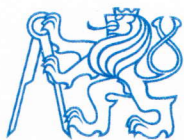


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA DOPRAVNÍ
Ústav dopravní telematiky K620

Dopravní řešení dvojice křižovatek na komunikaci

I/50 Slavkov u Brna

DIPLOMOVÁ PRÁCE



K620..... Ústav dopravní telematiky

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

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Bc. Petr Neuwirth

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

N 3710 – DS – Dopravní systémy a technika

Název tématu (česky): **Dopravní řešení dvojice křižovatek na komunikaci
I/50 Slavkov u Brna**

Název tématu (anglicky): Traffic Solution of Two Intersection Points on the Route
I/50 Slavkov u Brna

Zásady pro vypracování

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

- Analýza současného stavu na základě naměřených dopravních parametrů
- Návrh řešení současného stavu pomocí SSZ včetně dynamického řízení a doložení řízení v koordinaci
- Návrh stavebního řešení křižovatek včetně doložení příslušných řezů a výkresů stavebních úprav a dopravního značení
- Ověření řízení a navržených stavebních úprav křižovatek v simulačním prostředí VISSIM

Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího DP

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.

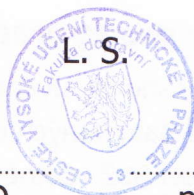
Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Tomáš Tichý, Ph.D.**

Datum zadání diplomové práce: **31. července 2014**
(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. listopadu 2015**

- 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


.....
doc. Ing. Pavel Hrubeš, Ph.D.
vedoucí
Ústavu dopravní telematiky




.....
prof. Dr. Ing. Miroslav Svítek
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.



.....
Bc. Petr Neuwirth
jméno a podpis studenta

V Praze dne.....1. června 2015

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval všem, kteří mi poskytli podklady pro vypracování této diplomové práce. Zvláště pak děkuji doc. Ing. Tomáši Tichému, Ph.D. za odborné vedení a konzultování diplomové práce a za rady, které mi poskytoval během mého studia, dále bych chtěl poděkovat Ing. Milanu Koukolovi, Ph.D. za technické rady v oblasti simulace. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat rodičům za morální podporu během mého studia a také kolegům Mrázovi, Vančurovi a Neumannovi za dobrou atmosféru, kterou při psaní našich závěrečných prací vytvořili.

Prohlášení

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

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

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

V Praze dne ...30.11.2015...

..........

Bc. Petr Neuwirth

Bibliografická identifikace

Jméno a příjmení autora: Bc. Petr Neuwirth

Název práce: Dopravní řešení dvojice křižovatek na komunikaci I/50
Slavkov u Brna

Typ práce: Diplomová práce

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

Rok obhajoby práce: 2016

Jazyk: Čeština

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá analýzou současného stavu dopravy na dvou stykových křižovatkách na silnici I/50 ve městě Slavkov u Brna obsahující několik dopravních průzkumů. Zabývá se možnostmi zlepšení současného řízení křižovatek instalací světelného signalizačního zařízení včetně dynamického řízení v koordinaci. Součástí návrhu jsou i variantní stavební úpravy. Práce obsahuje kapacitní výpočty křižovatek. Navržený způsob řízení je ověřen a validován v mikrosimulačním software. Na základě simulace jsou na závěr vydána doporučení pro realizaci.

Klíčová slova

křižovatka, dopravní průzkum, kapacitní výpočet, světelné signalizační zařízení, dynamické řízení, koordinace, úroveň kvality dopravy, mikrosimulace

Bibliographical identification

Author's name and surname: Bc. Petr Neuwirth

Title: Traffic solution of two intersection points on the route I/50
Slavkov u Brna

Type of the thesis: Master thesis

Supervisor: doc. Ing. Tomáš Tichý, Ph.D.

The year of presentation: 2016

Language: Czech

Abstract

This Thesis analyzes the current traffic situation at two cover intersections on the route I/50 in the town Slavkov u Brna, contains several traffic surveys. Thesis deals with the possibilities to improve current management of intersections by installation traffic lights control with dynamic management in the coordination. Part of the proposal is the alternative construction modifications. Thesis contains the capacity calculations of the intersections. The proposed control method is verified and validated in the microsimulation software. Based on the simulations are issued recommendations for the implementation.

Keywords

intersection, traffic survey, capacity calculation, traffic lights control, dynamic management, level of transport quality, microsimulation

OBSAH

OBSAH	7
1. Úvod	10
2. Analýza současného stavu	11
2.1. Lokalizace	11
2.2. Širší dopravní vztahy.....	12
2.2.1. Veřejná hromadná doprava	15
2.3. Stavební uspořádání	17
2.4. Svislé a vodorovné dopravní značení.....	19
2.5. Problémy v řešeném území	20
2.6. Dopravní průzkum	21
2.7. Zpracování dat.....	25
2.8. Naměřené intenzity	26
2.9. Srovnání naměřených intenzit.....	27
2.10. Kapacitní posouzení neřízené křižovatky	29
2.10.1. Postup posouzení kapacity stávající křižovatky.....	29
2.10.2. Výsledky	31
2.10.3. Komentář ke kapacitnímu posouzení	34
3. Kritéria navrhování SSZ.....	35
3.1. Kritérium bezpečnosti provozu	35
3.2. Kritérium intenzity provozu z hlediska vozidel	37
3.3. Kritérium intenzity provozu z hlediska chodců	38
3.4. Kritérium plynulosti jízdy vozidel MHD	39
4. Návrh stavebních úprav	40
4.1. Varianta 1 – Současné šířkové uspořádání.....	40
4.2. Varianta 2 – Rekonstrukce ulice Křenovické.....	40
5. Návrh řízení křižovatek pomocí SSZ.....	42
5.1. Druhy světelných signálů.....	42
5.2. Označení signálních skupin.....	42
5.3. Návrh a sled fází	43
5.4. Tabulky mezičasů.....	44
5.5. Návrh pevného signálního plánu.....	46
5.5.1. Metoda saturovaného toku	46
5.6. Kapacitní posouzení světelně řízené křižovatky	47
5.6.1. Stanovení kapacity vjezdu.....	48
5.6.2. Stanovení úrovně kvality dopravy.....	48

5.7.	Vytvořené signální plány a kapacitní posouzení.....	49
5.7.1.	Ranní špička.....	49
5.7.2.	Odpolední špička.....	50
5.7.3.	Komentář ke kapacitnímu posouzení.....	52
6.	Návrh dynamického řízení.....	53
6.1.	Režimy řízení.....	53
6.1.1.	Specifikace způsobů řízení modifikací signálního plánu.....	55
6.2.	Koordinace SSZ.....	56
6.3.	Detektory.....	57
6.4.	Navržené dynamické řízení.....	57
6.5.	Varianta 1.....	58
6.5.1.	Křižovatka I/50 – Křenovická.....	58
6.5.2.	Křižovatka I/50 – Špitálská.....	59
6.5.3.	Signální plány a koordinace.....	60
6.6.	Varianta 2.....	63
6.6.1.	Křižovatka I/50 – Křenovická.....	63
6.6.2.	Křižovatka I/50 – Špitálská.....	64
6.6.3.	Signální plány a koordinace.....	64
7.	Ověření návrhu v simulačním prostředí VISSIM.....	65
7.1.	Postup vytvoření dopravního modelu.....	65
7.1.1.	Návrh dynamického řízení.....	67
7.2.	Vyhodnocení modelu.....	68
7.2.1.	Vyhodnocení modelu se současnými intenzitami.....	69
7.2.2.	Vyhodnocení modelu s návrhovými intenzitami.....	73
7.2.3.	Shrnutí simulace.....	75
8.	Závěr.....	76
9.	Seznam použitých zdrojů.....	78
9.1.	Knižní zdroje.....	78
9.2.	Internetové zdroje.....	79
10.	Seznam obrázků.....	80
11.	Seznam tabulek.....	80
12.	Seznam příloh.....	82

Seznam použitých zkratk

CSD	Celostátní sčítání dopravy
ČSN	Česká technická norma
ČSÚ	Český statistický úřad
IDS	integrovaný dopravní systém
JDVM	Jednotná dopravní vektorová mapa
JMK	Jihomoravský kraj
MDČR	Ministerstvo dopravy České republiky
MHD	městská hromadná doprava
OŠ	odpolední špička
PHM	pohonné hmoty
RŠ	ranní špička
RPDI	Roční denní průměr intenzit
ŘSD	Ředitelství silnic a dálnic
ŘSDP	Ředitelství služby dopravní policie
SDZ	svislé dopravní značení
SSZ	světelné signalizační zařízení
SV	součet vozidel
TLC	Traffic Lights Control
TNV	těžká nákladní vozidla
TP	technické podmínky
ÚKD	úroveň kvality dopravy
VDZ	vodorovné dopravní značení
VISSIM	Verkehr in Städten – Simulationsmodell

1. Úvod

Dlouhodobým trendem, již po několik desítek let, je neustále rostoucí intenzita dopravy na všech pozemních komunikacích a současná dopravní infrastruktura se stává nedostatečnou a kapacitně nevyhovující. Často je nejlepším, ale i nejdražším řešením výstavba nových komunikací, zejména dálnic a obchvatů měst. Výstavba nových komunikací je však velmi časově náročná, všechny procesy dohromady často trvají déle než 10 let. Jako alternativní a rychlejší řešení se nabízí využití inteligentních dopravních systémů, mezi něž řadíme i dynamické řízení uzlu světelnou signalizací. Zavedení telematických systému umožňuje zlepšení nevyhovující dopravní situace dosáhnout za podstatně kratší dobu. Inteligentní dopravní systémy však nemohou plně nahradit nové dopravní stavby, ty pouze optimalizují stavby současné a maximálně zvyšují jejich výkonnost.

Jako téma diplomové práce jsem si vybral řešení dopravní situace na dvou stykových křižovatkách na hlavním silničním tahu I/50 procházejícím obchvatem města Slavkova u Brna. Oblast je zatížena vysokými intenzitami dopravy a v dopravních špičkách vznikají na příjezdech ke křižovatkám kongesce a dochází k velkému zdržení vozidel v prostoru křižovatek.

Diplomová práce navazuje na mnou zpracovanou bakalářskou práci v roce 2013 [3], ve které bylo na základě předchozí analýzy současného stavu ve formě dopravních průzkumů provedeno posouzení vhodnosti návrhu řízení pomocí SSZ a vlastní návrh řízení pomocí pevných signálních plánů.

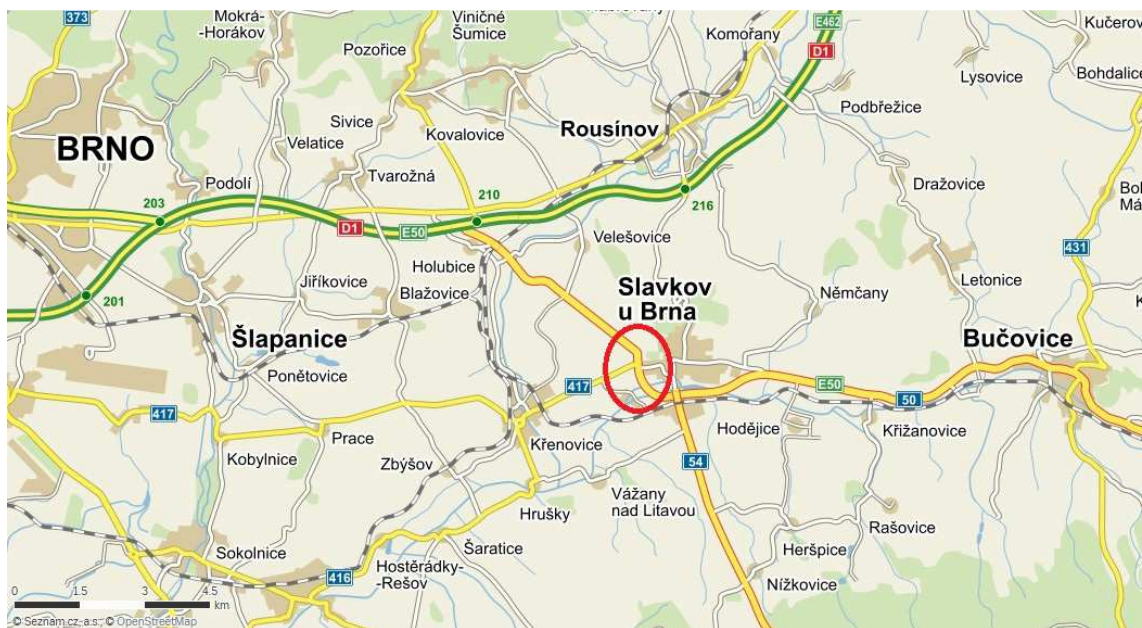
Cílem této diplomové práce je opětovná důkladná analýza současného stavu na křižovatkách, zahrnující směrový dopravní průzkum na křižovatkách v několika denních dobách, zejména v dopravních špičkách. Na základě získaných dopravně-inženýrských dat bude navrženo světelné signalizační zařízení s dynamickým řízením. Součástí návrhu bude i variantní stavební řešení jedné z kapacitně nevyhovujících křižovatek.

Následně bude navržené řešení řízení křižovatek vymodelováno a vyhodnoceno v mikrosimulačním prostředí softwaru VISSIM. V závěru bude shrnuto navržené řešení a vlastní doporučení na řešení situace v dotčeném úseku na stykových křižovatkách.

2. Analýza současného stavu

2.1. Lokalizace

Řešená dvojice křižovatek se nachází v Jihomoravském kraji v okrese Vyškov, v katastru města Slavkov u Brna. Ve městě Slavkov u Brna mělo k 1. lednu 2014 trvalé bydliště 6456 obyvatel [13]. V současnosti se město nadále rozvíjí, zejména výstavbou nízkopodlažních nových rodinných domů satelitního charakteru. Je to dáno především přijatelně malou vzdáleností od města Brna. Silniční vzdálenost mezi centry měst Brna a Slavkova je pouze 22 km. Dle územního plánu je navržena další rozsáhlá výstavba, zejména v severovýchodní části města [14]. Následuje přehledná mapa zobrazující pozici Slavkova vzhledem k městu Brnu. Červeně je zaznačena pozice řešených stykových křižovatek.



Obrázek 1 – mapa oblasti [23]

Řešené křižovatky se nacházejí v západní části města Slavkova, jejich hlavní osou je silnice první třídy I/50, která má svůj počátek v místě mimoúrovňového křížení s dálnicí D1, exit 210 a souběžnou silnicí druhé třídy II/430. Za počátek silnice I/50 lze považovat centrum města Brna, jelikož Ostravská radiála vedoucí z centra východním směrem je označena jako R50, od roku 2016 dle novely zákona o pozemních komunikacích už jen I/50. Ostravská radiála se mimoúrovňově připojuje na dálnici D1 v exitu 203 (Brno-východ). V délce 7 km není silnice číslo 50 označena, jelikož je vedena po dálnici D1.

V řešené oblasti se nacházejí dvě odsazené stykové křižovatky. První z nich je se silnicí II/416 – ulice Křenovická, vedoucí na Křenovice a Újezd u Brna, druhá s místní komunikací III/0501 – ulice Špitálská, vedoucí do centra Slavkova. Silnice I/50 navazuje jižním obchvatem města, na kterém se nachází mimoúrovňové křížení se silnicí I/54 směr Kyjov a Veselí nad Moravou, silnice I/50 dále pokračuje přes Nesovice, Bučovice, obchvatem Uherského Hradiště, dále přes hraniční přechod se Slovenskem Starý Hrozenkov-Drietoma, ke slovenské dálnici D1 v blízkosti Trenčína.

2.2. Širší dopravní vztahy

Silnice I/50 je součástí mezinárodní evropské silnice E50, která má svůj počátek v západofrancouzském přístavu Brest, projíždí Francií, Německo, Českou republiku po D5, D1 a až do Brna, resp. k exitu 210 u Holubic vede bez přerušení po dálnicích. Ze Slavkova pokračuje přes Uherské Hradiště, na slovenskou D1 u Trenčína a dále přes Žilinu, Košice, na Ukrajinu a do Ruska. V současnosti je silnice I/50 nejkratší a nejrychlejší spojnici Prahy a Brna se severními a východními částmi Slovenska přes Trenčín. Spojení jihozápadního Slovenska je realizováno po dálnici D2 z Brna na Bratislavu. Z oblasti střední a severní Moravy se pro cestu na Slovensko používá silnice I/35 z Olomouce přes Rožnov pod Radhoštěm, případně kombinace silnic R48 a I/11 přes Frýdek-Místek a Třinec. Význam mezinárodní trasy po I/50 bude mírně klesat společně s postupující výstavbou rychlostní silnice R49 z Hulína (křížení s D1 a R55), severně od Zlína, přes Horní Lideč do slovenského Púchova k dálnici D1. V současnosti je obnovena realizace prvního 14 km dlouhého úseku z Hulína do Fryštáku, jehož stavba byla v roce 2011 v rámci vládních úsporných opatření pozastavena. Její úplné dokončení se předpokládá nejdříve v roce 2030 [15]. Silnice I/50 byla v uplynulých letech rekonstruována a proběhla realizace několika obchvatů s cílem zvýšení kapacity a snížení cestovní doby. Pro řešenou oblast je nejdůležitější jihozápadní a jižní obchvat Slavkova u Brna, který byl realizován v letech 1993 až 1996. Důležitými stavbami na celé silnici I/50 byl již zmiňovaný obchvat Starého Města, Uherského Hradiště a Kunovic o délce 6,9 km ve velkorysé kategorii R11,5/100 zprovozněný v roce 2004, a realizace stoupacích pruhů v obou směrech dvou táhlých stoupání ve vrchovině Chříby na pomezí Jihomoravského a Zlínského kraje v celkové délce 8,3 km [16]. Dále je projektován obchvat města Bučovice, které je sužováno zejména odpoledními kongescemi a také současný obchvat tří obcí Brankovice, Malínky a Kožušice.

Nejaktuálnější data o intenzitách dopravy jsou pouze z celostátního sčítání dopravy v roce 2010, jelikož Ministerstvo Dopravy ČR nestihlo včas připravit sčítání pro rok 2015 a proběhne tak se zpožděním až v roce 2016. Hodnoty ročních průměrných denních intenzit, špičkových a padesátirázových intenzit ve vybraných úsecích silnice I/50 jsou v následující tabulce [17]. Je uveden součet všech vozidel a těžká nákladní vozidla.

Tabulka 1 – intenzity dopravy podle CSD 2010

Úseky silnice I/50	RPDI [voz/24h]		RPDI (Po-Pá) [voz/24h]		Špičková intenzita [voz/h]		50-ti rázová intenzita [voz/h]	
	SV	TNV	SV	TNV	SV	TNV	SV	TNV
Křížení s D1 – Slavkov	17693	3619	19068	4466	1620	354	1787	366
Slavkov – křížení s I/54	14823	3294	16016	4062	1269	332	1497	333
Křížení s I/54 – Bučovice	12175	2737	13169	3376	1098	235	1230	276
St. Hrozenkov – státní hranice	4463	1567	4956	1952	385	135	451	158

S přibývajícím vzdáleností od Brna intenzita na silnici I/50 klesá, mírný nárůst intenzity provozu je v oblasti Uherského Hradiště a Uherského Brodu. Poměr TNV v příhraničním úseku silnice I/50 dosahuje v pracovní dny 40 %, oproti pouhým 23 % v úseku od dálnice D1. Z těchto hodnot je zřejmé, že mezinárodní tah je využíván nákladními vozidly v celé své trase. Lze tak usoudit, že případné zprovoznění R49 nebude mít zásadní vliv na poklesu celkových intenzit na silnici I/50, ale lze očekávat snížení poměru TNV. V řešeném území je třeba počítat s nárůstem intenzity provozu v dlouhodobějším výhledu. Podle modelu výhledových intenzit na silniční síti v Jihomoravském kraji pro rok 2030 [18], který byl zpracován v roce 2009 na objednávku kraje, bude intenzita na I/50 v nejzatíženějším úseku mezi dálnicí D1 a Slavkovem u Brna 29600 voz/h (TNV 6600 voz/h). Když se vezme v úvahu stejný procentuelní nárůst pro každý rok, pak s meziročním růstem 2,6 % lze pro rok 2015 stanovit přibližné hodnoty RPDI na stejném úseku 20000 voz/h, v pracovní dny 21500 voz/h.



Obrázek 2 – intenzity dopravy širším územím, CSD 2010 [17]

Silnice druhé třídy II/416 má svůj počátek v Pohořelicích (u rychlostní silnice R52 z Brna na Mikulov), vede přes Židlochovice, křižuje dálnici D2 u exitu 11 v Blučině, dále přes Újezd u Brna, Šaratice, Hrušky a Křenovice do Slavkova u Brna. Silnice projíždí několika obcemi, v budoucnu se předpokládá růst jejího významu. V současnosti jsou ve fázi územní studie výstavby obchvatů obcí na II/416 mezi Újezdem u Brna a Slavkovem [19], konkrétně Hostěrádky-Rešov, Šaratice, Hrušky a Křenovice. Součástí studie je i přeložka silnice II/416 a její napojení na I/50 v místě stykové křižovatky s ulicí Špitálskou III/0501 a vytvoření průsečné křižovatky a tím pádem odstranění současných dvou stykových křižovatek. V územním plánu města Slavkova [14] jsou vymezeny dva koridory územní rezervy pro napojení silnice II/416 na I/50, a to ve zmiňované průsečné křižovatce, nebo případně v jihozápadní části obchvatu. Realizaci však nelze předpokládat v nejbližších 10 letech, a tak je nezbytné brát v úvahu současný stav. Podle CSD 2010 byla intenzita dopravy na II/416 mezi Slavkovem a Křenovicemi 3105 voz/h (TNV 492 voz/h), špičková intenzita 285 voz/h (TNV 55 voz/h), padesátirázová intenzita 379 voz/h (TNV 60 voz/h) [17].

Silnice II/416 je označena jako důležité krajské spojení. Silnice může částečně plnit roli vzdálené jihovýchodní tangenty města Brna v úseku od dálnice D2 (exit 11) k silnici I/50 ve Slavkově. Zároveň silnice II/416 může sloužit jako alternativní spojení Brna se Slavkovem, zejména z jihovýchodních městských částí a v případě mimořádných událostí na dálnici D1 směr Vyškov (nehody, nebo pravidelné kongesce z důvodu rekonstrukčních prací).

Pro místní komunikaci III/0501 v ulici Špitálské ze silnice I/50 do centra Slavkova nejsou údaje o intenzitě k dispozici, tak je lze pouze odhadnout dle naměřených špičkových intenzit. Na ulici Špitálské převažuje provoz osobních a užitkových vozidel do 3,5 tuny. Z těžkých vozidel se jedná obvykle jen o případné zásobování ve městě a veřejnou autobusovou dopravu.

Provoz v řešeném území je, vzhledem k relativně malé vzdálenosti, výrazně ovlivněn denní dojížděnkou do Brna. Z toho plyne vyšší intenzita provozu ve směru do Brna v ranním a dopoledním období, naopak odpoledne a večer převažuje směr z Brna na východ.

Většina vozidel projíždí řešeným územím po hlavní silnici I/50 směrem od Bučovic na Brno a naopak, nejsilnější odbočení z hlavní silnice je vlevo na ulici Špitálskou ve směru do centra Slavkova, jak je patrné z hodnot intenzit CSD 2010 [17].

Vozidla z vedlejší ulice Špitálské, z centra Slavkova v naprosté většině odbočují vpravo ve směru na Brno, velká část z nich následně odbočuje vlevo po silnici II/416 směr Křenovice. Je to dané oboustrannými vazbami, kdy ze Slavkova je silná dojížděnka do Brna a z obcí okolo Křenovic existuje pravidelná dojížděnka právě do Slavkova, jelikož Slavkov u Brna je obcí s rozšířenou působností. Z ulice Špitálské odbočuje na hlavní silnici I/50 vlevo naprosté minimum vozidel, toto je dáno dvěma důvody:

- 1) Ze Slavkova je pro cestu na východ a jih výhodnější použít kratší a přímější napojení v jižní, nebo východní části obchvatu. Protisměrné odbočení vpravo z hlavní do Slavkova je rovněž naprosto minimální i přesto, že je bezkolizní.
- 2) Vzhledem k vysokým špičkovým intenzitám na hlavní silnici je často prakticky nemožné vlevo odbočit.

Vozidla z vedlejší silnice II/416 v naprosté většině odbočují vpravo na hlavní silnici I/50, velká část z nich následně odbočuje vlevo do centra Slavkova. Intenzity odbočení vlevo na hlavní z ulice Křenovické jsou velmi nízké, vzhledem k existující alternativě z Křenovic na sever přes obec Holubice na hlavní silnici I/50 a následně na dálnici D1. Zmíněné odbočení vlevo z ulice Křenovické často využívají i těžká nákladní vozidla. Odbočení vlevo z vedlejší je často velmi problematické vzhledem k vysokým intenzitám na hlavní silnici.

2.2.1. Veřejná hromadná doprava

Slavkovem u Brna prochází dvoukolejná neelektrifikovaná železniční trať číslo 340 z Brna do Kyjova a Veselí nad Moravou, vzhledem k nevýhodné pozici železniční

stanice v jižním okraji města hrají nejdůležitější roli ve veřejné dopravě právě autobusy. Slavkov u Brna je součástí rozsáhlého Integrovaného dopravního systému Jihomoravského kraje. Slavkov obsluhuje 5 autobusových linek IDS, z nichž 4 jsou vedeny řešeným územím dvou stykových křižovatek. Všechny linky jsou vedeny přes autobusové nádraží ve Slavkově, které se nachází 300 metrů jižně od Palackého náměstí, které je centrem města. Žádná z linek není tedy vedena po jižním obchvatu města.

Následující 3 linky přijíždějí po hlavní komunikaci ve směru od Brna (paprsek A) a na křižovatce s ulicí Špitálskou zahýbají vlevo do centra Slavkova (paprsek F). U těchto linek téměř nedochází ke zdržení při projetí řešených křižovatek.

Linka 106 – meziregionální linka z Brna do Kyjova přes Slavkov a Žarošice. V ranní špičce interval 30 minut směrem do Brna, odpoledne 30 minut směrem do Kyjova. Zbytek dne interval 60 minut. Nejrychlejší spojení Brna a Slavkova za 25 minut, z Holubic jede po dálnici D1.

Linka 601 – regionální linka spojující Brno se Slavkovem u Brna, v ranní a odpolední špičce v intervalu 30 minut, během dne po 60 minutách.

Linka 631 – regionální linka vedená z Vyškova přes Rousínov, Slavkov u Brna do Kobeřic. V ranní špičce je provozována v intervalu 30 minut, navíc jsou vloženy účelové spoje v čase zahájení školního vyučování. Během dne je interval 60 minut, v odpolední špičce jsou opět vloženy účelové spoje v úseku Slavkov – Rousínov.

Po vedlejší silnici II/416 ve směru od Křenovic (paprsek C) je vedena **linka 630**. Z vedlejší ulice Křenovice odbočuje vpravo na hlavní, kde dochází k občasnému zdržení a následně odbočuje vlevo do centra Slavkova stejně jako ostatní linky IDS. Linka 630 spojuje Lovčičky, Šaratice, Křenovice přes Slavkov do Hodějic, popř. Němčan. Je provozována převážně v intervalu 60 minut + vložené účelové spoje.

Linka 620 spojující Křenovice se Slavkovem je vedena jižní trasou přes Hrušky a Važany nad Litavou do Slavkova mimo řešené křižovatky [20].

Oblastí dále projíždí několik meziregionálních a dálkových autobusových linek mimo systém IDS, ve špičkách v průměru 2 spoje za hodinu v každém směru. Tyto spoje jsou vedeny do Uherského Hradiště a okolí, případně jako dálkové spoje na Slovensko. Většina z těchto spojů projíždí po hlavní silnici I/50 po obchvatu Slavkova, některé z nich zajíždí i do Slavkova na autobusové nádraží.

2.3. Stavební uspořádání

Tato kapitola vychází z bakalářské práce [1]. Řešenou oblastí jsou dvě stykové křižovatky s hlavní silnicí I/50, průsečky os obou křižovatkových větví jsou od sebe vzdáleny 137 metrů. Poloha stykových křižovatek je v nevýhodném uspořádání, tj. kdy se levé odbočovací pruhy z hlavní ovlivňují vzájemně svoji délkou. Tento případ nastává, když při jízdě po hlavní je nejdříve styková křižovatka s odbočením vpravo a následně vlevo.

Pro přehlednost jsem si označil jednotlivé paprsky obou křižovatek písmeny od A až F dle TP 188 [4].

Styková křižovatka I/50 – II/416 ulice Křenovická

A – hlavní komunikace I/50, ulice Čsl. Červeného kříže, směr Brno

B – hlavní komunikace I/50, směr Bučovice

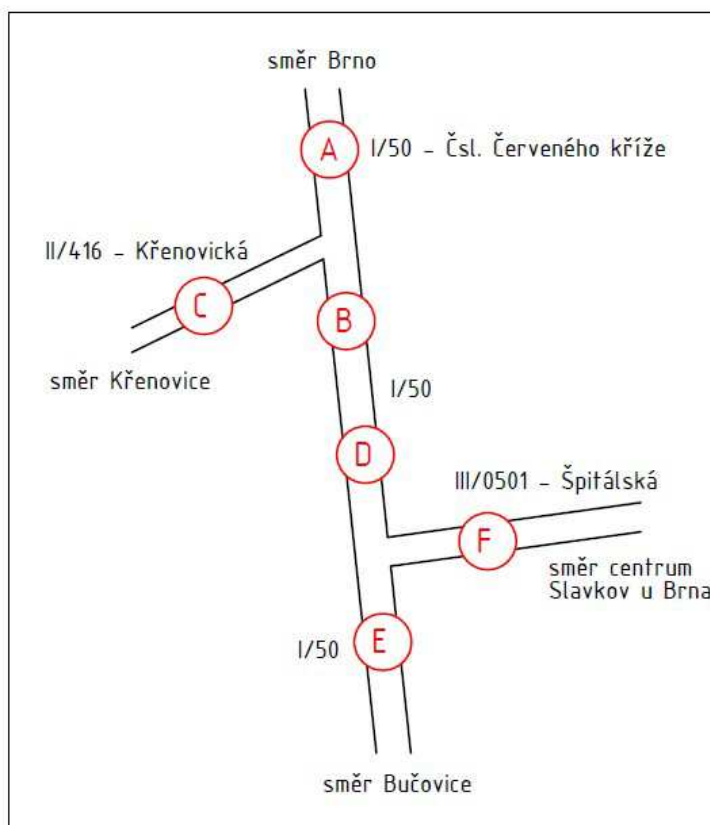
C – vedlejší komunikace II/416, ulice Křenovická, směr Křenovice

Styková křižovatka I/50 – III/0501 ulice Špitálská

D – hlavní komunikace I/50, směr Brno

E – hlavní komunikace I/50, směr Bučovice, Uherské Hradiště

F – vedlejší místní komunikace III/0501, ulice Špitálská, směr centrum Slavkova



Obrázek 3 – poloha křižovatky a označení ramen

Paprsek A – hlavní komunikace I/50 v ulici Československého Červeného kříže ve směru od Brna je postavena v kategorii S9,5/80 se šířkou jízdního pruhu 3,5 m podle ČSN 73 6101 [5]. Po obou stranách komunikace jsou zřízena ocelová svodidla. V místě křižovatky je v ose komunikace zřízen rozšiřující-se dopravní stín s dopravním ostrůvkem o šířce 2,0 m, přes který je veden jediný přechod pro chodce v řešených křižovatkách. Přilehlé komunikace pro pěší jsou vybaveny prvky pro osoby se sníženou schopností pohybu a orientace. Jízdní pruhy jsou v místě křižovatky zúženy na 3,0 m a úměrně je zúžena i zpevněná krajnice tak, že je zachována stejná šířka komunikace mezi svodidly i v místě dopravního ostrůvku.

Paprsek C – vedlejší komunikace II/416 v ulici Křenovické odpovídá kategorii S7,5/70 se šířkou jízdního pruhu 3,0 m [5]. Úhel křížení s hlavní komunikací je 75°, avšak ve vzdálenosti 20 m od středu křižovatky se silnice postupně rozšiřuje, čímž je zajištěno téměř kolmé napojení.

Úsek hlavní komunikace I/50 od křižovatky se silnicí II/416 přes křižovatku s ulicí Špitálskou a celý jižní obchvat Slavkova v délce 4,0 km je postaven v kategorii S11,5/80.

Paprsky B+D – úsek hlavní komunikace I/50 mezi oběma křižovatkami je v ose silnice rozšířen o odbočovací pruh o šířce 3,5 m. Protisměrné levé odbočovací pruhy na sebe navzájem navazují, není mezi nimi žádný dopravní stín. V paprsku B se nachází odbočovací pruh ve směru na Křenovice o délce 37 m, v opačném směru v paprsku C do centra Slavkova je dlouhý 59 m. Vzájemné rozšíření odbočovacích pruhů je dlouhé 18 m. Celková vzdálenost mezi stopčarami je 115 m. Po celé délce úseku mezi křižovatkami jsou po obou stranách instalována svodidla a na východní straně komunikace jsou protihlukové stěny ke snížení hlukové zátěže v blízké obytné zástavbě.

Paprsek E – hlavní komunikace ve směru na Bučovice a Uherské Hradiště pokračuje jižním obchvatem Slavkova, rovněž v kategorii S11,5/80 [16], silnice je před křižovatkou rozšířena o dopravní stín o šířce 3 m. Podél komunikace pokračují navazující svodidla. 15 m za křižovatkou ve směru na Bučovice začíná odbočovací pruh o délce 50 m vedoucí k čerpací stanici Shell. Ve směru od Bučovic do Brna je 120 m před křižovatkou s ulicí Špitálskou připojen výjezd z čerpací stanice Tenryu, připojovací pruh se v celé jeho délce 55 m rovnoměrně zužuje.

Paprsek F – vedlejší místní komunikace III/0501 z centra města Slavkova je široká 10 m, v ose se nachází dopravní stín o šířce 3 m. Komunikace je v křižovatce dostatečně

rozšířená tak, aby vedle sebe mohly stát dva automobily pro levé a pravé odbočení. Na severní straně silnice jsou instalována navazující svodidla a rovněž nižší protihluková stěna. Na jižní straně jsou svodidla ukončena 10 m před křižovatkou. 75 m před křižovatkou se silnicí I/50 se nachází průsečná křižovatka s ulicí Zámeckou, severní větev vede do obytné zóny, jižní větev do supermarketu, který se nachází pod náspem mezi paprsky D a F. Prostor křižovatky I/50 – III/0501 je na 2 až 3 m vysokém náspu.

2.4. Svislé a vodorovné dopravní značení

Tato kapitola vychází ze zpracované bakalářské práce [3]. Svislé dopravní značení se dělí do 8 kategorií dle významu, jednotlivé značky se označují vždy písmenem dle kategorie, číslem a případným doplňujícím malým písmenem.

- A – výstražné značky, B – zákazové značky, C – příkazové značky,
- P – značky upravující přednost, IP – informativní značky provozní,
- IS – informativní značky směrové, IJ – informativní značky jiné,
- E – dodatkové tabulky, Z – vybraná dopravní zařízení.

Na všech paprscích jsou před křižovatkami vždy umístěny informační směrové tabule typu IS3a, IS3b, IS3c, IS3d, IS24a, nebo IS9. Na hlavní komunikaci je vždy před křižovatkou značka P2 „hlavní pozemní komunikace“, na vedlejších P4 „dej přednost v jízdě“. Další svislé značky podle jednotlivých paprsků:

Paprsek A – ve vzdálenosti 330 m od křižovatky jsou značky IS12a „Obec“ (snížení nejvyšší povolené rychlosti z 60 km/h na 50 km/h a v protisměru IS12b „Konec obce“. Před přechodem pro chodce jsou v obou směrech značky A11 „Pozor přechod pro chodce“ a IP6 „Přechod pro chodce“, na dělicím ostrůvku značky C4a „Příkázaný směr objíždění vpravo“. Ve směru na Brno jsou také značky B20a „Nejvyšší povolená rychlost“ 70 km/h a B21a „Zákaz předjíždění“. Dále IP18a „Zvýšení počtu jízdních pruhů“ (následuje 1000 m dlouhý stoupací pruh).

Paprsek C – na vedlejší komunikaci II/416, 90 m od křižovatky jsou umístěné značky IS12a „Obec“ a IS12b „Konec obce“.

Paprsek B, D – mezi křižovatkami na hlavní komunikaci v obou směrech jsou značky IP19 „Řadící pruhy“, ve směru na Brno B20a „Nejvyšší povolená rychlost“ 50 km/h (v návrhu se počítá s předsunutím omezení před křižovatkou s ulicí Špitálskou).

Paprsek E – ve směru na Bučovice hned za křižovatkou následuje značkou B20a zvýšení nejvyšší povolené rychlosti na 70 km/h, v obou směrech lokální značení

v areálu čerpacích stanic a B24b „Zákaz odbočování vlevo“ na čerpací stanici v protisměru. 400 m od křižovatky jsou značky IS12a „Obec“ a B20a „Nejvyšší povolená rychlost“ 70 km/h, v protisměru ve stejném místě IS12b „Konec obce“.

Paprsek F – na vedlejší komunikaci III/0501 je hned za křižovatkou ve směru do města značka IP25a „Zóna s dopravním omezením“, nočním zákazem stání pro vozidla těžší než 10 tun, v opačném směru je IP25b „Konec zóny s dopravním omezením“. Před průsečnou křižovatkou s ulicí Zámeckou (75 m od hlavní stykové křižovatky) jsou umístěné značky P2 „Hlavní pozemní komunikace“ [21].

2.5. Problémy v řešeném území

V řešeném území dvou stykových křižovatek dochází k vyššímu zdržení a tvorbě kongescí převážně na křižovatce silnic I/50 – II/416 ulice Křenovická i přesto, že jsou intenzity na vedlejší II/416 nižší než na III/0501 ulici Špitálské na sousední stykové křižovatce. Důvodem je stísněnější prostorové uspořádání, ostřejší úhel křížení, vyšší podíl nákladních vozidel na vedlejší a vyšší intenzity na hlavní silnici. K nejdelším kongescím a nejvyššímu zdržení dochází v odpoledních špičkách, zejména v pátek. Extrémní jsou pak dny před státními svátky, které tvoří prodloužené víkendy.

Velmi problematické je odbočení z vedlejší ulice Křenovické vpravo i vlevo, vzhledem k úzkému vjezdu často vozidlo odbočující vlevo blokuje vozidla odbočující vpravo. Vedle sebe se zde vejdou pouze dvě osobní vozidla (délka rozšíření cca 6 metrů). Na hlavní silnici ve směru od Brna (paprsek A) je velmi silný dopravní proud, často téměř saturovaný, v kombinaci s dopravním proudem po hlavní silnici v opačném směru (paprsek B) je prakticky nemožné odbočit vlevo z vedlejší. Často se tak stává, že řidiči na hlavní ve směru od Brna, navzdory značce P4 hlavní silnice, zastaví před křižovatkou a pouštějí vozidla z vedlejší. Následná frekvence odbočujících vozidel z vedlejší je nižší, než kdyby měli řidiči zaručeno světelnou signalizací, že mají opravdu volno. Toto solidární chování řidičů často způsobuje, že se paradoxně na hlavní silnici vytvoří kongesce v délce několika set metrů. Osobně jsem zažil právě v pátek před prodlouženým víkendem kongesci délky až 2 km, která se za řešenými křižovatkami ihned rozplynula. Díky tomuto jevu je průměrná doba zdržení podřizovaných dopravních proudů nižší, než v případě respektování předností v jízdě na řešené křižovatce. V případě, že řidiči na hlavní silnici od Brna dodržují dopravní značení, vznikají nárazově fronty na vedlejší II/416 (paprsek C) až do délky 200 metrů a dochází ke

zdržení v řádu několika minut. V odpoledních špičkách není problematické silné levé odbočení z hlavní silnice (paprsek D) na ulici Špitálskou do centra Slavkova (paprsek F) a rovněž v opačném směru pravé odbočení od Slavkova a to důvodu nižší intenzity ve směru od Bučovic do Brna (paprsek E), je to méně zatížený dopravní proud, denní dojíždka převažuje v opačném směru.

V ranních špičkách dochází v řešených křižovatkách k menším zdržením. Nejzatíženějším dopravním proudem je na hlavní silnici od Bučovic ve směru na Brno z paprsků E a B rovně. Odbočení z vedlejší II/416 vpravo na hlavní (paprsek C) není problematické. Nárazové fronty zde vznikají v případě, že dopravní proud blokuje vozidla odbočující vlevo, které je velmi problematické vzhledem k občasnému téměř saturovanému proudu na hlavní ve směru do Brna.

Na křižovatce I/50 – III/0501 ulice Špitálská se tvoří občasně fronty na vedlejší (paprsek F) na pravé odbočení ve směru do Brna, zdržení je dáno pouze silným dopravním proudem na hlavní. Pro odbočení vlevo je před křižovatkou dostatečný rozšířený prostor, a tak vozidla odbočující vlevo nijak neomezují a neblokuje vozidla jedoucí vpravo. Odbočení vlevo je zde velmi problematické až téměř nemožné, tento křižovatkový proud je výrazně minoritní. Vozidla na hlavní silnici ve směru do Brna jen v ojedinělých případech dávají solidárně přednost vozidlům z vedlejší a tak je proud na hlavní komunikaci až na výjimky plynulý.

2.6. Dopravní průzkum

Pro přesnou analýzu současného stavu a kapacitní výpočet řešených křižovatek bylo potřeba zpracovat směrový dopravní průzkum na obou křižovatkách. Pro směrový průzkum na křižovatkách, tj. kdy zjišťujeme intenzitu v každém křižovatkovém směru současně, je technicky nejjednodušší a nejvhodnější použít kombinovanou metodu s využitím videokamer a následným ručním zpracováním. Použití dopravních detektorů, které jsou k dispozici na Fakultě dopravní, např. magnetického detektoru Vaisala NC-200 nebo statistického radaru, není vhodné, jelikož jsou určeny spíše pro měření intenzity v mezikřižovatkovém úseku vždy v jednom jízdním pruhu a jednom směru.

Kombinovaná metoda s využitím videokamery

Tato metoda byla z důvodu velmi vysokých intenzit personálně a finančně nejméně náročná, zároveň i velmi přesná s možností opravy chyb při následném zpracování. Na dopravní průzkum byly potřeba pouze 2 osoby, aby každý obsluhoval a hlídal jednu

kameru, pozoroval vývoj dopravy a zaznamenával délku kongescí na jednotlivých paprscích křižovatky. Pro směrový dopravní průzkum v řešeném území jsem použil 2 HD videokamery značky Sony, které jsou majetkem Ústavu Dopravní telematiky K620, Fakulty dopravní. Pro směrový křižovatkový průzkum je nevhodnější natáčet z blízkého domu, konstrukce, nebo z blízkého vyvýšeného místa. Jelikož v ani v jednom z případů není možnost využít žádné vyvýšené místo, využil jsem pouze dvou stativů o výšce 180 cm. Videokamery jsem umístil vždy vpravo od hlavní komunikace směrem k oběma křižovatkám, tak aby bylo možné zaznamenat všechny křižovatkové proudy a rovněž zaznamenat vozidla, která z vedlejší odbočují vpravo a následně se na hlavní silnici řadí do levého pruhu pro odbočení vlevo v sousední stykové křižovatce, tj. z paprsku C do paprsku F a naopak. U křižovatky s ulicí Špitálskou stál stativ v těsné blízkosti svodidel na náspu v niveletě pozemní komunikace, asi 2 metry od vodícího proužku. U křižovatky s ulicí Křenovickou jsem kameru na stativu umístil před přechodem pro chodce rovněž asi 2 metry od vodícího proužku.



Obrázek 4 – měření intenzit na křižovatce I/50 – II/416 Křenovická

Dopravní průzkum je vhodné provést ve špičkových hodinách, ráno i odpoledne v běžný pracovní den, tj. den, který není ovlivněn okrajovou týdenní dojížděnkou. Mezi tyto dny můžeme zařadit úterý, středu a čtvrtek, případně pondělní odpolední špička a páteční ranní špička. Pro zjištění maximální intenzity, kdy dochází k největším zdržením a kongescím je rovněž vhodné provést průzkum v pondělní ranní špičce a v páteční odpolední špičce, tj. doby, kdy je nejsilnější i týdenní dojížděnkou, případně cestování za účelem rekreace (pátek odpoledne).

V rámci zpracování bakalářské práce v roce 2013 jsem provedl 3 dopravní průzkumy, dva středeční a jeden v páteční odpolední špičce, konkrétně v tyto dny:

- Středa 24. 4. 2013 v čase 7:00 – 8:00, počasí: jasno, 13 °C
- Středa 24. 4. 2013 v čase 16:00 – 17:00, počasí: jasno, 22 °C
- Pátek 26. 4. 2013 v čase 15:45 – 17:45, počasí: jasno, 25 °C

Pro ověření a upřesnění naměřených intenzit bylo potřeba provést nové dopravní průzkumy. Zvolil jsem opět stejnou metodu s videokamerami a následným ručním zpracováním. Provedl jsem celkem 4 průzkumy, opět dva středeční, jeden v páteční odpolední špičce a jeden v pondělní ranní špičce, konkrétně v tyto dny:

- Středa 14. 5. 2014 v čase 6:32 – 7:52, počasí: oblačno, 10 °C
- Středa 14. 5. 2014 v čase 15:43 – 16:53, počasí: oblačno, 15 °C
- Pondělí 19. 5. 2014 v čase 6:35 – 8:05, počasí: polojasno, 10 °C
- Pátek 24. 4. 2015 v čase 15:40 – 17:10, počasí: polojasno, 20 °C

1) Datum: Středa 14. 5. 2014, čas 6:32 – 7:52, počasí: oblačno, 10 °C

Během měřené ranní špičky byl dopravní proud na hlavní komunikaci ve směru od Bučovic do Brna až na výjimky plynulý. Na paprsku F ve směru od Slavkova se občas tvořily fronty vozidel na pravé odbočení směr Brno s délkou do 60 metrů. Intenzita vozidel na hlavní silnici od Bučovic byla značně proměnlivá v čase, zejména kvůli přítomným těžkým nákladním vozidlům, za kterými obvykle následuje více osobních automobilů s minimální časovou mezerou. Také proto se na vedlejší komunikaci tvoří fronty jen občasně. Na vedlejší komunikaci II/416 ve směru od Křenovic (paprsek B) se rovněž tvořily občasné fronty do délky 100 metrů. Intenzita provozu na hlavní ve směru od Brna byl o poznání slabší a tedy provoz plynulý.

2) Datum: Středa 14. 5. 2014, čas: 15:43 – 16:43, počasí: oblačno, 15 °C

Intenzita dopravy na nejzatíženějším směru, tedy na hlavní silnici ve směru od Brna, byla velmi vysoká. Na paprsku C na vedlejší silnici II/416 ve směru od Křenovic se často tvořily fronty do délky maximálně 100 metrů. Tyto fronty se však často rozplynuly díky výkyvům intenzity dopravy a také solidárnímu chování řidičů na hlavní a dávání přednosti vozidlům z podřazených křižovatkových proudů, následně se dopravní proud na hlavní silnici ve směru od Brna (paprsek A) zpomaloval a tvořily se občasné kongesce.

3) Datum: Pondělí 19. 5. 2014, čas: 6:35 – 8:05, počasí: polojasno, 10 °C

V pondělí ranní špičce byla očekávána vyšší intenzita vozidel zejména na hlavní silnici I/50 ve směru od Bučovic do Brna, než ve střeďeční ranní špičce, jelikož je ovlivněna týdenní dojížděnkou za prací, případně studiem. Oproti střeďeční ranní špičce se tvořily delší fronty na paprsku F ve směru ze Slavkova pro odbočení vpravo s maximálním zdržením až 3 minuty. Odbočení vlevo z paprsku F bylo prakticky nemožné a několik řidičů se po několikaminutovém čekání rozhodlo otočit automobil zpět do Slavkova a zvolit alternativní trasu. Dopravní proud na hlavní od Bučovic se několikrát výrazně zpomalil, až zastavil z důvodu solidárního chování řidičů. Tento jev na křižovatce s ulicí Špitálskou nastal při pozorování jen při pondělní ranní špičce. Fronta na paprsku C, v ulici Křenovické dosáhla délky až 100 metrů.

4) Datum: Pátek 24. 4. 2015, čas: 15:40 – 17:10, počasí: polojasno, 20 °C

V době dopravního průzkumu probíhala dlouhodobě rekonstrukce dálnice D1 v úseku mezi km 204 a km 211. Provoz na dálnici byl však zachován ve dvou pruzích v každém směru. Konkrétně ve směru od Brna na východ byl pravý pruh veden v pravém jízdním pásu a levý pruh sveden do protisměrného jízdního pásu. Byl tak předpoklad, že provoz přes řešené křižovatky nebude nijak ovlivněn.

Na hlavní silnici I/50 od Brna byla podle očekávání vysoká intenzita provozu, ale podobná běžné střeďeční odpolední špičce. Naopak na vedlejší silnici II/416 ve směru od Křenovic byla intenzita vyšší než obvykle. Problémy z toho plynuly stejné jako při páteční odpolední špičce pozorované v dubnu roku 2013. Díky popisovaným jevům se často tvořily kongesce na hlavní silnici, paprsku A, občas až do délky cca 300 m. Dvakrát také došlo k nebezpečné situaci, kdy řidič jedoucí na hlavní od Brna za vozidlem, které náhle zastavilo a pouštělo vozidla z vedlejší, jen těsně stihl zastavit, aby se vyhnul kolizi. Na vedlejší silnici od Křenovic (paprsek B) dosáhla jednou délka fronty až 300 m, běžně se pohybovala maximálně do délky 100 m. Levé odbočení z vedlejších opět prakticky nemožné, po dlouhém čekání řidiči volili jiný směr, nebo otočení, které je však z prostorových důvodů možné jen na křižovatce s ulicí Špitálskou. Občas nastala situace, kdy fronta vozidel odbočujících vlevo z hlavní (paprsek B i D) přesáhla délku odbočovacího pruhu o 2 osobní vozidla. V těchto místech je dostatečně široká zpevněná krajnice a vozidla zasahující do průběžného jízdního pruhu se dají objet.



Obrázek 5 – křižovatka I/50 – Špitálská, pohled z paprsku E

2.7. Zpracování dat

Celková délka 4 dopravních průzkumů provedených v letech 2014 a 2015 popsaných o kapitole výše byla 5 hodin a 30 minut. Bylo tedy potřeba zpracovat celkem 11 hodin videa (každá křižovatka zvlášť). Video jsem zpracovával spolehlivou ruční čárkovací metodou na papír vždy v intervalech po 5 minutách z důvodu přesnějšího zaznamenání změny intenzit v čase pro mikrosimulační model. Kvůli vysokým intenzitám jsem rozdělil křižovatkové proudy na 2 skupiny a každou z nich zpracovával zvlášť na připravený formulář. U vozidel odbočujících z vedlejší silnice vpravo jsem zaznamenal, pokud na následující křižovatce odbočovaly vlevo. Rovněž jsem rozdělil kategorie vozidel, tak jak je uvedeno v TP 188 [4].

Tabulka 2 – kategorie vozidel

Číslo	Druh vozidel
1	Osobní vozidla (včetně nákladních vozidel do 3,5t celkové hmotnosti)
2	Nákladní vozidla (nad 3,5 t celkové hmotnosti mimo nákladních souprav), klasické autobusy
3	Nákladní soupravy, kloubové autobusy
4	Motocykly
5/*2b	Jízdní kola / *klasické autobusy

U kategorie číslo 2 jsem zaznamenával zvlášť klasické autobusy, kloubové přes řešené křižovatky pravidelně neprojíždějí. Vzhledem k velmi nízkému počtu cyklistů, během sledované hodiny vždy méně než 5 cyklistů v celé řešené oblasti, jsem tuto kategorii dále nebral v úvahu a vytvořil místo ní podkategorii pro klasické autobusy označenou

2b, která je použita i ve všech tabulkách. Jelikož každý průzkum probíhal více než hodinu (70 až 90 minut), vybral jsem vždy nejvyšší hodinovou intenzitu pro další zpracování.

Intenzity jednotlivých křižovatkových proudů a součty všech vozidel projíždějících křižovatkou ze všech 4 měření jsou zpracovány do tabulek. Dvě ukázkové tabulky jsou v následující kapitole 2.8. *Naměřené hodnoty*. Zbývající tabulky s detailními intenzitami jsou k dispozici v příloze 1. Jednotlivé paprsky křižovatek jsou označeny písmeny od A do F, viz. kapitola 2.3 *Stavební uspořádání*.

Jednotlivé křižovatkové pohyby jsou označeny číslicemi, které se používají v kapacitních výpočtech podle TP188 [4].

Hlavní komunikace – (2) rovně, (3) vpravo

Vedlejší komunikace – (4) vlevo, (6) vpravo

Hlavní komunikace – (7) vlevo, (8) rovně

V posledním řádku tabulky je intenzita vozidel části křižovatkového proudu pravého odbočení z vedlejší, které na následující křižovatce odbočují vlevo na vedlejší (z centra Slavkova na Křenovice a naopak).

2.8. Naměřené intenzity

Zátěžové diagramy intenzit pro všechny dopravní průzkumy jsou součástí přílohy 2. Intenzita chodců na jediném přechodu pro chodce na paprsku A byla během všech měření minimální. Pohybovala se v rozmezí celkem 5 až 15 chodců za hodinu.

Pro následné zpracování využiji i zjištěné intenzity z bakalářské práce, naměřené během páteční odpolední špičky v roce 2013, z důvodu větších rozdílů intenzit na hlavní a vedlejší pro následné ověření funkčnosti navrženého řízení. V bakalářské práci jsem nerozlišoval vozidla kategorie 2, klasické autobusy jsou zařazeny k nákladním vozidlům, intenzita vozidel kategorie 5 je tedy nulová.

Tabulka 3 – naměřené intenzity dopravy na křižovatce

Intenzita dopravy v pondělí 19.5.2014 – ranní špička 6:32-7:32							
Křižovatka I/50 – II/416 Křenovická							
Paprsek	Křiž. směr	1) [voz/h]	2) [voz/h]	3) [voz/h]	4) [voz/h]	2b) [voz/h]	Celkem [voz/h]
A	rovně (2)	387	37	38	0	7	469
	vpravo (3)	26	2	1	0	0	29
C	vlevo (4)	12	2	3	0	0	17
	vpravo (6)	94	6	2	1	1	104
B	vlevo (7)	139	11	5	3	2	160
	rovně (8)	1051	34	52	3	13	1153
Celkem	Všechny	1709	92	101	7	23	1932
C→F	6 → 7	52	2	0	0	1	55

Tabulka 4 – naměřené intenzity dopravy na křižovatce

Intenzita dopravy v pondělí 19.5.2014 – ranní špička 6:32-7:32							
Křižovatka I/50 – III/0501 Špitálská							
Paprsek	Křiž. směr	1) [voz/h]	2) [voz/h]	3) [voz/h]	4) [voz/h]	2b) [voz/h]	Celkem [voz/h]
E	rovně (2)	941	35	60	5	8	1049
	vpravo (3)	22	0	0	0	0	22
F	vlevo (4)	6	0	0	0	0	6
	vpravo (6)	255	12	0	0	7	274
D	vlevo (7)	184	6	0	0	8	198
	rovně (8)	296	41	40	1	0	378
Celkem	Všechny	1704	109	100	6	8	1927
F→C	6 → 7	65	6	0	0	2	73

2.9. Srovnání naměřených intenzit

Následující dvě tabulky znázorňují souhrn naměřených hodinových intenzit dopravy na obou řešených křižovatkách pro všechny křižovatkové proudy. Znázorňují rovněž srovnání intenzit měřených v rámci zpracování bakalářské práce v roce 2013 a intenzit měřených pro diplomovou práci v roce 2014, popř. páteční odpolední špičku v roce 2015. Pondělní ranní špička byla měřena pouze v roce 2014 a tak není možné srovnání.

Z tabulek je zřejmé, že největší rozdíly v intenzitách jsou naměřené během pátečních odpoledních špiček. Přímý směr na paprsku A byl 891 voz/h, resp. 1142 voz/h v roce 2013. Oproti tomu směr vpravo na paprsku C byl 304 voz/h, resp. 196 voz/h v roce 2013. Je to způsobeno nejspíše výše zmíněnou rekonstrukcí dálnice D1, lze se domnívat, že o cca 100 řidičů osobních vozidel více za hodinu zvolilo cestu z Brna přes Křenovice, a to i přesto, že propustnost dálnice nebyla výrazně snížena.

Tabulka 5 – naměřené intenzity dopravy na křižovatce

Srovnání intenzit dopravy – křižovatka I/50 – II/416 Křenovická								
Den průzkumu		Pondělí RŠ	Středa RŠ		Středa OŠ		Pátek OŠ	
Rok průzkumu		*2014	2013	2014	2013	2014	2013	2015
Paprsek	směr	[voz/h]	[voz/h]	[voz/h]	[voz/h]	[voz/h]	[voz/h]	[voz/h]
A	rovně (2)	469	572	471	901	946	1142	891
	vpravo (3)	29	36	26	33	30	32	35
C	vlevo (4)	17	22	16	28	17	17	36
	vpravo (6)	104	130	112	191	184	196	304
B	vlevo (7)	160	126	132	175	161	178	185
	rovně (8)	1153	970	1005	611	621	589	661
Celkem [voz/h]		1932	1856	1762	1939	1959	2154	2112

Tabulka 6 – naměřené intenzity dopravy na křižovatce

Srovnání intenzit dopravy – Křižovatka I/50 – III/0501 Špitálská								
Den průzkumu		Pondělí RŠ	Středa RŠ		Středa OŠ		Pátek OŠ	
Rok průzkumu		*2014	2013	2014	2013	2014	2013	2015
Paprsek	směr	[voz/h]	[voz/h]	[voz/h]	[voz/h]	[voz/h]	[voz/h]	[voz/h]
E	rovně (2)	1049	806	857	494	471	492	588
	vpravo (3)	22	36	20	32	26	31	28
F	vlevo (4)	6	5	12	19	18	21	14
	vpravo (6)	274	290	279	292	300	275	253
D	vlevo (7)	198	262	201	396	394	387	376
	rovně (8)	378	440	377	696	742	951	828
Celkem [voz/h]		1927	1839	1746	1929	1951	2157	2087

Středeční odpolední špičky byly v obou měřených obdobích víceméně stejné, největším rozdílem byla intenzita na hlavní od Brna směrem na Bučovice, a to o 50 voz/h vyšší v roce 2014 (paprsek A – přímo, paprsek D – přímo).

U středečních ranních špiček byl největší rozdíl v intenzitě vozidel na paprsku A od Brna, tedy v méně zatíženém směru, kdy v roce 2013 byla v přímém směru 572 voz/h, v roce 2014 jen 471 voz/h. Následný rozdíl na paprsku D byl 60 voz/h v přímém směru na Bučovice i vlevo do Slavkova.

Intenzity změřené během pondělní ranní špičky v roce 2014 byly ve většině křižovatkových proudů téměř totožné se střeďeční RŠ téhož roku. Hlavním rozdílem byly intenzity na hlavní na paprsku E od Bučovic v přímém směru, v pondělí 1049 voz/h, ve středu 857 voz/h, analogicky k tomu i přímý směr na paprsku B – 1153 voz/h, resp. 1005 voz/h. Rovněž levé odbočení z hlavní na paprsku B směrem na Křenovice bylo vyšší o 30 voz/h.

Celkový počet vozidel, která projedou každou z řešených křižovatek, je jednoznačně nejvyšší během pátečních odpoledních špiček, dosahuje hodnoty až 2154 voz/h v roce 2013, resp. 2112 voz/h v roce 2015. Ve srovnání s pondělní ranní špičkou byla intenzita v zatíženém směru (odpoledne z Brna, ráno do Brna) podobná, avšak v nezatíženém směru byla intenzita v odpoledních špičkách přibližně o 200 voz/h vyšší.

2.10. Kapacitní posouzení neřízené křižovaty

Kapacita neřízené křižovaty se posuzuje podle TP 188 [4]. Maximální kapacita neřízené křižovaty se udává 1500 – 1800 voz/h, u vysoké intenzity na hlavní a malé intenzity na vedlejší může kapacita dosáhnout až 2000 voz/h. Vždy je však křižovatku nutné individuálně posoudit podle intenzit na jednotlivých vjezdech a křižovatkových proudů, skladbě dopravního proudu, nebo intenzitě chodců.

2.10.1. Postup posouzení kapacity stávající křižovaty

K posouzení kapacity existující neřízené křižovaty podle TP 188 [4] potřebujeme následující informace a hodnoty:

- Intenzity dopravy zjištěné aktuálním dopravním průzkumem.
- Geometrické uspořádání křižovaty – počty jízdních pruhů, délky odbočovacích pruhů, délka rozšíření společného vjezdu z vedlejší komunikace.
- Rychlost vozidel na hlavní komunikaci, možno použít nejvyšší dovolenou rychlost.
- Úprava přednosti v jízdě na vedlejší komunikaci – P4 nebo P6.

Pro kapacitní výpočet se definují rovněž nadřazené a podřazené dopravní proudy, pro průsečnou křižovatku jsou dopravní proudy ve čtyřech úrovních, u stykové křižovaty pouze ve třech úrovních definovaných v následující tabulce.

Tabulka 7 – stupeň podřazenosti dopravních proudů

Stupeň	charakteristika	dopravní proudy
1. úroveň	nadřazenost	2, 3, 8
2. úroveň	jednoduchá podřazenost proudu 1. stupně	6, 7
3. úroveň	dvojnásobná podřazenost proudům 1. a 2. stupně	4

U podřazených dopravních proudů se násobí intenzita dopravy dle koeficientů pro neřízenou křižovátku:

Tabulka 8 – koeficient zohlednění skladby vozidel neřízené křižovátky

Číslo	Druh vozidel	Koeficient
1	Osobní vozidla (včetně nákladních vozidel do 3,5t celkové hmotnosti)	1,0
2	Nákladní vozidla (nad 3,5 t celkové hmotnosti mimo nákladních souprav), klasické autobusy	1,5
3	Nákladní soupravy, kloubové autobusy	2,0
4	Motocykly	0,8
5	Jízdní kola	0,5

Metoda předpokládá rozdělení délek časových odstupů v dopravním proudu podle logaritmicko-normálního rozdělení. Výpočet kapacity neřízené křižovátky je založen na pravděpodobnosti výskytu časové mezery mezi vozidly v nadřazených dopravních proudech. Samotný výpočet kapacity se skládá z následujících úrovní:

- Stanovení maximální kapacity vedlejších dopravních proudů G_n vyjadřující maximální možnou propustnost podřazeného proudu.
- Na základě pravděpodobnosti nevzdutí nadřazených proudů p_0 dle stupně vytížení, se vypočítá skutečná kapacita dopravního proudu C_n . Pro jízdní pruh společný po dva křižovátkové proudy (4 a 6) se vypočte kapacita zvlášť pro každý proud a také společná kapacita včetně případného rozšíření na vjezdu.
- Rozdílem kapacity a intenzity dostaneme rezervu kapacity Rez příslušného podřazeného dopravního proudu.
- Závěrem se vypočte střední doba zdržení t_w , která je určujícím faktorem úrovně kvality dopravy ÚKD a také 95% délka fronty $N_{95\%}$ (95 % doby je délka fronty kratší nebo rovna).

Tabulka 9 – stupně ÚKD pro neřízenou křižovatku

Úroveň kvality dopravy		Střední doba zdržení t_w [s]
Označení	Charakteristika doby zdržení	
A	Doba zdržení velmi malá	≤ 10
B	Zdržení ještě bez front	≤ 20
C	Ojedinělé krátké fronty	≤ 30
D	Stabilní stav s vysokými ztrátami	≤ 45
E	Nestabilní stav	> 45
F	Překročená kapacita	*
* ÚKD na stupni F je dosaženo při záporné rezervě kapacity		

Křižovatka kapacitně vyhoví, pokud střední doba zdržení nepřevyšuje maximální hodnotu požadovaného stupně kvality dopravy. Podle ČSN 73 6102 [6] se pro křižovatky požadují tyto stupně kvality dopravy:

ÚKD C – dálnice, rychlostní silnice a silnice I. třídy,

ÚKD D – silnice II. třídy, rychlostní místní komunikace a přechodové úseky,

ÚKD E – silnice III. třídy, místní komunikace a veřejně přístupné účelové komunikace

V následující kapitole prezentuji výsledky kapacitního posouzení ve zjednodušené formě pro všechny provedené dopravní průzkumy. Vzorový protokol kapacitního posouzení podle TP 188 naleznete v příloze 3. Výpočty kapacitního posouzení pomocí MS Excel naleznete v elektronické příloze A.

2.10.2. Výsledky

Tabulka 10 – kapacitní posouzení neřízené křižovatky

PONDĚLÍ 19.5.2014, 6:35-7:35					
Křižovatka	Dopravní proud	Rezerva kapacity Rez [pvoz/h]	Délka fronty $N_{95\%}$ [m]	Střední doba zdržení t_w [s]	Úroveň kvality dopravy ÚKD [-]
I/50 X II/416	7	724,5	4,2	5,0	A
	6	651,7	3,0	5,5	A
	4	64,9	5,7	54,9	E
	4+6	328,9	7,1	10,9	B
I/50 X III/0501	7	337,4	10,8	10,6	B
	6	175,3	27,7	20,2	C
	4	75,0	1,4	47,9	E
	4+6	178,4	27,8	19,8	B

Tabulka 11 – kapacitní posouzení neřízené křižovatky

STŘEDA 14.5.2014, 6:32-7:32					
Křižovatka	Dopravní proud	Rezerva kapacity Rez [pvoz/h]	Délka fronty N _{95%} [m]	Střední doba zdržení t _w [s]	Úroveň kvality dopravy ÚKD [-]
I/50 X II/416	7	755,3	3,4	4,8	A
	6	639,4	3,4	5,6	A
	4	91,7	3,9	39,1	D
	4+6	447,7	5,6	8,0	A
I/50 X III/0501	7	434,8	8,6	8,3	A
	6	257,8	19,5	13,8	B
	4	99,0	2,3	36,3	D
	4+6	265,8	19,8	13,4	B

Tabulka 12 – kapacitní posouzení neřízené křižovatky

STŘEDA 14.5.2014, 15:43-16:43					
Křižovatka	Dopravní proud	Rezerva kapacity Rez [pvoz/h]	Délka fronty N _{95%} [m]	Střední doba zdržení t _w [s]	Úroveň kvality dopravy ÚKD [-]
I/50 X II/416	7	425,4	6,9	8,4	A
	6	307,9	11,1	11,6	B
	4	62,1	5,6	57,4	E
	4+6	254,3	14,8	14,1	B
I/50 X III/0501	7	495,3	14,4	7,2	A
	6	452,4	12,1	7,9	A
	4	54,3	6,1	65,5	E
	4+6	403,7	14,4	8,9	A

Tabulka 13 – kapacitní posouzení neřízené křižovatky

PÁTEK 24.4.2015, 15:45-16:45					
Křižovatka	Dopravní proud	Rezerva kapacity Rez [pvoz/h]	Délka fronty N _{95%} [m]	Střední doba zdržení t _w [s]	Úroveň kvality dopravy ÚKD [-]
I/50 X II/416	7	426,8	7,9	8,4	A
	6	216,4	24,7	16,4	B
	4	38,5	16,0	89,1	E
	4+6	101,7	52,4	33,3	D
I/50 X III/0501	7	429,4	15,7	8,4	A
	6	431,4	10,6	8,3	A
	4	40,7	6,3	86,9	E
	4+6	366,7	13,1	9,8	A

Tabulka 14 – kapacitní posouzení neřízené křižovatky

PÁTEK 26.4.2013, 15:45-16:45					
Křižovatka	Dopravní proud	Rezerva kapacity Rez [pvoz/h]	Délka fronty N _{95%} [m]	Střední doba zdržení t _w [s]	Úroveň kvality dopravy ÚKD [-]
I/50 X II/416	7	312,7	10,4	11,5	B
	6	219,6	16,2	16,3	B
	4	39,9	7,2	88,5	E
	4+6	168,8	22,4	21,0	C
I/50 X III/0501	7	483,4	14,5	7,4	A
	6	464,6	10,8	7,7	A
	4	33,7	10,2	103,3	E
	4+6	309,6	17,2	11,6	B

V obou případech řešených křižovatek je nutné na vedlejší komunikaci brát v úvahu výsledek pro společné řazení dopravních proudů 4 a 6, jelikož mají společný jízdní pruh s rozšířením na vjezdu. Vyšší hodnotu, tedy levé odbočení (proud 6) bereme v úvahu samostatně.

Požadavky na ÚKD na jednotlivých paprscích křižovatek

Hlavní silnice I/50 (paprsky A, B, D, E) – ÚKD C $t_w \leq 30 \text{ s}$

Vedlejší silnice II/416 (paprsek C) – ÚKD D, $t_w \leq 45 \text{ s}$

Vedlejší silnice III/0501 (paprsek F) – ÚKD E, $t_w > 45 \text{ s}$

Podle požadovaných stupňů ÚKD na daných kategoriích silnice vyšel jako kapacitně nevyhovující pouze vjezd na paprsku C, tedy na křižovatce I/50 – II/416. Jako nevyhovující vyšlo levé odbočení z vedlejší (proud 4), kde vyšel stupeň ÚKD E ve třech nově posuzovaných případech. Ve střeďeční ranní špičce pouze vyhovující stupeň D.

Křižovatka I/50 – III/0501 Špitálská vyšla ve všech případech jako kapacitně vyhovující, na vedlejší silnici je požadován stupeň ÚKD E. Jelikož nebyla překročena kapacita, stupeň F nemůže být dosažen. Ve srovnání pátečních špiček vyšlo levé odbočení na paprsku C od Křenovic totožně se zdržením 89 s, ale pro společné řazení proudů 4 + 6 byl v roce 2015 stupeň D, což je hraniční stupeň ÚKD.

Vypočtené 95% délky front pro levé odbočení z hlavní vyšly vždy kratší než je délka odbočovacích pruhů. Vypočtené délky front na paprsku C spíše neodpovídají realitě, fronty narůstaly do větších rozměrů.

2.10.3. Komentář ke kapacitnímu posouzení

Posuzované stykové křižovatky se nacházejí velmi blízko sebe, méně než 150 metrů a tak je nutné je posuzovat jako celek a vyhodnocovat současně. Řešené stykové křižovatky jsou tedy jako celek kapacitně nevyhovující, na vedlejších silnicích zde dochází k častému zdržení zejména pro levé odbočení. Vzhledem ke zúženým podmínkám na paprsku C dochází k častému zdržení i v případě pravého odbočení z vedlejší.

Společné řazení pruhů pro levé i pravé odbočení z paprsku C značně snižuje kapacitu křižovatky I/50 – II/416. Velmi slabá intenzita chodců kapacitu křižovatky téměř nijak nesnižuje. Je třeba rovněž přihlídnout ke specifikům křižovatky I/50 – II/416, kde dochází v nejzatíženější hodiny během týdne ke zdržení i na hlavní silnici na paprsku A ve směru od Brna.

3. Kritéria navrhování SSZ

Světelné signalizační zařízení na křižovatce se zavádí za účelem zvýšení bezpečnosti všech účastníků silničního provozu, zvýšení kapacity křižovatky a plynulosti provozu. Pro opodstatněnost zavedení SSZ je třeba splnit alespoň jedno z následujících čtyř kritérií. Definice kritérií pro navrhování SSZ převzaty z TP 81 [7, str. 13-14]

3.1. Kritérium bezpečnosti provozu

Řízení křižovatky pomocí SSZ se navrhuje na silně zatížených a nebezpečných křižovatkách, kde v uplynulých 3 letech byla relativní nehodovost minimálně 4 nehody na 1 milion vozidel vjíždějících do křižovatky, a na kterých je zároveň prokázáno, že nelze nehodovost eliminovat jiným způsobem [7].

Informace o dopravních nehodách je možné získat přes webové stránky GIS „Georafický informační systém“ v aplikaci „Statistické zobrazení nehodovosti v silničním provozu ve vybraném správním území v mapě“ [22]. Aplikace byla vyvinuta Centrem dopravního výzkumu, zdrojem dat je Ředitelství služby dopravní policie ČR (ŘSDP ČR), Ředitelství silnic a dálnic ČR (ŘSD), Český statistický úřad (ČSÚ). Údaje o nehodách jsou k dispozici od 1. ledna 2007 do současnosti. Nevýhodou je dostupnost pouze nehod nahlášených Policií ČR. Od 1. ledna 2009 nastala změna v zákoně, kdy se zvýšil dolní limit hmotné škody pro nahlášení nehody z 50 000 Kč na 100 000 Kč. Na následujících fotkách jsou zaznamenány nehody po dobu 8 let od 1. 1. 2007 do 31. 12. 2014. První snímek zachycuje všechny nehody, druhý snímek pouze ty s následkem na zdraví osob.



Obrázek 6 – JDVM, všechny nehody [22]



Obrázek 7 – JDVM, nehody se zraněním [22]

Ze snímků je zřejmé, že vyšší nehodovost je na křižovatce I/50 – II/416. V prostoru křižovatky s ulicí Křenovickou bylo zaznamenáno 12 nehod, z toho 4 s následkem na zdraví. Většinou bylo důvodem nehody nedání přednosti při levém odbočení z hlavní, případně pravé odbočení z vedlejší a následná čelní, nebo boční srážka. Vyskytla se rovněž srážka zezadu z důvodu nedodržení bezpečné vzdálenosti za vozidlem, případně srážka s pevnou překážkou při nepříznivých povětrnostních podmínkách.

Na křižovatce s ulicí Špitálskou bylo zaznamenáno pouze 5 nehod, z toho 2 s následkem na zdraví osob. Opět zadní srážky, případně boční nebo čelní při levém odbočení z hlavní silnice.

Když se vezme v úvahu přibližná denní intenzita vozidel v křižovatce 20000 voz/den, tak s počtem 12 nehod za 8 let dostaneme relativní nehodovost $0,2 \text{ nehody} \cdot 10^6 \text{ voz}^{-1}$. Pokud bychom vzali v úvahu pouze poslední 3 roky, dostaneme ještě nižší hodnotu. Z tohoto hlediska není zavedení SSZ účelné, ale vždy záleží rovněž na individuálním posouzení. Zejména na křižovatce s ulicí Křenovickou může zavedení SSZ vést ke zvýšení bezpečnosti provozu. V současnosti, zejména v odpoledních špičkách, může docházet k nebezpečným kolizním situacím, které způsobuje občasné nepředvídatelné chování řidičů na hlavní silnici, kteří dávají přednost vozidlům z vedlejší. Zejména následně uvolněné levé odbočení z vedlejší vyžaduje přednost i vozidel na hlavní v opačném směru, která jsou však občas zastíněna vozidly čekajícími na levé odbočení z hlavní. Z tohoto hlediska považuji zavedení SSZ za vhodné.

3.2. Kritérium intenzity provozu z hlediska vozidel

SSZ je účelné, dosáhne-li intenzita silničního provozu vyšších hodnot, než jsou stanoveny přípustnými intenzitami neřízených křižovatek podle ČSN 73 6102 [6], a to v průměru osmi dopravně nejvíce zatížených hodin dne na hlavní i vedlejší komunikaci. V případě, že vyjde kapacitní posouzení neřízené křižovatky jako vyhovující, není SSZ z hlediska automobilového provozu nutné [7].

Orientační posouzení kapacity lze provést z následujícího grafu.

Pro posouzení účelnosti SSZ na křižovatce jsou rozhodující intenzity podřazených a jejich nadřazených dopravních proudů. U stykové křižovatky se jedná o levé odbočení z vedlejší, pravé odbočení z vedlejší a levé odbočení z hlavní silnice. Jelikož nemáme k dispozici intenzity tzv. osmé hodiny, pro orientační posouzení použijí naměřené hodinové intenzity. V následujících tabulkách jsou rozhodující kritické hodnoty naměřených intenzit pro obě řešené křižovatky.

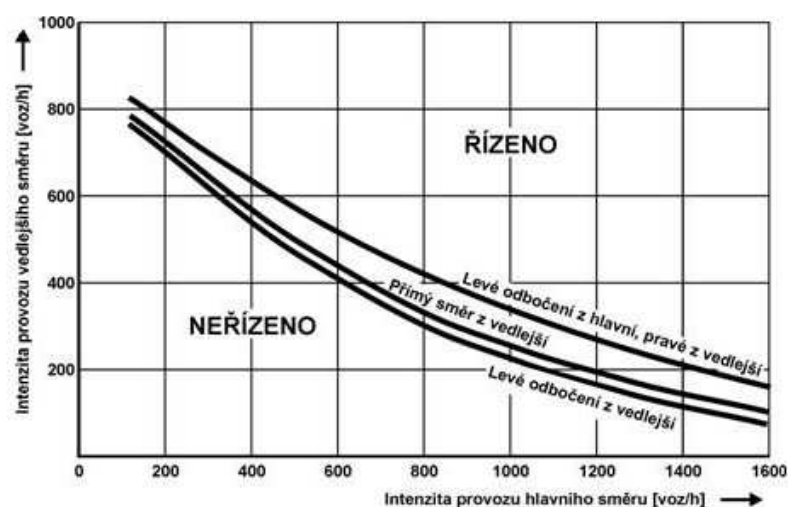
Tabulka 15 – kritické hodnoty intenzit – křižovatka I/50 – II/416 Křenovická

Křižovatka I/50 – II/416 Křenovická						
doba průzkumu	levé odbočení z vedlejší		pravé odboč. z vedlejší		levé odbočení z hlavní	
	HLAVNÍ	VEDLEJŠÍ	HLAVNÍ	VEDLEJŠÍ	HLAVNÍ	VEDLEJŠÍ
Pondělí ráno	1811	17	498	104	498	106
Středa ráno	1634	16	497	112	497	132
Středa odpoledne	1758	17	976	184	976	161
Pátek odpoledne	1772	36	926	304	926	185
Pátek* odpoledne	1941	17	1174	196	1174	178

Tabulka 16 – kritické hodnoty intenzit – křižovatka I/50 – III/0501 Špitálská

Křižovatka I/50 – III/0501 Špitálská						
doba průzkumu	levé odbočení z vedlejší		pravé odboč. z vedlejší		levé odbočení z hlavní	
	HLAVNÍ	VEDLEJŠÍ	HLAVNÍ	VEDLEJŠÍ	HLAVNÍ	VEDLEJŠÍ
Pondělí ráno	1647	6	1071	274	1071	198
Středa ráno	1455	12	877	279	877	201
Středa odpoledne	1633	18	497	300	497	394
Pátek odpoledne	1820	14	616	253	616	376
Pátek* odpoledne	1861	21	523	275	523	387

Ve sloupci „vedlejší“ jsou intenzity vozidel v daném vedlejším směru. Ve sloupci „hlavní“ je součet intenzit nadřazených dopravních proudů. Orientační posouzení účelnosti zavedení SSZ je možné provést podle následujícího grafu.



Obrázek 8 – kritérium intenzit z hlediska vozidel [24]

Žádné ze změřených intenzit nepřekračují kritickou hodnotu pro zavedení SSZ, avšak nejvíce se přibližují levé odbočení z vedlejší, které vyšly jako kapacitně nevyhovující dle TP 188 [4]. Intenzity nadřazených dopravních proudů jsou v grafu vyobrazeny pouze do 1600 voz/h, pro levé odbočení z vedlejší dosahují změřené intenzity nadřazených dopravních proudů až k 1900 voz/h. Levé odbočení z vedlejší je tedy výrazně limitováno. Vzhledem k tendenci narůstající automobilové dopravy lze považovat zavedení SSZ za účelné. Po zavedení SSZ se dá rovněž předpokládat zvýšení počtu odbočujících vozidel vlevo na křižovatce I/50 – II/416 z ulice Křenovické, kde je momentálně nedostatečná kapacita. Ke hranici pro zavedení SSZ se rovněž velmi blíží intenzity v ranní špičce pro pravé odbočení z vedlejší na křižovatce I/50 – III/0501 z ulice Špitálské.

3.3. Kritérium intenzity provozu z hlediska chodců

Zavedení SSZ je účelné v případě, že je intenzita vozidel přes daný přechod v průměru osmi nejvíce dopravně zatížených hodinách vyšší než dané mezní hodnoty, při kterých již není pro chodce podle pravidel provozu na pozemních komunikacích bezpečné přejít.

1100 voz/h – přechod přes jednopruhový nebo dvoupruhový jízdní pás,

1000 voz/h – přechod přes třípruhový jízdní pás,

900 voz/h – přechod přes čtyřpruhový směrově nerozdělený jízdní pás, toto stavební uspořádání již není na nových a rekonstruovaných komunikacích přípustné, dle normy ČSN 73 6110 [8].

V řešené oblasti se nachází pouze jeden přechod pro chodce, na paprsku A v ulici Čsl. Červeného kříže, vedoucí přes 2 jízdní pruhy, rozdělený středovým ostrůvkem. Je tedy nutné brát v úvahu pouze intenzitu vozidel v jednom jízdním pruhu. Z dopravních průzkumů nemáme k dispozici osm nejvíce zatížených hodin. Z naměřených hodinových špičkových intenzit byla překročena mezní hodnota 1100 voz/h pouze v páteční odpolední špičce z roku 2013 $I_{PA(PÁ)} = 1174 \text{ voz/h}$, a v pondělní ranní špičce z roku 2014 $I_{PA(PO)} = 1170 \text{ voz/h}$. V případě 8 nejvíce zatížených hodin dne nebude požadované kritérium splněno.

3.4. Kritérium plynulosti jízdy vozidel MHD

Důvod ke zřízení SSZ může být zdržení nejméně každého druhého vozu MHD na dobu větší než 2 minuty ve třech nejzatíženějších hodinách dne [7].

Kritérium plynulosti jízdy vozidel MHD se řešené oblasti téměř netýká kvůli rozsahu provozu. Přes křižovatky jsou vedeny pouze pravidelné regionální autobusové linky, které svým mnohem menším rozsahem provozu neodpovídají městským linkám. Autobusy bývají na křižovatkách zdrženy, zejména při pravém odbočení z vedlejší, ale průměrná doba zdržení dosahuje méně než 2 minuty.

4. Návrh stavebních úprav

Hlavní silnice I/50 byla v úseku od křižovatky I/50 – Křenovická přes křižovatku I/50 – Špitálská a dále ve směru jižního obchvatu města Slavkova zprovozněna jako novostavba v roce 1996 současně s křižovatkovou větví F, ulice Špitálská. Tyto komunikace splňují i současné normy a šířkové uspořádání a nejsou tak potřeba zásadní stavební úpravy. Zavedení SSZ si vyžádá pouze drobné úpravy, zejména výstavbu sloupů pro světelná návěstidla.

4.1. Varianta 1 – Současné šířkové uspořádání

Stavební úpravy varianty 1 vycházejí z bakalářské práce [3], která byla řešena pouze ve variantě se současným šířkovým uspořádáním.

Zavedení světelné signalizace na obou křižovatkách si vyžádá výstavbu celkem osmi sloupů pro světelná návěstidla. Jedinou navrženou stavební úpravou je rozšíření nepojížděného pásu na nároží křižovatky I/50 – Špitálská mezi paprsky F a D pro výstavbu sloupu pro SSZ. Kvůli blízké protihlukové zdi by nebylo možné sloup umístit tak, aby bylo základní návěstidlo viditelné z dostatečné vzdálenosti před stopčárou. Stávající poloměr nároží je 20 m. Po nové úpravě bude prodloužen přímý úsek a tím i zmenšen poloměr nároží na 9 m. Poloměr odbočení nadále zůstane využívaný stejně jak doposud (cca 13 m), vozidla se při pravém odbočení ve většině případů řadí již dříve do hlavního proudu a využívají tak mnohem menší poloměr než je poloměr vodícího proužku. Nový nepojížděný pás je možné zadláždit nebo zatravnit.

Pouhou úpravou VDZ a SDZ navrhuji na vedlejší silnici III/0501 v ulici Špitálské zřízení samostatného řadicího pruhu pro levé odbočení, které zvýší propustnost křižovatky zejména na hlavní silnici. Ulice Špitálská šířkově vyhovuje navržené úpravě. Nový řadicí pruh bude zřízen místo současného dopravního stínu v ose komunikace o šířce 3,0 m.

4.2. Varianta 2 – Rekonstrukce ulice Křenovické

Stavební úpravy varianty 2 plně respektují úpravy varianty 1 se současným šířkovým uspořádáním. Dále je navržena úprava paprsku C, silnice II/416 v ulici Křenovické.

Kapacita křižovatky I/50 – II/416 Křenovická je limitována společným řazením levého a pravého odbočení na paprsku C v jednom jízdním pruhu. Pro zvýšení kapacity křižovatky navrhuji rozšíření vedlejší silnice II/416 o jeden řadicí pruh, aby se oddělilo

pravé a levé odbočení z vedlejší silnice. Komunikace bude rozšířena pouze od nároží paprsků C a B. Je navrženo rozšíření pojížděné plochy o 3 metry se zachováním poloměru odbočení. Současný poloměr nároží je 10,5 m, navržený poloměr nároží 11,0 m. Jízdní pruh opačného směru ve směru na Křenovice zůstane v současném směrovém vedení. Do řadicího pruhu pro pravé odbočení, což je výrazně zatíženější směr, je navržen přímý nájezd se změnou směrového vedení pro odsazení pruhu o 3,0 metry, tedy o rozšířenou plochu. Levý řadicí pruh je navržen o délce 25 metrů v ose nové komunikace, rozšiřování pruhu v délce 17 metrů.

Situační výkresy křižovatek obou stavebních variant v měřítku M 1:500 naleznete v příloze 13 a 14.

5. Návrh řízení křižovatek pomocí SSZ

Návrh řízení řešených křižovatek pomocí světelného signalizačního zařízení vychází z bakalářské práce [3]. Nejdříve jsem navrhnul řízení pomocí pevného signálního plánu pro dvě období nejvyšších naměřených hodnot intenzit včetně kapacitního posouzení, tak jako v bakalářské práci. Z vytvořených signálních plánů následuje jejich úprava do základního tvaru a implementace dynamického řízení.

5.1. Druhy světelných signálů

Světelná signalizace na křižovatkách je navržena v souladu s Vyhláškou číslo 30 Ministerstva dopravy z roku 2001 [9] a TP 81 [7]. Níže jsou uvedeny všechny použité signály:

- Signály třibarevné soustavy s plnými kruhovými světly (plné signály):
S 1a „Signál s červeným světlem Stůj!“, S 1b „Signál se žlutým světlem Pozor!“, S 1c „Signál se zeleným světlem Volno“.
- Signál doplňkové zelené šipky S 5
- Signál pro opuštění křižovatky S 6
- Signál přerušovaného světla ve tvaru chodce S 7 (tvar podle signálu S 4)
- Signály pro chodce: S 9a (Stůj!) a S 9b (Volno)

5.2. Označení signálních skupin

Pro každý paprsek křižovatky byla navržena vždy jedna signální skupina pro automobily s případnou doplňkovou šipkou, a tak písmenné označení paprsku odpovídá označení signální skupiny. Na paprsku C budou signální skupiny totožné ve variantě č. 1 – stávající stav i ve variantě č. 2 – rozšíření o jeden řadící pruh.

VA paprsek A, plný signál na hlavní silnici, jízda rovně a vpravo,

VB paprsek B, plný signál na hlavní silnici, jízda rovně a vlevo s předností protijedoucích vozidel,

VC paprsek C, plný signál na vedlejší silnici, jízda vpravo a vlevo s předností chodců na přechodu pro chodce přes paprsek A.

VD paprsek D, plný signál na hlavní silnici, jízda rovně a vpravo,

VE paprsek E, plný signál na hlavní silnici, jízda rovně a vlevo s předností protijedoucích vozidel,

- VF paprsek F, plný signál na vedlejší silnici, jízda vpravo a vlevo
- KB paprsek B, vyklizovací šipka levého odbočení z hlavní silnice na Křenovickou,
- KD paprsek D, vyklizovací šipka levého odbočení z hlavní silnice na Špitálskou,
- SB paprsek B, doplňková šipka rovně v průběžném pruhu hlavní silnice, pouze u varianty č. 2, rozšířený paprsek C, pro dynamické řízení
- SC paprsek C, doplňková šipka pravého odbočení z vedlejší silnice,
- SD paprsek D, doplňková šipka rovně v průběžném pruhu hlavní silnice, pouze pro dynamické řízení
- SF paprsek F, doplňková šipka pravého odbočení z nejdelší silnice,
- PA1 paprsek A, signál pro pěší na přechodu pro chodce, hlavní silnice, směr od Brna,
- PA2 paprsek A, signál pro pěší na přechodu pro chodce, hlavní silnice, směr do Brna.

5.3. Návrh a sled fází

Pro řízení obou křižovatek pomocí základního pevného signálního plánu je navrženo třífázové řízení. Vzhledem k silnému levému odbočení z hlavní silnice a velmi vysokým intenzitám na hlavní v opačném směru je potřebné zajistit bezkolizní levé odbočení z hlavní pomocí vyklizovací šipky, během kterého již může být aktivní doplňková šipka pro odbočení vpravo z vedlejší. Grafické znázornění návrhu a sledu fází pro pevný signální plán je součástí *přílohy 4*.

Křižovatka I/50 – II/416 Křenovická

Fáze F1 – na hlavní silnici plné signály VA a VB, u signálu VB je levé odbočení z hlavní s předností v jízdě protijedoucích vozidel.

Fáze F2 – na hlavní silnici plný signál VB s vyklizovací šipkou KB pro bezkolizní levé odbočení z hlavní, na vedlejší silnici doplňková šipka pro odbočení vpravo SC. Kvůli společnému řadicímu pruhu z vedlejší silnice není možné doplňkovou šipku SC maximálně využít.

Fáze F3 – na vedlejší silnici plný signál VC s předností pěších na přechodu pro chodce přes paprsek A, signály PA1, PA2.

Křižovatka I/50 – III/0501 Špitálská – fáze jsou navrženy stejně jako u první křižovatky s absencí přechodu pro chodce.

Fáze F1 – na hlavní silnici plné signály VD, VE, pro signál VD odbočení vlevo s předností vozidel z opačného směru.

Fáze F2 – na hlavní silnici plný signál VD, vyklizovací šipka KD pro levé odbočení, na vedlejší doplňková šipka vpravo SF.

Fáze F3 – na vedlejší silnici plný signál VF.

5.4. Tabulky mezičasů

Pro vytvoření signálního plánu, nebo definování fázových přechodů je nutné si nejdříve vytvořit tabulku mezičasů. Mezičas je definovaný jako nezbytná časová mezera mezi koncem jednoho a začátkem druhého zeleného signálu „Volno“ dvou kolizních signálních skupin, kdy poslední „vyklizující“ vozidlo nebo chodec v končící fázi stačí bezpečně vyklidit kolizní plochu dříve, než najíždějící vozidlo nebo chodec v následující fázi kolizní plochu dosáhne [7]

Mezičas t_m se vypočítá podle výrazu (1)

$$t_m = t_v - t_n + t_b, \quad t_v = \frac{L_v + l_{voz}}{v_v}, \quad t_n = \frac{L_n}{v_n} \quad (1)$$

kde t_m [s] je samotný mezičas, t_v [s] vyklizovací čas, L_v [m] vyklizovací dráha, l_{voz} [m] délka vyklizujícího vozidla, v_v [ms^{-1}] vyklizovací rychlost, t_n [s] najížděcí čas, L_n [m] najížděcí dráha, v_n [ms^{-1}] najížděcí rychlost, t_b [s] bezpečnostní doba zohledňující průjezd vozidel na signál pozor (pro vozidla je rovna 2 sekundám). Všechny hodnoty nezbytné pro výpočet lze najít v tabulce Standardních hodnot pro výpočet mezičasů.

Pomocí tabulky mezičasů určíme délky fázových přechodů mezi jednotlivými fázemi volna. Pro dosažení co nejvyšší kapacity křižovatky je třeba co nejvíce zkrátit mezičasy, během kterých je křižovatka neproduktivní. Nejmenších mezičasů dosáhneme umístěním jednotlivých stopčar co nejbliže středu křižovatky. Toto může být problém u křižovatek s provozem těžkých nákladních vozidel ve stísněných prostorách, kde jejich vlečné křivky zasahují daleko od středu křižovatky do protisměru a tak je nutné posunout stopčáry dále, což je případ křižovatky I/50 – II/416 Křenovická na paprsku C vedlejší silnice.

Následují vypracované tabulky mezičasů pro obě křižovatky, včetně obou variant stavebního řešení křižovatky I/50 – I/416 Křenovická. Detail výpočtů jednotlivých mezičasů naleznete v příloze 5.

Tabulka 17 – Tabulka mezičasů

Křižovatka I/50 – Křenovická - varianta 1								
		NAJÍŽDÍ						
		VOZIDLA					CHODCI	
		VA	VB	KB	SC	VC	PA1	PA2
VYKLIZUJE	VA			5	4	4	3	
	VB					5		6
	KB	3				3		
	SC	3						
	VC	4	4	4				
	PA1	3						
	PA2		0					

Tabulka 18 – Tabulka mezičasů

Křižovatka I/50 – Křenovická - varianta 2									
		NAJÍŽDÍ							
		VOZIDLA					CHODCI		
		VA	VB	KB	SB	SC	VC	PA1	PA2
VYKLIZUJE	VA			5		4	4	3	
	VB						5		6
	KB	3					3		
	SB						5		6
	SC	4							
	VC	4	4	4	4				
	PA1	3							
	PA2		0		0				

Tabulka 19 – Tabulka mezičasů

Křižovatka I/50 – Špitálská							
		NAJÍŽDÍ					
		VOZIDLA					
		VD	VE	KD	SD	SF	VF
VYKLIZUJE	VD					3	
	VE			5		4	3
	KD		1				1
	SD						1
	SF		4				
	VF	6	4	5	6		

5.5. Návrh pevného signálního plánu

Návrh pevného signálního plánu vychází ze zpracované bakalářské práce na toto téma a postupuje podle platných TP 81 Navrhování SSZ pro řízení silničního provozu [7] a TP 235 Posuzování kapacity světelně řízených křižovatek [10]. Pro tvorbu signálního plánu existují 3 metody: metoda spotřeby času, metoda postupného přibližování a metoda saturovaného toku, neboli Websterova metoda, která je rovněž popsána v TP 81 [7].

5.5.1. Metoda saturovaného toku

Saturovaný tok je definovaný maximálním počtem vozidel, které mohou projet přes stopčáru za časovou jednotku, běžná hodnota se udává $S_{zákl} = 1900$ pvoz/h, za ideálních podmínek může dosáhnout až $S_{zákl} = 2000$ pvoz/h.

Metoda saturovaného toku se skládá z následujících fází

Stanovení saturovaného toku vjezdu pro každý řadící pruh. Je třeba znát sklon stoupání, poloměr odbočení a podíl odbočujících vozidel. Následně se pro všechny vjezdy s automobilovou dopravou stanoví stupeň saturace. Sečtením nejvyššího stupně saturace pro každou fázi dostaneme celkový stupeň saturace křižovatky, který by prakticky neměl přesáhnout hodnotu 0,80.

Stanovení délky cyklu a délky fází, délka cyklu je definována součtem všech potřebných signálů „volno“ a jednotlivých rozhodujících mezičasů mezi signály „volno“. Minimální délka cyklu je 30 s, optimální 50 až 80 s, maximální 100 až 120 s. Minimální délku cyklu vypočteme podle výrazu (2), optimální a reálnou délku cyklu stanovíme podle výrazů (3). Délku zeleného signálu volno pro kritické vjezdy a minimální délku volna pro ostatní signály s rezervou stanovíme podle výrazů (4).

$$C_{min} = \frac{L}{1 - Y \cdot \frac{100}{100 - Rez}}, \quad 0 \leq Rez \leq (1 - Y) \cdot 100 \quad (2)$$

$$C_{opt} = \frac{1,5 \cdot L + 5}{1 - Y}, \quad 0,75 \cdot C_{opt} < C < 1,5 \cdot C_{opt} \quad (3)$$

$$z_j = \frac{y_j \cdot (C - L)}{Y} - 1, \quad z_{jmin} = \frac{I_j \cdot C}{S_j} \cdot \frac{100}{100 - Rez} - 1 \quad (4)$$

kde C – délka cyklu, Rez – rezerva kapacity na vjezdu, doporučená minimální je 10%, L – celkový ztrátový čas cyklu (vycházející z mezičasů a fázových přechodů), Y – celkový

stupeň saturace, I_j – intenzita vozidel v daném řadicím pruhu, S_j – saturovaný proud v daném řadicím pruhu, z_j – délka zelené, y_j – stupeň saturace

Pro jednotlivé fáze platí následující okrajové podmínky

- Minimální délka signálu „volno“ 5 s, doporučené 12 s na hlavní, 8 s na vedlejší
- Vyklizovací šipka minimálně 4 s
- Žluté světlo pro vozidla 3 s, červenožluté 2 s.
- První chodec by měl vstoupit 1-2 s před prvním vozidlem v odbočujícím směru

Pro většinu výpočtů se používá hodnota délky efektivní zelené, tj. doby, po kterou projíždějí vozidla stopčárou v saturovaném toku, dle následující tabulky.

Tabulka 20 – délka efektivní zelené

Délka zeleného signálu z [s]	Délka efektivní zelené z' [s]
5 – 7	$z + 1,0$
8 – 10	$z + 0,5$
≥ 11	z

Při samotné tvorbě signálního plánu je omezujícím faktorem námi stanovená délka cyklu. Začneme signály „volno“ pro jednotlivé kritické vjezdy a jejich fázovými přechody. Podle tabulky mezičasu doplníme ostatní signály „volno“. Následně se doplní signál pro chodce. Na závěr všechny zbylé volné pole vyplníme červeným signálem „stůj“.

5.6. Kapacitní posouzení světelně řízené křižovatky

Kapacitní posouzení spočívá ve stanovení ÚKD pomocí střední doby zdržení na všech vjezdech. Křižovatka kapacitně vyhoví, jestliže je splněn pro každý vjezd určitý stupeň ÚKD podle normy ČSN 73 6102 [6] pro příslušné kategorie a třídy pozemních komunikací. Celé posouzení kapacity je provedeno podle TP 235 [10], kde se nachází přesný postup včetně všech nezbytných vzorců a údajů.

Pro kapacitní posouzení světelně řízené křižovatky je třeba znát její geometrické uspořádání, návrhové intenzity všech dopravních proudů včetně zohlednění skladby dopravního proudu, dále navržený signální plán, délku cyklu, délky zeleného signálu pro všechny vjezdy.

5.6.1. Stanovení kapacity vjezdu

Kapacita vjezdu tvořeným samostatným řadicím pruhem pro levé odbočení ovlivněné protisměrem se vypočítá jako součet 3 dílčích kapacit:

- Kapacita levého odbočení v době zelené protisměru – podle intenzit v protisměru
- Kapacita levého odbočení po skončení vlastní zelené při změně fází – podle počtu vozidel, která mohou najet za stopčáru do křižovatky, když dávají přednost
- Kapacita levého odbočení neovlivněná protisměrem – pokud zelený signál pro levé odbočení končí později než v protisměru, řešeno vyklizovací šipkou.

Kapacita běžného vjezdu se počítá u všech ostatních dopravních proudů. Je závislá na saturovaném toku, délce cyklu a délce efektivní zelené.

5.6.2. Stanovení úrovně kvality dopravy

Hlavním kritériem pro posouzení kvality dopravy je průměrný ztrátový čas při průjezdu vozidla křižovatkou v daném dopravním proudu.

Na základě předchozích výpočtů kapacity na vjezdech se dále stanoví následující parametry dle TP 235 [10].

- Rezerva kapacity jednotlivých vjezdů, u kritických vjezdů by měla být minimální rezerva kapacity 10 %
- Délka fronty na začátku zeleného signálu „Volno“ L_{F1} , pokud je rezerva kapacity záporná a tedy překročena kapacita, počítá se teoretická délka fronty na konci návrhové hodiny L_{F2} .
- Střední doba zdržení t_w na jednotlivých vjezdech do světelně řízené křižovatky, podle níž se stanoví stupeň úrovně kvality dopravy ÚKD.

Tabulka 21 – stupně ÚKD pro světelně řízenou křižovatkou

Úroveň kvality dopravy		Střední doba zdržení [s]
Označení	Charakteristika kvality dopravy	
A	Velmi dobrá	≤ 20
B	Dobrá	≤ 35
C	Uspokojivá	≤ 50
D	Dostatečná	≤ 70
E	Nestabilní stav	> 70
F	Překročena kapacita	*
* ÚKD na stupni F je dosaženo při záporné rezervě kapacity		

5.7. Vytvořené signální plány a kapacitní posouzení

Pro potřeby diplomové práce jsem vzal v úvahu pouze extrémní špičkové intenzity z naměřených dopravních dat a pro tyto intenzity vytvořil pevné signální plány. Jedná se o pondělní ranní špičku a dvě různé páteční odpolední špičky, u kterých jsou předpokladem pouze vzájemně různé délky zelených signálů na hlavní a vedlejší dle naměřených intenzit jednotlivých dopravních proudů. Řízení dopravy v běžné, středeční, ranní a odpolední špičce bude obdobné jako v jejich extrémní variantě, s pouhým zkrácením vybraných zelených fází na hlavní, případně vedlejší. U dynamického řízení se předpokládá stejný navržený algoritmus řízení pro danou dopravní špičku, nehledě na týdenní výkyvy (pátek, pondělí).

Kapacitní posouzení světelně řízených křižovatek navrženým pevným signálním plánem bylo provedeno s pomocí software MS Excel, soubor s výpočty je k dispozici v *elektronické příloze B*. Vzorový protokol kapacitního posouzení páteční odpolední špičky (rok 2013) dle TP 235 [10] je uveden v *příloze 6*.

5.7.1. Ranní špička

Pro ranní špičku je kritická křižovatka I/50 – Špitálská. Kritický vjezd pro fázi F1 je z paprsku E – signál VE, pravé odbočení na vjezdu z paprsku F – signály SF+VF jsou kritickým vjezdem společně pro fázi F2 a fázi F3. Ztrátový čas vychází pouze z fázových přechodů F1-F2 (mezičas VE-SF) a F3-F1 (mezičas VF-VE), tedy $L = 6$ sekund. Pro pondělní ranní špičku vychází stupeň saturace $Y = 0,758$, optimální cyklus $C_{opt} = 58$ s s rezervou 10 %, délka cyklu je zvolena $C = 60$ s. Ekvivalentně pro sousední křižovatku je navržen cyklus o stejné délce, aby byla zajištěna koordinace i přesto, že vyšel optimální cyklus $C_{opt1} = 53$ s pro společný řadicí pruh na vedlejší, resp. $C_{opt2} = 44$ s pro navržené stavební řešení se dvěma řadicími pruhy na vjezdu paprsku C.

Tabulka 22 – kapacitní posouzení ssz křižovatky (pondělí)

paprsek	vjezd	efektivní zelená [s]	Rezerva kapacity [%]	Délka fronty [m]	Střední doba zdržení [s]	Dosažený stupeň ÚKD	Požadovaný stupeň ÚKD
E	VE	40	11	40	18	A	C
D	VD-R	46	70	11	2	A	C
	VD-L	46	42	5	9	A	C
F	SF+VF-R	12	19	23	40	C	E
	VF-L	6	97	1	22	B	E

5.7.2. Odpolední špička

Pro odpolední špičku je kritická křižovatka I/50 – Křenovická. Další postup je závislý na zvolené variantě stavebního uspořádání.

Varianta č. 1 – jeden řadicí pruh na paprsku C. Kritický vjezd pro fázi F1 je z paprsku A na signál VA, kritický vjezd pro fázi F3 je u paprsku C na signál VC. Pro fázi F2 nelze jednoznačně určit kritický vjezd a tak celkový ztrátový čas bude zahrnovat fázový přechod F3-F1 a čas mezi fází F1 a fází F3, tedy $L = 16$ sekund. Vychází to z charakteru fáze F2, kdy je konané levé odbočení z hlavní po skončení fáze F1, není jednoznačné, kolik vozidel již odbočilo během fáze F1. Ve fázi F2 je rovněž doplňková šipka vpravo SC na paprsku C, vzhledem ke společnému řadicímu pruhu není možné určit, zdali některá vozidla odbočí již na tento signál. Za těchto podmínek vycházejí hodnoty: $Y = 0,761$, $C_{opt} = 121s$ (intenzity pátek 2013), resp. $Y = 0,716$, $C_{opt} = 102,2 s$ (pátek 2015). Cyklus byl zvolen o délce $C = 100 s$. Pro sousední křižovatku vyšel optimální cyklus $C_{opt} = 32 s$, resp. $C_{opt} = 28 s$.

Tabulka 23 – kapacitní posouzení ssz křižovatky (pátek 2013)

paprsek	vjezd	efektivní zelená [s]	Rezerva kapacity [%]	Délka fronty [m]	Střední doba zdržení [s]	Dosažený stupeň ÚKD	Požadovaný stupeň ÚKD
A	VA	66	4	71	42	C	C
B	VB-R	75	56	27	5	A	C
	VB-L	75	22	8	31	B	C
C	VC	16	20	31	61	D	D

Tabulka 24 – kapacitní posouzení ssz křižovatky (pátek 2015)

paprsek	vjezd	efektivní zelená [s]	Rezerva kapacity [%]	Délka fronty [m]	Střední doba zdržení [s]	Dosažený stupeň ÚKD	Požadovaný stupeň ÚKD
A	VA	58	12	72	27	B	C
B	VB-R	67	45	40	9	A	C
	VB-L	67	27	10	26	B	C
C	VC	24	15	44	54	D	D

Varianta č. 2 – dva řadící pruhy na paprsku C, vždy jeden pro pravé a pro levé odbočení. Kritický vjezd pro fázi F1 je opět z paprsku A na signál VA. Kritický vjezd společný pro fázi F2 a fázi F3 je pravé odbočení z paprsku C na signály SC a VC. Ztrátový čas vychází z fázových přechodů F1-F2 a F3-F1, tedy $L = 6$ sekund. Za těchto podmínek vycházejí hodnoty $Y = 0,753$, $C_{opt} = 57s$ (intenzity pátek 2013), resp. $Y = 0,697$, $C_{opt} = 46 s$ (pátek 2015). Cyklus byl zvolen o délce $C = 60 s$. Pro sousední křižovatky vyšel optimální cyklus shodně $C_{opt} = 34 s$. Vzhledem k menšímu ztrátovému času vychází optimální délka cyklu výrazně kratší než u stavební varianty 1.

Tabulka 25 – kapacitní posouzení ssz křižovatky (pátek 2013)

paprsek	vjezd	efektivní zelená [s]	Rezerva kapacity [%]	Délka fronty [m]	Střední doba zdržení [s]	Dosažený stupeň ÚKD	Požadovaný stupeň ÚKD
A	VA	40	5	42	31	B	C
B	VB-R	46	57	15	3	A	C
	VB-L	46	32	4	16	A	C
C	SC+VC-R	11	34	17	31	B	D
	VC-L	6	90	2	23	B	D

Tabulka 26 – kapacitní posouzení ssz křižovatky (pátek 2015)

paprsek	vjezd	efektivní zelená [s]	Rezerva kapacity [%]	Délka fronty [m]	Střední doba zdržení [s]	Dosažený stupeň ÚKD	Požadovaný stupeň ÚKD
A	VA	36	14	41	17	A	C
B	VB-R	46	52	17	3	A	C
	VB-L	46	58	4	5	A	C
C	SC+VC-R	16	31	23	26	B	D
	VC-L	6	76	4	26	B	D

5.7.3. Komentář ke kapacitnímu posouzení

Nevýhoda kapacitního posouzení světelně řízených křižovatek podle TP 235 nastává v případech, kdy je na vjezdu do křižovatky pouze jeden řadicí pruh pro více směrů a současně se pro jeden ze směrů, obvykle vpravo, používá doplňková šipka v předcházející fázi, která je nekolizní pro tento křižovatkový proud. Kapacitní posouzení nezohledňuje možnou kapacitu po dobu zeleného signálu „volno“ doplňkové šipky, jelikož na stopčáře může stát vozidlo, které jede jiným směrem až během plného signálu. Nevýhoda je znatelnější v případě, když je poměr odbočujících vozidel ve směru doplňkové šipky většinový. V konkrétním případě křižovatky I/50 – Křenovická se jedná o signál SC a následný plný signál VC. Poměr odbočujících vozidel vpravo dosahuje průměrně 90 % a tak je vysoce pravděpodobné, že vozidla odbočující vpravo budou moci jet už během signálu „volno“ doplňkové šipky SC. V reálné situaci by tak bylo možné následný plný signál „volno“ zkrátit. Ideální stav nastane ve stavebním uspořádání dle varianty č. 2, kdy se levé a pravé odbočení z vedlejší vzájemně neovlivňuje, úpravou doby zelené jednotlivých signálů (SC, VC) lze dosáhnout vyšší kapacity křižovatky než při společném řazení obou směrů v jednom řadicím pruhu.

Z kapacitního posouzení pro páteční odpolední špičky je zřetelná nižší rezerva u kritického proudu VA právě ve stavební variantě č. 1, a to pouze 4 % (pátek 2013), resp. 7 % (pátek 2015). Dle tohoto posouzení nebylo možné prodloužit signál VA na hlavní, jelikož by se na jeho úkor zvýšila střední doba zdržení na vjezdu VC nad hraniční hodnotu, když křižovatka kapacitně vyhoví.

6. Návrh dynamického řízení

6.1. Režimy řízení

Tato kapitola je zpracována na základě TP 81 Navrhování SSZ pro řízení silničního provozu [7], kde je celá problematika týkající se řízení pomocí SSZ podrobně popsána. Způsoby řízení křižovatek se SSZ lze rozdělit na dva základní způsoby, prvky lze v různých režimech řízení kombinovat.

- **Pevné řízení** – neměnné řízení v delším časovém horizontu, nereaguje na krátkodobé výkyvy intenzit provozu, vhodné do lokalit, kde se intenzita příliš nemění v krátkém časovém období.
- **Dynamické řízení** – přizpůsobuje se aktuální intenzitě vozidel a jejich požadavkům na řízení, krátkodobými výkyvy provozu ovlivňují signální plán.

Dynamickým řízením můžeme dosáhnout změnu cílových veličin, které patří mezi základní charakteristiky posuzované křižovatky.

- Snížení počtu zastavení – vliv na komfort jízdy, množství emisí a hluku, spotřeby PHM, zvýšení výkonnosti během nákladního provozu
- Minimalizace střední doby zdržení a doby jízdy křižovatkou – vliv na plynulost provozu, úsporu času,
- Minimalizace délky vzdutí – vede ke snížení hluku a emisí, odstranění omezení jízdy příčným proudům, případné převedení vzdutí do jiného místa, kde je přijatelnější
- Zvýšení propustnosti křižovatky – převedení co nejvyšší intenzity přes křižovatku

V následujícím přehledu jsou uvedeny parametry, které se zjišťují a křižovatce „online“ a slouží k následnému zjištění cílových veličin.

- Časová mezera
- Doba obsazení detektoru
- Intenzita provozu
- Dosahovaná rychlost
- Výzva ze strany vozidel málo zatíženého vjezdu, nebo řadicího pruhu
- Výzva ze strany chodců nebo cyklistů
- Přihlášení a odhlášení vozidel MHD

Z těchto veličin lze okamžitě snadno odvodit následující parametry:

- Obsazenost detektoru (stupeň zatížení)
- Hustota provozu
- Stupeň saturace

V následující tabulce je zpracovaný přehled způsobů řízení podle rozhodování

Tabulka 27 – přehled způsobů řízení, TP 81 [7]

ROZHODOVÁNÍ PŘI ŘÍZENÍ MIMO PRŮBĚH SIGNÁLNÍHO PLÁNU		
A v delších časových intervalech v krocích řádově desítek minut až hodin		
volba signálních plánů a režimů řízení		A1 ČASOVĚ ZÁVISLÁ podle předem zadaného časového nastavení programů
		A2 DOPRAVNĚ ZÁVISLÁ podle aktuálních dopravních nároků v reálném čase
ROZHODOVÁNÍ PŘI ŘÍZENÍ V PRŮBĚHU SIGNÁLNÍHO PLÁNU D		
B v krátkých časových intervalech v krocích řádově několika sekund		
pevné řízení	pevný signální plán	B1 ŽÁDNÁ MOŽNOST ZMĚN podle aktuálních dopravních nároků
dopravně závislé (dynamické) řízení	modifikace signálního plánu	B2 PROMĚNNÁ DÉLKA VOLNA B3 ZMĚNA POŘADÍ FÁZÍ B4 VKLÁDÁNÍ FÁZE NA VÝZVU B5 OKAMŽITÉ DOPLNĚNÍ NEKOLIZNÍHO VOLNA DO PROBÍHAJÍCÍ FÁZE
	tvorba signálního plánu	B6 VOLNÁ MĚNITELNOST PRVKŮ podle aktuálních dopravních nároků

Způsoby A – předpokládá se řízení pomocí několika různých předem připravených signálních plánů. **A1** Časově závislé řízení spočívá se změnou signálních plánů dle denní doby, trvání jednoho signálního plánu je v řádu desítek minut, nebo spíše hodin. Tento režim řízení byl navrhnout ve mnou vypracované bakalářské práci [3]. **A2** změnou signálních Dopravně závislé řízení spočívá ve změně signálních plánů na základě aktuálního zatížení v síti, vyhodnocení dat např. z vhodně umístěných strategických detektorů.

Nevýhody řízení pomocí pevného signálního plánu jsou [7, str.28]:

- Nemožnost okamžitého zkrácení délky signálu volno, která by mohla být využita pro jiný dopravní proud
- Nemožnost vykrytí špičkového zatížení, kvůli němuž musí být k dispozici určitá výkonnostní rezerva
- Nemožnost zasahovat do průběhu řízení jednotlivými vozidly nebo chodci

- Nemožnost odstranění vzduší během konkrétního signálního plánu
- Nemožnost preference vozidel MHD

Způsoby B – rozhodování při řízení v průběhu signálního plánu zohledňuje krátkodobé změny stavu dopravy na křižovatce [7, str.26]. U všech způsobů se rovněž předpokládají předem vypočtené signální plány, nebo alespoň jejich části obsahující fázové přechody s případnou minimální délkou zelené dané fáze. V následující kapitole jsou specifikovány jednotlivé režimy řízení způsobů B.

6.1.1. Specifikace způsobů řízení modifikací signálního plánu

Prizpůsobování doby signálu volno

Délka zelené fáze se zkracuje, nebo prodlužuje ve prospěch, příp. neprospěch jiné fáze, nebo se v závislosti na délce zeleného signálu prodlužuje, případně zkracuje délka cyklu. Změna zeleného signálu v rámci cyklu umožňuje pružně reagovat na krátkodobé výkyvy intenzity dopravy v řádu sekund, které nastávají i během dopravní špičky.

Délka signálu volno se nečastěji mění na základě měřené časové mezery mezi vozidly. Časová mezera se používá obvykle 2 až 3 sekundy. Časová mezera se detekuje pomocí indukční smyčky, jejíž vzdálenost od stopčáry je závislá na zvolené rozhodující časové mezeře a rychlosti provozu. Vzdálenost smyčky odpovídá dráze, kterou urazí vozidlo za dobu časové mezery danou rychlostí. Pro $v = 50 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ a $\check{C}M = 3 \text{ s}$ je $L_D = 40 \text{ m}$. Je-li je na detektoru za projetým vozidlem detekovaná stanovená časová mezera, pokud jede stanovenou rychlostí, tak v momentě jeho průjezdu stopčárou se aktivuje fázový přechod a přepíná se zelené světlo na žluté a fáze je tak ukončena. Současně je nutné stanovit minimální délku zelené tak, aby všechna vozidla stojící mezi smyčkou a stopčárou během signálu „volno“ prostor opustila. Stanoví se podle vzdálenosti čel vozidel a průměrného časového odstupu vozidel. Pro vzdálenost $L_D = 40 \text{ m}$ může odpovídat $T_{Z(\text{min})} = 15 \text{ s}$. Pro režim řízení časové mezery podle vzdálené indukční smyčky je nutný plynulý provoz. V odbočovacích pruzích, případně na vedlejší silnici, kde není podmínka plynulosti splněna, je vhodnější využít podélnou smyčku o délce 25 až 30 metrů, která detekuje přítomnost vozidla v celé své délce, jestliže v prostoru už žádné vozidlo není, může být fáze ukončena.

Proměnné pořadí fází

Na základě požadavku dopravy se změní pouze předem dané pořadí fází. Využívá se např. pro preferenci vozidel MHD.

Vkládání fáze při výzvě

Využívá se u velmi málo zatížených směrů, nebo dopravních proudů. Může se jednat o odbočující vozidla, vozidla MHD, cyklisty nebo chodce na přechodech. Jestli není požadavek na danou fázi, může být zvolena alternativní fáze pro ostatní dopravní proudy, nebo se zkrátí délka cyklu. Doba volna ve vložené fázi je obvykle pevně stanovena a to jako nejkratší možná. Přítomnost vozidel se detekuje pomocí detektoru, nejčastěji indukční smyčkou umístěnou těsně před stopčárou. Detekce chodců na přechodu pro chodce je zajištěna výzvodným tlačítkem na sloupu pro světelnou signalizaci.

Změna skladby fáze okamžitým doplněním nekolizního volna do probíhající fáze

Je alternativou vkládání fáze na výzvu, spočívá v doplnění volna nekolizní signální skupiny do probíhající fáze. Pro signální skupiny s dlouhým vyklizovacím časem a malou intenzitou, např. tramvaj jedoucí do oblouku nízkou rychlostí. V tomto režimu řízení je nutné použít pružné fázové přechody.

6.2. Koordinace SSZ

Koordinací signálních plánů na sousedních křižovatkách se dosáhne kratších dob zdržení v koordinovaných směrech a zamezí se tak možnému vzduť proudů vozidel, který by v případě nekoordinovaného řízení mohl být zastaven na červený signál stůj na následující křižovatce. Koordinace je účelná, pokud jsou křižovatky vzdálené od sebe méně než 750 metrů. V případě řešených křižovatek, kdy je vzdálenost pouze 150 metrů je koordinace nezbytná, jelikož by v zatížených směrech mohlo vzniknout vzduť, které by dosáhlo až předchozí křižovatky. Koordinace se navrhuje na základě progresivní rychlosti, která se odvozuje z rychlosti čela kolony. Obecně platí: $0,85 \cdot V \leq V_p \leq V$, kde V je nejvyšší dovolená rychlost. Hodnotu progresivní rychlosti snižuje vysoký podíl nákladních vozidel, malé poloměry oblouků, výrazné stoupání a také denní doba. V dopravních špičkách bude nižší, než v dopravním sedle. Pro koordinaci platí, že všechny koordinované křižovatky mají stejnou délku cyklu, případné odchylky jsou pouze krátkodobé a musejí se v následujícím cyklu dorovnávat. Řízení v koordinaci zelenou vlnou je podrobně popsáno v TP 81 [7].

Pro řešené křižovatky jsem stanovil progresivní rychlost $V_p = 0,9 \cdot V = 45 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Vozidlo ujede vzdálenost 150 metrů mezi stopčárami progresivní rychlostí za $t_K = 12 \text{ s}$.

6.3. Detektory

Návrh dynamického řízení světelně řízených křižovatek si vyžádá mírné stavební úpravy pro instalaci dopravních detektorů. Navrhuji použití indukčních smyček, jejichž instalace do povrchu vozovky není nijak výrazně finančně náročná. Indukční smyčky nijak neovlivňuje počasí, a jsou tak velmi spolehlivé.

Křižovatka I/50 – II/416 Křenovická – varianta 1 – na hlavní silnici v přímém směru, tedy paprsek A, indukční smyčka o délce 3 metry ve vzdálenosti 40 metrů od stopčáry pro měření časové mezery. Řadicí pruh pro levé odbočení z hlavní, paprsek B, indukční smyčka o délce 5 metrů ve vzdálenosti 30 metrů od stopčáry pro detekci vzduť. Na vedlejší silnici, paprsek C, u stopčáry indukční smyčka o délce 3 metry pro detekci přítomnosti stojícího vozidla, indukční smyčka o délce 5 metrů ve vzdálenosti 50 metrů od stopčáry pro detekci vzduť.

Křižovatka I/50 – II/416 Křenovická – varianta 2 – na hlavní silnici stejné jako u varianty 1. Na vedlejší silnici v obou řadicích pruzích je navržena podélná smyčka o délce 20 m v levém pruhu, resp. 30 m v pravém pruhu.

Křižovatka I/50 – Špitálská – na hlavní silnici v přímém směru, na paprsku E, indukční smyčka o délce 3 metry ve vzdálenosti 40 metrů od stopčáry pro měření časové mezery. Na vedlejší silnici, paprsek F, v obou řadicích pruzích podélné smyčky o délce 30 metrů.

6.4. Navržené dynamické řízení

Dynamické řízení jsem navrhnul za pomoci mikrosimulačního software PTV VISSIM 7 a nastavbových aplikací VISSIG a VisVAP 2.16. V aplikaci VISSIG pro tvorbu pevných signálních plánů jsem na základě tabulek mezičasů definoval všechny použité fázové přechody podle včetně minimálních délek zelených signálů, které jsou tak součástí fázových přechodů podle navrženého sledu fází pro dynamické řízení. Následně jsem aplikaci VisVAP 2.16 navrhnul vývojový diagram dynamického řízení pro každou křižovatku, kde se rovněž definují proměnné minimální a maximální délky zelených signálů.

Pro obě křižovatky jsem navrhnul rozdílný režim řízení, který je vždy odlišný pro ranní a odpolední špičku. Navržené řízení pro jednotlivé období se vzájemně liší maximální a minimální délkou zelené na hlavní a vedlejší silnici, a definicí kritéria prodlužování určité zelené fáze.

Návrh fází vychází z návrhu pro řízení s pevným signálním plánem viz. kapitola 5.3. *Návrh sledu fází.*

Dynamické řízení obou křižovatek ve variantě se dvěma pruhy na vjezdu z vedlejší silnice je navrženo jako čtyřfázové, kdy třetí fáze je na výzvu a bude spuštěna na základě vyhodnocení aktuálních požadavků z dopravních detektorů. Čtvrtá fáze je vložena do přechodu mezi fází F2 a fází F1. V případě, že je fáze F3 detekována, tak po ní následuje rovněž fáze F4, aby byla jednotně definována následná délka fáze F1 v obou možných případech.

Grafické znázornění návrhu a sledu fází pro signální plán s dynamickým řízením je součástí přílohy 7. Pro úspěšnou koordinaci je navrženo dynamické řízení s pevnou délkou cyklu, kterou jsem zvolil 60 sekund.

6.5. Varianta 1

6.5.1. Křižovatka I/50 – Křenovická

Návrh fází – fáze F1 a F2 jsou totožné i v návrhu s pevným signálním plánem. Jelikož aplikace VisVAP umožňuje označení fází pouze čísly, jsou proto alternativní fáze F3a a F3b označeny jako F3 a F4.

Fáze F1 – na hlavní silnici plné signály VA a VB, u signálu VB je levé odbočení z hlavní s předností v jízdě protijedoucích vozidel.

Fáze F2 – na hlavní silnici plný signál VB s vyklizovací šipkou KB pro bezkolizní levé odbočení z hlavní, na vedlejší silnici doplňková šipka SC pro odbočení vpravo.

Fáze F3 – v případě, že je detekován chodec na přechodu pro chodce, na vedlejší silnici plný signál VC s předností chodců na přechodu pro chodce na paprsku A, signály PA1, PA2, současně blikající žluté světlo ve tvaru chodce upozorňující na jejich přednost. Fáze F3 s nejkratší možnou délkou za předpokladu, že během fáze F2 odbočila vozidla z vedlejší vpravo během signálu doplňkové šipky SC.

Fáze F4 – alternativní fáze k fázi F3, pokud není detekován chodec na přechodu, pouze plný signál VC na vedlejší.

Režim řízení – délka zeleného signálu volno se přerozděluje mezi fáze F1, F2 a F3 (popř. F4). Délka fáze F1 je omezena minimální délkou MIN_STG1 a maximální délkou fáze MAX_STG1, rozdíl jsem stanovil na 10 sekund, tak že délka zeleného signálu volno pro VA je v intervalu (30; 40) sekund. Prodloužení fáze F1 zajišťuje detekování časové mezery $MAX_GAP \leq 3,0$ s v dopravním proudu na vjezdu VA.

Detekce vzduť v levém odbočovacím pruhu z hlavní silnice na vjezdu VB, které by v případě prodloužení fáze F1 mohlo blokovat přímý směr, může zamezit prodloužení fáze F1. Fáze F2 je závislá na aktuálním času cyklu „cycSecond“. Následující časové údaje platí za předpokladu, že cyklus začíná s červeno-žlutým světlem signálních skupin VA a VB. Čas ukončení fáze F2 je intervalu <43; 48> sekund a následuje přechod na fázi F3. Délka fáze F2 je zkrácena v případě, že je detekována obsazenost detektoru u stopčáry po více než 2,0 sekundy, což znamená, že vozidlo stojící u stopčáry odbočuje vlevo a neumožní tak odbočení ostatním vozidlům vpravo na doplňkovou šipku. Při maximální délce fáze F2 je následná fáze F3 nejkratší možná, tedy s délkou zelené 5 sekund. Zkrácení fáze F3 umožňuje nejdelší trvání zeleného signálu na vjezdu VB a zamezení případného vzduť na paprsku B. Fáze F3 končí v čase $cycSecond = 58$.

Toto popsané řízení odpovídá odpolední dopravní špičce, v ranní špičce je plný signál VA trvale zkrácen na délku zelené 25 až 30 sekund, aby bylo umožněno více kapacitní odbočení vlevo z hlavní na vyklizovací šipku a zamezilo se tak vzduť dopravního proudu.

Vývojový diagram řízení pro křižovatku, definované fázové přechody a navržené signální plány jsou součástí *přílohy 8*. Vzorový navržený signální plán včetně koordinace je v *kapitole 6.5.3. Signální plány a koordinace*.

6.5.2. Křižovatka I/50 – Špitálská

Návrh fází

Fáze F1 – na hlavní silnici plné signály VD a VE, levé odbočení na signál VD je s předností v jízdě protijedoucích vozidel.

Fáze F2 – plný signál VD, vyklizovací šipka KD, doplňková šipka pro odbočení vpravo z vedlejší SF.

Fáze F3 – v případě, že je detekováno vozidlo pro levé odbočení z vedlejší, aktivní plný signál VC.

Fáze F4 – aktivní plný signál VE na vedlejší a doplňková šipka pro přímý směr SD na hlavní silnici. Při přímém přechodu z fáze F2 do fáze F1 by se pouze deaktivovala vyklizovací šipka KD a aktivoval se plný signál VE. Mohlo by tak dojít k nebezpečným situacím, když řidič odbočující vlevo na stále aktivní plný signál VD nebude očekávat opětovné spuštění signálu VE pro vozidla jedoucí po hlavní silnici z protisměru. V této

fázi tak bude po určitou minimální dobu plný signál VD neaktivní, na kapacitě křižovatky toto řešení nijak neubírá, jelikož levé odbočení z hlavní není ze začátku fáze možné z důvodu protijedoucích vozidel. Fáze F4 bude zařazena i mezi fáze F3 a F1, kvůli jednotné definici délky fáze F1.

Režim řízení

Uspořádání křižovatky se dvěma řadícími pruhy na vedlejší silnici umožňuje fixní délku fáze F3, délka zeleného signálu se tak přerozděluje pouze mezi fázemi F1 a F2. Délka fáze F1 je opět stanovena proměnnými MAX_STG1 a MIN_STG1, délka zeleného signálu VE je v intervalu $\langle 30; 39 \rangle$ sekund. Prodlužování fáze zajišťuje detekování časové mezery, pokud $MAX_GAP \leq 3,0$ s. Fáze F2 je následně prodloužena o případné zkrácení fáze F1. Ukončení fáze F2 je nadále závislé na aktuálním času cyklu. Následující časové údaje platí za předpokladu, že cyklus začíná červeno-žlutým světlem signální skupiny VD, tedy fázovým přechodem F4-F1. Je-li detekováno vozidlo na levé odbočení z vedlejší, v čase $cycSecond = 43$ je aktivován fázový přechod F2-F3. V případě, že není vozidlo vlevo detekováno, je fáze F2 prodloužena až do času $cycSecond = 51$ a je zahájen fázový přechod F2-F4. Případná fáze F3 s plným signálem VF je rovněž ukončena v čase $cycSecond = 51$ a je zahájen fázový přechod F3-F4.

Toto popsané řízení odpovídá ranní dopravní špičce, v odpolední špičce je plný signál VE trvale zkrácen na délku zelené 30 sekund, aby bylo umožněno více kapacitní odbočení vlevo z hlavní na vyklizovací šipku a zamezilo se tak vzduť dopravního proudu.

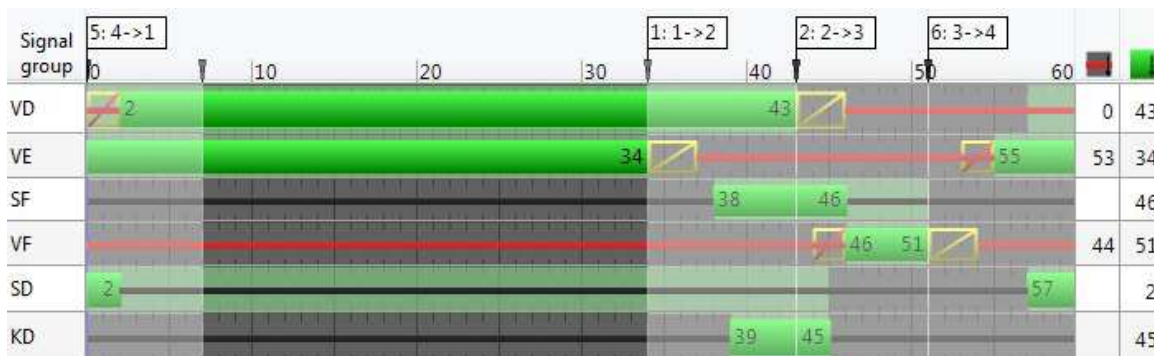
Vývojový diagram řízení pro křižovatku, definované fázové přechody a navržené signální plány jsou součástí *přílohy 9*. Vzorový navržený signální plán včetně koordinace je v následující kapitole *6.5.3. Signální plány a koordinace*.

6.5.3. Signální plány a koordinace

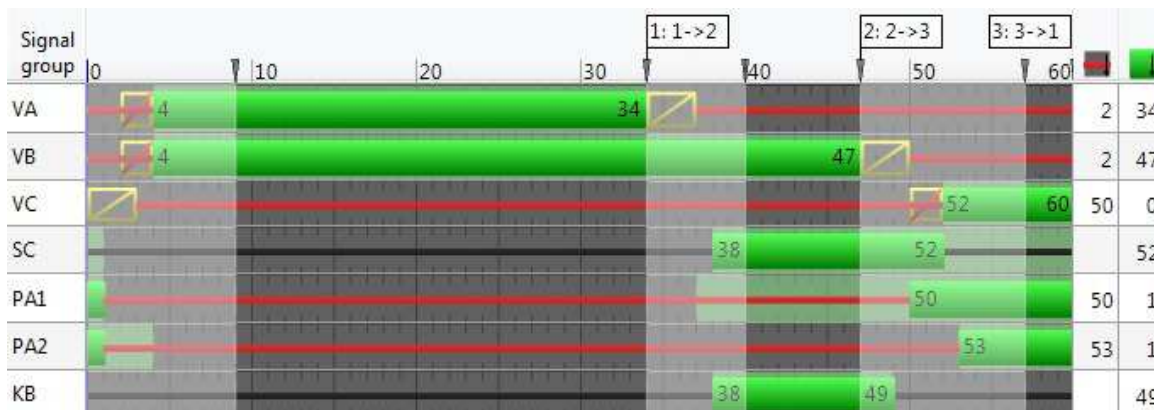
V kapitole 6.2. *Koordinace* byla stanovena progresivní rychlost a doba, za kterou ujede vozidlo vzdálenost mezi stopčarami, která činí $t_K = 12$ s. Návrh koordinace jsem provedl primárně vždy pro zatížený špičkový směr, tedy ráno od křižovatky I/50 – Špitálská ke křižovatce I/50 – Křenovická, odpoledne naopak. V opačném směru, tedy naproti dopravní špičce je intenzita obvykle poloviční oproti zatíženému směru. Primárně jsou koordinované plné signály v přímém směru na hlavní komunikaci, lze tedy rovněž předpokládat, že část vozidel odbočujících vpravo z vedlejší na doplňkovou

šipku nebo na plný signál, bude zastaveno případným červeným signálem „stůj“ na následující křižovatce. V případě směru v ranní špičce bude zelený signál VB začínat 9 sekund po signálu VE. V ranní špičce bude plný signál VD, resp. doplňková šipka, začínat 8 sekund po počátku zeleného signálu VA.

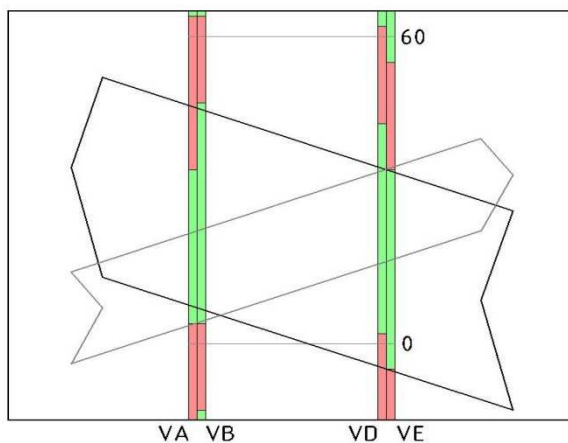
Následuje příklad signálních plánů již v koordinovaném posunu pro ranní špičku s maximální délkou zelené na hlavní silnici a detekováním fáze F3 (Špitálská) včetně vyznačených fázových přechodů. Koordinované signály VE → VB (55 → 04)



Obrázek 9 – signální plán křižovatky I/50 – Špitálská

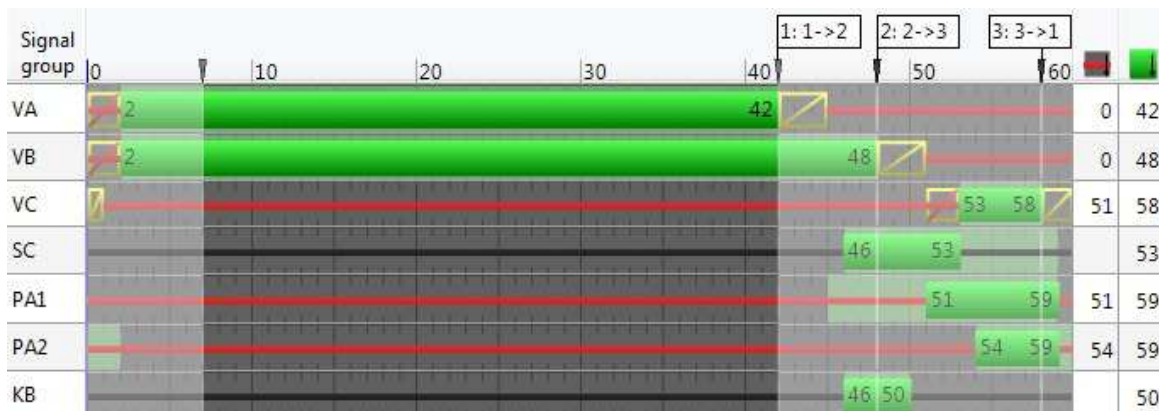


Obrázek 10 – signální plán křižovatky I/50 – Křenovická

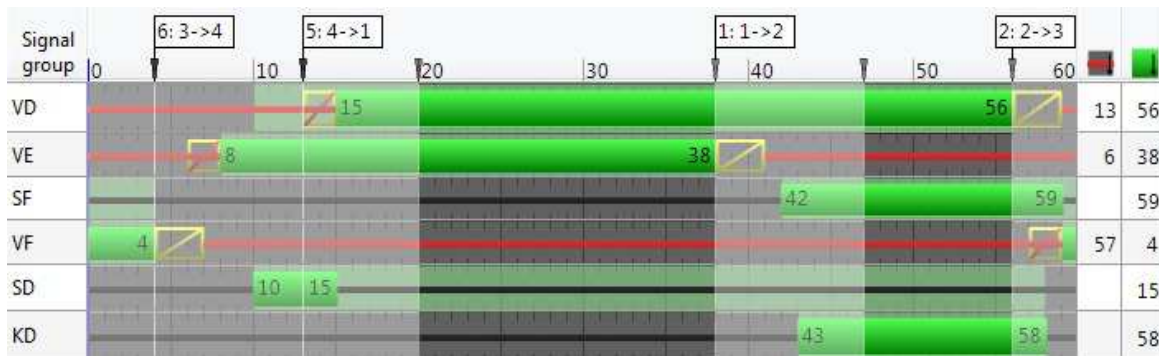


Obrázek 11 – koordinační schéma pro ranní špičku

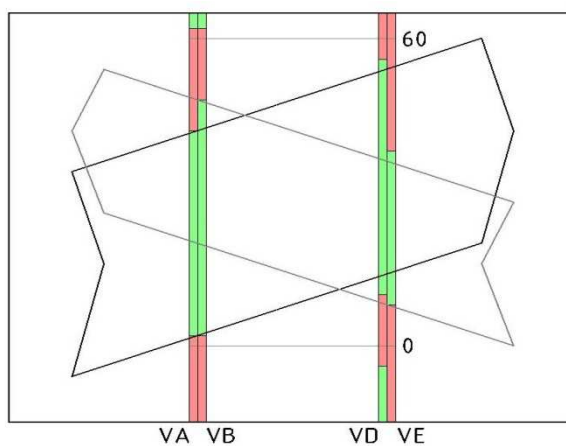
Následuje příklad signálních plánů obou křižovatek v koordinaci signálů VA → VD (SD) (02 → 10) s maximální délkou zelené a aktivní fáze F3 pro odpolední špičku.



Obrázek 12 – signální plán křižovatky I/50 – Křenovická



Obrázek 13 – signální plán křižovatky I/50 – Špitálská



Obrázek 14 – koordinační schéma pro odpolední špičku

6.6. Varianta 2

6.6.1. Křižovatka I/50 – Křenovická

Návrh fází

Fáze F1 a F2 jsou totožné i v návrhu s pevným signálním plánem. Alternativní fáze F3a a F3b jsou opět uvedeny jako fáze F3 a F4 z důvodů oznčování v aplikaci VisVAP. Návrh fází je navržen na stejném principu jako u křižovatky I/50 – Špitálská s výjimkou přechodu pro chodce.

Fáze F1 – plné signály VA a VB na hlavní silnici, odbočení vlevo z hlavní s předností protijedoucích vozidel.

Fáze F2 – plný signál VB, vyklizovací šipka KB, doplňková šipka SC, v této variantě vozidla na doplňkovou šipku SC odbočují vpravo bez omezení, jelikož mají vlastní řadicí pruh na rozdíl od varianty 1.

Fáze F3 – v případě, že je detekován chodec na přechodu pro chodce, nebo je detekováno vozidlo v samostatném řadicím pruhu paprsku C pro levé odbočení z vedlejší. Plný signál VC a signály pro chodce PA1, PA2 na přechodu přes paprsek A, současně blikající žluté světlo ve tvaru chodce upozorňující na jejich přednost.

Fáze F4 – alternativní fáze k fázi F3 v případě, že není nedekován chodec, ale je detekováno vozidlo pro levé odbočení na paprsku C. Aktivní plný signál VC.

Fáze F5 – na hlavní silnici aktivní plný signál VA a doplňková šipka pro přímý směr SB. Je zařazena mezi fáze F2 a F1 pokud není vyvolána fáze F3/F4 z výše popsaných bezpečnostních důvodů. Kvůli jednotnému definování délky fáze F1 je fáze F5 zařazena i mezi fáze F3/F4 a F1, stejně jako u křižovatky I/50 – Špitálská (fáze F4).

Režim řízení

Stavební uspořádání ve variantě 2 se dvěma řadicími pruhy na vedlejší umožňuje fixní délku fáze F3/F4. Délka zeleného signálu se přerozděluje mezi fáze F1 (VA) a F2 (SC). Délka fáze F1 je stanovena proměnnými MAX_STG1 a MIN_STG1, zelený signál VE \in (30; 40) s. Fáze F1 je prodloužena v případě že není detekována časová mezera větší jak 3,0 sekundy. Délka fáze F2 opět dorovnává případné zkrácení fáze F1. Je-li detekováno vozidlo na odbočení vlevo z vedlejší, nebo je detekován chodec na přechodu pro chodce, je fáze F2 ukončena v čase $cycSecond = 48$, a přechází ve fázi F3 (chodec nebo levé odbočení), resp. ve fázi F4 (pouze levé odbočení). Jinak je fáze F2 prodloužena až do času $cycSecond = 58$, kdy přechází ve fázi F5. Fáze F3/F4

rovněž v čase $cycSecond = 58$ končí a přecházejí ve fázi F5 a okamžitě ve fázi F1. Uvedené časy opět platí pro cyklus, který začíná červeno-žlutým světlem signálu VA. Toto popsané řízení odpovídá odpolední dopravní špičce, v ranní špičce je plný signál VA opět trvale zkrácen na délku zelené 25 až 30 sekund.

Vývojový diagram řízení pro křižovatku je součástí přílohy, definované fázové přechody a navržené signální plány jsou součástí *přílohy 10*

6.6.2. Křižovatka I/50 – Špitálská

Režim řízení a sled fází na této křižovatce je totožný s variantou 1, viz. *kapitola 6.5.2. Křižovatka I/50 – Špitálská*, včetně specifikací podmínek a proměnných hodnot pro ranní i odpolední špičku.

6.6.3. Signální plány a koordinace

Koordinace světelné signalizace řešených křižovatek ve stavební variantě 2 je navržena stejným způsobem včetně stejného časového posunu signálních plánů jako ve variantě 1 viz. *kapitola 6.5.3. Signální plány a koordinace*.

7. Ověření návrhu v simulačním prostředí VISSIM

V této práci jsem navrhoval dynamické řízení světelně řízených křižovatek, které reaguje na aktuální dopravní situaci v řešených dopravních uzlech. Toto řízení není možné jednoznačně předpovědět a není možné kapacitně posoudit navržené řešení. V případě pevných signálních plánů lze navržené řešení kapacitně posoudit podle předem stanovených výpočtů, např. TP235 [10]. V případě dynamického řízení lze navržené řešení posoudit pomocí dopravního modelu, nejčastěji jde o abstraktní nástroj, jehož úkolem je zjednodušit realitu. Řešením na úrovni jednotlivých dopravních uzlů se zabývají mikrosimulační programy. Jeden z nejpoužívanějších software pro dopravní simulace byl vyvinut německou společností PTV, která nabízí mikrosimulační program PTV VISSIM, pro makrosimulace byl vyvinut PTV VISUM. Simulaci navrženého řešení jsem provedl ve verzi PTV VISSIM 7 a nástavbové aplikaci VisVAP 2.16., které společnost PTV poskytuje studentům pro studijní účely zdarma na základě potvrzeného formuláře. Aplikace VisVAP se mimo jiné používá rovněž na návrh liniového řízení dopravy, preferenci MHD, ramp metering, uzavření jízdního pruhu pro určitou třídu vozidel, dynamické směřování vozidel a hlavně také dynamické řízení uzlu pomocí SSZ včetně koordinace.

Zdrojem informací k tvorbě simulace je manuál k aplikaci [11]. Práce v tomto software je rovněž vyučována na Fakultě dopravní ČVUT, kde je pro studenty dostupný v počítačových učebnách.

7.1. Postup vytvoření dopravního modelu

Před vytvářením modelu je třeba získat všechna potřebná dopravně-inženýrská data, zejména směrové intenzity vozidel za daný čas s rozlišením skladby dopravního proudu. Postup vytvoření dopravního modelu vychází PTV Vissim User Manual [11].

Základem je vložení mapového podkladu ve formátu .dwg z Autodesk AutoCADu, nebo lze použít rovněž i formát .jpg. Následuje vytvoření základní dopravní sítě pomocí linek „*links*“, u kterých lze definovat šířku, směr provozu, třídy vozidel pro které je určena. Linky se spojují spojnicemi „*connectors*“, používají se často v obloucích nebo u rozvětvení jízdních pruhů a také přímo v křižovatkách. Na vytvořenou dopravní síť jsem vložil vodorovné dopravní značení, jedná se o směrové šipky, případně přechody pro chodce.

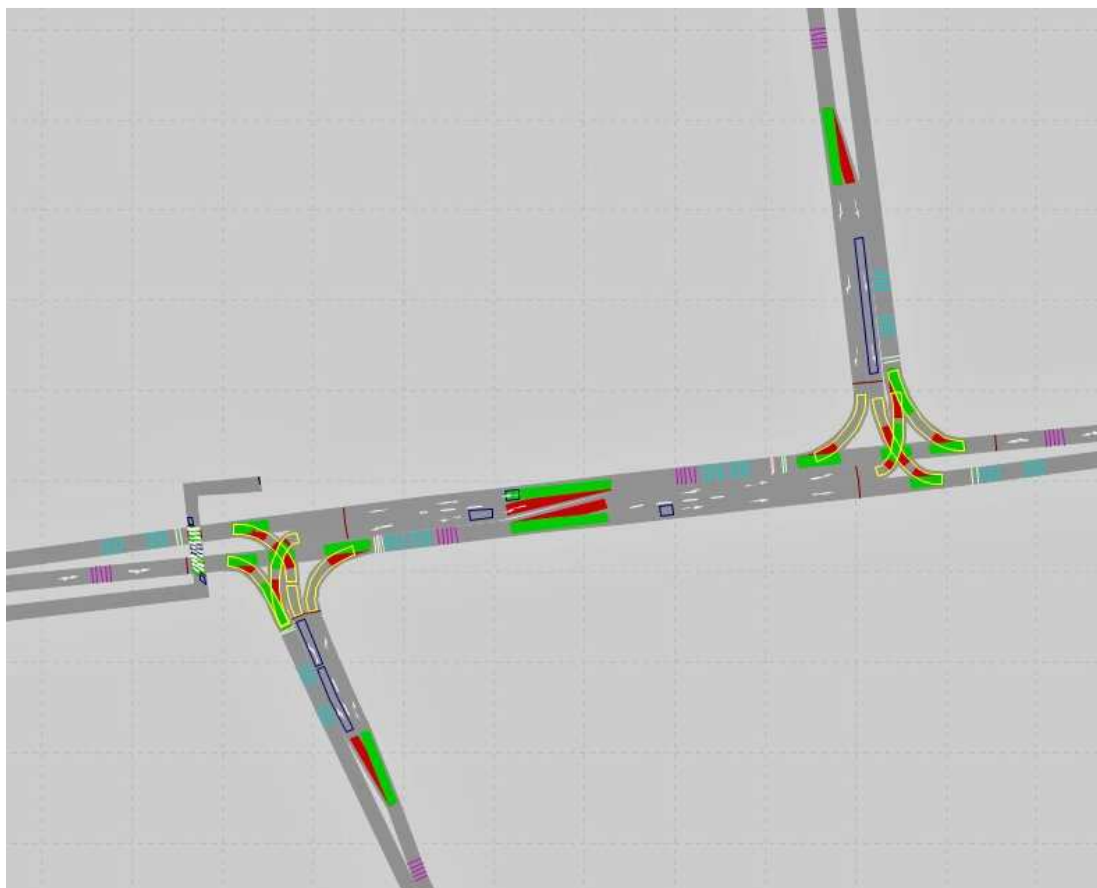
Přednosti v jízdě je možné definovat pomocí dvou nástrojů. Na obou křižovatkách jsem využil stanovení přednosti v jízdě pomocí konfliktních zón, funkce „*conflict areas*“. Ve

všech křižovatkových proudech mimo přímý směr na hlavní silnici jsem stanovil redukované rychlostní zóny „*reduced speed areas*“, opět lze po každou kategorii vozidel zvlášť, např. pro osobní automobily 30 km/h, pro nákladní vozidla 20 km/h.

Následuje definování vlastní skladby dopravního proudu „*vehicle composition*“. Skladbu proudu lze definovat poměrem podle tříd, nebo vhodnější je uvažovat každou třídu vozidel zvlášť. V modelu jsem použil definované třídy podle zpracovaného dopravního průzkumu (kapitola 2.7. Zpracování dat). U každé kategorie vozidel se rovněž definuje rychlostní distribuce „*speed distribution*“, která v mém modelu odpovídá maximální povolené rychlosti na pozemních komunikacích mimo obec s určitým rozptylem. V místech, kde je požadována nižší rychlost, tedy zejména na území obce, se stanoví rychlostní limity „*desired speed decisions*“.

Vytvoření modelu pro posuzovanou denní dobu vyžaduje vložení vstupů vozidel „*vehicle inputs*“ na všech vjezdech do oblasti, dle každé třídy vozidel zvlášť „*vehicle classes*“. Největší přesnosti modelu dosáhneme co největším zkrácením intervalů na vstupu. V mém modelu jsem použil intenzity v 5-ti minutových intervalech. Intenzita se zadává pro každý časový interval přepočtená na hodinu. Následuje definice intenzit jednotlivých křižovatkových proudů pomocí nástroje „*vehicle routes*“ opět pro každou třídu vozidel zvlášť. Tyto „trasy“ se definují poměrem, pro přehlednost je nejvhodnější do poměru zadat skutečné hodnoty intenzit.

Pokud v modelu navrhujeme řízení pomocí SSZ, je třeba umístit stopčáry „*signal heads*“ na každý jízdní pruh. Pomocí karty „*Signal Controllers*“ v aplikaci VISSIG se definují pro danou křižovátku vypočtené tabulky mezičasů, všechny signální skupiny včetně minimálních délek zelené, jednotlivé fáze a jejich pořadí, přiřazení signálních skupiny jednotlivým fázím. Následně se definují všechny použité fázové přechody. Pro řízení pomocí pevného signálního plánu je rovněž potřeba vytvořit signální plán, nicméně i pro dynamické řízení je vhodné signální plán vytvořit pro větší přehlednost a následnou tvorbu vývojového diagramu. Předem vytvořené fázové přechody tvorbu signálního plánu výrazně usnadní. Každé stopčáře „*signal head*“ je následně nutné přiřadit danou signální skupinu a signální plán (číslo „*Signal controllers*“).



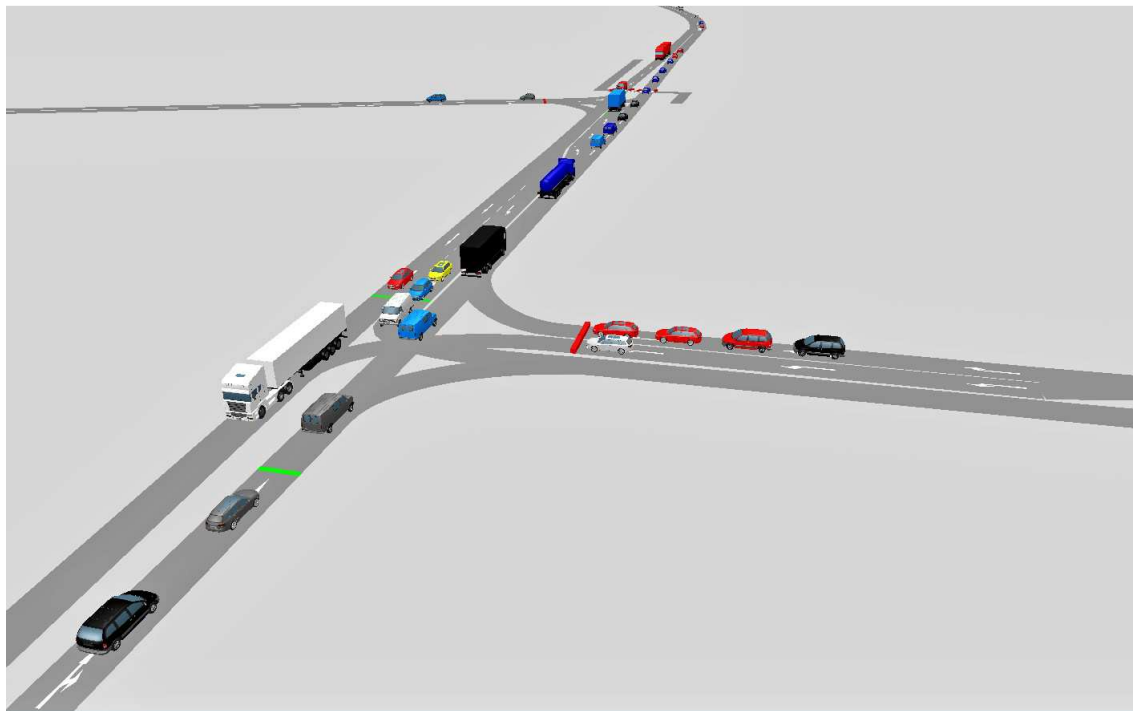
Obrázek 15 – model dopravní sítě ve stavební variantě 2

7.1.1. Návrh dynamického řízení

Následný návrh dynamického řízení vyžaduje exportování dat ze Signal controllers do souboru s příponou PUA, který definuje všechny fázové přechody a startovací fázi. V grafickém prostředí nastavbové aplikace VisVAP 2.16. se navrhuje logika řízení. Jeho výhodou je intuitivní a rychlá tvorba strategie řízení pomocí vývojových diagramů, bez větších znalostí programování. Vývojový diagram se navrhuje pomocí úseček a šesti typů symbolů, z nichž čtyři mají vliv na rozhodování programu. Jedná se o symbol „*terminus*“ pro stanovení počátku a konce programu, „*statement*“ pro definici příkazů, nebo přiřazení, symbolem „*condition*“ se určují logické podmínky, ve kterých se větví program, symbolem „*call of subroutine*“ se vyvolává podprogram se samostatným algoritmem. Složitější podmínky je pro přehlednost vhodné definovat v oknu „*Expressions*“ a jednotlivé parametry v oknu „*Parameters*“, kde je možné definovat více hodnot k jednomu parametru, pokud navrhujeme rozdílné řízení se stejným vývojovým diagramem. Pokud máme algoritmus vytvořený, program zkontroluje všechny logické vazby mezi prvky a převede výstupní soubor VV na soubor

s příponou VAP, který vkládáme do mikrosimulačního modelu v kartě Signal Controllers společně s vyexportovaným souborem PUA z aplikace VISSIG.

Návrh dynamického řízení pro obě řešené křižovatky je popsán v předchozích kapitolách (6.4. *Návrh dynamického řízení*, 6.5. *Varianta 1*, 6.6. *Varianta 2*).



Obrázek 16 – simulace ranní špičky, pohled od paprsku E

7.2. Vyhodnocení modelu

Pro vyhodnocení navrženého řešení jsem vytvořil modely pro jednotlivé časové období na základě provedených dopravních průzkumů vždy pro obě navržené stavební varianty.

- Pondělní ranní špička
- Středeční ranní špička
- Středeční odpolední špička
- Páteční odpolední špička, měřeno v roce 2013
- Páteční odpolední špička, měřeno v roce 2015

Pro ověření navrženého řízení jsem rovněž vytvořil a vyhodnotil modely s návrhovými intenzitami v horizontu 10 let, tedy pro rok 2025. Modely s výhledovými intenzitami jsem vytvořil pro následující období:

- Středeční ranní špičku
- Středeční odpolední špičku

Do modelu jsem vložil fiktivní brány „*Travel time measurement*“, pomocí kterých zjistíme informace o střední době zdržení „*Delay*“ při průjezdu křižovatkou v daném směru. Na základě průměrné střední doby zdržení jsem přiřadil každému křižovatkovému směru stupeň ÚKD, který je základní charakteristikou kvality dopravy na křižovatce. Simulaci jsem nastavil na délku 4200 sekund, vyhodnocení proběhlo v čase $t \in (600; 4200)$ s, tedy přesně po dobu jedné hodiny. Začátek vyhodnocení je záměrně posunut od 10 minut kvůli postupnému naplňování křižovatky od začátku simulace. Vyhodnocení simulace jsem provedl v intervalu 5 minut (300 sekund) z nichž je vypočítána i průměrná hodnota za simulovanou hodinu. Simulaci každého modelu jsem provedl celkem 10 krát. Výsledné hodnoty jsou průměrem zdržení všech simulačních kol.

Zavedením řízení pomocí světelné signalizace lze předpokládat malý nárůst vozidel odbočujících vlevo z hlavní silnice. Za předpokladu nedetekování levého odbočení vlevo z vedlejší mají přímé směry na hlavní silnici (vjezdy VB a VD) trvalý zelený signál, zajištěný v přechodové fázi doplňkovou šipkou. Pro ověření potenciálního nárůstu vlevo odbočujících vozidel jsem vždy na druhé křižovatce v zatíženém směru (v ranní špičce I/50 – Křenovická, odpoledne I/50 – Špitálská) zajistil aktivaci fáze F3, popř. F4 s plným signálem VC, resp. VF v nejkratším možné délce v každém cyklu. Tímto opatřením jsem ověřil, že koordinace funguje v pořádku a ani za předpokladu výzvy fáze F3 se nevytvoří vzduť mezi řešenými křižovatkami v zatíženém směru. Všechny soubory vytvořených simulací naleznete v *elektronicky v příloze C*.

7.2.1. Vyhodnocení modelu se současnými intenzitami

Následuje vzorová Tabulka 28 – vyhodnocení střední doby zdržení pro pondělní ranní špičku ve stavební variantě 1. Všechny tabulky pěti posuzovaných, výše uvedených časových období v obou stavebních variantách, jsou součástí *přílohy 11*. Ve vzorové tabulce je vyhodnocení zobrazeno v intervalech po 300 sekundách, kde jsou průměrné hodnoty zdržení ze všech simulačních běhů z daného časového intervalu. Ve spodních řádcích je průměrná střední doba zdržení ze všech simulačních kol a na jejím základě je vyhodnocen stupeň ÚKD. Za vzorovými tabulkami jsou uvedeny souhrnné tabulky průměrných středních dob zdržení. S výjimkou vjezdů VA a VE, jsem všechny ostatní označil s indexem, který značí směr jízdy. Jsou použity písmena P (pravé odbočení), L (levé odbočení), R (přímý směr). Ve stavební variantě 1 je uvedeno průměrné zdržení

celého vjezdu VC a zvlášť pouze vozidla směřující vlevo jako VC_L přesto, že je jeden řadicí pruh na vjezdu. Po dokončení vybraných simulací se objevila chybová zpráva, že v daný čas nemohl být na dané komunikaci dokončen vstup, vždy se jednalo o jedno vozidlo, které nemohlo být do simulace dodané. Tato chyba však nemá vliv na správnost simulace, jelikož nebyla způsobena vzdutím od křižovatky, ale z jasně neidentifikovatelných důvodů. Vstupní křižovatková ramena jsou dostatečně dlouhá, aby nezasáhlo vzdutí dopravního proudu až k jejich počátku.

Tabulka 28 – střední doba zdržení

Střední doba zdržení [s] – pondělí – ranní špička – varianta 1										
křižovatka	I/50 – II/416 Křenovická					I/50 – III/0501 Špitálská				
signál	VA	VB_R	VB_L	VC	*VC_L	VD_R	VD_L	VE	VF_P	VF_L
interval [s]										
600	9,2	3,8	8,4	16,3	26,6	0,2	15,3	11,0	24,0	26,0
900	9,5	3,2	5,6	14,0	0,0	0,2	13,2	11,8	23,7	0,0
1200	9,6	3,1	6,6	16,0	34,4	0,2	14,3	9,9	22,8	0,0
1500	10,7	4,5	12,7	11,7	37,1	0,4	14,1	9,7	22,5	32,4
1800	10,7	3,9	11,4	14,6	21,9	0,4	12,3	9,2	24,4	57,0
2100	10,8	2,5	8,0	18,5	25,9	0,3	14,5	9,3	19,6	0,0
2400	9,9	3,3	8,8	17,9	22,7	0,3	16,8	10,3	20,6	25,8
2700	9,3	4,4	6,0	12,7	0,0	0,3	11,8	8,8	30,5	0,0
3000	10,0	3,8	9,2	13,6	12,5	0,3	16,3	9,6	27,4	48,5
3300	11,3	4,6	12,2	26,0	30,0	0,2	10,4	8,0	28,0	48,2
3600	11,4	4,1	11,8	20,3	29,2	0,3	9,9	8,2	25,3	40,2
3900	10,3	3,3	9,3	15,6	0,0	0,3	13,2	8,4	19,8	50,7
Průměr	10,2	3,7	9,2	16,4	25,2	0,3	13,5	9,5	24,0	37,7
ÚKD	A	A	A	A	B	A	A	A	B	C

Následuje souhrn průměrných dob zdržení a srovnání obou stavebních variant pro každý vytvořený model na základě provedených dopravních průzkumů. Zdržení vjezdu VC_(P) ve stavební variantě 1 vyjadřuje celkové zdržení na vjezdu VC, ve variantě 2 vyjadřuje dobu zdržení pravého odbočení z vlastního řadicího pruhu.

Tabulka 29 – střední doba zdržení, srovnání

Střední doba zdržení [s], stupeň ÚKD - pondělí - ranní špička										
	I/50 - II/416 Křenovická					I/50 - III/0501 Špitálská				
Signál	VA	VB_R	VB_L	VC_(P)	VC_L	VD_R	VD_L	VE	VF_P	VF_L
Var 1	10,2	3,7	9,2	16,4	25,2	0,3	13,5	9,5	24,0	37,7
	A	A	A	A	B	A	A	A	B	C
Var 2	10,2	2,8	7,9	14,3	31,9	0,4	13,3	9,7	24,7	39,7
	A	A	A	A	B	A	A	A	B	C

Tabulka 30 – střední doba zdržení, srovnání

Střední doba zdržení [s], stupeň ÚKD - středa - ranní špička										
	I/50 - II/416 Křenovická					I/50 - III/0501 Špitálská				
Signál	VA	VB_R	VB_L	VC_(P)	VC_L	VD_R	VD_L	VE	VF_P	VF_L
Var 1	10,8	4,7	11,8	15,0	22,9	0,4	11,3	8,5	25,3	36,7
	A	A	A	A	B	A	A	A	B	C
Var 2	15,0	2,9	9,8	10,1	26,4	0,5	10,3	8,8	25,6	37,0
	A	A	A	A	B	A	A	A	B	C

Tabulka 31 – střední doba zdržení, srovnání

Střední doba zdržení [s], stupeň ÚKD - středa - odpolední špička										
	I/50 - II/416 Křenovická					I/50 - III/0501 Špitálská				
Signál	VA	VB_R	VB_L	VC_(P)	VC_L	VD_R	VD_L	VE	VF_P	VF_L
Var 1	10,1	3,8	22,8	21,3	26,1	1,4	9,5	11,2	13,7	21,6
	A	A	B	B	B	A	A	A	A	B
Var 2	10,3	2,5	16,3	19,6	29,7	1,2	8,8	11,1	13,3	21,5
	A	A	A	A	B	A	A	A	A	B

Tabulka 32 – střední doba zdržení, srovnání

Střední doba zdržení [s], stupeň ÚKD - pátek (2013) - odpolední špička										
	I/50 - II/416 Křenovická					I/50 - III/0501 Špitálská				
Signál	VA	VB_R	VB_L	VC_(P)	VC_L	VD_R	VD_L	VE	VF_P	VF_L
Var 1	11,2	3,9	29,7	23,3	29,6	1,6	9,2	10,5	13,9	23,3
	A	A	B	B	B	A	A	A	A	B
Var 2	12,0	2,8	21,8	20,2	32,9	1,4	8,6	10,5	13,6	22,8
	A	A	B	B	B	A	A	A	A	B

Tabulka 33 – střední doba zdržení, srovnání

Střední doba zdržení [s], stupeň ÚKD - pátek (2015) - odpolední špička										
	I/50 - II/416 Křenovická					I/50 - III/0501 Špitálská				
Signál	VA	VB_R	VB_L	VC_(P)	VC_L	VD_R	VD_L	VE	VF_P	VF_L
Var 1	8,3	3,1	20,8	36,1	41,1	2,6	12,5	11,2	13,2	21,5
	A	A	B	C	C	A	A	A	A	B
Var 2	10,2	2,3	14,8	20,5	33,3	2,0	10,9	11,0	13,0	21,7
	A	A	A	B	B	A	A	A	A	B

Na základě výsledných hodnot středních dob zdržení a stupně ÚKD je zřejmé, že všechny posuzované varianty kapacitně vyhovují. Všechny přímé směry na hlavní silnici splňují nejlepší stupeň ÚKD A, stupně B dosahují levé odbočení z hlavní, vjezd VB pouze v odpoledních špičkách. Stupeň ÚKD C byl dosažen pouze pro levé odbočení z vedlejší VF_L v ranních špičkách a společný vjezd VC v páteční odpolední špičce ve stavební variantě 1. Ve zmíněné páteční odpolední špičce naměřené v roce 2015 byla intenzita z vedlejší silnice vyšší než obvykle, více o tomto problému je popsáno v kapitole 2.6. *Dopravní průzkum*.

Cílem simulace bylo rovněž porovnat výsledky z obou stavebních variant křižovatky I/50 – Křenovická. Střední doby zdržení na vjezdech křižovatky I/50 – Špitálská v obou variantách simulace jsou dle očekávání téměř totožné. Na křižovatce I/50 – Křenovická vyšly doby zdržení na vjezdu VA rovněž téměř totožné. Určitý trend změny ve všech simulacích lze sledovat u vjezdů VB a VC. Ve variantě 2 jsou doby zdržení na vjezdech VC_(P) a VB_L nižší v průměru o 3 až 7 sekund. Naopak doba zdržení u levého odbočení z vedlejší, tedy VC_L vyšla nižší o 3 až 5 sekund ve variantě 1. Je to způsobené režimem řízení na těchto křižovatkách. Levé odbočení z vedlejší ve variantě 2 je zařazeno ve fixní čas po uplynutí fáze F2, ve variantě 1 se aktivuje signál VC, jakmile je ve fázi F2 detekováno stojící vozidlo u stopčáry. Vozidla odbočující vlevo tak dlouho nečekají, ekvivalentně k tomu jsou vozidla odbočující vpravo občas zdržena během fáze F2. Stavební varianta 2 umožňuje zařazení fáze F3/F4 ve své minimální délce a tak střední doby zdržení na vjezdech VB vychází mírně nižší než ve variantě 1.

7.2.2. Vyhodnocení modelu s návrhovými intenzitami

Návrhové intenzity na silniční síti jsem stanovil pomocí TP 225 Prognóza intenzit automobilové dopravy [12]. Návrhová intenzita se stanoví pomocí tabulky koeficientů vývoje dopravy. Koeficienty jsou závislé na kategorii vozidla (lehké vozidlo, těžké vozidlo) a na kategorii silnice (dálnice, silnice I.třídy, silnice II. a III. třídy).

Tabulka 34 – koeficienty vývoje intenzit dopravy

Rok	I. Třída		II.+III. Třída	
	lehká vozidla	těžká vozidla	lehká vozidla	těžká vozidla
2015	1,10	1,02	1,09	1,01
2025	1,41	1,08	1,37	1,03
Výsledný koeficient	1,28	1,06	1,26	1,02

Výslednými koeficienty jsem v simulaci přenásobil intenzity na vstupu do oblasti („*vehicle inputs*“), směřování vozidel nebylo třeba měnit i přesto, že jsem do směřování vozidel zadával skutečné naměřené hodnoty, jelikož je směřování provedeno poměrově. Poměr odbočování vozidel jsem předpokládal stejný i pro výhledový rok 2025. Výhledové intenzity jsem použil na vytvoření modelu pouze střeďeční ranní i odpolední špičky. Extrémní zatížení v podobě pondělních ranních špiček a pátečních odpoledních špiček nelze pomocí výhledových koeficientů jednoznačně stanovit. Při použití stejných výhledových koeficientů podle TP 225 by vyšel součet intenzit kritických vjezdů přibližně 1800 voz/hod, tedy dopravních proudů číslo 2 + 6 (RŠ na křižovatce I/50 – Špitálská, OŠ na křižovatce I/50 – Křenovická). Při tak vysokých intenzitách a stejném stavebním uspořádání dosahuje stupeň saturace hodnot $Y > 0,9$, což už je pro křižovatku nepřijatelná hodnota a křižovatka je kapacitně nevyhovující. Lze rovněž předpokládat, že se intenzita v tyto okrajové dny týdne bude vyvíjet jinak, omezujícím faktorem bude nedostačující kapacita komunikace.

Pro posuzované střeďeční dopravní špičky v roce 2025 jsou výhledové intenzity kritických vjezdů uvedeny v následující tabulce. Stupeň saturace zde dosahuje stále přijatelných hodnot $Y = 0,8$.

Tabulka 35 – výhledové intenzity kritických vjezdů

	I_2 [pvoz/h]	I_6 [pvoz/h]	I_{2+6} [pvoz/h]
ST_RŠ: I/50 – Špitálská	1188	359	1547
ST_OŠ: I/50 – Křenovická	1312	240	1552

Následují tabulky průměrné střední doby zdržení na všech vjezdech do křižovatky pro výhledové intenzity. Kompletní tabulky s průměrnou střední dobou zdržení pro posuzované varianty naleznete v příloze 12.

Tabulka 36 – střední doba zdržení pro výhledové intenzity

Střední doba zdržení [s], stupeň ÚKD – středa (2025) – ranní špička										
	I/50 – II/416 Křenovická					I/50 – III/0501 Špitálská				
Signál	VA	VB_R	VB_L	VC_(P)	VC_L	VD_R	VD_L	VE	VF_P	VF_L
Var 1	11,2	5,4	13,9	15,0	20,5	0,5	14,9	29,2	46,9	60,5
	A	A	A	A	B	A	A	B	C	D
Var 2	16,0	3,1	10,6	10,4	26,2	0,5	12,9	20,0	28,5	41,3
	A	A	A	A	B	A	A	B	B	C

Tabulka 37 – střední doba zdržení pro výhledové intenzity

Střední doba zdržení [s], stupeň ÚKD – středa (2025) – odpolední špička										
	I/50 – II/416 Křenovická					I/50 – III/0501 Špitálská				
Signál	VA	VB_R	VB_L	VC_(P)	VC_L	VD_R	VD_L	VE	VF_P	VF_L
Var 1	15,2	4,4	37,9	29,7	38,5	2,4	14,7	12,1	16,3	23,5
	A	A	C	B	C	A	A	A	A	B
Var 2	11,2	3,1	25,4	25,6	36,8	2,3	13,9	12,1	15,7	23,2
	A	A	B	B	C	A	A	A	A	B

Na základě výsledné střední doby zdržení a stupně ÚKD vyšly všechny vjezdy jako kapacitně vyhovující, avšak na některých vjezdech se blíží hraničním hodnotám.

V odpolední špičce ve stavební variantě 1 vyšlo levé odbočení z hlavní VB_L na hraničním stupni ÚKD C, který odpovídá silnicím I. třídy. Na rozhraní stupně ÚKD C vycházejí i vjezdy z vedlejší silnice VC. Přímé směry na hlavní silnici stále splňují nejlepší stupeň ÚKD A.

V ranní dopravní špičce byly dosaženy vyšší doby zdržení na vjezdech z vedlejší silnice z ulice Špitálské, tedy VF_L a VF_P. Hodnoty vyšly pro obě varianty velmi rozdílně i přesto, že režim řízení zůstává na křižovatce I/50 – Špitálská pro obě varianty stejný. Ve variantě 1 bylo na vjezdu VF_L dosaženo stupně ÚKD D, tento vjezd je stále vyhovující, jelikož se jedná o místní komunikaci a silnici III. třídy, kde je požadován nejvyšší stupeň ÚKD E. Při detailním pohledu do podrobných tabulek v příloze 12 je zřejmé že na vjezdech VF střední doba zdržení dosahovala v některých časových intervalech hodnot kolem 100 sekund.

7.2.3. Shrnutí simulace

Návrh dynamického řízení na obou sledovaných křižovatkách byl simulací úspěšně ověřen. Výsledné střední doby zdržení na křižovátku I/50 – Křenovická ve variantě 2 nevyšly výrazně nižší, jak by se dalo předpokládat na vjezdu z vedlejší silnice. Je to dáno velmi slabou intenzitou levého odbočení. V tomto směru lze předpokládat mírný nárůst intenzity odbočení vlevo po zavedení světelné signalizace. Stavební uspořádání varianty 1 s jedním jízdním pruhem na vjezdu by pak mohlo být kapacitním omezením této křižovatky. Pro zajištění dostatečné kapacity křižovatek i v krátkodobém výhledu do 10 let doporučuji návrh stavební varianty 2 se dvěma řadícími pruhy na vedlejší silnici. Přínosem varianty 2 je především déletrvající zelený signál VB na hlavní silnici a tím pádem zamezení případného vzduť dopravního proudu na hlavní silnici. Průměrné doby zdržení v přímém směru VB vycházejí o pouhé 2 sekundy nižší, ale v relativním porovnání je snížení až o 40 %. Střední doby zdržení pro levé odbočení z hlavní silnice na vjezdu VB zejména v odpolední špičce vycházejí přibližně o 30 % nižší.

8. Závěr

Cílem diplomové práce bylo celkové dopravní řešení dvojice stykových křižovatek na silnici I/50 ve Slavkově u Brna s návrhem světelného signalizačního zařízení včetně dynamického řízení. Diplomová práce navazuje na bakalářskou práci zpracovanou v roce 2013, která se zabývala návrhem řízení s pevným signálním plánem v současném stavebním uspořádání.

Byla provedena důkladná analýza současného stavu na křižovatkách ve formě několika směrových průzkumů v dopravních špičkách. Na základě získaných dopravních podkladů byl proveden kapacitní výpočet pro neřízenou křižovatku, který odpovídá současnému stavu a bylo provedeno porovnání naměřených dat s podklady z bakalářské práce. Jako kapacitně nevyhovující byla posouzena křižovatka s ulicí Křenovickou, kde vyšel na levém odbočení z vedlejší silnice stupeň ÚKD E. Kapacitní výpočet ale kvůli výše popsanému chování řidičů neodpovídá skutečnému stavu.

Byla navržena stavební úprava křižovatky I/50 – Křenovická přidáním řadicího pruhu na vjezdu z vedlejší silnice s cílem zvýšit kapacitu křižovatky.

Účelnost zavedení SSZ nebyla jednotlivými kritérii jednoznačně potvrzena, ale celkovým zhodnocením aktuálního stavu na křižovatkách bylo posouzeno zavedení řízení pomocí SSZ jako účelné.

Pomocí metody saturovaného toku byl navržen pevný signální plán a následně provedeno kapacitní posouzení světelně řízené křižovatky pro špičkové intenzity zatížené týdenní dojížděnkou v okrajových dnech pracovního týdne a pro obě stavební varianty. Páteční odpolední špička vychází s nedostatečnou rezervou kapacity na vjezdu.

Na základě nevyhovující rezervy v pevném signálním plánu na vjezdu do křižovatky bylo navrženo dynamické řízení světelné signalizace s prodlužováním zeleného signálu na hlavní silnici na úkor silnice vedlejší podle aktuální dopravní situace a vkládáním fáze na výzvu pro velmi slabé levé odbočení z vedlejší. V rámci dvou blízkých křižovatek bylo navrženo řízení v koordinaci vždy v zatíženém směru, aby se eliminovalo zdržení na hlavní silnici na minimum a aby se zamezilo vzniku vzdutí a zahlcení prostoru mezi řešenými křižovatkami.

Pro ověření návrhu dynamického řízení byl vytvořen mikrosimulační model pro obě stavební varianty. Proběhlo vyhodnocení pro běžné dopravní špičky i extrémně zatížené

špičky v okrajových dnech pracovního týdne. Simulace byla rovněž vytvořena s výhledovými intenzitami pro rok 2025 za účelem posouzení vhodnosti návrhu i do budoucnosti.

Výsledky simulace potvrdily vhodnost návrhu a zvýšení plynulosti dopravy v řešeném území. Porovnáním dvou stavebních variant křižovatky s ulicí Křenovickou se nedošlo k jednoznačnému závěru o výhodnosti varianty 2. Situace na vedlejší silnici zůstává téměř nezměněna. Pouze v případě zvýšené intenzity na vedlejší silnici (data z pátku v roce 2015) vycházela varianta 2 jako výrazně kapacitnější.

Vzhledem k předpokládanému růstu významu vedlejší silnice II/416 doporučuji zavedení dynamického řízení SSZ a realizaci navržených stavebních úprav varianty 2, které v každém případě zajistí lepší plynulost dopravy na hlavní silnici v koordinovaném směru na Brno. Při růstu intenzit na vedlejší silnici rovněž sníží doby zdržení na tomto paprsku.

Návrh zpracovaný v této diplomové práci představuje jak relativně rychle zlepšit aktuální dopravní situaci pro následujících 10 až 15 let bez výrazných a nákladných stavebních úprav celé oblasti. Vzhledem ke stále rostoucím intenzitám automobilové dopravy je zřejmé, že navržené řešení v současném šířkovém uspořádání navazujících silnic, zejména hlavní silnice I/50 od Brna, nebude již v horizontu 20 let kapacitně vyhovovat. V budoucnosti, ne však dříve než v roce 2030, se uvažuje o rozšíření hlavní silnice na čtyřpruhové uspořádání v úseku od dálnice D1 až po mimoúrovňovou křižovatku se silnicí I/54 v jižní části obchvatu Slavkova u Brna. Tento návrh by si vyžádal i kompletní přestavbu řešených křižovatek.

9. Seznam použitých zdrojů

9.1. Knižní zdroje

- [1] PŘIBYL, Pavel a Miroslav SVÍTEK. *Inteligentní dopravní systémy*. 1. vyd. BEN - technická literatura, Praha 2001, 543 s. ISBN 80-7300-029-6.
- [2] PŘIBYL, Pavel. *Inteligentní dopravní systémy a dopravní telematika II*. Praha, skripta ČVUT, 2007.
- [3] NEUWIRTH, Petr. *Simulace návrhu SSZ na komunikaci I/50 Slavkov u Brna*. Praha, 2013. Bakalářská práce. ČVUT, Fakulta dopravní. Vedoucí práce Doc. Ing. Tomáš Tichý, Ph.D.
- [4] *TP 188 Posuzování kapacity neřízených úrovnových křižovatek*, Ministerstvo dopravy, EDIP s.r.o., Koura publishing, Praha 2006
- [5] *ČSN 73 6101 Projektování silnic a dálnic*, Český normalizační institut, Praha 2004
- [6] *ČSN 73 6102 Projektování křižovatek na pozemních komunikacích*, Český normalizační institut, Praha 2007
- [7] *TP 81 Navrhování SSZ pro řízení silničního provozu*, Ministerstvo dopravy, EDIP s.r.o., Praha 2006, číslo 2.
- [8] *ČSN 73 6110 Projektování místních komunikací*, Český normalizační institut, Praha 2006
- [9] *Vyhláška č. 30/2001. Zákona č. 361/2000 Sb., o silničním provozu*, Ministerstvo dopravy, Praha 2001
- [10] *TP 235 Posuzování kapacity světelně řízených křižovatek*, Ministerstvo dopravy, EDIP s.r.o., Praha 2011
- [11] *PTV VISSIM User Manual*, PTV AG, Karlsruhe, Německo 2014
- [12] *TP 225 Prognóza intenzit automobilové dopravy*, Centrum dopravního výzkumu, EDIP s.r.o., Praha 2012

9.2. Internetové zdroje

- [13] Slavkov u Brna, základní informace, dostupné online [15. 9. 2015]:
<http://www.slavkov.cz/index.php/mesto/o-meste/zakladni-informace>
- [14] Slavkov u Brna, územní plány, dostupné online [18. 9. 2015]:
<http://www.slavkov.cz/index.php/radnice/urad/dokumenty/uzemni-plan-y-a-uap/67-vydana-up-dokumentace/up-slavkov-u-brna>
- [15] České dálnice, rychlostní silnice R 49, dostupné online [22. 9. 2015]:
<http://www.ceskedalnice.cz/rychlostni-silnice/r49>
- [16] Dálnice a silnice, silnice I/50, dostupné online [22. 9. 2015]: <http://www.dalnice-silnice.cz/I/I-50.htm>
- [17] Celostátní sčítání dopravy 2010, prezentace výsledků, dostupné online [21. 9. 2015]: <http://scitani2010.rsd.cz/pages/informations/default.aspx>
- [18] Jihomoravský kraj, Model silniční dopravy pro výhledovou síť, dostupné online [5. 10. 2015]: <http://www.kr-jihomoravsky.cz/Default.aspx?ID=128626&TypeID=2>
- [19] Obec Křenovice, územní studie silnice II/416, dostupné online [6. 10. 2015]:
<http://www.obec-krenovice.cz/obecni-urad/uzemni-studie-silnice-ii-416-slavkov-zatcany>
- [20] IDS Jihomoravského kraje, jízdní řády, dostupné online [24. 10. 2015]:
<http://www.idsjmk.cz/linky.aspx>
- [21] Dopravní značení, dostupné online [13. 11. 2015]: <http://www.dopravni-znaceni.eu>
- [22] Statistické vyhodnocení nehod v mapě, dostupné online [8. 10. 2015]:
<http://maps.jdvm.cz/cdv2/apps/nehodyvmape/Search.aspx>
- [23] Mapy.cz, dostupné online [22. 11. 2015]: <http://www.mapy.cz/>
- [24] VŠB-TU Ostrava, Fakulta stavební, Katedra dopravního stavitelství, dostupné online [15. 10. 2015]: <http://kds.vsb.cz/mkk/img66.jpg>

10. Seznam obrázků

Obrázek 1 – mapa oblasti [23]	11
Obrázek 2 – intenzity dopravy širším územím, CSD 2010 [17]	14
Obrázek 3 – poloha křižovatky a označení ramen	17
Obrázek 4 – měření intenzit na křižovatce I/50 – II/416 Křenovická	22
Obrázek 5 – křižovatka I/50 – Špitálská, pohled z paprsku E	25
Obrázek 6 – JDVM, všechny nehody [22].....	35
Obrázek 7 – JDVM, nehody se zraněním [22].....	36
Obrázek 8 – kritérium intenzit z hlediska vozidel [24].....	38
Obrázek 9 – signální plán křižovatky I/50 – Špitálská	61
Obrázek 10 – signální plán křižovatky I/50 – Křenovická	61
Obrázek 11 – koordinační schéma pro ranní špičku	61
Obrázek 12 – signální plán křižovatky I/50 – Křenovická	62
Obrázek 13 – signální plán křižovatky I/50 – Špitálská	62
Obrázek 14 – koordinační schéma pro odpolední špičku	62
Obrázek 15 – model dopravní sítě ve stavební variantě 2	67
Obrázek 16 – simulace ranní špičky, pohled od paprsku E	68

11. Seznam tabulek

Tabulka 1 – intenzity dopravy podle CSD 2010.....	13
Tabulka 2 – kategorie vozidel.....	25
Tabulka 3 – naměřené intenzity dopravy na křižovatce.....	27
Tabulka 4 – naměřené intenzity dopravy na křižovatce.....	27
Tabulka 5 – naměřené intenzity dopravy na křižovatce.....	28
Tabulka 6 – naměřené intenzity dopravy na křižovatce.....	28
Tabulka 7 – stupeň podřazenosti dopravních proudů	30
Tabulka 8 – koeficient zohlednění skladby vozidel neřízené křižovatky.....	30
Tabulka 9 – stupně ÚKD pro neřízenou křižovatku	31
Tabulka 10 – kapacitní posouzení neřízené křižovatky	31
Tabulka 11 – kapacitní posouzení neřízené křižovatky	32
Tabulka 12 – kapacitní posouzení neřízené křižovatky	32
Tabulka 13 – kapacitní posouzení neřízené křižovatky	32
Tabulka 14 – kapacitní posouzení neřízené křižovatky	33

Tabulka 15 – kritické hodnoty intenzit – křižovatka I/50 – II/416 Křenovická.....	37
Tabulka 16 – kritické hodnoty intenzit – křižovatka I/50 – III/0501 Špitálská	37
Tabulka 17 – Tabulka mezičasů	45
Tabulka 18 – Tabulka mezičasů	45
Tabulka 19 – Tabulka mezičasů	45
Tabulka 20 – délka efektivní zelené	47
Tabulka 21 – stupně ÚKD pro světelně řízenou křižovatku	48
Tabulka 22 – kapacitní posouzení ssz křižovatky (pondělí)	50
Tabulka 23 – kapacitní posouzení ssz křižovatky (pátek 2013)	50
Tabulka 24 – kapacitní posouzení ssz křižovatky (pátek 2015)	51
Tabulka 25 – kapacitní posouzení ssz křižovatky (pátek 2013)	51
Tabulka 26 – kapacitní posouzení ssz křižovatky (pátek 2015)	51
Tabulka 27 – přehled způsobů řízení, TP 81 [7].....	54
Tabulka 28 – střední doba zdržení	70
Tabulka 29 – střední doba zdržení, srovnání	71
Tabulka 30 – střední doba zdržení, srovnání	71
Tabulka 31 – střední doba zdržení, srovnání	71
Tabulka 32 – střední doba zdržení, srovnání	71
Tabulka 33 – střední doba zdržení, srovnání	72
Tabulka 34 – koeficienty vývoje intenzit dopravy.....	73
Tabulka 35 – výhledové intenzity kritických vjezdů	73
Tabulka 36 – střední doba zdržení pro výhledové intenzity	74
Tabulka 37 – střední doba zdržení pro výhledové intenzity	74

12. Seznam příloh

Příloha 1 – Intenzity dopravy v tabulkách

Příloha 2 – Zátěžové diagramy intenzit z dopravních průzkumů

Příloha 3 – Kapacitní posouzení neřízené křižovatky – vzorový protokol

Příloha 4 – Návrh fází a sledu fází pro řízení pevným signálním plánem

Příloha 5 – Výpočet mezičasů

Příloha 6 – Kapacitní posouzení světelně řízené křižovatky – vzorový protokol

Příloha 7 – Návrh fází a sled fází pro dynamické řízení

Příloha 8 – Křižovatka I/50 – II/416 Křenovická – varianta 1

Příloha 9 – Křižovatka I/50 – II/416 Křenovická – varianta 2

Příloha 10 – Křižovatka I/50 – III/0501 Špitálská

Příloha 11 – Výstupy simulace – současný stav

Příloha 12 – Výstupy simulace – výhledový stav

Příloha 13 – Situační výkres v měřítku 1:500 – varianta 1

Příloha 14 – Situační výkres v měřítku 1:500 – varianta 2

Příloha A – Kapacitní posouzení neřízené křižovatky (elektronicky MS Excel)

Příloha B – Kapacitní posouzení světelně řízené křižovatky (elektronicky MS Excel)

Příloha C – Simulační model v programu PTV VISSIM (elektronicky)

Příloha 1

Tabulka 1.1

Intenzita dopravy ve středu 14.5.2014 - ranní špička 6:32-7:32							
Křižovatka I/50 – II/416 Křenovická							
Paprsek	Křiž. směr	1) [voz/h]	2) [voz/h]	3) [voz/h]	4) [voz/h]	2b) [voz/h]	Celkem [voz/h]
A	rovně (2)	366	36	61	0	8	471
	vpravo (3)	19	4	3	0	0	26
C	vlevo (4)	11	3	2	0	0	16
	vpravo (6)	101	3	6	0	2	112
B	vlevo (7)	117	10	3	0	2	132
	rovně (8)	909	34	48	1	13	1005
Celkem	Všechny	1523	90	123	1	25	1762
<i>C→F</i>	<i>6 → 7</i>	59	1	0	0	2	62

Tabulka 1.2

Intenzita dopravy ve středu 14.5.2014 - ranní špička 6:32-7:32							
Křižovatka I/50 – III/0501 Špitálská							
Paprsek	Křiž. směr	1) [voz/h]	2) [voz/h]	3) [voz/h]	4) [voz/h]	2b) [voz/h]	Celkem [voz/h]
E	rovně (2)	766	33	52	1	5	857
	vpravo (3)	18	1	1	0	0	20
F	vlevo (4)	11	0	1	0	0	12
	vpravo (6)	265	5	0	0	9	279
D	vlevo (7)	188	4	0	0	9	201
	rovně (8)	274	36	66	0	1	377
Celkem	Všechny	1522	79	120	1	24	1746
<i>F→C</i>	<i>6 → 7</i>	68	3	0	0	2	73

Tabulka 1.3

Intenzita dopravy ve středu 14.5.2014 – odpolední špička 15:43-16:43							
Křižovatka I/50 – II/416 Křenovická							
Paprsek	Křiž. směr	1) [voz/h]	2) [voz/h]	3) [voz/h]	4) [voz/h]	2b) [voz/h]	Celkem [voz/h]
A	rovně (2)	845	35	59	2	5	946
	vpravo (3)	29	0	1	0	0	30
C	vlevo (4)	14	1	2	0	0	17
	vpravo (6)	170	9	3	1	1	184
B	vlevo (7)	154	4	2	0	1	161
	rovně (8)	511	33	71	0	6	621
Celkem	Všechny	1723	82	138	3	13	1959
<i>C→F</i>	<i>6 → 7</i>	<i>121</i>	<i>2</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>1</i>	<i>124</i>

Tabulka 1.4

Intenzita dopravy ve středu 14.5.2014 – odpolední špička 15:43-16:43							
Křižovatka I/50 – III/0501 Špitálská							
Paprsek	Křiž. směr	1) [voz/h]	2) [voz/h]	3) [voz/h]	4) [voz/h]	2b) [voz/h]	Celkem [voz/h]
E	rovně (2)	364	30	74	0	3	471
	vpravo (3)	24	0	2	0	0	26
F	vlevo (4)	17	0	1	0	0	18
	vpravo (6)	287	7	2	0	4	300
D	vlevo (7)	379	8	0	1	6	394
	rovně (8)	643	35	61	2	1	742
Celkem	Všechny	1714	80	140	3	14	1951
<i>F→C</i>	<i>6 → 7</i>	<i>123</i>	<i>2</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>1</i>	<i>126</i>

Tabulka 1.5

Intenzita dopravy v pátek 24.4.2015 – odpolední špička 15:45-16:45							
Křižovatka I/50 – II/416 Křenovická							
Paprsek	Křiž. směr	1) [voz/h]	2) [voz/h]	3) [voz/h]	4) [voz/h]	2b) [voz/h]	Celkem [voz/h]
A	rovně (2)	814	26	41	0	10	891
	vpravo (3)	27	4	4	0	0	35
C	vlevo (4)	32	3	1	0	0	36
	vpravo (6)	292	2	3	6	1	304
B	vlevo (7)	174	3	2	5	1	185
	rovně (8)	572	31	32	16	10	661
Celkem	Všechny	1911	69	83	27	22	2112
<i>C→F</i>	<i>6 → 7</i>	<i>162</i>	<i>1</i>	<i>0</i>	<i>2</i>	<i>1</i>	<i>166</i>

Tabulka 1.6

Intenzita dopravy v pátek 24.4.2015 – odpolední špička 15:45-16:45							
Křižovatka I/50 – III/0501 Špitálská							
Paprsek	Křiž. směr	1) [voz/h]	2) [voz/h]	3) [voz/h]	4) [voz/h]	2b) [voz/h]	Celkem [voz/h]
E	rovně (2)	499	33	36	16	4	588
	vpravo (3)	28	0	0	0	0	28
F	vlevo (4)	14	0	0	0	0	14
	vpravo (6)	243	0	0	4	6	253
D	vlevo (7)	362	2	0	7	5	376
	rovně (8)	746	28	42	8	4	828
Celkem	Všechny	1892	63	78	35	19	2087
<i>F→C</i>	<i>6 → 7</i>	<i>114</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>116</i>

Tabulka 1.7

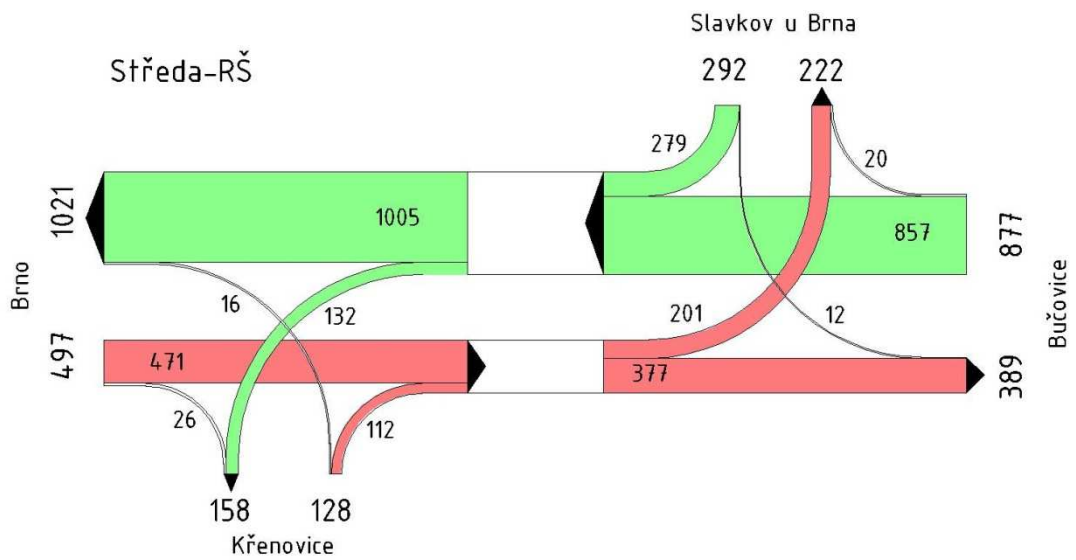
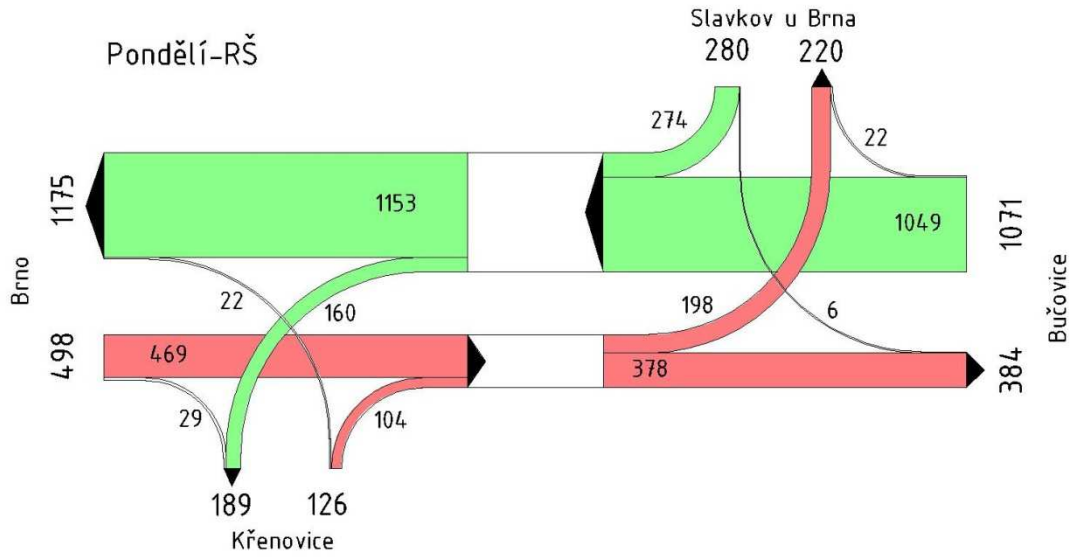
Intenzita dopravy v pátek 26.4.2013 – odpolední špička 15:45-16:45							
Křižovatka I/50 – II/416 Křenovická							
Paprsek	Křiž. směr	1) [voz/h]	2) [voz/h]	3) [voz/h]	4) [voz/h]	2b) [voz/h]	Celkem [voz/h]
A	rovně (2)	1053	33	41	15		1142
	vpravo (3)	29	0	3	0		32
C	vlevo (4)	17	0	0	0		17
	vpravo (6)	190	1	3	2		196
B	vlevo (7)	168	7	1	2		178
	rovně (8)	512	40	27	10		589
Celkem	Všechny	1969	81	75	29	*0	2154
<i>C→F</i>	<i>6 → 7</i>	118	1	0	1		120

Tabulka 1.8

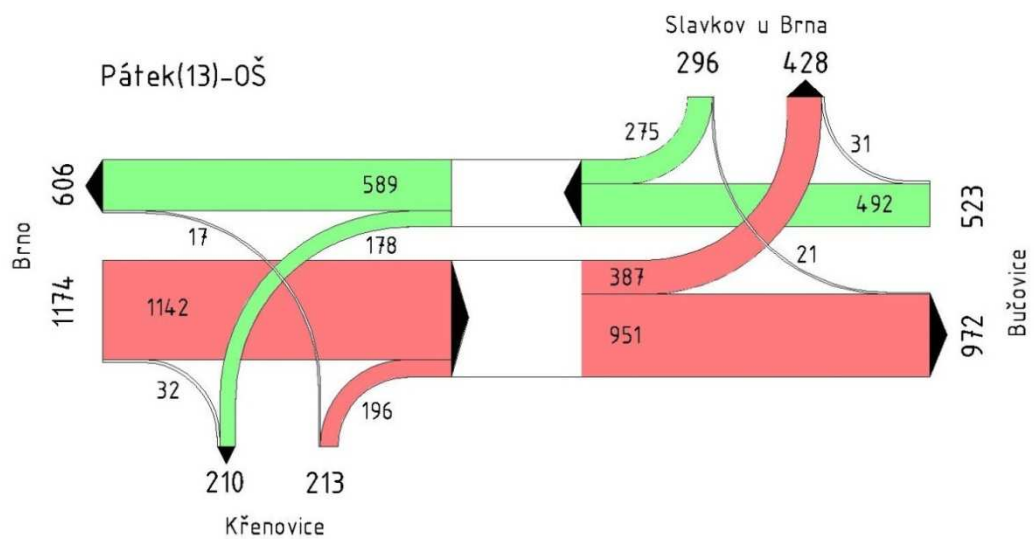
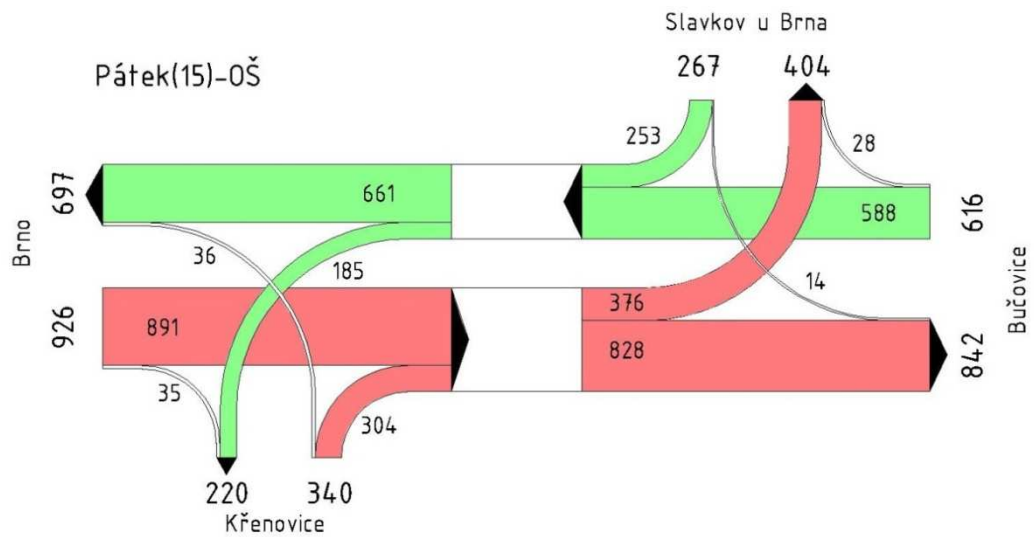
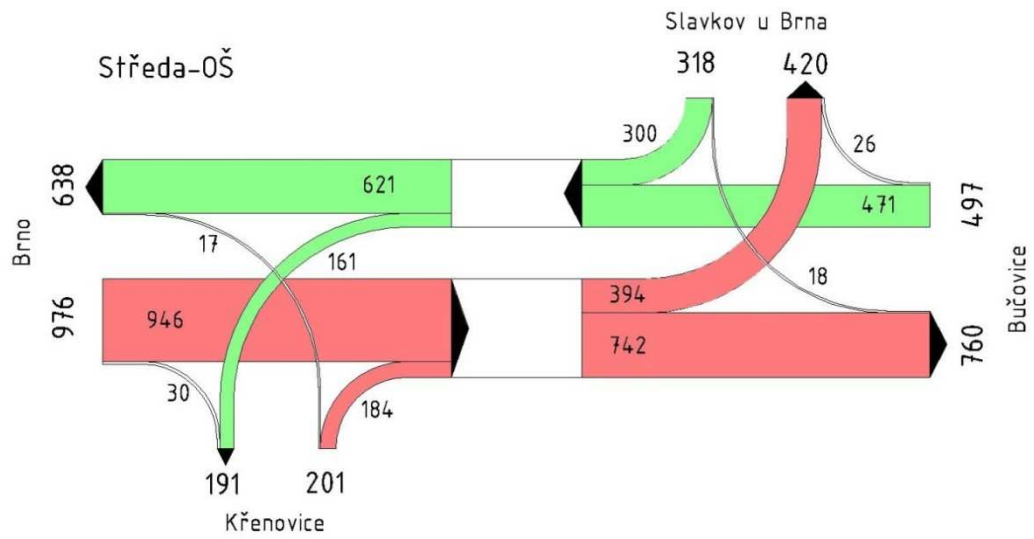
Intenzita dopravy v pátek 26.4.2013 – odpolední špička 15:45-16:45							
Křižovatka I/50 – III/0501 Špitálská							
Paprsek	Křiž. směr	1) [voz/h]	2) [voz/h]	3) [voz/h]	4) [voz/h]	2b) [voz/h]	Celkem [voz/h]
E	rovně (2)	418	37	28	9		492
	vpravo (3)	28	2	0	1		31
F	vlevo (4)	21	0	0	0		21
	vpravo (6)	262	10	0	3		275
D	vlevo (7)	370	10	0	7		387
	rovně (8)	873	24	44	10		951
Celkem	Všechny	1972	83	72	30	*0	2157
<i>F→C</i>	<i>6 → 7</i>	115	3	0	2		120

Příloha 2

Zátěžové diagramy intenzit pro ranní špičku [voz/h]



Zátěžové diagramy intenzit pro odpolední špičku [voz/h]



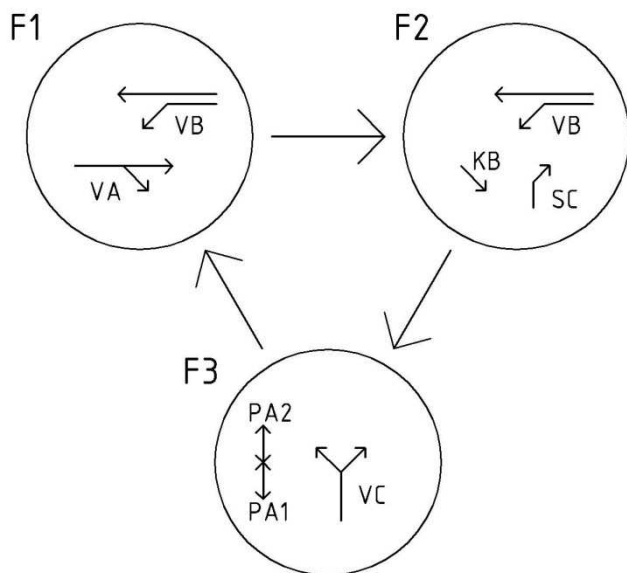
Příloha 3

KAPACITNÍ POSOUZENÍ NEŘÍZENÉ STYKOVÉ KŘÍŽOVATKY PODLE TP 188						PROTOKOL			
Název křižovatky:		I/50 Čsl. Červeného kříže / II/416 Křenovická							
Posuzovaný stav:		stávající stav v roce 2013 - duben, páteční odpolední špička							
Rychlost jízdy na hlavní komunikaci:		50 km/h							
Dopravní značení na vjezdu C:		P4							
Požadovaný stupeň na hlavní:		C							
Požadovaný stupeň na vedlejší:		D							
Nejvyšší přípustná doba zdržení:		< 45 s							
Číslování dopravních proudů je v souladu z TP 188									
GEOMETRIKÉ PODMÍNKY									
Paprsek křižovatky	Dopravní proud	délka pruhu [m]	Počet pruhů (0/1/2)	Samostatný pruh (ano/ne)					
A	2		1						
	3		0	NE					
C	4		0	NE					
	6		1						
B	7	37	1	ANO					
	8		1						
DOPRAVNÍ ZATÍŽENÍ									
Návrhové intenzity dopravy - rok 2013, špičková hodina pracovního dne PÁTEK 15:45-16:45									
Název křižovatky: SLAVKOV U BRNA - I/50 Československého Červeného kříže X II/416 Křenovická									
Paprsek	Název komunikace	Směr jízdy	Osobní vozidla [voz/h]	Nákladní vozidla [voz/h]	Nákladní soupravy [voz/h]	Motocykly [voz/h]	Jízdní kola [voz/h]	Vozidel celkem [pvoz/h]	Zohledněná skladba [pvoz/h]
A	I/50 - Čsl. Červeného kříže	R (rovně)	1053	33	41	15	0	1142	1197
		P (vpravo)	29	0	3	0	0	32	35
C	II/416 - Křenovická	L (vlevo)	17	0	0	0	0	17	17
		P (vpravo)	190	1	3	2	6	202	202
B	I/50 - směr Bučovice	L (vlevo)	168	7	1	2	1	179	183
		R (rovně)	512	40	27	10	0	589	634
ZÁKLADNÍ KAPACITA PRUHU PODŘÁZENÝCH PROUDŮ									
Dopravní proud	Intenzita dopravního proudu I_n [pvoz/h]	Příslušný nadřazený pruh I_i [voz/h]	Základní kapacita G_n [pvoz/h]						
7	183	1174	495,7						
6	202	1158	421,6						
4	17	1926	90,2						
KAPACITA PRUHU PODŘÁZENÝCH PROUDŮ 2. STUPNĚ									
Dopravní proud	Kapacita C_n [pvoz/h]	Stupeň vytížení a_v [-]	Délka fronty $N_{95\%}$ [m]	Pravděpodobnost nevzdutí proudu					
7	496	0,368	10,4	0,631					
6	422	0,479							
KAPACITA PRUHU PODŘÁZENÝCH PROUDŮ 3. STUPNĚ									
Dopravní proud	Kapacita C_n [pvoz/h]	Stupeň vytížení a_v [-]							
4	57	0,299							
KAPACITA SPOLEČNÉHO PRUHU SMÍŠENÝCH PROUDŮ									
Dopravní proud	Stupeň vytížení a_v [-]	Délka místa na zastavení I_n [m]	Intenzita proudu ΣI_n [pvoz/h]	Kapacita C_n [pvoz/h]					
4	0,299	6	219	387,8					
6	0,479								
POSOUZENÍ KVALITY DOPRAVY									
Dopravní proud	Rezerva kapacity Rez [pvoz/h]	Délka fronty $N_{95\%}$ [m]	Střední doba zdržení t_v [s]	Úroveň kvality dopravy ÚKD [-]					
7	312,7	10,4	11,5	B					
6	219,6	16,2	16,3	B					
4	39,9	7,2	88,5	E					
4+6	168,8	22,4	21,0	C					
Stanovená úroveň kvality dopravy na hlavní komunikaci: B									
Stanovená úroveň kvality dopravy na vedlejší komunikaci: E									
Závěr: Posuzovaná křižovatka kapacitně nevyhoví. Požadavky na ÚKD nejsou splněny na levém odbočení z vedlejší komunikace.									

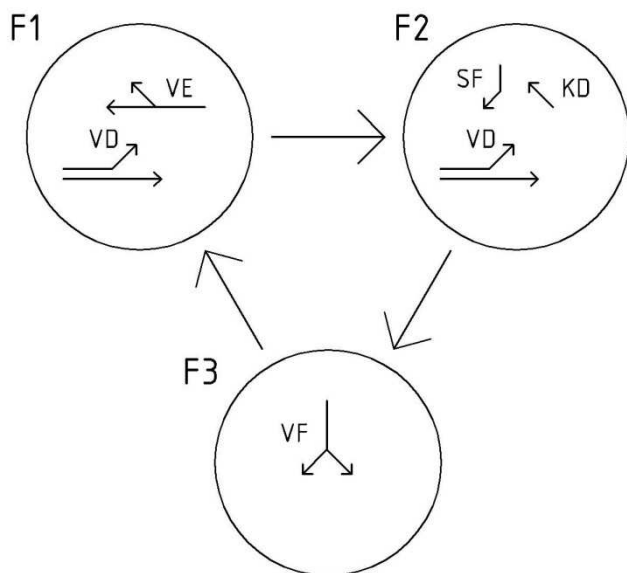
Příloha 4

Návrh a sled fází pro řízení pevným signálním plánem

Křižovatka I/50 X II/416 Křenovická



Křižovatka I/50 X III/0501 Špitálská



Příloha 5

Výpočty mezičasů kolizních proudů

Tabulka 5.1

KŘIŽOVATKA I/50 – II/416 Křenovická – varianta 2											
VYKLIZUJE		NAJÍŽDÍ		Lv	Ln	Vv	Vn	Tv	Tn	Tm'	Tm
skupina		skupina		[m]	[m]	[m/s]	[m/s]	[s]	[s]	[s]	[s]
VA		VC	(vlevo)	25,5	13,3	9,7	7	3,2	1,9	3,35	4
VA		VC	(vpravo)	35	14,5	9,7	7	4,2	2,1	4,16	4
VA		SC		35	14,5	9,7	7	4,2	2,1	4,16	4
VA		KB		22,5	6	9,7	7	2,9	0,9	4,08	4
VA		PA1		4,5	0	9,7	1,4	1,1	0,0	3,08	3
VB	(vlevo)	VC		22	6	7	7	4,0	0,9	5,14	5
KB		VC		22	6	7	7	4,0	0,9	3,14	3
VB	(rovně)	VC		22,3	21,2	9,7	7	2,9	3,0	1,89	2
SB		VC		22,3	21,2	9,7	7	2,9	3,0	1,89	2
VB		PA2		34,6	0	9,7	1,4	4,2	0,0	6,19	6
SB		PA2		34,6	0	9,7	1,4	4,2	0,0	6,19	6
KB		VA	(rovně)	24,5	15,2	7	9,7	4,4	1,6	2,79	3
KB		VA	(vpravo)	27,5	16,2	7	7	4,8	2,3	2,47	3
SC		VA		16,8	29,5	7	9,7	3,3	3,0	2,22	4
VC	(vpravo)	VA		16,8	29,5	7	9,7	3,3	3,0	2,22	3
VC	(vlevo)	VA		16,5	16,5	7	9,7	3,2	1,7	3,51	4
VC		VB	(vlevo)	19,5	12,1	7	7	3,6	1,7	3,91	4
VC		KB		19,5	12,1	7	7	3,6	1,7	3,91	4
VC		VB	(rovně)	18,8	14,4	7	9,7	3,5	1,5	4,06	4
VC		SB		18,8	14,4	7	9,7	3,5	1,5	4,06	4
PA1		VA		4	1,5	1,4	9,7	2,9	0,2	2,70	3
PA2		VB		4	31,1	1,4	9,7	2,9	3,2	-0,35	0
PA2		SB		4	31,1	1,4	9,7	2,9	3,2	-0,35	0

Tabulka 5.2

KŘIŽOVATKA I/50 – II/416 Křenovická – varianta 1											
VYKLIZUJE		NAJÍŽDÍ		Lv	Ln	Vv	Vn	Tv	Tn	Tm'	Tm
skupina		skupina		[m]	[m]	[m/s]	[m/s]	[s]	[s]	[s]	[s]
VA		VC	(vlevo)	25,3	12,7	9,7	7	3,2	1,8	3,41	4
VA		VC	(vpravo)	30,9	13,5	9,7	7	3,8	1,9	3,88	4
VA		SC		30,9	13,5	9,7	7	3,8	1,9	3,88	4
VA		KB		22,5	6	9,7	7	2,9	0,9	4,08	4
VA		PA1		4,5	0	9,7	1,4	1,1	0,0	3,08	3
VB	(vlevo)	VC		20,9	10	7	7	3,8	1,4	4,41	5
KB		VC		20,9	10	7	7	3,8	1,4	2,41	3
VB	(rovně)	VC		30,6	19,3	9,7	7	3,8	2,8	3,02	3
VB		PA2		34,6	0	9,7	1,4	4,2	0,0	6,19	6
KB		VA	(rovně)	25	15,2	7	9,7	4,4	1,6	2,86	3
KB		VA	(vpravo)	28,5	16,2	7	7	4,9	2,3	2,61	3
SC		VA		19,8	24,1	7	9,7	3,7	2,5	3,20	3
VC	(vpravo)	VA		19,8	24,1	7	9,7	3,7	2,5	3,20	3
VC	(vlevo)	VA		18	17,1	7	9,7	3,4	1,8	3,67	4
VC		VB	(vlevo)	18,9	10,9	7	7	3,6	1,6	4,00	4
VC		KB		18,9	10,9	7	7	3,6	1,6	4,00	4
VC		VB	(rovně)	17,9	11,8	7	9,7	3,4	1,2	4,20	4
PA1		VA		4	1,5	1,4	9,7	2,9	0,2	2,70	3
PA2		VB		4	31,1	1,4	9,7	2,9	3,2	-0,35	0

Tabulka 5.3

KŘIŽOVATKA I/50 – III/0501 Špitálská											
VYKLIZUJE		NAJÍŽDÍ		Lv	Ln	Vv	Vn	Tv	Tn	Tm'	Tm
skupina		skupina		[m]	[m]	[m/s]	[m/s]	[s]	[s]	[s]	[s]
VD	(rovně)	VF		16	22,8	9,7	7	2,3	3,3	1,01	1
VD	(vlevo)	VF		11	12	7	7	2,4	1,7	2,71	3
SD		VF		16	22,8	9,7	7	2,3	3,3	1,01	1
KD		VF		11	12	7	7	2,4	1,7	0,71	1
VE	(rovně)	KD		30,5	4,5	9,7	7	3,8	0,6	5,12	5
VE	(vpravo)	KD		23,5	15	7	7	4,2	2,1	4,07	4
VE		VF		22,8	15,2	9,7	7	3,0	2,2	2,80	3
VE		SF		38,5	17,5	9,7	7	4,6	2,5	4,09	4
KD		VE	(rovně)	14	20,2	7	9,7	2,9	2,1	0,77	1
KD		VE	(vpravo)	21,5	21,1	7	7	3,9	3,0	0,91	1
SF		VE		20,8	19,5	7	9,7	3,8	2,0	3,82	4
VF		VD	(rovně)	23,5	7,5	7	9,7	4,2	0,8	5,44	6
VF		VD	(vlevo)	21	5,5	7	7	3,9	0,8	5,07	5
VF		SD1		23,5	7,5	7	9,7	4,2	0,8	5,44	6
VF		KD		21	5,5	7	7	3,9	0,8	5,07	5
VF		VE		28,5	19,4	7	7	4,9	2,8	4,16	4

Příloha 6

Tabulka 6.1

Kapacitní posouzení světelně řízené křižovatky podle TP 235										Protokol
Název křižovatky	Slavkov u Brna; I/50 – II/416 Křenovická									
Posuzovaný stav	Pátek, špičková hodina 15:45 - 16:45					Délka cyklu t_c [s]	100			
Kapacita levého odbočení ovlivněného protisměrem										
Vjezd (signální skupina)	I_p [pvoz/h]	S_p [pvoz/h]	z_p [s]	C_{L1} [pvoz/h]	N_A [pvoz]	C_{L2} [pvoz/h]	S_L [pvoz/h]	z_0 [s]	C_{L3} [pvoz/h]	C_L [pvoz/h]
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
VB-L	1261	1994	67	0	2	72	1829	9	165	237
Posouzení kapacity vjezdů, úroveň kvality dopravy										
Vjezd (signální skupina)	I_v [pvoz/h]	z [s]	S_v [pvoz/h]	C_v [pvoz/h]	Rez [%]	L_{F1} [m]	L_{F2} [m]	t_w [s]	ÚKD	
	11	12	13	14	15	16	17	18	dosaž.	požad.
VA	1261	67	1994	1336	5,6	69,4	0,0	33,7	B	C
VB-R	656	76	2000	1520	56,8	26,2	0,0	4,7	A	C
VB-L	185	76	1829	237	21,8	7,4	0,0	31,0	B	C
VC	221	16	1717	275	19,6	30,9	0,0	60,7	D	D
Závěr: Na všech vjezdech byl dosažen požadovaný stupeň ÚKD. Na vjezdu VA je nedostačující rezerva kapacity 5,6%, při prodloužení signálu „volno“ pro VA, nevyhoví dobou zdržení vjezd VE.										

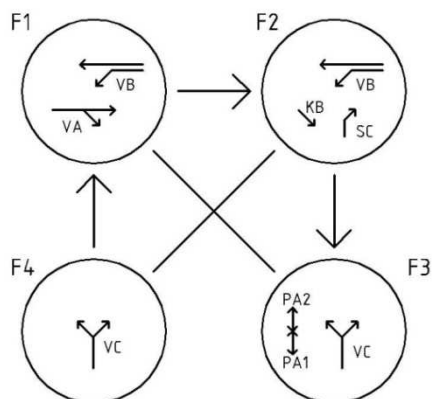
Tabulka 6.2

Kapacitní posouzení světelně řízené křižovatky podle TP 235										Protokol
Název křižovatky	Slavkov u Brna; I/50 – III/0501 Špitálská									
Posuzovaný stav	Pátek, špičková hodina 15:45 - 16:45					Délka cyklu t_c [s]	100			
Kapacita levého odbočení ovlivněného protisměrem										
Vjezd (signální skupina)	I_p [pvoz/h]	S_p [pvoz/h]	z_p [s]	C_{L1} [pvoz/h]	N_A [pvoz]	C_{L2} [pvoz/h]	S_L [pvoz/h]	z_0 [s]	C_{L3} [pvoz/h]	C_L [pvoz/h]
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
VD-L	591	1991	53	229	2	72	1806	32	578	879
Posouzení kapacity vjezdů, úroveň kvality dopravy										
Vjezd (signální skupina)	I_v [pvoz/h]	z [s]	S_v [pvoz/h]	C_v [pvoz/h]	Rez [%]	L_{F1} [m]	L_{F2} [m]	t_w [s]	ÚKD	
	11	12	13	14	15	16	17	18	dosaž.	požad.
VE	591	55	1991	1095	46,0	44,3	0,0	14,7	A	C
VD-R	1034	85	2000	1700	39,2	25,9	0,0	3,6	A	C
VD-L	394	85	1806	879	55,2	9,9	0,0	3,1	A	C
SF+VF	282	37	1778	658	57,1	29,6	0,0	23,1	B	E
VF	21	6	1778	124	83,1	3,3	0,0	42,0	C	E
Závěr: Na všech vjezdech byl dosažen požadovaný stupeň ÚKD s dostatečnými rezervami. Délka cyklu by mohla být kratší. Kvůli nutné koordinaci se sousední křižovatkou musí být délka cyklu stejná.										

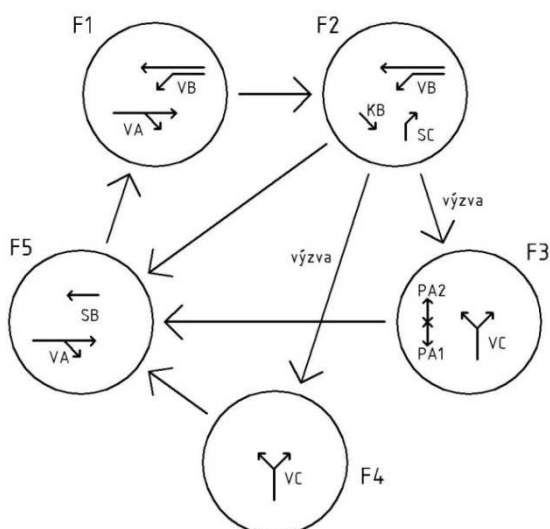
Příloha 7

Návrh a sled fází pro dynamické řízení

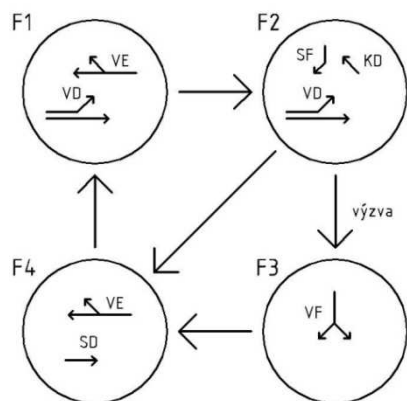
Křižovatka I/50 X II/416 Křenovická (varianta 1)



Křižovatka I/50 X II/416 Křenovická (varianta 2)

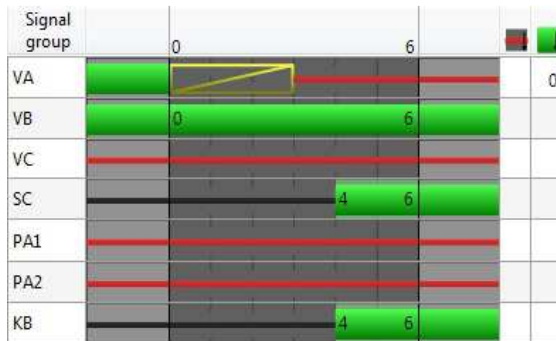


Křižovatka I/50 X III/0501 Špitálská

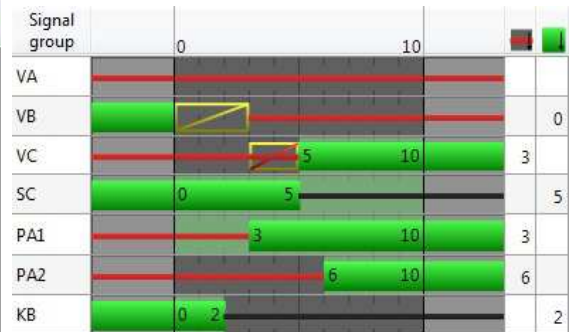


Příloha 8: Křižovatka I/50 – II/416 Křenovická – varianta 1

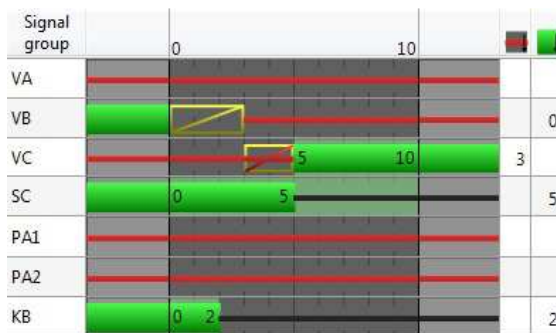
Fázové přechody



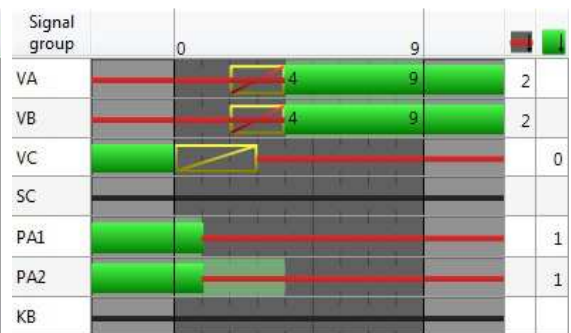
Fázový přechod F1-F2



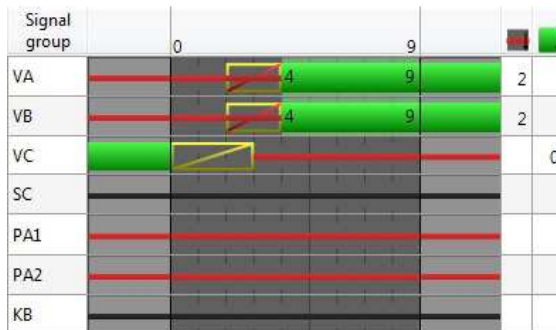
Fázový přechod F2-F3



Fázový přechod F2-F4

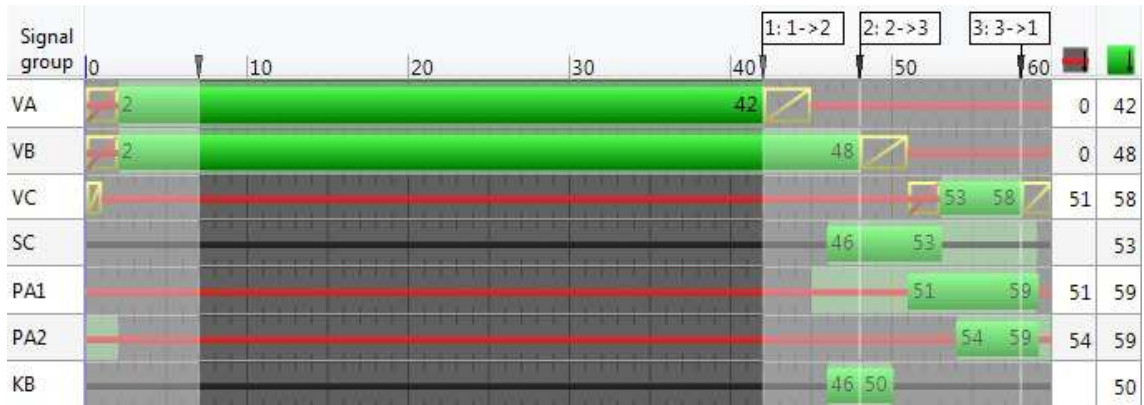


Fázový přechod F3-F1



Fázový přechod F4-F1

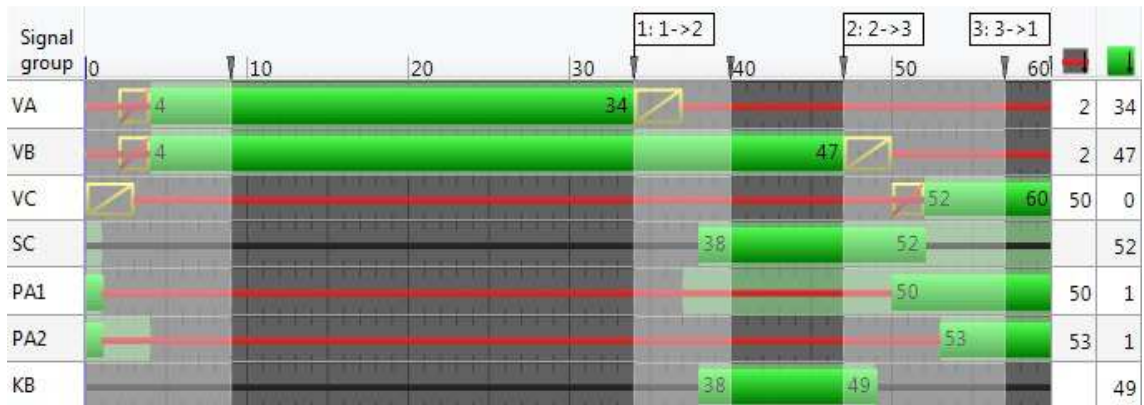
Signální plány



Signální plán pro odpolední špičku s variantou nejdelší fáze F1

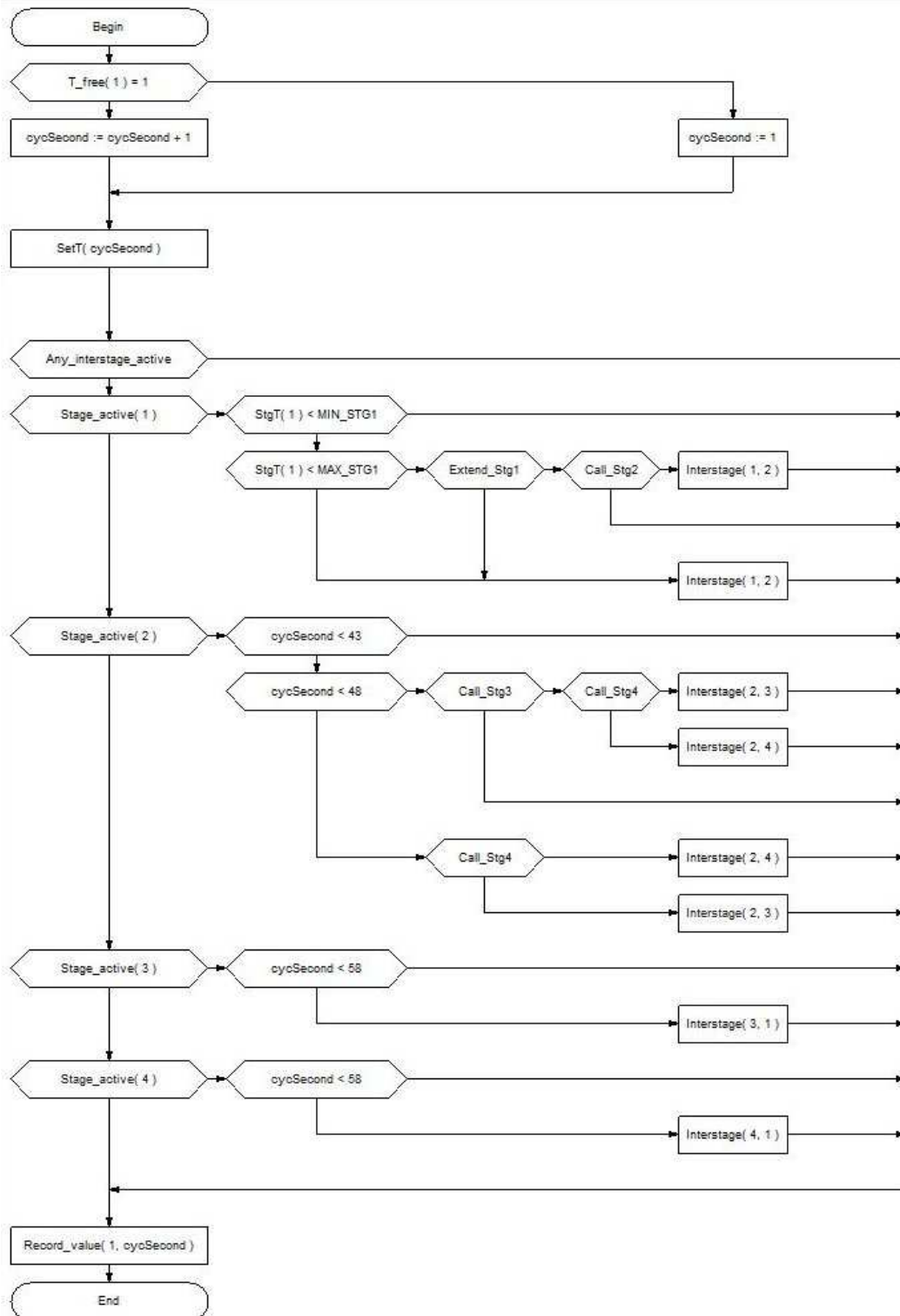


Signální plán pro odpolední špičku s variantou nejkratší fáze F1



Signální plán pro ranní špičku s maximální délkou fáze F1

Vývojový diagram

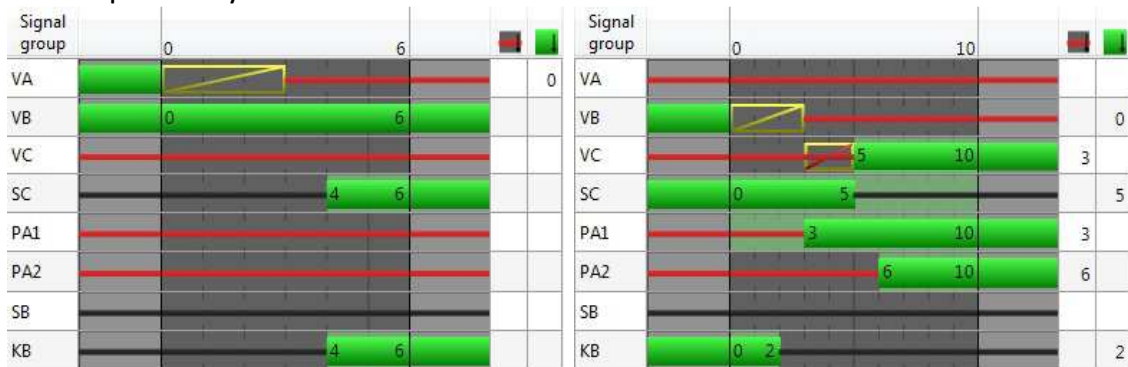


PARAMETERS	Gen
MIN_STG1	25
MAX_STG1	35
MAX_GAP	3.0

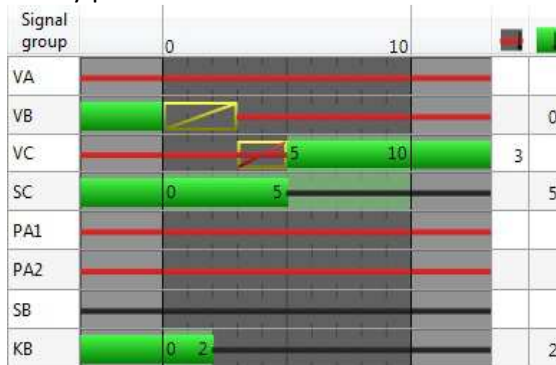
EXPRESSIONS	Contents
Call_Stg3	(Occupancy(14) > 2)
Extend_Stg1	(Headway(12) <= MAX_GAP)
Call_Stg4	(Occupancy(30) > 0)
Call_Stg2	(Occupancy(17) > 2) OR (Occupancy(16) > 2)

Příloha 9: Křižovatka I/50 – II/416 Křenovická – varianta 2

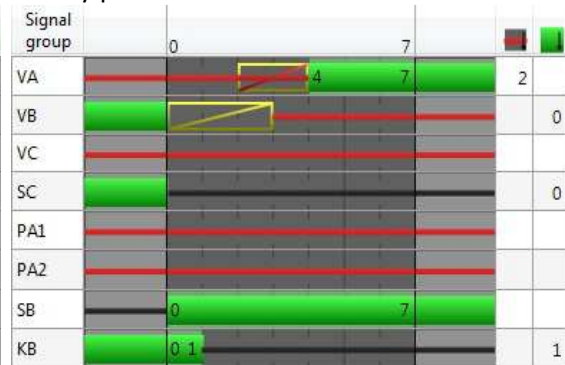
Fázové přechody



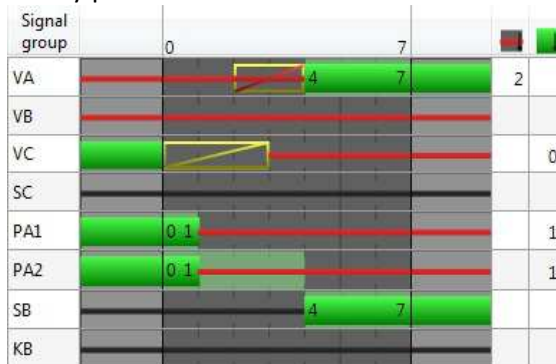
Fázový přechod F1-F2



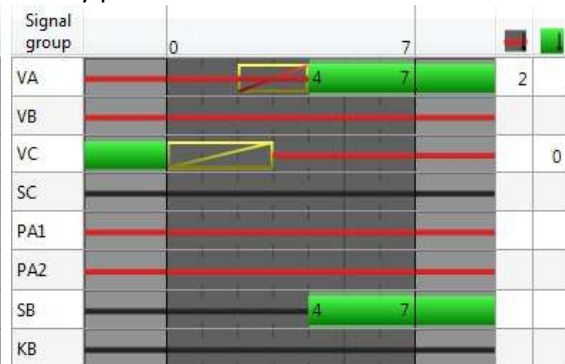
Fázový přechod F2-F3



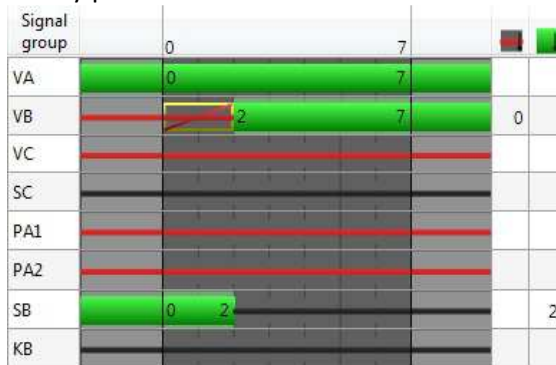
Fázový přechod F2-F4



Fázový přechod F2-F5



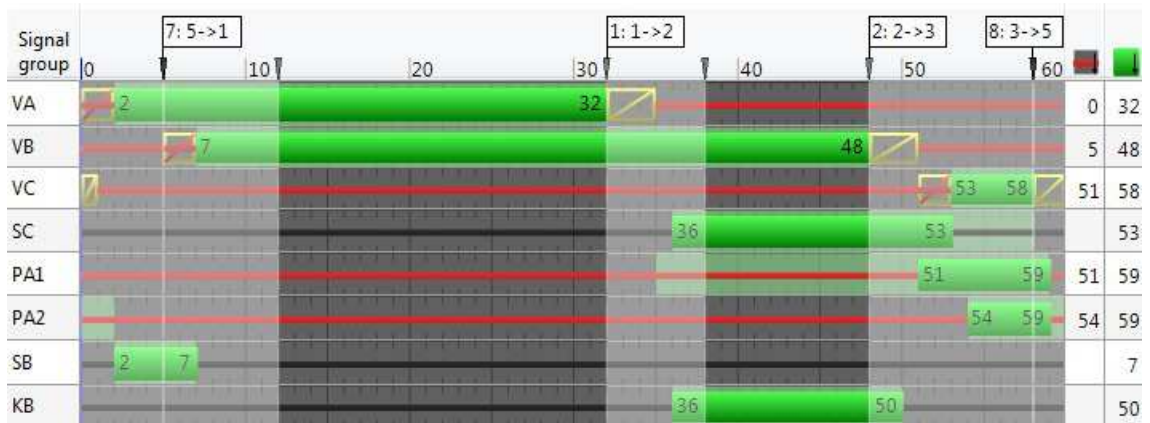
Fázový přechod F3-F5



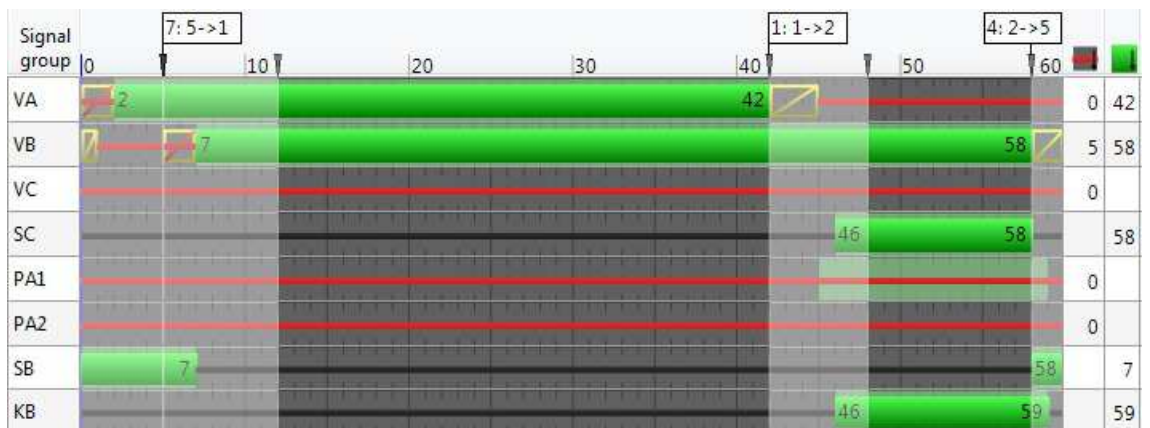
Fázový přechod F4-F5

Fázový přechod F5-F1

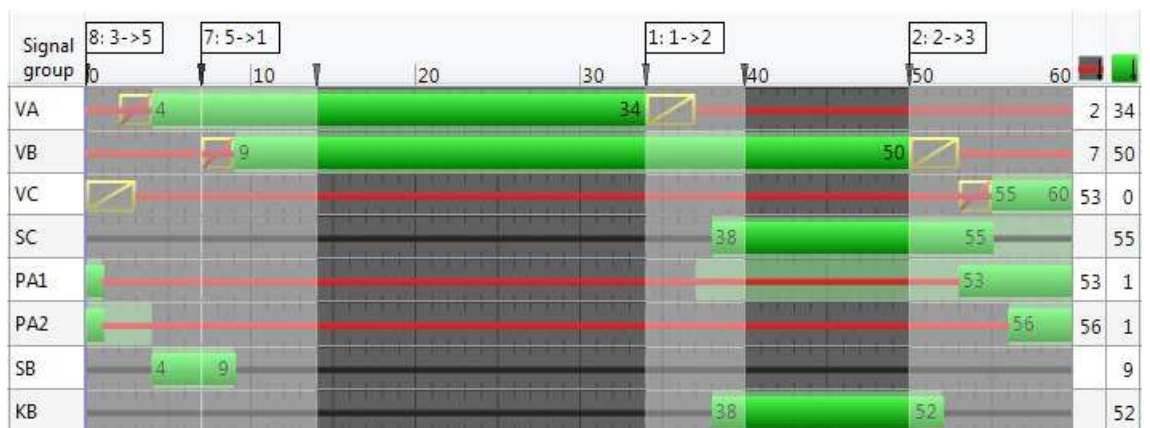
Signální plány



Signální plán pro odpolední špičku s variantou nejkratší fáze F1, detekce fáze F3

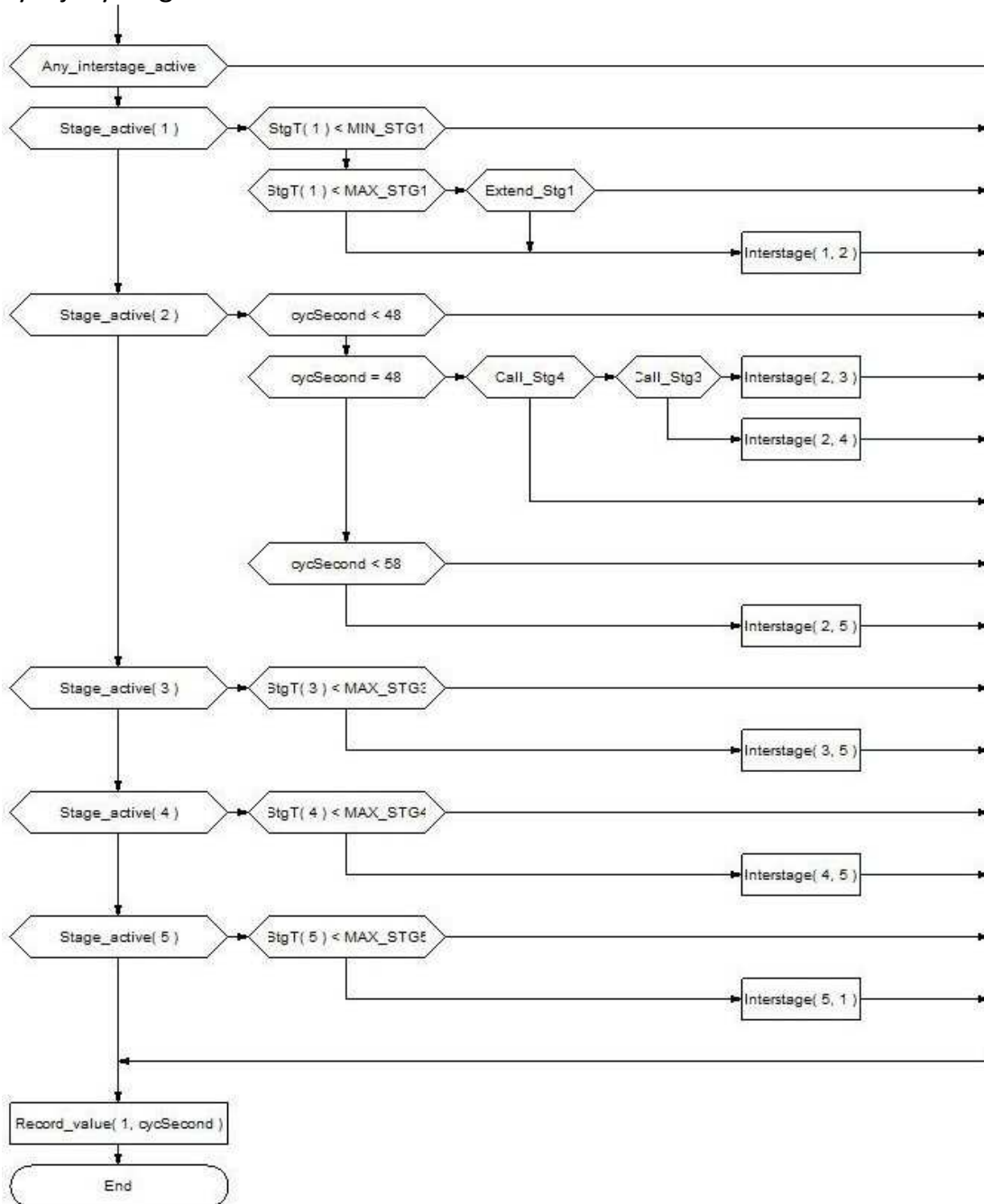


Signální plán pro odpolední špičku s variantou nejdelší fáze F1, bez fáze F3



Signální plán pro ranní špičku s variantou nejdelší fáze F1, detekce fáze F3

Vývojový diagram

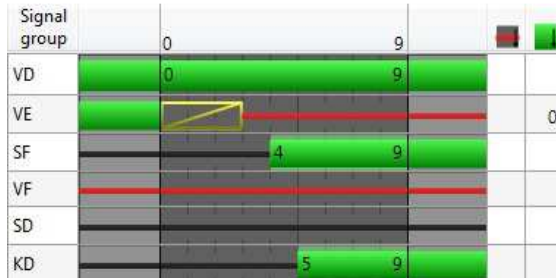


PARAMETERS	Gen
MIN_STG1	16
MAX_STG1	26
MAX_GAP	3.0
MAX_STG4	0
MAX_STG5	0
MAX_STG3	0

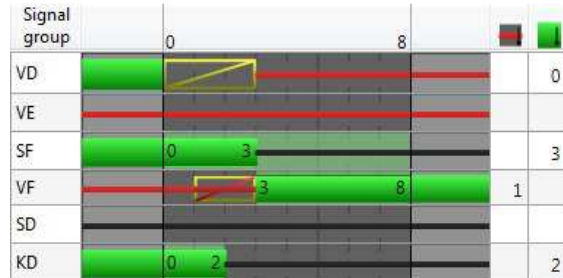
EXPRESSIONS	Contents
Call_Stg3	(Occupancy(30) > 0)
Extend_Stg1	(Headway(12) <= MAX_GAP)
Call_Stg4	(Occupancy(30) > 0) OR (Occupancy(14) > 0)

Příloha 10: Křižovatka I/50 – III/0501 Špitálská

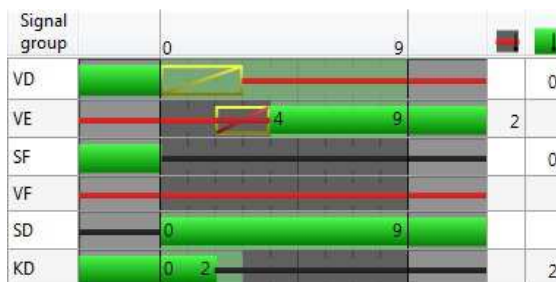
Fázové přechody



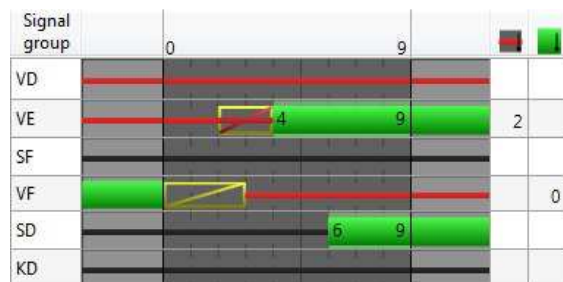
Fázový přechod F1-F2



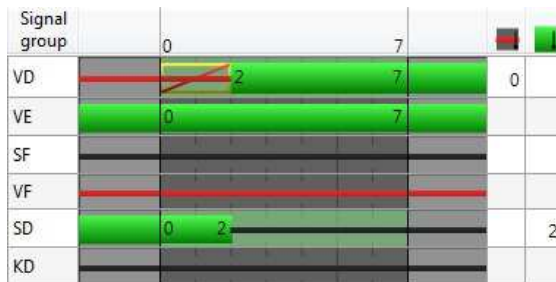
Fázový přechod F2-F3



Fázový přechod F2-F4

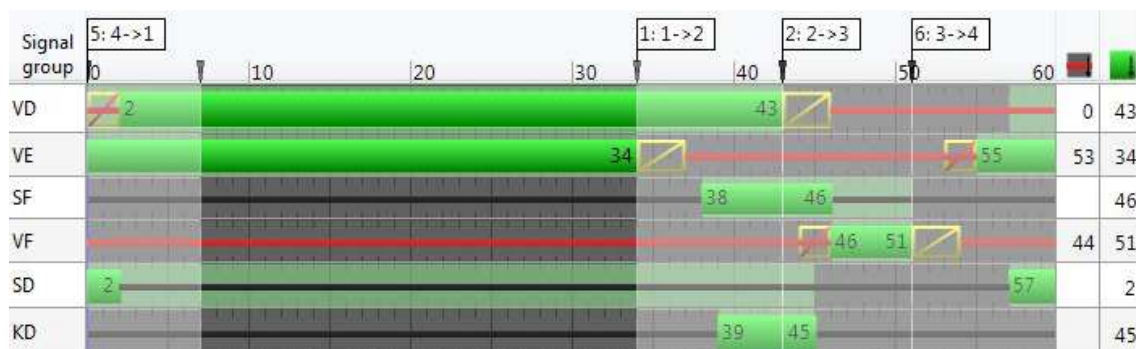


Fázový přechod F3-F4

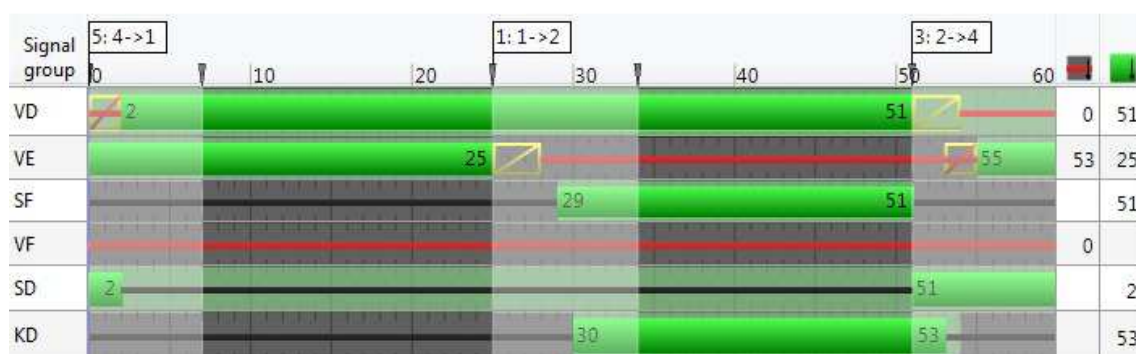


Fázový přechod F4-F1

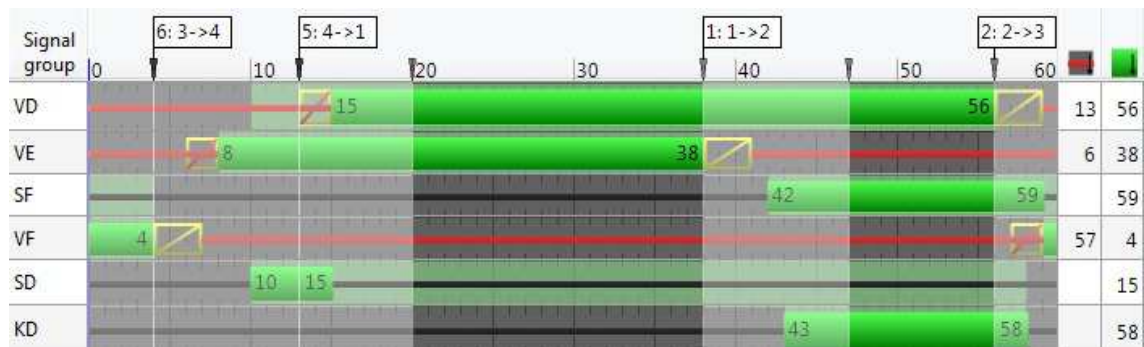
Signální plány



Signální plán pro ranní špičku s variantou nejdelší fáze F1, s detekcí fáze F3

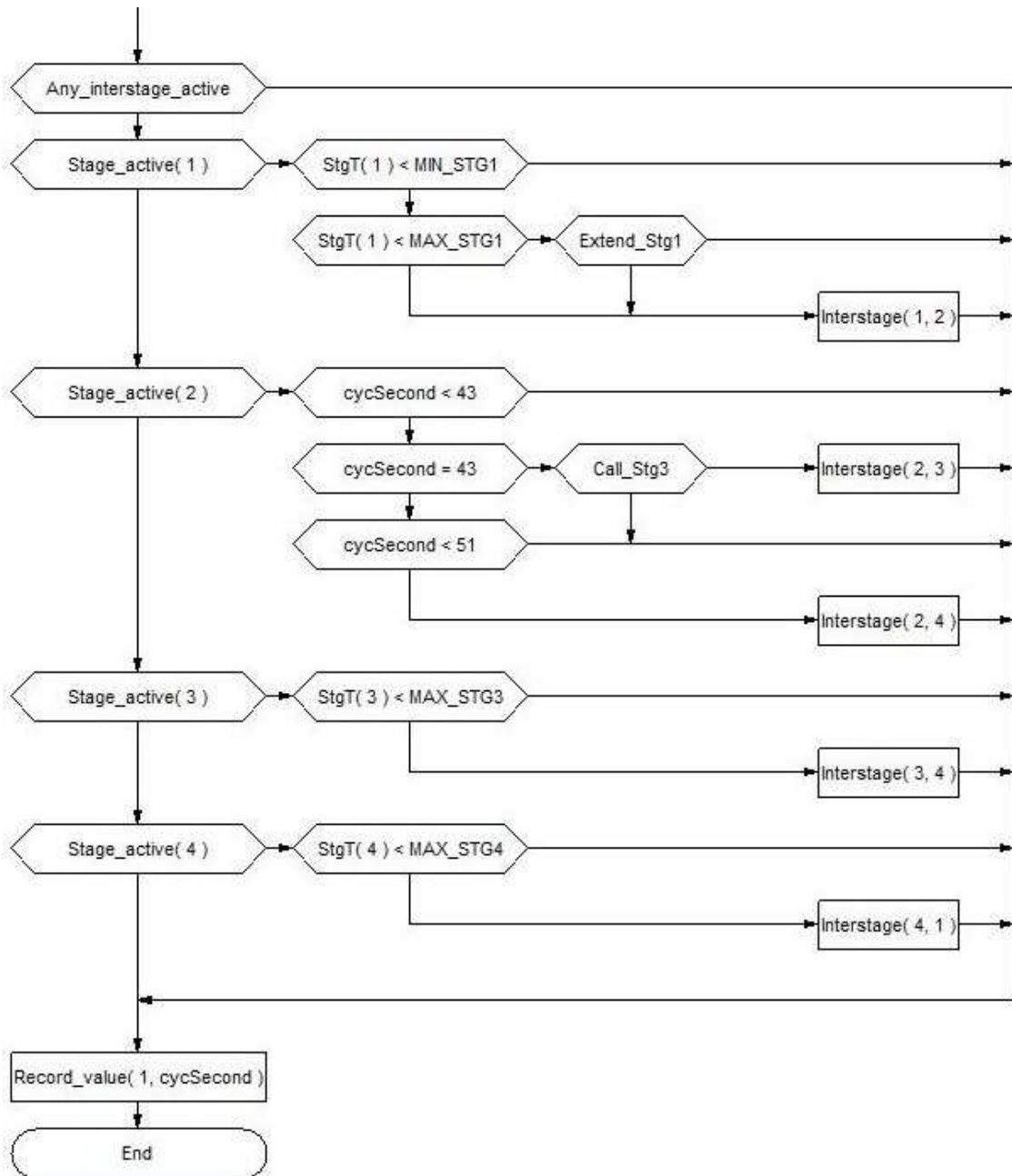


Signální plán pro ranní špičku s variantou nejkratší fáze F1, bez fáze F3



Signální plán pro odpolední špičku s variantou nejdelší fáze F1 s detekcí fáze F3

Vývojový diagram



PARAMETERS	Gen
MIN_STG1	18
MAX_STG1	27
MAX_STG3	0
MAX_STG4	0
MAX_GAP	3.0

EXPRESSIONS	Contents
Call_Stg3	(Occupancy(24) > 0)
Extend_Stg1	(Headway(22) <= MAX_GAP)

Příloha 11

Tabulka 11.1

Střední doba zdržení [s] – pondělí – ranní špička – varianta 1										
křižovatka	I/50 – II/416 Křenovická					I/50 – III/0501 Špitálská				
signál	VA	VB_R	VB_L	VC	*VC_L	VD_R	VD_L	VE	VF_P	VF_L
interval [s]										
600	9,2	3,8	8,4	16,3	26,6	0,2	15,3	11,0	24,0	26,0
900	9,5	3,2	5,6	14,0	0,0	0,2	13,2	11,8	23,7	0,0
1200	9,6	3,1	6,6	16,0	34,4	0,2	14,3	9,9	22,8	0,0
1500	10,7	4,5	12,7	11,7	37,1	0,4	14,1	9,7	22,5	32,4
1800	10,7	3,9	11,4	14,6	21,9	0,4	12,3	9,2	24,4	57,0
2100	10,8	2,5	8,0	18,5	25,9	0,3	14,5	9,3	19,6	0,0
2400	9,9	3,3	8,8	17,9	22,7	0,3	16,8	10,3	20,6	25,8
2700	9,3	4,4	6,0	12,7	0,0	0,3	11,8	8,8	30,5	0,0
3000	10,0	3,8	9,2	13,6	12,5	0,3	16,3	9,6	27,4	48,5
3300	11,3	4,6	12,2	26,0	30,0	0,2	10,4	8,0	28,0	48,2
3600	11,4	4,1	11,8	20,3	29,2	0,3	9,9	8,2	25,3	40,2
3900	10,3	3,3	9,3	15,6	0,0	0,3	13,2	8,4	19,8	50,7
Průměr	10,2	3,7	9,2	16,4	25,2	0,3	13,5	9,5	24,0	37,7
ÚKD	A	A	A	A	B	A	A	A	B	C

Tabulka 11.2

Střední doba zdržení [s] – pondělí – ranní špička – varianta 2										
křižovatka	I/50 – II/416 Křenovická					I/50 – III/0501 Špitálská				
signál	VA	VB_R	VB_L	VC_P	VC_L	VD_R	VD_L	VE	VF_P	VF_L
interval [s]										
600	8,5	3,2	6,4	15,1	29,0	0,3	14,5	11,6	26,8	33,4
900	8,9	2,6	5,2	12,2	40,9	0,2	13,5	11,7	26,5	0,0
1200	9,8	2,5	5,3	11,2	36,3	0,2	16,0	9,5	25,5	0,0
1500	10,6	3,9	10,4	12,6	42,3	0,6	17,3	10,1	20,2	26,8
1800	10,8	2,9	7,9	11,2	29,2	0,2	10,0	10,0	24,9	0,0
2100	10,0	1,5	8,6	11,2	26,8	0,4	15,1	9,1	18,2	0,0
2400	9,1	2,3	9,8	16,0	30,8	0,3	14,5	11,0	22,2	35,6
2700	11,1	3,0	6,5	15,1	33,7	0,3	11,8	8,0	32,2	0,0
3000	10,0	3,0	8,5	11,3	16,8	0,3	14,6	10,4	30,9	44,8
3300	10,9	3,1	9,5	15,1	32,2	0,5	10,0	8,1	24,8	46,5
3600	11,6	2,8	10,6	24,7	46,0	0,4	9,1	8,7	25,7	40,6
3900	11,5	2,3	5,3	16,6	37,6	0,6	13,7	8,4	18,2	50,9
Průměr	10,2	2,8	7,9	14,3	31,9	0,4	13,3	9,7	24,7	39,7
ÚKD	A	A	A	A	B	A	A	A	B	C

Tabulka 11.3

Střední doba zdržení [s] - středa - ranní špička - varianta 1										
křižovatka	I/50 - II/416 Křenovická					I/50 - III/0501 Špitálská				
signál	VA	VB_R	VB_L	VC	*VC_L	VD_R	VD_L	VE	VF_P	VF_L
interval [s]										
600	10,8	5,2	10,6	13,4	0,0	0,2	11,9	9,6	27,3	43,7
900	11,9	5,5	12,3	17,9	21,5	0,6	16,6	10,2	31,9	38,5
1200	9,8	5,4	11,8	20,3	25,1	0,5	13,3	10,9	30,9	35,6
1500	9,9	5,2	12,2	13,9	16,7	0,3	12,5	7,1	30,1	0,0
1800	12,4	5,1	14,8	15,1	21,9	0,4	10,1	7,4	27,9	48,0
2100	9,9	5,9	12,0	14,0	19,9	0,4	15,8	9,4	25,3	69,1
2400	11,0	4,0	8,5	11,1	18,7	0,4	8,4	9,1	19,6	30,5
2700	9,5	3,4	13,4	11,2	0,0	0,3	8,4	7,0	21,9	0,0
3000	10,9	2,8	15,0	22,2	35,1	0,2	6,2	7,1	21,3	43,2
3300	11,9	4,7	9,8	15,4	21,0	0,5	11,8	8,4	22,7	37,5
3600	10,7	4,3	10,6	14,8	26,3	0,5	12,5	7,9	22,7	26,8
3900	10,3	5,1	11,0	11,0	0,8	0,2	8,4	8,1	21,8	26,9
Průměr	10,8	4,7	11,8	15,0	22,9	0,4	11,3	8,5	25,3	36,7
ÚKD	A	A	A	A	B	A	A	A	B	C

Tabulka 11.4

Střední doba zdržení [s] - středa - ranní špička - varianta 2										
křižovatka	I/50 - II/416 Křenovická					I/50 - III/0501 Špitálská				
signál	VA	VB_R	VB_L	VC_P	VC_L	VD_R	VD_L	VE	VF_P	VF_L
interval [s]										
600	13,3	3,0	8,1	10,3	26,2	0,2	9,7	9,9	27,0	43,5
900	16,5	3,6	9,4	11,0	18,1	0,6	14,7	10,8	32,7	38,1
1200	14,7	3,7	9,9	10,9	27,0	0,5	11,4	10,4	32,6	36,3
1500	13,7	3,4	10,4	11,4	30,1	0,9	14,6	7,0	31,5	0,0
1800	17,1	3,0	12,4	11,1	24,3	0,4	9,6	7,4	30,3	48,3
2100	14,9	3,6	10,7	10,1	24,9	0,4	12,7	9,9	24,6	68,4
2400	15,9	2,2	8,4	8,7	36,1	0,5	7,4	9,6	18,5	30,6
2700	14,3	1,7	11,8	9,2	0,0	0,3	8,0	7,4	21,4	0,0
3000	14,4	1,7	12,0	11,7	37,3	0,3	6,8	7,2	21,3	42,8
3300	16,4	2,8	9,0	8,8	26,4	0,7	10,3	8,6	22,4	37,4
3600	14,6	2,8	9,6	9,1	31,2	0,4	11,1	8,7	22,8	26,5
3900	13,9	2,7	5,9	8,6	6,6	0,2	6,9	8,4	22,1	26,9
Průměr	15,0	2,9	9,8	10,1	26,4	0,5	10,3	8,8	25,6	37,0
ÚKD	A	A	A	A	B	A	A	A	B	C

Tabulka 11.5

Střední doba zdržení [s] - středa - odpolední špička - varianta 1										
křižovatka	I/50 - II/416 Křenovická					I/50 - III/0501 Špitálská				
signál	VA	VB_R	VB_L	VC	*VC_L	VD_R	VD_L	VE	VF_P	VF_L
interval [s]										
600	9,6	3,4	16,8	20,1	20,2	2,1	11,0	10,1	13,2	25,4
900	9,1	3,2	20,0	19,8	45,8	1,6	9,9	10,3	12,2	16,2
1200	10,4	3,1	24,8	19,2	0,0	1,6	12,2	12,0	13,3	16,0
1500	10,6	4,1	23,2	21,9	27,3	1,7	11,5	11,7	13,0	23,6
1800	10,3	4,3	27,0	23,1	26,3	1,6	10,7	11,2	13,5	20,7
2100	10,0	3,7	22,9	21,0	1,9	1,7	10,6	11,2	15,4	22,0
2400	9,7	3,7	17,0	24,0	30,9	1,1	8,0	11,5	14,8	15,4
2700	10,9	3,6	28,3	20,2	22,2	0,8	9,9	11,9	13,1	0,0
3000	11,3	5,2	30,6	20,8	26,1	1,0	7,1	11,4	16,4	27,5
3300	9,3	3,5	24,3	24,5	28,4	1,6	9,5	10,7	13,6	24,9
3600	9,7	4,5	20,6	17,5	4,8	0,8	5,0	9,5	12,9	24,6
3900	10,2	3,5	18,0	23,0	35,4	1,0	8,5	12,6	12,5	23,2
Průměr	10,1	3,8	22,8	21,3	26,1	1,4	9,5	11,2	13,7	21,6
ÚKD	A	A	B	B	B	A	A	A	A	B

Tabulka 11.6

Střední doba zdržení [s] - středa - odpolední špička - varianta 2										
křižovatka	I/50 - II/416 Křenovická					I/50 - III/0501 Špitálská				
signál	VA	VB_R	VB_L	VC_P	VC_L	VD_R	VD_L	VE	VF_P	VF_L
interval [s]										
600	10,3	2,0	14,2	21,5	25,7	1,4	9,6	10,1	13,1	24,8
900	9,7	1,7	11,8	18,5	58,5	1,4	8,8	10,2	12,0	15,7
1200	10,6	1,5	7,9	19,2	0,0	1,3	12,2	12,0	12,8	15,7
1500	10,4	2,8	16,7	18,4	32,0	1,2	11,2	11,4	13,0	23,7
1800	10,6	3,0	20,1	22,0	28,0	1,4	10,0	11,0	13,2	21,5
2100	10,0	2,3	18,9	21,9	3,5	1,7	9,9	11,2	15,0	21,8
2400	10,1	2,6	12,4	15,6	27,2	1,2	7,2	11,6	14,4	15,0
2700	10,9	2,5	21,0	20,6	34,8	0,6	9,2	11,6	13,0	0,0
3000	10,1	4,5	25,4	19,2	29,1	0,9	6,8	11,2	15,6	27,2
3300	10,2	2,3	19,7	18,8	28,6	1,4	7,8	10,6	13,0	25,4
3600	9,8	2,7	14,8	19,4	31,1	0,7	4,7	9,4	12,6	24,4
3900	10,8	1,8	12,9	20,4	32,6	0,8	8,5	12,9	12,4	22,8
Průměr	10,3	2,5	16,3	19,6	29,7	1,2	8,8	11,1	13,3	21,5
ÚKD	A	A	A	A	B	A	A	A	A	B

Tabulka 11.7

Střední doba zdržení [s] - pátek (2013) - odpolední špička - varianta 1										
křižovatka	I/50 - II/416 Křenovická					I/50 - III/0501 Špitálská				
signál	VA	VB_R	VB_L	VC	*VC_L	VD_R	VD_L	VE	VF_P	VF_L
interval [s]										
600	14,5	6,6	45,8	16,2	26,2	1,1	10,4	12,5	19,0	13,3
900	12,7	4,7	36,0	18,8	26,6	0,9	9,0	10,6	15,0	19,3
1200	12,2	5,0	30,7	17,1	12,6	1,1	7,4	9,8	13,9	28,2
1500	11,3	3,2	30,2	28,2	31,4	2,0	12,6	11,0	13,6	17,4
1800	9,4	3,6	23,1	35,0	43,6	2,0	10,5	11,3	13,8	22,6
2100	9,3	3,8	31,2	26,0	30,4	2,1	9,6	9,8	13,3	29,4
2400	11,2	2,8	21,9	22,8	28,3	1,7	8,0	10,1	13,6	30,4
2700	9,5	3,1	27,0	21,8	31,2	1,6	8,2	9,9	11,4	19,7
3000	10,1	3,3	23,6	22,9	30,6	1,5	5,4	9,1	14,6	26,6
3300	11,9	3,4	26,5	22,4	27,6	1,5	9,9	10,5	14,0	24,5
3600	10,4	3,2	27,0	24,5	24,5	1,9	9,4	10,6	13,1	27,1
3900	11,9	3,7	32,9	24,3	27,1	2,0	10,6	10,5	11,4	17,3
Průměr	11,2	3,9	29,7	23,3	29,6	1,6	9,2	10,5	13,9	23,3
ÚKD	A	A	B	B	B	A	A	A	A	B

Tabulka 11.8

Střední doba zdržení [s] - pátek (2013) - odpolední špička - varianta 2										
křižovatka	I/50 - II/416 Křenovická					I/50 - III/0501 Špitálská				
signál	VA	VB_R	VB_L	VC_P	VC_L	VD_R	VD_L	VE	VF_P	VF_L
interval [s]										
600	13,8	3,7	26,8	15,6	29,3	1,0	9,1	10,8	15,4	12,9
900	11,7	3,6	28,7	20,6	26,3	1,0	8,1	10,2	14,3	18,5
1200	12,4	4,1	25,3	17,2	15,4	1,0	7,1	11,6	14,8	27,2
1500	12,1	2,6	21,7	23,6	38,3	1,9	12,9	11,9	15,0	17,3
1800	11,3	3,0	21,4	22,4	41,7	1,6	9,6	11,2	13,5	22,0
2100	11,6	2,9	20,3	21,3	32,2	1,5	8,6	9,8	13,2	29,5
2400	12,4	2,0	16,0	20,9	37,9	1,3	6,9	10,0	13,3	29,1
2700	11,3	2,1	19,0	21,2	32,2	1,4	7,1	9,9	11,0	19,6
3000	12,3	2,3	20,4	19,6	33,2	1,1	6,1	9,2	14,5	26,6
3300	13,0	2,4	19,7	21,2	31,4	1,2	8,5	10,3	13,8	23,7
3600	11,3	2,1	17,6	19,2	33,6	1,7	9,4	10,4	12,8	25,9
3900	11,4	2,4	24,5	19,2	30,8	1,8	9,9	10,2	11,3	17,6
Průměr	12,0	2,8	21,8	20,2	32,9	1,4	8,6	10,5	13,6	22,8
ÚKD	A	A	B	B	B	A	A	A	A	B

Tabulka 11.9

Střední doba zdržení [s] - pátek (2015) - odpolední špička - varianta 1										
křižovatka	I/50 - II/416 Křenovická					I/50 - III/0501 Špitálská				
signál	VA	VB_R	VB_L	VC	*VC_L	VD_R	VD_L	VE	VF_P	VF_L
interval [s]										
600	8,7	3,1	21,0	31,3	36,8	1,6	10,0	11,7	13,7	13,8
900	8,0	2,9	26,0	22,3	27,7	2,3	13,0	11,8	13,9	19,8
1200	8,0	2,9	17,0	29,6	27,0	2,9	16,2	11,0	14,5	16,1
1500	9,2	4,0	30,9	29,8	30,4	2,3	9,3	11,8	13,6	23,5
1800	8,0	2,4	18,9	21,2	21,5	2,3	11,1	10,0	12,7	14,2
2100	8,3	2,9	19,4	27,9	38,1	2,6	12,1	11,2	11,7	0,0
2400	7,8	2,7	26,1	42,4	46,8	3,3	13,0	10,3	14,9	0,0
2700	8,7	4,3	25,5	35,1	47,2	3,6	11,0	10,9	13,9	29,2
3000	8,6	2,6	17,4	36,6	38,3	1,8	11,9	11,2	10,6	25,2
3300	7,9	3,5	18,3	52,9	51,5	2,7	7,2	11,0	11,0	23,2
3600	7,5	3,3	15,6	58,1	61,6	2,6	13,8	10,0	14,2	17,8
3900	8,6	2,4	13,8	46,7	56,9	2,9	21,0	12,9	14,2	25,9
Průměr	8,3	3,1	20,8	36,1	41,1	2,6	12,5	11,2	13,2	21,5
ÚKD	A	A	B	C	C	A	A	A	A	B

Tabulka 11.10

Střední doba zdržení [s] - pátek (2015) - odpolední špička - varianta 2										
křižovatka	I/50 - II/416 Křenovická					I/50 - III/0501 Špitálská				
signál	VA	VB_R	VB_L	VC_P	VC_L	VD_R	VD_L	VE	VF_P	VF_L
interval [s]										
600	10,5	2,5	16,2	22,9	31,5	1,2	8,0	11,5	13,9	14,3
900	9,4	1,6	10,8	19,6	25,9	1,7	12,2	11,7	13,7	19,5
1200	10,6	2,0	12,5	22,7	30,0	2,3	15,0	11,0	14,3	16,1
1500	11,5	2,6	19,8	22,6	34,3	1,7	8,5	11,8	13,4	23,4
1800	9,6	1,6	12,5	17,1	18,7	1,6	8,8	9,9	12,4	14,0
2100	9,8	2,4	16,0	18,0	37,1	2,3	11,1	11,2	11,6	0,0
2400	10,5	2,1	20,1	23,4	37,5	2,7	12,9	10,2	14,7	0,0
2700	10,8	2,7	18,5	20,0	40,4	2,8	10,2	10,6	13,7	30,2
3000	9,6	2,4	14,2	18,2	26,0	1,5	9,4	11,1	10,4	25,6
3300	9,6	3,1	16,5	23,6	36,5	2,3	6,7	10,8	10,5	23,6
3600	10,0	2,6	11,3	18,7	40,2	1,7	10,1	9,9	14,0	17,8
3900	11,0	1,8	9,6	18,8	38,8	1,7	17,5	13,0	14,0	25,7
Průměr	10,2	2,3	14,8	20,5	33,3	2,0	10,9	11,0	13,0	21,7
ÚKD	A	A	A	B	B	A	A	A	A	B

Příloha 12

Tabulka 12.1

Střední doba zdržení [s] - středa (2025) - ranní špička - varianta 1										
křižovatka	I/50 - II/416 Křenovická					I/50 - III/0501 Špitálská				
signál	VA	VB_R	VB_L	VC	*VC_L	VD_R	VD_L	VE	VF_P	VF_L
interval [s]										
600	10,8	5,4	9,1	15,3	15,6	0,4	13,2	41,4	35,4	33,5
900	11,6	6,2	13,9	14,2	27,0	0,2	13,8	47,5	60,9	0,0
1200	11,5	7,7	19,4	16,4	24,8	0,3	16,1	55,2	109,4	127,2
1500	10,8	6,4	11,4	11,2	9,4	0,6	18,4	45,0	97,0	94,5
1800	11,6	6,4	14,1	11,2	15,4	0,9	22,8	35,3	64,5	73,8
2100	11,0	5,0	13,6	13,9	17,5	0,3	16,2	25,8	43,6	0,0
2400	12,7	3,8	18,4	16,5	27,3	0,4	16,9	20,1	25,3	54,0
2700	11,9	5,0	14,5	22,3	27,1	0,2	10,0	14,1	22,9	45,1
3000	9,8	3,5	14,5	17,9	27,0	0,5	8,1	11,8	18,9	30,6
3300	11,9	5,0	13,0	12,3	0,0	0,4	12,2	14,7	30,4	54,2
3600	10,5	5,2	12,6	13,3	0,0	0,7	15,7	21,8	32,4	47,9
3900	9,9	5,2	12,4	15,7	0,0	0,8	15,5	18,1	22,3	30,2
Průměr	11,2	5,4	13,9	15,0	20,5	0,5	14,9	29,2	46,9	60,5
ÚKD	A	A	A	A	B	A	A	B	C	D

Tabulka 12.2

Střední doba zdržení [s] - středa (2025) - ranní špička - varianta 2										
křižovatka	I/50 - II/416 Křenovická					I/50 - III/0501 Špitálská				
signál	VA	VB_R	VB_L	VC_P	VC_L	VD_R	VD_L	VE	VF_P	VF_L
interval [s]										
600	15,3	3,2	9,0	11,1	19,9	0,5	13,9	31,1	28,0	28,4
900	17,2	4,4	10,9	11,0	36,2	0,2	14,2	37,6	37,5	0,0
1200	16,5	5,5	13,6	10,9	29,3	0,7	18,8	36,5	54,4	63,6
1500	15,2	3,9	9,8	8,6	22,7	0,5	14,4	20,6	43,8	48,9
1800	15,3	3,2	12,3	8,5	18,5	0,7	12,5	14,1	26,3	43,9
2100	15,7	2,5	6,7	8,9	21,6	0,4	15,0	17,6	22,0	0,0
2400	19,8	2,2	12,7	10,2	32,3	0,5	13,3	16,6	20,7	30,5
2700	17,2	2,5	11,3	12,1	32,3	0,3	8,2	11,9	19,8	43,4
3000	14,6	1,8	9,4	12,0	29,0	0,4	7,3	11,5	19,2	31,1
3300	16,5	2,9	10,5	9,5	0,0	0,3	9,3	12,8	25,3	52,9
3600	15,3	2,9	11,6	10,0	0,0	0,5	15,4	15,1	24,6	39,3
3900	13,5	2,5	9,3	12,7	0,0	0,7	12,9	14,0	20,5	26,4
Průměr	16,0	3,1	10,6	10,4	26,2	0,5	12,9	20,0	28,5	41,3
ÚKD	A	A	A	A	B	A	A	B	B	C

Tabulka 12.3

Střední doba zdržení [s] - středa (2025) - odpolední špička - varianta 1										
křižovatka	I/50 - II/416 Křenovická					I/50 - III/0501 Špitálská				
signál	VA	VB_R	VB_L	VC	*VC_L	VD_R	VD_L	VE	VF_P	VF_L
interval [s]										
600	12,6	4,4	36,2	31,7	42,7	3,2	18,1	10,6	13,3	31,0
900	15,9	3,0	32,0	22,6	44,6	2,2	12,9	11,2	13,9	17,6
1200	14,9	3,1	35,3	23,3	0,0	2,3	17,5	13,1	14,6	26,0
1500	15,0	4,3	39,1	36,7	41,2	3,1	17,5	12,8	13,6	16,3
1800	15,2	5,3	38,5	29,4	37,8	3,2	18,6	13,0	18,7	18,8
2100	19,2	4,0	48,0	29,4	39,9	2,6	16,4	12,6	15,1	29,1
2400	12,5	3,9	29,2	30,4	38,8	2,2	13,1	10,8	15,1	18,8
2700	14,6	4,2	38,3	33,6	33,7	1,1	12,0	13,0	15,4	0,0
3000	18,7	8,4	46,8	24,9	32,1	1,9	12,6	14,0	24,4	26,0
3300	16,0	4,5	41,7	37,1	41,0	3,0	16,4	11,4	21,3	32,0
3600	17,3	4,3	36,8	29,6	37,5	2,8	9,6	10,0	17,0	23,1
3900	10,6	3,8	32,5	26,9	41,7	1,8	11,5	12,6	12,8	22,5
Průměr	15,2	4,4	37,9	29,7	38,5	2,4	14,7	12,1	16,3	23,5
ÚKD	A	A	C	B	C	A	A	A	A	B

Tabulka 12.4

Střední doba zdržení [s] - středa (2025) - odpolední špička - varianta 2										
křižovatka	I/50 - II/416 Křenovická					I/50 - III/0501 Špitálská				
signál	VA	VB_R	VB_L	VC_P	VC_L	VD_R	VD_L	VE	VF_P	VF_L
interval [s]										
600	10,3	2,3	23,1	29,8	49,6	3,3	19,4	10,4	13,4	28,1
900	11,9	2,6	22,0	24,6	66,4	1,8	11,6	12,7	14,4	17,2
1200	11,8	1,4	18,3	22,5	0,0	2,2	16,0	12,8	14,4	25,8
1500	12,2	2,6	28,4	29,1	41,9	3,2	18,7	12,6	13,3	16,4
1800	11,6	3,6	27,5	21,8	34,5	2,8	17,4	12,5	15,7	18,0
2100	12,1	2,4	25,9	30,3	39,1	2,5	14,4	12,4	14,7	28,8
2400	11,1	2,8	17,6	24,3	29,3	2,1	10,6	10,8	14,9	18,8
2700	11,2	3,7	30,6	21,2	34,0	0,9	12,4	13,1	14,3	0,0
3000	10,3	7,0	37,8	21,6	29,8	2,3	12,1	14,0	25,0	28,6
3300	10,9	3,8	30,7	25,2	33,3	2,5	14,1	11,2	19,1	30,8
3600	10,6	2,8	23,4	36,1	41,4	2,0	8,9	9,9	16,7	22,5
3900	10,1	2,2	19,0	20,4	37,9	1,5	11,8	12,3	12,4	21,9
Průměr	11,2	3,1	25,4	25,6	36,8	2,3	13,9	12,1	15,7	23,2
ÚKD	A	A	B	B	C	A	A	A	A	B