony zmenšila o 59 m.

V grafu č. 29 je přesažena povolená průměrná délka zdržení. Proto tato varianta nebude uvažována.

V tabulce č. 19 výše je vidět srovnání současného stavu se stavem pro variantu B7. Klesly hodnoty ve směru VA, VB, VC, VE, VF. Silně vystoupaly hodnoty ve směrech VD a VG.



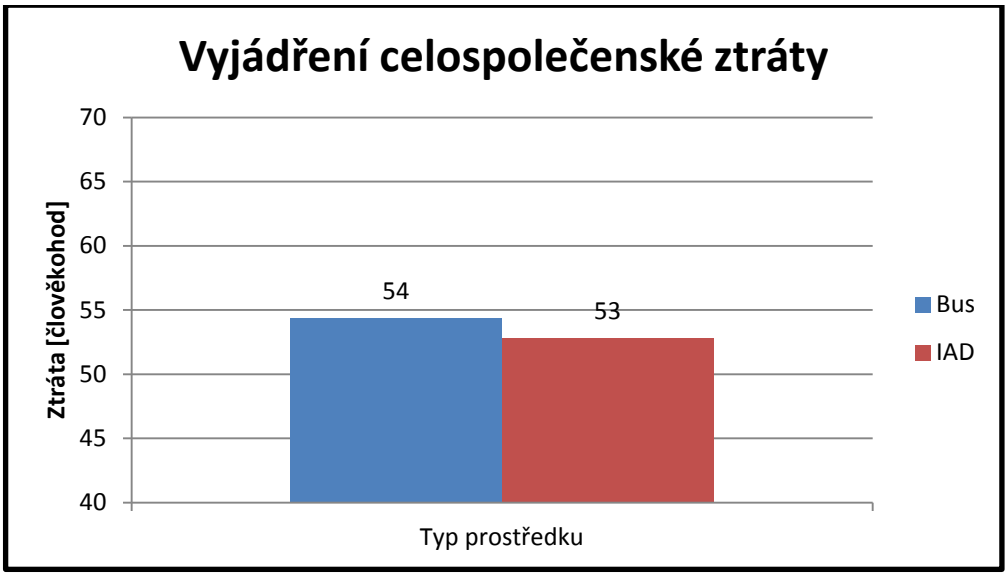
Graf 28 Změna průměrné délky kolony - varianata B7



Graf 29 Změna průměrného zdržení - varianata B7

Tabulka 18 Zdržení vozidel VHD dle směrů - varianta B7

Směr	Zdržení celkem[min]	
	Současný stav	Varianta B7
VA	**4,8**	**1,4**
VB	**45,7**	**20,8**
VC	**9,4**	**7,3**
VD	**11,3**	**29,2**
VE	**11,5**	**9,7**
VF	**12,8**	**7,8**
VG	**25,8**	**50,8**



Graf 30 Vyjádření celospolečenské ztráty - varianata B7

Graf č. 30 vyjadřuje celospolečenskou ztrátu. V této variantě si obě entity polepšily. Došlo k poklesu celkové ztráty.

7 Zhodnocení navržených opatření

Vzájemné porovnání hodnot průměrných délek kolon pro jednotlivá ramena je v tabulce č. 19. Jako nejvhodnější řešení se jeví varianta B3. U této varianty je vidět poměrně velké snížení na rameni 1. Téměř o polovinu také klesla hodnota na rameni 2. Na rameni 3 se prodloužila hodnota o 21 metrů. Prodloužení průměrné délky kolony vykazuje i rameno 4, konkrétně jde o 30 metrů. Zvýšení průměrné délky kolony na ramenech 3 a 4 lze vyjádřit v počtu osobních automobilů průměrné délky[10]. Na rameni 3 stála průměrně o 4,4 vozidla více. Na rameni 4 byla fronta delší o 6,3 vozidla. Varianty B4, B5, B6, B7 nebyly hodnoceny, jelikož tyto varianty nesplňují základní požadavek v průměrném zdržení.

Tabulka 19 Porovnání průměrné délky kolony v závislosti na variantě a rameni

rameno	Průměrná délka kolony [m]								
	Původně	**A**	**B1**	**B2**	**B3**	**B4**	**B5**	**B6**	**B7**
1	90	88	67	45	38	36	33	34	31
2	43	52	24	25	24	29	30	37	49
3	28	60	53	62	49	43	43	42	42
4	111	115	134	137	141	147	151	154	165

V tabulce č. 20 níže je uveden vývoj průměrného zdržení všech vozidel v závislosti na variantě a rameni. Varianty B4, B5, B6, B7 nebyly hodnoceny z důvodu uvedeného výše. Na základě zjištěných výsledků byla doporučena varianta B3. V této variantě se podařilo dosáhnout nejlepších výsledků ve srovnání s ostatními variantami. Průměrné zdržení se zlepšilo na rameni 1 a 2. Naopak zhoršení situace bylo registrováno na rameni 3 a 4. U ramene 3 se zvětšilo zdržení o 25 s, u ramene 4 o 35 s.

Tabulka 20 Porovnání průměrného zdržení vozidel v závislosti na variantě a rameni

rameno	Průměrné zdržení všech vozidel [s]								
	Původně	**A**	**B1**	**B2**	**B3**	**B4**	**B5**	**B6**	**B7**
1	143	141	111	77	70	65	58	59	56
2	63	65	70	65	60	64	67	79	82
3	140	164	169	183	165	155	160	147	161
4	194	194	217	226	229	250	257	263	286

Přehled změn v zdržení vozidel VHD je k dispozici v tabulce č. 21. Optimální varianta, vezmou-li se v úvahu všechny rozhodné parametry, je B3. U této varianty je vidět pokles

[10] Dle ČSN 73 6058

hodnoty u třech ze čtyř sledovaných hlavních směrů[11] (VC, VE, VF). Zdržení ve směru VC kleslo o 1,2 minuty. U směru VE tento pokles znamená úsporu 2,2 minuty. Ve směru VF by cestující čekali o 7,1 minuty méně. To znamená, že zpoždění by bylo možné snížit u 13 linek, což by se dotklo 27,4 spojů. Ve čtvrtém hlavním sledovaném směru VD se doba zdržení prodloužila o 2,1 minuty. Zpoždění by tak mohlo mírně narůst u 2 linek, respektive u 5,8 spojů.

Nepřímo by byl pozitivně ovlivněn i směr VB, ve kterém je vedeno 6 linek, jejichž frekvence je 16,1 spojů za hodinu. Negativně by se toto opatření projevilo ve směru VG. Tento směr byl časově penalizován. Ve variantě B3 se fáze pro VG zkrátila o -6 sekund. Zdržení by narostlo u 2 linek. Během odpolední špičky je v tomto úseku vypraveno 5 spojů.

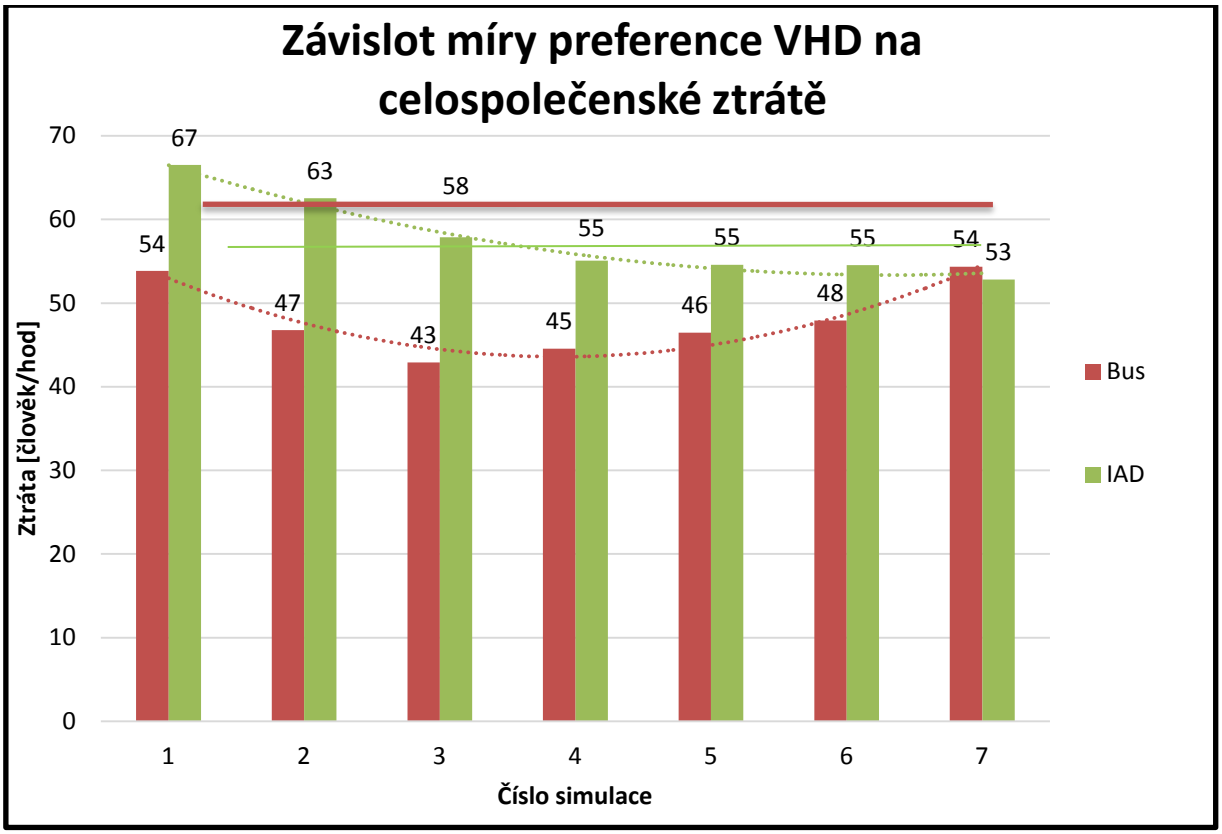
Tabulka 21 Srovnání doby zdržení pro vozidla VHD dle směrů

Směr	Počet linek	Počet spojů*	Zdržení celkem vozidel VHD dle směrů [min]								
			Původně	**A**	**B1**	**B2**	**B3**	**B4**	**B5**	**B6**	**B7**
VA	1	0,8	4,8	4,7	4,8	4,7	5,1	4,1	3,7	2,8	1,4
VB	6	16,1	45,7	45,4	44,1	38,7	29,5	28,5	25,9	21,6	20,8
VC	6	14,8	9,4	8,3	11,5	8,6	8,2	8,3	7,3	7,8	7,3
VD	2	5,8	11,3	11,8	14,7	13,8	13,4	14,3	17,1	20,6	29,2
VE	1	4,3	11,5	10,1	13,1	12,5	9,3	7,3	8,3	7,6	9,7
VF	4	8,3	12,8	7,9	3,4	3,5	5,7	4,7	6,2	6,5	7,8
VG	2	5	25,8	25,3	31,5	35,6	34,9	39,8	43,7	44,1	50,8

* Průměrný počet spojů za hodinu v čase odpolední špičky. [Zdroj: Dopravní podnik města České Budějovice, a. s.]

V tabulce č. 22 níže jsou porovnány výsledky celospolečenské ztráty pro všechny varianty. Z těchto výsledků vychází, že největších úspor se dosáhne variantou B4. Jak již bylo zmíněno, tato varianta nemůže být pro porušení podmínek doporučena. Podmínka byla porušena také ve variantě B5. Proto jako nejvhodnější varianta vychází B3. Oproti současnému stavu by bylo možné snížit ztrátu o 13 hodin. Tato varianta je také výhodná z pohledu VHD, kde hodnota ztráty dosáhla svého lokálního minima. Oproti původnímu stavu se podařilo ušetřit 9 hodin. Opatření ve variantě B3 by nepřímo ovlivnila i ztrátu u IAD. Ve srovnání s původní hodnotou je vidět pokles, konkrétně o 4 hodiny.

[11] Směry z centra města



Graf 31 Závislost míry preference na celospolečenské ztrátě

Z grafu č. 31 lze vypozorovat, že při postupném zvyšování preference VHD se ukázalo, že smysl se začíná vytrácet ve variantě B4, kdy začal narůstat čas zdržení u VHD. Tato negativní událost je zapříčiněna tím, že preference VHD je na úkor směrů VD a VG. Ve směru VG je vedeno několik linek VHD, u nichž se pochopitelně čas zdržení neustále zvyšuje. S tímto úkazem se počítalo již na začátku řešení této křižovatky. Směr VG nebyl časově penalizován náhodou. Jde o směr do centra města. V odpoledních hodinách je však potřeba preferovat opačný směr. Při 7. kole simulace dokonce časy zdržení vozidel VHD narostly natolik, že jejich celkový čas je nevyšší než u IAD. Předpokládá se, že v odpolední špičce bude cestovat nejvíce cestujících z centra směrem na okraj města, a proto větší množství cestujících ocení, že právě jejich spoj jede s menším zpožděním než kdysi. Naopak cestující v autobusech na rameni 4 ve směru VG budou časově znevýhodněni. Jejich počet však ve srovnání s cestujícími v preferovaných směrech bude podstatně menší. Jako nejvhodnější řešení se z pohledu cestujících jeví řešení B3, kdy ztrátový čas dosahuje lokálního minima. Pro srovnání s původními hodnotami jsou v grafu dvě přímky.

Tabulka 22 Celkové srovnání celospolečenské ztráty

	Původní	A	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
Bus	52	49	54	47	43	45	46	48	54
IAD	62	62	67	63	58	55	55	55	53
Celkem	114	111	121	110	101	100	101	103	107
Změna	0	-3	+7	-4	-13	-14	-13	-11	-7

Varianta A by způsobila prodloužení průměrné délky kolony na ramenech 2, 3. U ramene 1 a 4 jsou změny zanedbatelné. Tato levnější varianta je vhodná v případě, pokud je potřeba preferovat linky z centra města. Ve směru VC by opatření pozitivně ovlivnila doby zdržení linek 6, 9, 10, 13, 18, 21. Situace by se téměř nezměnila ve směru VD. Opatření se projevilo ve zdržení ve směru VE, kde se linky VHD zdržely o -1,4 minuty méně. Zlepšení lze pozorovat i na rameni 3 pro směr VF, kde došlo k téměř 5 minutovému poklesu. To ocení zejména cestující na linkách 11, 14, 16, 19. Z pohledu cestujících se tato varianta jeví jako přínosná a pomohla by vyřešit dochvilnost některých spojů. Řidiči osobních automobilů by déle čekali na rameni 2 a 3. Průměrné zdržení se sice zvýšilo, ve srovnání se současným stavem je rozdíl hodnot nepříliš velký.

Varianta B přináší složitější a důkladnější řešení současného stavu. Zavádí aktivní preferenci VHD. Upravuje signální plán podle aktuálních požadavků. Z vyhodnocení je potřeba nalézt optimální řešení, které odpovídá kladeným požadavkům. Po důkladné analýze byla vybrána varianta B3. Průměrná délka kolony se prodloužila na rameni 2 (+21 m) a 3 (+30 m). Naopak tato hodnota klesla na rameni 1 (-52 m) a 2 (-19 m). Cestující MHD by byli jistě potěšeni ve směrech VC, VE, VF a dalších. Ve směru VC došlo k poklesu o -1,2 minuty, ve směru VE o -2,2 minuty a ve směru VF – 7,1 minuty. Zhoršení bylo zaznamenáno u směru VD +2,1 minuty. Varianta B3 je také nejlépe hodnocena v celospolečenské ztrátě. Zde by bylo možné ušetřit až 13 hodin.

Variantu A i její efektivnější verzi variantu B lze považovat za pokračování projektu Koridor MHD, neboť volně navazují na tento projekt v zastávce „Nádraží“.

8 Závěr

Úkolem této diplomové práce bylo provést analýzu a zhodnotit současný stav dopravy v Českých Budějovicích. Na základě zjištěných výsledků byla vybrána místa, kde dochází ke zpoždění vozidel VHD v důsledku dopravních kongescí. Poté se tato práce soustředila na jedno vybrané místo, které bylo vybráno dle specifických parametrů. Byla provedena analýza dopravního průzkumu pro dané místo. Získané dopravní intenzity v jednotlivých směrech posloužily jako vstupní parametry při dopravní simulaci. Model vybraného místa byl vytvořen v programu VISSIM. Současný stav na vybraném místě byl vyhodnocen. Byly sledovány čtyři hlavní faktory: průměrné zdržení vozidel na ramenech křižovatky, průměrná délka kolony na ramenech křižovatky, zdržení vozidel VHD v závislosti na směru a celospolečenská ztráta.

Byly navrženy dvě varianty řešení. V programu VisVAP 2.16 byl vytvořen algoritmus řízení signálního plánu. Po simulaci všech variant bylo provedeno vyhodnocení u každé z nich. Zároveň byly tyto varianty zhodnoceny a vzájemně porovnány. Byla vybrána varianta B3, která přinesla nejvyšší úspory. U této varianty klesla celková celospolečenská ztráta o 13 člověkohodiny, kleslo zdržení vozidel VHD ve třech ze čtyř hlavních sledovaných směrů, zároveň byla splněna podmínka maximálního průměrného zdržení.

V této práci byly použity výsledky z dopravního průzkumu, který byl poskytnut ze strany Dopravního podniku města České Budějovice, a. s. Další podklady pro zpracování této práce byly poskytnuty Odborem veřejných statků magistrátu města České Budějovice. Ukázka těchto podkladů je v příloze 2 a 3.

V této práci bylo nutné využít program VISSIM, ve kterém byly prováděny veškeré dopravní simulace. Signální plán byl vytvořen v programu VISSIG. K ovládání signálního plánu bylo potřeba použít program VisVAP 2.16. V tomto programu byl vytvořen algoritmus signálního plánu. Výsledky simulace byly reprezentovány pomocí programu Microsoft Office Excel.

Navržená opatření by měla posloužit jako inspirace pro budoucí aplikaci preference VHD v řešeném místě v Českých Budějovicích. Vybraná varianta B3 by v případě realizace přispěla k lepší funkčnosti dopravního systému ve městě.

Práce na toto téma byla pro mě přínosná a naučila mě mnoho důležitých poznatků, které v budoucnu jistě využiji, neboť toto téma mě velmi zajímá a rád bych se mu v budoucnu profesně věnoval.

9 Použitá literatura

1.**Mapy.** https://mapy.cz/zakladni?x=14.4624268&y=48.9785710&z=13&q=lidick%C3%A1%20t%C5%99%C3%ADda. [Online]

2. Zákon č. 194/2010Sb. . *Ministerstvo dopravy České republiky.* [Online] [Citace: 22. leden 2017.] Dostupné z:https://www.mdcr.cz/getattachment/Dokumenty/Drazni-doprava/Legislativa-v-drazni-doprave/Zakony-v-drazni-doprave/194-2010-zneni-k-1-10-2016.pdf.aspx?lang=cs-CZ.

3. Výroční zprávy. *Dopravní podnik města České Budějovice.* [Online] [Citace: 5. únor 2017.] Dostupné z: http://www.dpmcb.cz/files/File/pdf/vz_dpmcb_2015.pdf.

4. http://www.dpmcb.cz/files/File/pdf/dpmcb_schema.pdf. *Dopravní podnik města České Budějovice.* [Online] [Citace: 18. 1 2017.]

5. Návrhy opatření. *KORIDORMHD.* [Online] [Citace: 5. únor 2017.] Dostupné z:http://www.koridormhd.cz/navrhy-opatreni.html.

6. Dlouhodobá opatření IPOD. *Město České Budějovice.* [Online] [Citace: 2017. února 21.] Dostupné z: http://www.c-budejovice.cz/cz/zivotni-prostredi-bydleni-doprava/ipod/stranky/dlouhodoba-opatreni-ipod.aspx.

7. **Kočárková, Ing. Bc. Dagmar, a další.** *Základy dopravního inženýrství.* Praha : Vydavatelství ČVUT , 2004. ISBN 80-01-03022-9.

8. http://www.bikehub.co.uk/wp-content/uploads/2012/09/CanberraTransportPhoto.jpg. *BIKEHUB.* [Online] [Citace: 29. 5 2017.]

9. Preference MHD se světelnou signalizací. *Preference pražských tramvají.* [Online] [Citace: 25. listopad 2016.] Dostupné z: http://preference.prazsketramvaje.cz/showpage.php?name=ssz.

10. Zásady pro dopravní značení na pozemních komunikacích . *IBESIP.* [Online] [Citace: 2017. únor 7.] Dostupné z:http://www.ibesip.cz/data/web/kampane/legislativa/besip-02-TP_65_2vydani.pdf.

11. Proč preference MHD. *Preference pražských tramvají.* [Online] [Citace: 25. listopad 2016.] Dostupné z: http://preference.prazsketramvaje.cz/showpage.php?name=procpreference.

12. **Martolos, Jan.** *TP 235 Posuzování kapacity světelně řízených křižovatek.* místo neznámé : EDIP s.r.o, Liberec, 2011. ISBN 978-80-87394-03-8.

13. **Luděk Bartoš, Jiří Kašpar, Vladislav Rozsypal, Jan Martolos, Lenka Kozáková, Pavel Doubek.** *TP 188 Posuzování kapacity neřízených úrovňových křižovatek.* Mariánské Lázně : EDIP s.r.o., Koura publishing, 2007. ISBN 978-80-902527-6-9.

14. Pravidla silničního provozu. *Centrum služeb pro silniční dopravu.* [Online] [Citace: 1. prosinec 2016.] Dostupné z: http://www.cspsd.cz/127-ma-tramvaj-vzdy-prednost-v-jizde.

10 Seznam obrázků

Obrázek 1 Mapa města zobrazující významné pozemní komunikace a zastávky, které jsou obsluhovány v rámci IDS [Zdroj: (1)] ..... - 6 -
Obrázek 2 Schéma linkového vedení MHD[Zdroj: (4)] ..... - 9 -
Obrázek 3 Preferenční opatření ve městě ..... - 12 -
Obrázek 4 Vyznačení prioritních dopravních staveb [Zdroj: (6)] ..... - 14 -
Obrázek 5 Srovnání přepravních kapacit vybraných dopravních prostředků [Zdroj: (8)] ..... - 15 -
Obrázek 6 Oddělený tramvajový pás, ... - 17 -
Obrázek 7 MK určená výhradně pro provoz VHD, ... - 17 -
Obrázek 8 Přednostní průjezd prostředku VHD ..... - 18 -
Obrázek 9 Světelná závora, ... - 18 -
Obrázek 10 Kontaktní trolejový detektor ..... - 20 -
Obrázek 11 Návěstidlo pro tramvaj, výzvové návěstidlo, Bělehradská x Otakarova ..... - 21 -
Obrázek 12 Návěstidlo pro tramvaj Bordeaux, Francie ..... - 21 -
Obrázek 13 Návěstidlo pro autobus, Seoul, Jižní Korea ..... - 22 -
Obrázek 14 Signály používané při preferenci VHD [Zdroj: (14)] ..... - 22 -
Obrázek 15 Rudolfovská tř. x Nádražní ..... - 23 -
Obrázek 16 Pražská tř. x Pekárenská ..... - 24 -
Obrázek 17 E. Rošického x Husova tř. ..... - 24 -
Obrázek 18 Situace křižovatky ..... - 26 -
Obrázek 19 Fázové schéma ..... - 27 -
Obrázek 20 Pentlogram pro ranní špičku (7:30-8:30) ..... - 27 -
Obrázek 21 Pentlogram pro odpolední špičkovou hodinu (15:00-16:00) ..... - 28 -
Obrázek 22 Pevný signální plán křižovatky Rudolfovská tř. X Nádražní ..... - 28 -
Obrázek 23 Wiedemannůvpsycho-fyzikální model chování řidiče ..... - 32 -
Obrázek 24 Ukázka dopravního modelu řešené křižovatky Nádražní x Rudolfovská třída ..... - 37 -
Obrázek 25 Návrhnuté opatření ve variantě A ..... - 39 -
Obrázek 26 Autobus předjel kolonu stojících vozidel vyhrazeným jízdním pruhem ..... - 39 -
Obrázek 27 Navržené fázové schéma ..... - 41 -
Obrázek 28 Detekce vozidla VHD na rameni 3 ..... - 42 -
Obrázek 29 Přednostní odjezd autobucu MHD ..... - 42 -
Obrázek 30 Odjezd ostatních vozidel ..... - 42 -
Obrázek 31 Navržený algoritmus řízení SSZ s preferencí VHD ..... - 44 -

11 Seznam tabulek

Tabulka 1 Základní charakteristika MHD [Zdroj: (3)] ..... - 8 -
Tabulka 2 Průběh realizace projektu Koridor MHD [Zdroj: (5)] ..... - 10 -
Tabulka 3 Změna zpoždění ..... - 23 -
Tabulka 4 Změna zpoždění ..... - 24 -
Tabulka 5 Změna zpoždění ..... - 24 -
Tabulka 6 Přehled provozu signálních plánů ..... - 27 -
Tabulka 7 Limitní hodnoty na vjezdu do světelně řízené křižovatky střední doby zdržení [Zdroj: (12)] ..... - 30 -
Tabulka 8 ukázka zaznamenaných hodnot detektory ..... - 34 -
Tabulka 9 Zdržení vozidel VHD dle směrů - současný stav ..... - 36 -
Tabulka 10 Zdržení vozidel VHD dle směrů – varianta A ..... - 46 -
Tabulka 11 Přehled změn dob volno v jednotlivých fázích ..... - 47 -
Tabulka 12 Zdržení vozidel VHD dle směrů - varianta B1 ..... - 49 -
Tabulka 13 Zdržení vozidel VHD dle směrů - varianta B2 ..... - 51 -
Tabulka 14 Zdržení vozidel VHD dle směrů - varianta B3 ..... - 54 -
Tabulka 15 Zdržení vozidel VHD dle směrů - varianta B4 ..... - 56 -
Tabulka 16 Zdržení vozidel VHD dle směrů - varianta B5 ..... - 58 -
Tabulka 17 Zdržení vozidel VHD dle směrů - varianta B6 ..... - 60 -
Tabulka 18 Zdržení vozidel VHD dle směrů - varianta B7 ..... - 61 -
Tabulka 19 Porovnání průměrné délky kolony v závislosti na variantě a rameni ..... - 63 -
Tabulka 20 Porovnání průměrného zdržení vozidel v závislosti na variantě a rameni ..... - 63 -
Tabulka 21 Srovnání doby zdržení pro vozidla VHD dle směrů ..... - 64 -
Tabulka 22 Celkové srovnání celospolečenské ztráty ..... - 66 -

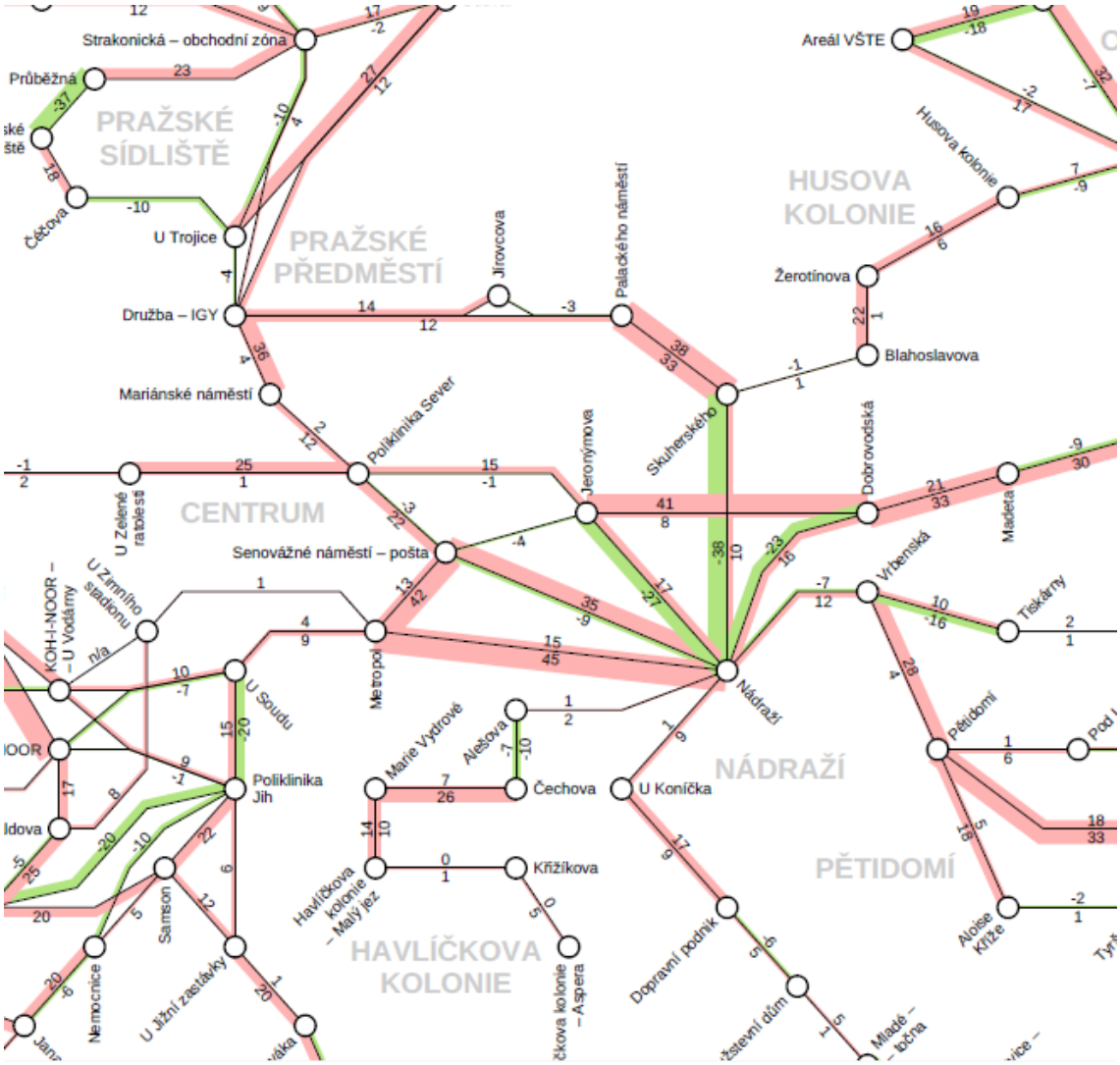
12 Seznam grafů

Graf 1 Záznam denní intenzity ..... - 26 -
Graf 2 Záznam intenzity v průběhu dne 29. 3. 2017 ..... - 29 -
Graf 3 Průměrná hodnota intenzity ..... - 30 -
Graf 4 Průměrná délka kolony v závislosti na rameni – současný stav ..... - 35 -
Graf 5 Průměrné zdržení v závislosti na rameni - současný stav ..... - 35 -
Graf 6 Vyjádření celospolečenské ztráty - současný stav ..... - 37 -
Graf 7 Změna průměrné délky kolony - varianta A ..... - 45 -
Graf 8 Změna průměrného zdržení – varianta A ..... - 46 -
Graf 9 Vyjádření celospolečenské ztráty - varianta A ..... - 47 -
Graf 10 Změna průmerné délky kolony – varianta B1 ..... - 48 -
Graf 11 Změna průměrného zdržení – varianta B1 ..... - 48 -
Graf 12 Vyjádření celospolečenské ztráty – varianta B1 ..... - 50 -
Graf 13 Změna průměrné délky kolony – varianta B2 ..... - 50 -
Graf 14 Změna průměrného zdržení – varianta B2 ..... - 51 -
Graf 15 Vyjádření celospolečenské ztráty – varianta B2 ..... - 52 -
Graf 16 Změna průměrné délky kolony – varianta B3 ..... - 53 -
Graf 17 Změna průměrného zdržení – varianta B3 ..... - 53 -
Graf 18 Vyjádření celospolečenské ztráty – varianta B3 ..... - 54 -
Graf 19 Změna průměrné délky kolony – varianta B4 ..... - 55 -
Graf 20 Změna průměrného zdržení – varianta B4 ..... - 55 -
Graf 21 Vyjádření celospolečenské ztráty – varianta B4 ..... - 56 -
Graf 22 Změna průměrné délky kolony – varianta B5 ..... - 57 -
Graf 23 Změna průměrného zdržení – varianta B5 ..... - 57 -
Graf 24 Vyjádření celospolečenské ztráty – varianta B5 ..... - 58 -
Graf 25 Změna průměrné délky kolony - varianta B6 ..... - 59 -
Graf 26 Změna průměrného zdržení - varianta B6 ..... - 59 -
Graf 27 Vyjádření celospolečenské ztráty - varianta B6 ..... - 60 -
Graf 28 Změna průměrné délky kolony - varianata B7 ..... - 61 -
Graf 29 Změna průměrného zdržení - varianata B7 ..... - 61 -
Graf 30 Vyjádření celospolečenské ztráty - varianata B7 ..... - 62 -
Graf 31 Závislost míry preference na celospolečenské ztrátě ..... - 65 -

13 Seznam příloh

Příloha 1 Ukázka zjištěných dat ..... *I*
Příloha 2 ÚKD pro odpolední dopravní špičku ..... *II*
Příloha 3 Současné uspořádání řešené křižovatky ..... *III*
Příloha 4 Ukázka výstupu dat z programu VISSIM – zdržení vozidel VHD, varianta B3 ..... *IV*

Příloha 1 Ukázka zjištěných dat



[Zdroj: Dopravní podnik města České Budějovice, a. s.]

Příloha 2 ÚKD pro odpolední dopravní špičku

ODPOLEDNÍ ŠPIČKOVÁ HODINA

Kapacitní posouzení světelně řízené křižovatky podle TP 235

Název křižovatky: CB.02 Rudolfovská - Nádražní

Posuzovaný stav: P2 - odpolední špičková hodina | Délka cyklu t_C [s] | 80

Zadání levého odbočení ovlivněného protisměrem

Vjezd (signální skupina)	Protisměr					Levé odbočení						
	Intenzita			Sat. tok	Zelená	Přesah	Počet	Dílčí kapacita				
	VOZ	N+B	celkem I_p	S_p	z_p	zel. z_o	míst N_A	C_{L1}	C_{L2}	C_{L3}	C_L	C_S
	voz/h	voz/h	pvoz/h	pvoz/h	s	s	pvoz	pvoz/h	pvoz/h	pvoz/h	pvoz/h	pvoz/h
VF	657	67	706	1920	35	0	4	61	180	0	241	244

Posouzení kapacity vjezdů, úroveň kvality dopravy

Vjezd (signální skupina)		Intenzita VOZ	Intenzita N+B	Intenzita celkem I_V	Sat. tok S_V	Zelená z	Kapacita C_V	Rezerva Rez	Délka fronty L_{F1}	Délka fronty L_{F2}	Počet zast.	Zdržení t_w	ÚKD Požad. dosaž.
		voz/h	voz/h	pvoz/h	pvoz/h	s	pvoz/h	%	m	m	voz/h	s	
VA	^>	657	67	706	1920	35	840	16	53		526	28,2	E | B
VB	<	355	91	430	1860	19	442	3	44		317	>120	E | E
VC	>	577	103	663	1840	44	1012	34	40		365	14,4	F | A
VD	^	458	65	504	2000	20	500	-1	50	74	458	>120	E | F
VE	<	62	15	77	1820	7	182	58	9		52	37	E | C
VF	^,^>	390	66	444	3080	10	509	13	26		344	52,4	E | D
VG	>	50	18	63	1800	22	495	87	6		34	20,1	E | B
VG	^	511	75	564	2000	22	550	-3	55	139	511	>120	E | F
VH	<	265	24	282	1820	11	250	-13	32	224	265	>120	E | F
Kapacita levého odbočení ovlivněného protisměrem													
VF		144	17	156	1860	10	241	35	18		123	42	E | C

L_{F1} průměrná délka fronty na začátku zelené, L_{F2} délka fronty na konci návrhové hodiny s překročenou kapacitou vjezdu

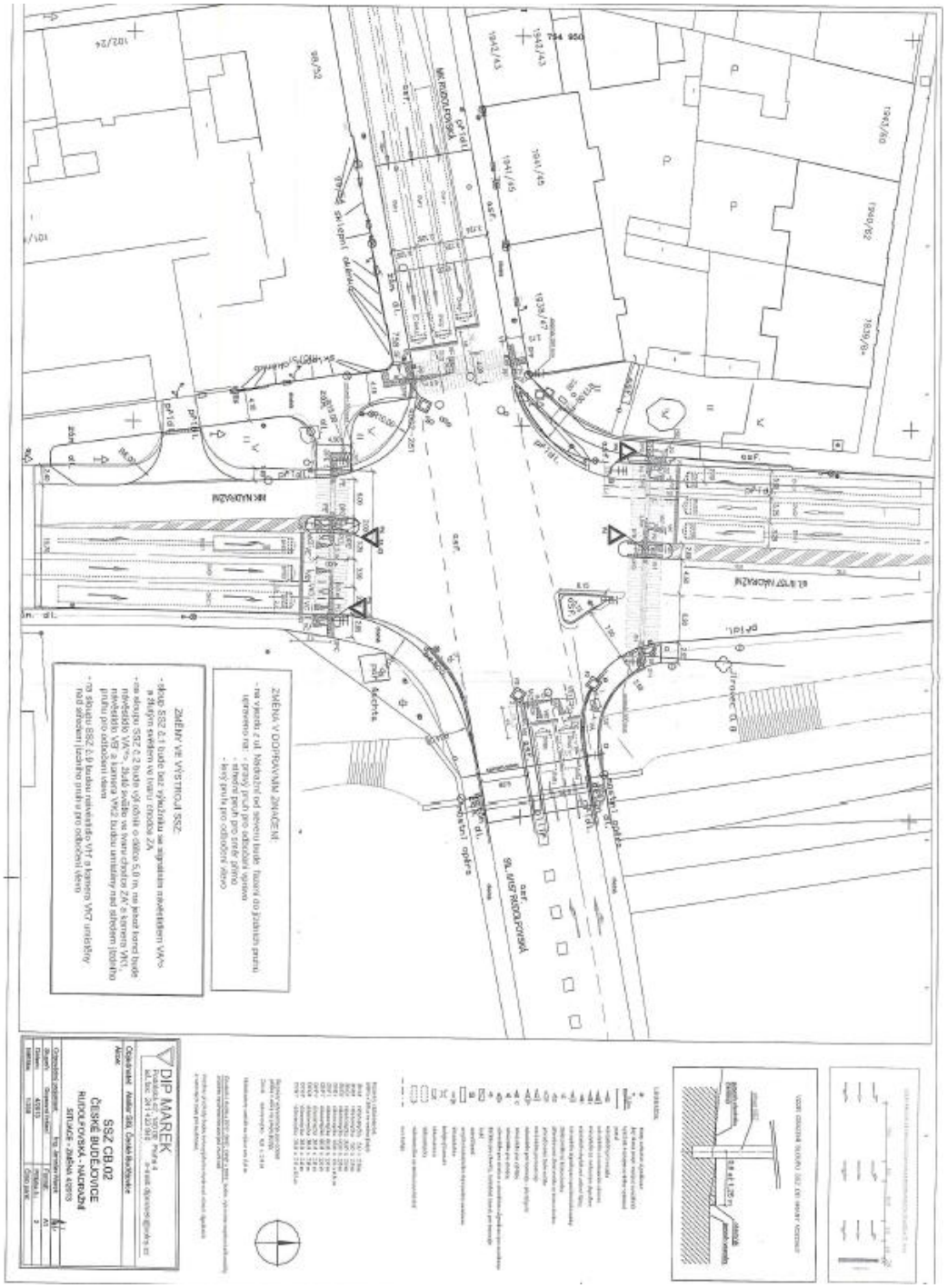
Zdržení celkem 68,7 h; 71,3 s/pvoz **Počet zastavení celkem 2995 voz/h; 86 % voz**

Závěr: Stanovená úroveň kvality dopravy světelně řízené křižovatky F – Překročená kapacita

Poznámka:

[Zdroj: Odbor správy veřejných statků magistrátu města České Budějovice]

Příloha 3 Současné uspořádání řešené křižovatky



[Zdroj: Odbor správy veřejných statků magistrátu města České Budějovice]

Příloha 4 Ukázka výstupu dat z programu VISSIM – zdržení vozidel VHD, varianta B3

Time	No.	Veh	VehType	Trav.	Delay.
678.7	1	482	300	75.6	43.7
725.9	1	488	300	120.2	88.4
969.3	1	659	300	119.1	85.2
1011.4	1	696	300	110.1	74.5
1070.1	1	774	300	68.4	35.8
1221.6	1	870	300	71.3	37.9
1294.5	1	938	300	44.2	10.7
1548.9	1	1137	300	48.6	13.1
1573.1	1	1138	300	71.3	37.5
1707.9	1	1231	300	57.6	22.5
1789.5	1	1270	300	87.8	52.1
1871.8	1	1333	300	71.5	36.7
2142.8	1	1493	300	137.3	104.6
2517.6	1	1722	300	211.8	180.9
2776.2	1	2052	300	75.4	39.7
2780.8	1	2053	300	78.6	46.4
2857.1	1	2133	300	56.8	25.2
3093.9	1	2290	300	93.6	59.8
3099.5	1	2291	300	97.7	64
3434.0	1	2562	300	83.7	49
3516.9	1	2605	300	112.4	81.2
3995.7	1	2987	300	95.4	62.6
646.3	1	481	610	44.7	10.3
1063.1	1	773	610	62.9	29.8
1379.1	1	979	610	78.8	45.1
1780.5	1	1266	610	80.2	48.6
2115.9	1	1492	610	111.9	76.9
2434.5	1	1678	610	234.2	202.8
2689.2	1	1979	610	89.0	53.4
3339.1	1	2481	610	88.8	54.5
642.3	2	489	300	34.5	1.4
1049.4	2	783	300	45.0	14.1
1450.5	2	1065	300	50.2	17.6
1514.0	2	1092	300	63.3	30.9
1857.9	2	1337	300	53.6	23.7
2335.7	2	1684	300	132.3	101.6
2669.1	2	1983	300	67.4	35.5
2936.4	2	2205	300	36.1	2.8
3078.8	2	2300	300	74.4	41.1
3494.0	2	2611	300	87.1	56.3

3830.8	2	2910	300	30.6	0.5
704.1	3	483	300	96.3	76
1035.2	3	778	300	29.0	10.8
1435.8	3	1022	300	79.8	61.8
2083.1	3	1495	300	76.8	57.3
2088.0	3	1496	300	78.7	58.7
2173.7	3	1595	300	67.8	48
2906.8	3	2168	300	51.0	32.5
3489.4	3	2607	300	83.3	64.8
3653.7	3	2760	300	33.7	15
783.9	4	592	300	27.7	9.9
1036.8	4	779	300	27.9	10.1
1590.4	4	1141	300	84.0	64
2092.8	4	1497	300	80.7	62.3
2326.0	4	1753	300	19.8	2.1
2575.4	4	1907	300	70.0	52.6
3067.8	4	2296	300	61.6	41.9
3567.0	4	2690	300	56.3	36.7
4045.5	4	3055	300	39.0	20
643.8	5	485	300	25.2	4.4
648.9	5	496	300	25.7	5.4
744.8	5	560	300	33.9	15
1057.2	5	775	300	48.0	26.7
1062.0	5	776	300	50.0	31
1067.5	5	777	300	52.6	31.5
1072.8	5	781	300	54.6	34.4
1141.5	5	845	300	23.8	5.2
1456.4	5	1063	300	31.9	13.2
1543.9	5	1139	300	34.0	12.9
1614.9	5	1169	300	56.5	37
1641.4	5	1203	300	23.3	5.1
1727.0	5	1267	300	19.1	0.7
1857.8	5	1335	300	37.8	19.1
2133.8	5	1596	300	22.7	3.2
2228.5	5	1679	300	20.2	0.7
2270.0	5	1682	300	41.3	22.9
2441.5	5	1828	300	32.5	14.2
2516.6	5	1870	300	45.2	26.8
2532.1	5	1906	300	23.3	5
2636.9	5	1981	300	18.4	0.4
2643.6	5	1988	300	21.3	1.9
2938.1	5	2206	300	26.3	8.3

3028.7	5	2292	300	20.2	0.3
3091.9	5	2298	300	54.4	35.4
3128.9	5	2365	300	20.5	1
3134.2	5	2366	300	22.6	3.7
3431.4	5	2606	300	21.7	2.9
3442.2	5	2609	300	21.8	1.9
3512.0	5	2646	300	52.8	32.8
3671.6	5	2762	300	53.5	35.2
3840.8	5	2909	300	21.5	2.2
4148.2	5	3113	300	39.9	21.8
721.1	5	522	610	62.0	42.1
1327.0	5	980	610	19.2	0.7
1624.3	5	1173	610	55.8	37.5
2127.6	5	1594	610	20.0	1.2
2476.5	5	1862	610	18.7	0.8
2728.2	5	2054	610	19.8	0.5
3250.9	5	2446	610	43.0	24.7
3596.2	5	2723	610	37.9	20.2
664.7	6	484	300	49.0	31.4
838.1	6	629	300	21.7	2.2
1093.3	6	780	300	65.9	48.5
1241.4	6	906	300	25.1	6.1
1480.3	6	1062	300	58.2	38.2
1650.6	6	1202	300	35.1	16.4
1799.3	6	1268	300	79.4	60.1
1883.5	6	1334	300	66.4	46.5
2046.7	6	1498	300	24.0	6.7
2293.1	6	1681	300	66.9	49.4
2460.0	6	1829	300	41.6	24.5
2643.3	6	1980	300	27.3	8.4
2868.8	6	2131	300	52.8	33.4
3117.8	6	2297	300	83.0	63.5
3278.1	6	2447	300	57.3	37.9
3450.0	6	2608	300	31.9	13.3
3540.4	6	2689	300	25.4	6
3695.5	6	2761	300	80.0	60.5
3855.9	6	2908	300	40.1	23.3
4093.0	6	3056	300	77.2	59.9
992.8	6	697	610	80.3	61.9
1562.4	6	1140	610	39.5	20.1
1568.6	6	1144	610	41.0	21.2
2041.6	6	1494	610	29.0	10.9

2539.7	6	1863	610	72.8	54.2
3042.6	6	2294	610	19.3	0.6
687.8	7	492	300	52.4	31.9
693.1	7	501	300	50.1	28.1
1185.4	7	846	300	58.1	37.7
1191.9	7	850	300	57.7	36.1
1671.0	7	1204	300	42.0	19.3
1687.1	7	1212	300	52.9	31.9
2155.2	7	1597	300	34.6	11.3
2159.7	7	1602	300	32.1	11.6
2657.3	7	1985	300	22.6	1.4
2740.0	7	1992	300	98.1	75.2
3148.6	7	2367	300	27.2	5.7
3223.7	7	2372	300	95.2	71.7
3720.1	7	2763	300	91.0	70
3724.8	7	2768	300	90.7	69.3
4195.5	7	3115	300	77.4	54.4
642.7	9	490	300	31.8	3.4
1362.8	9	982	300	61.1	32.7
2086.9	9	1499	300	86.3	55
2758.1	9	2055	300	53.4	21.5
3431.9	9	2612	300	30.5	1.3
4133.7	9	3114	300	33.4	3.2
676.6	12	486	300	76.5	50.4
1248.2	12	782	300	214.3	185.8
1402.8	12	919	300	149.7	120.9
1651.9	12	1064	300	235.1	205.9
2039.4	12	1336	300	194.4	167.1
2650.6	12	1683	300	141.9	114.6
2807.8	12	1982	300	148.5	120.1
3201.9	12	2299	300	153.9	127.8
3295.5	12	2245	300	151.3	124.4
922.2	12	562	610	147.7	123.9
1556.9	12	981	610	219.4	194.5
2045.8	12	1412	610	145.0	120.7
2458.5	12	1754	610	150.8	127.7
3137.1	12	2295	610	92.7	69.6
3449.3	12	2482	610	140.7	116.3
754.5	13	487	300	150.0	124.7
1332.7	13	869	300	143.9	121.1
1820.6	13	1269	300	87.9	62
2398.0	13	1721	300	134.4	110.6

3034.8	13	2132	300	211.3	186.7
3713.8	13	2561	300	143.3	119.5
4109.5	13	2986	300	163.4	137.2