

Univerzita Pardubice  
Dopravní fakulta Jana Pernera

Návrh na zavedení preference MHD – tramvají  
na křižovatce ulic 17. Listopadu/Opavská  
v Ostravě

Ondřej Mikulaj

Diplomová práce

2015

Univerzita Pardubice  
Dopravní fakulta Jana Pernera  
Akademický rok: 2014/2015

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Ondřej Mikulaj**  
Osobní číslo: **D13620**  
Studijní program: **N3708 Dopravní inženýrství a spoje**  
Studijní obor: **Technologie a řízení dopravy**  
Název tématu: **Zavedení preference MHD-tramvají na křižovatce ulic Opavská  
a 17.listopadu  
v Ostravě.**  
Zadávací katedra: **Katedra technologie a řízení dopravy**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Úvod

1. Analýza provozu na křižovatce
2. Navržení nového systému preference MHD s ohledem na současný stav
3. Zhodnocení navrženého řešení s ohledem na efektivitu a ekonomiku provozu

Závěr

Rozsah grafických prací: 4 - 5  
Rozsah pracovní zprávy: 50 - 60  
Forma zpracování diplomové práce: tištěná  
Seznam odborné literatury:


(1) Centrum dopravního výzkumu. Zásady pro navrhování světelných signalizačních zařízení pro řízení provozu na pozemních komunikacích: technické podmínky 81. Navrhování světelných signalizačních zařízení pro řízení provozu na pozemních komunikacích. 2.vydání. Ministerstvo dopravy, Květen 2006. ISBN: 80-86502-30-9.

(2) Ing. Michaela Ledvinová, Ph.D. Dopravní inženýrství - studijní opora [cd]. Pardubice: Univerzita Pardubice, červen 2013.


(3) ČSN 73 6021 Umístění a použití návěstidel. Praha: ÚNMZ, duben 1994.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Michaela Ledvinová, Ph.D.  
Katedra technologie a řízení dopravy

Datum zadání diplomové práce: 1. února 2015  
Termín odevzdání diplomové práce: 22. května 2015

  
doc. Ing. Ivo Drahotský, Ph.D.  
děkan

L.S.

  
doc. Ing. Pavel Drdla, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 1. února 2015

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji:

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

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

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 22. 5. 2015

Ondřej Mikulaj

## **PODĚKOVÁNÍ**

V první řadě bych rád poděkoval své vedoucí diplomové práce Ing. Michaele Ledvinové, Ph.D. za odborné rady při psaní práce a dále pánům Ing. Miroslavu Laštůvkovi ze společnosti Ostravské komunikace, a.s. za poskytnutí možnosti tvorby signálního plánu v programu LISA + a jeho rady a Ing. Janu Adámkovi ze společnosti Technická správa komunikací hlavního města Prahy za poskytnutí rad a nápadů při zhodnocení dopadů preference tramvají do provozu a ekonomiky dopravního podniku Ostrava, a.s.

## **ANOTACE**

Práce je zaměřena na zavedení preference tramvají na křižovatce ulic 17. Listopadu/Opavská v Ostravě. Je provedena analýza provozu na křižovatce a jsou vyjmenovány hlavní nedostatky, které plynou se současného provozu. Součástí navržených změn jsou úpravy v dynamickém řízení křižovatky, tzn. v signálních plánech a fázových skupinách. V práci jsou zhodnoceny výhody a nevýhody, které preference MHD přináší, včetně vyčíslení ekonomických nákladů a přínosů.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

tramvaje, městská hromadná doprava, preference, signální plány, zelená vlna, kongesce

## **TITLE**

Introduction of preference public transport service-trams on the junction of Opavska and 17. Listopadu street in Ostrava city.

## **ANNOTATION**

The work deals with the introduction of preferences on trams on junction Opavska and 17. Listopadu Street in Ostrava City. Analysis of transport operations on the junction is performed and the main absences arising from current flow are described. Included within the designed amendment are changes in dynamic conduct of the junction especially in the signalling plan and the group phase. The pros and cons evaluated in the task are related to the preference of public transport service, including of enumeration economic costs and financial benefits.

## **KEYWORDS**

trams, public transport service, preference, signalling plans, green wave, congestion

## OBSAH

<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b> .....	<b>- 9 -</b>
<b>SEZNAM TABULEK</b> .....	<b>- 10 -</b>
<b>SEZNAM ZKRATEK</b> .....	<b>- 11 -</b>
<b>ÚVOD</b> .....	<b>- 12 -</b>
<b>1 ANALÝZA SOUČASNÉHO PROVOZU NA KŘIŽOVATCE</b> .....	<b>- 13 -</b>
1.1 Základní údaje a popis současného stavu.....	- 13 -
1.2 Analýza intenzit dopravních proudů.....	- 15 -
1.2.1 Intenzity silničního provozu .....	- 15 -
1.2.2 Intenzita tramvajového provozu .....	- 21 -
1.3 Analýza signálního plánu a koordinace řízení s přilehlými křižovatkami .....	- 22 -
1.3.1 Signální skupiny v signálním plánu .....	- 23 -
1.3.2 Sled jednotlivých fází v signálním plánu .....	- 24 -
1.3.3 Koordinace řízení s přilehlými křižovatkami .....	- 27 -
1.3.4 Technické prvky pro preferenci tramvají na křižovatkách.....	- 27 -
1.4 Analýza nehodovosti na křižovatce .....	- 29 -
1.5 Důvody pro zavedení preference MHD .....	- 31 -
1.5.1 Hlavní důvody pro zavádění preference MHD ve městech .....	- 32 -
1.5.2 Výhody plynoucí se zavedení preference tramvají v Ostravě .....	- 33 -
1.6 Závěry plynoucí z části analýza provozu na křižovatce.....	- 34 -
<b>2 NÁVRH NA ZAVEDENÍ PREFERENCE TRAMVAJOVÉ DOPRAVY V OSTRAVĚ A ZMĚNU ŘÍZENÍ KŘIŽOVATKY</b> .....	<b>- 35 -</b>
2.1 Návrh na modernizaci technických prvků pro zavedení preference tramvají.....	- 35 -
2.1.1 Ostatní požadavky na palubní systém v tramvaji .....	- 37 -
2.1.2 Komunikační schéma mezi tramvají a řadičem na křižovatce .....	- 38 -
2.2 Navrhované technické prvky pro preferenci z hlediska vybavení křižovatky.....	- 39 -
2.3 Proces preference tramvaje při průjezdu křižovatkou .....	- 41 -
2.4 Návrh na úpravu dynamického řízení křižovatky pomocí vložení fází.....	- 43 -
2.5 Návrh na úpravu signálního plánu s pomocí programu LISA+ .....	- 46 -
2.6 Postup při preferenci dvou dopravních prostředků na křižovatce.....	- 49 -

<b>3 ZHODNOCENÍ DŮSLEDKŮ ZAVEDENÍ PREFERENCE TRAMVAJÍ .....</b>	<b>- 50 -</b>
3.1 Porovnání teoretické doby zdržení tramvají při zavedení preference na křižovatce	- 51 -
3.2 Zhodnocení ekonomických ukazatelů.....	- 54 -
3.3 Zkrácení doby volna pro automobily .....	- 56 -
3.4 Důsledky zavedení preference na „zelenou vlnu“ v koordinovaném tahu .....	- 60 -
3.5 Finanční náročnost investice .....	- 62 -
3.6 Finanční návratnost investice .....	- 62 -
3.6 Shrnutí pozitivních i negativních dopadů po zavedení preference tramvají.....	- 63 -
<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>- 65 -</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>- 68 -</b>
<b>PŘÍLOHY.....</b>	<b>- 69 -</b>



## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Poloha řešené křižovatky ve městě Ostrava .....	- 13 -
Obrázek 2: Poloha řešené křižovatky ve městě Ostrava).....	- 14 -
Obrázek 3: Skladba dopravního proudu z ručního sčítání na křižovatkách z 06/ 2014.....	- 14 -
Obrázek 4: Denní průběh intenzit na křižovatce.....	- 15 -
Obrázek 5: Grafické znázornění intenzit provozu ze směru od Děhylova .....	- 17 -
Obrázek 6: Grafické znázornění intenzit provozu ze směru od Ostravy – Svinova .....	- 18 -
Obrázek 7: Grafické znázornění intenzit provozu ve směru od Rudné .....	- 19 -
Obrázek 8: Grafické znázornění intenzit provozu ve směru od Opavy .....	- 20 -
Obrázek 9: Pentlogram zatížení křižovatky - počet vozidel v rozmezí 17:00 – 18:00 h .....	- 21 -
Obrázek 10: Signální skupiny používané na křižovatce.....	- 23 -
Obrázek 11: Signální skupiny v jednotlivých fázích.....	- 25 -
Obrázek 12: Grafické znázornění posloupnosti jednotlivých fází.....	- 26 -
Obrázek 13: Znázornění směru koordinace a koordinované křižovatky .....	- 27 -
Obrázek 14: Řadič pro řízení světelné signalizace na křižovatce.....	- 28 -
Obrázek 15: Příklad detektoru – pružinový kolejový kontakt .....	- 29 -
Obrázek 16: Hlavní příčiny nehody v případě srážky s nekolejovým jedoucím vozidlem ...	- 30 -
Obrázek 17: Procentuální rozdělení celkové cestovní doby.....	- 31 -
Obrázek 18: Procentuální skladba časových ztrát při jízdě tramvaje.....	- 32 -
Obrázek 19: Znázornění budované přeložky silnice I/11.....	- 34 -
Obrázek 20: Stávající a nově navržené prvky v palubním systému tramvajů.....	- 36 -
Obrázek 21: Příklad palubního počítače signalizujícího „čekej na zastávce“ .....	- 37 -
Obrázek 22: Schéma komunikace tramvaj – řadič.....	- 38 -
Obrázek 23: Palubní počítač ve zkušebním testovacím autobusu v průběhu zkoušky .....	- 39 -
Obrázek 24: Příklad rozmístění kontrolních bodů na přihlášku a odhlášku při testování....	- 40 -
Obrázek 25: Schéma preference na křižovatce 17. Listopadu/Opavská.....	- 42 -
Obrázek 26: Navrhovaný sled fází, varianta bez úpravy návěstidel .....	- 44 -
Obrázek 27: Nově navržený signální plán pro dynamické řízení provozu .....	- 47 -
Obrázek 28: Schéma naprogramování řadiče pro preferenci.....	- 49 -
Obrázek 29: Grafické znázornění zkrácení průměrného zdržení při průjezdu křižovatkou -	52 -
Obrázek 30: Spotřeba elektrické energie v závislosti na vzdálenosti zastávek .....	- 54 -
Obrázek 31: Grafické znázornění signálních skupin na křižovatce.....	- 59 -
Obrázek 32: Grafické znázornění koordinovaného tahu.....	- 61 -

## SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Počty vozidel na ulici 17. Listopadu ve směru od Děhylova .....	- 16 -
Tabulka 2: Počty vozidel na ulici Opavská ze směru Ostrava - Svinov.....	- 17 -
Tabulka 3: Počty vozidel na ulici 17. Listopadu ve směru od Rudné .....	- 18 -
Tabulka 4: Počty vozidel na ulici Opavská ve směru od Opavy .....	- 19 -
Tabulka 5: Intervaly a počty tramvají na křižovatce .....	- 22 -
Tabulka 6: Používané signální plány podle jednotlivých dnů a hodin .....	- 23 -
Tabulka 7: Tabulka mezičasů na křižovatce ulic 17. Listopadu/Opavská .....	- 24 -
Tabulka 8: Všeobecný statistický přehled o nehodách.....	- 29 -
Tabulka 9: Teoretická doba zdržení u SZZ na vybraných křižovatkách.....	- 53 -
Tabulka 10: Porovnání páteřní linky před a po zavedení preference.....	- 53 -
Tabulka 11: Vyčíslení ekonomických úspor .....	- 55 -
Tabulka 12: Shrnutí změn v signálních skupinách .....	- 58 -
Tabulka 13: Změna kapacity jednotlivých vjezdů po úpravě SP .....	- 60 -

## **SEZNAM ZKRATEK**

DPO, a.s. – Dopravní podnik Ostrava, a.s.

GPS – global positioning systém

IAD – individuální automobilová doprava

IZS – integrovaný záchranný systém

MHD – městská hromadná doprava

OK, a.s. – Ostravské komunikace, a.s.

SSZ – světelné signalizační zařízení

TP 81 – technické podmínky 81

WiFi – wireless fidelity

## ÚVOD

“Hromadná doprava osob má zásadní význam pro funkčnost měst. Je zapotřebí, aby byla atraktivní, rychlá, pravidelná a spolehlivá. Důležité je, aby byly minimalizovány její ztrátové časy na světelně řízených křižovatkách”. (1) Toho lze docílit:

1. Řízením vhodnými pevnými signálními plány – možnost snížení časové ztráty vozidel městské hromadné dopravy (MHD) na světelně řízených křižovatkách. Jak vyplývá z podstaty řízení pevnými signálními plány, možnosti eliminace ztrát jsou ale v tomto případě omezené.

2. Dynamickým řízením s preferencí vozidel MHD - přímým ovlivňováním světelné signalizace (jedoucími) vozidly MHD v jejich prospěch. Pro signalizaci jsou používána návěstidla pro tramvaje, nebo se prostředky MHD řídí signály pro automobilový provoz. Někdy je nezbytné či účelné provést stavební úpravy nebo změnu organizace dopravy. Postup při návrhu nového způsobu řízení s preferencí pomocí světelných signalizačních zařízení (SSZ), případně stanovení potřebných stavebních úprav je následující:

1. Stanovení základních údajů o křižovatce a jejího okolí a popis současného stavu:

- součástí je také schéma uspořádání křižovatky a rozmístění návěstidel.

2. Získání výchozích podkladů a jejich zhodnocení:

- rozměry křižovatky,
- dopravní značení na křižovatce,
- průzkum intenzity provozu na křižovatce,
- provést analýzu nehodovosti na křižovatce,
- stanovení intenzity tramvajového provozu,
- výhled do budoucna (z hlediska intenzity provozu).

3. Výpočet mezičasů-dle TP 81. (1)

4. Stanovení fází.

5. Posouzení sledu fází.

6. Stanovení dob signálů volno (budou vypočítány metodou saturovaného toku a metodou spotřeby času).

7. Sestavení signálního plánu.

8. Posouzení kapacity křižovatky.

**Cílem diplomové práce je provést úpravy v signálním plánu křižovatky tak, aby byl umožněn plynulý průjezd tramvají přes křižovatku v čase kratším, než je výchozí stav.**

# 1 ANALÝZA SOUČASNÉHO PROVOZU NA KŘÍŽOVATCE

## 1.1 Základní údaje a popis současného stavu

Křižovatka ulic 17. Listopadu a Opavská se nachází v městské části Ostrava-Poruba. Na obrázku 1 je její poloha označena červenou barvou. Jde o úrovnňovou průsečnou křižovatku. Jedná se o velmi vytíženou křižovatku, která je složena ze silnice první třídy I/11, což je spojnice Opavy a Havířova, dále ze silnice druhé třídy II/469, která spojuje část Ostrava – Poruba a město Hlučín, a silnice druhé třídy II/479, která je spojnicí městské části Poruba a centra Ostravy. Jednotlivé větve tvoří směry Děhylov, Opava, Ostrava – Svinov a Rudná. Křižovatka je řízena světelným signalizačním zařízením (SSZ) a dopravním značením, hlavní silnice je značena na ulici Opavská. Ve vzdálenosti 4 km od křižovatky je sjezd/nájezd z dálnice D1. Křižovatka je v evidenci Ostravských komunikací, a.s. (OK, a.s.) označena jako objekt 4006, evidenční číslo vychází z číslování křižovatek z důvodu sledování nehodovosti.



Zdroj: (2)

Obrázek 1: Poloha řešené křižovatky ve městě Ostrava

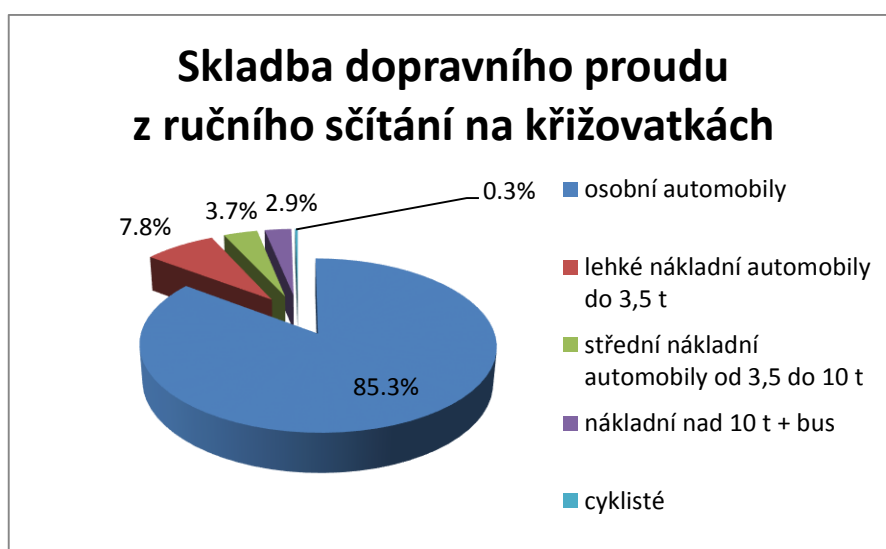
Větev křižovatky z ulice 17. Listopadu tvoří na vjezdu 3 řadící pruhy v šířce 3 metry a jeden jízdní pruh na výjezdu v šířce 3 metry na protilehlé straně ulice (směr Děhylov). Pro každý směr jízdy na vjezdu je vyznačen 1 řadící pruh. Ulice 17. Listopadu je směrově rozdělena tělesem tramvaje (tramvaje pokračují na ulici Opavská). Řadící pruhy jsou 65 metrů dlouhé. Vjezd z ulice Opavská je složen z 3 řadících pruhů ve směru od Opavy. Komunikace je směrově rozdělena travnatým pásem. Ve směru z centra Ostravy je vjezd tvořen opět 3 řadícími pruhy v šířce 3 metry a komunikace je směrově rozdělena tramvajovým tělesem. Řadící pruhy mají délku 75 metrů. V opačném směru při výjezdu z křižovatky je ulice Opavská tvořena 2 jízdními pásy v šířce 3 metry. V každé větvi jsou přechody o délce 10 – 12 metrů. Na obrázku 2 je letecký snímek křižovatky. (3)



Obrázek 2: Poloha řešené křižovatky ve městě Ostrava

Zdroj: (3)

Dle sčítání intenzity dopravy zadaného statutárním městem Ostrava mezi roky 2012 a 2013 byla stanovena intenzita dopravy 32 447 vozidel za 16 hodin (5:00 – 21:00) v roce 2012 a 32 065 vozidel za 16 hodin v roce 2013, což je pokles o 1,17 %. (4) Výsledky z ručního sčítání skladby dopravního proudu na křižovatce, provedeného v červnu 2014 Statutárním městem Ostrava jsou údaje uvedeny na obrázku 3. (4)

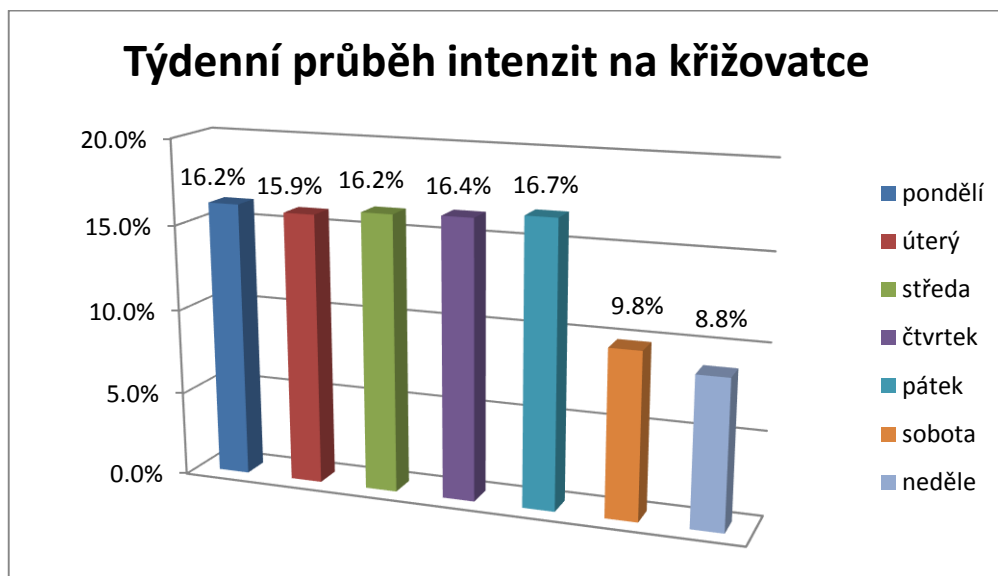


Obrázek 3: Skladba dopravního proudu z ručního sčítání na křižovatkách z června roku 2014

Zdroj: (5)

K těmto údajům je ještě nutno vzít v úvahu tramvajový provoz, který je přítomen na křižovatce řešené v této práci a je součástí páteřního systému městské hromadné dopravy v Ostravě.

Údaje o intenzitě tramvajového provozu jsou uvedeny v podkapitole 1.2 Analýza intenzit dopravních proudů. V rámci průzkumu dopravních proudů byl stanoven týdenní průběh intenzit uvedený na obrázku 4 (průzkum z června roku 2013).



Obrázek 4: Denní průběh intenzit na křižovatce

Zdroj: (5)

Obrázky 3 a 4 vyjadřují složení dopravního proudu a týdenní průběh intenzit na křižovatce. Tyto údaje jsou standardními daty o provozu a nevybočují z průměru, který je standardní obecně pro jakoukoliv jinou křižovatku ve městě a okolí. Tato data budou použita při návrhu nebo úpravě signálního plánu ve vazbě na preferenci tramvají.

## 1.2 Analýza intenzit dopravních proudů

V této části je analyzována intenzita provozu na křižovatce. Dopravní průzkum byl proveden 30. 6. 2014 a vychází z automatických indukčních smyček (sčítačů) na křižovatce s korekcemi provedenými autorem práce z důvodu nepřesnosti automatického sčítání. V následujících 4 tabulkách (tabulka 1 – 4) jsou uvedeny údaje o intenzitách provozu všech vozidel na křižovatce ze všech 4 směrů. Údaje jsou za celých 24 h a pocházejí z automatických sčítačů na křižovatce a byly poskytnuty společností OK, a.s. Intenzita provozu vozidel slouží k analýze signálního plánu a k jeho případné úpravě.

### 1.2.1 Intenzity silničního provozu

Analýza intenzit provozu uvedená v tabulkách 1 - 4 je základním vstupem pro návržení úprav signálního plánu a zavedení preference MHD, stejně jako pro posouzení vhodnosti aktuálně (k 31. 12. 2014) používaného signálního plánu. Vysoká intenzita provozu vychází z polohy křižovatky ulic 17. Listopadu a Opavská, která leží na silnici první třídy od Opavy a je tak hlavní spojnici Opavy a Ostravy.

Blížkost dálnice D1 také významně přispívá k vysoké intenzitě zdejšího provozu, stejně jako blízký nájezd (ulice Rudná) na spojnici Ostravy a Havířova, která dále pokračuje do Polska a na Slovensko. Z vizuálního sledování v rámci 5 pracovních dní, vždy jednu hodinu denně autorem této práce vyplynulo, že zde dochází ke vzniku kongescí nejen ve špičkových hodinách, špičkové hodiny se na křižovatce vyskytují mezi 16:00 a 18:00 hod. Fronty vozidel se ve špičkových hodinách tvoří ze všech 4 směrů a vozidla nestihnou odjet v rámci jedné zelené. Samotný signální plán je analyzován v podkapitole 1.3.

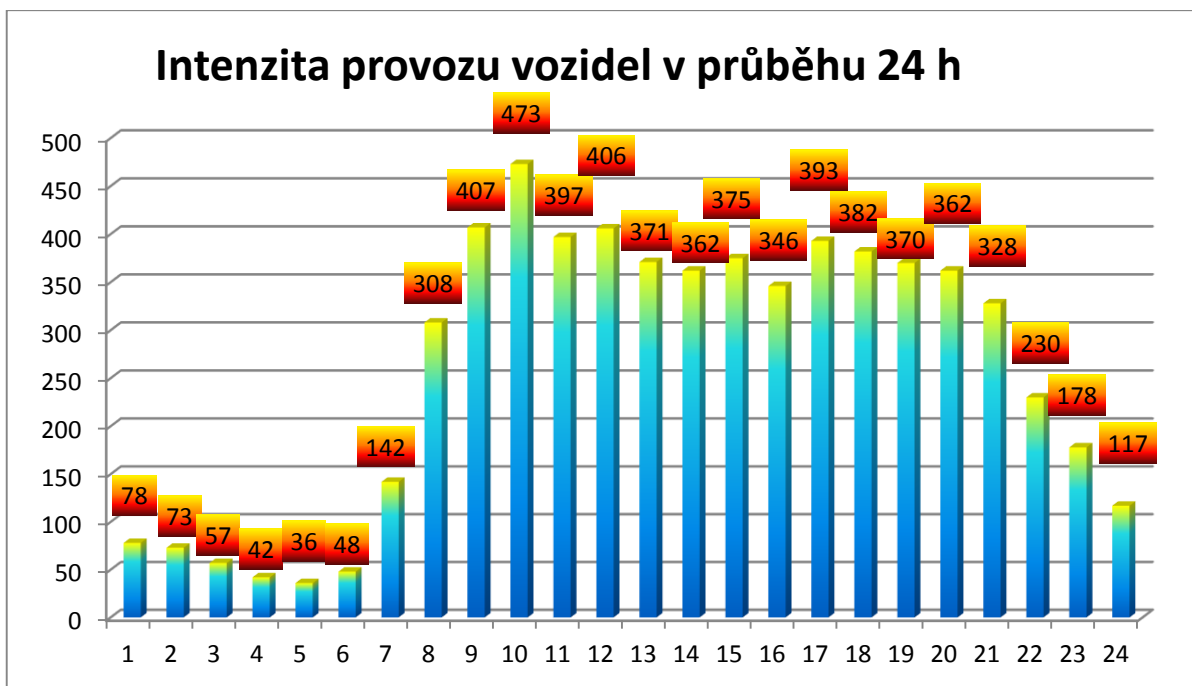
Tabulka 1: Počty vozidel na ulici 17. Listopadu ve směru od Děhylova

Čas (od)	L	S	P	Celkem	Čas (od)	L	S	P	Celkem
0	36	40	2	78	13	135	181	46	362
1	48	24	1	73	14	128	203	44	375
2	31	23	3	57	15	116	185	45	346
3	25	17	0	42	16	130	200	63	393
4	18	18	0	36	17	126	196	60	382
5	19	28	1	48	18	119	209	42	370
6	48	80	14	142	19	118	196	48	362
7	79	196	33	308	20	103	185	40	328
8	114	243	50	407	21	68	145	17	230
9	150	252	71	473	22	68	99	11	178
10	123	221	53	397	23	50	66	1	117
11	130	224	52	406					
12	135	202	34	371	<b>Celkem</b>	<b>2117</b>	<b>3433</b>	<b>731</b>	<b>6281</b>

Zdroj: (6)

V tabulce 1 jsou uvedeny údaje za 24 hodin během dne. Tabulka zobrazuje počty vozidel do jednotlivých směrů a to L (levé odbočení), S (jízda rovně), P (odbočení vpravo). Obrázek 5 je grafickým znázorněním těchto údajů. Na křižovatce lze charakterizovat 4 hlavní směry dopravních proudů a to směr od obce Děhylov, vjezd Opavská od Svinova, vjezd 17. Listopadu od Rudné a vjezd Opavská od Opavy.





Obrázek 5: Grafické znázornění intenzit provozu ze směru od Děhylova

Zdroj: (6)

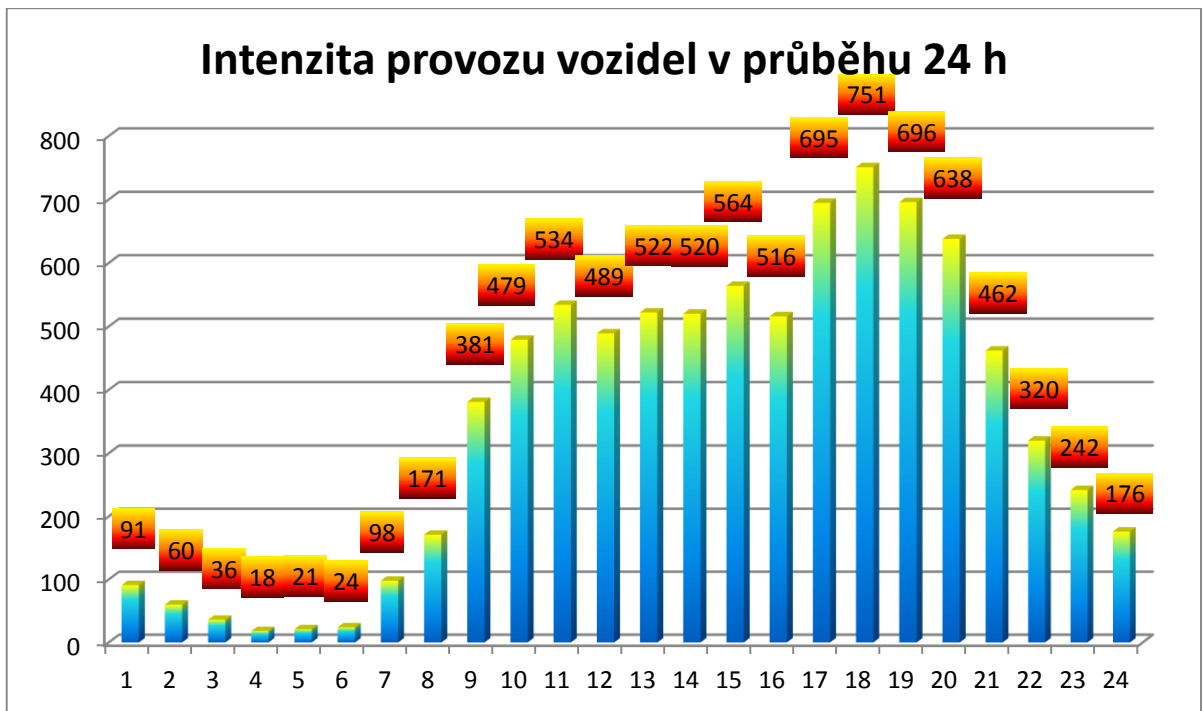
Průběh intenzity na křižovatce během dne má poněkud odlišný průběh. Běžná dopravní špička se uvažuje kolem 7. – 8. hodiny ránní a 14. – 15. hodiny odpolední. Z průběhu sčítání z tohoto směru je zřejmé, že největší intenzita je kolem 10. hodiny dopolední a potom kolem 17. hodiny odpolední. Na obrázku 5 jsou zobrazeny průběhy intenzit vozidel. Netypický průběh intenzity lze vysvětlit částečně tranzitním charakterem dopravy (cca 40 %) a také blízkostí nájezdu na dálnice D1. Mezi další příčinu patří také blízkost Fakultní nemocnice Ostrava a Vysoké školy báňské – technické univerzity Ostrava, což má za následek zvýšení intenzity provozu od začátku akademického roku (polovina září).

Tabulka 2: Počty vozidel na ulici Opavská ze směru Ostrava - Svinov

Čas (od)	L	S	S+P	Celkem	Čas (od)	L	S	S+P	Celkem
0	43	14	34	91	13	140	129	251	520
1	24	5	31	60	14	173	130	261	564
2	10	5	21	36	15	116	139	261	516
3	6	2	10	18	16	164	221	310	695
4	6	4	11	21	17	167	239	345	751
5	7	6	11	24	18	131	235	330	696
6	64	12	22	98	19	147	186	305	638
7	66	17	88	171	20	111	121	230	462
8	174	75	132	381	21	90	70	160	320
9	156	97	226	479	22	74	55	113	242
10	179	128	227	534	23	68	37	71	176
11	177	97	215	489					
12	155	121	246	522					
					<b>Celkem</b>	<b>2448</b>	<b>2145</b>	<b>3911</b>	<b>8504</b>

Zdroj: (6)

Směr z Ostravy – Svinova je směrem z centra města Ostravy. Intenzita vozidel v tomto směru je řádově o 2 000 vozidel vyšší než ze směru od Děhylova. Silnice z centra města směřuje na Opavu, dálnici D1 a Havířov. Z tohoto směru vznikají kongesce v průběhu nejvytíženějších hodin (10:00 – 18:00). Vozidla ve špičkových hodinách cca ve třetině případů (odhad autora) neprojedou křižovatkou na první cyklus signálního plánu, ale až na druhý. Z tohoto směru odbočují vlevo na ulici 17. Listopadu tramvaje. Nejvyšší intenzita je dopoledne mezi 10. a 11. hodinou, odpoledne mezi 17. a 18. hodinou. K dispozici jsou na vjezdu 3 řadící pruhy pro každý směr. Obrázek 6 shrnuje intenzitu provozu v tomto směru.



Obrázek 6: Grafické znázornění intenzit provozu ze směru od Ostravy – Svinova

Zdroj: (5)

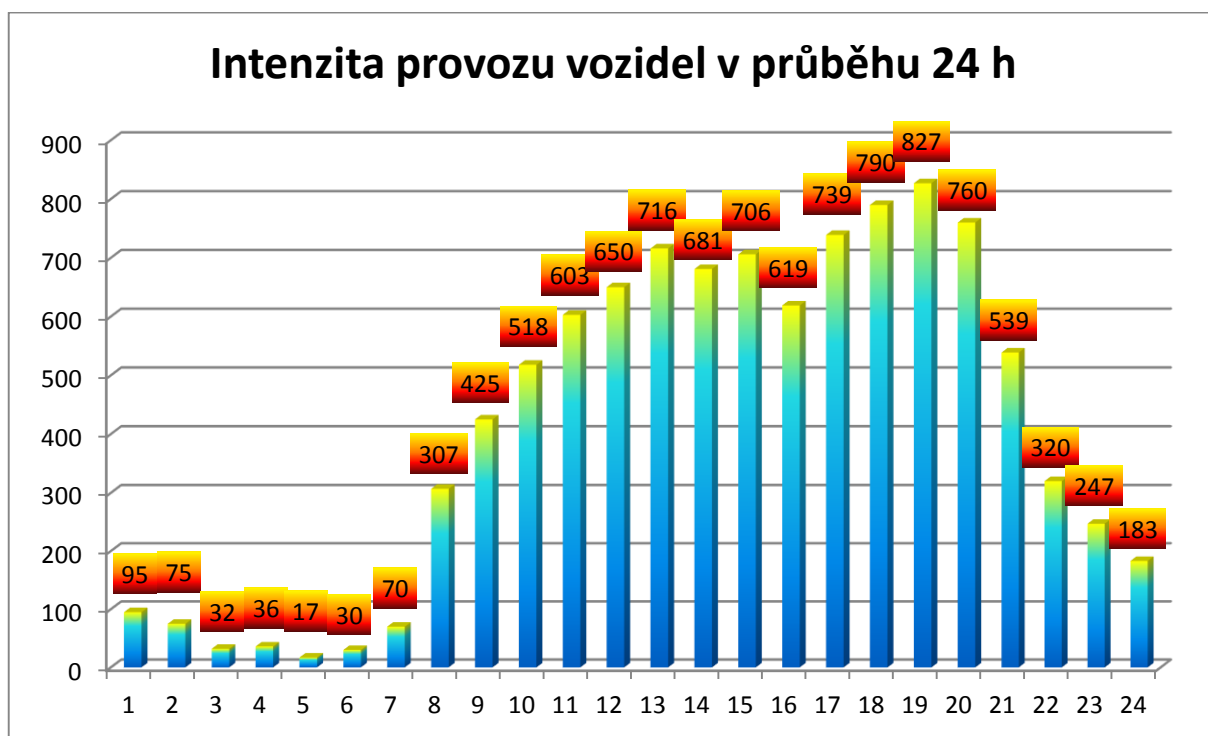
V následující tabulce 3 jsou zobrazena data za vjezd na ulici 17. Listopadu od Rudné.

Tabulka 3: Počty vozidel na ulici 17. Listopadu ve směru od Rudné

Čas (od)	L	S	P	Celkem	Čas (od)	L	S	P	Celkem
0	33	44	18	95	13	323	229	129	681
1	22	42	11	75	14	341	228	137	706
2	6	16	10	32	15	306	205	108	619
3	10	17	9	36	16	349	272	118	739
4	6	7	4	17	17	369	285	136	790
5	12	14	4	30	18	413	275	139	827
6	22	29	19	70	19	352	294	114	760
7	156	104	47	307	20	231	232	76	539
8	223	131	71	425	21	140	133	47	320
9	246	174	98	518	22	117	101	29	247
10	312	168	123	603	23	68	86	29	183
11	313	213	124	650					
12	317	248	151	716	<b>Celkem</b>	<b>4687</b>	<b>3547</b>	<b>1751</b>	<b>9985</b>

Zdroj: (6)

V tomto směru se ve všedních dnech tvoří fronty vozidel, které nestihnou projet křižovatkou na první cyklus signálního plánu, ale opět až na druhý. K dispozici jsou dostatečně dlouhé 3 řadící pruhy, pro každý směr jízdy. Při pohledu na grafické zobrazení těchto dat (Obrázek 7) je zřejmé, že první špičková hodina během dne nastává až kolem 13. hodiny odpolední a druhá špičková hodina následuje v 19 hodin večer.



Obrázek 7: Grafické znázornění intenzit provozu ve směru od Rudné

Zdroj: (6)

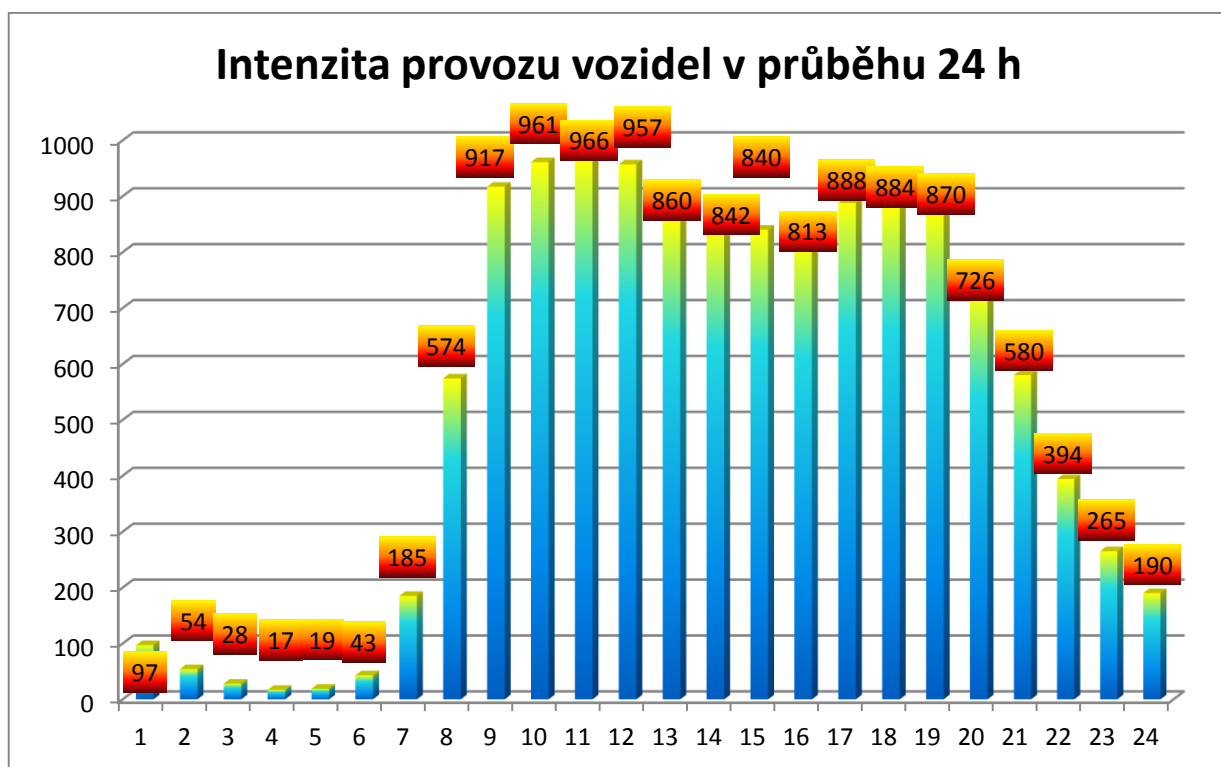
Špičkové hodiny kolem 19. a 20. hodiny večerní jsou zapříčiněny návratem lidí např. ze služebních cest nebo ve směru od Havířova a Českého Těšína také z volnočasových aktivit. Poslední zkoumaným směrem na ulici Opavská je směr od Opavy.

Tabulka 4: Počty vozidel na ulici Opavská ve směru od Opavy

Čas (od)	L	S	P+S	Celkem	Čas (od)	L	S	P+S	Celkem
0	25	34	38	97	13	201	344	297	842
1	15	19	20	54	14	206	323	311	840
2	6	12	10	28	15	186	325	302	813
3	3	4	10	17	16	224	361	303	888
4	6	6	7	19	17	207	383	294	884
5	9	15	19	43	18	201	365	304	870
6	42	69	74	185	19	176	299	251	726
7	141	227	206	574	20	154	211	215	580
8	229	396	292	917	21	95	140	159	394
9	239	419	303	961	22	66	87	112	265
10	249	421	296	966	23	48	70	72	190
11	257	384	316	957					
12	203	353	304	860					
					<b>Celkem</b>	<b>3188</b>	<b>5267</b>	<b>4515</b>	<b>12970</b>

Zdroj: (6)

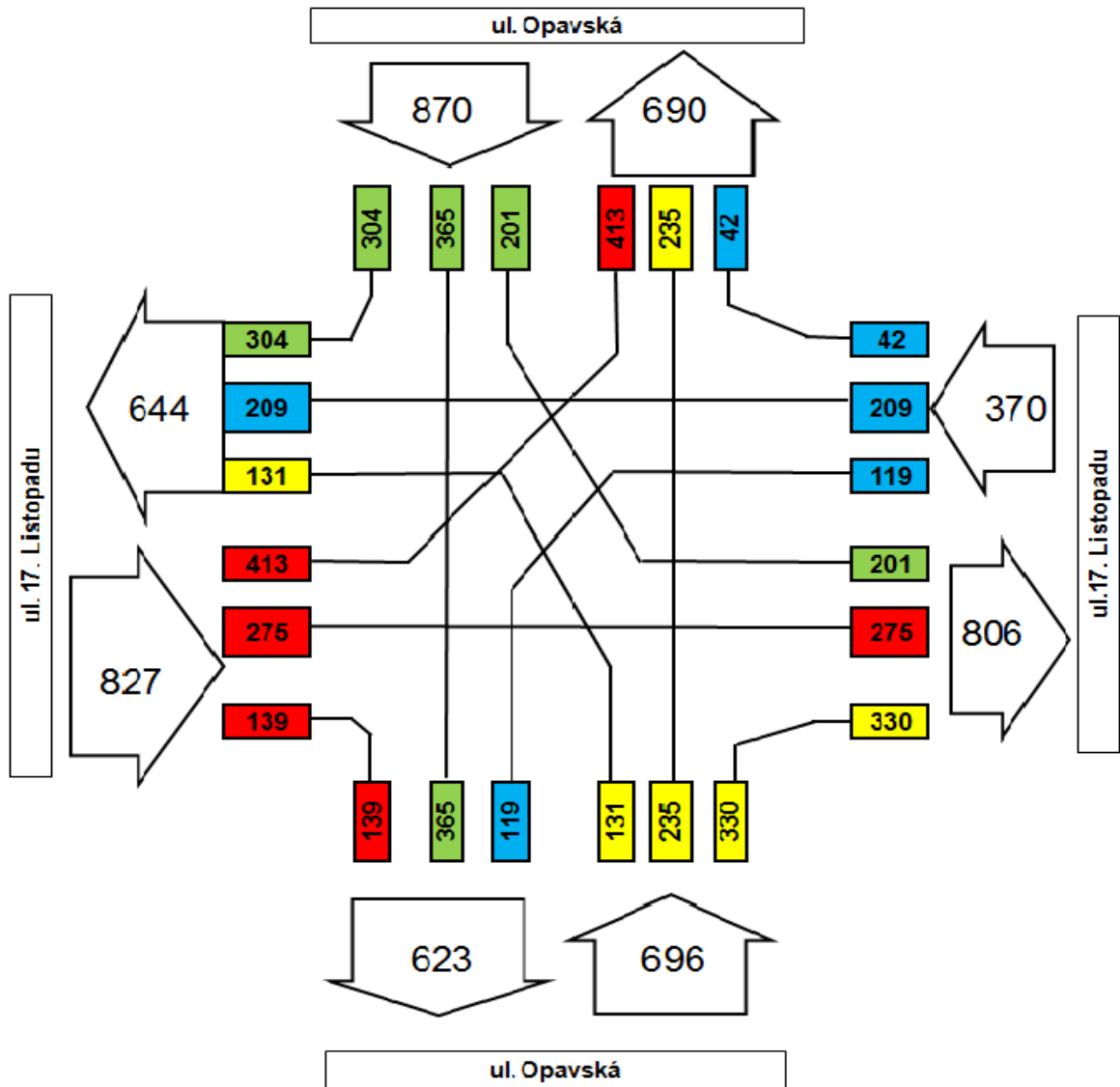
Následující obrázek 8 graficky zobrazuje intenzity vozidel v průběhu dne.



Obrázek 8: Grafické znázornění intenzit provozu ve směru od Opavy

Zdroj: (6)

Dopravní špička je mezi 10. a 11. hodinou dopolední a mezi 17. a 19. hodinou odpolední. V podkapitole 1.2 jsou uvedeny intenzity vozidel ze všech 4 směrů za celý den (24 hodin). Údaje mají sloužit pro zjištění, ve kterém období v průběhu dne dochází k špičkám v provozu vozidel a z těchto údajů pak vycházet při návrhu na úpravu signálního plánu v souvislosti se zavedením preference tramvajů. Na následujícím obrázku 9 jsou tyto údaje shrnuty graficky pomocí pentlogramu a je zde znázorněna intenzita vozidel v rozmezí 17:00 – 18:00.



Obrázek 9: Pentlogram zatížení křižovatky - počet vozidel v rozmezí 17:00 – 18:00 h

Zdroj: (6 + autor)

Období mezi 17. a 18. hodinou je vybráno záměrně a to z toho důvodu, že v tomto období je jedna ze špičkových intenzit během dne a návrh se tak může orientovat podle špičkových intenzit. Tyto údaje budou sloužit jako základ pro návrhy úprav v signálním plánu.

### 1.2.2 Intenzita tramvajového provozu

Intenzita tramvajového provozu byla zjištěna z jízdních řádů Dopravního podniku města Ostravy, a.s. Údaje o jednotlivých spojích jsou zobrazeny v rozmezí od 5:00 do 23:00 hodin, v této době je v provozu SSZ křižovatky. Linka číslo 5 je pouze doplňková a intenzita je uvedena za celých 24 hodin.

Tabulka 5: Intervaly a počty tramvají na křižovatce

Linka	Počet spojů [vlaky]			Interval [min]		
	Všední den	Sobota	Neděle	Všední den	Sobota	Neděle
5	5	3	3	5 spojů/24h	3 spoje/24h	3 spoje/24h
7	208	121	121	10/20*	20	20
8	206	116	116	10/20**	20	20
17	182	111	111	10/20/10/20***	20	20
* období od 5:00 do 18:00/18:00 - 23:00 ** období od 5:00 do 19:00/19:00 - 22:00 *** období 5:00 - 9:00/9:00 - 13:00/13:00 - 19:00/19:00 - 23:00						

Zdroj: (7 + autor)

Intenzita tramvajového provozu v průběhu nejvytíženějších denních hodin (5:00 – 18:00) je u těchto tří linek 10 minut. Pouze linka 17 má v rozmezí 9:00 – 13:00 interval 20 minut. Pokud se vezmou v úvahu všechny 3 hlavní linky, které projíždějí křižovatkou ulic 17. Listopadu/Opavská, (linky 7, 8, 17) interval je 3 a 4 minuty v každém směru. Z fyzického pozorování křižovatky vyplývá, že tramvaj projíždí křižovatkou v průměru na každý druhý cyklus signálního plánu. Lze tedy konstatovat, že se jedná o křižovátku s vysokými intenzitami tramvajového provozu. Tramvaje odbočují z ulice Opavská vlevo na ulici 17. Listopadu. Tento směr není v signálním plánu nijak preferován. Zavedení buď aktivní, nebo pasivní preference přispěje k jejich plynulejšímu provozu. Zejména dojde k částečné eliminaci zastavování tramvají před křižovatkou, tím vzniknou úspory v provozu vozidel. Součástí této práce je navržení aktivní preference tramvají na této křižovatce.

### 1.3 Analýza signálního plánu a koordinace řízení s přilehlými křižovatkami

Křižovatka ulic 17. Listopadu a Opavská je řízena SSZ, které používá celkem 3 signální plány pro jednotlivé dny a hodiny. V této podkapitole jsou analyzovány 3 signální plány na křižovatce, které se používaly k 31. 12. 2014. Rozdílné signální plány se používají z toho důvodu, aby reflektovaly různé dopravní intenzity na křižovatce v jednotlivých dnech a hodinách a přispívaly tak k plynulejšímu provozu pokud možno bez kongescí. Rozpis signálních plánů je v následující tabulce 6.

Tabulka 6: Používané signální plány podle jednotlivých dnů a hodin

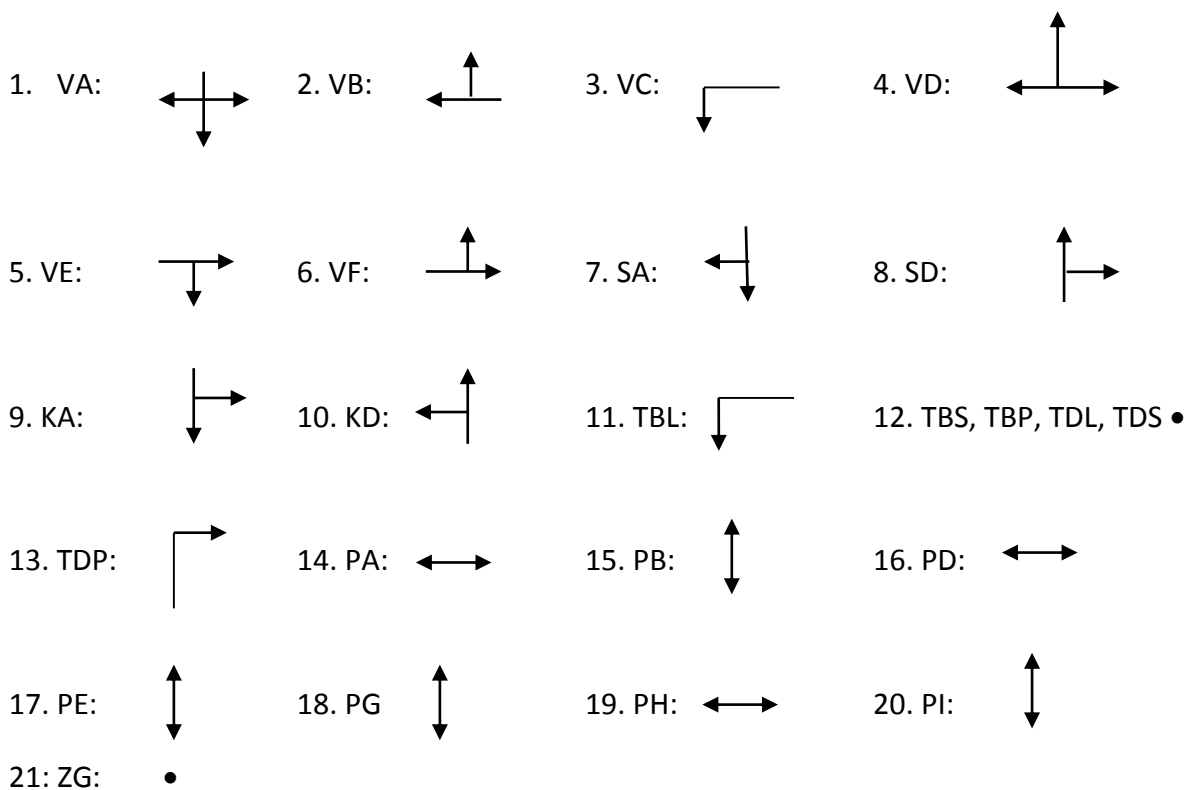
Název křižovatky:	Opavská x 17. listopadu	SP	Typ řadiče:	Siemens MS	SP	Číslo křižovatky:	
Po - Čt	5.00 - 6.00	P3	So	5.00 - 9.00	P3	Ne	7.00 - 14.00
	6.00 - 14.00	P1		9.00 - 11.00	P1		14.00 - 20.00
	14.00 - 18.00	P2		11.00 - 16.00	P3		20.00 - 23.00
	18.00 - 23.00	P3		16.00 - 19.00	P1		
Pá	5.00 - 6.00	P3		19.00 - 23.00	P3		
	6.00 - 13.00	P1					
	13.00 - 18.00	P2					
	18.00 - 23.00	P3					

Zdroj: (6)

Signální plán SP1 je v příloze A této práce.

### 1.3.1 Signální skupiny v signálním plánu

Časový úsek mezi signály volno skupin končící fáze a signály volno skupin následující fáze se nazývá fázovým přechodem. Pro účely této práce je v příloze (B) přiloženo schéma uspořádání křižovatky, včetně poloh jednotlivých návěstidel. Provoz na křižovatce je řízen těmito signálními skupinami znázorněnými na obrázku 10.



Obrázek 10: Signální skupiny používané na křižovatce

Zdroj: (8 + autor)

### 1.3.2 Sled jednotlivých fází v signálním plánu

Pro maximální využití kapacity křižovatky je nutné, aby součet neproduktivních časů (rozhodujících mezičasů) byl co nejmenší a zároveň neodporoval pravidlům silničního provozu. Mezičas na křižovatce je časový interval mezi koncem doby zelené pro 1 signální skupinu a začátkem doby volno pro následující signální skupinu. Mezičas slouží pro bezpečné vyklizení vozidel z daného směru, před naježděním vozidla z jiného směru. Fází se rozumí časový interval, ve kterém mají volno vzájemně nekolizní nebo podmíněně kolizní dopravní proudy. Přiřazení dopravních pohybů jednotlivým fázím se nazývá fázové schéma. Při posouzení sledu fází, je nutné znát tabulku mezičasů, která je uvedena v tabulce 7. Pro řešenou křižovatku jsou nastaveny celkem 3 signální plány (SP) závislé na denní hodině.

Tabulka 7: Tabulka mezičasů na křižovatce ulic 17. Listopadu/Opavská

		přijíždějící																						
		VA	VB	VC	VD	VE	VF	SA	SD	KA	KD	TBL	TBS	TBP	TDL	TDS	TDP	PA	PB	PD	PE	PG	PH	PI
vyklizení	VA	5	5	-	7	5	-	-	-	4	7	-	-	-	-	4	4	-	-	-	-	9	-	-
	VB	5	5	-	4	-	4	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	9	-
	VC	6	-	5	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	12	-	-
	VD	-	8	5	6	7	-	-	4	-	4	-	-	-	-	5	9	-	4	-	-	-	-	-
	VE	3	-	3	4	5	-	-	4	-	-	3	-	-	-	3	-	-	-	4	9	-	-	-
	VF	8	7	-	5	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11	-	-	4	-	-	-	-
	SA	-	5	-	-	-	-	5	-	-	2	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-
	SD	-	-	-	-	5	-	-	5	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-
	KA	-	-	-	8	-	-	-	8	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	KD	4	-	-	-	-	-	9	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	TBL	5	-	-	11	10	-	-	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-	4	17	-	-	-	-
	TBS	•	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	TBP	•	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	TDL	•	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	TDS	•	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-
	TDP	8	-	-	10	11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-	16	4	-	-	-	-
	PA	13	-	-	8	-	8	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-
	PB	-	15	12	-	-	-	-	-	-	-	17	-	-	-	-	11	-	5	-	-	-	-	-
	PD	-	-	-	14	-	-	-	14	-	-	8	-	-	-	-	14	-	-	5	-	-	-	-
	PE	-	-	-	-	9	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-	-	-
	PG	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-	-
PH	3	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-	
PI	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	
ZG	•	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	

Zdroj: (8)

Provoz na křižovatce ulic 17. Listopadu a Opavská je řízen celkem 21 signálními skupinami. Mezičasy odpovídají logickým posloupnostem řízení, tj. střídání fází musí být v praxi proveditelné a odpovídat pravidlům silničního provozu.



Tabulka mezičasů je podkladem pro stanovení sledu fází (výběr „rozhodujícího“ mezičasu při jednotlivých střídáních) a je nutno přihlížet i k logice řízení (zda mohou v rámci střídání následovat fáze se stejnými signálními skupinami). Při stanovení mezičasů se vychází z TP 81 (1), kde v příloze J. 1. 3 je uvedena tabulka standardních hodnot pro výpočet mezičasů. Jednotlivé fáze jsou tvořeny signálními skupinami uvedenými na obrázku 11.

		Fáze						
		F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
signální skupina	VA	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✗
	VB	✓	✗	✗	✗	✗	✓	✓
	VC	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗
	VD	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✗
	VE	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✓
	VF	✗	✓	✓	✗	✗	✗	✗
	SA	✗	✓	✓	✗		✗	✗
	SD	✗	✗	✗		✗	✓	✗
	KA				✗	✓	✗	
	KD		✗	✗	✓	✗		
	TBL	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗
	TBS							
	TBP							
	TDL							
	TDS							
	TDP	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗
	PA		✗	✗	✗	✗	✓	
	PB	✗	✓	✓	✓		✗	✗
	PD	✓	✓		✗		✗	
	PE	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✗
PG	✗	✗	✗	✓		✓	✗	
PH	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✓	
PI	✗	✓	✓		✓	✗	✗	
ZG				✓		✓		

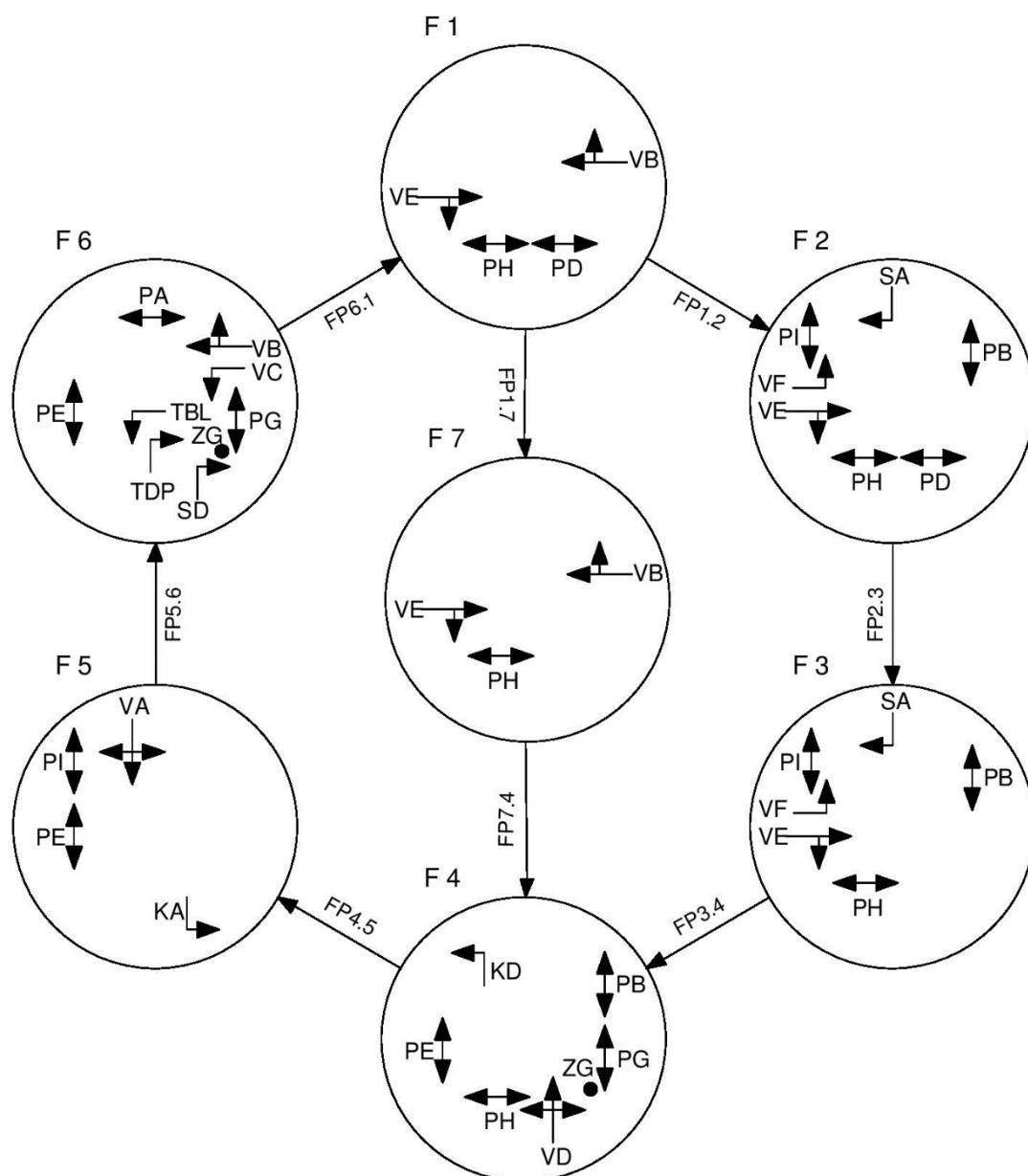
  

		do						
		F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
N	F1		X	-	-	-	-	X
	F2	-		X	-	-	-	-
	F3	-	-		X	-	-	-
	F4	-	-	-		X	-	-
	F5	-	-	-	-		X	-
	F6	X	-	-	-	-		-
	F7	-	-	-	X	-	-	

Obrázek 11: Signální skupiny v jednotlivých fázích

Zdroj: (8)

Na obrázku 11 je zelenou barvou znázorněna skladba jednotlivých fází. Provoz na křižovatce je možno řídit pomocí fází 1 až 7. Druhá polovina obrázku znázorňuje možné posloupnosti jednotlivých fází, tzn. na fázi F1 následuje fáze F2 a F7. Na fázi F2 pouze fáze F3 atd. (viz následující obrázek 12). Pro maximální využití kapacity křižovatky je vhodné, aby neproduktivní časy byly minimální (součet rozhodujících mezičasů co nejmenší). Existují 2 možné varianty přechodů mezi signálními plány a to F1-F2-F3-F4-F5-F6-F7 a F1-F7-F4-F5-F6-F1. Na obrázku 12 jsou tyto fázové přechody graficky znázorněny.



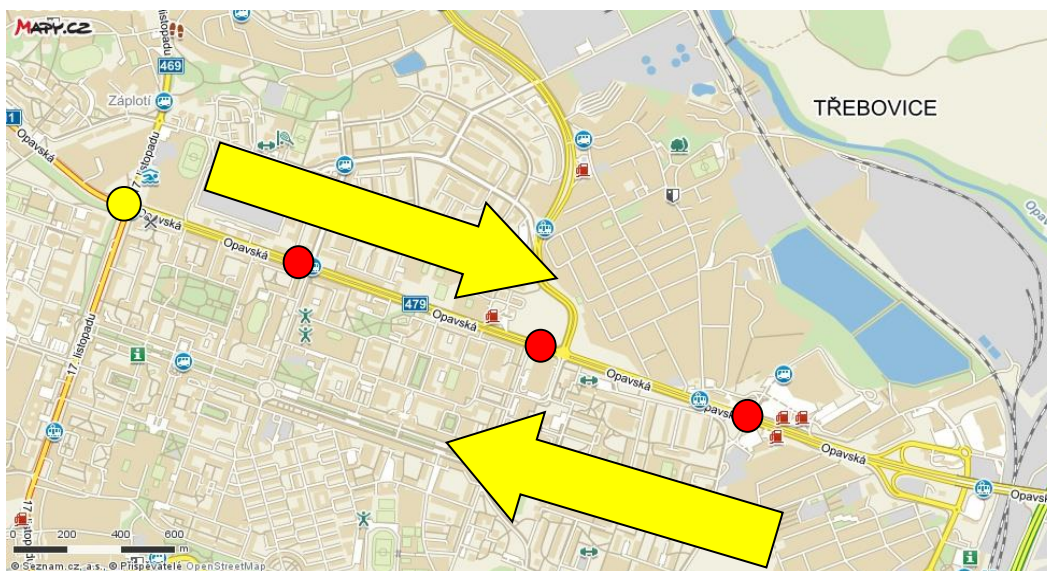
Obrázek 12: Grafické znázornění posloupnosti jednotlivých fází

Zdroj: (8)

Fázové přechody na křižovatce jsou možné pouze v těchto kombinacích. Přejchod z fáze F1 na F2 nebo z F1 na F7 závisí na tom, zda se realizuje volno na výzvu pro odbočení vlevo z ulice Opavská od Opavy (signální skupina VF) nebo ne. Úprava řízení křižovatky je možná buď vložením další fáze, nebo prodloužením či zkrácením doby volna jednotlivých signálních skupin.

### 1.3.3 Koordinace řízení s přilehlými křižovatkami

Koordinace řízení s okolními křižovatkami probíhá ve směru ulice Opavská směrem do centra města. Přizpůsobené signální plány jsou na křižovatkách ulic Opavská/Sokolovská/Porubská, Opavská/Martinovská a Opavská/Sjízdná. Vzájemná poloha křižovatek je znázorněna na obrázku 13.



Obrázek 13: Znázornění směru koordinace a koordinované křižovatky Zdroj: (3 + autor)

Křižovatka ulic 17. Listopadu/Opavská je tak poslední koordinovaně řízenou křižovatkou na ulici Opavská ve směru od centra. Řidič po projetí první koordinované křižovatky, pokud dodržuje předepsanou rychlost okolo 50 km/h, projede následující křižovatkou bez zdržení. Tramvaj se zelená vlna netýká z toho důvodu, že mezi jednotlivými křižovatkami jsou zastávky MHD.

### 1.3.4 Technické prvky pro preferenci tramvají na křižovatkách

Mezi zařízení, které v době psaní této práce (prosinec 2014) využívá DPO, a.s. k řízení tramvajového provozu na této křižovatce patří řadiče, které řídí signální obrazy návěstidel na křižovatkách. Součástí jsou „mikroprocesory, které řídí ovládání, diagnostiku, napájení a detektory“ (26). Všechny řadiče jsou instalovány s volně programovatelnou logikou, tj. umožňují optimální preferenci tramvají. Příklad řadiče je na obrázku 14.

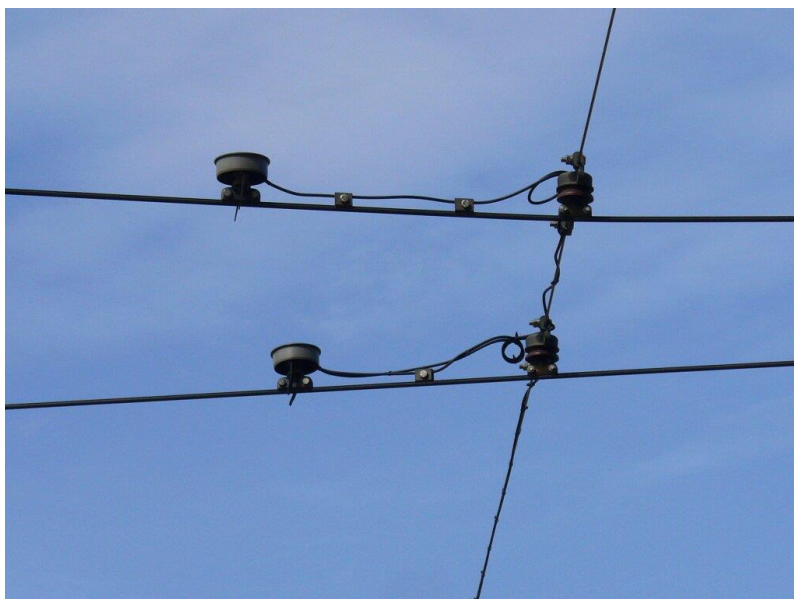


Obrázek 14: Řadič pro řízení světelné signalizace na křižovatce

Zdroj: (autor)

Křižovatka ulice 17. Listopadu/Opavská je vybavena řadičem typu Siemens MS vyrobeným v roce 1997 a klasickou třibarevnou světelnou signalizací pro řízení silničního provozu a signálů pro řízení tramvajového provozu (tzv. čočková návěstidla, v Ostravě nazývaná „kuličky“). Řadiče typu Siemens MS byly vyráběny ve velké míře do roku 2000 a postupně jsou nahrazovány modernějšími typy řadičů. Mezi firmy zabývající se ve velké míře výrobou řadičů pro řízení dopravy na křižovatkách patří v ČR Eltodo, a.s., Patriot, s. r. o., Swarco traffic CZ, s.r.o., CROSS Zlín, a.s., v omezené míře i AŽD, s. r. o.

Dále tramvajové **detektory**, které slouží pro detekování přítomnosti tramvaje blížící se ke křižovatce. Podle způsobu získávání informací existují detektory indukční, ultrazvukové, pneumatické, elektrostatické, mikrovlnné a optické. Detektory dokážou určit počet dopravních prostředků, které projíždějí, směr pohybu dopravních prostředků, rychlost dopravních prostředků, obsazenost zadaných míst vozidly a zjistit místa se zvýšenou koncentrací dopravních prostředků, určení délky a druhu vozidel (podle počtu stop). Příklad běžně používaného typu detekce tramvaje – pružinový kolejový kontakt (též nazývaný jako „brnkačka“) je na obrázku 15.



Zdroj: (10)

Obrázek 15: Příklad detektoru – pružinový kolejový kontakt

Navrhované parametry nových řadičů v rámci zavedení preference jsou uvedeny v podkapitole 2.2.

#### 1.4 Analýza nehodovosti na křižovatce

Dle aktuální statistiky nehod Policie ČR (sledované období od 1. 1. 2007 - 30. 9. 2014) se na této křižovatce (objekt je veden jako úroňová křižovatka 1543A006) staly následující nehody uvedené v tabulce 8. (9)

Tabulka 8: Všeobecný statistický přehled o nehodách

<b>Počet nehod celkem</b>	<b>42</b>
<b>Počet nehod s následkem na zdraví</b>	8
<b>Počet usmrcených osob (stav do 24 h.)</b>	0
<b>Počet těžce zraněných osob (stav do 24 h.)</b>	1
<b>Počet lehce zraněných osob (stav do 24 h.)</b>	9
<b>Počet nehod pod vlivem alkoholu</b>	0

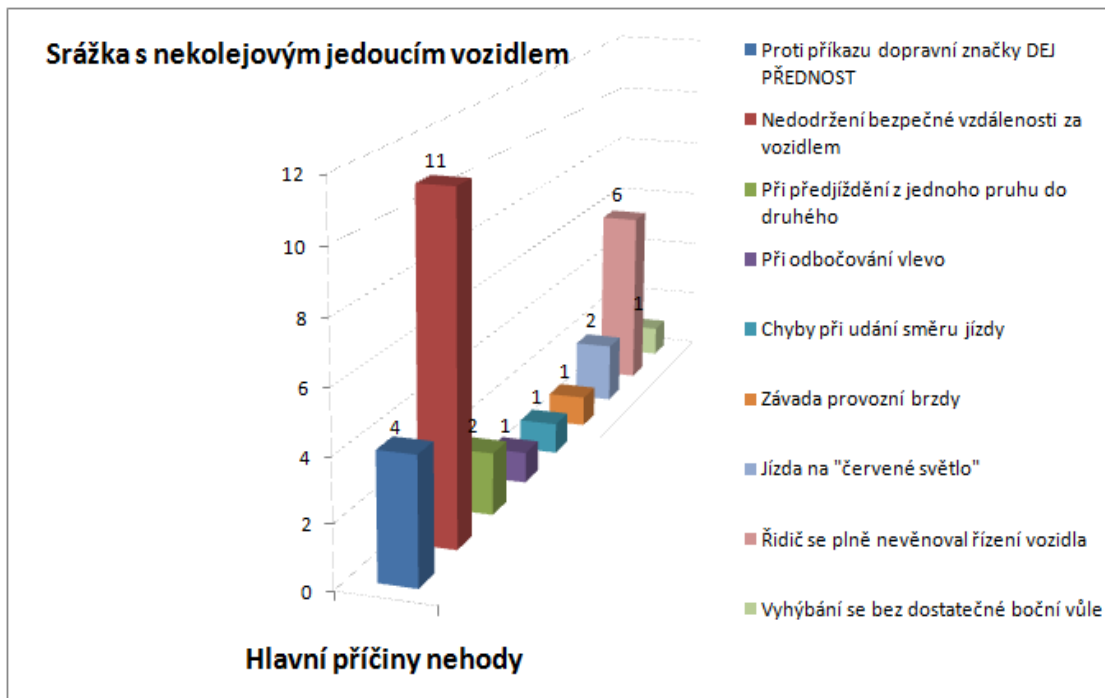
Zdroj: (9 + autor)

Na křižovatce ulic 17. Listopadu a Opavská se ve sledovaném období stalo celkem 42 nehod. Nejčastějším následkem těchto nehod bylo lehčí zranění (9 osob), což je dáno zejména tím, že se jedná o křižovatku v městském provozu, kde nejvyšší dovolená rychlost je 50 km/h. Počet těžce zraněných osob byl v počtu 1 a to při srážce s jedoucím nekolejovým vozidlem. Hlavní příčinou nehody bylo v tomto případě přejíždění z jednoho pruhu do druhého. Nutno podotknout, že řidič v tomto případě ujel, nehodu tak nebylo možno důkladně vyšetřit.

Při detailnějším pohledu na nehody podle druhu bylo zjištěno, že nejčastějším druhem byla srážka s jedoucím nekolejovým vozidlem (29 nehod), dále srážka s pevnou překážkou (8 nehod) a po dvou případech se stala nehoda a srážka s chodcem, v jednom případě pak srážka s tramvají. Podle způsobu zavinění je nejčastějším viníkem řidič motorového vozidla (v 39 případech), ve 2 případech se jednalo o technickou závadu vozidla a v 1 případě byl na vině chodec. Analýzou těchto nehod bylo zjištěno že:

- při srážce s nekolejovým jedoucím vozidlem bylo nejčastější příčinou nedodržení bezpečné vzdálenosti za vozidlem (11 případů),
- při srážce s pevnou překážkou mezi nejčastější příčinu nehody patřilo nepřizpůsobení rychlosti stavu vozovky (5 případů), dále situace kdy se řidič dostatečně nevěnoval řízení vozidla (2 případy) a v jednom případě nezvládnutí řízení vozidla.

Na obrázku 16 jsou zobrazeny hlavní příčiny nehody v případě srážky s nekolejovým jedoucím vozidlem (nejčastější typ nehody).



Obrázek 16: Hlavní příčiny nehody v případě srážky s nekolejovým jedoucím vozidlem

Zdroj: (9 + autor)

Z analýzy těchto nehod vyplývá, že celkový počet 42 nehod ve sledovaném období za necelých 7 let při denním počtu vozidel okolo 32 000 není zapříčiněn používaným signálním plánem na křižovatce a jednotlivými sledy fází. Příčiny těchto nehod je tak nutno hledat v chování účastníků silničního provozu, zejména v řidičích motorových osobních vozidel.

## 1.5 Důvody pro zavedení preference MHD

Preference MHD může být aktivní nebo pasivní. Mezi pasivní preferenci MHD patří podpůrné prostředky v oblasti jízdného (ekonomicky únosná cena jízdenky), větší propagace veřejné dopravy a propagace pozitivních důsledků na obyvatele (snížení kongescí ve městech, částečné zlepšení životního prostředí) a investice do moderních vozidel pro zvýšení komfortu cestování. Mezi pasivní preferenci spadá také předem přizpůsobený signální plán na křižovatce podle předem definovaného chování vozidel MHD. Aktivní preference znamená upřednostňování jízdy vozidel (nebo alespoň částečné zrychlení) veřejné dopravy při jízdě přes křižovatky s použitím technických prvků na křižovatce a vyhrazené jízdní pruhy pro autobusy včetně úprav zastávek. (10)

Grafy na obrázcích 17 a 18 zobrazují procentuální rozdělení časových ztrát při jízdě tramvaje. Podle článku *Preference tramvajů a autobusů světelnou signalizací metodou zelených vln* (viz zdroj 7) vyplývá, že je výhodnější investovat do aktivní preference než do vyhrazených pruhů pro veřejnou dopravu. Je to z toho důvodu, že časy odjezdů z předchozích křižovatek, dále čas pobytu na zastávkách a cestovní doby z důvodu vývoje dopravní situace se kontinuálně mění. Nejlepších výsledků lze dosáhnout kombinací těchto opatření. V rámci této práce bude provedeno namodelování navržených změn pomocí simulačního programu Lisa+.



Obrázek 17: Procentuální rozdělení celkové cestovní doby Zdroj: (11)

Pokud dojde k eliminaci časových ztrát při čekání na křižovatkách řízených SSZ, lze ušetřit teoreticky až 30 % celkové cestovní doby. Na obrázku 18 je zobrazeno procentuální rozdělení celkových časových ztrát na trase, na zastávkách a u dopravních signalizačních systémů.



Obrázek 18: Procentuální skladba časových ztrát při jízdě tramvaje

Zdroj: (11)

Z obrázku 18 je patrné, že největší podíl ztrát (cca 60 %) vzniká u světelných signalizačních zařízení. Eliminací časové ztráty u SSZ je možno ušetřit 60 % z celkových časových ztrát vzniklých při jízdě tramvaje.

#### 1.5.1 Hlavní důvody pro zavádění preference MHD ve městech

Preference veřejné dopravy, ať už aktivní nebo pasivní, se obecně považuje za vhodný způsob omezení individuální automobilové dopravy (IAD). Mezi další důvody pro preferování veřejné hromadné dopravy ve městech lze uvést následující fakta:

1. Zvýšení cestovní rychlosti.
2. Pravidelné intervaly průjezdu zastávkami.
3. Zvýšení bezpečnosti – snížení agresivity řidičů.
4. Zkrácení jízdní doby.
5. Zvýšení možného počtu tramvají, ve špičkové hodině a tím zvýšení přepravní kapacity.
6. Úspora elektrické energie.
7. Motivace obyvatel k využívání MHD, která je ekonomicky příznivější v porovnání s IAD a to i z toho důvodu, že každá jízdenka je dotována určitým podílem z městského rozpočtu, větším využíváním MHD ve velkých městech (nad 50 000 obyvatel) lze zabránit kongescím nejen v centrech měst.
8. Snížení negativních vlivů dopravy na životní prostředí (emise, hluk, vibrace).

(12)

Hlavním cílem všech těchto opatření je přesun uživatelů od individuální automobilové dopravy (IAD) k MHD.



### 1.5.2 Výhody plynoucí se zavedení preference tramvají v Ostravě

Tramvajová doprava tvoří páteřní systém veřejné dopravy v Ostravě. V roce 2013 činila provozní délka tramvajové sítě 62,3 km. Město je charakteristické polycentrickou strukturou, tj. není soustředěno na jedno centrum. Pokud je cestování veřejnou dopravou časově náročnější než individuální jízdy automobilem, obyvatelé města nemají motivaci využívat tento druh dopravy. Čas potřebný k cestě tramvají z části Ostrava-Poruba na druhý konec města do části Ostrava-Přívov (páteřní linka tramvaje) trvá dle jízdního řádu 40 min. Zavedením preference tak lze zlepšit celkovou atraktivitu tohoto systému, z důvodu zkrácení jízdních dob.

Předpokladem je, že tato zavedená preference, musí být aktivně prezentována směrem k veřejnosti. Veřejnost si musí být vědoma faktu, že pokud využije MHD, bude to pro ni ekonomicky i časově výhodné. Hlavní důvody pro zavedení preference tramvají v Ostravě jsou shrnuty v následujících 5 bodech:

1. Zkrácení cestovní doby. Páteřní linky tramvají v Ostravě jsou tvořeny velkým počtem křižovatek, které musí tramvaj projet. Na páteřní lince číslo 8 se nachází celkem 16 křižovatek řízených SSZ.
2. Ušetření finančních prostředků na provoz, eliminací rozjezdů a brždění.
3. Snížením kongescí IAD se zvýší bezpečnost a sníží negativní vlivy na životní prostředí, se kterými má město Ostrava problémy zejména v zimním období (je nutno podotknout, že hlavní vliv na kvalitu ovzduší má v Ostravě hlavně těžký průmysl).
4. Možnost čerpání dotací z EU (viz podkapitola 3.5 Investiční náročnost projektu).

(13)

Dle dopravního průzkumu provedeného Magistrátem města Ostravy (5) je nejvytíženější zastávkou z hlediska počtu vystupujících a nastupujících cestujících (z hlediska celého města) zastávka Svinov-mosty (Svinov-mosty, horní zastávka), která je hlavní zastávkou pro přestup na vlakové nádraží Ostrava-Svinov (páteřní železniční nádraží ve městě). Tato zastávka leží na trase linek jedoucích přes zastávku 17. Listopadu/Opavská.

Dalším motivujícím faktorem pro zavedení preference na této křižovatce je (jak bylo uvedeno v úvodní kapitole 1.1 Základní údaje a popis současného stavu), vysoká intenzita provozu (z důvodu blízkosti dálnice D1 a tranzitnímu charakteru dopravy), což má za následek omezování a zpoždování jízd tramvají touto křižovatkou. Pro zkvalitnění celého systému tramvajové dopravy, bude samozřejmě nutné zavést preferenci na všech hlavních křižovatkách řízených SSZ, až po té dojde k zásadnímu zlepšení situace a zvýšení atraktivity pro cestující.

## 1.6 Závěry plynoucí z části analýza provozu na křižovatce

Řízení provozu křižovatce v době psaní této práce (leden 2015) žádným způsobem neupřednostňuje provoz tramvají. V průběhu dne během špičkových hodin vznikají kongesce, způsobené velkou intenzitou dopravy. Následkem je zdržení jednak individuální automobilové dopravy, tak i prostředků MHD – autobusů, které je v průměru 5 min. Tramvaje vyčkávají na křižovatce na signál volno déle než v případě, kdy by intenzita provozu nebyla tak velká a signál volno by se opakoval v kratších intervalech. Vzhledem k délce cyklu 100 s, činí maximální zdržení tramvaje, která přijede po konci signálu volno až 1,6 min. Tento stav je nevhodný pro účastníky provozu na křižovatce. Při návrhu úprav ve stávajícím provozu a zavedení preference je nutno brát v úvahu budovanou přeložku silnice I/11 s názvem Ostrava, prodloužená Rudná – hranice okresu Opava, která ovlivní intenzitu provozu na křižovatce. Pro ilustraci je tato přeložka znázorněna na obrázku 19.



Zdroj: (14)

Obrázek 19: Znázornění budované přeložky silnice I/11

Přeložka silnice I/11 odvede značnou část dopravy směřující na Opavu, zejména ze směru od Havířova a Frýdku – Místku. Při ohledu na zprovoznění přeložky silnice I/11 bude autorem práce navržena úprava signálního plánu tak, aby byla zajištěna jeho dlouhodobá funkčnost. Plánované uvedení silnice I/11 do provozu je květen 2015. Pokud bude dodržen tento termín, je možno autorem této práce provést srovnání parametrů intenzity provozu před a po otevření tohoto obchvatu.

**Město Ostrava ve spolupráci s Dopravním podnikem města Ostravy, a.s. v průběhu roku 2015 pracuje na zavedení aktivní preference na křižovatkách, proto jsou ve třetí části práce uvedeny i finanční náklady tohoto projektu. Analýza je podkladem pro návrhovou část této diplomové práce.**

**Cílem analýzy bylo vyhodnotit provoz na křižovatce s vymezením kladů a nedostatků současného stavu, stejně jako shrnout základní fakta a výhody plynoucí z preferování tramvajové dopravy obecně. Poznatky, které jsou zjištěny v této kapitole, budou použity při návrhu na úpravu dynamického řízení křižovatky ve druhé části práce.**

## **2 NÁVRH NA ZAVEDENÍ PREFERENCE TRAMVAJOVÉ DOPRAVY V OSTRAVĚ A ZMĚNU ŘÍZENÍ KŘIŽOVATKY**

V této kapitole jsou uvedeny všechny nově navrhované změny na křižovatce ulic 17. Listopadu a Opavská a ve vybavení tramvají. Úpravy v rámci signální plánu a jeho funkčnosti jsou namodelovány v programu Lisa+ ve spolupráci s OK, a.s. Vybrané technické řešení je zhodnoceno v závěru kapitoly. Kapitola 2 shrnuje proces výběru nejvhodnějšího technického řešení z hlediska DPO, a.s. a OK, a.s. Zadavatelem výběrového řízení je odbor dopravy Magistrátu města Ostravy. Součástí výběrového řízení jsou OK, a.s. Ve výběrovém řízení se přihlíží i k ekonomické náročnosti.

### **2.1 Návrh na modernizaci technických prvků pro zavedení preference tramvají**

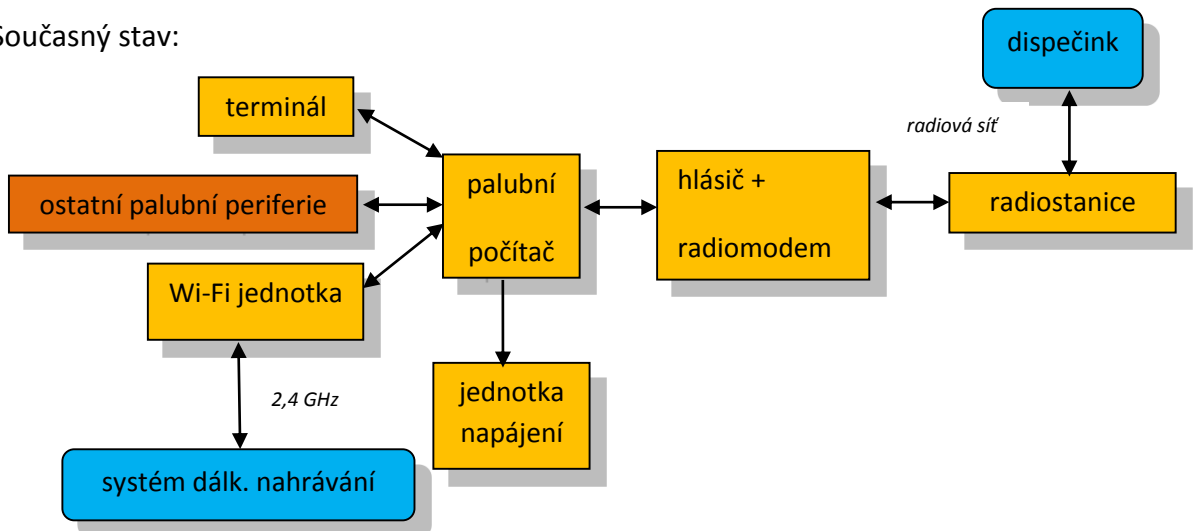
Pro aktivní preferenci tramvají na křižovatkách musí být v první řadě přizpůsoben palubní systém v tramvajích. Pro tento účel budou všechny tramvaje (stejně jako autobusy a trolejbusy) DPO, a.s. do června roku 2015 vybaveny novým palubním systémem a bude modernizován stávající systém. Modernizovaný systém tvoří tyto prvky:

- palubní počítač s terminálem;
- digitální hlásič;
- radiostanice;
- radiomodem pro rádiovou síť DPO;
- napájecí jednotka;
- Wi-Fi jednotka.

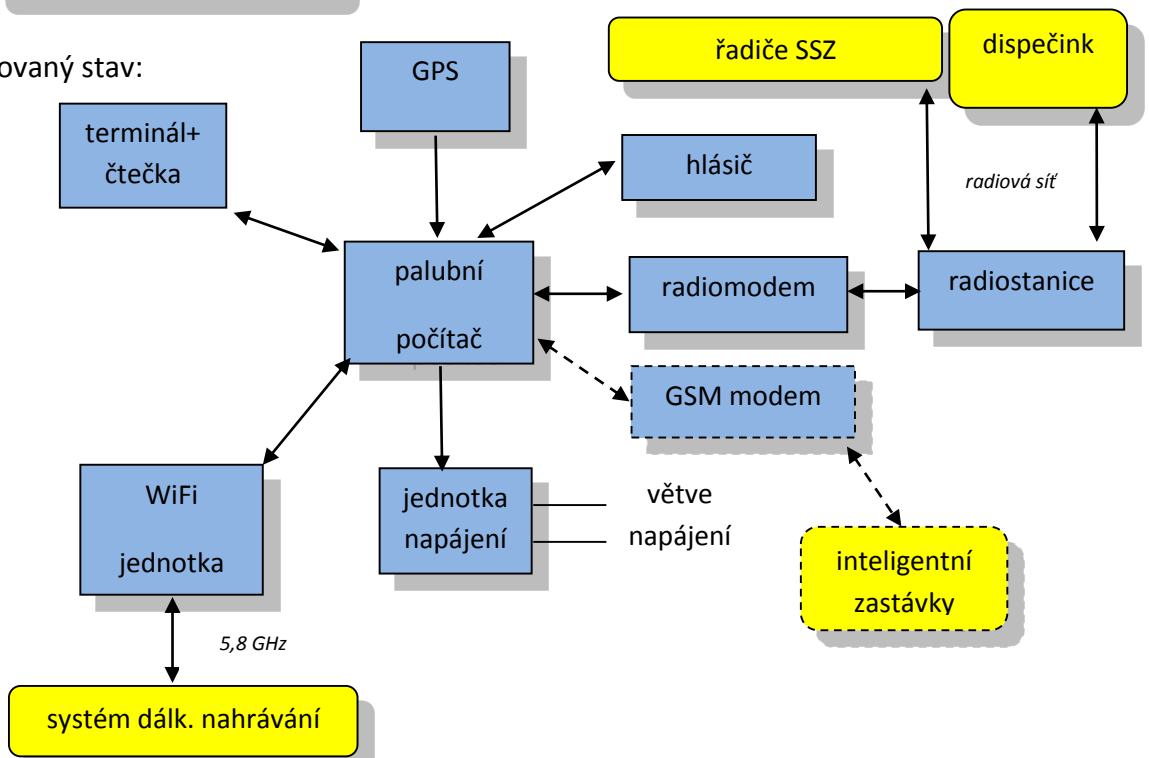
Vozidla budou vybavena také novým palubním systémem, z hlediska preference se jedná zejména o modul GPS. Účelem tohoto modelu je, aby se polohová data a další provozní informace jako kód poslední zastávky, kód cíle, aktuální zpoždění, informace o chybné funkci nebo nefunkčnosti GPS a stav chodu motoru odesílaly v intervalu každých 20 s pomocí podnikové rádiové sítě do dispečinku DPO, s tím, že GPS systém v tramvaji určuje polohu tramvaje s přesností do 2,5 m. Vybavení vozidla umožňuje komunikaci s řadiči na SSZ, tzn. zejména odesílat žádost o preferenci, přihlášku včetně její korekce a odhlášku. (15)

Mezi ostatní informace patří z hlediska preference zejména informace o odchylce od jízdního řádu a kód, který jednoznačně určuje požadovaný směr průjezdu křižovatkou, identifikaci referenčního bodu přihlašovacího nebo odhlašovacího (tj. v jaké vzdálenosti od křižovatky se tramvaj nachází), dále informace o stavu dveří (slouží pro zpřesnění polohy a také pro načasování přihlášení nebo odhlášení vozidla v křižovatce) a také jaký je aktuální stav vozidla, tj. jízda nebo stání, který slouží také pro načasování a prioritu preference. Časový interval od vzniku požadavku na řízení řadiče SSZ až do jeho přijetí nepřekračuje 1,5 s a celá rádiová síť musí být zabezpečena proti zneužití cizími subjekty. Stav palubního zařízení před a s navrhovanou úpravou shrnuje obrázek 20.

Současný stav:



Navrhovaný stav:



Obrázek 20: Stávající a nově navržené prvky v palubním systému tramvají

Zdroj: (autor)

Hlavním rozdílem mezi původním a novým palubním systémem je modul GPS, který je stěžejním vybavením pro celý proces zavádění preference a pak také radiostanice, která komunikuje s řadičem křižovatky. Nový GSM modem také umožní komunikaci a zobrazení reálných jízdních řádů v provozu na nově budovaných inteligentních zastávkách. Výhodou nového systému je odesílání dat v reálném čase do dispečinku DPO, a.s. a OK, a.s., který může aktivně zasáhnout do signálního plánu křižovatky. V případě mimořádných událostí jako jsou např. nehody nebo nepříznivé klimatické podmínky v zimním období, kdy se na trati za sebou nahromadí větší počet tramvají (např. 3 a více) je tak možnost delšího signálu volno pro tramvaje, např. 10 s. (7)

### 2.1.1 Ostatní požadavky na palubní systém v tramvaji

Palubní systém by měl splňovat takové podmínky, které jsou nezbytné pro preferování jízdy tramvaje na křižovatkách:

- Indikace potvrzené přihlášky vozidla do křižovatky.
- Indikaci potvrzené odhlášky po průjezdu křižovatkou.
- V případě příjezdu do zastávky v blízkosti křižovatky, schopnost barevně odlišit dobu vhodnou pro odjezd ze zastávky na základě signálu z řadiče (např. červenou barvou signalizovat čekání a zelenou barvou indikovat řidiči vhodný čas k odjezdu ze zastávky, tramvaj poté projede křižovatkou bez čekání).

Příklad palubního počítače, který byl nabízen v rámci výběrového řízení na nové vybavení tramvají, je na obrázku 21.



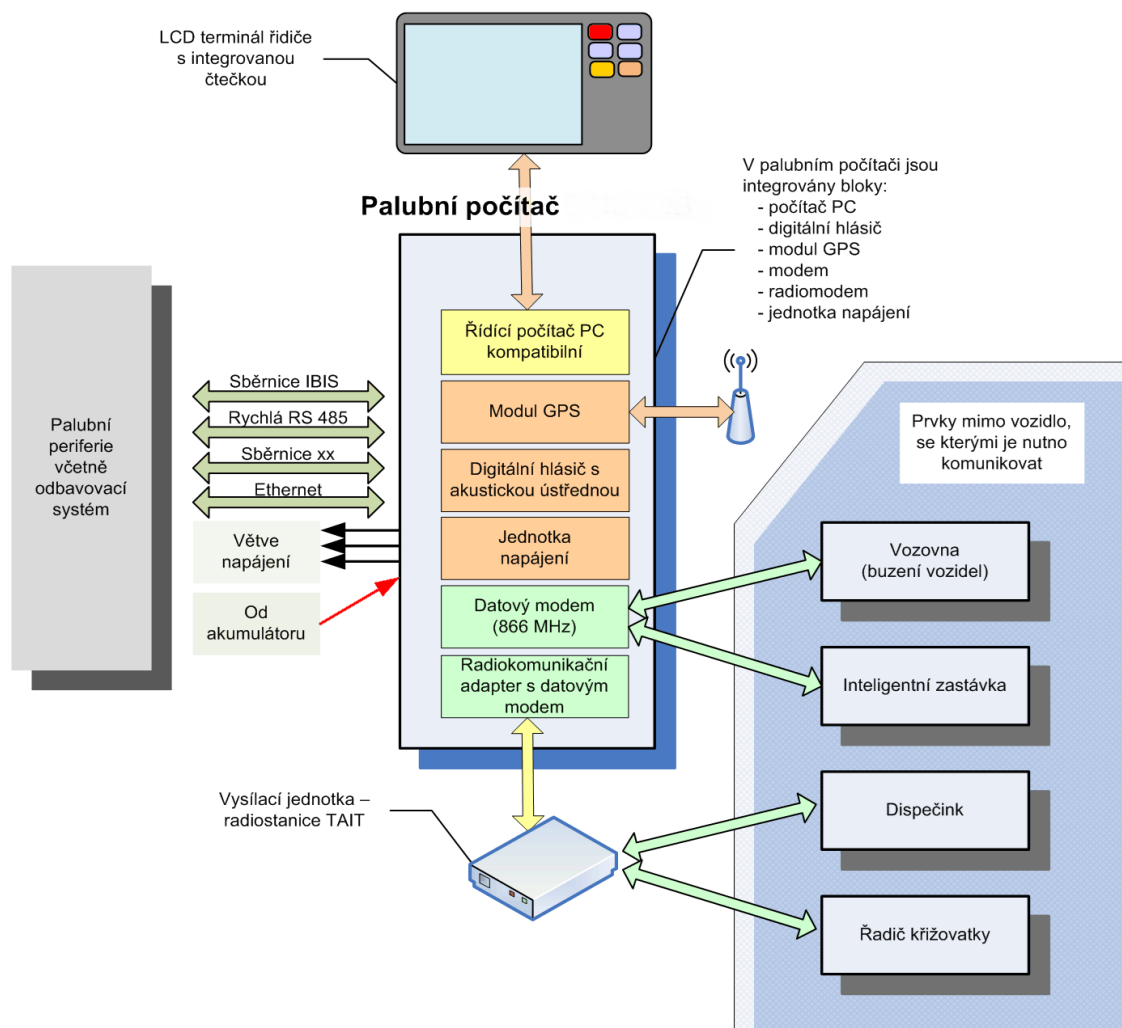
Zdroj: (16)

Obrázek 21: Příklad palubního počítače signalizujícího „čekej na zastávce“

Displej palubního počítače je v tomto případě podbarven červenou barvou a je označena konkrétní zastávka, na které se tramvaj nachází. Červená barva signalizuje řidiči, že ještě není vhodný čas pro odjezd ze zastávky (vozidlo by pak opět čekalo na nejbližší křižovatce). Palubní počítač bude schopen odesílat informaci o zavření dveří do řadiče křižovatky, aby mohla být „postavena cesta“ pro odjezd. Systém bude schopen indikovat jízdu s předstihem nebo zpoždění a zobrazit tento údaj na displeji počítače, stejně jako odesílat informace o případném zpoždění do řadiče křižovatky, který tak bude tramvaj preferovat s „nejvyšší prioritou“ a postaví cestu pro tramvaj v nejbližším možném termínu. Nutno připomenout, že celý proces komunikace tramvaje a řadiče probíhá zcela automaticky bez zásahu řidiče tramvaje. (16)

## 2.1.2 Komunikační schéma mezi tramvají a řadičem na křižovatce

Proces komunikace mezi tramvají (palubním počítačem) a řadičem vystihuje následující obrázek 22. Z pohledu preference je podstatná komunikace modul GPS + řídicí počítač PC a dispečink + řadič křižovatky. Palubní počítač má mít informace o své poloze a tyto data odesílat pomocí radiostanice (vysílací jednotky) do řadiče křižovatky. Informace obsažené v datové zprávě jsou popsány v předchozí části 2.1.1.



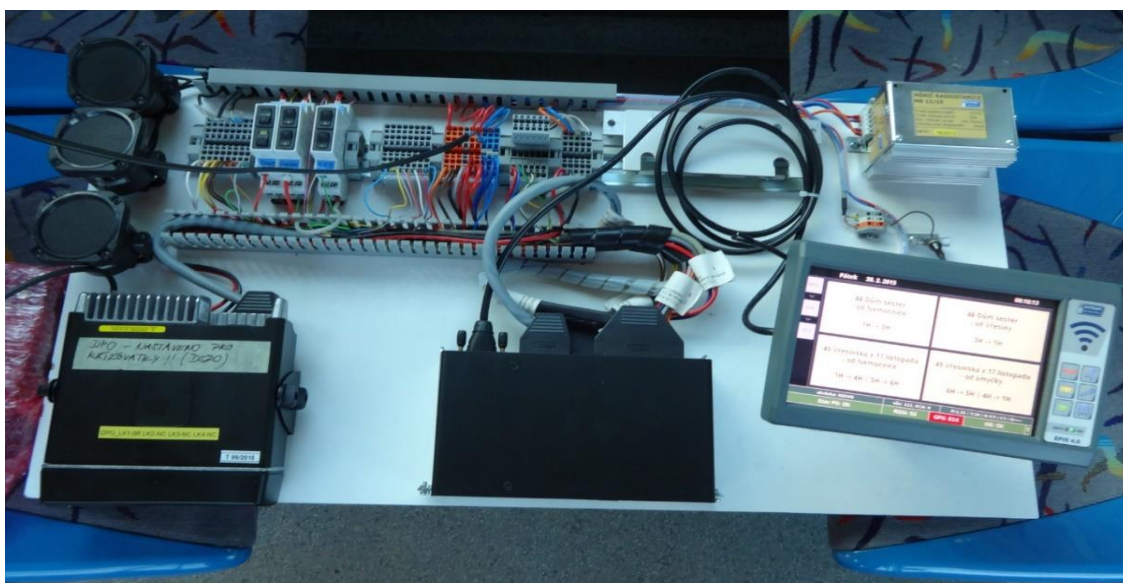
Obrázek 22: Schéma komunikace tramvaj – řadič

Zdroj: (16)

Dle požadavků DPO, a.s. má být palubní počítač schopen komunikovat také s dispečinkem, vozovnou a inteligentními zastávkami pomocí interní rádiové sítě. Vyhlásování zastávek by mělo probíhat automaticky podle polohy, nyní zastávky vyhláshuje řidič tramvaje. Funkčnost komunikace vozidlo – řadič bude otestována v rámci zkoušek, kdy jednotliví účastníci výběrového řízení předvádějí funkčnost svých produktů. Průběh testování je popsán v následující podkapitole 2.2. Komunikace s dispečinkem DPO, a.s. je pouze podpurným prvkem celého procesu preference, důležitá je komunikace řadič – palubní počítač.

## 2.2 Navrhované technické prvky pro preferenci z hlediska vybavení křižovatky

Bezchybná komunikace tramvaje s řadičem křižovatky je základním předpokladem pro správné fungování celé preference a dynamického ovlivnění signálního plánu a fázových přechodů. V procesu výběrového řízení na nové řadiče na křižovatkách bylo vybíráno z 3 uchazečů, kteří předložili své nabídky Ostravským komunikacím, a.s. Jednalo se o firmu AŽD Praha, s.r.o., dále sdružení firem Eltodo, a.s., Vítkovice IT Solutions a.s. a Master IT Technologies, a.s. a posledním uchazečem byla firma Patriot, spol. s r. o. V rámci procesu výběrového řízení byla spolupráce řadičů na křižovatkách spolu s palubním systémem v tramvajích testována ve zkušebním provozu. DPO, a.s. poskytl jednotlivým účastníkům výběrového řízení autobus, který byl vybaven totožným palubním systémem jako v tramvaji a simuloval tak její jízdu. Na obrázku 23 je zobrazen palubní počítač umístěný v tomto testovacím autobusu.



Obrázek 23: Palubní počítač ve zkušebním testovacím autobusu v průběhu zkoušky

Zdroj: (autor)

Proces testování funkčnosti řadičů probíhal pomocí autobusu, který objížděl testovaný úsek a vždy v předem definované vzdálenosti od křižovatky (na silnici označeno červeným křížem) vyslal signál do řadiče křižovatky (ručně pomocí pracovníka zevnitř autobusu) vždy ve dvou polohách od křižovatky. Po přihlášení, korekce vzdálenosti a projetí křižovatky došlo k odhlášení a výběrová komise hodnotila funkčnost celého systému. Každý účastník výběrového řízení měl jinak nastavené vzdálenosti a parametry celého testování dle svých potřeb.

Celý proces přihlašování a odhlášení z křižovatky bude v reálném provozu probíhat bez jakéhokoliv zásahu řidiče tramvaje, který je povinen se plně věnovat řízení. Z poznatků autora a zaměstnanců DPO, a.s. je systém automatického přihlášení do křižovatky pomocí GPS modulu výhodnější, než ostatní systémy založené na detekci polohy tramvaje pomocí trolejového nebo kolejnicového kontaktu a to z toho důvodu, že vyslaný signál GPS obsahuje také informaci o požadovaném směru jízdy než starší systémy, které detekují pouze přítomnost tramvaje, nikoli její požadovaný směr.

Příklad rozvržení poloh virtuálních kontrolních bodů pro přihlášky a odhlášky při testech na zkušebním okruhu je na obrázku 24.



Obrázek 24: Příklad rozmístění kontrolních bodů na přihlášku a odhlášku při testování Zdroj: (8)

Červenou barvou jsou označeny přihlášky, modrou barvou odhlášky. „Virtuální“ přihlašování k řadiči probíhalo vždy dvakrát a to jako přihláška ve vzdálenosti 250 m před křižovatkou a jako korekce ve vzdálenosti 50 v jednom směru a 113 m a 30 m v opačném směru před křižovatkou. Odhláška z křižovatky proběhla neprodleně po projetí autobusu na úrovni SSZ pro tramvaje. Tyto konkrétní údaje jsou pouze dílčím řešením konkrétní firmy, ostatní společnosti zvolily rozdílnou polohu přihlašovacích bodů a přenos signálu pomocí jiného technického zařízení dle svých technických možností.

Testování probíhalo v průběhu dne, testovací autobus se snažil projíždět tramvajovou tratí v takové vzdálenosti za poslední tramvaj, aby SSZ nebylo ovlivněno jejím průjezdem. V rámci konečné verze je zvažována možnost vysílání signálu do řadiče, který bude obsahovat informace o uzavření dveří, pokud se zastávka bude nacházet v těsné blízkosti křižovatky, aby načasování signálu volno pro tramvaj mohlo být co nejpřesnější. Vítěznou firmu bude vybírat výběrová komise po celkovém zhodnocení funkčnosti systému a celkové ceny jednotlivých nabídek.



V rámci veřejné zakázky „Podpora veřejné dopravy“ vypsané statutárním městem Ostrava, jejíž hodnota je 118,3 mil. Kč bez DPH (kromě výměny řadičů je jejím obsahem také vybudování dopravní ústředny, instalace strategických detektorů, poskytnutí licence na modelování dopravy a konzultační a servisní služby) je vybráno 12 křižovatek, kde dojde k výměně řadičů, které nesplňují parametry pro podporu veřejné dopravy. (17)

Autor navrhuje vybavit křižovatku řadičem schopným nastavení minimálně 3 „hasičských“ nebo „záchranných“ tras pro vozidla IZS, které bude možno nastavit dálkově z nově plánované řídicí ústředny, s plánovaným vybudováním na OK, a.s. a současně umožnit liniovou koordinaci s okolními křižovatkami v koordinovaném tahu pomocí optického kabelu tak, aby byla zajištěna možnost datové komunikace mezi nimi. Tyto „hasičské“ a „záchranné“ trasy jsou navrženy z důvodu rychlého nastavení (dálkově i pomocí signálu vyslaného z vozidla) v případě potřeby průjezdu vozidel IZS.

Autor dále navrhuje zavedení tzv. dynamického řízení křižovatky, tj. přizpůsobení signálního plánu dle aktuálního provozu a k tomu účelu by nový řadič měl být vybaven funkcí pro příjem dat z detektorů o hodnotách dopravních intenzit. Důvodem je optimální přizpůsobení se aktuálnímu provozu, které může pomoci zabránit kongescím a zlepšit průjezd křižovatky.

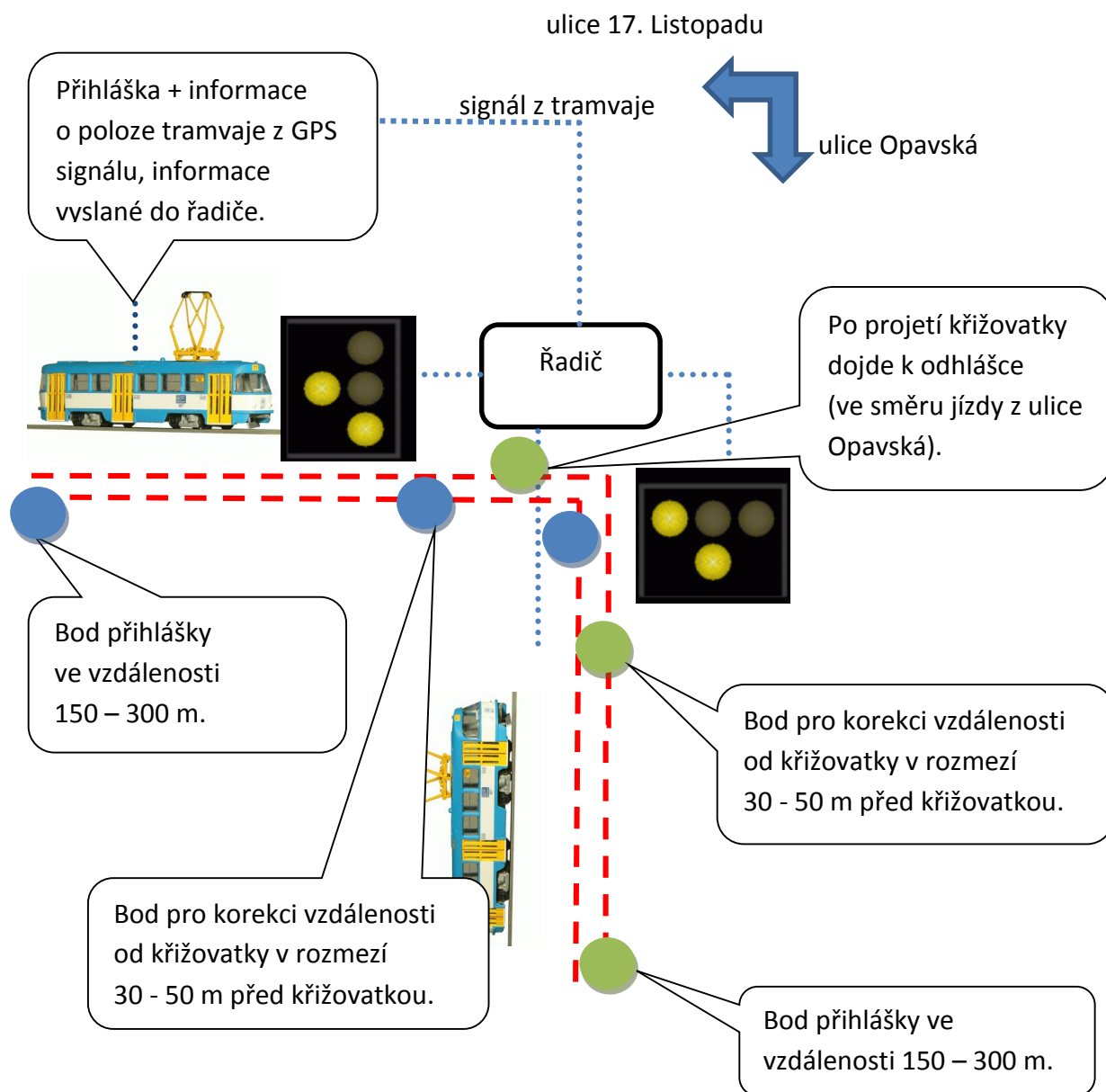
Autor práce navrhuje v rámci detektorů nainstalovat systém založený na bázi příjmu signálu o poloze tramvaje určeného pomocí GPS systému. Je to z toho důvodu, že vozidla tramvají budou vybavena určením své polohy pomocí navigačního systému GPS a tato data pak mohou odeslat do řadiče na křižovatce. V průvodní dokumentaci na vybavení nových řadičů na křižovatkách je podmínka přesnosti, kdy je povolena maximální odchylka 2,5 m. Detektory mají být schopny odesílat údaje o intenzitě dopravního proudu do řadičů, které následně přizpůsobí signální plán aktuálnímu provozu (dynamické řízení křižovatky).

### 2.3 Proces preference tramvaje při průjezdu křižovatkou

Pro umožnění jízdy tramvaje přes křižovatku je třeba splnit následující činnosti.

1. Přihláška (vyslání signálu obsahující "přítomnost" tramvaje a požadovaný směr jízdy).
2. Korekce vzdálenosti před křižovatkou.
3. Přepnutí signálu "volno" v požadovaném směru.
4. Odhláška.

Na obrázku 25 nakresleno konkrétní schéma průběhu jízdy tramvaje přes křižovatku ulic 17. Listopadu/Opavská v Ostravě.



Obrázek 25: Schéma preference na křižovatce 17. Listopadu/Opavská

Zdroj: (autor)

Na obrázku 25 je zobrazen proces preference jízdy tramvaje ze směru ulice 17. Listopadu (zleva). V prvním kroku dojde k přihlášce, kdy je z palubního počítače vyslán signál o poloze, čísle linky (tedy požadovaném směru jízdy) a případném zpoždění do řadiče křižovatky. Řadič podle situace (jízda s náskokem, jízda na čas nebo jízda se zpožděním) buď tramvaj nepreferuje vůbec (jízda s náskokem), nebo umožní jízdu tramvaje pomocí vložení fáze do signálního plánu. Ihned po projetí křižovatky dochází k odhlášce a stav SSZ se vrací do standardního stavu, tj. umožňuje jízdu ze všech 4 směrů standardně dle signálního plánu křižovatky.

## 2.4 Návrh na úpravu dynamického řízení křižovatky pomocí vložení fází

Autor jako jednu z variant na změnu organizace dopravy na křižovatce, současně se zavedením preference na křižovatce ulic 17. Listopadu/Opavská, navrhuje vložit 3 nové fáze. Vložení fáze F8 a F10 přispěje k upřednostnění jízdy tramvaje při detekování její přítomnosti pomocí příjmu signálu o poloze tramvaje z palubního počítače. Fázová skupina F9 zajistí lepší průjezd IAD ze směru od obce Pustkovec v případě, když dojde k nárazovému navýšení intenzity vozidel.

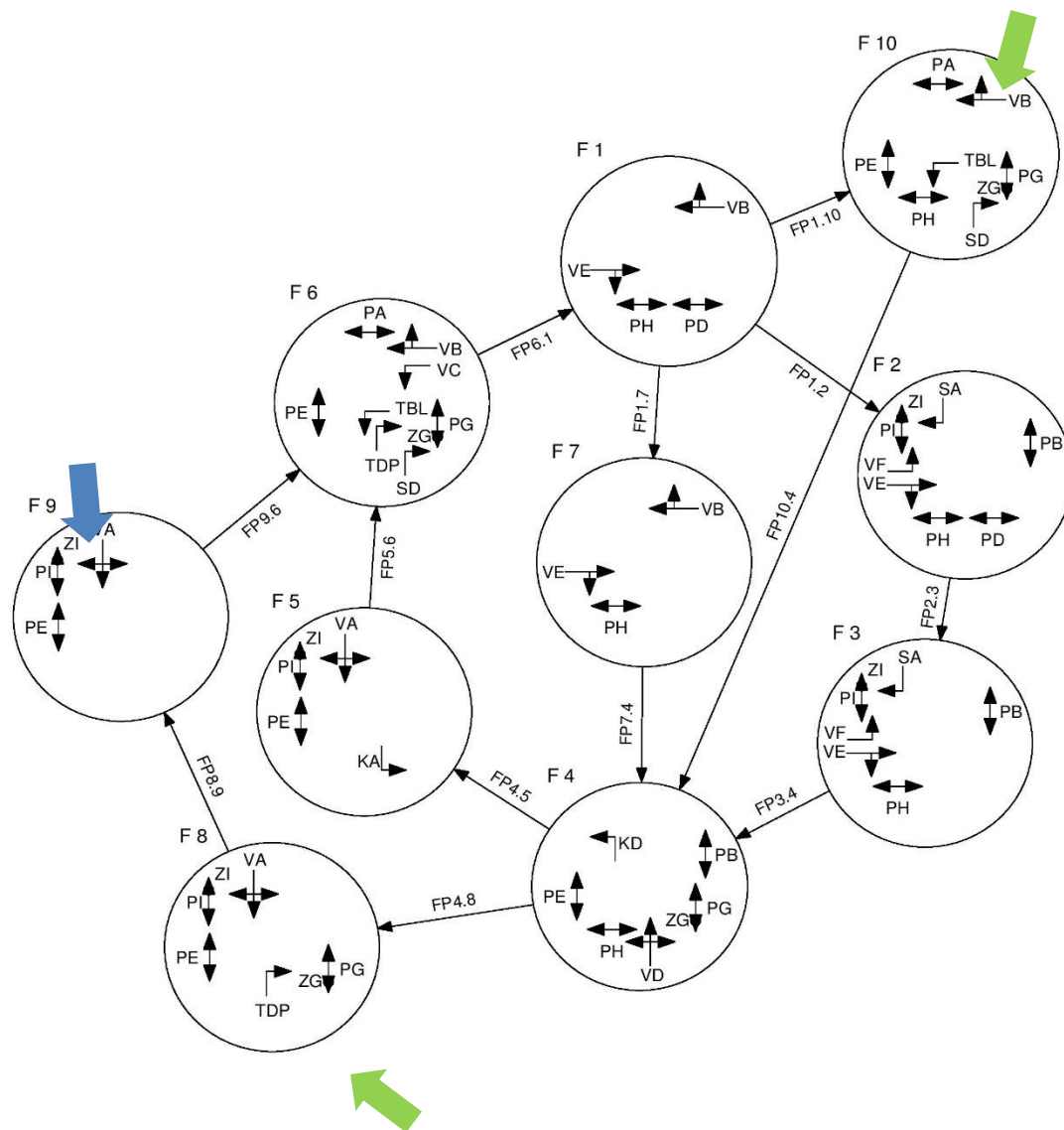
Předpokladem aktivní preference je moderní palubní počítač (podkapitola 2.1), který bude schopen vysílat informace o poloze, případném zpoždění, nebo jízdě v předstihu a požadovaném směru jízdy tramvají. Vložení fáze F8, F9 a F10 autor navrhuje jako verzi úprav bez zásahu do úpravy polohy návěstidel. Na obrázku 26 je graficky znázorněna navržená úprava přidáním 3 nových fází. Oproti stávajícímu stavu (obrázek 12) autor navrhuje vložit fáze F8, F9 a F10.

Fáze F9 slouží pro možnost dynamického řízení křižovatky, konkrétně zlepšení dopravní situace ve směru od městské části Ostrava – Pustkovec v případě zvýšené intenzity provozu. Za současného stavu je signál volno pro tramvaj možný pouze ve fázi F6. V rámci navrhované preference bude při přihlášení tramvaje v dostatečném předstihu (cca 300 m) možno vložit tuto fázi do právě probíhajícího cyklu (pokud přihláška proběhne alespoň 300 m před stop čarou křižovatky) a tím umožnit rychlejší průjezd tramvaje. Pokud k přihlášení tramvaje dojde ve vzdálenosti min. 300 m, bude zajištěno plynulé projetí tramvaje.

Fáze F8 a F10 slouží pro oba směry jízdy (pro tramvaje slouží signální skupiny TDP (fáze 8) a TBL (fáze 10)). Tento diagram byl vytvořen v modelovacím programu pro tvorbu signálních plánů LISA+ ve spolupráci s OK, a.s. Navrhovaná úprava počítá s instalací radičů na křižovatce, které budou schopny přijímat signál o poloze a případném zpoždění tramvají v dostatečném předstihu (300 m). V rámci tohoto návrhu byly vytvořeny fázové přechody pro fáze a na jejich základě navržen nový signální plán pro křižovatku. Fázové přechody jsou přílohou B a C této práce.

Autor upřednostňuje variantu bez úpravy návěstidel před variantou s fyzickou přestavbou (následující kapitola 2.4.2) z důvodu ekonomické nenáročnosti tohoto řešení a v souvislosti s probíhajícím výběrovým řízením na aktivní preferenci tramvají (výměna radičů na křižovatce a nový palubní systém v tramvaji). Nevýhodou tohoto řešení je omezení jízd IAD a současně s tím i autobusů MHD, případně linkové dopravy. Z tohoto důvodu autor navrhuje preferovat výhradně pouze tramvaje, které jedou se zpožděním. Tramvaje, které jedou dle jízdního řádu, autor navrhuje preferovat v případě, kdy intenzity vozidel na křižovatce nepřekročí hodnoty, kdy dochází ke kongescím. Tramvaje, které jedou v předstihu (k této situaci dochází obvykle během víkendů nebo nočních hodin) nebudou dle tohoto návrhu preferovány vůbec a vyčkají standardně na signál volno. V podmínkách výběrového řízení na nové radiče jsou podmínky, které vyžadují instalaci radičů, které budou schopny dynamicky řídit provoz.

# Fáze a sled fází



projekt	Diplomová práce				
křížovatka	K4006 Opavská x 17.listopadu				
zakázka č.	Preference TRAM	varianta	V03	datum	30.3.2015
editor	Ondřej Mikulaj	Signatura		list	

Obrázek 26: Navrhovaný sled fází, varianta bez úpravy návštěvidel

Zdroj: (autor + 8)

Na obrázku 26 jsou zelenou šipkou znázorněny 2 nově vložené fáze, které se týkají preference (F8, F10), modrou šipkou je označena fáze, která zajistí zlepšení dopravní situace ve směru od obce Děhylov. Fáze pro řízení tramvají (F8 a F10) budou v praxi aktivovány pouze na základě přihlášení tramvaje.

Návrh fázového programu byl vytvořen pomocí programu LISA+ a je tak zajištěna jeho funkčnost, respektive jsou vyloučeny nelogické kroky, které by odporovaly logice řízení, tedy pravidlům silničního provozu. Podmínkou pro zavedení tohoto způsobu řízení je také instalace moderního řadiče, umožňujícího příjem signálu GPS o poloze tramvaje a její přihlášení ideálně cca 300 m před stop čarou křižovatky.

Způsob řízení autor navrhuje jako podmíněnou preferenci, to *znamená takový způsob řízení, který sice neumožní zcela plynulý průjezd všem tramvajím na světelně řízené křižovatce, ale umožní alespoň výrazný pokles zdržení a počtu zastavení* (18). Konkrétní vyčíslení teoretického poklesu zdržení je v kapitole 3. V praxi by řadič měl být naprogramován tak, aby se fáze F8 a F10 aktivovala pouze v případě jízdy tramvaje, která má zpoždění nebo jede dle jízdního řádu, případně podržet signál volno do jeho maximální délky dle signálního plánu.

Dopravní odborníci na OK, a.s. jsou názoru, že preferovány by měly být pouze tramvaje, které jedou se zpožděním, aby se negativně neovlivňovala IAD. Dle názoru autora této práce, se jedná pouze vyrovnání zpoždění, nikoliv o preferenci. Z tohoto důvodu autor upřednostňuje preferovat také tramvaje, které nejedou s předstihem (jedou dle standardního jízdního řádu).

Pokud jede tramvaj předjetá, vyčká signálu volno standardně, než nastane fáze 1. Aktivace vložených fází F8 a F9 bude záviset na době příjezdu tramvaje před stop čarou křižovatky a bude probíhat automaticky v předstihu, na základě informace o poloze a zpoždění. Pokud palubní počítač v tramvaji vypočítá, že vozidlo přijede těsně před nebo po začátku fáze F1, vyšle signál s touto informací do řadiče a standardně projede křižovatkou. V případě pozdějšího příjezdu ještě za doby signálu volno, bude tento signál prodloužen na dobu nezbytně nutnou k projetí tramvaje. V opačném případě (příjezd tramvaje např. 20 s po fázi F1) budou aktivovány vložené fáze F8 a F10.

Palubní počítač bude řidiči dávat informace, kdy má odjet ze zastávky, případně, kdy je vhodná doba k uzavření dveří (červenou nebo zelenou barvou). Pokud řidiči tramvaje bude indikován pokyn k uzavření dveří, ale ještě neskončila výměna cestujících, řadič prodlouží dobu volna na nejdelší možnou dobu.

Pro preferenci v Ostravě, tento systém bude fungovat na jakékoliv křižovatce, která je vybavena řadičem umožňujícím přednostní jízdu tramvaje. Vložené fáze počítají také s ostatním provozem na křižovatce, tzn., že součástí těchto fází jsou signální skupiny pro chodce (PA, PE, PG a PH a PI) a pro ostatní provoz (VA, VB, SD).

## 2.5 Návrh na úpravu signálního plánu s pomocí programu LISA+

Pro preferenci tramvají na křižovatce je třeba upravit signální plány. Pro řízení provozu se v době psaní této práce (březen 2015) používají 3 signální plány, jejich využití se mění dle denní hodiny a dne v týdnu (konkrétní rozpis je uveden v podkapitole 1.3). V rámci preference autor navrhuje buď vložit jednotlivé fáze (viz předchozí podkapitola 2.4), nebo upravit signální plán pro potřeby tramvají. Pro preferenci tramvají je nutno upravit signální skupiny TBL a TDP, tj. vlevo z ulice Opavská na ulici 17. Listopadu a opačně. V rámci modelu je posuzována varianta, kdy tramvaj přijede v době probíhající fáze (v době signálu volna pro tramvaj), nebo v době, kdy probíhá jiná fáze. V tomto případě se ukončí právě probíhající fáze a po nezbytné délce volna (5 s) se přejde na vloženou fázi se signálem volno pro tramvaj. Návrh počítá s tím, aby IAD byla ovlivněna pokud možno co nejméně. V následujícím modelu bude zkoumána logika řízení od jednoduché po složitější.

Cílem je navrhnout řízení provozu tak, aby tramvaj, která se blíží ke křižovatce, dostala signál volno v nejbližším možném termínu (pokud tramvaj nejede v předstihu oproti jízdnímu řádu). Pro řízení tramvajového provozu se na této křižovatce využívají signální skupiny TDP a TBL. Volno pro skupinu TDP trvá 15 s (začíná ve 42. a končí v 52. s) a pro skupinu TBL je volno 12 s (začátek v 45. s do konce 52. s), platí v signálních plánech SP1 a SP2. V signální skupině SP3 je volno ve skupině TBL 6 s (začátek 23. a konec 29. s), ve skupině TDP pak 9 s (začátek ve 20. s a konec ve 29. s). Signální skupiny pro tramvaje jsou zařazeny do fáze 6. Autor navrhuje zavést dynamické podmíněné (v závislosti na odchylce od jízdního řádu) řízení provozu na křižovatce, tzn. ovlivnění SSZ vozidly tramvají při jejich detekci. V rámci návrhu změn v signálním plánu byly hodnoceny tyto možnosti:

1. Prodloužení délky fáze na úkor jiné.
2. Vložení dalších fází při přihlášení tramvaje.
3. Přehození pořadí fází při přihlášení tramvaje.
4. Prodloužení doby signálu volno pro tramvaje na úkor ostatních kolizních proudů.

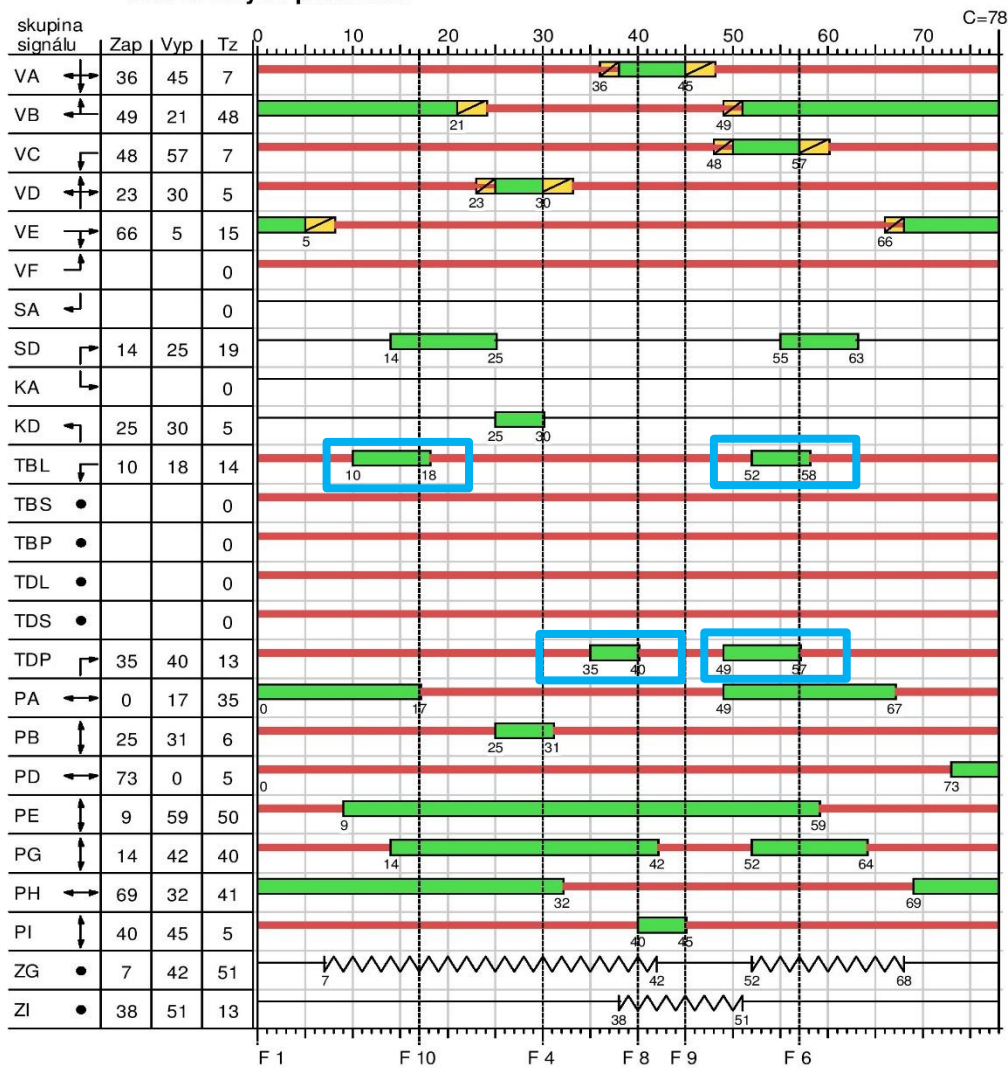
Jako nejefektivnější řešení (z technického a ekonomického hlediska) připadá v úvahu vložení fází F8, F9 a F10 a navržení nového signálního plánu, který reflektuje úpravy z hlediska preference i zlepšení dopravní situace. Hlavní navrženou změnou oproti stávajícím signálním plánům je vložení signálu volno, signálních skupin TBL a TDP pro tramvaje, které se tak vyskytují v jednom cyklu dvakrát. Tato změna umožní zkrácení čekacích dob tramvají (konkrétní vyčíslení je v kapitole 3), nebo jejich plynulé projetí křižovatkou. V případě přihlášení tramvaje do křižovatk v dostatečném předstihu (300 m), tramvaj projede křižovatkou bez čekání.

Dopady těchto změn na IAD, jsou vyhodnoceny ve 3. části této práce, kde jsou zkoumány negativní dopady na IAD, tak i pozitivní dopad na jízdu tramvají. Signální plán byl vytvořen v programu LISA+ a je skladbou jednotlivých fázových přechodů. Signální skupiny pro preferenci tramvají jsou pro lepší názornost označeny v obrázku 27 modrým obdélníkem.

# Signální plán

LISA\*

## test fázových přechodů



FP1.10 -> FP10.4 -> FP4.8 -> FP8.9 -> FP9.6 -> FP6.1

projekt	Diplomová práce				
křižovatka	K4006 Opavská x 17.listopadu				
zakázka č.	Preference TRAM	varianta	V03	datum	30.3.2015
editor	Ondřej Mikulaj	Signatura		list	

Obrázek 27: Nově navržený signální plán pro dynamické řízení provozu

Zdroj: (autor + 8)

Navržený signální plán byl autorem práce vytvořen jako základní varianta, ze které mohou následně vycházet úpravy pro jednotlivé hodiny a dny v týdnu. Délka nově navrženého cyklu je 78 s. Kratší cyklus má za cíl umožnit rychlejší střídání jednotlivých signálních skupin a tím přispět k plynulejšímu průjezdu křižovatkou. Navržené fázové přechody, které jsou součástí signálního plánu, jsou v příloze B a C.

Při porovnání signálního plánu před navrženou změnou (SP1 viz příloha A) a nově navrženého SP (test fázových přechodů) je patrné, že u všech signálních skupin došlo ke zkrácení jejich délky a to jednak z důvodu celkově kratšího cyklu (78 s), tak z důvodu vložení zdvojených signálů volno pro tramvaje. Naproti tomu byla u signálních skupin TBL a TDP vložena fáze na výzvu (přihlášení tramvaje). Signální skupina TBL slouží pro odbočení tramvají vlevo z ulice Opavská, signální skupina TDP naopak vpravo z ulice 17. Listopadu. Společně s jízdou tramvají jsou v daných fázích (F8, F10) zahrnuty vzájemně nekolizní signální skupiny a to chodecké proudy a ostatní provoz (viz kapitola 2.4).

Součástí SP jsou všechny logické podmínky (pravidla silničního provozu), respektive vzájemná posloupnost nekolizních dopravních proudů, nebylo tak např. možné vložit nové fáze po kterékoliv fázi v signálním programu křižovatk. V nově navrženém řešení zůstaly zachovány všechny původní mezičasy (doba nezbytně nutná pro bezpečné vyklizení kolizního proudu, který vyklizuje křižovátku a proudem který najíždí do křižovatk). Individuální doprava bude ovlivněna zkrácením signálů volno. Negativním dopadem nově navrženého signálního plánu bude narušení koordinace zelené vlny, neboť křižovátka ulic 17. Listopadu a Opavská je koordinovaná s ostatními křižovatkami.

S přidáním fáze pro vozidla integrovaného záchranného systému (IZS) se do nově navrženého signálního plánu neuvažovalo, protože současné (stejně tak jako nově instalované) řadiče umožňují aktivaci volné trasy pro vozidla IZS na základě signálu. Vzhledem k plánovanému zprovoznění přeložky silnice I/11 prodloužená Rudná (červen roku 2015) se počítá s náhlým poklesem intenzity dopravy o cca 1/3 zejména ve směru od Rudné směrem na Opavu. (8) Tento údaj je odhadem Magistrátu města Ostravy, odboru dopravy na základě současných intenzit a žádné konkrétní průzkumy na toto téma nebyly realizovány.

Po 1 roce od zprovoznění nové přeložky silnice je možno přistoupit k dalším úpravám, které zohlední nový stav. V rámci úprav provozu na křižovatce bylo také uvažováno s verzí, kdy se upraví jednotlivé polohy detektorů na křižovatce. Od této verze se upustilo z toho důvodu, že přihlašování a odhlašování tramvají bude probíhat automaticky pomocí GPS signálu, není tak potřeba měnit polohy detektorů (tramvajových kontaktorů).

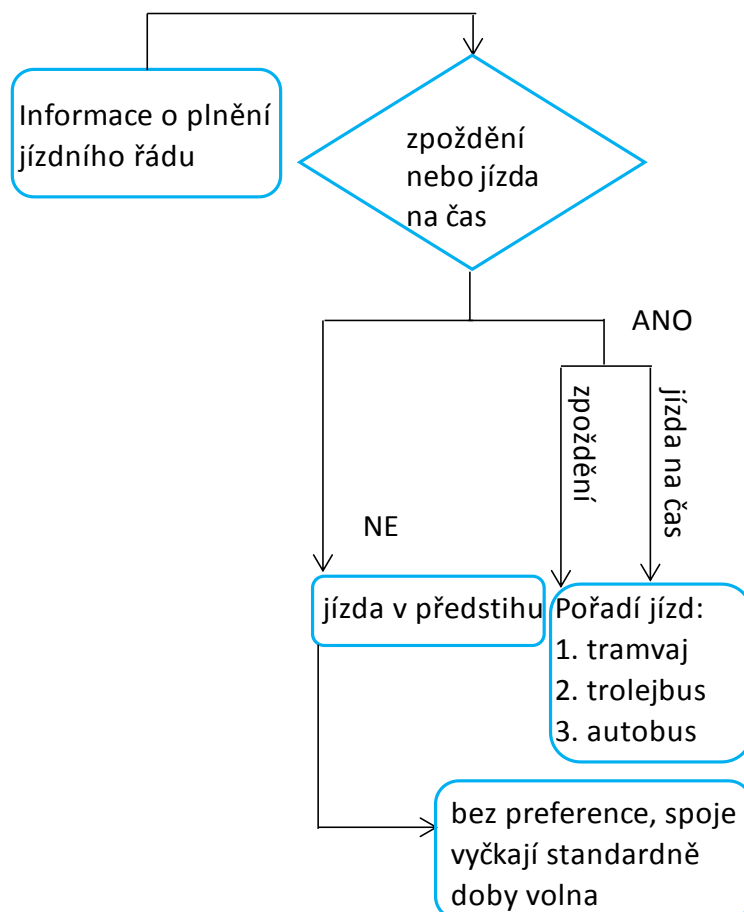
Verze s úpravou poloh návěstidel také vyžaduje nový výpočet jednotlivých mezičasů. Jednotlivé přechody mezi fázemi vyplývají z obrázku 26 a jsou také uvedeny pod nově navrženým signálním plánem na obrázku 27.



## 2.6 Postup při preferenci dvou dopravních prostředků na křižovatce

V rámci běžného provozu mohou na křižovatku přijet tramvaje, které jedou dle jízdního řádu, se zpožděním, nebo v předstihu oproti jízdnímu řádu. Existují také křižovatky, kde se střetávají tramvajové linky z více směrů. Vzhledem k vysoké intenzitě provozu vozidel MHD, preference na těchto křižovatkách není vhodná, protože dochází k jízdě vozidel veřejné dopravy z více směrů najednou. V Ostravě se jedná např. o křižovatky na ulicích Opavská/Martinovská, 28. října/Plzeňská a 28. října/Vítkovická.

V případě pokročení zavádění preference do další fáze může v budoucnu dojít k situaci, kdy bude nutno preferovat tramvaje i autobusy, případně i trolejbusy zároveň. Autor navrhuje naprogramovat řadič křižovatky takovým způsobem, aby v první řadě byly přednostně preferovány tramvaje (jako páteří systém dopravy ve městě) jedoucí se zpožděním, společně s tramvajemi jedoucími dle jízdního řádu. Následně pak trolejbusy a autobusy. Detailnější znázornění na obrázku 28.



Obrázek 28: Schéma naprogramování řadiče pro preferenci Zdroj: (autor)

V situaci, kdy na křižovatku přijede např. zpožděný autobus a nezpožděná tramvaj, měl by být preferován ten dopravní prostředek, který se do křižovatky přihlásil jako první. V případě zpoždění obou dopravních prostředků v délce do 5 min preferovat autobusy (z důvodu nižšího intervalu než u tramvajích) až poté trolejbusy a tramvaje. Při zpoždění nad 5 min, pak dle stejného klíče, tedy první jede to vozidlo, které se dříve přihlásilo.

### 3 ZHODNOCENÍ DŮSLEDKŮ ZAVEDENÍ PREFERENCE TRAMVAJÍ

V této kapitole je zhodnoceno zavedení preference tramvají pomocí vložení fází a úpravy signálních plánů na řešené křižovatce, se všemi pozitivy i negativy, které tato změna přinese. Vyhodnocení je provedeno porovnáním provozních (cestovní rychlost, teoretická doba zdržení) a ekonomických ukazatelů (finanční úspory v provozu) v horizontu 1 roku.

Obecnými přínosy preference jsou z pohledu cestujících zejména zkrácené jízdní doby, vyšší cestovní rychlost a plynulost jízdy. Jsou to faktory, které činí veřejnou dopravu více atraktivní pro cestující. Preferování MHD může paradoxně prospět i osobám využívajícím individuální dopravu, protože pokud se zvýší počet uživatelů využívajících dopravu veřejnou, poklesne počet osob využívajících osobní automobily a tím se doprava ve městech stane plynulejší a bezpečnější, což přispěje ke spokojenosti všech účastníků silničního provozu.

Z pohledu provozovatelů veřejné dopravy (dopravních podniků) preference MHD přináší úspory zejména na provozní (finanční) straně. Eliminací zbytečných rozjezdů a brzdění před křižovatkami lze docílit nižší spotřeby elektrické energie, nižšího opotřebení brzdového ústrojí (tím i delší interval výměny těchto součástí). V případě přilákání většího počtu cestujících, pak zvýšený příjem z prodeje jak krátkodobých tak dlouhodobých jízdenek, může dopravní podnik investovat buď do dalšího zvýšení kvality (např. dalšího rozvoje vozového parku), čímž se dále zvýší atraktivita cestování veřejnou dopravou, nebo snížit cenu jízdného pro přilákání nových cestujících. V opačném případě může vlastník dopravního podniku (město), snížit dotace na provoz. Předpokladem těchto opatření je, že navržené změny v této práci, budou zavedeny na celém území města, jednou z možností je preference tramvají na křižovatkách řízených SSZ, kde je veřejná doprava provozována. Preferovány mohou být jak autobusy, tramvaje, tak i trolejbusy.

Mezi ostatní možnosti preference MHD patří budování vyhrazených pruhů pro autobusy a trolejbusy, zvýšené jízdní pásy pro tramvaje, nebo budování zvýšených zastávek pro vyšší bezpečnost cestujících.

Hlavním faktorem nadlimitních hodnot prachu v ovzduší v Ostravě je těžký průmysl, v roce 2013 byly na některých měřicích stanicích limity prachu překročeny i více než 130 krát. (21) Alespoň částečné omezení IAD může napomoci k řešení tohoto problému.

V této práci navržená úprava v dynamickém řízení provozu na křižovatce, je pouze jedním z více opatření<sup>1</sup>, které mohou přispět k cíli zatraktivnit veřejnou dopravu.

---

<sup>1</sup> Oddělení tramvajových tratí, vyhrazené jízdní pruhy, omezení vjezdu, systém přednosti a zastávky.

### 3.1 Porovnání teoretické doby zdržení tramvají při zavedení preference na křižovatce

Teoretický pokles doby zdržení lze dle metodiky uvedené v TP 81 (1) vyčíslit pomocí průměrného zdržení. K výpočtu je nutno znát *délku cyklu* a *dobu volna*. Porovnáním hodnot z původního a nově navrženého signálního plánu je vypočtena hodnota, o kterou teoreticky poklesne průměrné zdržení tramvají na křižovatkách. Vztah 1 udává teoretickou dobu zdržení tramvají obecně, ve vztahu 2 je vyjádřena konkrétní hodnota teoretického zdržení tramvají na dané křižovatce.

$$T_z = \frac{(\text{délka cyklu} - \text{doba volna})^2}{2 \cdot \text{délka cyklu}} [s] \quad (1)$$

$$T_z = \frac{(100 - 12)^2}{2 \cdot 100} [s] = 38,7 [s] \quad (2)$$

V současném signálním plánu (viz příloha A) je délka celého cyklu 100 s, doba volna pro tramvaj je 12 s. Hodnota 38,7 s udává teoretickou průměrnou dobu zdržení 1 tramvaje za současného stavu a vyjadřuje průměrnou (teoretickou) dobu, kterou tramvaj čeká na křižovatce na signál volno.

Teoretická doba zdržení po navržené úpravě je vypočtena v následujícím vztahu 3.

$$T_z = \frac{(39 - 8)^2}{2 \cdot 39} [s] = 12,3 [s] \quad (3)$$

V navrženém signálním plánu, byl pro tento výpočet SP rozdělen na 2 části a to z důvodu zjištění relevantních údajů (jako kdyby byl v SP jen 1 cyklus). (18) Délka cyklu je v tomto případě 39 s, délka volna je 8 s. Hodnota 12,3 s udává průměrnou délku zdržení 1 tramvaje po úpravě SP, tento údaj opět znamená jak dlouho v průměru, bude tramvaj, která přijede na křižovatku, čekat na signál volno.

Tyto hodnoty jsou příkladem výpočtu pro signální skupinu TBL. Pro opačný směr jízdy, tedy signální skupinu TDP je průměrná doba zdržení 36,1 s za současného stavu a 14,8 s po úpravě SP. Rozdíl mezi těmito dvěma hodnotami lze považovat za průměrný teoretický pokles zdržení tramvají na křižovatce. V procentuálním vyjádření se jedná o pokles průměrné jízdní doby o 68,2 % (pro hodnoty ve vzorcích).

Hodnoty jsou teoretickými údaji o zpoždění dle TP 81 (1), ale lze na nich názorně ukázat, jaký je vliv preference tramvají pomocí vložení fází současně s přizpůsobením signálního plánu tramvajím. Na jedné křižovatce se jedná o úsporu času v jednotkách sekund, dopad na jízdní dobu na celé síti, při preferenci na všech křižovatkách řízených SSZ bude v rámci jednotek minut (viz tabulka 9).

Graficky jsou tyto údaje znázorněny na obrázku 29. Červenou barvou je znázorněna procentuální velikost průměrného zdržení, o kterou se zkrátí doba při průjezdu tramvaje křižovatkou. Zelenou barvou doba průměrného zdržení po realizaci navržených změn.

Následující graf je pak součtem těchto hodnot, tedy teoretickým průměrným zdržením za současného stavu.



Obrázek 29: Grafické znázornění zkrácení průměrného zdržení při průjezdu křižovatkou

Zdroj: (autor)

Z grafu na obrázku 29 je názorně vidět, že vložením 2 fází do signálního plánu, bude průměrné zdržení na křižovatce eliminováno o více než 68 %. Průměrné zdržení tramvajů na křižovatce se promítne do celkové průměrné rychlosti a zkrátí jízdní dobu.

Pokles jízdní doby je možno ukázat na konkrétním příkladu. Na páteřní lince tramvaje č. 7 (projíždějící též vybranou křižovatkou) je celkem 16 křižovatek řízených SSZ, přes které musí tramvaj projet. Jízdní doba na celé lince činí 37 min. Pokles průměrného zdržení na řešené křižovatce (dynamicky řízené), se vypočte dle vztahu (3).

Doba zdržení s preferencí se vypočítá dle vztahu (3), s tím, že průměrné zdržení na křižovatce řešené v této práci klesne na 12,3 s. Na ostatních křižovatkách se z důvodu jiného řešení preference (dynamické/nedynamické řízení) uvažuje průměrná hodnota zdržení 15 s. (18) Celková teoretická doba zdržení (po zavedení preference) bude cca 4 min

(1 · 12,3 s + 15 · 15 s). Časy, o které je možno zkrátit jízdní dobu na celé lince v případě zavedení preference jsou uvedeny v tabulce 9. Výsledná hodnota poklesu jízdní doby závisí na konkrétních řešeních a úpravách dynamického řízení na daných křižovatkách.

V reálném provozu mohou do průběhu jízdy vstoupit další okolnosti, jako jsou vozidla na nesegregovaných jízdních pásech a kumulace více tramvají na křižovatce za sebou.

Příklady dalších 3 linek procházejících křižovatkou jsou v tabulce 9 s uvedením teoretické doby zkrácení jízdní doby a celkovou jízdní dobou na dané lince. Pro výpočet byla použita stejná metodika jako výše uvedené linky s dobou cyklu na křižovatkách cca 100 s a dobou zelené pro tramvaj okolo cca 15 s.

Tabulka 9: Teoretická doba zdržení u SZZ na vybraných křižovatkách

	Počet křižovatek řízených SZZ	Teoretické zdržení na křižovatkách v současnosti [min]	Jízdní doba na celé lince [min]	Teoretická průměrná doba zkrácení jízdní doby [min]
Linka 4	12	7,7	43	3
Linka 8	16	10,3	41	4
Linka 17	11	7	35	2,7

Zdroj: (autor)

Údaje v tabulce 9 ukazují, o kolik bude možné zkrátit jízdní dobu na vybraných linkách, pokud budou všechny křižovatky vybaveny řadiči schopnými komunikovat s tramvají a signální plán se upraví dle autorem navrhované předlohy v této práci (součástí je vložení min. 2 fází do logiky řízení). Do výčtu křižovatek jsou zahrnuty pouze takové, které jsou řízeny SZZ a kde dochází ke křížení pozemních komunikací (nejsou brány v potaz světelně řízené přechody pro chodce). Např. u linky 4 je možno teoreticky zkrátit jízdní dobu o 3 min, u linky 8 o 4 min a u linky 17 o necelé 3 min. Obdobně je možno postupovat u všech ostatních linek. Je také nutno zmínit, že hodnoty jsou pro 1 směr jízdy, na celém obratu linky pak časová úspora je ještě významnější (okolo 6 – 8 min), tímto způsobem je možno ušetřit 1 až 2 soupravy na lince za den.

Tabulka 10: Porovnání páteřní linky před a po zavedení preference

Úsek		Bez preference	S preferencí
<b>Vřesinská – Svinov mosty h.z</b>	Vzdálenost	5 km	
Tramvajové linky 7, 8, 17  Celková délka Linka 7: 14 km Linka 8: 14 km Linka 17: 13 km	Jízdní doba	15 min	13 min
	Počet řízených křižovatek	7	
	Jízdní doba na 1 km	3 min/km	2,6 min/km
	Cestovní rychlost	20 km/h	23 km/h
	Rozdíl jízdní doby	-2 min	

Zdroj: (autor + 7)

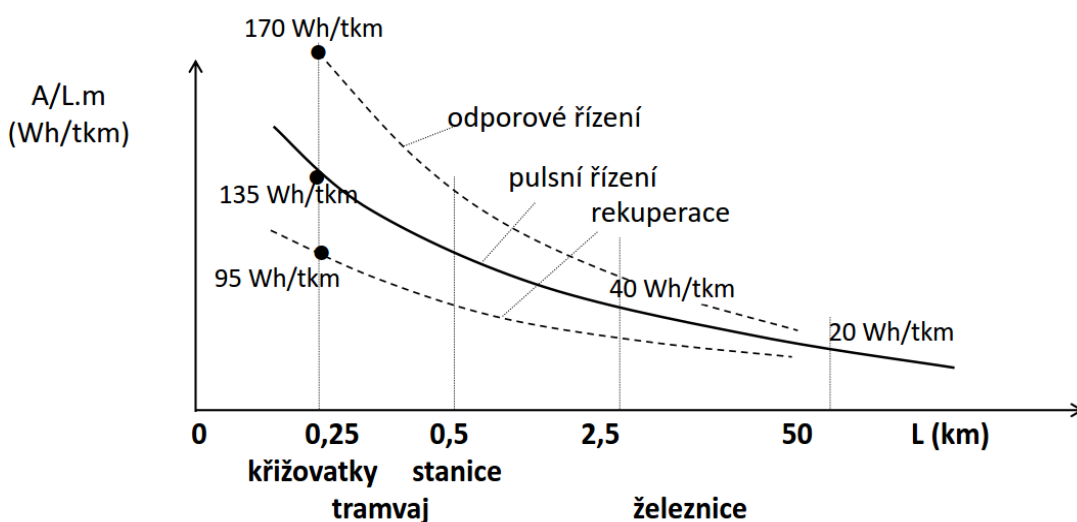
Tabulka 10 srovnává vybraný úsek před a po zavedení preference. Uvedené údaje lze porovnat i v rámci vybraného úseku. Jako příklad byla vybrána páteřní trasa (trasa vede

řešenou křižovatkou a jsou přes ni vedeny páteřní linky 7, 8, 17) a jedná se o zmiňovaný koordinovaný tah.

Na uvedeném příkladu v tabulce 10 lze vidět, že i na 5 km úseku je možno ušetřit 3 min jízdy a zvýšit cestovní rychlost v případě zavedení preference. Jako příklad jsou uvedeny linky projíždějící křižovatkou řešenou v práci. Celkový počet tramvajových linek v Ostravě je 17.

### 3.2 Zhodnocení ekonomických ukazatelů

Omezením rozjezdů na křižovatkách lze ušetřit značné finanční prostředky. Na obrázku 30 je graficky znázorněn pokles spotřeby elektrické energie s rostoucí plynulostí jízdy. Rozdíl mezi odporovým a pulsním řízením je v tom, že v pulsním způsobu řízení (na rozdíl od odporového) odpadá problém s přeměnou elektrické energie na teplo v rozjezdové odporníku, tento způsob je tak ekonomičtější pro provoz. Nejnižší spotřebu má pak samotná rekuperace elektrické energie, při které je elektřina při brždění dodávána zpět do sítě.



Obrázek 30: Spotřeba elektrické energie v závislosti na vzdálenosti zastávek

Zdroj: (19)

Vertikální osa udává spotřebu elektrické energie na tunokilometr (1 tuna hmotnosti tramvaje přepravená na 1 km). Horizontální osa udává vzdálenost. Nejvyšší spotřeba elektrické energie je vždy na začátku jízdy, tedy při rozjezdu. Čím je jízda plynulejší, tím se ve výsledku snižuje spotřeba elektrické energie. Z obrázku je patrné, že např. na křižovatce (při rozjezdu) je spotřeba elektrické energie 135 Wh/tkm.

Z informací v článku odborného časopisu Československý dopravák (Preference MHD světelnou signalizací: ano či ne?) autora Ing. Jana Adámka (18) vyplývá, že průměrný počet tramvají zastavených na dynamicky řízené křižovatce bez preference je 7 z 10. Na křižovatce s preferencí zastaví 1 tramvaj z 10 tramvají. Na základě těchto údajů je možné vypočítat úsporu po zavedení preference na řešené křižovatce, údaje jsou v tabulce 11.

Tabulka 11: Vyčíslení ekonomických úspor

Cena elektrické energie	3 Kč/kWh	Počet tramvají za den	596
Počet uspořených tramvají (6 z 10)	117 228 tramvají	Počet tramvají za rok	195 380
Spotřeba na 1 rozjezd	1 kWh	Cena 1 kWh trakční energie	3 Kč
Celková finanční úspora za trakční energii za rok			351 684 Kč

Zdroj: (autor + 18 +20)

- **Cena elektrické energie:** průměrná cena pro velkooběratele (18).
- **Úspora zastavení:** 6 z 10 tramvají na křižovatce zastaví, tedy 60 % všech tramvají.
- **Spotřeba na 1 rozjezd:** z informací článku odborného časopisu Československý dopravák, *Preference MHD světelnou signalizací: ano či ne?* (18).
- **Počet tramvají za den/rok:** dle statistického portálu Vykony.idos.cz (20).
- **Celková finanční úspora:** viz následující vztah 4.

$$F_{\text{ú}} = P_{\text{t}} \cdot S \cdot C \text{ [Kč]} \quad (4)$$

$P_{\text{t}}$  Počet uspořených tramvají [vozidla/rok]

$S$  Spotřeba na 1 rozjezd [kWh]

$C$  Cena 1 kWh trakční energie [Kč]

$F_{\text{ú}}$  Celková úspora trakční energie za rok [Kč/rok]

Počet tramvají uvedených v tabulce 11, je údaj za 1 pracovní den. Celkový roční počet je pak přesným údajem (zvláště sečteny pracovní dny, víkend včetně státních svátků) zjištěným ze statistické části aplikace IDOS. (20) Počet tramvají (rozjezdů), které budou ušetřeny na rozjezdech, byl zjištěn jako 60 % z celkového počtu tramvají (6 z 10 projíždějících tramvají bude uspořeno oproti stávajícímu stavu). Při průměrné ceně trakční energie 3 Kč za 1 kWh je pak celková roční úspora na této konkrétní křižovatce 352 000 Kč.

V Ostravě je v dotačním programu „Podpora veřejné dopravy“ plánováno zprovoznit preferenci veřejné dopravy na 20 křižovatkách. Vzhledem k tomu, že se jedná o křižovatky, kterými prochází páteřní linky a počet tramvají projíždějících křižovatkou se pohybuje ve stejných řádech (přes 100 tis tramvaj za rok), lze celkovou roční úsporu odhadnout na cca 7 mil Kč.

Mezi další finanční úspory pro dopravní podnik lze zahrnout nižší náklady na údržbu a náhradní díly v důsledku nižšího opotřebení brzdového ústrojí, nižší počet nasazených souprav za den a tím nižší náklady na mzdy a provoz. Finančních úspor může být dosaženo i nižší potřebou investic do nových vozidel a jejich následných oprav. (18) Náklady na spotřebu energií (včetně motorové nafty) činily v roce 2013 u DPO, a.s. necelých 16 % veškerých nákladů. (7) Při potencionální úspoře 7 mil Kč ročně se jedná o úsporu v celkových nákladech o 2,5%.

Do celkových nákladů investice, je kromě ceny za instalaci palubních jednotek do tramvají (celková cena projektu je 164 mil, dotace ve výši 115 mil, cena zahrnuje kromě palubního systému pro preferenci i nový odbavovací systém), nutno zahrnout i cenu nového řadiče, kterým jsou křižovatky vybavovány a která se v závislosti na výrobci pohybuje okolo 1 mil Kč.

### 3.3 Zkrácení doby volna pro automobily

Průměrná teoretická doba zdržení ( $t_w$ ) u automobilů se vypočte dle vztahu 5, který vychází z technických podmínek 235 s názvem *Posuzování kapacity světelně řízených křižovatek* (22). Do následujícího porovnání jsou zahrnuty signální skupiny pro automobily ze všech 4 směrů (tabulka 12). Postup výpočtu je stejný jako v předchozím případě.

$$t_w = 0,45 \cdot \left( \frac{(t_c - z')^2 \cdot C_v}{C_v \cdot t_c - I_v \cdot z'} + \frac{I_v \cdot 3600}{C_v^2 - I_v \cdot C_v} \right) [s] \quad (5)$$

kde:  $t_w$  střední doba zdržení na vjezdu do světelně řízené křižovatky [s],

$t_c$  délka cyklu [s],

$z'$  délka efektivní zelené,

$C_v$  kapacita vjezdu [počet vozidel/h],

$I_v$  návrhová intenzita dopravy na vjezdu [počet vozidel/h].

Zdroj: (22)

Kapacita vjezdů  $C_v$  (vztah 6) se pak pro jednotlivé signální skupiny vypočte (dle TP 235) jako:

$$C_v = \frac{\text{délka zelené}}{\text{délka cyklu}} \cdot 1900 [s] \quad (6)$$

Zdroj: (22)

Teoretická doba zdržení pro automobily na křižovatce je vypočtena pro signální skupiny VA až VF (do všech 4 směrů) s porovnáním současného a navrženého stavu. Pro signální skupinu VA jsou hodnoty dosazeny do vztahu 7 a 8, pro ostatní signální skupiny je výpočet analogický. Kapacita vjezdů se vypočte dle vztahu 5. Podmínkou pro možnost výpočtu je, že kapacita na vjezdu ( $C_v$ ) je větší než intenzita projíždějících vozidel ( $C_v \leq I_v$ ). V opačném případě v takovém směru vznikají kongesce a skupiny vozidel neprojedou na první zelenou. Kvalita dopravy je v takovém případě na stupni F.



$$\text{Signální skupina VA} \quad t_{w1} = 0,45 \cdot \left( \frac{100-15)^2 \cdot 285}{285 \cdot 100 - 370 \cdot 15} + \frac{370 \cdot 3600}{285^2 - 370 \cdot 285} \right) \text{ [s]} \quad (7)$$

Teoretická doba zdržení  $t_{w1} = 15,6$  [s] (za současného stavu)

$$t_{w2} = 0,45 \cdot \left( \frac{78-7)^2 \cdot 171}{171 \cdot 78 - 370 \cdot 7} + \frac{370 \cdot 3600}{171^2 - 370 \cdot 171} \right) \text{ [s]} \quad (8)$$

$t_{w2} = 18,5$  [s] (v případě úpravy SP dle předlohy)

$$\text{Signální skupina VB} \quad t_{w1} = 30,0 \text{ [s]} \quad (9)$$

$$t_{w2} = 7,1 \text{ [s]} \quad (10)$$

$$\text{Signální skupina VC} \quad t_{w1} = 19,7 \text{ [s]} \quad (11)$$

$$t_{w2} = 18,5 \text{ [s]} \quad (12)$$

$$\text{Signální skupina VD} \quad t_{w1} = 120 \text{ [s]} \quad C_v \leq l_v \text{ vznikají kongesce} \quad (13)$$

$$t_{w2} = 18,4 \text{ [s]} \quad (14)$$

Úpravou SP dojde v tomto případě ke zlepšení situaci pro automobily.

$$\text{Signální skupina VE} \quad t_{w1} = 40,4 \text{ [s]} \quad (15)$$

$$t_{w2} = 120 \text{ [s]} \quad (16)$$

Úpravou SP dojde v tomto případě ke zhoršení situace pro automobily, fiktivní doba zdržení.

$$\text{Signální skupina VF} \quad t_{w1} = 19,7 \text{ [s]} \quad (17)$$

$$t_{w2} = 19,7 \text{ [s]} \quad (18)$$

V předchozích vztazích (7 – 18) jsou vypočítány jednotlivé rozdíly teoretických dob při zdržení na křižovatce pro automobily a ostatní dopravu. Pro každou signální skupinu (pro automobily) je spočtena hodnota za současného stavu a hodnota po zavedení preference a realizování konkrétních změn navržených v této práci. Výpočtem byla zjištěna nedostatečná kapacita u signální skupiny VD.

U signálních skupin (kromě skupiny VE, kde dojde úpravou SP ke zhoršení situace), dojde buď k mírnému poklesu (v jednotkách s), nebo stagnaci teoretické doby zdržení na křižovatce (v řádech s). U signální skupiny VD, kde je současná úroveň kvality dopravy na stupni F (pro tento účel je uvedena teoretická doba zdržení 120 s), dojde ke zlepšení situace, kdy nové teoretické zdržení bude 18,4 s. U signální skupiny VB, dojde vlivem prodloužené doby zelené z 32 na 48 s k poklesu teoretické doby zdržení na křižovatce z 30 s na 7,1 s.

Hodnota 120 s je použita dle TP 235 (22) jako teoretické vyjádření kvality dopravy na stupni F (stav, kdy vznikají kongesce, auta neprojedou křižovatkou na 1 cyklus SP) pro lepší znázornění porovnání.

Kompletní zhodnocení dopadů navržených změn v SP do reálného provozu, je možné pomocí modelovacího software, nebo fyzickým pozorováním a měřením intenzity na křižovatce po provedení změn v SP. Hodnoty intenzit pro výpočet teoretických dob zdržení vycházejí ze špičkové intenzity na křižovatce mezi 17:00 a 18:00 h. V ostatních časech, tedy negativní dopady do provozu budou menší (vlivem nižšího počtu automobilů projíždějících křižovatkou nebude docházet ke kongescím ve směru signální skupiny VE). Navržené změny mají vliv na kapacitu křižovatky (analýza v tabulce 12) a také na koordinovanou zelenou vlnu, dopady jsou analyzovány v podkapitole 3.4.

Tabulka 12: Shrnutí změn v signálních skupinách

Signální skupina	Současná délka zelené [s]	Délka zelené po změně [s]	Změna [s]
VA	15	7	- 8
VB	32	48	+ 16
VC	14	7	-7
VD	18	5	-13
VE	26	15	-11
VF	14	14	0

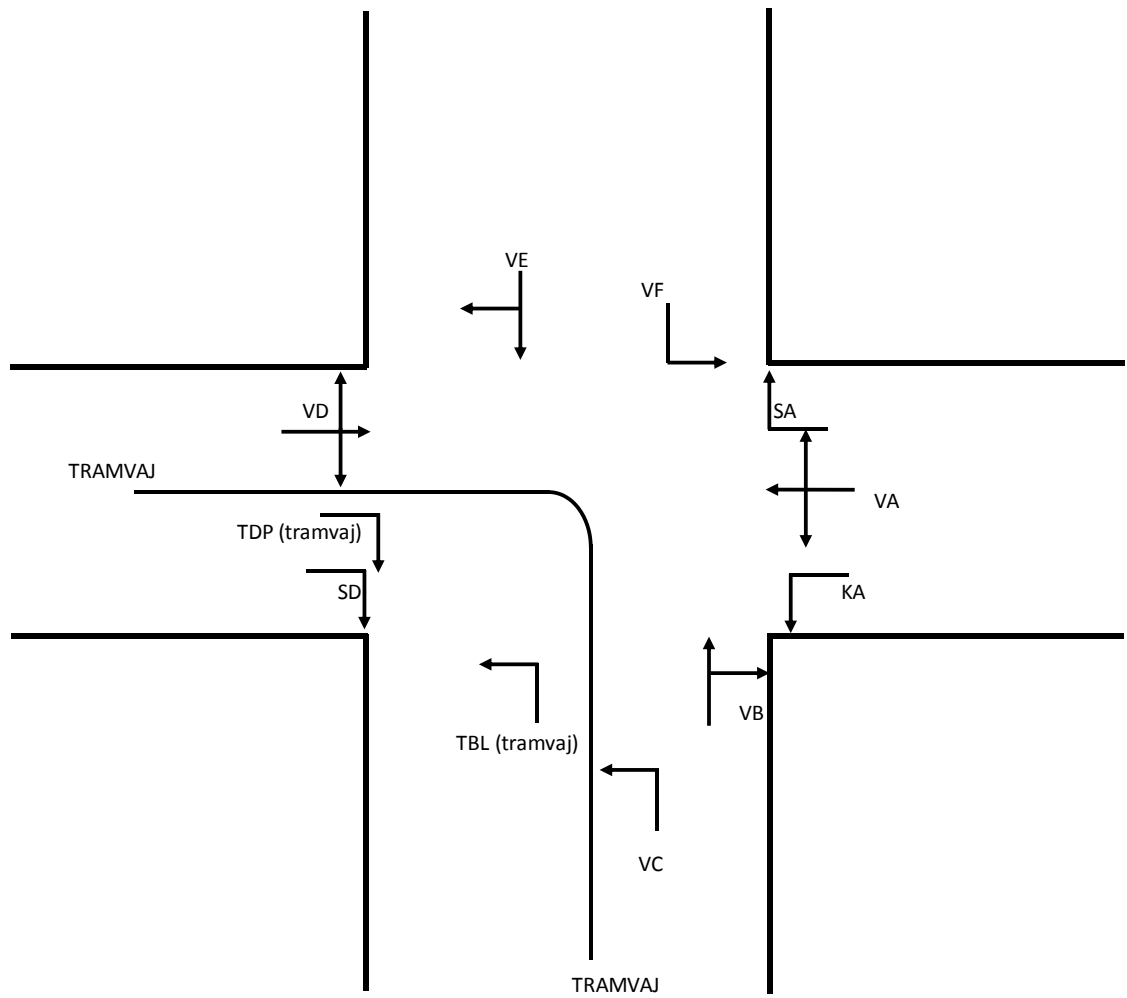
Zdroj: (autor)

Provedené změny budou mít dopad na kapacitu křižovatky. Dopad těchto změn je zhodnocen v následující tabulce 13. Negativním vlivem zavedení preference je zkrácení doby zelené pro automobily (pro většinu signálních skupin) a tím snížení kapacity křižovatky. Kapacita vjezdů ( $C_v$ ) se pro jednotlivé vjezdy vypočte dle vztahu 19, tedy:

$$C_v = \frac{\text{délka zelené}}{\text{délka cyklu}} \cdot 1900 \text{ [s]} \quad (19)$$

Zdroj: (22)

Pro účely tohoto výpočtu autor zhodnotil kapacitu jednotlivých vjezdů do křižovatky (tabulka 13). Při srovnání kapacit se vychází z intenzity vozidel mezi 17:00 a 18:00 h (viz graf na obrázku 9). Pro lepší názornost jsou směry signálních skupin znázorněny na obrázku 31.



Obrázek 31: Grafické znázornění signálních skupin na křižovatce

Zdroj: (autor)

Tabulka 13: Změna kapacity jednotlivých vjezdů po úpravě SP

Signální skupina	Současná intenzita [vozidla/h]	Kapacita vjezdu současný stav [vozidla/h]	Kapacita po změnách [vozidla/h]	Rezerva do naplnění kapacity [%]
VA	370	285	171	0
VB	565	608	1169	52
VC	131	266	171	23
VD	827	342	122	0
VE	669	494	365	0
VF	201	266	341	41

Zdroj: (autor)

Změnou signálního plánu dojde v některých směrech ke zhoršení situace pro automobily, kromě signální skupiny VB a VF se ve všech směrech sníží kapacita na vjezdu (při předpokládané špičkové intenzitě vozidel). Intenzita vozidel je vyjádřena pro špičkovou hodinu, dá se tedy předpokládat její snížení v průběhu dne.

#### 3.4 Důsledky zavedení preference na „zelenou vlnu“ v koordinovaném tahu

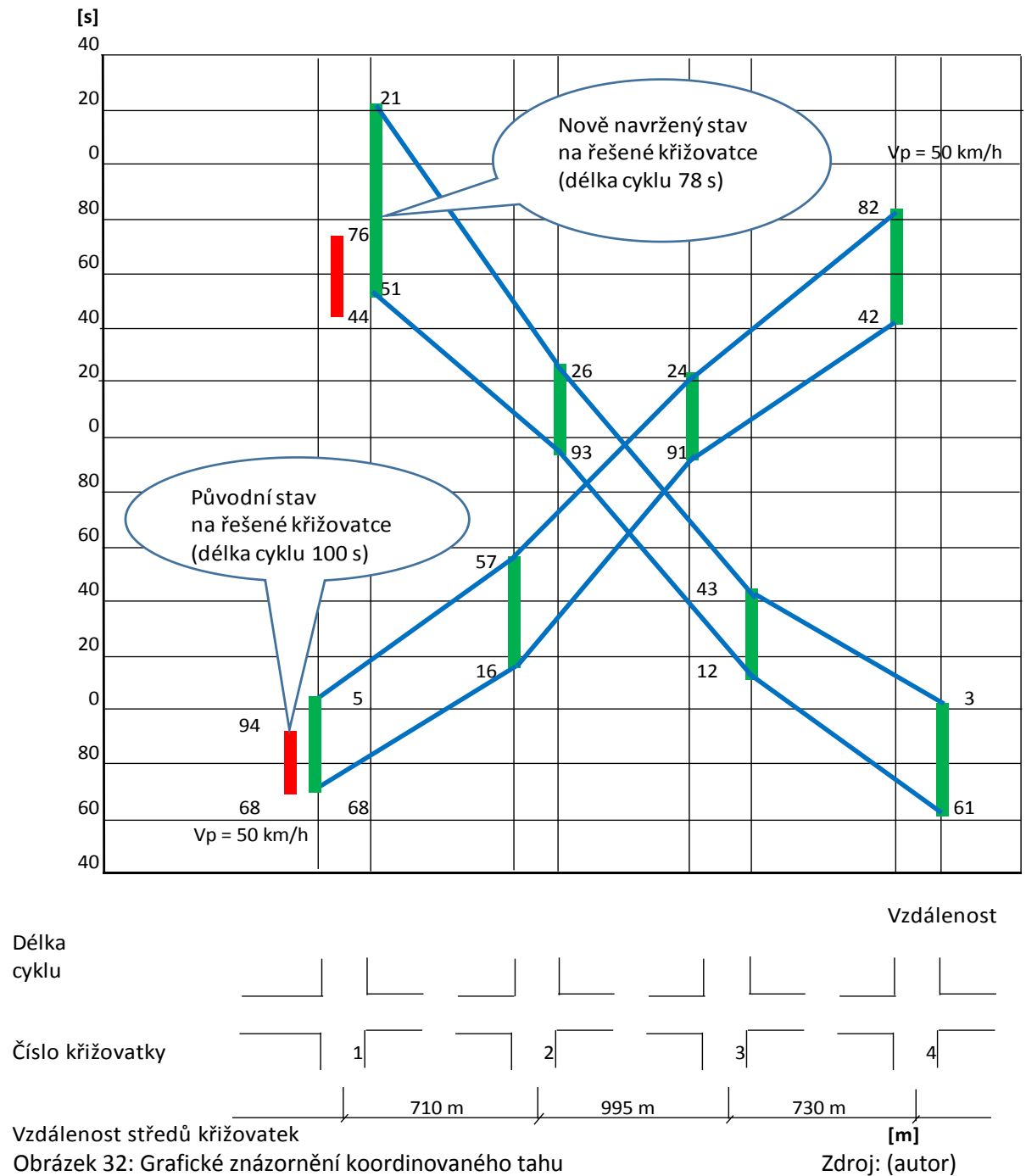
Křižovatka ulic 17. Listopadu a Opavská je zařazena do koordinovaného tahu křižovatek (viz obrázek 12) v rámci „zelené vlny“. Za současného stavu řidič, který touto křižovatkou projede rychlostí 45 km/h, projede i všemi následujícími koordinovanými křižovatkami. V budoucnu v případě zavedení preference i na těchto křižovatkách se předpokládá s úpravou a sladěním SP. V této podkapitole jsou zhodnoceny dopady, které tato změna bude mít ihned po úpravě řízení křižovatky řešené v této práci.

Křižovatka je v tomto tahu jako první (poslední z opačného směru). Je tedy zřejmé, že preferování tramvajové dopravy bude mít určitý vliv na líniovou koordinaci. V první řadě dojde k častějšímu průjezdu tramvají oproti současnému stavu, tramvaje při příjezdu na křižovatku nebudou vyčkávat signálu volna jako doposud, ale rovnou projedou křižovatku (navrhovaný stav). Současný stav je takový, že automobily, které jedou rovně ve směru od Opavy, pokud jedou do 50 km/h projedou následujícími křižovatkami plynule. Aktuálně platná zelená vlna je v příloze D a E.

Signální plán je navržen tak, aby se signálem volna pro tramvaje od centra, dostala signál volna i auta odbočující z ulice 17. Listopadu vpravo do centra města (ve směru jízdy tramvají), důsledkem bude, že automobily budou mít kratší dobu na průjezd první křižovatky v koordinovaném tahu. Pro přílohu D a E je křižovatka s číslem 4006 řešenou křižovatkou ulic 17. Listopadu/Opavská, číslo 4022 značí křižovatku ulic Opavská/Porubská, 4023 Opavská/Martinovská a číslo 4089 značí křižovatku ulic Opavská/Sjízdna. Číslo křižovatek jsou zobrazena v příloze D a E (čísla křižovatek 4082, 4067, 4065 a 4024 jsou SSZ pro chodce).

Graf na obr. 32 znázorňuje průjezd koordinovaným tahem křižovatek, kde křižovatka č. 1 je křižovatkou řešenou v této práci. V grafu jsou znázorněny dopady, které má navržená úprava signálního plánu (tedy zkrácení doby volna na první křižovatce) a jsou zde uvedeny hodnoty začátku a konce zelené v přímém směru. Koordinovaný tah křižovatek je navržen na průměrnou rychlost 50 km/h. Označení křižovatek je následující:

První křižovatka je křižovatkou ulic 17. Listopadu/Opavská, dále Opavská/Sokolovská, Opavská/Martinovská a Opavská/Sjízdná. Všechny křižovatky jsou v mapě zakresleny na obr. 13, v první části práce.



Aktuálně platný signální plán má v přímém směru (signální skupina VE od Opavy) začátek doby zelené v 68. a konec v 94. s. Nově navržený SP začíná v 68. a končí v 5. s (cyklus je 78 s). Rozdílem je tedy pouze zkrácená doba zelené, při zachování rychlosti pod 50 km/h bude možno projet následujícími křižovatkami bez čekání.

### 3.5 Finanční náročnost investice

V Ostravě jako podporu pro zavádění preference využil DPO, a.s. Regionální operační program soudržnosti Moravskoslezsko, s názvem *Zavedení a modernizace odbavovacích a palubních systémů MHD v Ostravě*. Celková náklady činí 115 418 tis. Kč, dotace ve výši 85 %, předpokládané dokončení v září 2015. Zakázku na realizaci pro DPO, a.s. vyhrála a realizovala společnost Master IT Technologies, a.s. s hodnotou zakázky ve výši 76 822 820 Kč. (13).

Finanční prostředky z EU pod názvem *Podpora veřejné dopravy* využilo statutární město Ostrava, prostřednictvím městské společnosti Ostravské komunikace, a.s. Celková dotace ve výši 118 mil. Kč, dotace ve výši 85 %. (17). Tyto finanční prostředky jsou využity zejména pro obměnu a instalaci nových řadičů na křižovatkách.

Při porovnání nákladů v jiných městech lze uvést hl. m. Praha, kde byla preference na 55 křižovatkách vybudována mezi roky 2006 a 2008. Součástí projektu bylo také vybavení celkem 384 vozů (z toho 352 autobusů a 32 tramvají) palubními prvky pro preferenci. Celkové náklady projektu byly 64,8 mil Kč (50 % byl příspěvek Evropské unie, 33,9 % státního rozpočtu a 16,1 % přidalo hl. m. Praha). (24)

V Brně byla preference MHD realizována pod názvem *Dopravní telematika* ve městě – část 1. a 2. Součástí první části byla realizace 6 nových SSZ s preferencí MHD a také instalace 48 detektorů na zpracování sběru dopravních dat. Celková cena byla 64 755 294 Kč, dotace byla ve výši 85 %. Druhá část obsahovala rekonstrukci 4 SSZ s preferencí MHD a instalaci 50 dopravních detektorů. Celkové výdaje projektu byly 48 071 972 Kč. Projekt byl realizován v roce 2014. (25) Zavádění preference MHD je kontinuální a dlouhodobý proces, proto v průběhu let vznikají další náklady, jako výstavba oddělených jízdních pruhů, nebo např. budování zvýšených zastávek.

### 3.6 Finanční návratnost investice

Investice do preference MHD má jednak přímo vyčíslitelné úspory a pak nepřímo vyčíslitelné náklady. Finanční částka, kterou musel DPO, a.s. vložit do této investice (dotace byla 85 %) činí 17 312 700 Kč (palubní jednotky do vozidel). Pokud jsou úspory z provozu ročně na jedné křižovatce cca 350 000 Kč a preference je plánována na 20 křižovatkách, lze odhadem určit roční úsporu ve výši cca 7 mil Kč. Finanční prostředky investované do projektu preference MHD se tak vrátí nejvýše do 3 let. Pokud do celkové investice je započteno 17 700 000 Kč, které ze svého rozpočtu investovala společnost Ostravské komunikace, a.s. pak lze konstatovat, že celá investice bude splacena do 6 - 7 let včetně úroků.

K dalším úsporám je možno přidat také personální úspory na zaměstnancích a nižší investice do údržby a oprav vozidel. I když tyto úspory není jednoduché vyčíslit a projeví se až v delším časovém horizontu (1 rok), lze je zařadit do kategorie přímo vyčíslitelných úspor z provozu. Mezi ostatní nepřímo vyčíslitelné úspory patří pokles kongescí a zdržení na křižovatkách, dále zlepšení kvality životního prostředí a tím dopad na zdraví obyvatel.

### 3.6 Shrnutí pozitivních i negativních dopadů po zavedení preference tramvají

Cílem preference je učinit veřejnou dopravu atraktivnější pro její uživatele a přilákat cestující nové, stejně jako úspora finančních prostředků a zlepšení ekologie. Základem je, že nově navržený stav, bude mít lepší parametry než stav původní (jízdní doba, cestovní rychlost, plynulost příp. cena za jízdenku). Tyto předpoklady budou změnami navrženými v této práci, kromě ceny jízdného docíleny.

Z ekonomického hlediska se dá předpokládat, že stoupne objem tržeb z prodaných jízdenek (krátkodobých nebo dlouhodobých) v důsledku vyššího využití veřejné dopravy. Tento dopad lze jednoznačně zjistit buď ze statistik prodejů, nebo ručním sčítáním obsazenosti vozidla, po delším časovém intervalu od provedených změn. Z ekologického hlediska to je pokles škodlivých částic v ovzduší, zejména pevných částic a CO<sub>2</sub>, vlivem nižšího počtu automobilů v ulicích. Tento parametr by bylo možno zjistit v delším časovém horizontu (např. 1 rok), konkrétním měřením škodlivých částic v ovzduší na vybraných místech podél pozemní komunikace v případě, že se pokles automobilů prokáže sčítáním dopravy.

Dalším z pozitivních dopadů je zlepšení plynulosti městského provozu, taktéž plynoucí z poklesu počtu vozidel na pozemních komunikacích. V rámci ŽP, lze taktéž zmínit snížený hluk a vibrace, které může být ze dvou důvodů a to omezením zastavování a rozjezdů na křižovatkách tramvajemi, nebo již zmíněným pokles automobilů na komunikacích. Z provozního hlediska pravděpodobně dojde ke zlepšení plynulosti veřejné dopravy, při kterém poklesne průměrná doba zpoždění.

Jako negativní nepřímo vyčíslitelné dopady budou zejména ve zkrácení doby volna (podrobně podkapitola 3.3). Díky tomu dojde k navýšení čekacích dob automobilů, ale také u ostatní veřejné dopravy, v tomto případě autobusů z ostatních směrů (podkapitola 3.3 a 3.4), což bude mít dopad na životní prostředí a ekonomiku provozu z důvodu zvýšené spotřeby motorové nafty. Z tohoto důvodu není vhodné zavádět preferenci na křižovatkách, kde je zaústěno několik linek tramvajové dopravy z více směrů (včetně autobusů), jako příklad lze uvést křižovátku na ulicích Opavská/Martinovská.

Pokud by přeci jen v budoucnu docházelo k nárůstu automobilové dopravy na této křižovatce a obecně v celém městě, lze to řešit vybudováním záchytných parkovišť typu P+R a K+R, společně s optimalizací návazností např. linkové veřejné dopravy, které budou prevencí proti zvýšení dopravy ve městě.

Jako jeden z argumentů pro upřednostnění tramvají před ostatními (naftovými) druhy pohonu, by měl sloužit fakt, že při výrobě elektrické energie sice vznikají určité škody na životním prostředí (u fosilních druhů paliv), ale zdroje znečištění se eliminují mimo obytné území a nezatěžují obyvatele ve městech, na rozdíl od benzínových a naftových pohonů.



## ZÁVĚR

V první části práce byla provedena analýza současného provozu na křižovatce ulic 17. Listopadu a Opavská v Ostravě. Jsou zde uvedeny intenzity provozu vozidel a tramvají z jednotlivých směrů v průběhu celého dne a zhodnoceny veškeré dopady na plynulost provozu na křižovatce, včetně rozboru nehodovosti. U každého ze 4 směrů jsou popsány situace, kdy dochází ke kongescím. V analýze je uveden signální plán platný v době psaní této práce (březen 2015) včetně jeho variant pro rozdílné denní doby, stejně tak jako jednotlivé fáze se signálními skupinami a, které do nich patří a tabulka vyklizovacích mezer. Zdůvodnění, proč je vhodné preferovat městskou hromadnou dopravu (nejen v rámci řešené křižovatky), včetně popisu technických prvků a koordinované zelené vlny, jejíž je řešená křižovatka součástí, je také obsahem první části. V závěru analýzy je zhodnocen dopad nově budované přeložky silnice I/11, který bude mít dopad na intenzitu provozu.

Ve druhé části byl popsán autorem vytvořený nový signální plán, který reflektuje požadavky preference a navrženy úpravy v dynamickém řízení křižovatky (vlození fázových skupin) tak, aby tramvaj, která nejede v předstihu, projela křižovatkou pokud možno co nejrychleji. Důraz byl kladen i na obrazové znázornění a vysvětlení fungování nově instalovaných palubních počítačů v tramvajích, které mají za úkol řidiče tramvaje informovat o vhodné době odjezdu ze zastávky tak, aby projel křižovatkou bez zastavení. Ve druhé kapitole je také navržen postup při preferenci tramvají na křižovatce, tj. situace, kdy jedou tramvaje např. z více směrů a z různou odlišností od jízdního řádu (zpoždění, jízda na čas a jízda v předstihu).

Ve třetí části práce jsou zhodnoceny dopady navrhovaných změn do provozu na křižovatce, včetně okolního provozu (zelená vlna) a také přímé a nepřímé dopady, do ekonomiky provozu DPO, a.s. a do vlivu na životní prostředí (hluk, vibrace, znečištění ovzduší) a také do bezpečnosti a plynulosti provozu. Součástí jsou výpočty poklesu (nebo nárůstu) teoretické doby zdržení u tramvají a automobilů na křižovatce, včetně porovnání kapacity jednotlivých vjezdů (rozděleno podle signálních skupin) se současnou intenzitou a také vyjádření předpokládané kapacity po provedení změn navržených v práci. Návrhovatnost vložených prostředků, pokud jsou započteny pouze vlastní investice DPO, a.s. je 3 roky, v případě, kdy je počítána i částka vložená Ostravskými komunikacemi, a.s. se tato doba prodlužuje na 6 let včetně úroků. Veškeré podklady, které vedli k těmto výsledkům, jsou vysvětleny v podkapitole 3.5.

Cílem práce bylo posoudit možnosti a navrhnout opatření pro zavedení preference tramvají na křižovatce ulic 17. Listopadu a Opavská v Ostravě. Cíl práce byl splněn zejména posouzením zásadních nedostatků v současném provozu, navržením nového signálního plánu a fázových přechodů a posouzením celkové náročnosti investice a doby její návratnosti s hodnocením všech přímých a nepřímých dopadů, které má preferování veřejné dopravy, zejména tramvají na provozní a ekonomickou stránku DPO, a.s. a obyvatele města.

## SEZNAM POUŽITÝCH INFORMAČNÍCH ZDROJŮ

- (1) Centrum dopravního výzkumu. Navrhování světelných signalizačních zařízení pro řízení provozu na pozemních komunikacích. Technické podmínky 81. 2. vydání. Brno: Ministerstvo dopravy, 2006. ISBN 80-86502-30-9
- (2) Městské obvody [online]. Statutární město Ostrava. [cit 12. 1. 2015]. Dostupné z: <http://www.ostrava.cz/cs/o-meste/mestske-obvody>
- (3) Mapy.cz [online]. Seznam.cz, a.s.[cit 12. 1. 2015]. Dostupné z:<http://mapy.cz/>
- (4) Ostravské komunikace, a.s. oddělení dopravního inženýrství. Informace o dopravě v Ostravě 2013. Ostrava: Magistrát města Ostravy, 2014.
- (5) AF-City plan. Integrovaný plán mobility Ostrava [online]. Ostrava: Statutární město Ostrava, 2014. [cit 14. 1. 2015]. Dostupné z: <http://mobilita-ostrava.cz/wp-content/uploads/2015/01/prezentace-pruzkumy-web.pdf>
- (6) Výsledky sčítání intenzity provozu na křižovatce ulic 17. Listopadu/Opavská. Ostravské komunikace, a.s., 2014
- (7) Dopravní podnik Ostrava [online]. Dopravní podnik města Ostravy, a.s. (2015). [cit 20. 1. 2015]. Dostupné z: <http://dpo.cz/>
- (8) Ostravské komunikace, a.s. oddělení dopravního inženýrství (2015).
- (9) Jednotná dopravní vektorová mapa [online]. Ministerstvo dopravy. [cit 14. 1. 2015]. Dostupné z: <http://www.jdvm.cz/>
- (10) Preference Pražské integrované dopravy [online]. ROPID. [cit 14. 1. 2015]. Dostupné z:[http://www.ropid.cz/preference/preference-pid\\_s215x750.html](http://www.ropid.cz/preference/preference-pid_s215x750.html)
- (11) ChristophDoll a Gerhard Listl. Preference tramvají a autobusů světelnou signalizací metodou zelených vln. Ústřední technická knihovna dopravy. 2007. [cit 15. 1. 2015]. Dostupné z: [http://edice.cd.cz/edice/IZD/izd20\\_07/PREFER.pdf](http://edice.cd.cz/edice/IZD/izd20_07/PREFER.pdf)
- (12) Centrum dopravního výzkumu. Metodika pro zavádění systému preference ve VD s využitím systému TYFLOSET [online]. Brno: CDV, 2013. [cit 14. 1. 2015]. Dostupné z: <http://www.cdv.cz/file/teipt-metodika-pro-zavadeni-systemu-preference-ve-vd-s-vyuzitim-technologie-tyfloset/>
- (13) Regionální operační program Regionu soudržnosti Moravskoslezsko. [online]. Dopravní podnik města Ostravy, a.s., [cit 16. 1. 2015]. Dostupné z: <http://www.dpo.cz/o-spolecnosti/dotace/816-rop-moravskoslezsko.html>
- (14) Stavby ve výstavbě. [online]. Ředitelství silnic a dálnic, p. o., [cit 16. 1. 2015]. Dostupné z: <http://www.rsd.cz/Stavime-pro-vas/Stavby-ve-vystavbe>
- (15) Kompletní přílohy k zadávací dokumentaci vedené pod názvem „Palubní systém pro vozidla MHD“. Dopravní podnik Ostrava, a.s., 2014. Identifikační číslo VZ: RVV-114-13-OŘ-Ko-ROP.

- (16) Palubní počítače řady EPIS 4.0X [online]. Ing. Ivo Herman, CSc. [cit. 22. 2. 2015]. Dostupné z: <http://www.herman.cz/cs/produkty/vybava/epis4/>
- (17) Statutární město Ostrava [online]. Zadávací dokumentace, podpora veřejné dopravy, veřejná zakázka na dodávky zadaná v otevřeném řízení podle ust. § 27 ZVZ. 2014. [cit. 22. 2. 2015]. Dostupné z: <https://verejnezakazky.ostrava.cz/files/76d30bd3dcaefc9/54183dbadf709Zadavaci-dokumentace-199-2014.pdf>
- (18) Ing. Jan Adámek. Preference MHD světelnou signalizací: ano či ne? In: Československý dopravák. 2014, 5, 35 – 48. ISSN: 1804-2309.
- (19) Doc. Ing. Miloslav Řezáč, Ph.D., Ing. Leopold Hudeček, Ph.D. Tramvajová doprava [cd]. Ostrava, Fakulta stavební VŠB-TU Ostrava, Katedra dopravního stavitelství. Dostupné z: [http://www.sdp-cr.cz/WD\\_FileDownload.ashx?wd\\_systemtypeid=34&wd\\_pk=WzExNTEsWzMwXV0%3D](http://www.sdp-cr.cz/WD_FileDownload.ashx?wd_systemtypeid=34&wd_pk=WzExNTEsWzMwXV0%3D)
- (20) IDOS Jízdní řády [online]. Chaps, spol. s.r.o. (2015). [cit. 02.05.2015]. Dostupné z: <http://vykony.idos.cz/vyk.aspx>
- (21) Český hydrometeorologický ústav [online]. Grafická ročenka 2013. [cit. 07.05.2015]. Dostupné z: [http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/13groc/gr13cz/tab/tabXIII4\\_CZ.html](http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/13groc/gr13cz/tab/tabXIII4_CZ.html)
- (22) Martolos Jan. Posuzování kapacity světelně řízených křižovatek, TP 235. Liberec: EDIP 2011. ISBN: 978-80-87394-03-8.
- (23) Liniová koordinace OSTRAVA – OPAVSKÁ. Eltodo, a.s.
- (24) Projekt JPD2 - zavedení systému aktivní preference na vybraných SSZ pro autobusovou a tramvajovou dopravu [online]. Dopravní podnik hlavního města Prahy. (2006). [cit. 15.05.2015]. Dostupné z: <http://www.dpp.cz/projekt-jpd2-zavedeni-systemu-aktivni-preference-na-vybranych-ssz-pro-autobusovou-a-tramvajovou-dopravu/>
- (25) Dopravní telematika ve městě – část 1. a 2. [online]. Statutární město Brno. (2013) [cit. 15.05.2015]. Dostupné z: <https://www.brno.cz/brno-aktualne/tiskovy-servis/tiskove-zpravy/a/dopravni-telematika-ve-meste-cast-1-a-2/>
- (26) Preference pražských tramvají [online]. Pražské tramvaje 2004 – 2015. [cit. 17.05.2015]. Dostupné z: <http://preference.prazsketramvaje.cz/index.php>

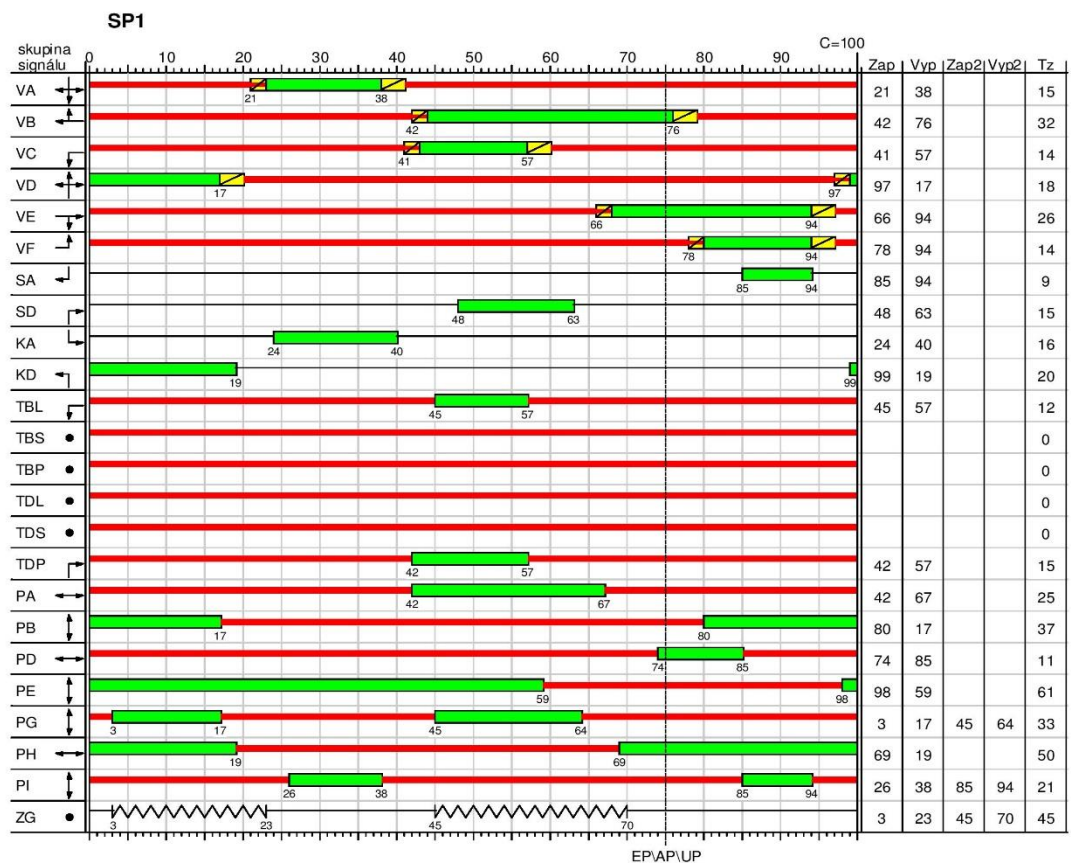
## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A: Signální plán SP1 používaný před navrhovanou změnou .....	- 69 -
Příloha B: Navržené fázové přechody 1. část.....	- 70 -
Příloha C: Navržené fázové přechody 2. část.....	- 71 -
Příloha D: Znázornění koordinované zelené vlny pro SP 1 .....	- 72 -
Příloha E: Znázornění koordinované zelené vlny pro SP 2.....	- 73 -

# PŘÍLOHY

Příloha A: Signální plán SP1 používaný před navrhovanou změnou

Signální plán	
---------------	---



Projekt	K4006 Opavská x 17.listopadu				
Zakázkové číslo		Varianta	V01	Datum	5.5.2014
Zpracovatel	OK, a.s. - Laštůvka	Podpis		Příloha	3

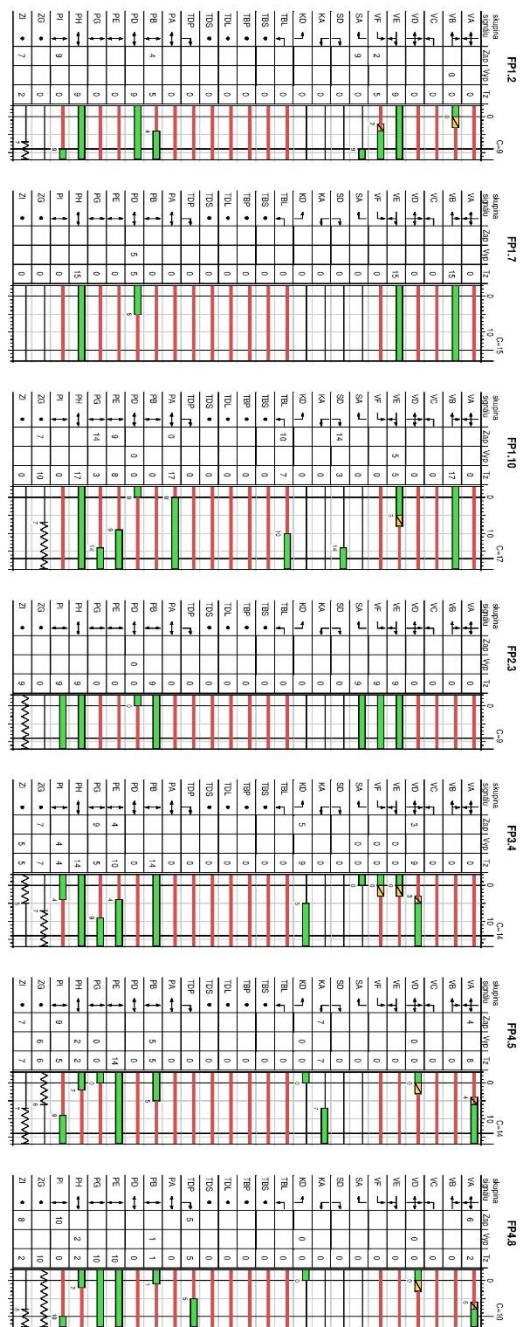
Zdroj: (8)

Příloha B: Navržené fázové přechody 1. část

## Fázové přechody



Ostravské komunikace a.s.



projekt	Diplomová práce		
křizovátka	K4006 Opavská x 17. listopadu		
zakázka č.	Preference TRAM	variana	V03
editor	Ondřej Mikulaj	Signatura	
		datum	30.3.2015
		list	1

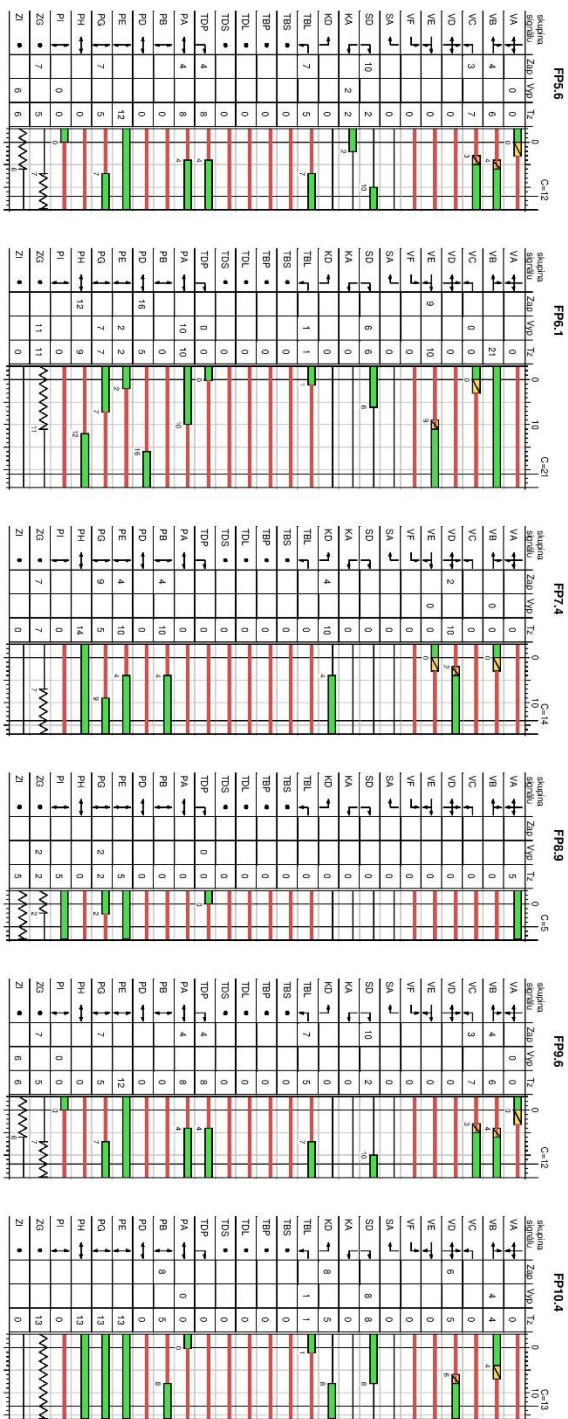
Zdroj: (autor + 8)

Příloha C: Navržené fázové přechody 2. část

Fázové přechody

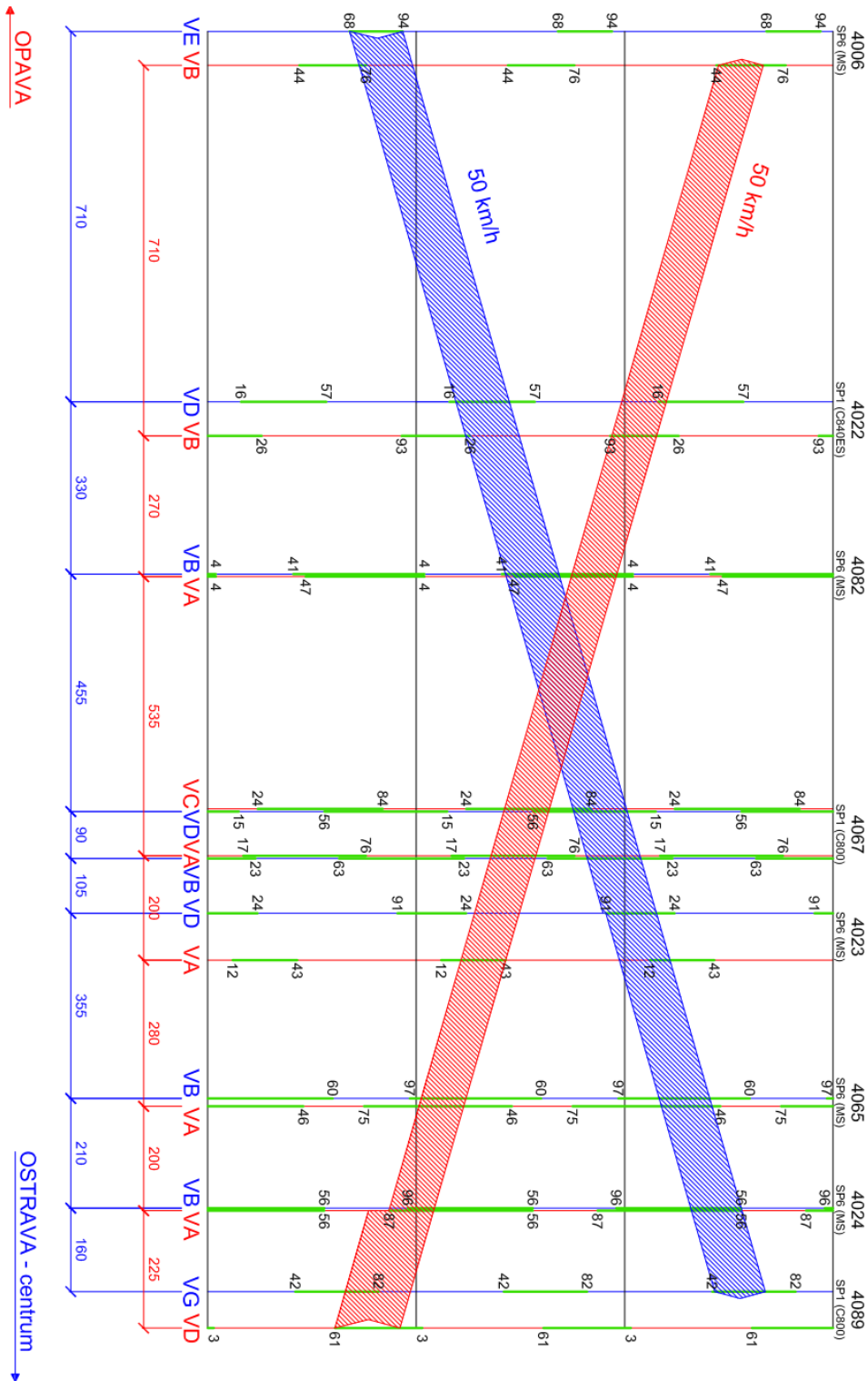


Zdroj: (autor + 8)



projekt	Diplomová práce	varianta	V03	datum	30.3.2015
křížovátko č.	K4006 Opavská x 17 listopadu	varianta	V03	datum	30.3.2015
zakázka č.	Preference I TRAM	varianta	V03	datum	30.3.2015
editor	Ondřej Mikulaj	Signatura		list	2

Příloha D: Znáznornění koordinované zelené vlny pro SP 1

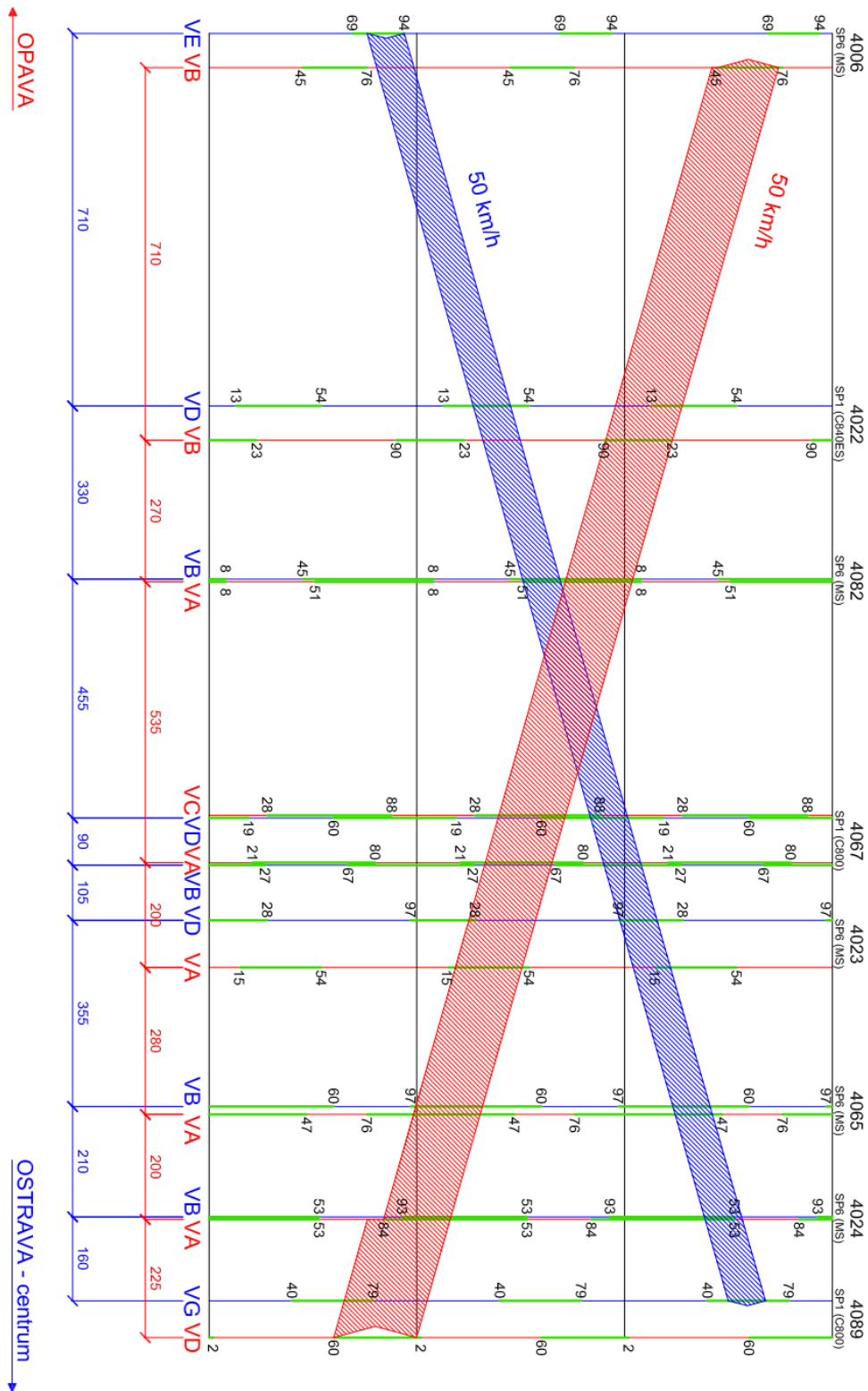


**SP1 / 100s**  
 NÁVRH TYDENNÍ AUTOMATIKY: Po - Čt 06:00 - 14:00  
 Pá 06:00 - 13:00  
 So 09:00 - 11:00  
 Ne 14:00 - 20:00  
 LINIOVÁ KOORDINACE  
 OSTRAVA - OPAVSKÁ

Zdroj: (23)



Příloha E: Znárodnění koordinované zelené vlny pro SP 2



SP2 / 100S  
 NÁVRH TÝDENNÍ AUTOMATIKY:  
 LINIOVÁ KOORDINACE  
 OSTRAVA - OPAVSKÁ

Po - Čt 14:00 - 18:00  
 Pá 13:00 - 18:00

Zdroj: (23)