



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ  
V PRAZE**

**FAKULTA DOPRAVNÍ**

*Kristýna Cikhardtová*

**Implementace řídicího algoritmu pro oblast  
křižovatek**

Diplomová práce

**2015**



**K620 ..... Ústav dopravní telematiky**

**ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**  
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

**Bc. Kristýna Cikhardtová**

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

**N 3710 – DS – Dopravní systémy a technika**

Název tématu (česky): **Implementace řídicího algoritmu pro oblast křižovatek**

Název tématu (anglicky): The implementation of control algorithm in urban area of intersections

**Zásady pro vypracování**

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

- Vytipované vhodné oblasti z hlediska dopravně inženýrského popisu alespoň pro 2 SSZ
- Kapacitní posouzení stávajícího způsobu řízení
- Návrh řízení oblasti v programu VISSIM a otestování
- Ověření nového návrhu řízení a otestování v programu VISSIM

Rozsah grafických prací:

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

Seznam odborné literatury: Jirava P., Slabý P.: Pozemní komunikace 10 -Dopravní inženýrství, skripta ČVUT, 1997.  
Příbyl P.: Inteligentní dopravní systémy a dopravní telematika II, skripta ČVUT, 2007.  
Příbyl P., Svítek M.: Inteligentní dopravní systémy, BEN, Praha 2001, ISBN 80-7300-029-6

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Tomáš Tichý, Ph.D.**

**Datum zadání diplomové práce:**

(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:**

- a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
- b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

L. S.

.....  
doc. Ing. Pavel Hruběš, Ph.D.

vedoucí  
Ústavu - doplňte název ústavu -

.....  
prof. Dr. Ing. Miroslav Svítek

děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.

.....  
Bc. Kristýna Cikhardtová

jméno a podpis studenta

V Praze dne .....

# Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala všem, kteří mi poskytli podklady pro vypracování této práce. Zvláště pak děkuji doc. Ing. Bc. Tomáši Tichému, Ph.D za odborné vedení a konzultování bakalářské práce a za rady, které mi poskytoval po celou dobu mého studia. V neposlední řadě je mou milou povinností poděkovat své rodině a blízkým za morální a materiální podporu, které se mi dostávalo po celou dobu studia.



# Prohlášení

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

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

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

V Praze 30. 5. 2015

.....

# Abstrakt

Předmětem této diplomové práce je vytvořit řídicí algoritmus pro sérii křižovatek ve vhodné vybrané oblasti, otestovat ho v simulačním prostředí a shrnout výsledky. Jednotlivými kroky k dosažení tohoto cíle bylo detailně se seznámit s vytipovaným místem, provést kapacitní posouzení všech křižovatek a na základě těchto znalostí navrhnout vhodný algoritmus, který bude implementován do simulačního prostředí softwaru Vissim, kde bude odladěn a vyhodnocen. Z dílčích výsledků pak bude porovnán současný stav se stavem novým, z čehož vyplynou doporučení a příležitosti ke zlepšení.

# Abstract

The subject of this diploma thesis is to create control algorithm for series of intersections in a appropriately chosen area, test it in the simulation environment and summarize the results. Single steps to reach the goal are following: to know the chosen place for testing very well in details, to make capacity assessment of all intersections and suggest appropriate algorithm, that will be based on each previous knowledge. Then it will be implemented into the simulation environment of the Vissim software, where it will tuned and evaluated. Every single result of new state will be compared with actual state. That will prove recommendations and opportunities for improvement.

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Vytipování vhodné oblasti řízení</b>	<b>2</b>
2.1	Širší vztahy . . . . .	2
2.2	Popis jednotlivých křižovatek . . . . .	5
2.2.1	K100:Velehradská třída - Vodní - Moravní . . . . .	6
2.2.2	K107:Velehradská třída - Hradební . . . . .	8
2.2.3	K101:Velehradská třída - Hradební . . . . .	10
2.2.4	K102:Velehradská třída - Sokolovská . . . . .	11
2.2.5	K103: Malinovského - Svatoplukova . . . . .	13
<b>3</b>	<b>Dopravně inženýrské podklady</b>	<b>15</b>
3.1	Dopravní průzkum . . . . .	15
3.1.1	Obecné zásady dopravních průzkumů . . . . .	15
3.1.2	Realizace průzkumu . . . . .	16
3.2	Kapacitní posouzení . . . . .	18
3.2.1	Obecné zásady kapacitního posouzení . . . . .	18
3.2.2	Realizace kapacitního posouzení . . . . .	20
<b>4</b>	<b>Algoritmus řízení</b>	<b>25</b>
4.1	Princip algoritmu . . . . .	26
4.2	Stanovení hodnot parametrů algoritmu . . . . .	26
<b>5</b>	<b>Tvorba modelu</b>	<b>36</b>
5.1	Tvorba sítě . . . . .	36
5.2	Vstupy do modelu . . . . .	36
5.3	Definování dopravního řešení . . . . .	36
5.4	Tvorba řídicího algoritmu . . . . .	41
5.5	Možnosti vyhodnocení . . . . .	43
<b>6</b>	<b>Vyhodnocení simulace</b>	<b>45</b>

6.1	Jednotlivá vyhodnocení podle úseku testování . . . . .	46
6.2	Vyhodnocení v porovnání se stávajícím stavem . . . . .	50
6.3	Shrnutí a závěrečná doporučení . . . . .	55
<b>7</b>	<b>Závěr</b>	<b>57</b>
<b>8</b>	<b>Literatura a zdroje</b>	<b>58</b>
<b>9</b>	<b>Seznam použitého softwaru</b>	<b>60</b>
<b>10</b>	<b>Seznam příloh</b>	<b>61</b>

## Seznam obrázků

1	Mapa širších vztahů [8] . . . . .	3
2	Intenzity na hlavních tazích města [11] . . . . .	4
3	Mapa řešené oblasti [8] . . . . .	6
4	Schéma situace K100 [4] . . . . .	7
5	Variace dopravy na K100 . . . . .	8
6	Schéma situace K107 [4] . . . . .	9
7	Variace dopravy na K107 . . . . .	9
8	Schéma situace K101 [4] . . . . .	10
9	Variace dopravy na K101 . . . . .	11
10	Schéma situace K102 [4] . . . . .	12
11	Variace dopravy na K102 . . . . .	12
12	Schéma situace K103 [4] . . . . .	13
13	Variace dopravy na K103 . . . . .	14
14	Situace křižovatek s označením strategických vjezdů [8] . . . . .	25
15	Délka fronty K100 VD . . . . .	28
16	Délka fronty K100 VF . . . . .	29
17	Délka fronty K102 VB . . . . .	30
18	Délka fronty K103 VC . . . . .	31

19	Doby zdržení K100 VD . . . . .	32
20	Doby zdržení K100 VF . . . . .	33
21	Doby zdržení K102 VB . . . . .	34
22	Doby zdržení K103 VC . . . . .	35
23	Srovnání sítě z map a z vizualizace[6][8] . . . . .	37
24	Schéma principu vazeb mezi programy Vissim, VisVAP, Vissig [6] . . . . .	38
25	Ukázka převodu z prostředí Vissig do textového souboru *.pua . . . . .	39
26	Ukázka a vysvětlivky *.vap souboru . . . . .	40
27	Nadefinování času v prostředí VisVap . . . . .	41
28	Definování sběru dat v prostředí VisVap . . . . .	42
29	Definování logiky řízení v prostředí VisVAP . . . . .	43
30	Nadefinování požadovaného výstupu (například pro časové veličiny)[7] . . . . .	44
31	Jednotlivé úseky vyhodnocení . . . . .	45
32	Travel time + Delay v pevných plánech . . . . .	47
33	Travel time + Delay v TDC1 . . . . .	48
34	Travel time + Delay v TDC2 . . . . .	48
35	Travel time + Delay v TDC3 . . . . .	49
36	Travel time + Delay v TDC4 . . . . .	49
37	Travel time + Delay v TDC5 . . . . .	50
38	Vývoj zlepšení postupným laděním TDC . . . . .	51
39	Srovnání ve všech režimech testování v simulaci . . . . .	51
40	Srovnání zdržení podle úseku . . . . .	52
41	Srovnání cestovní doby podle úseku . . . . .	53
42	Finální algoritmus . . . . .	54
43	Situace na křižovatce K103 VA v hlavním směru prázdný . . . . .	56
44	Situace na křižovatce K103 VD ve vedlejším směru . . . . .	56
45	Křižovatka K100 při pohledu do centra Uherského Hradiště . . . . .	62
46	Křižovatka K100 při směrem z Uherského Hradiště do Starého města . . . . .	62
47	Křižovatka K107 při pohledu na hlavní ulici ve směru do Kunovic . . . . .	63
48	Křižovatka K102 čelem k odbočení do Zlína . . . . .	63
49	Křižovatka K102 při pohledu na hlavní ulici ve směru na Staré město . . . . .	64

50	Křižovatka K103 při pohledu na hlavní komunikaci směrem do Kunovic . . . . .	64
51	Křižovatce K103 ve vedlejším směru směrem do centra města . . . . .	65
52	Křižovatka K101 při pohledu na hlavní ulici směrem do Kunovic . . . . .	65

## Seznam tabulek

1	Průzkum směrovosti . . . . .	17
2	Průzkum skladby dopravního proudu . . . . .	17
3	Kapacitní posouzení křižovatky K100, první část . . . . .	20
4	Kapacitní posouzení křižovatky K100, druhá část . . . . .	21
5	Kapacitní posouzení křižovatky K101 . . . . .	21
6	Kapacitní posouzení křižovatky K102 . . . . .	22
7	Kapacitní posouzení křižovatky K103 . . . . .	23
8	Kapacitní posouzení křižovatky K103 . . . . .	23
9	Délky zelených v jednotlivých signálních plánech . . . . .	27
10	Vyznačení hraničních intenzit pro přepnutí do vhodného SP . . . . .	35
11	Délky Travel Time [TT]s a Delay [D]s jednotlivých úsecích . . . . .	46
12	Výsledné hodnoty rozdílů zlepšení mezi pevným plánem a TDC . . . . .	53

## Seznam použitých zkratk

MHD	Městská hromadná doprava
ČSN	Česká technická norma
TP	Technické podmínky
SSZ	Světelné signalizační zařízení
TT	Travel Time
D	Delay
PP	Pevné plány
100 VD	Úsek na signální skupině VD na křižovatce K100
100 VF	Úsek na signální skupině VF na křižovatce K100
102 VB	Úsek na signální skupině VB na křižovatce K102
103 VC	Úsek na signální skupině VC na křižovatce K103
100 VD	Úsek na signální skupině VD na křižovatce K103
$C_v$	je kapacita vjezdu [pvoz/h]
$S_v$	je saturovaný tok vjezdu [pvoz/h]
$l_v$	je délka fronty na konci návrhové hodiny s překročenou kapacitou vjezdu [m]
$n_p$	je počet řadících pruhů, které společně tvoří jeden vjezd [-]
$t_c$	je délka cyklu [s]
$I_v$	návrhová intenzita dopravy na vjezdu [pvoz/h]
$L_f$	je průměrná délka fronty na začátku zeleného signálu [m]
$t_w$	je střední doba zdržení [s]
$z'$	je délka efektivní zelené [s]
Rez	je rezerva kapacity vjezdu [%]
M	motocykly
N	nákladní automobily
A	autobusy
K	nákladní soupravy
ÚKD	Úroveň kvality dopravy



# 1 Úvod

V současné době je mobilita každodenní součástí života pro většinu lidí, je potřeba vytvářet vhodné prostředí pro naplňování cílů a představ všech cestujících. Problémem je, že v současné situaci, kdy počet osobních automobilů vzrůstá, mnoho lidí cestuje ve stejnou dobu za podobným cílem. Tento jev je dobře znám jako například ranní a odpolední špička. Důsledkem je pochopitelně zvýšení cestovní doby, vyšší zdržení, větší počet zastavení, dopady na životní prostředí, atp. Toto vede společnost k hledání nejrůznějších řešení, jak co nejvíce zefektivnit omezenou kapacitu komunikací.

V souvislosti s touto problematikou se jako vhodné řešení jeví vývoj nových technologií, konceptů řízení a dopravní telematiky. Pro správnou aplikaci dopravní telematiky je nejprve potřeba detailně poznat vlastnosti a charakteristiky dopravního proudu a prozkoumat všechny možnosti vývoje.

Tato diplomová práce se bude zabývat tvorbou a aplikací řídicího algoritmu, nasazeného na sérii nejméně dvou křižovatek. V první řadě bude popsána vytipovaná oblast s detaily o příslušných křižovatkách a bude shrnut současný stav dopravního chování pro vytvoření představy o zvoleném úseku. Popis oblasti bude také obsahovat kapacitní posouzení všech křižovatek pro výchozí signální program. Kapacitní posouzení nám poskytne základní představu o tom, kde je možnost pro zlepšení a teoretickou představu, kde se mohou nacházet hluchá místa v řízení pevnými plány.

Nezbytnou součástí pro pochopení dopravního proudu a dopravně inženýrských vazeb v oblasti je provedení dopravního průzkumu. Zejména pro nabytí představy o směrovosti, skladbě dopravního proudu a celkové dojmu, jak oblast funguje. Ze všech podkladů, které byly k dispozici nebo byly vytvořeny, vznikly základní logické podmínky řídicího algoritmu. Tyto podmínky budou testovány a odladěny v simulačním prostředí programu Vissim. Všechny výstupy budou srovnány se stávajícím stavem a bude zhodnocen přínos, ze kterého budou případně vyplývat doporučení pro současný provoz.

Diplomová práce je spojena s výzkumným projektem TA1030603 Nové metody pro řízení dopravy v kongescích v intravilánu (NOMŘÍZ). Řešitelský tým tvořili pracovníci společnosti ELTODO, a.s., Ústavu teorie informace AV ČR a ČVUT Fakulty dopravní [9].

## 2 Vytipování vhodné oblasti řízení

Vytipovaná oblast pro řízení musela splňovat kritéria v souladu s cílem této diplomové práce. V první řadě je třeba vybrat oblast, která je řízena více než dvěma světelnými křižovatkami, dosahuje vyšších intenzit a má vhodné dopravně inženýrské vazby. Jako oblast odpovídající daným kritériím byl zvoleno úsek hlavního tahu městem Uherské Hradiště.

### 2.1 Širší vztahy

Město Uherské Hradiště se nachází na jihovýchodě České republiky ve Zlínském kraji. V samotném městě, rozkládajícím se na 21,26 km<sup>2</sup>, žije přes 25 tisíc obyvatel. Společně s Kunovicemi a Starým městem tvoří Uherské Hradiště aglomeraci s více než 38 tisíci obyvateli. Město se rozkládá na levém břehu řeky Moravy, která město z morfologického hlediska vyrovnala náplavami v rovinaté území. Spádové oblasti města jsou zejména Zlín, vzdálený 23 km, moravská metropole Brno, případně Olomouc s kvalitním železničním spojením. Poloha i spádové oblasti jsou vyznačeny na Obrázku 1 [10].

Hlavním dopravním tahem města je Velehradská třída a na ni navazující Třída Maršála Malinovského. Komunikace spojují město Kunovice a Staré město, resp. severní a jižní část Uherského Hradiště. Intenzity na této páteřní komunikaci se pohybují v obou směrech kolem 20 000 voz/den. Detailně na Obrázku 2. Další velmi důležitou komunikací je ulice Sokolovská, spojující město se Zlínem. Intenzity v Sokolovské ulici se pohybují kolem 15 000 voz/den. Jmenované komunikace jsou na základě § 6 Zákona o pozemních komunikacích 13/1997 Sb. řazeny mezi místní komunikace II. třídy, kterou je dopravně významná sběrná komunikace [8][1].

Veřejná hromadná doprava města je zajištěna autobusovou i železniční dopravou. Celkově město nabízí kvalitní regionální i celostátní vlakové spojení. Uherské Hradiště leží na trati 340, jejíž je koncovou stanicí na trase Brno - Uherské Hradiště a na trati 341 na trase Staré Město u Uherského Hradiště – Vlárský průsmyk. Ve vlakové dopravě lze zároveň využít trať 330 Přerov - Břeclav, nacházející se ve Starém městě. Trať 330 je dvoukolejná elektrizovaná celostátní trať a je součástí 2. koridoru. Jsou po ní vedeny vlaky od osobních až po EuroCity.



Obrázek 1: Mapa širších vztahů [8]

Místní autobusový dopravce zajišťuje jak městskou hromadnou dopravu, tak dopravu po celé aglomeraci tří měst. V současnosti městskou hromadnou dopravu obsluhuje celkem 7 autobusových linek. Autobusovou dopravu v rámci regionu a jeho blízkém okolí zajišťují jednotliví soukromí dopravci objednaní krajem.

V roce 2004 byl otevřen městský obchvat I/50, který přímo navazuje na dálnici D1 a spojuje Brno a Trenčín. Účelem okruhu je vyloučení tranzitní dopravy, která by vedla přímo skrz město. Otevření okruhu tak vedlo k poklesu nákladní i individuální automobilové dopravy přes centrum města. Takto je řidičům nabídnuta komfortní alternativa využít k dopravě silnici I. třídy. Aby byl obchvat kompletní, bylo by třeba dostavění ještě jeho severní části vedoucí na Zlín. Nyní se město stále potýká s výskytem nákladní dopravy a tranzitní individuální dopravy, která komplikuje dopravní situaci zejména ve špičkových hodinách. K tvorbě kolon je náchylný zejména hlavní tah městem a připojení komunikace vedoucí ze



Obrázek 2: Intenzity na hlavních tazích města [11]

Zlína. Tento tah je řízen celý řízen světelnou signalizací v pevných plánech a je obousměrně koordinovaný.

Nezanedbatelnou součástí dopravy v Uherském Hradišti je podíl cyklistů. Město je svým rovinatým rázem a přiměřeně velkou rozlohou pro cyklistickou dopravu velmi vhodné. Infrastruktura je cyklistice přizpůsobena a ve městě se nachází téměř 13 km značených cyklotras, 10 km cyklostezek a 1 km vyhrazených jízdních pruhů pro cyklisty. Intenzita cyklistů je v některých místech tak vysoká, že dosahuje 1 700 cyklistů/den. Pro bezpečnost cyklistů jsou světelně řízené křižovatky na přejezdech vybaveny i návěstidly pro cyklisty [7].

## 2.2 Popis jednotlivých křižovatek

V Uherském Hradišti byly pro testování vybrány křižovatky na páteřním tahu městem - Velehradská třída a Třída Maršála Malinovského. Řídit všechny křižovatky by bylo příliš náročné, a tak byl algoritmus aplikován na prvních pěti uzlech:

- K100: Velehradská třída - Vodní - Moravní
- K107: Velehradská třída - Hradební
- K101: Velehradská třída - autobusové nádraží
- K102: Velehradská třída - Sokolovská
- K103: Třída Maršála Malinovského - Svatoplukova

Detailní rozmístění křižovatek v síti je na Obrázku 3. Všechny křižovatky jsou řízeny pevnými signálními plány s nastavenou týdenní automatikou a celý hlavní tah je obousměrně koordinovaný ve všech signálních programech. Společnou vlastností křižovatek je, že mají nejzatíženější směr přímo. Křižovatka K102 má zároveň silné intenzity od západu ve směru na Zlín. Převážná část dopravy jsou osobní vozidla, nicméně vzhledem k výše zmíněné absenci severního okruhu města se vyskytuje i doprava nákladní.

Všechny křižovatky, s výjimkou K100: Velehradská třída - Vodní - Moravní, jsou průsečné či stykové, na hlavním tahu se dvěma, případně třemi řadicími pruhy. Křižovatka K100 je složena ze dvou stykových křižovatek, avšak řízena z jednoho řadiče a definována jedním dopravním řešením. Ze stavebního hlediska je nejrozsáhlejší křižovatka K102, která je od roku 2012 zrekonstruovaná. V hlavním směru v ulici Velehradská třída byl v obou směrech přidán třetí řadicí pruh pro levé odbočení a ve vedlejším směru z ulice Sokolovská byl přidán druhý řadicí pruh. Důvod k rekonstrukci a rozšíření křižovatky bylo intenzivní levé odbočení z hlavní komunikace směrem do Zlína.

Z technologického hlediska jsou všechny křižovatky vybaveny ve většině směrech detektory. Zpravidla indukčními smyčkami nebo videodetekcí. Výjimku tvoří křižovatka K103 ve směru VD, kde detektory chybí.





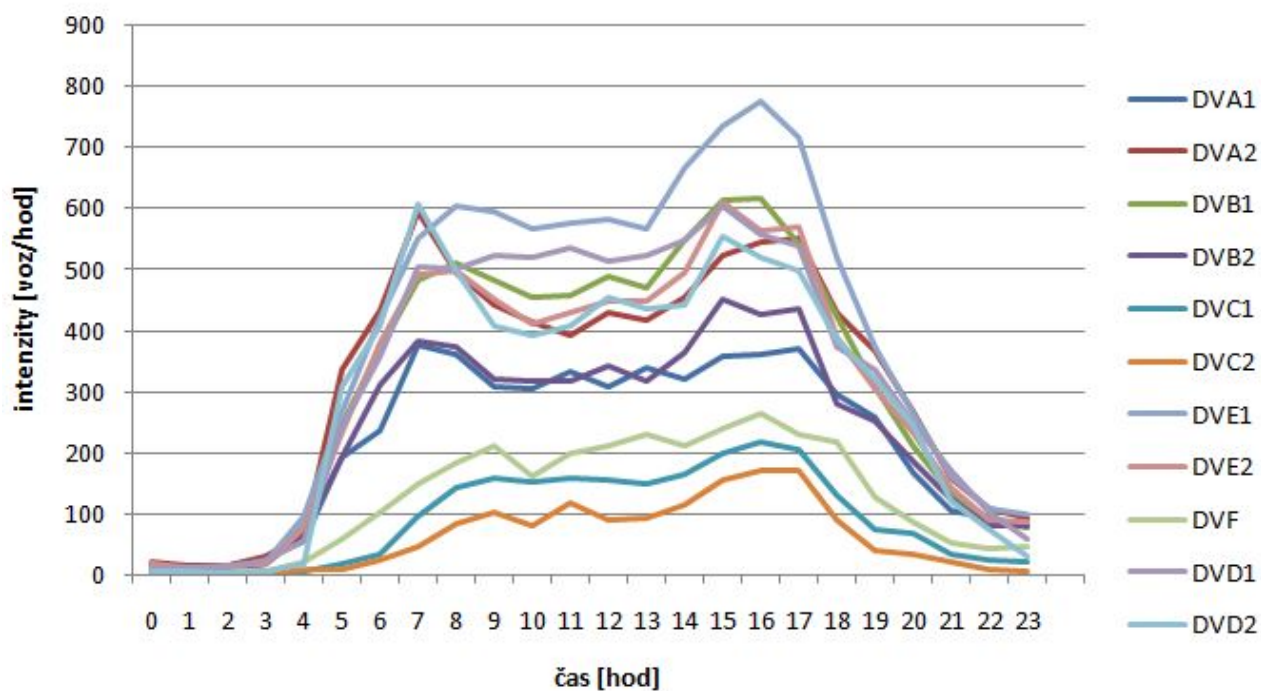
Obrázek 3: Mapa řešené oblasti [8]

### 2.2.1 K100: Velehradská třída - Vodní - Moravní

Křižovatka K100 leží na začátku vyznačené oblasti. Na vjezdu ve směru od Starého města je umístěna videodetekce, na ostatních vjezdech jsou indukční smyčky. Křižovatka je ve špičkových hodinách zatížena velmi silně v hlavním směru a nárazově silněji ve vedlejším směru z ulice Svatojiřské nábřeží. Schéma situace je na Obrázku 4.



## Průběh intenzit za 24 hodin\_K100

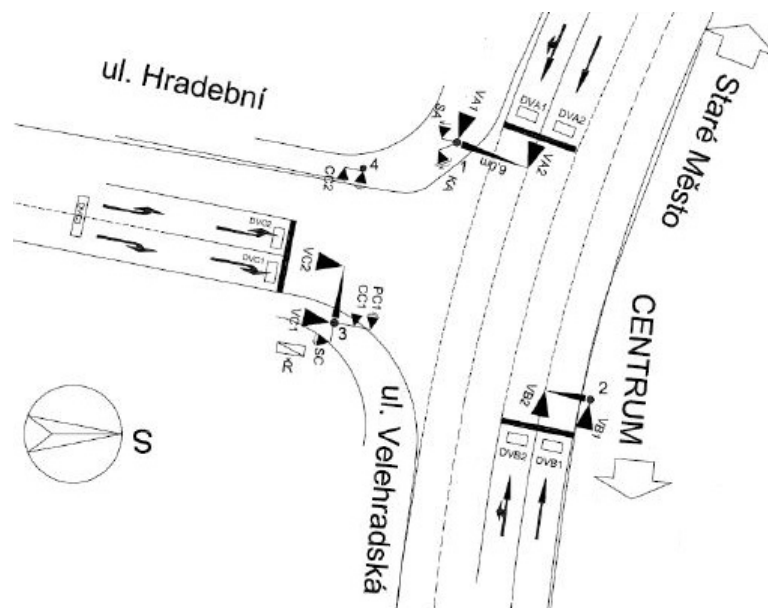


Obrázek 5: Variace dopravy na K100

### 2.2.2 K107: Velehradská třída - Hradební

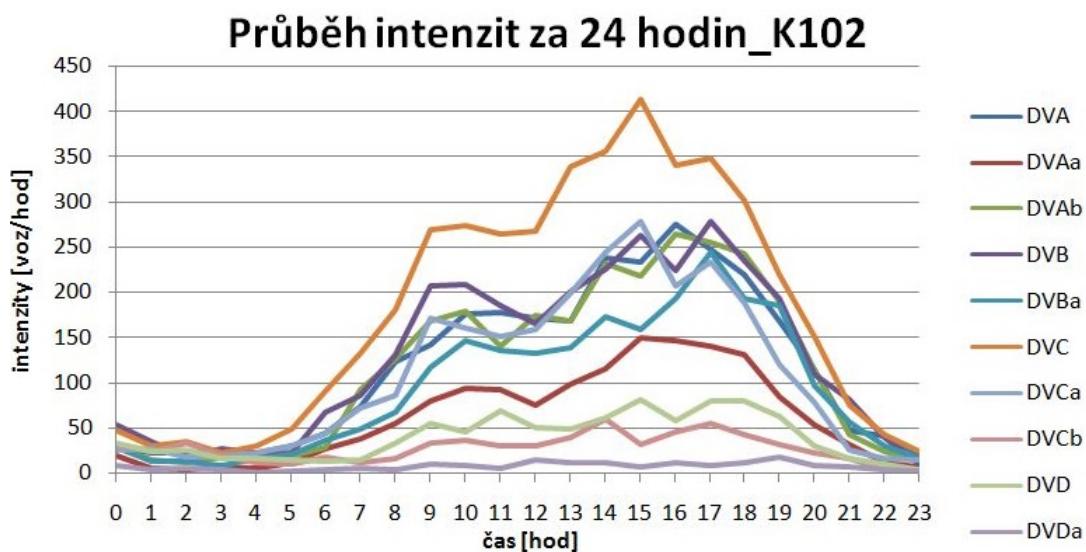
Styková křižovatka K107 leží u dvou nákupních středisek, ke kterým směřuje vedlejší ulice Hradební. Intenzity mimo hlavní směr nejsou příliš významné pro nadstavbový systém řízení. Křižovatka je ve všech větvích vybavena indukčními smyčkami. Detailně na Obrázku 6.





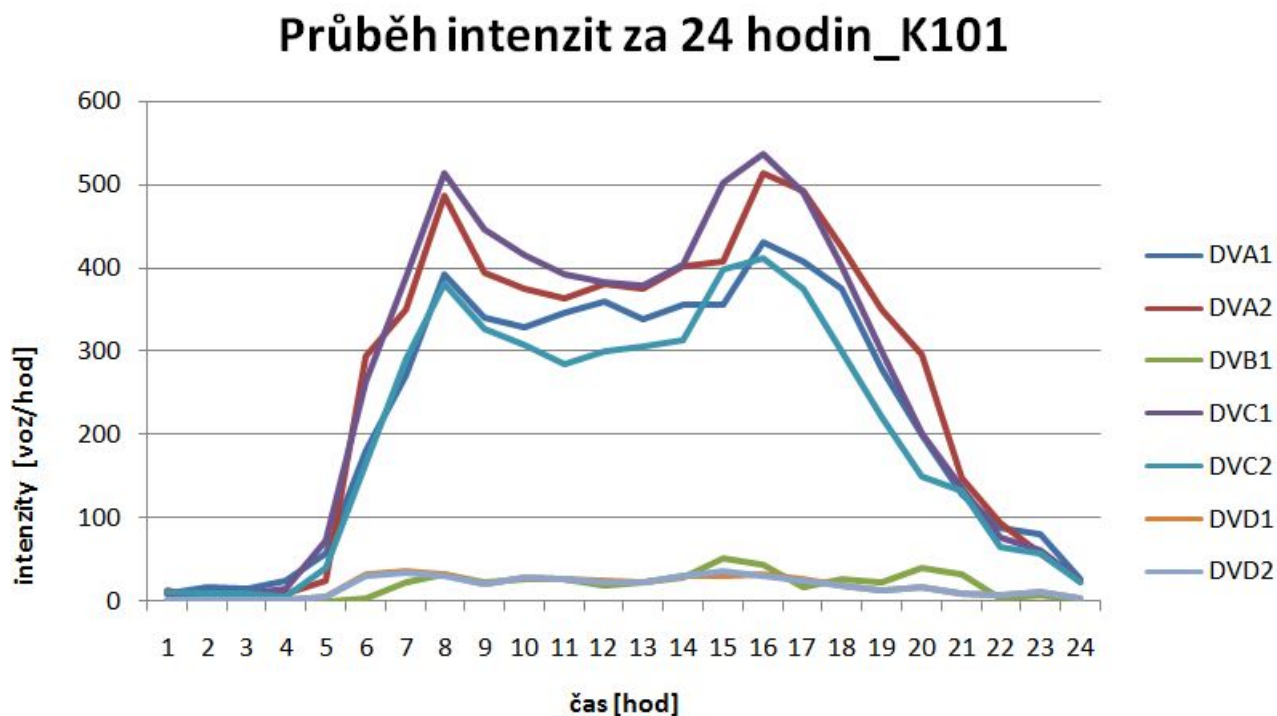
Obrázek 6: Schéma situace K107 [4]

Denní Variace dopravy je zobrazena na Obrázku 7. Na hlavní komunikaci je patrná silná ranní špička začínající v 7 hodin, dosahující 350 voz/h v jednom řadicím pruhu. Mezi 9 a 14 hodin je polední sedlo, které prudce narůstá v nejsilnější období dne - odpolední špičku s více než 600 voz/h. Na vedlejší komunikaci je přes den poměrně konstantní provoz s mírným nárůstem v odpolední špičce.



Obrázek 7: Variace dopravy na K107





Obrázek 9: Variace dopravy na K101

#### 2.2.4 K102: Velehradská třída - Sokolovská

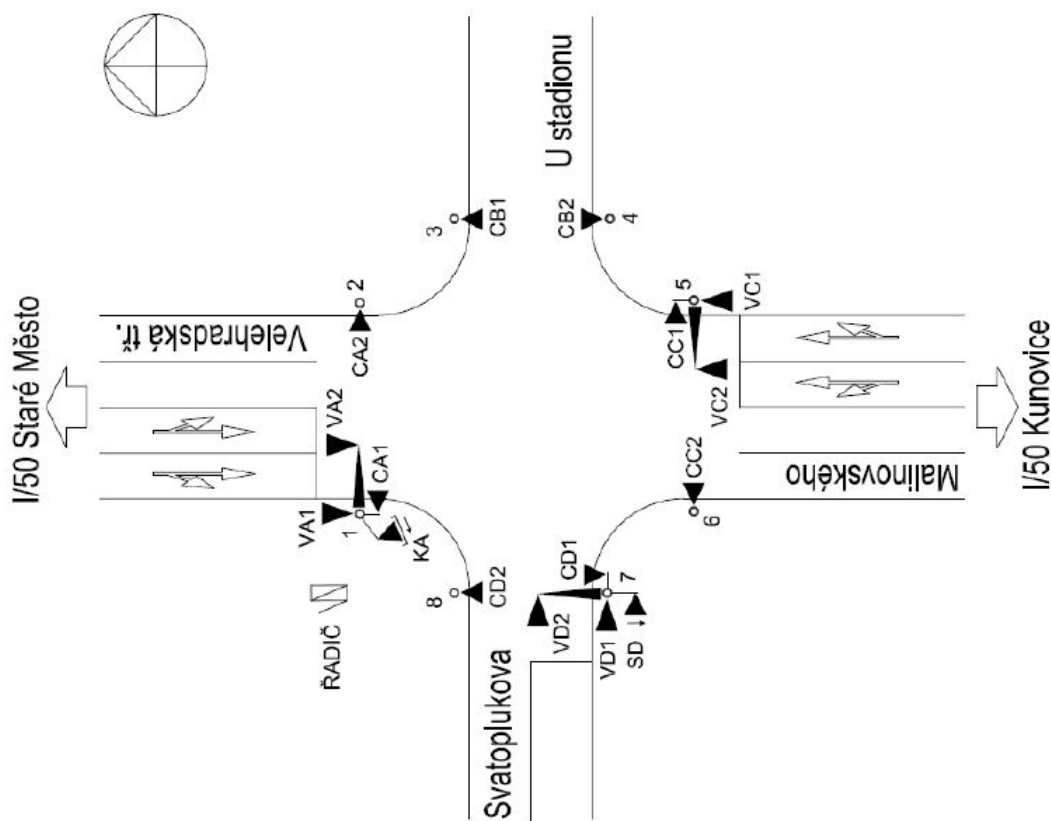
Křižovatka K102 je nejvytíženější křižovatkou v dané oblasti. Je zatížena intenzitami na hlavním tahu (Staré město – Kunovice) a zároveň je frekventovaná ve směru od/ze Zlína. z tohoto důvodu byla křižovatka v roce 2012 nově zrekonstruovaná (Obrázek 10), v hlavním směru byly přidány odbočovací pruhy vlevo v obou směrech a rameno ulice Sokolovské bylo také rozšířeno o jeden řadící pruh. Větve křižovatky jsou vybaveny indukčními smyčkami.

Graficky znázorněná denní variace dopravy na Obrázku 11 poukazuje na specifika tohoto uzlu. Zcela nejvyšších intenzit dosahuje řadící pruh na hlavním tahu ve směru od Kunovic s možností pokračovat směrem na Staré město nebo pravým odbočením na Zlín. Tento řadící pruh dosahuje v odpolední špičce přes 400 voz/h. Ostatní intenzity na hlavním tahu na příjezdu z vedlejší komunikace Sokolovské jsou vyrovnané. Intenzity v jednotlivých řadících pruzích se pohybují kolem 250 voz/h v odpolední špičce, což je nejdominantnější období z celého dne. Ranní špička splývá s poledním sedlem a její intenzity jsou oproti odpolední špičce zhruba o 100 voz/h menší.



## 2.2.5 K103: Malinovského - Svatoplukova

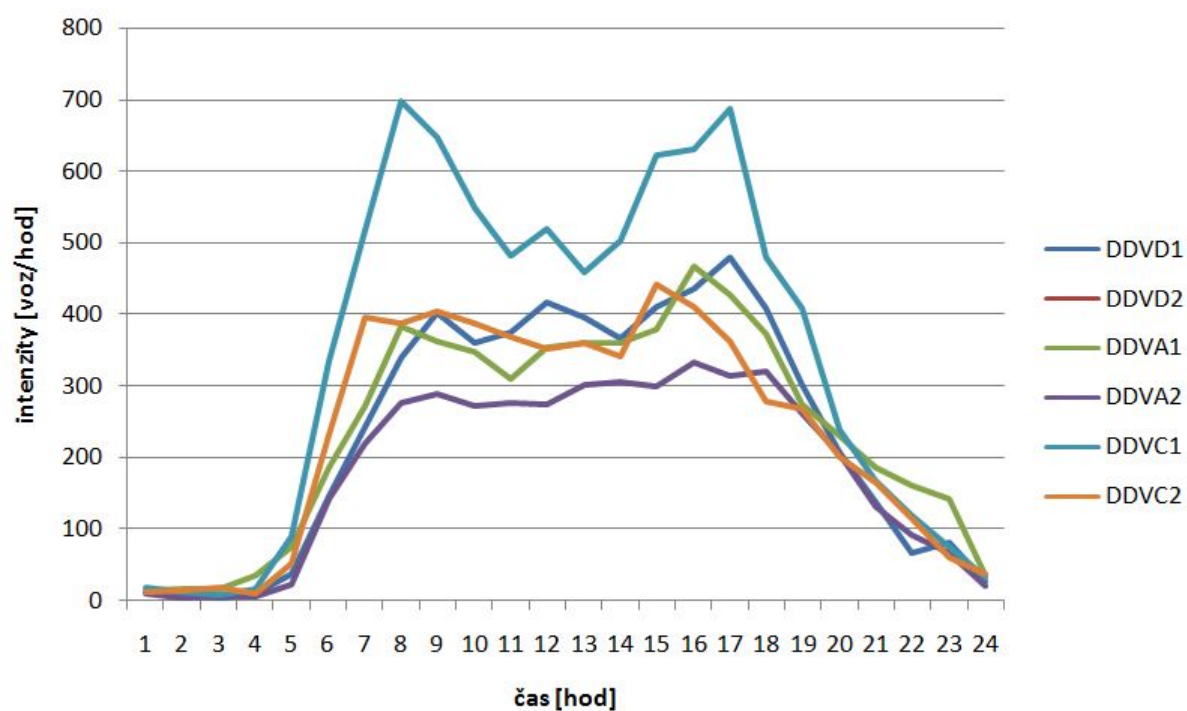
Průsečná křižovatka K103 leží na konci vytipované oblasti. Její vjezdy jsou opatřeny indukčními smyčkami s výjimkou vjezdu z ulice Svatoplukova, proto z ní nejsou jiná data, než data z dopravního průzkumu, podle kterých byl dopočítán zbytek dne. Při špičkových hodinách je nejvytíženější hlavní směr přímo a také příjezd z centra Uherského Hradiště ulicí Svatoplukova. Ulice u Stadionu je jednosměrná ve směru od křižovatky. Schématická situace je na Obrázku 12.



Obrázek 12: Schéma situace K103 [4]

Variace dopravy za 24 hodin na Obrázku 13 má na hlavním tahu ve směru do centra Uherského Hradiště učebnicový průběh intenzit - nejsilnějším obdobím je ranní a odpolední špička se srovnatelnými intenzitami kolem 700 voz/h v řadičím pruhu. Ostatní větve křižovatky mají nevýraznou ranní i odpolední špičku splývající s poledním sedlem [4][19].

## Průběh intenzit za 24 hodin\_K103



Obrázek 13: Variace dopravy na K103

## 3 Dopravně inženýrské podklady

V rámci analýzy oblasti a postupu podle zadání bylo provedeno kapacitní posouzení všech křižovatek za stávajícího stavu. Nicméně v první řadě bylo potřeba udělat v oblasti dopravní průzkum, aby byla k dispozici veškerá potřebná data, ať už nezbytná ke kapacitnímu posouzení či samotné tvorbě modelu.

### 3.1 Dopravní průzkum

Ačkoliv jsou v celé oblasti detektory a je tak možné získat data o intenzitě, nebylo možné získat data o směrovosti, skladbě dopravního proudu v jednotlivých uzlech a také o intenzitě VD na křižovatce K103, kde chybí detektory. z tohoto důvodu byl v Uherském hradišti uskutečněn dopravní průzkum. Průzkum byl proveden v běžný pracovní den, konkrétně čtvrtek 19.6.2014 v ranní (7-11) a odpolední(14-18) špičce.

#### 3.1.1 Obecné zásady dopravních průzkumů

Zpočátku bylo třeba určit hodinu provedení dopravního průzkumu. V souladu s TP189 se doba průzkumu dělí podle účelu průzkumu, potřebné přesnosti a charakteru dopravy. Před samotnou realizací je také potřeba ověřit, zda doprava v dané oblasti nebude narušena nějakou mimořádnou událostí (uzavírky, kulturní události, apod.).

Provedení průzkumu je možné ručně, případně pomocí technických prostředků. Při provádění průzkumu pomocí technických prostředků je výhodou, že doba trvání může být delší a v závislosti na použitých přístrojích daleko přesnější. V tomto případě byl však proveden průzkum ruční, jehož hlavní výhodou je zejména operativnost a nezávislost na instalaci technických prostředků. Nevýhodou je, že průzkum nemůže být dlouhodobý a v tomto konkrétním případě je průzkum velmi náročný, protože sledovaných bodů v oblasti je mnoho a celkový úsek je poměrně rozlehlý. Protože simulace bude testována na dobu provozu světelně řízených křižovatek, bude potřeba podle napočítaných osmi hodin průzkumu dopočítat pomocí metodiky z TP189 zbylých 7 hodin.

Jak již bylo zmíněno výše, byl proveden průzkum poměru směrovosti ve smíšených řadicích pruzích a skladba dopravního proudu. Podle doporučení TP189 byla vozidla dělena podle následujícího výčtu:

- M motocykly - jednostopá motorová vozidla, sajdkáry,
- o osobní automobily - bez přívěsů i s přívěsy, dodávkové automobily, mikrobusey,
- N nákladní automobily - lehké, střední a těžké nákladní automobily, traktory, speciální nákladní automobily,
- A autobusy - vozidla určená pro přepravu osob a jejich zavazadel, která mají víc než 9 míst (včetně kloubových autobusů a autobusů s přívěsy),
- K nákladní soupravy - přívěsové a návěsové nákladní soupravy.

Vzhledem k tomu, že se v oblasti nevyskytly téměř žádné motocykly ani těžké nákladní soupravy, byla skladba dopravního proudu zjednodušena na tři kategorie - osobní automobily, nákladní automobily a autobusy.

### **3.1.2 Realizace průzkumu**

Průzkum směrovosti byl proveden na všech křižovatkách, ve smíšených řadicích pruzích (například rovně a vpravo). Tento průzkum musel být udělán zejména kvůli tvorbě routování v simulaci na jednotlivých křižovatkách, kde je potřeba definovat směrování v procentech (případně poměrech) pro každý možný pohyb na křižovatce. Příklady nejpodstatnějších hodnot průzkumu za udaný časový interval jsou uvedeny v následující Tabulce 1, celý průzkum je součástí příloh.



Tabulka 1: Průzkum směrnosti

K100			K102			K103					
ráno											
DVD1 [voz] [%]			DVF [voz] [%]			DVB [voz] [%]			DVD [voz] [%]		
přímo	864	39,1	vpravo	144	23,1	přímo	720	48,4	vpravo	784	52,1
vpravo	1344	60,9	vlevo	480	76,9	vpravo	768	51,6	vlevo	720	47,9
odpoledne											
přímo	1280	75,5	přímo	992	59,6	vpravo	656	42,7	vpravo	772	52,1
vpravo	416	24,5	vpravo	672	40,4	vpravo	880	57,3	vlevo	716	47,9

Dopravní průzkum skladby dopravního proudu musel být proveden zejména kvůli správnému nadefinování vstupů do oblasti. Vzhledem k tomu, že je ve Vissimu možné nadefinovat všechny kategorie vozidel, nebylo potřeba přepočítávat průzkum na jednotková vozidla. Tento průzkum byl proveden opět v ranní (7-11) a odpolední (14-18) špičce na třech nejdůležitějších vstupech do oblasti - příjezd z Kunovic, Starého města a ze Zlína.

Tabulka 2: Průzkum skladby dopravního proudu

Vstup [voz]				Podíl [%]			
	Staré město	Zlín	Kunovice		Staré město	Zlín	Kunovice
ráno				ráno			
OA	3648	2304	3984	OA	93,8	94,1	92,6
NA	192	112	192	NA	4,9	4,6	4,5
BUS	48	32	128	BUS	1,2	1,3	3,0
odpoledne				odpoledne			
OA	3626	2528	3232	OA	93,8	95,2	93,2
NA	188	64	144	NA	4,9	2,4	4,2
BUS	48	64	80	BUS	1,2	2,4	2,3

## 3.2 Kapacitní posouzení

Kapacitní posouzení bylo provedeno v souladu s TP 235. Všechny křižovatky byly posuzovány jako celek, až na výjimku K100, která byla vzhledem ke svému specifickému tvaru posuzována jako dvě stykové křižovatky.

### 3.2.1 Obecné zásady kapacitního posouzení

Pro posouzení kapacity křižovatky je nezbytná znalost intenzit dopravy všech dopravních proudů v křižovatce v rozlišení podle druhu vozidel. v tomto případě pro analýzu současného stavu se využívá současných intenzit dopravy a není potřeba počítat hodnoty výhledových intenzit.

V první řadě je potřebná znalost geometrického uspořádání křižovatky:

- Počet a uspořádání řadicích pruhů na všech paprscích křižovatky = v rámci jedné signální skupiny se za samostatný vjezd považuje každý řadicí pruh (skupina pruhů), který neslouží pro stejný směr jízdy jako sousední pruh
- Podélný sklon vjezdu ( $\alpha$ ) [%] = při stoupání
- Poloměr oblouku pro odbočení ( $R$ ) [m] = není třeba zjišťovat při pravém odbočení ovlivněném chodci či při levém odbočení ovlivněném protisměrem.
- Počet míst k najetí do křižovatky a zastavení vozidla při dávání přednosti protijedoucím vozidlům automobily odbočujícími vlevo (NA) [pvoz] = pouze pro levé odbočení ovlivněné protisměrem v samostatném řadicím pruhu
- Délky řadicích pruhů (LC, LD) [m] = délka čekacího a zpomalovacího úseku řadicího pruhu

Pro posouzení úrovně kvality dopravy na křižovatce řízené světelnou signalizací je kritériem ztrátový čas vyjádřený střední dobou zdržení na jednotlivých vjezdech do křižovatky. Pro stanovení závěrů kapacitního posouzení křižovatky je nutné ověřit, zda pro intenzitu dopravy na vjezdu není překročena hodnota střední doby zdržení.

Prvním krokem při výpočtu kapacitního posouzení je definování intenzit, saturovaného toku, délku cyklu a doby zelené jednotlivých signálních skupin, což známe z dopravního řešení nebo z definice. Postupně se tak vypočte kapacita běžného vjezdu (1), rezerva kapacity vjezdu (2), délka fronty (3) a doba zdržení (4).

$$C_V = S_V * \frac{z'}{t_c} \quad (1)$$

$$Rez = (1 - \frac{I_V}{C_v}) * 100 \quad (2)$$

$$L_F = 6 * \frac{((t_c - z') * l_V)}{(n_p * 3600)} \quad (3)$$

$$t_w = 0,45 * \frac{(t_c - z')^2 * C_V}{C_V * t_c - l_V * C_V} \quad (4)$$

kde jednotlivé veličiny jsou:

$C_v$  je kapacita vjezdu [pvoz/h]

$S_v$  je saturovaný tok vjezdu [pvoz/h]

$l_v$  je délka fronty na konci návrhové hodiny s překročenou kapacitou vjezdu [m]

$n_p$  je počet řadících pruhů, které společně tvoří jeden vjezd [-]

$t_c$  je délka cyklu [s]

$I_v$  návrhová intenzita dopravy na vjezdu [pvoz/h]

$L_f$  je průměrná délka fronty na začátku zeleného signálu [m]

$t_w$  je střední doba zdržení [s]

$z'$  je délka efektivní zelené [s]

Rez je rezerva kapacity vjezdu [%]

Výjimku v postupu při stanovení kapacity vjezdu tvořeného samostatným řadícím pruhem pro levé odbočení ovlivněné protisměrem, tj. pokud ve stejné fázi (alespoň po její část) jedou i protijedoucí vozidla a vozidla odbočující vlevo jim musí dávat přednost. Tato kapacita je dána:

- počtem vozidel, která mohou s ohledem na světelné signály vjet přes stopčáru do křižovatky

- počtem vozidel, která mohou s ohledem na intenzitu dopravy v protisměru odbočit v křižovatce vlevo

Kapacita levého odbočení ovlivněného protisměrem se vypočte jako součet dílčích kapacit - levé odbočení v době zelené protisměru, odbočení po skončení vlastní zelené při změně fází a odbočení neovlivněná protisměrem [3].

### 3.2.2 Realizace kapacitního posouzení

Kapacita byla pro všechny křižovatky počítána pro stávající výchozí 100 s cyklus (SP10), který je podle týdenní automatiky spuštěn od 5 do 19 hodin. Byly použity intenzity ze stávajících detektorů a vycházejí ze špičkových hodin. Ostatní potřebné dopravně-inženýrské hodnoty jsou vypsány z dopravního řešení.

Všechny křižovatky kapacitně vyhovují a jejich dosažená ÚKD se pohybuje kolem stupně B až C, až na K100. Na křižovatce K100 vychází hraničně vedlejší výjezd VF, jehož ÚKD je E a doba zdržení podle výpočtu dosahuje více než 78 s. To je způsobeno zejména velmi krátkou dobou zelené v signálním programu (15 s). Do jisté míry je délka zelené kompenzována přidáním doplňkové šipky pro odbočení vpravo. Křižovatkové větve na hlavním tahu mají velmi slušné ÚKD pohybující se na hodnotách A až B s maximálním zdržením kolem půl minuty.

Tabulka 3: Kapacitní posouzení křižovatky K100, první část

Název křižovatky: K100a												
Posuzovaný stav:										Délka cyklu $t_c$ [s]	100	
Posouzení kapacity vjezdů, úroveň kvality dopravy												
Vjezd (signální skupina)	Intenzita			Sat. tok	Zelená	Kapacita	Rezerva	Délka	Délka fronty	Počet	Zdržení	ÚKD
	VOZ	N+B	celkem $I_V$	$S_V$	$z$	$C_V$	$Rez$	fronty $L_{F1}$	$L_{F2}$	zast.	$t_w$	Požad. dosaž.
	voz/h	voz/h	pvoz/h	pvoz/h	s	pvoz/h	%	m	m	voz/h	s	
DVD1 ^>	603	0	603	2000	40	800	25	60		466	29,4	E   B
DVD2 ^	606	0	606	2000	40	800	24	61		469	29,6	E   B
DVE2 >	608	0	608	2000	74	1480	59	26		204	5,1	E   A
DVE1 <^	774	0	774	2000	74	1480	48	34		295	6,2	E   A
DVF <>	265	0	265	2000	15	300	12	38		234	78,4	E   E

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

**Zdržení celkem 17,86 h; 22,5 s/pvoz**      **Počet zastavení celkem 1668 voz/h; 58 % voz**

**Závěr: Stanovená úroveň kvality dopravy světelně řízené křižovatky E – Nestabilní stav**

Tabulka 4: Kapacitní posouzení křižovatky K100, druhá část

Název křižovatky: K100b												
Posuzovaný stav:										Délka cyklu $t_c$ [s]	100	
Posouzení kapacity vjezdů, úroveň kvality dopravy												
Vjezd (signální skupina)	Intenzita			Sat. tok	Zelená	Kapacita	Rezerva	Délka fronty $L_{F1}$	Délka fronty $L_{F2}$	Počet zast.	Zdržení $t_w$	ÚKD Požad.
	VOZ	N+B	celkem $I_V$	$S_V$	$z$	$C_V$	$Rez$	m	m	voz/h	s	dosaž.
	voz/h	voz/h	pvoz/h	pvoz/h	s	pvoz/h	%					
DVA1 ^	375	0	375	2000	38	760	51	39		258	23,4	E   B
DVA2 ^	595	0	595	2000	38	760	22	61		473	32,3	E   B
DVB2 ^	451	0	451	2000	74	1480	70	20		136	4,4	E   A
DVB1 ^	617	0	617	2000	74	1480	58	27		209	5,2	E   A
DVC1 <	216	0	216	2000	16	320	33	30		183	46,1	E   C
DVC2 >	171	0	171	2000	16	320	47	24		141	40,5	E   C

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

**Zdržení celkem 13,91 h; 20,6 s/pvoz**                      **Počet zastavení celkem 1400 voz/h; 58 % voz**

**Závěr: Stanovená úroveň kvality dopravy světelně řízené křižovatky C – Uspokojivá**

Křižovatka K101 není pro řízení oblasti klíčová, podstatná je z hlediska VHD, protože její rameno ve směru signální skupiny VC je výjezdem z autobusového nádraží. ÚKD na tomto výjezdu je B, na hlavním tahu je mezi A a B.

Tabulka 5: Kapacitní posouzení křižovatky K101

Název křižovatky: K101												
Posuzovaný stav:										Délka cyklu $t_c$ [s]	100	
Posouzení kapacity vjezdů, úroveň kvality dopravy												
Vjezd (signální skupina)	Intenzita			Sat. tok	Zelená	Kapacita	Rezerva	Délka fronty $L_{F1}$	Délka fronty $L_{F2}$	Počet zast.	Zdržení $t_w$	ÚKD Požad.
	VOZ	N+B	celkem $I_V$	$S_V$	$z$	$C_V$	$Rez$	m	m	voz/h	s	dosaž.
	voz/h	voz/h	pvoz/h	pvoz/h	s	pvoz/h	%					
DVA1 ^>	432	0	432	2000	40	800	46	43		298	23	E   B
DVA2 <^	514	0	514	2000	40	800	36	51		374	25,4	E   B
DVB2 <^>	52	0	52	2000	9	190	73	8		43	41,1	E   C
DVC1 ^>	537	0	537	2000	57	1140	53	38		284	12,6	E   A
DVC2 <^	412	0	412	2000	57	1140	64	30		201	11,3	E   A
DVD1 >	36	0	36	2000	16	320	89	5		28	33	E   B
DVD2 <	26	0	26	2000	16	320	92	5		20	32,6	E   B

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

**Zdržení celkem 10,73 h; 19,2 s/pvoz**                      **Počet zastavení celkem 1248 voz/h; 62 % voz**

**Závěr: Stanovená úroveň kvality dopravy světelně řízené křižovatky C – Uspokojivá**

Křižovatka K102 je již pro řízení oblasti velmi podstatná. Podle současného kapacitního posouzení křižovatka vychází velmi dobře, ÚKD na všech vjezdech je A nebo B s nejvyšší dobou zdržení téměř 35 s. Nicméně z reálného pozorování v průběhu dopravního průzkumu je patrné, že se vyskytují kapacitní problémy v případě levých odbočení ze resp. do Zlína.

Tabulka 6: Kapacitní posouzení křižovatky K102

Název křižovatky: K102												
Posuzovaný stav:										Délka cyklu $t_c$ [s]	100	
Posouzení kapacity vjezdů, úroveň kvality dopravy												
Vjezd (signální skupina)	Intenzita			Sat. tok	Zelená	Kapacita	Rezerva	Délka	Délka	Počet	Zdržení	ÚKD
	VOZ	N+B	celkem $I_V$	$S_V$	$z$	$C_V$	$Rez$	fronty $L_{F1}$	fronty $L_{F2}$	zast.	$t_w$	<u>Požad.</u>
	voz/h	voz/h	pvoz/h	pvoz/h	s	pvoz/h	%	m	m	voz/h	s	dosaž.
DVA ^>	276	0	276	2000	49	980	72	23		147	14,2	E   A
DVAa ^	149	0	149	2000	49	980	85	13		74	12,9	E   A
DVAb <	264	0	264	2000	49	980	73	22		140	14,1	E   A
DVB ^>	279	0	279	2000	28	560	50	33		210	30	E   B
DVBa <	244	0	244	2000	28	560	56	29		180	28,8	E   B
DVC ^>	413	0	413	2000	37	740	44	43		295	25,3	E   B
DVCa ^	279	0	279	2000	37	740	62	29		184	22,1	E   B
DVCb <	60	0	60	2000	37	740	92	6		35	18,6	E   A
DVD ^>	81	0	81	2000	16	320	75	11		64	34,8	E   B
DVDa <	18	0	18	2000	16	320	94	5		14	32,3	E   B

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

**Zdržení celkem 12,8 h; 22,3 s/pvoz**                      **Počet zastavení celkem 1343 voz/h; 65 % voz**

**Závěr: Stanovená úroveň kvality dopravy světelně řízené křižovatky B – Dobrá**

Na křižovatce K103 jsou z hlediska řízení oblasti důležité zejména vjezdy ve směrech signálních skupin VC a VD. VC (hlavní) je podle výpočtů kapacity na úrovni A, VD (vedlejší) vychází za B. Nicméně realita na větvi ve směru signální skupiny VD je podle pozorování na místě horší.



Tabulka 7: Kapacitní posouzení křižovatky K103

Název křižovatky: K103												
Posuzovaný stav:										Délka cyklu $t_c$ [s]	100	
Posouzení kapacity vjezdů, úroveň kvality dopravy												
Vjezd (signální skupina)	Intenzita			Sat. tok	Zelená	Kapacita	Rezerva	Délka	Délka	Počet	Zdržení	ÚKD
	VOZ	N+B	celkem $I_V$	$S_V$	$z$	$C_V$	$Rez$	fronty $L_{F1}$	fronty $L_{F2}$	zast.	$t_w$	Požad.
	voz/h	voz/h	pvoz/h	pvoz/h	s	pvoz/h	%	m	m	voz/h	s	dosaž.
DVA1 ^>	467	0	467	2000	42	840	44	45		318	22,2	E   B
DVA2 <^	334	0	334	2000	42	840	60	32		209	19,4	E   A
DVC1 ^>	791	0	791	2000	58	1160	32	55		495	16,1	E   A
DVC2 <^	442	0	442	2000	58	1160	62	31		214	11	E   A
DVD <^>	480	0	480	2000	33	660	27	54		381	33,1	E   B

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

**Zdržení celkem 14 h; 20 s/pvoz**                      **Počet zastavení celkem 1617 voz/h; 64 % voz**

**Závěr: Stanovená úroveň kvality dopravy světelně řízené křižovatky B – Dobrá**

Křižovatka K107 pro řízení oblasti není příliš podstatná. Má sice intenzivní hlavní tah jako ostatní křižovatky, ale vedlejší připojení je velmi slabé. ÚKD celé křižovatky vychází B.

Tabulka 8: Kapacitní posouzení křižovatky K103

Kapacitní posouzení světelně řízené křižovatky podle TP 235												
Název křižovatky: K107												
Posuzovaný stav:										Délka cyklu $t_c$ [s]	100	
Posouzení kapacity vjezdů, úroveň kvality dopravy												
Vjezd (signální skupina)	Intenzita			Sat. tok	Zelená	Kapacita	Rezerva	Délka	Délka	Počet	Zdržení	ÚKD
	VOZ	N+B	celkem $I_V$	$S_V$	$z$	$C_V$	$Rez$	fronty $L_{F1}$	fronty $L_{F2}$	zast.	$t_w$	Požad.
	voz/h	voz/h	pvoz/h	pvoz/h	s	pvoz/h	%	m	m	voz/h	s	dosaž.
DVA1 ^>	507	0	507	2000	45	900	44	46		336	20,6	E   B
DVA2 ^	558	0	558	2000	45	900	38	51		383	21,8	E   B
DVB2 <^	632	0	632	2000	80	1600	61	21		166	3,3	E   A
DVB1 ^	296	0	296	2000	80	1600	82	10		63	2,3	E   A
DVC1 >	44	0	44	2000	24	480	91	6		31	26,9	E   B
DVC2 <	138	0	138	2000	24	480	71	17		101	29,3	E   B

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

**Zdržení celkem 8,5 h; 14,1 s/pvoz**                      **Počet zastavení celkem 1080 voz/h; 50 % voz**

**Závěr: Stanovená úroveň kvality dopravy světelně řízené křižovatky B – Dobrá**

Poznámka:

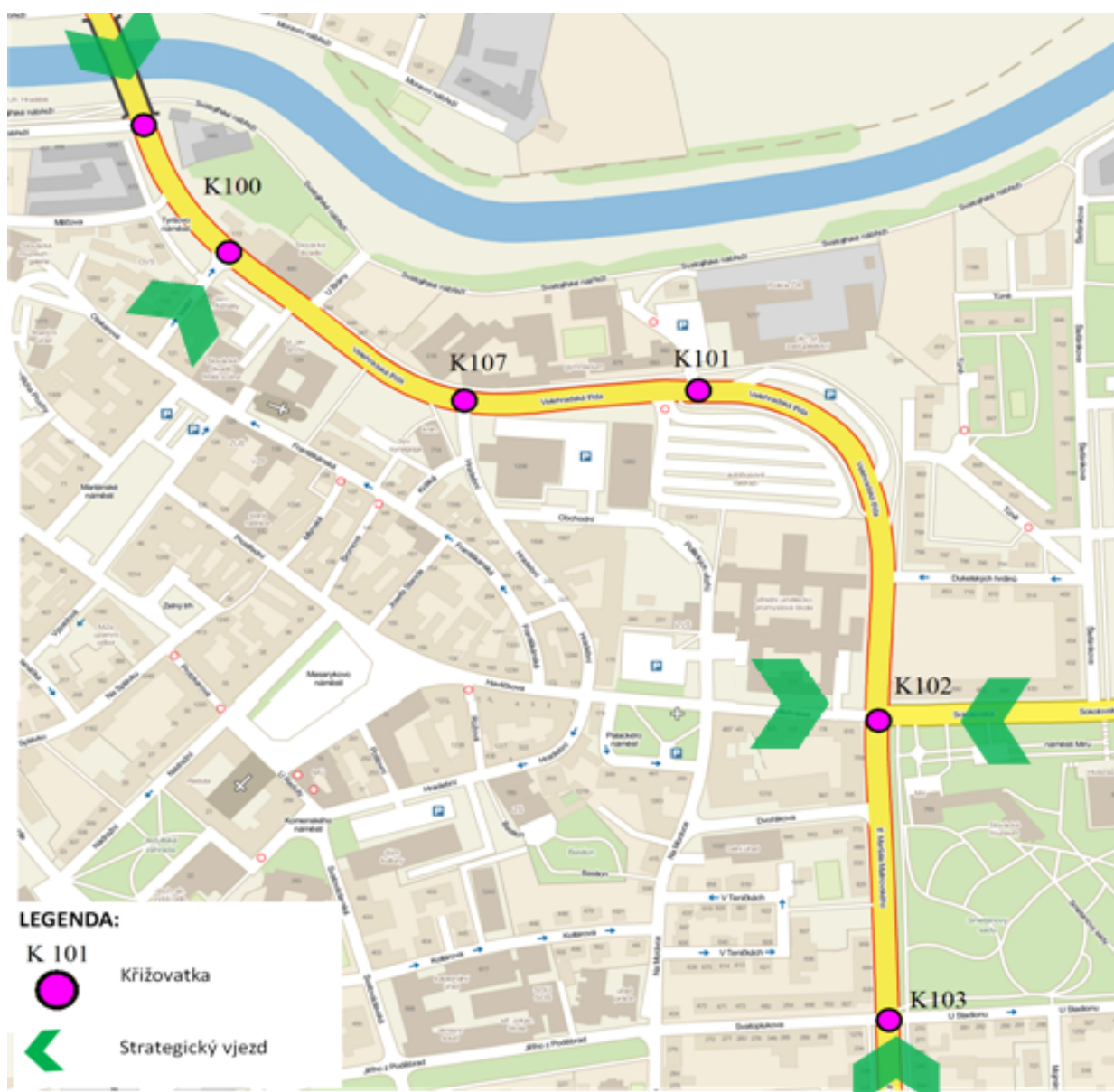
Účelem řízení dopravy bude zejména zvýšení kapacity na vedlejších větvích křižovatek, aniž by došlo ke zhoršení kapacity na hlavním tahu. Na místě bylo vyzorováno, že obzvláště v mimošpičkových hodinách je výchozí signální program příliš dlouhý a zkrácením by bylo možné docílit rychlejšího odbavení vedlejších vjezdů do křižovatky.

K docílení volby správného signálního plánu v závislosti na intenzitě dopravy bude popsán v následujících kapitolách algoritmus řízení [2][3].



## 4 Algoritmus řízení

Hlavním úkolem modulu bude na základě pravidel, popsaných logickými podmínkami, měnit signální plány křižovatek podle intenzit na pěti strategicky zvolených vjezdech do oblasti (Obrázek 14). Hlavní důraz při vývoji byl kladen na snadnou a přehlednou konfigurovatelnost.



Obrázek 14: Situace křižovatek s označením strategických vjezdů [8]

## 4.1 Princip algoritmu

Řídicí algoritmus přepíná signální plány s využitím definovaných hraničních intenzit v logických podmínkách. Tyto podmínky byly stanoveny na základě srovnání a grafickém znázornění střední doby  $[t_w]$  zdržení a délky fronty  $[LF]$  na jednotlivých vjezdech. Výpočty pro toto srovnání jsou v souladu s TP 235 dle vzorců použitých pro kapacitní posouzení (3)(4).

Logické podmínky reagují na dopravní situaci a řídí spouštění vybraného signálního programu v celé oblasti. Vzhledem k tomu, že hlavní charakteristikou dopravy vytipované lokality je dominantní proud vozidel přímo v hlavním směru, je žádoucí zachování koordinace křižovatek. Z tohoto důvodu jsou křižovatky při vyhodnocení změny řízení podle logických podmínek přepnuty vždy do stejného signálního plánu [14][16].

## 4.2 Stanovení hodnot parametrů algoritmu

Pro nejvhodnější výběr signálního plánu bylo detailně prozkoumáno dopravní řešení tak, aby při daných intenzitách na jednotlivých strategických vjezdech byl spuštěn takový signální plán, který má optimální dobu zelené pro nejzatíženější vstup a vyklidí tak nejpotřebnější část oblasti. Jednotlivé délky zelených pro potřebné signální skupiny při odpovídajícím signálním plánu jsou uvedeny v Tabulce 9.

Tabulka 9 sloužila jako jeden z podkladů pro stanovení řídicího algoritmu. Jsou v ní uvedeny délky zelených na jednotlivých zvolených vjezdech u každé křižovatky vytipované pro řízení. Dalšími podklady byly výpočty a grafické znázornění průměrných délek front a středních dob zdržení (Obrázky 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22). Vstupními parametry byly délky cyklu, délky efektivní zelené, počty řadicích pruhů, kapacita na vjezdu a návrhové intenzity v jednotlivých denních dobách.

Na základě daných vstupních parametrů byly stanoveny základní logické podmínky. Tyto logické podmínky byly nejprve odladěny v simulačním modelu a po té dokonce nasazené v reálném provozu v rámci projektu NOMŘÍZ. Projekt NOMŘÍZ je výzkumný projekt zabývající se metodami řízení v intravilánu, který vznikl ve spolupráci firmy Eltodo, a.s., ÚTIA AV ČR a samozřejmě ČVUT fakulty dopravní. V rámci projektu byl také testován adaptivní systém řízení. Vypočítával dobu zelené pro jednotlivé vjezdy a pracoval na základě

Tabulka 9: Délky zelených v jednotlivých signálních plánech

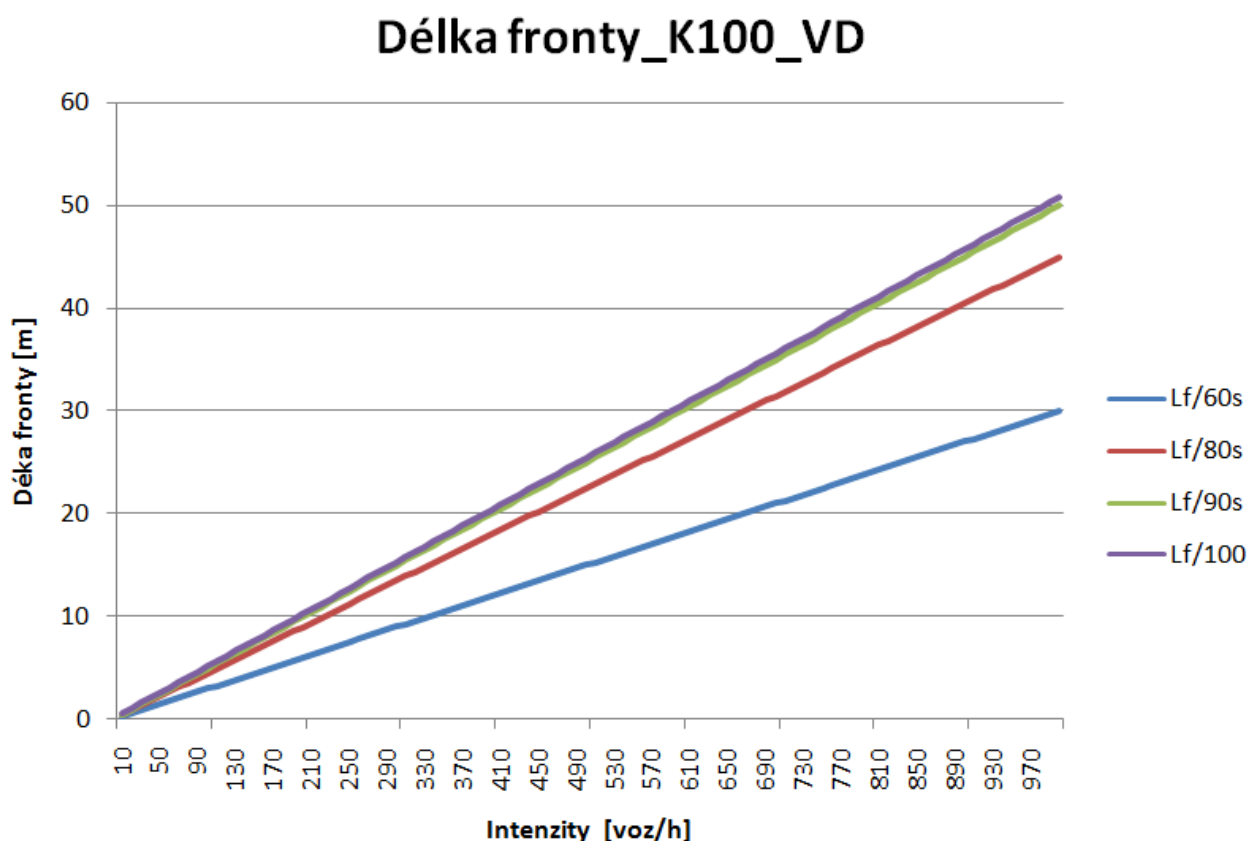
Signální program/délka cyklu [s]	Délka zelené [s]		Poznámka
K100	DVD	DVF	
SP10/100	37	14	Vhodné pro vysoké intenzity na hl. tahu
SP11/90	30	18	
SP12/80	26	25	Vhodné pro vysoké intenzity na VF
SP13/70	25	27	
SP14/60	25	6	
K103	DVC		
SP10/100	57		Vhodné pro vysoké intenzity na hl. tahu
SP11/90	59		
SP12/80	55		
SP13/70	45		
SP14/60	35		
K102	DVB		
SP10/100	27		
SP11/90	27		Vhodné pro vysoké intenzity na VB
SP12/80	20		
SP13/70	16		
SP14/60	14		

krátkodobé prognózy. Testování proběhlo na ÚTIA v simulačním SW Aimsun a také v reálném provozu v Uherském Hradišti během 34. a 35. týdne v roce 2014.

Rozdíl mezi simulačním a reálným prostředím nastal zejména v chování řidičů. V simulačním prostředí se řidiči chovají téměř stejně a jejich řidičské schopnosti dopravu neovlivňují, na rozdíl od reálného provozu, kde typickým příkladem pro nehomogenní chování řidičů je například reakční doba pro rozjezd na zelený signál nebo udržování mezery mezi vozidly. Pozorování rozdílů mezi simulačním a reálným prostředím ovšem není předmětem této diplomové práce a nebude zde toto téma do detailu rozváděno. v simulačním rozhraní

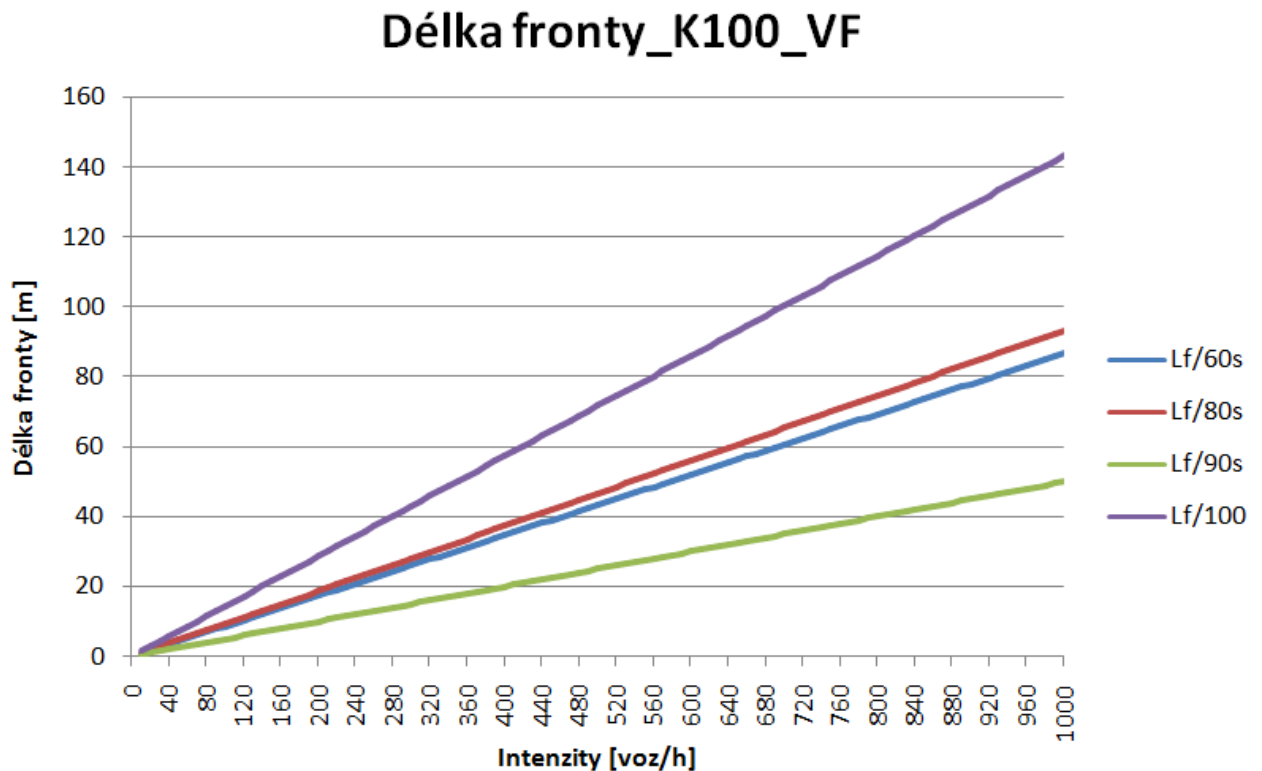
bude použito chování řidičů, které je automaticky nadefinováno programem VISSIM. Ostatní parametry nadefinované do simulace, které byly už pro výsledek a ladění simulace velmi podstatné, odpovídaly realitě. Pro intenzity na vstupech byla použita data z řadičů, která byla za určitý časový úsek přepočtena do střední hodnoty. Směrnost byla definována po uskutečnění dopravního průzkumu z období 06/14. Z pozorování na místě bylo zároveň odhaleno, ve kterých obloucích a úsecích řidiči snižují rychlost a následně byl tento fakt přenesen do modelu. Další parametry potřebné pro nadefinování signálních programů pro samotné řízení dopravy byly přeneseny z aktuálního dopravního řešení upraveného pro účely testování.

První Graf 15 zobrazuje závislost délky fronty na intenzitě v jednotlivých signálních programech pro větev ve směru signální skupiny VD křižovatky K100. Průběh délky fronty je lineární a v tomto případě vychází velmi dobře téměř všechny signální programy a délka fronty je maximálně 50 m pro intenzitu 1 000 voz/h.



Obrázek 15: Délka fronty K100 VD

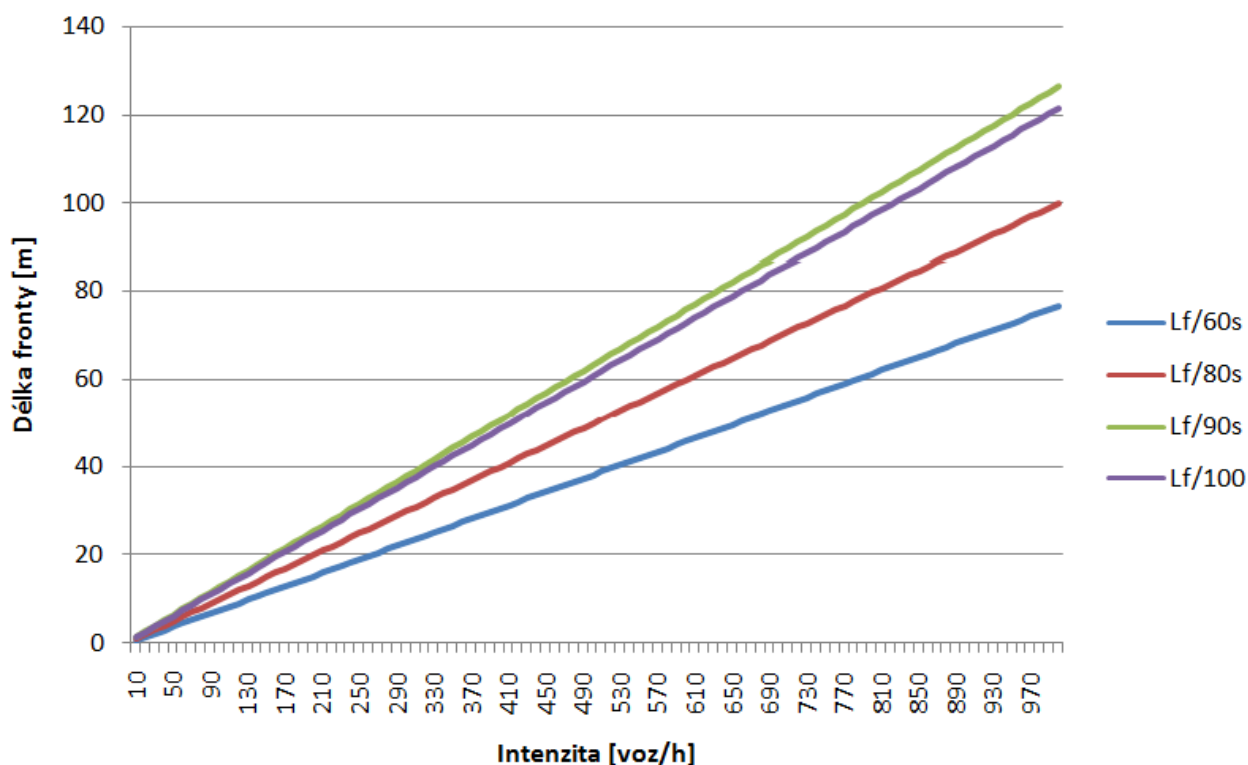
Další Graf 16 zobrazuje délku fronty na vjezdu signální skupiny VF na křižovatce K100. Nejvhodněji vychází signální program SP13/90 s, s nímž je délka fronty pro 1 000 voz/h kolem 50 m. Pro ostatní signální programy vychází pro stejnou intenzitu délka fronty 90 m a více.



Obrázek 16: Délka fronty K100 VF

Následující Graf 17 vyjadřuje opět lineární závislost délky fronty na postupně se zvyšující intenzitě. Na křižovatce K102 na větvi ve směru signální skupiny VB je situace velmi komplikovaná. Vzhledem k intenzivním levým odbočením na hlavní i vedlejší komunikaci je obtížné najít signální program, který vyhovuje celé křižovatce. Směru v signální skupině VB nejvíce vyhovuje nejkratší 60 s sekundový cyklus v signálním programu 15. Tento signální program samozřejmě příliš nevyhovuje směru hlavnímu. Jako kompromis je velmi vhodný signální program SP14/80 s, v němž směr signální skupiny VB při maximální dosažené intenzitě 1 000 voz/h, má frontu dosahující délky necelých 80 m.

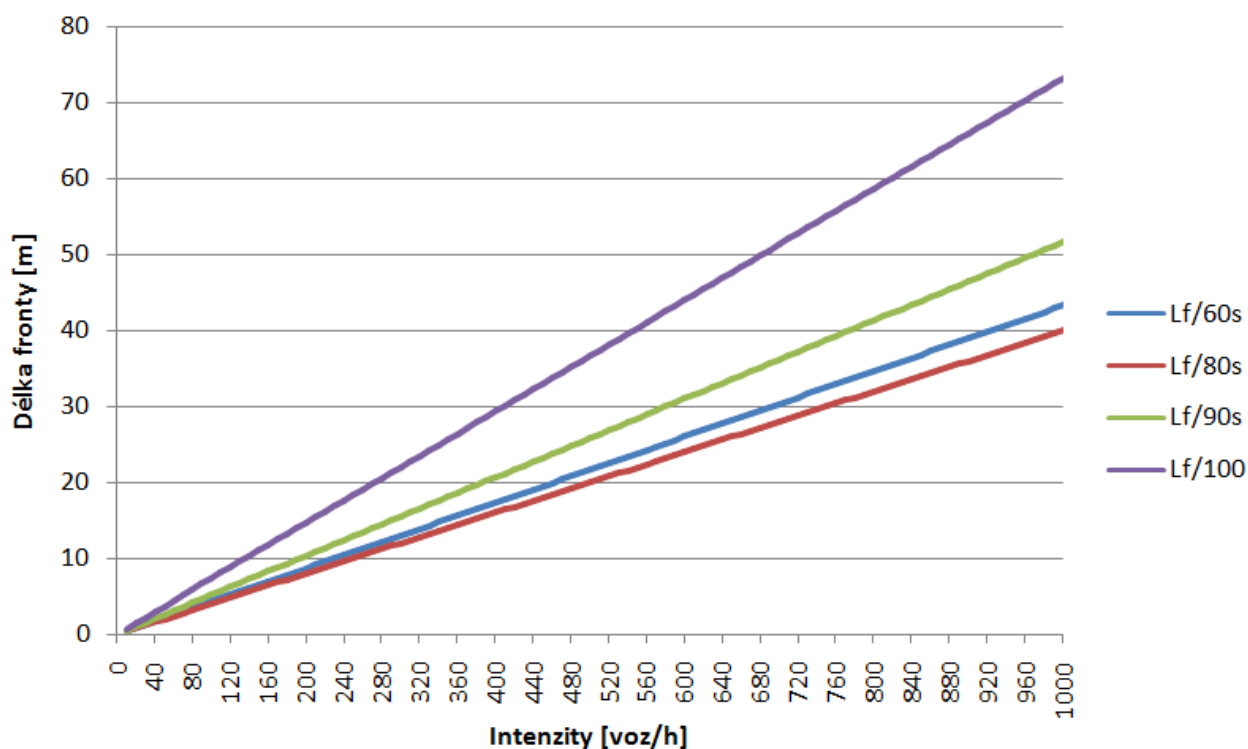
## Délka fronty\_K102\_VB



Obrázek 17: Délka fronty K102 VB

Poslední Graf 18, vyjadřující délku fronty v závislosti na vzrůstající intenzitě, je na poslední křižovatce oblasti K103 na hlavním tahu ve směru signální skupiny VC. Průběh je podobný jako v úplně prvním případě na křižovatce K100 ve směru signální skupiny VD, kde vyhovovaly prakticky všechny signální programy. Vzhledem k tomu, že všechny signální programy jsou navrženy především tak, aby vyhovovaly hlavnímu směru, ani v tomto případě to nebylo jinak. Délka fronty se pohybuje pro maximální definovanou intenzitu 1 000 voz/h kolem 50 m. Výjimkou je překvapivě signální program SP12/100, který je pro tento vjezd z hlediska tvorby front nejméně vhodný. Nicméně i pro tento signální program je délka fronty kolem 70 m, což je velmi slušné.

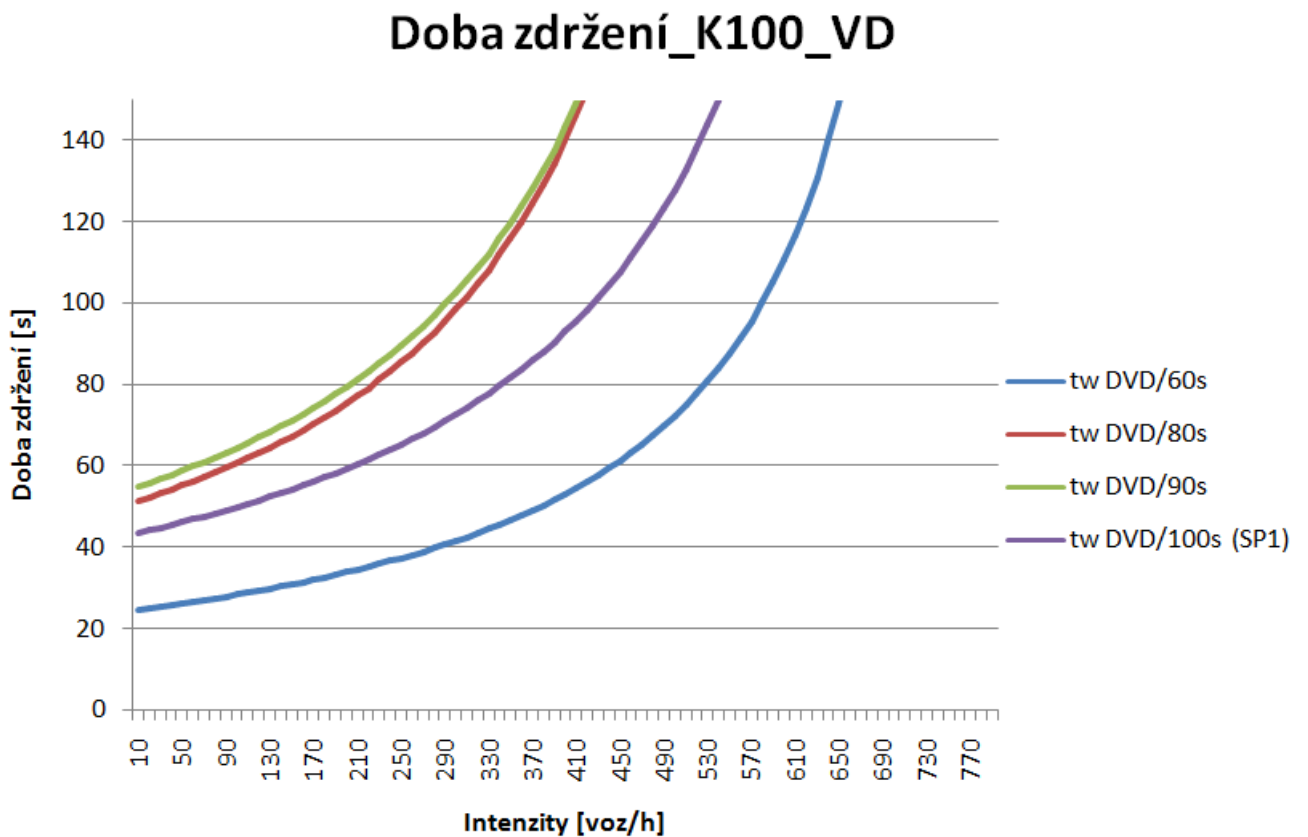
## Délka fronty\_K103\_VC



Obrázek 18: Délka fronty K103 VC

Na následujících grafech je zobrazena doba zdržení v závislosti na intenzitě, která má exponenciální průběh. Grafy a jejich jednotlivé exponenciály opět tuto závislost promítají do příslušného signálního programu. Nebyla zvolena fixní hodnota zadávané intenzity, ale byla definována individuálně podle průběhu jednotlivých exponenciál, protože hodnota času zdržení se v jistém extrému vždy zlomí a funkce začne velmi prudce růst a nemá smysl ji detailněji zkoumat.

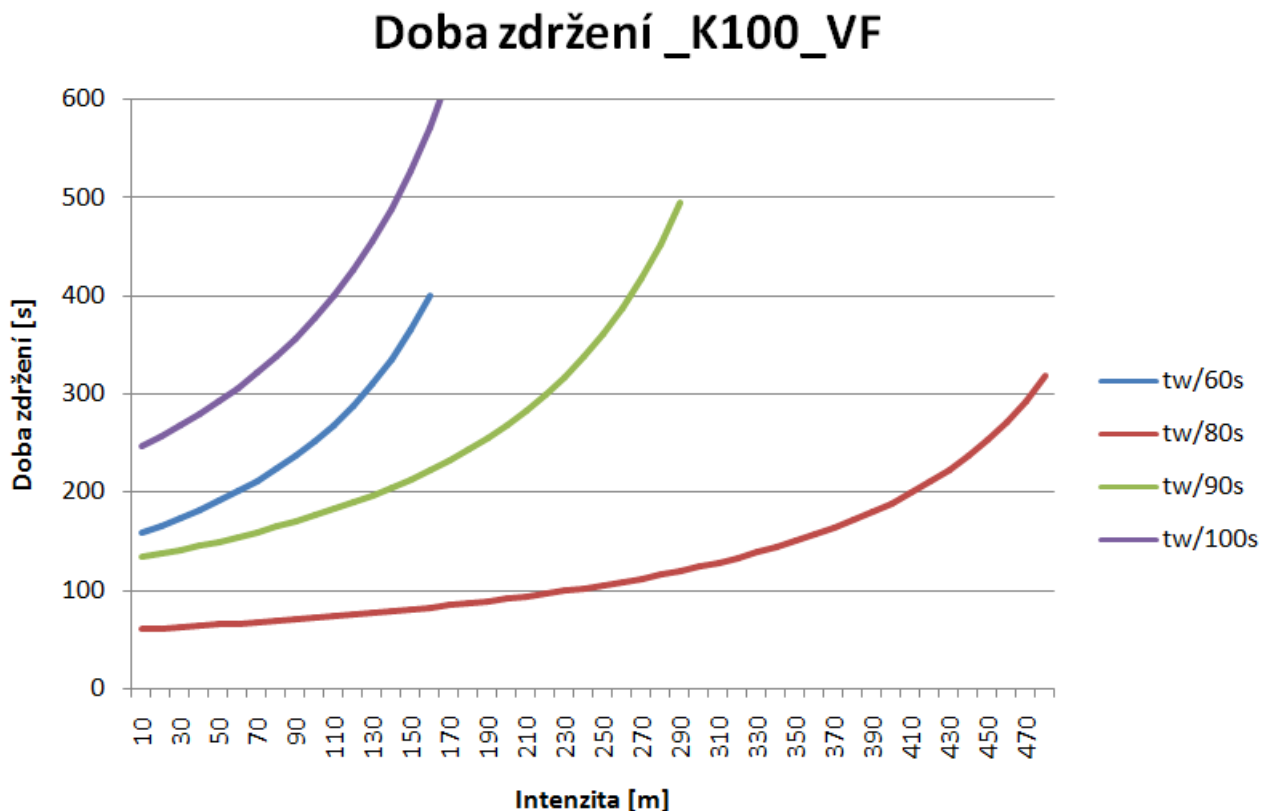
Pro první Graf 19 ve směru signální skupiny VD na křižovatce K100 jsou všechny signální programy velmi vyrovnané, v tomto se výsledky jak pro průměrnou délku fronty, tak pro střední dobu zdržení podobají. Pro intenzitu do 250 voz/h je zdržení maximálně 80 s, po překročení intenzity 350 voz/h již doba zdržení narůstá velmi strmě, nejvíce však pro signální program SP14/80 s, po dosažení intenzity 650 voz/h a více nastává podle doby zdržení kongesce s vysokými dobami zdržení v řádu minut.



Obrázek 19: Doby zdržení K100 VD

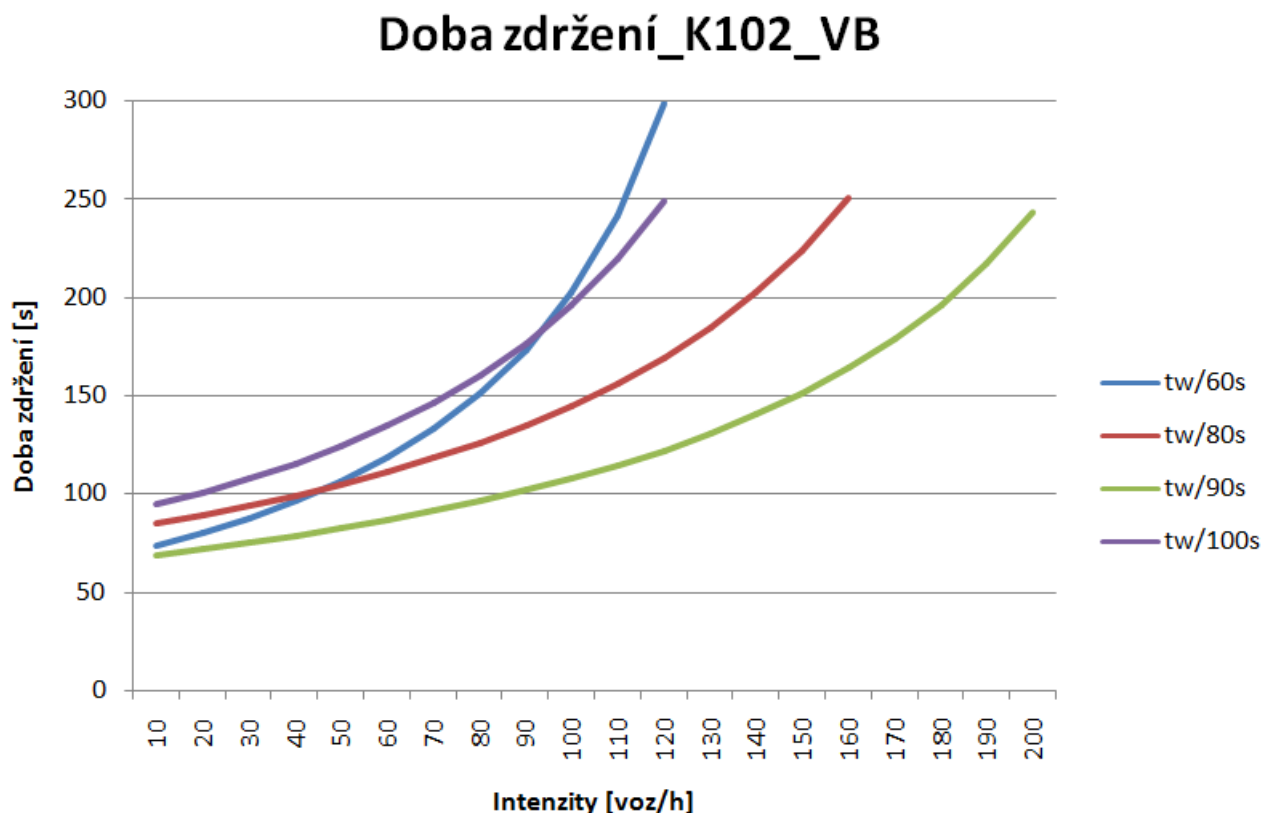
Graf 20 zobrazuje situaci na větvi ve směru signální skupiny VF na křižovatce K100. Zde vychází velmi dobře SP14/80 s. Tento fakt se shoduje s výše uvedenou tabulkou, kde jsou vypsané jednotlivé délky zelených pro odpovídající signální skupiny. Doba zdržení pro tento signální program je i pro intenzitu vyšší než 200 voz/h menší než 90 s. Pro ostatní signální programy je doba zdržení už při přesáhnutí intenzity 100 voz/h vyšší než 2 minuty. Tímto vyplývá pro VF na K100 jasný závěr, že nejvhodnějším signálním programem při vysokých intenzitách je program SP14/80 s. Je nutné podotknout, že vysoké intenzity na tomto vjezdu nejsou příliš časté, a nejvyšší hodnoty, nastávající především při odpolední špičce se pohybují okolo 200 až 250 voz/h.





Obrázek 20: Doby zdržení K100 VF

Následující Graf 21 zobrazuje závislost střední doby zdržení na nejvyšší intenzitě 200 voz/h. Jednoznačně nejvhodnější je v tomto případě SP13/90 s, pro který i po dosažení intenzity 150 voz/h doba zdržení zůstává pod 120 s. Pro nižší intenzity je také vhodný signální program SP16/60 s. Tento signální program ovšem s narůstající intenzitou přestává být vhodný. Nejméně vhodným však pro tento vjezd je SP12/100 s, což vyplývá i z výše uvedené tabulky, kde jsou vypsány jednotlivé délky zelených v příslušných cyklech. Velmi nevhodný poměr délky zelené s celkovou délkou cyklu zapříčiňuje, že už při intenzitě 100 voz/h je střední doba zdržení vyšší než 3 minuty.

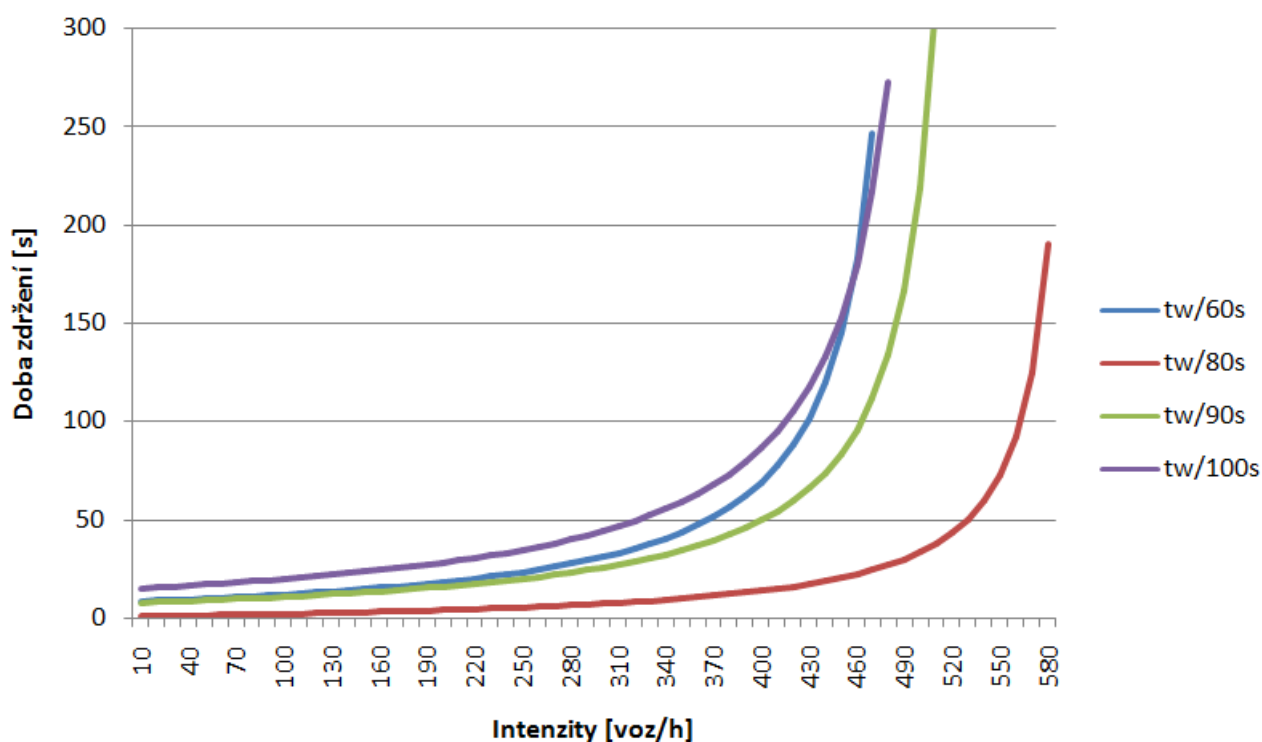


Obrázek 21: Doby zdržení K102 VB

Graf 22 vyjadřuje hodnoty středních dob zdržení na postupně zvyšujících se intenzitách s maximální hodnotou 600 voz/h. Opět se objevují srovnatelné hodnoty pro všechny signální programy. Doba zdržení se až do intenzity 310 voz/h drží na 50 s. Po tom, co nastanou intenzity od 450 voz/h, dochází téměř ve všech signálních programech k velmi prudkému nárůstu. Nejlépe ze všech signálních programů vychází SP14/80 s, který má velmi slušné hodnoty nepřesahující jednu minutu až do intenzity 560 voz/h.

První návrh algoritmu řízení vycházel ze všech výše uvedených podkladů. Byl navrhnut pro použití stávajících signálních plánů, které jsou nyní součástí týdenní automatiky. Jako vstupní data budou sloužit vždy informace z křižovatkových detektorů. V modelu bylo potřeba udělat právě jeden detektor pro každý řadič, protože jeden detektor nemůže být v programu přiřazen do více řadičů. V reálu by samozřejmě stačil jeden detektor (indukční smyčka, videodetekce) pro daný bod pro všechny řadiče.

## Doba zdržení\_K103\_VC



Obrázek 22: Doby zdržení K103 VC

Označení detektorů zůstalo pojmenováno podle příslušné signální skupiny v dopravním řešení, ke které patří. Navrhované podmínky jsou uvedeny v Tabulce 10, kde jsou žlutě zvýrazněny hraniční, důležité hodnoty pro přepnutí do vhodného SP [14][17]:

Tabulka 10: Vyznačení hraničních intenzit pro přepnutí do vhodného SP

K100		K103	K102	
VD(hl)	VF(vedl)	VC(hl)	VB(vedl)	délka cyklu
<b>&lt;200 voz/h</b>	<60 voz/h	<250 voz/h	<100 voz/h	SP16/60 s
<400 voz/h	<b>&gt;60 voz/h</b>	<330 voz/h	<220 voz/h	SP14/80 s
<450 voz/h	<200 voz/h	<380 voz/h	<b>&gt;220 voz/h</b>	SP13/90 s
Výchozí				SP12/100 s

## 5 Tvorba modelu

Algoritmus řízení byl modelován v simulačním prostředí SW Vissim 6. Vissim je mikroskopický multimodální systém, který umožňuje vytvoření podrobných dopravních modelů. Simulace zahrnuje možnost zobrazení všech účastníků silničního provozu, včetně cyklistů a chodců a jejich vzájemnou interakci v jednom modelu. Při správném definování simulace model poskytuje realistické chování všech účastníků provozu.

### 5.1 Tvorba sítě

Pro co nejreálnější zobrazení sítě byly použity satelitní snímky, případně situace jednotlivých křižovatek (Obrázek 23). V programu Vissim lze pevně nastavit délky řadicích pruhů tak, aby odpovídaly situaci. Směrové poměry byly prakticky obkresleny podle podkladu. Pro co nejvyšší podobu s reálným stavem je oblouky možné prokládat body, řadicí pruhy duplikovat ze stávajících a například protisměrem vygenerovat podle již nakreslené sítě.

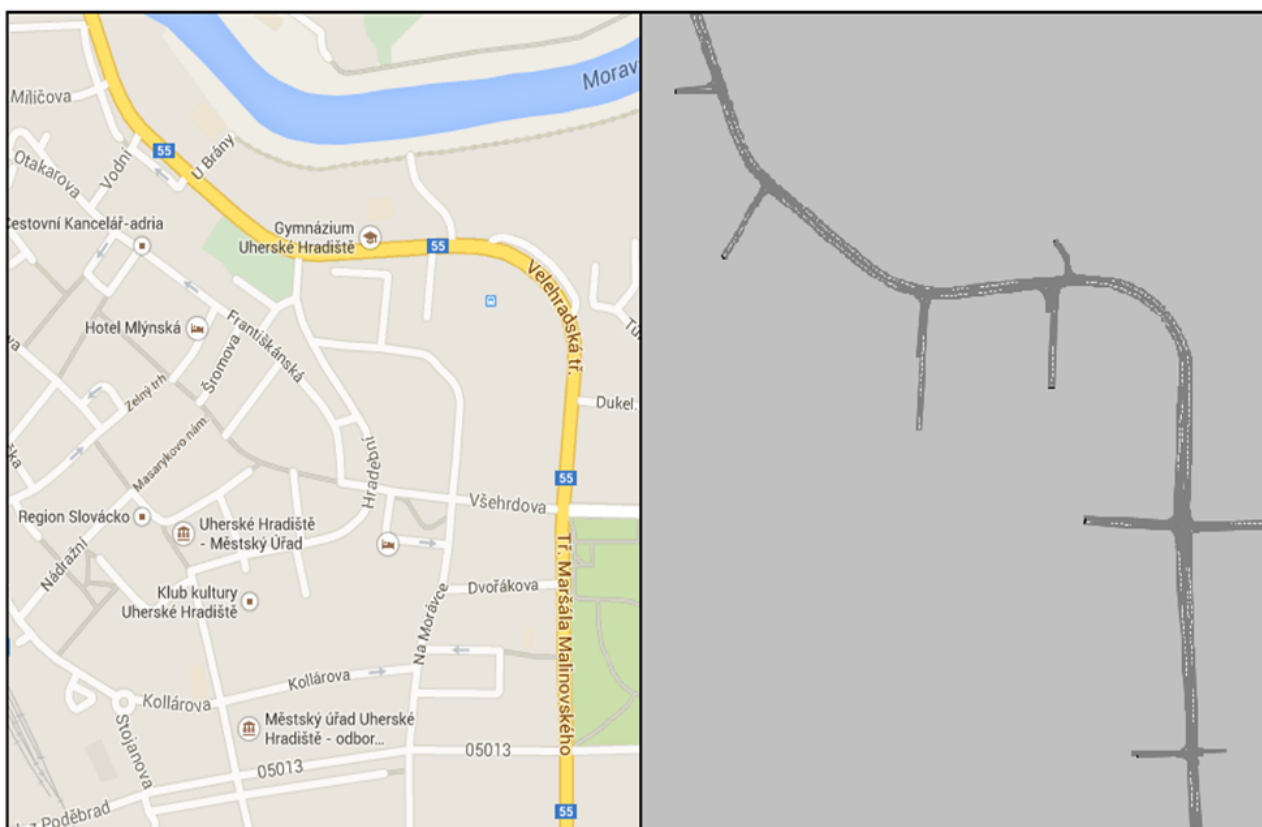
### 5.2 Vstupy do modelu

Vstupy do simulace odpovídají reálným datům z křižovatkových detektorů, které zachycují patnácti minutové relace. Z dat z detektorů byly vybrány vhodné dny pracovního týdne (út, st, čt), ze kterých byly vypočítány střední hodnoty za poslední půl rok. Tato data byla přepočítána na hodinové relace a vložena na všechny vstupy modelu.

Dále bylo potřeba co nejreálněji definovat směrové chování řidičů na křižovatce. Z tohoto důvodu byl v oblasti realizován směrový dopravní průzkum, při kterém byl určen poměr vozidel jedoucích přímo k vozidlům jedoucím vpravo/vlevo. Průzkum byl proveden ve čtvrtek 19.6.2014 v ranní a odpolední špičce (detailněji v Kapitole 3).

### 5.3 Definování dopravního řešení

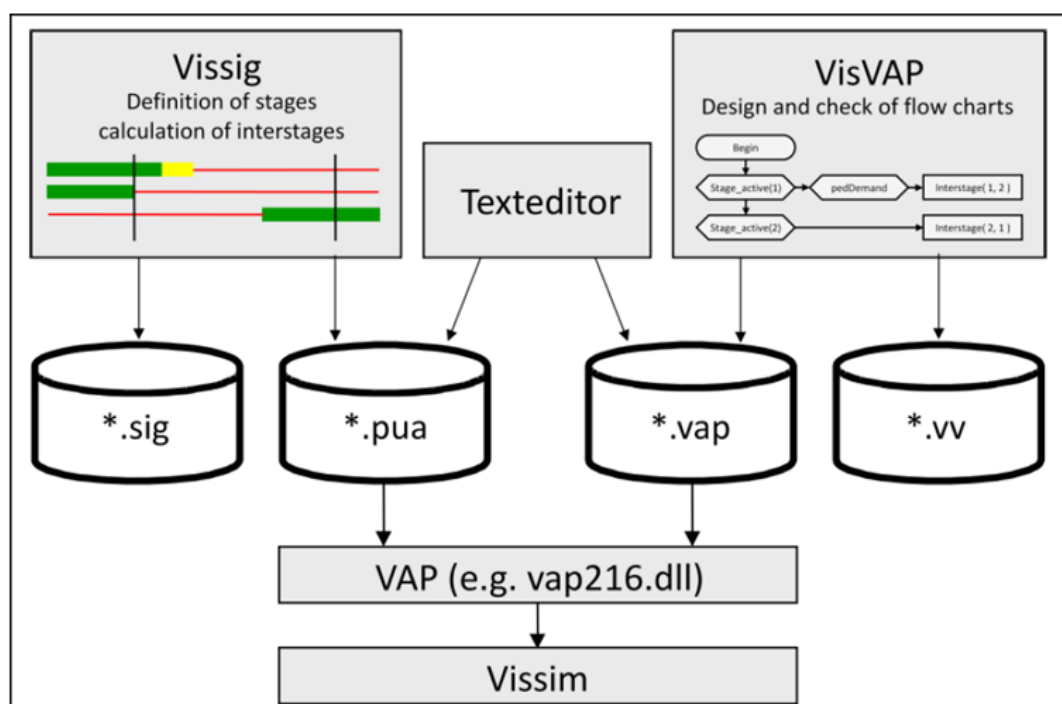
Aplikace Vissim má jako volitelný doplněk nástroj VisVAP, ve kterém je možné tvořit logiku řízení pomocí vývojových diagramů, což je komfortnější a přehlednější způsob řešení, než tvoření logiky v textovém souboru pomocí syntaxe jazyku VAP. Nástroj VisVAP vygeneruje



Obrázek 23: Srovnání sítě z map a z vizualizace[6][8]

potřebný soubor \*.vap, který je vložen do aplikace Vissim a je spuštěn během samotné simulace. Pro spuštění simulace je zároveň třeba nadefinovat specifické dopravně inženýrské charakteristiky křižovatky, což lze udělat prostřednictvím nástroje Vissig, případně ručně v textovém souboru. Tímto vznikne soubor \*.pua a simulace může již fungovat podle zadání. Provázanost vytvořených souborů s modelem je zobrazena na Obrázku 24.

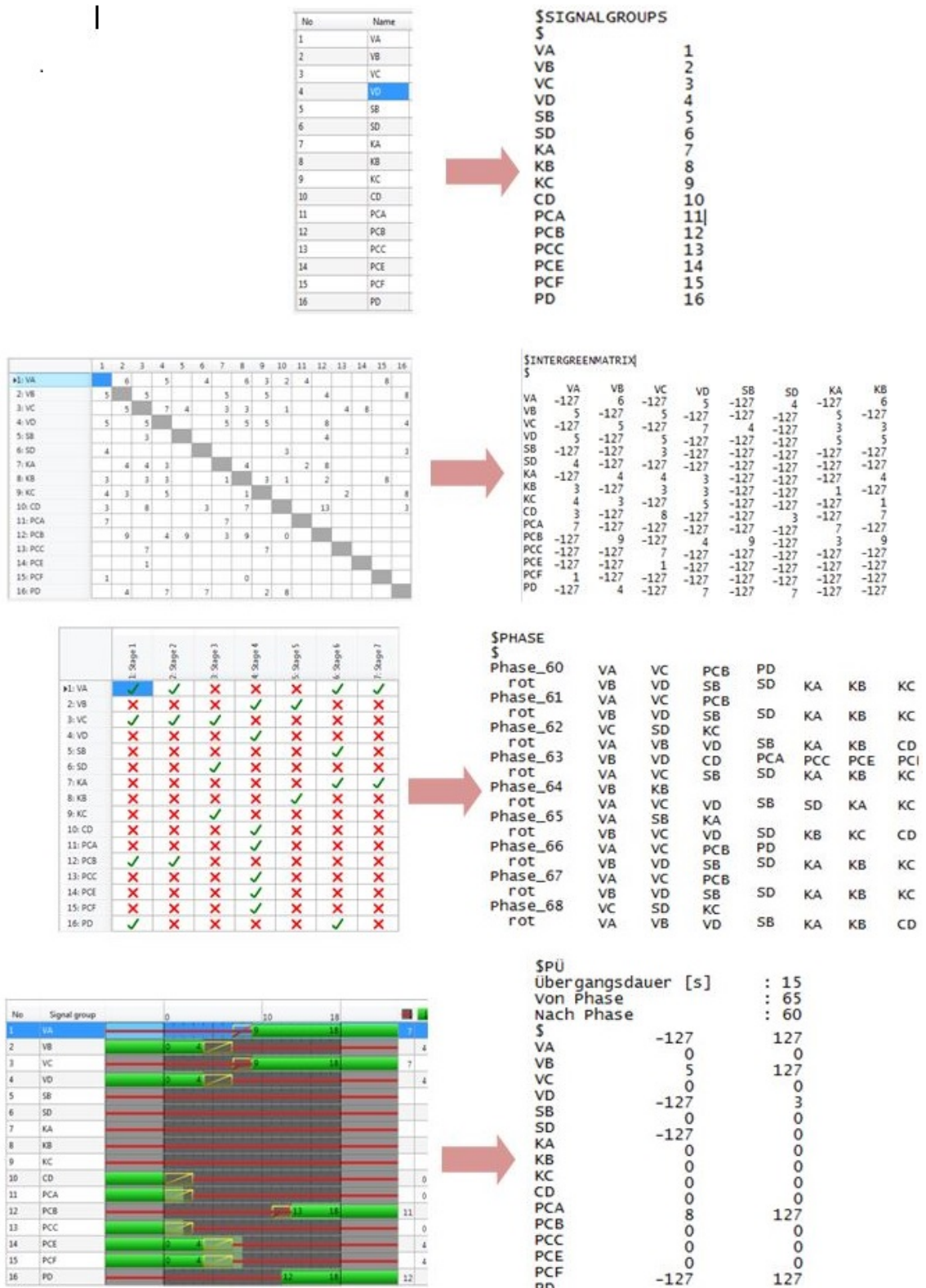
Pro všech pět křižovatek byl vytvořen soubor \*.pua, každý obsahující pevné dopravně inženýrské charakteristiky (tabulka mezcísel, fázové přechody, atp). Tyto \*.pua soubory byly tvořeny v rozhraní Vissig, protože je to z uživatelského hlediska pohodlnější, je nižší riziko vzniku chyb při přepisu DŘ a také se automaticky vygenerují fázové přechody. V případě, že by signální program nebyl vytvořen v rozhraní Vissig, bylo by třeba podle správné syntaxe opsat celé dopravní řešení manuálně do textového souboru. Tato část vytvoření základních zdrojových souborů byla časově velmi náročná. Bylo potřeba přepsat 5 signálních programů pro 5 křižovatek, tudíž dohromady 25 signálních programů. Konkrétně je třeba vypsat seznam



Obrázek 24: Schéma principu vazeb mezi programy Vissim, VisVAP, Vissig [6]

signálních skupin, tabulku mezičasů, seznam fází, definování aktivních a pasivních signálních skupin v jednotlivých fázích a fázové přechody. Ostatní parametry, potřebné k řízení budou popsány níže v sekci tvorby souboru \*.vap. Již nyní při tvorbě \*.pua souborů bylo potřeba zvážit, jakým způsobem do jednoho řadiče umístíme 5 \*.pua souborů, protože v prostředí Vissim je prostor pouze pro právě jeden tento soubor. Nejjednodušším způsobem bylo nakopírovat do jednoho hlavního \*.pua souboru všechny ostatní fázové přechody potřebné pro všechny signální programy (tabulka mezičasů ani signální skupiny se mezi jednotlivými SP nemění). Nyní je potřeba vyřešit problém, že každá fáze musí mít ve Vissimu unikátní název. Všechny fáze (ačkoliv jsou pro některé signální programy duplicitní) bylo potřeba přejmenovat, čímž vzniklo dohromady v celé síti 146 fází. Tento krok byl potřeba kvůli řízení z programem VisVAP, který přesně podle vývojového diagramu volá konkrétní fázi a zároveň načítá ze svého zdroje její příslušnou délku.

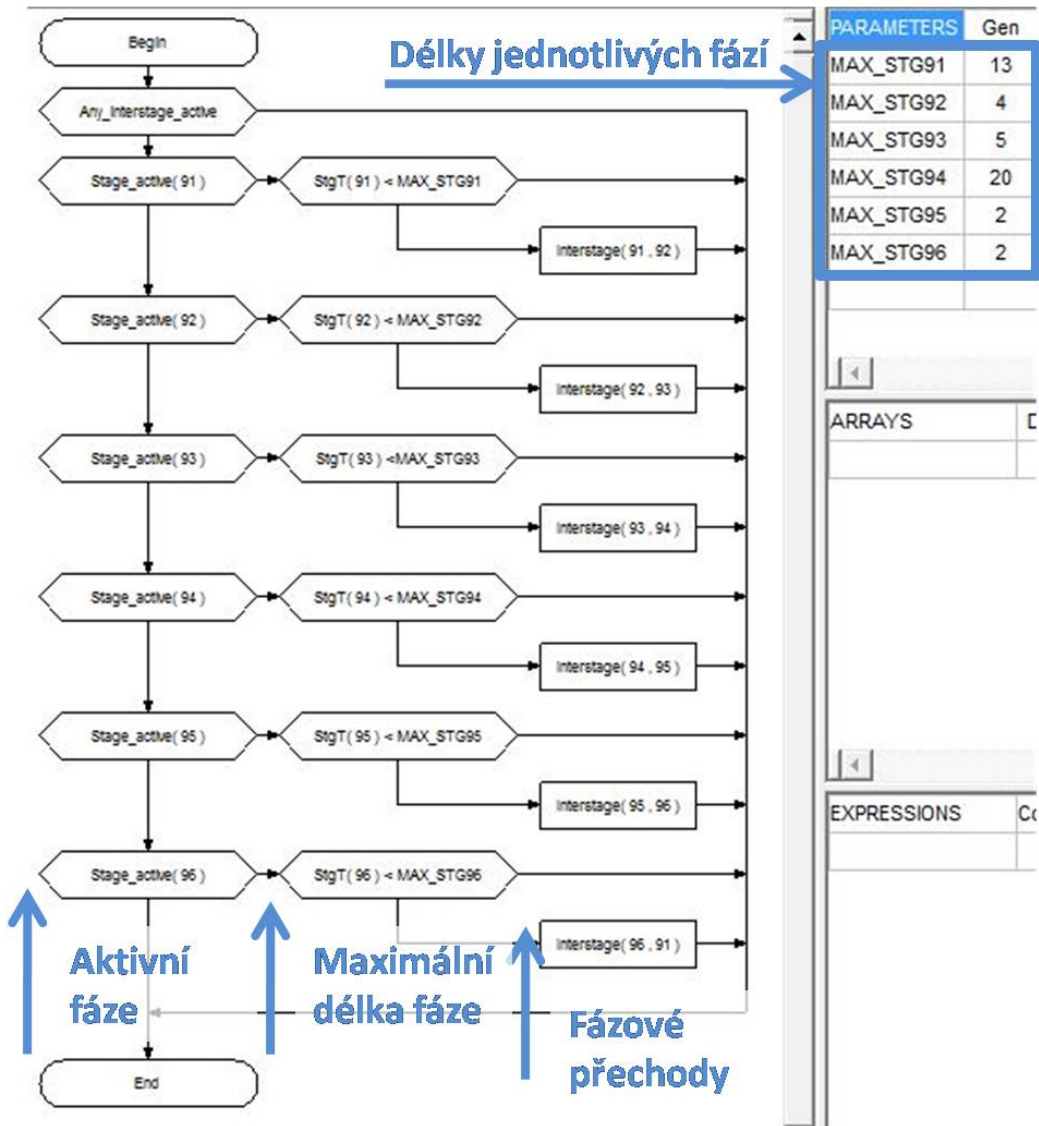
Příklad tvorby signálního plánu v programu Vissig a jeho následné vyexportování do textového \*.pua souboru je zobrazeno na Obrázku 25 na křižovatce K102. V prvním sloupci je ukázka z prostředí Vissig, v druhém sloupci je zobrazeno, jak vypadá export.



Obrázek 25: Ukázka převodu z prostředí Vissig do textového souboru \*.pua



Dále byl pro každou křižovátku a pro každý dílčí signální program vytvořen soubor \*.vap. Soubor \*.vap zajišťuje správné řízení při sledu jednotlivých fází, jejich délku a případně dynamické řízení. Tato část potřebná k řízení křižovátky je tvořena pomocí vývojových diagramů a příslušný příkazů v prostředí VisVAP. Ukázka takového vývojového diagramu vytvořeného v prostředí VisVAP je na Obrázku 26.



Obrázek 26: Ukázka a vysvětlivky \*.vap souboru

Z každého vývojového diagramu je po překompilování vyexportován textový soubor \*.vap, který už přímo slouží jako zdrojový soubor při simulaci společně se souborem \*.pua [20].



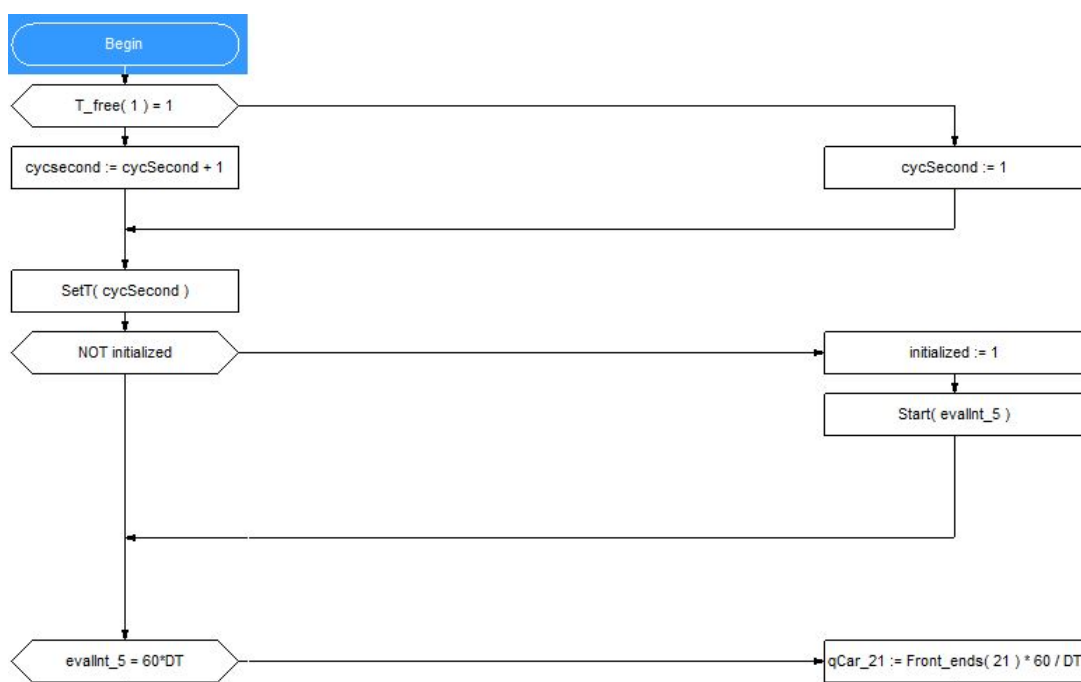
## 5.4 Tvorba řídicího algoritmu

Ačkoliv je základní kostra podoby algoritmu již známá, je třeba ji zapsat pomocí příkazů jazyku VAP, a zároveň definovat funkce, které budeme požadovat od řadiče. Jednotlivé kroky jsou popsány níže zároveň s výřezy algoritmu z programu VisVAP.

V první řadě bylo potřeba nadefinovat, aby fungovala a ubíhal čas a bylo možné sledovat simulaci v čase. K tomu slouží funkce:

- $T\_free(\langle no \rangle) =$  Vrací uplynulý čas na 0 po červeném signálu dané signální skupiny
- $Cycle\_second =$  Vrací současnou sekundu cyklu
- $Set\_cycle\_second(\langle sec \rangle) =$  Nastavuje počáteční čas v sekundách

Ostatní kroky na Obrázku 27 popisují zahájení načítání dat do proměnné (v tomto případě je proměnná 5).

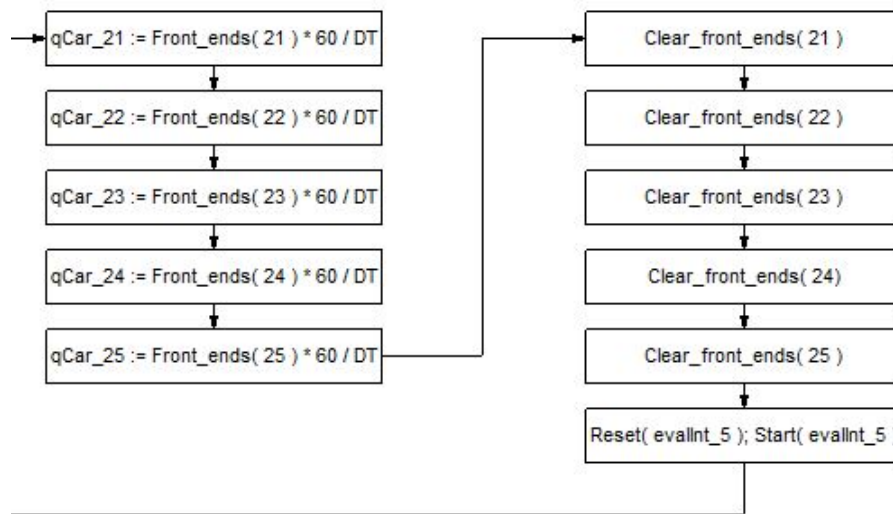


Obrázek 27: Nadefinování času v prostředí VisVap

Dalším krokem je načtení potřebných dat z detektorů, nadefinování, v jakých agregacích budou data vyhodnocena, a také následné vynulování (Obrázek 28):

- `Front_ends( <no> )` = Přiřadí do proměnné počet projetých vozidel na příslušném detektoru
- `Clear_rear_ends( <no> )` = Vynuluje počet projetých vozidel na detektoru

Poslední buňka vyjadřuje, jak proměnná (v tomto případě 5) opakuje cyklus v dalším kroku - vyresetování paměti a opětovné načtení nových dat.



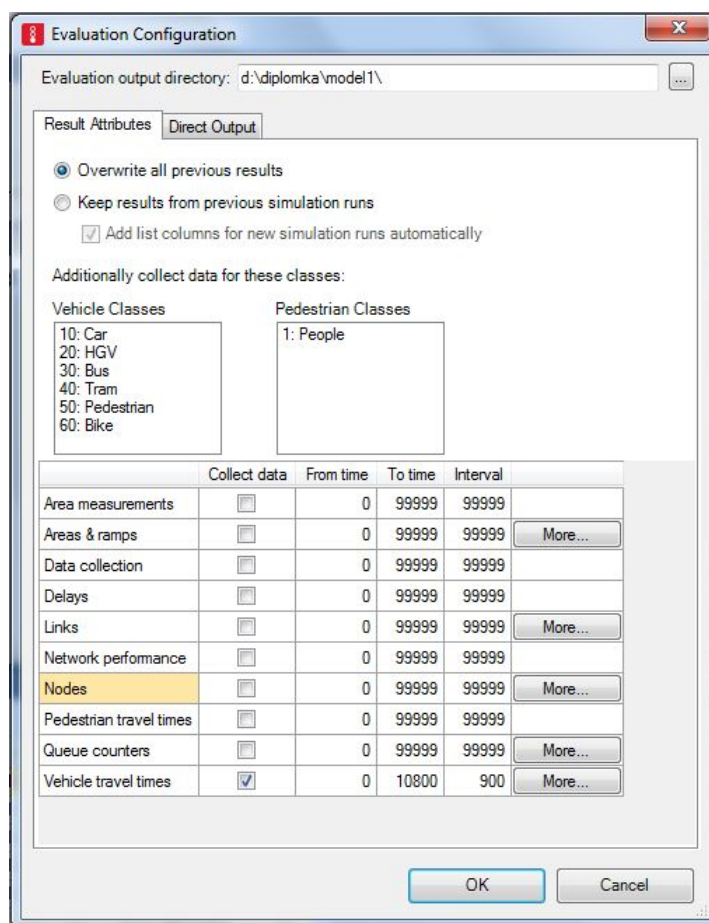
Obrázek 28: Definování sběru dat v prostředí VisVap

Nejdůležitějším krokem je samotná logika řízení, uvedená na Obrázku 29. Zde je zobrazeno postupné vyhodnocení situace na jednotlivých detektorech (ano/+ je vždy směrem doprava, nikoliv dolů!), které vždy vyústí ke spuštění příslušného signálního programu pomocí funkce "subroutine", což znamená, že prostřednictvím této buňky se spustí odpovídající soubor \*.vap (obsah jednotlivých \*.vap souborů je popsán výše):

- `qCar_xx` = Načtená intenzita vozidel na detektoru xx
- `K107_SPyy` = Zapni SPyy, prostřednictvím spuštění \*.vap souboru K107\_SPyy

Ve zbývajících buňkách je pouze definování proměnných a přiřazení příslušných parametrů, které chceme pozorovat. Tento krok je pouze proto, abychom viděli intenzity v průběhu simulace, a byli schopni si je podle příslušné proměnné načíst [18].





Obrázek 30: Nadefinování požadovaného výstupu (například pro časové veličiny)[7]

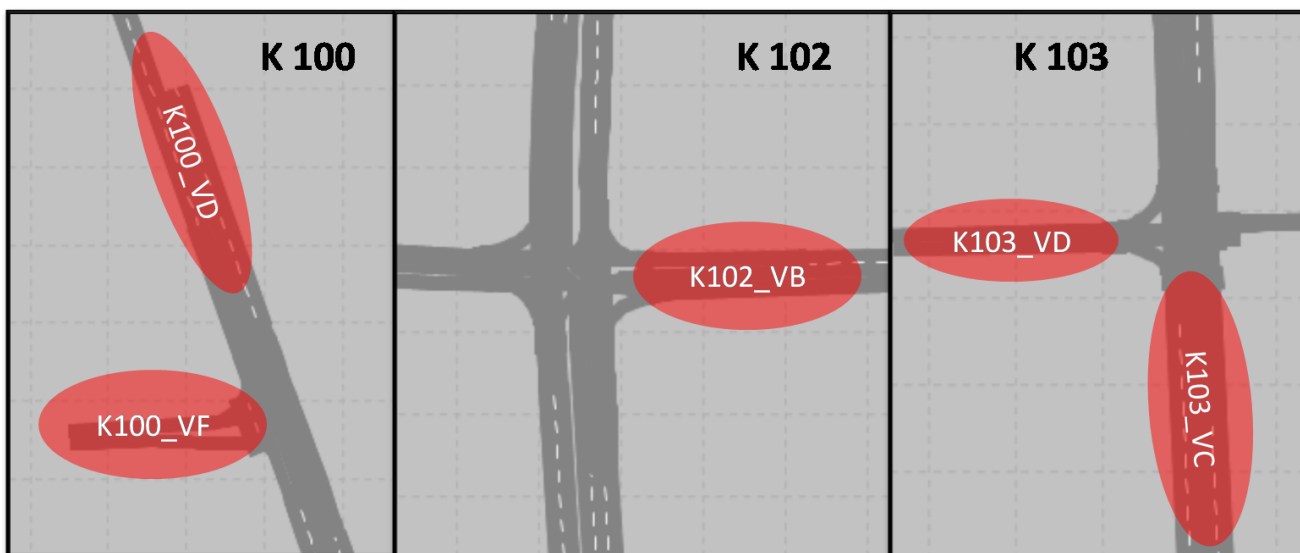
Před spuštěním simulace je v programu nezbytné nastavit, že data je třeba uložit do textového souboru. Po nastavení těchto potřebných kroků pouze spustíme simulaci, kterou je v případě, že pouze čekáme na výsledky, možné spustit ve zrychleném modu, kdy se na konci simulace vygeneruje textový soubor se surovými daty. Samotnou simulaci můžeme nastavit podle potřeby toho, co sledujeme. Nejrychlejší způsob je "quick mode", kde není viditelná animace, a pouze se vygenerují výsledky. Pokud chceme simulaci sledovat, rychlost si můžeme libovolně nastavit v parametrech simulace [6][7].

## 6 Vyhodnocení simulace

Pro vyhodnocení byly zvoleny časové veličiny, a to konkrétně:

- **travel time** = cestovní doba vozidla
- **delay** = doba zdržení vozidla

Na těchto veličinách jde velmi dobře demonstrovat rozdíl mezi současným a novým stavem. Měřené úseky byly na všech výše zmíněných strategických vjezdech do oblasti. Vzhledem k tomu, že celá série křižovatek je koordinována zelenou vlnou, a tudíž průjezd vozidla trvá vždy stejně, nebylo nutné měřit pohyb vozidel v celé síti. Měřené úseky tedy odpovídají tomu, jaký čas vozidla stráví v oblasti křižovatky. První (počáteční) bod měření se zpravidla nachází 40 m až 120 m před stopčárou křižovatky podle toho, kam zpravidla sahají kolony. Druhý (koncový) bod měření se nachází bezprostředně za stopčárou dané křižovatky. Tímto systémem lze sledovat cestovní dobu a dobu zdržení v jednotlivých úsecích. Všechny úseky jsou zobrazeny a pojmenovány na Obrázku 31.



Obrázek 31: Jednotlivé úseky vyhodnocení

## 6.1 Jednotlivá vyhodnocení podle úseku testování

Model byl nejprve spuštěn v pevných plánech, které jsou v reálném provozu v současnosti používány a poté byly do modelu exportovány algoritmy řízení v rozhraní \*.vap. Algoritmus byl postupně laděn a spouštěn v různých obměnách, dokud se nepodařilo dosáhnout co nejoptimálnějšího výsledku na všech 5 vjezdech. Postupné ladění je popsáno Tabulkou 11 i Grafy 32, 33, 34, 35, 36, 37. Kvůli úspoře prostoru jsou nadpisy všech grafů a tabulek, kde byl testován řídicí algoritmus pojmenovány, TDC (traffic depended system), a jednotlivá čísla uvádějí pořadí v testování. Zkratka PP vyjadřuje, že jde o pevný plán.

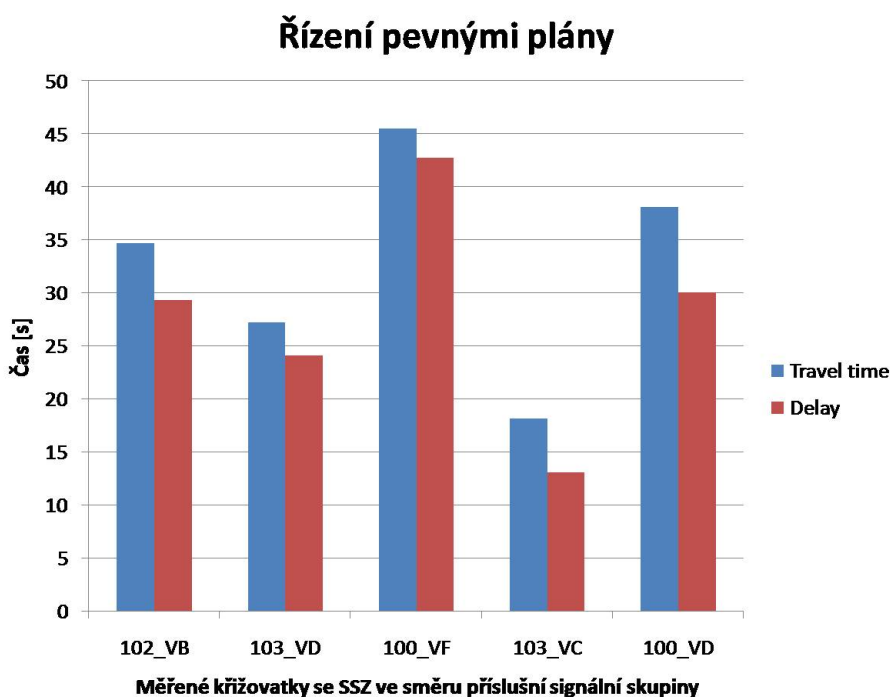
Tabulka 11: Délky Travel Time [TT]s a Delay [D]s jednotlivých úsecích

úsek	PP		TDC1		TDC2		TDC3		TDC4		TDC5	
	TT	D	TT	D	TT	D	TT	D	TT	D	TT	D
102 VB	34,7	29,3	35,7	30,3	36,2	30,8	35,7	30,3	37,0	31,6	36,7	31,3
103 VD	27,3	24,2	21,8	18,7	21,6	18,5	22,2	19,1	21,9	10,8	25,0	21,9
100 VF	45,5	42,8	47,0	44,2	45,1	42,4	36,3	32,2	32,7	9,1	37,2	37,2
103 VC	18,2	13,1	14,6	9,5	14,8	9,7	14,9	9,8	18,2	13,1	9,7	7,1
100 VD	38,1	30,1	47,6	39,5	40,7	32,6	35,6	27,5	35,2	27,1	36,4	28,3
průměr	31,9	26,5	33,0	27,7	31,3	25,9	28,8	23,3	28,9	24,0	28,5	24,1

V Tabulce 11 jsou rozepsány jednotlivé časové údaje (Travel Time, Delay) ve všech úsecích. První sloupec udává místo měření podle křižovatky a příslušné větve, v dalších sloupcích jsou postupně všechny varianty testování. Jako první byly otestovány pevné plány a zaznamenány příslušné "Travel Time" a "Delay". V ostatních sloupcích tabulky jsou uvedeny jednotlivé varianty testování algoritmu TDC. Ve zcela první variantě nedošlo ke zlepšení, a tak byl algoritmus laděn dál. Již v další variantě nastalo mírné zlepšení cestovní doby o téměř 2% a snížení zdržení o 2,3%. Po dalším ladění ve variantě 3 již nastala vyšší změna. Cestovní doba se zrychlila o 9,5% a zdržení se snížilo dokonce o 12%. Toto snížení doby zdržení velmi napomohlo úseku K103 VD, bohužel zvýšilo oproti nadcházejícím variantám zdržení na hlavním tahu. Další varianta snížila cestovní dobu o více než 10% a zdržení o 9,6%. Nejlépe se podařilo vyladit cestovní dobu a zdržení v poslední variantě 5, kde cestovní doba

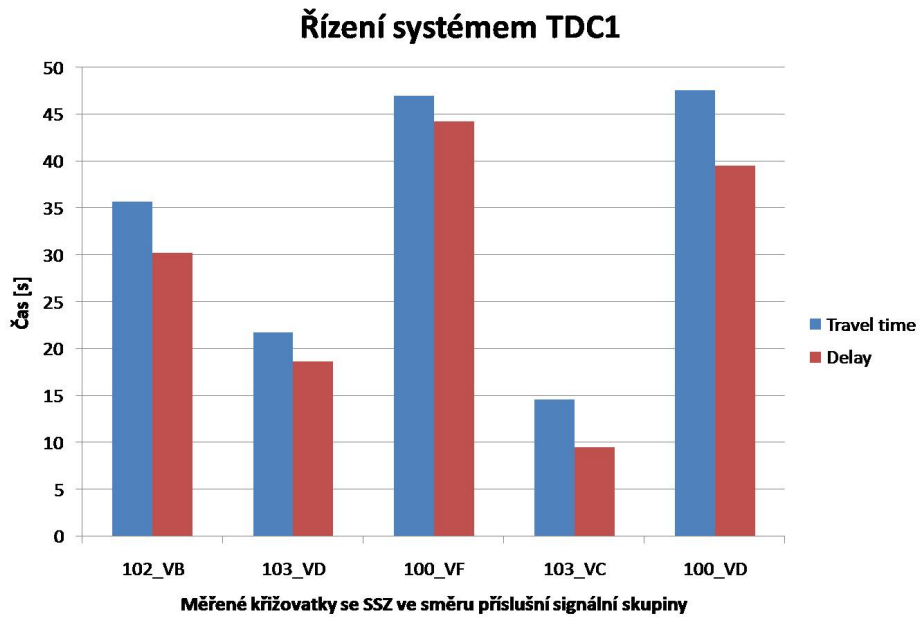
klesla o téměř 11% v testování celého území 1,5 km s 5 křižovatkami a stejným počtem testovaných úseků. Detailní údaje je možné sledovat v následujících Grafech 32, 33, 34, 35, 36, 37.

První testování bylo logicky spuštěno na stávajícím stavu, kdy byla nastavena týdenní automatika, jak je tomu v reálném provozu. Výsledky byly vyexportovány do textového souboru a následně zpracovány do grafické podoby, kde jednotlivé sloupce představují cestovní dobu (travel time), případně zpoždění (delay). Na první pohled na Graf 32 je největším problémem pevných plánů křižovatka K100 ve vjezdu VF, kde cestovní doba i zdržení se pohybuje mezi 40 a 50 s.



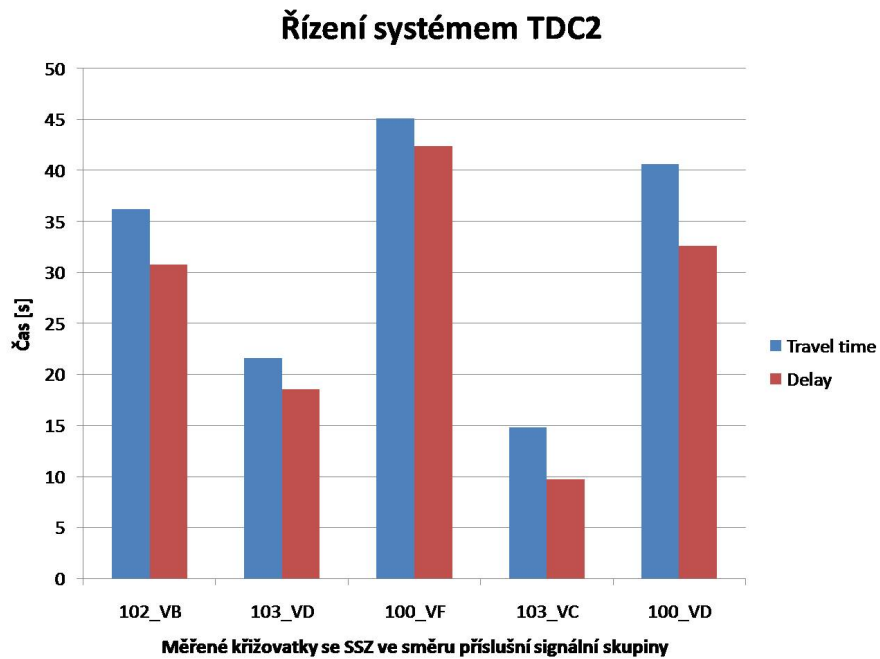
Obrázek 32: Travel time + Delay v pevných plánech

Následovalo testování řídicího algoritmu (Graf 33). Vzhledem k tomu, že samozřejmě hned první pokus nebyl dostatečně uspokojivý, probíhalo testování více odladěných modulů. Při prvním pokusu testování ani nedošlo ke zlepšení, a tak se model ladil dál.



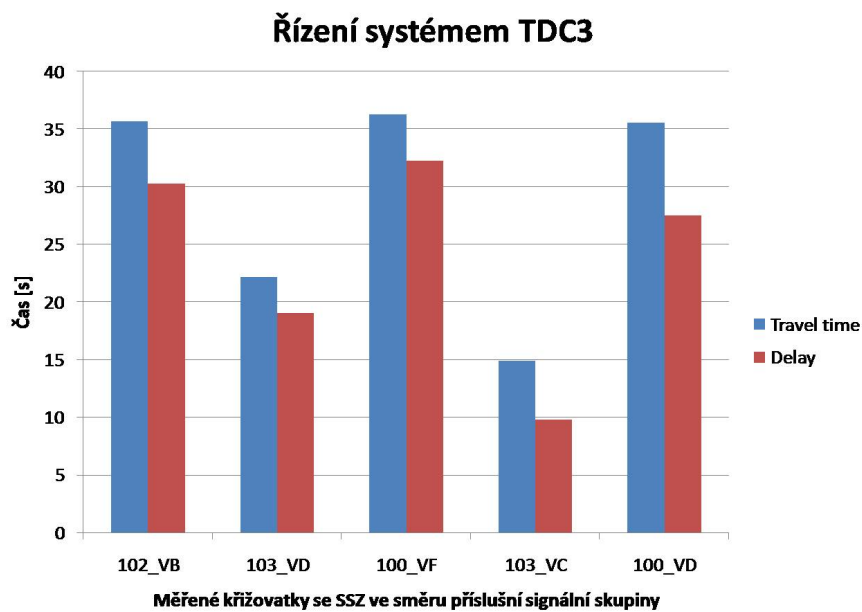
Obrázek 33: Travel time + Delay v TDC1

Následující testování varianty 2 na Grafu 34 již přineslo zlepšení. Sice velmi malé, ale alespoň bylo možné od tohoto výsledku pokračovat v dalším vývoji a ladění.



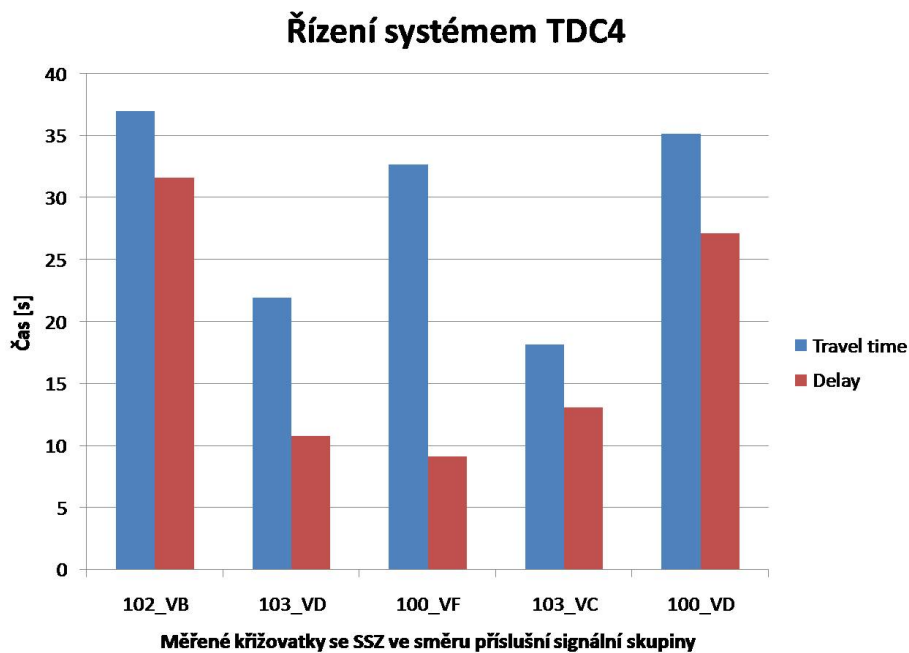
Obrázek 34: Travel time + Delay v TDC2





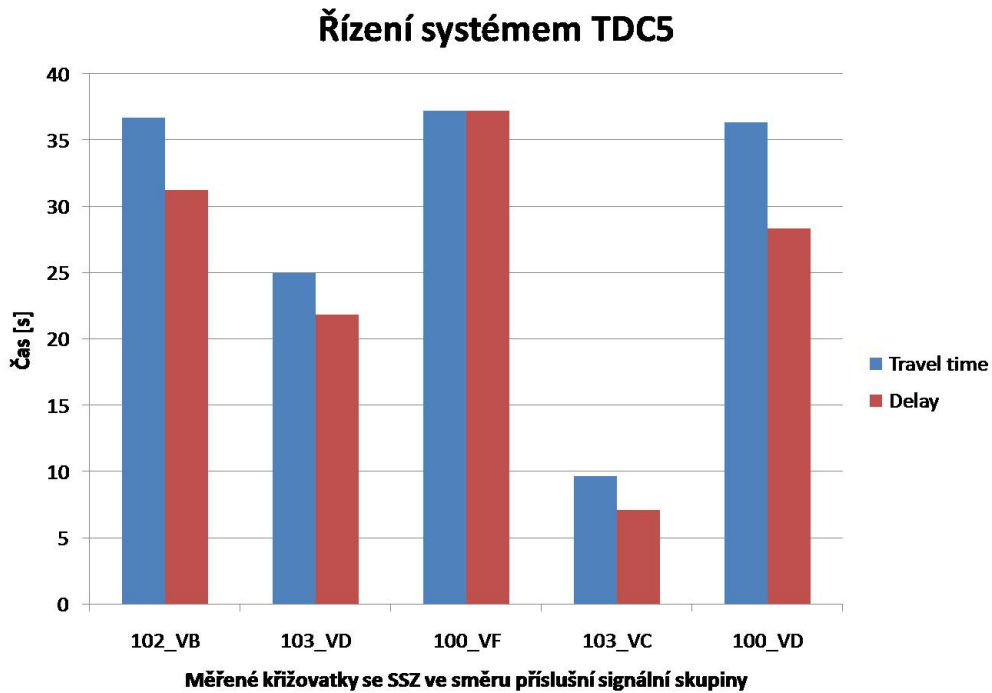
Obrázek 35: Travel time + Delay v TDC3

Ladění algoritmu mělo vzestupnou tendenci. Varianta 3 a varianta 4 již přinesla zlepšení v řádu několika sekund. Detailní hodnoty jsou ve sloupcích na Grafech 35 a 36.



Obrázek 36: Travel time + Delay v TDC4

Finální algoritmus již byl jeden z posledních pokusů testování, který měl smysl a přinesl zlepšení. Toto zlepšení bylo maximální, další pokusy již přinesly pouze přelévání zdržení z jednoho vjezdu na druhý. Se všemi cestovními časy jsme se dostali pod 38 s (původně i více než 45 s). Průměrné zlepšení, jak již je zmíněno výše, bylo o 11% v rozsahu celé oblasti.



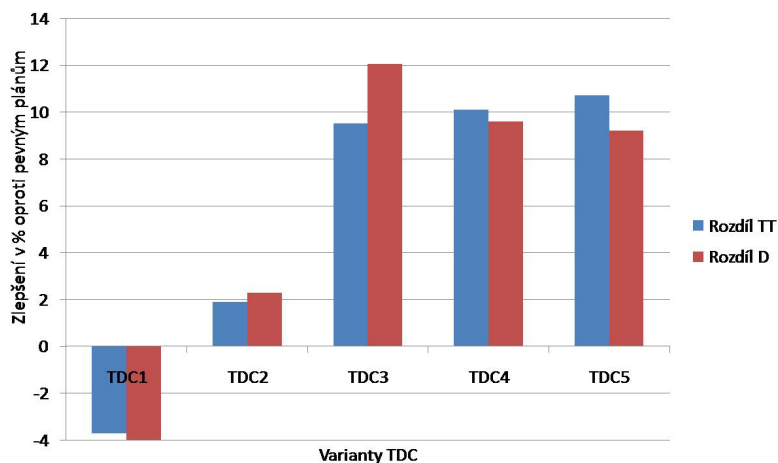
Obrázek 37: Travel time + Delay v TDC5

## 6.2 Vyhodnocení v porovnání se stávajícím stavem

Ladění řídicího algoritmu bylo ukončeno, když se podařilo najít kompromis mezi jednotlivým zlepšeními, aniž by se výrazně zhoršila situace na jiných vjezdech do oblasti. Postupné ladění a nárůst zlepšení je zobrazen na Grafu 38.

Postupné ladění algoritmu řízení je také zobrazeno na Grafu 39, kde je pro lepší představu srovnání cestovní doby i zdržení ve sloupcích vedle sebe. Je zde znázorněn v prvních sloupcích současný pevný plán a následuje vývoj řídicího algoritmu, kde je dobře znázorněno, že Travel time i Delay postupně klesá, případně se výrazně nemění. Čím je vyšší fáze ladění, tím je menší procentuální pokles, až téměř stagnuje, což je způsobeno tím, že se dopravní zátěž

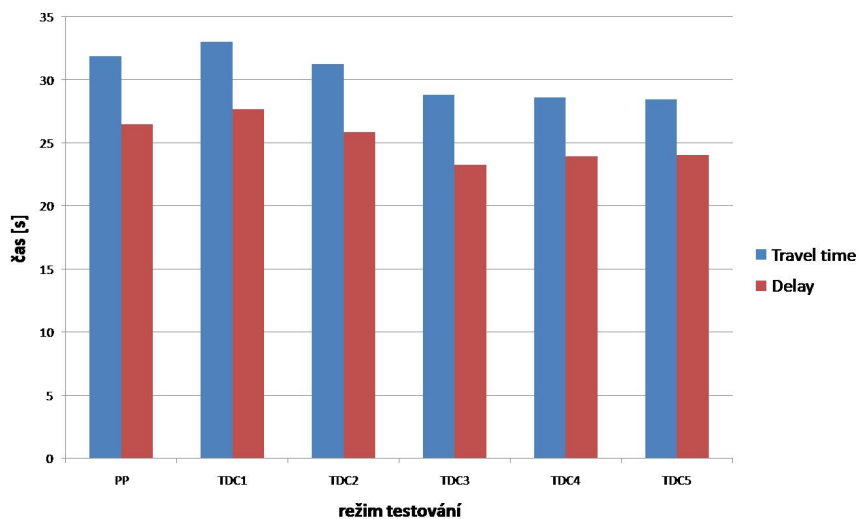
### Nárůst rozdílu travel time a delay při ladění TDC



Obrázek 38: Vývoj zlepšení postupným laděním TDC

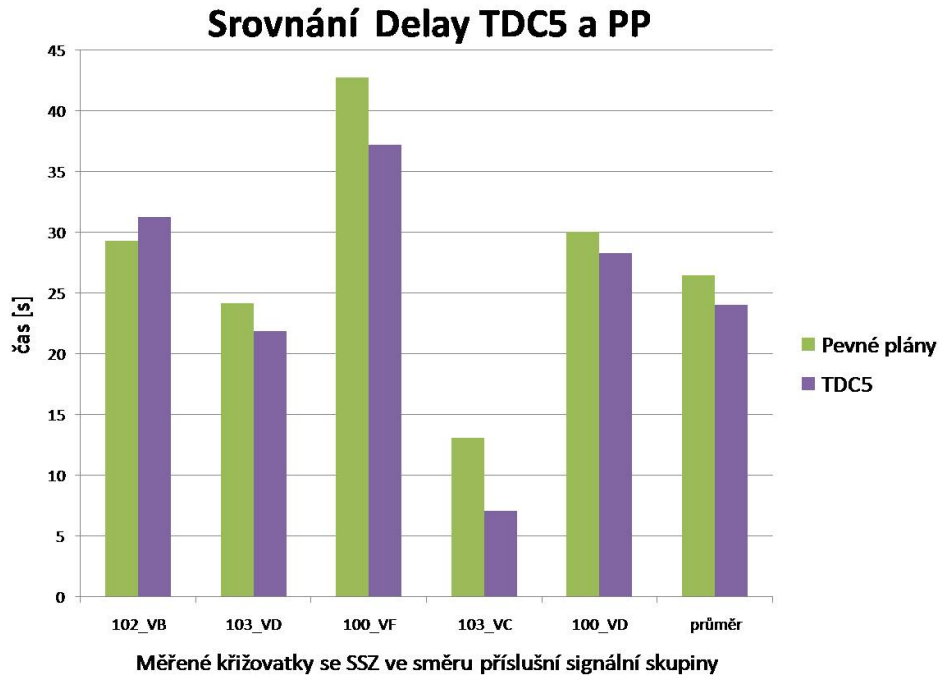
přelévá mezi jednotlivými vjezdy a již není mnoho prostoru na vylepšení, protože cílem není vylepšit situaci na konkrétním uzlu, ale dosáhnout lepšího výsledku jako celku celé oblasti. Tímto laděním se podařilo dosáhnout zmíněného výsledku téměř 11%.

### Srovnání hodnocených veličin ve všech režimech testování



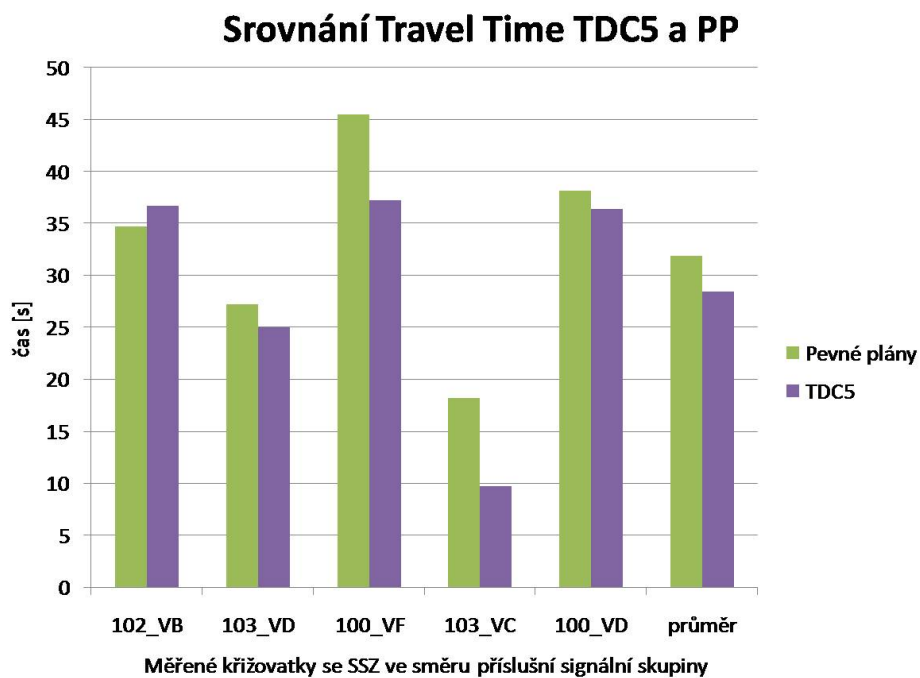
Obrázek 39: Srovnání ve všech režimech testování v simulaci

Na následujících dvou grafech je pak možné pozorovat srovnání "Travel Time" a "Delay" se stávajícím stavem v jednotlivých úsecích. Stávající stav (pevné plány) je znázorněn modře, TDC pak červeně.



Obrázek 40: Srovnání zdržení podle úseku

Jediný úsek, kde se nepodařilo zajistit zlepšení stávajícího stavu, je křižovatka K102. Na tento úsek má největší vliv velmi intenzivní levé odbočení, které změnou mezi jednotlivými signálními programy příliš neovlivníme. Je možné zvážit změnu přímo v konkrétním signálním plánu, kde by se vyhradil větší prostor pro levé odbočení z větve ve směru signální skupiny VB a omezil čas zelené na větvě ve směru signální skupiny VD (protisměr, kde je potřeba dát přednost v jízdě protijedoucím vozidlům). Řídicím algoritmem byl nejvíce zlepšen stav na křižovatce K103 ve směru signální skupiny VC (příjezd z Kunovic), kde se cestovní doba podařila snížit téměř o 47%, což je velmi pozitivní výsledek zejména proto, že se jedná o hlavní tah, který jen nejzatíženější. Výsledky na vedlejších komunikacích se jinak pohybují na velmi podobných procentech zlepšení mezi 8% až 18%. Za zmínění stojí zlepšení na úseku K100 VF, kde se cestovní doba zlepšila o 18,3%. Toto zlepšení nastalo zejména proto, že výchozí signální program SP12/100s, který v současnosti na křižovatce



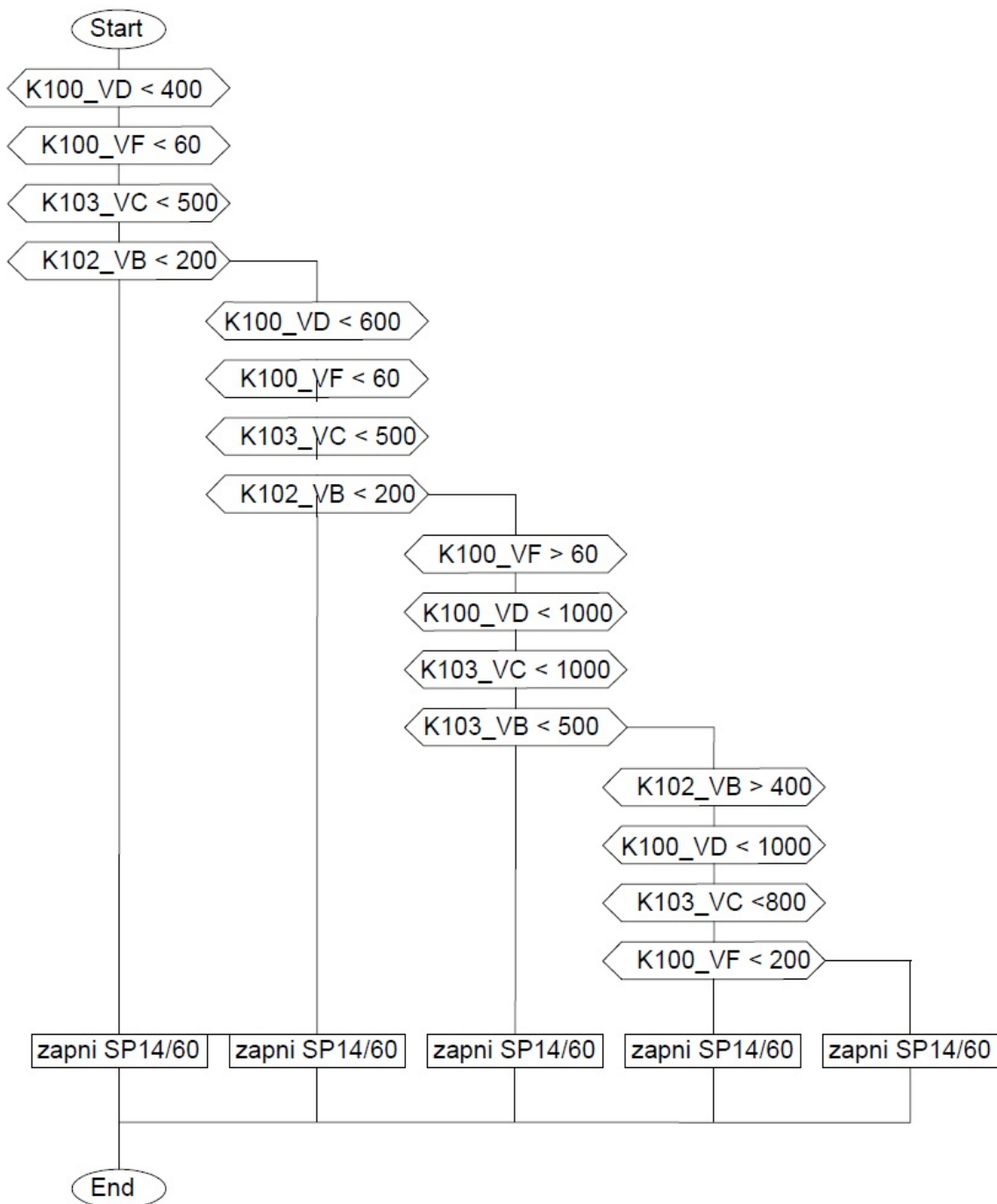
Obrázek 41: Srovnání cestovní doby podle úseku

běží, má pro směr v signální skupině VF vyhrazeno pouze 14 s ze 100 s. Tento poměr zelené je pro směr signální skupiny VF ze všech signálních plánů nejméně příznivý. Detailní výsledky rozdílů mezi řízením pevnými plány a algoritmem jsou uvedeny v Tabulce 12.

Tabulka 12: Výsledné hodnoty rozdílů zlepšení mezi pevným plánem a TDC

úsek	rozdíl [s]		rozdíl [%]	
	TT	Delay	TT	Delay
102 VB	-1,9	-1,9	-5,6	-6,6
103 VD	+2,3	+2,3	+8,4	+9,5
100 VF	+8,3	+5,6	+18,3	+13,1
103 VC	+8,5	+6,0	+46,8	+45,7
100 VD	+1,8	+1,7	+4,6	+5,9
průměr	+3,4	+2,4	+10,7	+9,2

Finální odladěný algoritmus je uveden na Obrázku 42 v podobě vývojového diagramu. Strategické vjezdy jsou popsány podle toho, na jaké křižovatce a příslušné větvi se nachází. Intenzity, podle kterých se algoritmus řídí, jsou uvedeny v hodinových agregacích.



Obrázek 42: Finální algoritmus

### 6.3 Shrnutí a závěrečná doporučení

Jak bylo prokázáno simulací, v současném stavu lze situaci kvality dopravy vylepšit. Toto vylepšení může být samozřejmě aplikace dopravní telematiky, řídicích algoritmů či zavedení dynamického řízení. Vždy je samozřejmě nezbytné brát v úvahu finanční stránku věci v poměru s efektivností. Aplikace dopravní telematiky jako taková není samospasitelná, vždy je třeba pečlivá příprava a odladění dle konkrétních podmínek. V tomto konkrétním případě byl aplikován poměrně jednoduchý řídicí algoritmus. Nepracuje s predikcí, pouze s aktuálními daty z detektorů, na základě kterých mění signální program. Při detailním srovnání se současným stavem zjistíme, že řídicí algoritmus prakticky pokaždé, když vyhodnotí situaci jako vhodnou pro změnu SP, tak oproti původnímu stavu zkracuje dobu cyklu. Vzhledem k tomu, že jsme při testování dosáhli zlepšení, znamená to, že doba cyklu je zejména v jistých denních dobách zbytečně dlouhá. Zbytečně dlouhý cyklus signálního plánu v tomto případě způsobuje, že na křižovatkách vznikají okamžiky, kdy má příliš dlouhou signál volno jeden směr, který je poloprázdný (zpravidla hlavní), ale vedlejší směr, kde se začnou hromadit vozidla, stojí na červený signál. Přesně tato situace je zachycena na obrázcích 10 a 51. Hlavní ulice ve směru signální skupiny VA je naprosto prázdná, zatímco se ve směru signální skupiny VD vytvořila dlouhá kolona. Přesně tomuto jevu se řídicí algoritmus snaží zabránit a podle délek zelené pro jednotlivé signální skupiny v signálních programech určuje, kde je potřeba situaci vylepšit, a kterému směru dát vyšší prioritu. Nevýhodou algoritmu je, že nepracuje s prognózou, ale pouze s okamžitými daty. Reaguje tak na aktuální situaci, ale nikoliv na situaci nastávající. Další nevýhodou pouze pro vedlejší přípojně větve křižovatek je, že na všech uzlech musí běžet stejný signální program, což je nezbytné kvůli koordinaci hlavního tahu. Nevýhodou pro vedlejší větve je to, že nelze nastavit na každé křižovatce zvlášť signální program, který bude vyhovovat více strategickým vjezdům.

Doporučení pro danou oblast mohou být seřazena podle náročnosti. Nejnáročnější možností je aplikace nadřazeného systému řízení. Obnáší investice do detektorů a samozřejmě do dopravního řešení, SW a nákladů spojených s procesem instalace a ladění. Další možností může být aplikace dynamického řízení. To je opět spojeno s investicemi do chybějících detektorů a tvorby nového dopravního řešení. Nejméně nákladnou variantou by mohlo být vylepšení týdenní automatiky na základě nových poznatků, přinesených testováním.





Obrázek 43: Situace na křižovatce K103 VA v hlavním směru prázdný



Obrázek 44: Situace na křižovatce K103 VD ve vedlejším směru



## 7 Závěr

V rámci této diplomové práce bylo postupováno podle bodů zadání. V první řadě musela být vybrána vhodná oblast k aplikaci řídicího algoritmu. Tato oblast musela mít nejméně dvě světelně řízené křižovatky a vhodné dopravně inženýrské charakteristiky. Jako vhodná oblast byla zvolena část tahu v Uherském Hradišti. Ve vytypované oblasti se nachází světelně řízených křižovatek pět a dopravně inženýrské charakteristiky jsou vhodné. Dalším krokem bylo kapacitní posouzení současného způsobu řízení. To bylo provedeno v souladu s TP 235, ačkoliv všechny křižovatky kapacitně vyhovují minimálně za E (nestabilní), kapacitní posouzení odhalilo prostor ke zlepšení a případné kapacitní rezervy v jednotlivých větvích křižovatek. Třetím krokem byl návrh řízení a otestování v programu Vissim. Byl navrhnut algoritmus řízení, pracující na bázi přepínání signálních plánů v závislosti na okamžité intenzitě. Algoritmus nepracuje s žádnou predikcí, pouze pracuje s aktuálními daty z detektorů. Model oblasti v SW Vissim byl vytvořen původně pro stávající stav s pevnými plány, kde proběhlo testování, a poté v něm bylo dopravní řešení změněno na řízení algoritmem, který pracoval s pěti pevnými plány, které přepínal podle dopravní zátěže. Posledním bodem v zadání bylo otestování návrhu řízení v programu Vissim. Vzhledem k tomu, že prostředí Vissim nabízí mnoho možností vyhodnocení, bylo zvoleno vyhodnocení pomocí časových parametrů - konkrétně cestovní doba a doba zdržení. Po srovnání hodnot, které byly výsledkem testování, vyšlo celkové zlepšení v oblasti o 11% jak u cestovní doby, tak u doby zdržení. Detailní výsledky testování, jejich srovnání a grafické znázornění je uvedeno v kapitole 6.

Výsledky testování prokázaly, že v oblasti existuje možné zlepšení. Při rozsáhlejších investicích by bylo vhodné do oblasti aplikovat nadřazené řízení, podrobit ho rozsáhlému testování v praxi a docílit tak možná ještě lepších výsledků, než je 11% jako v tomto případě. Případně se v oblasti mohou provést alespoň menší změny, které budou vyplývat ze závěru tohoto testu. Z testování vyplynulo, že je používán zbytečně dlouhý cyklus při nižších intenzitách. V oblasti je výchozím signálním programem SP12/100 s, který běží jak při ranní a odpolední špičce, tak v poledním sedle, když jsou intenzity nižší. Vzhledem k tomu, že algoritmus řízení měnil signální program vždy na ten s kratším cyklem (případně ponechal výchozí 100 s), je jasné, že by slabý denní provoz, který by zejména mezi 10 a 13 hodinou snesl signální program s délkou cyklu 80 nebo 90 s.

## 8 Literatura a zdroje

- [1] ČSN 73 6102. *Projektování křižovatek na pozemních komunikacích*. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [2] TP 189. *Stanovení intenzit dopravy na pozemních komunikacích*. Praha: EDIP, 2012.
- [3] TP 235. *Posuzování kapacity světelně řízených křižovatek*. Praha: EDIP, 2011.
- [4] Projektová dokumentace. *DOPRAVNÍ ŘEŠENÍ – TEST ADAPTIVNÍHO ŘÍZENÍ SSZ K100, K101, K102, K103, K107*. Praha: Eltodo, 2014.
- [5] PŘIBYL Pavel, Miroslav Svítek. *Inteligentní dopravní systémy*. Praha: BEN-Technická literatura, 2002.
- [6] PTV VISSIM. *Vissim user manual*. Karlsruhe, Germany: PTV AG, 2013.
- [7] PTV Group. *VisVap user manual*. Karlsruhe, Germany: PTV AG, 2012.
- [8] Mapy.cz. Mapy.cz. [online]. © 1996-2015 [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: <http://www.mapy.cz/>
- [9] Společnost pro veřejnou dopravu. SPDV. [online]. © 2012 [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: <http://www.spvd.cz/>
- [10] Uherské Hradiště. Uherské Hradiště — oficiální portál města. [online]. © 2011-2015 [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: <http://www.mesto-uh.cz/>
- [11] Výzkum v dopravě. Centrum dopravního výzkumu. [online]. © 2015 [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: <http://www.cdv.cz/>
- [12] Prezentace výsledků sčítání dopravy 2010. Celostátní sčítání dopravy 2010. [online]. © 2010 [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: <http://scitani2010.rsd.cz/>
- [13] PŘÍKRYL Jan, Tomáš Tichý, Zuzana Bělinová, Jan Kapitán: *Comparision by Simulation of Different Approaches to the Urban Traffic Control*. Archives of Transport System Telematic, Volume 5, Issue 4, November 2012, ISSN 1899-8208, pp26-30.

- [14] CIKHARDTOVÁ Kristýna a kolektiv: *Dokumentace k vyhodnocení testování adaptivního řídicího systému a modulu TDC v rámci projektu NOMŘÍZ*. Interní dokumentace Eltodo a.s., FD ČVUT a UTIA AVČR, Praha 2015.
- [15] JIRAVA Petr, Petr Slabý: *Pozemní komunikace 10*. Dopravní inženýrství, skripta ČVUT, Praha 2007.
- [16] TRESLER Filip, Lukáš Duda, Tomáš Kabelka, Kristýna Cikhartová: *Online testování modulu TDC*. Závěrečná zpráva EDS, Praha 2013.
- [17] TICHÝ Tomáš, Martin Němec: *Komplexní vyhodnocení systému MOTION*. Projektová dokumentace, EDS, Praha 2006.
- [18] PŘIKRYL Jan, *Simple model for urban traffic between two signalized intersections*. Proceedings of the 16th International IEEE Annual Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC 2013). Hague, the Netherlands 2013.
- [19] TP 81. *Navrhování SSZ pro řízení silničního provozu*. Praha: CDV, 2006.
- [20] KAPITÁN Jan, *Využití simulačních prostředí pro ověřování různých způsobů řízení na vybrané oblasti*. Diplomová práce, Praha : ČVUT FD, 2011.

## 9 Seznam použitého softwaru

- Texmaker = editor pro počítačovou sazbu textu integrovaný s prohlížečem PDF
- Microsoft Excel 2007 = tabulkový procesor
- Microsoft PowerPoint 2007 = nástroj na tvorbu prezentací
- Vissim 6 = mikroskopický multimodální systém pro vytvoření podrobných dopravních modelů
- VisVap = volitelný doplněk SW Vissim umožňující programování signálních programů a řízení dopravy

## 10 Seznam příloh

- 1 Fotodokumentace
- 2 Dopravní průzkum
- 3 Model stávajícího stavu
- 4 Model s řídicím algoritmem

## Příloha 1: Fotodokumentace



Obrázek 45: Křižovatka K100 při pohledu do centra Uherského Hradiště



Obrázek 46: Křižovatka K100 při směrem z Uherského Hradiště do Starého města





Obrázek 47: Křižovatka K107 při pohledu na hlavní ulici ve směru do Kunovic



Obrázek 48: Křižovatka K102 čelem k odbočení do Zlína





Obrázek 49: Křižovatka K102 při pohledu na hlavní ulici ve směru na Staré město



Obrázek 50: Křižovatka K103 při pohledu na hlavní komunikaci směrem do Kunovic





Obrázek 51: Křižovatka K103 ve vedlejším směru směrem do centra města



Obrázek 52: Křižovatka K101 při pohledu na hlavní ulici směrem do Kunovic

## Příloha 2: Dopravní průzkum

K100														
ráno														
DVE2		DVD1				DVF								
přímo	84	85,71	přímo	54	39,13	vpravo	9	23,08						
vlevo	14	14,29	vpravo	84	60,87	vlevo	30	76,92						
odpoledne														
přímo	115	88,46	přímo	97	70,29	vpravo	9	11,54						
vlevo	15	11,54	vpravo	41	29,71	vlevo	69	88,46						
K107														
ráno														
DVA1		DVB2												
přímo	56	65,12	přímo	57	87,69									
vpravo	30	34,88	vlevo	8	12,31									
odpoledne														
přímo	84	71,19	přímo	70	88,61									
vpravo	34	28,81	vlevo	9	11,39									
K101														
ráno														
DVA1		DVA2				DVB1				DVC2				
přímo	88	98,88	přímo	83	98,81	vpravo	3	75,00	přímo	105	99,06	přímo	63	94,03
vpravo	1	1,12	vpravo	1	1,19	vlevo	1	25,00	vpravo	1	0,94	vlevo	4	5,97
odpoledne														
přímo	100	96,15	přímo	111	98,23	vpravo	6	75,00	přímo	123	95,35	přímo	89	94,68
vpravo	4	3,85	vpravo	2	1,77	vlevo	2	25,00	vpravo	6	4,65	vlevo	5	5,32

K102											
ráno											
DVA		DVB		DVC		DVD					
přímo	65	75,58	přímo	45	48,39	vpravo	45	40,91	přímo	22	66,67
vpravo	21	24,42	vpravo	48	51,61	vpravo	65	59,09	vpravo	11	33,33
odpoledne											
přímo	80	75,47	přímo	62	59,62	vpravo	41	42,71	přímo	29	52,73
vpravo	26	24,53	vpravo	42	40,38	vpravo	55	57,29	vpravo	26	47,27

K103														
ráno														
DVA1		DVA2		DVC1		DVC2		DVD						
přímo	50	64,94	přímo	50	96,15	přímo	166	98,81	přímo	30	30,30	vpravo	49	52,13
vpravo	27	35,06	vlevo	2	3,85	vpravo	2	1,19	vlevo	69	69,70	vlevo	45	47,87
									přímo					0,00
odpoledne														
přímo	72	72,73	přímo	84	96,55	přímo	121	98,37	přímo	38	43,68	vpravo	49	52,13
vpravo	27	27,27	vlevo	3	3,45	vpravo	2	1,63	vlevo	49	56,32	vlevo	45	47,87
									přímo					0,00