České vysoké učení technické v Praze
Fakulta dopravní

Ústav dopravní telematiky
Obor: Dopravní systémy a technika

Optimalizace preferenčních opatření VHD za pomocí FCD dat

Optimization of public transport preferential measures using FCD data

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vypracovala: Markéta Jirmanová
Vedoucí práce: Ing. Patrik Horažďovský, Ing. Zuzana Purkrábková
Rok: 2021

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

K620..... Ústav dopravní telematiky

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

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Markéta Jirmanová

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

B 3710 – DOS – Dopravní systémy a technika

Název tématu (česky): **Optimalizace preferenčních opatření VHD za pomocí FCD dat**

Název tématu (anglicky): Optimization of Public Transport Preferential Measures Using FCD Data

Zásady pro vypracování

Při zpracování bakalářské práce se řiďte následujícími pokyny:

- Úvod - zasazení problematiky FCD dat a preference VHD do kontextu Smart city
- Rešerše možností preference VHD v ČR i v zahraničí
- Analýza dostupných FCD dat a ostatních využitých datových zdrojů, možnosti jejich využití
- Návrh způsobu identifikace problémových míst a úzkých hrdel systémů preference hromadné dopravy
- Návrh vhodných optimalizačních opatření pro preferenci VHD s využitím FCD
- Konkrétní návrh optimalizace a způsobu řešení pro vybraný příklad

Rozsah grafických prací: dle požadavku vedoucího práce

Rozsah průvodní zprávy: minimálně 35 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)

Seznam odborné literatury: Města budoucnosti. Praha: NADATUR, 2018. ISBN 978-80-7270-058-5.

Integrovaná doprava v praxi: jedna jízdenka, jeden tarif, jeden jízdní řád, jedna síť. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2016. ISBN 978-80-0105-896-1.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Patrik Horažďovský**

Ing. Zuzana Purkrábková

Datum zadání bakalářské práce: **4. října 2020**
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání bakalářské práce: **9. srpna 2021**
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

L. S.

prof. Ing. Zdeněk Votruba, CSc.
vedoucí
Ústavu - doplňte název ústavu -
K620

doc. Ing. Pavel Hrubeš, Ph.D.
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.

Markéta Jirmanová
jméno a podpis studenta

V Praze dne ..... 4. října 2020

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracovala samostatně a použila jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v přiloženém seznamu.

V Praze dne .....

.....
Markéta Jirmanová

Poděkování

Ráda bych poděkovala všem, kteří mi pomohli při vypracování této práce, zvláště pak vedoucím Ing. Patrikovi Horažďovskému a Ing. Zuzaně Purkrábkové za odborné vedení, za pomoc a rady při zpracování této práce.

Markéta Jirmanová

Název práce:
Optimalizace preferenčních opatření VHD za pomocí FCD dat

Autor: Markéta Jirmanová

Studijní program: Technika a technologie v dopravě a spojích
Obor: Dopravní systémy a technika
Druh práce: Bakalářská práce

Vedoucí práce: Ing. Patrik Horažďovský, Ing. Zuzana Purkrábková

Abstrakt: Práce pojednává o problematice optimalizace preferenčních opatření veřejné hromadné dopravy za pomoci FCD dat. V této souvislosti je zde možné nalézt výčet možných preferenčních opatření pro autobusy, na které se tato práce zaměřuje, použitých nejen v České republice, ale také v zahraničí. Dále je věnována pozornost převážně popisu a fungování FCD a jejich možnosti využití. Z těchto poznatků je navržena metodika, pomocí které lze optimalizovat preferenční opatření. Tato metodika je následně implementována na příkladu pražské sítě hromadné dopravy a ověřena její správnost a využitelnost.

Klíčová slova: Smart City, FCD, preference, MHD, optimalizace, PID, autobus

Title:
Optimization of public transport preferential measures using FCD data

Author: Markéta Jirmanová

Abstract: The work deals with the issue of optimization of preferential measures of public transport using FCD data. In this context, it is possible to find a list of possible preferential measures for buses, which this work focuses on, used not only in the Czech Republic but also abroad. Furthermore, attention is paid mainly to the description and operation of FCD and their use. From this knowledge, a methodology is proposed, which can be used to optimize preferential measures. This methodology is then implemented on the example of the Prague public transport network and verified its accuracy and usability.

Key words: Smart City, FCD, preferences, public transport, optimization, PID, bus

Obsah

Seznam použitých zkratek **ix**
Seznam použitých zkratek ix

Seznam obrázků **x**

Úvod **1**

1 Možnosti preference VHD v ČR i v zahraničí **2**
1.1 Možnosti preference VHD užívané v ČR 2
1.1.1 Stavební opatření 2
1.1.2 Dopravně organizační opatření 4
1.1.3 Aplikované preference v ČR 6
1.2 Preference VHD v zahraničí 7
1.2.1 RapidRide E-Line - Seattle (USA) 8
1.2.2 Bx41 Select Bus Service on Webster Avenue - New York (USA) 8
1.2.3 iBus - Londýn 9
1.2.4 Další možnosti optimalizace preferenčních opatření v zahraničí 9

2 Analýza využitých datových zdrojů **11**
2.1 FCD - Floating Car Data 11
2.1.1 Využití FCD 12
2.1.2 FCD - Dopravní podnik hl. m. Prahy 13
2.1.3 Údaje o aktuální dopravní situaci 15
2.2 Ostatní datové zdroje 16
2.2.1 GTFS - General Transit Feed Specification 16

3 Návrh způsobu identifikace problémových míst **18**
3.1 Třídění poskytnutých datových sad 19
3.1.1 Vstupní hodnoty 19
3.1.2 Průběh kódu 20
3.1.3 Výsledek 20
3.2 Zpracování dat PID 20
3.2.1 Vstupní hodnoty a soubory 20
3.2.2 Průběh kódu 21
3.2.3 Výsledky 21
3.3 Zpracování dat ŘSD 22
3.3.1 Vstupní hodnoty 22
3.3.2 Průběh kódu 23
3.3.3 Výsledky 23
3.4 Návrh způsobu identifikace pomocí výsledků z vytvořených programů 24
3.4.1 Návrh možného preferenčního opatření v problémovém místě dle chování FCD 24

4 Implementace navrženého řešení na vybraných linkách PID 26
4.1 Vybrané linky a sběr dat 26
4.2 Vizualizace výsledků implementace 27
4.3 Analýza vybraných úseků 30
4.3.1 Dejvice - ulice Jugoslávských Partyzánů, Podbabská a Roztocká 30
4.3.2 V Šáreckém údolí - linka 116 31
4.3.3 Barrandovský most 32
4.3.4 Chodov - ulice Türkova 33
4.3.5 Křižovatka ulic Pyšelská a Klíčova - linka 115 35

Závěr 38

Bibliografie 39

Přílohy 41
A Příloha 1 - Python kód pro třídění dat dle časových údajů 41
B Příloha 2 - Python kód pro určení souřadnic problémových bodů v síti 42
C Příloha 3 - Python kód pro zpracování dat o kongescích na segmentech 48

Seznam použitých zkratek

API Application Programming Interface
ČVUT České vysoké učení technické
FCD Data z plovoucích vozidel (*Floating Car Data*)
GNSS Globální družicový polohový systém (*Global Navigation Satellite System*)
GPS Globální polohový systém (*Global Positioning System*)
GTFS Obecný formát pro jízdní řády (*General Transit Feed Specification*)
IAD Individuální automobilová doprava
MHD Městská hromadná doprava
PID Pražská integrovaná doprava
ROPID Regionální organizátor pražské integrované dopravy
ŘSD Ředitelství silnic a dálnic ČR
SSÚD Středisko správy a údržby silnic
SSZ Světelné signalizační zařízení
TMC Traffic Message Channel
VHD Veřejná hromadná doprava
VJP Vyhrazený jízdní pruh

Seznam obrázků

1.1 Příklad vyhrazneného jízdního pruhu v dopravním režimu BUS + cyklo + taxi v ulici Türkova v Praze. 3
1.2 Provoz autobusových linek na tramvajovém tělese v ulici Pražský okruh v Praze viditelné v aplikaci Google Street View. 4
1.3 Schéma předjížděcího pruhu v křižovatce řízené SSZ. [5] 7
1.4 Vyznačené místo odbočení autobusů v Londýně a zkrácení jejich trasy, původní trasa je zaznačena modře, nová trasa je zaznačena červeně. [5] 10

2.1 Ilustrační příklad detekce polohy vozidla pomocí GPS. [10] 12
2.2 Příklad náhlé změny rychlosti vozidel v případě dopravní nehody v daném úseku. [10] 12
2.3 Příklad náhlé změny rychlosti vozidel v případě dopravní kongesce v daném úseku. [10] 12
2.4 Screenshot z webové aplikace https://mapa.pid.cz/ s ukázkou informací o daném spoji. 13
2.5 Screenshot z webové aplikace https://mapa.idsjmk.cz/ s ukázkou informací o daném spoji. 13
2.6 Příklad zobrazení sítě TMC segmentů na mapě. 15
2.7 Screenshot z vizualizace pomocí webové aplikace nove.dopravniinfo.cz. 16
2.8 Ukázka formátu dat GTFS ze souboru stops.txt dostupných v otevřených datech PID. [16] 17

3.1 Uživatelské prostředí aplikace PyCharm. 18
3.2 Příklad načtení dat od uživatele na začátku při použití kódu pro třídění poskytnutých dat. 19
3.3 Ukázka výsledné složky při aplikaci kódu pro třídění dat. 20
3.4 Ukázka výsledného souboru při aplikaci kódu pro třídění dat. 20
3.5 Načtení dat od uživatele a průběh kódu při hledání problémových souřadnic ve vytvořeném programu. 21
3.6 Ukázka výsledné složky s jednotlivými soubory při aplikaci kódu pro hledání souřadnic. 22
3.7 Ukázka výsledného souboru delay_coordinates.txt při aplikaci kódu pro hledání souřadnic. 22
3.8 Ukázka výsledného souboru obsahujícího údaje o souřadnicích a zapsané souřadnice ve formátu .json při aplikaci kódu pro hledání souřadnic. 22
3.9 Ukázka z výsledné tabulky v souboru delay_all.csv obsahujícího údaje o souřadnicích ve formátu .csv při aplikaci kódu pro hledání souřadnic. 22
3.10 Načtení dat od uživatele a průběh kódu při separaci dat o segmentech. 23
3.11 Ukázka z výsledného souboru segment_sep.csv. 23

3.12 Ukázka ze softwaru QGIS a vyobrazení problémových souřadnic s vyobrazením čísla linky jako popisek bodů a zobrazení TMC segmentů. 24

4.1 Zobrazení části sítě pokryté při implementaci navrženého řešení. . . . 26
4.2 Porovnání výsledků pro zpoždění z prvního měřeného týdne (modré body), kdy bylo možné pozorovat výrazný vliv počasí a běžného týdne (červeně), kdy vliv počasí nebyl již tak výrazný. 27
4.3 TMC segmenty (modré úsečky) a souřadnice se zpožděním větším než 180 sekund v časech ranní špičky (červené body) zobrazené na mapě. 28
4.4 TMC segmenty (modré úsečky) a souřadnice se zpožděním větším než 180 sekund v časech ranní (červené body) a odpolední (zelené body) špičky zobrazené na mapě. 28
4.5 TMC segmenty (modré úsečky) a souřadnice se zpožděním větším než 180 sekund v časech ranní špičky (červené body), odpolední špičky (zelené body) a večerního provozu (fialové body) zobrazené na mapě. 29
4.6 TMC segmenty (modré úsečky), souřadnice se zpožděním větším než 180 sekund v časech ranní špičky (červené body), odpolední špičky (zelené body) a večerního provozu (fialové body) a označníky zastávek PID (modré body) zobrazené na mapě. 29
4.7 Výsledky analýzy zpoždění spojů v oblasti Dejvice 30
4.8 Pohled na BUS pruh v ulici Podbabská v blízkosti zastávky Nádraží Podbaba směrem k Vítěznému náměstí v aplikaci Google Street View. 31
4.9 Pohled na výjezd autobusů ze zastávky Dejvická a kongesci vozidel směrem k Vítěznému náměstí v aplikaci Google Street View. 31
4.10 Porovnání výsledků před vyřazením a po vyřazení mimořádnosti na lince 116. Oranžově je vyznačena zastávka Na Mlýnku, kam byla zkrácena trasa z důvodu mimořádnosti. 32
4.11 Analýza oblasti Barrandovského mostu pomocí FCD a zobrazení souřadnic problémových míst mimo ranní špičku. 33
4.12 Analýza oblasti Barrandovského mostu pomocí FCD a zobrazení souřadnic problémových míst v době ranní špičky. 33
4.13 Mapa ulice Türkova v interaktivní mapě preference PID. [2] 33
4.14 Výsledky analýzy zpoždění v ulici Türkova. 34
4.15 Současný stav výjezdu ze zastávky Litochlebské náměstí směrem na sever, zobrazený v aplikaci Google Street View. 35
4.16 Současný stav výjezdu ze zastávky Chodovská tvrz směrem na Litochlebské náměstí, zobrazený v aplikaci Google Street View. 35
4.17 Indikace zpoždění větší než 90 sekund v křižovatce ulic Pyšelská a Klíčova v měřeném období. 35
4.18 Část trasy linky 115 zobrazená na mapě z portálu mapy.cz. 36
4.19 Autobus Scania city wide LF 12M na lince 115 při manévru odbočení vpravo z ulice Pyšelská. Po levé straně komunikace je vidět vodorovné dopravní značení V12 C. 36
4.20 Možná řešení změny trasy linky 115 v problémové oblasti vyznačené v mapě z portálu mapy.cz. 37

Úvod

Veřejná hromadná doprava je nedílnou součástí koncepce Smart City. Pokud je využívána maximálně jako náhrada individuální automobilové dopravy snižuje znečištění ovzduší, hluk v ulicích a také ekonomické náklady obyvatel na přepravu. Vzhledem ke sdílení uličního prostoru s intenzivní IAD[1] bývá povrchová hromadná doprava pomalá a nespolehlivá. Ke zvýšení spolehlivosti i atraktivity VHD[2] je možné ve městě provést soubor opatření, která zvyšují plynulost provozu vozidel VHD. Tato opatření se nazývají preference VHD.

Soubor preferenčních opatření má z pohledu uživatele za cíl převážně zkrátit cestovní dobu a tím zvýšit atraktivitu VHD a počet přepravených osob. Z pohledu provozovatele může snížit počet vypravených vozidel a tím snížit náklady na pohonné hmoty i personál.

Důležitou součástí Smart City jsou také složky integrovaného záchranného systému, pro které může být realizace preferenčních opatření zároveň i výhodou. Využití toho systému může napomoci zkrátit jejich dojezdový čas, což napomáhá zvýšit kvalitu života obyvatel města.

Floating Car Data neboli data z plovoucích vozidel se získávají přímo z jednoucích vozidel na komunikaci. Nejčastěji se získávají informace o poloze vozidla v určitém čase. Díky tomu jsou vhodným nástrojem nejen pro sledování dopravního proudu či pohybu linek MHD[3], ale pro celkové sledování mobility obyvatel ve městě. Díky sledování pohybu obyvatel města je možné optimalizovat nejrůznější služby města, jako je například hromadná doprava, které vedou ke zlepšení kvality života obyvatel. Využít je lze také ke zpětné analýze různých provedených opatření při nutnosti změny toku v síti města. Tyto funkce a možnosti FCD[4] lze považovat za účinný nástroj při realizaci cílů Smart City.

Díky dostupnosti FCD dat a znalosti problematiky preference MHD a jejího využití nejen v České republice, ale i v zahraničí, je možné propojení těchto dvou oblastí Smart City. Předpokladem této práce je možnost analýzy dostupných FCD z veřejné dopravy a na základě této analýzy nalezení vhodného řešení preference MHD v daném místě, úseku nebo síti. Cílem práce je poté nalézt metodiku, která propojí tyto dvě důležité součásti Smart City a poskytne optimalizační řešení pro preferenci VHD v síti. K dosažení tohoto cíle je třeba seznámit se s možnostmi preference MHD a FCD, dále pak zpracování a roztřídění dostupných FCD a pomocí zjištěného chování nalézt vhodné řešení pro danou oblast.

[1] Individuální automobilová doprava
[2] Veřejná hromadná doprava
[3] Městská hromadná doprava
[4] Data z plovoucích vozidel (*Floating Car Data*)

Kapitola 1

Možnosti preference VHD v ČR i v zahraničí

Při optimalizaci preferenčních opatření je třeba seznámení se se základními principy preference VHD, které se realizují nejen na území ČR. Vzhledem k menší rozsáhlosti sítí VHD v České republice je třeba zamířit také za její hranice. V zahraničí je možné nalézt i další zajímavá řešení, která nejsou dosud v našich sítích realizována, přestože by jejich využití bylo vhodné. Analýza dostupných FCD je v této práci zaměřena pouze na autobusovou síť, není třeba seznamovat se s možnostmi preference jiných dopravních prostředků. Preferenci veřejné hromadné dopravy je možné realizovat dvěma způsoby - stavebními a dopravně organizačními opatřeními. Mezi stavební opatření můžeme zařadit převážně vyhrazené jízdní pruhy, řešení jejich napojení na proud individuální automobilové dopravy a míru jejich segregace. Dopravně-organizační opatření jsou způsoby změny organizace dopravy jako například dynamické řízení světelných signalizačních zařízení křižovatek nebo omezení individuální automobilové dopravy v místech s menší šířkou uličního prostoru.

1.1 Možnosti preference VHD užívané v ČR

Obecné zásady, kterými se řídí navrhování preferenčních opatření, jsou systémová přednost jízdy vozidel, plynulý provoz nebo vyhrazený jízdní pruh a preference na světelných signalizačních zařízení a to i při příjezdu do křižovatky. Sdružováním jednotlivých preferenčních opatření do logických celků vznikají tzv. preferenční osy či koridory VHD, typicky se jedná o významné úseky sítě veřejné dopravy či trasy páteřních linek. [1] Vzhledem k velikosti měst a intenzity automobilové dopravy v České republice je nejvíce preferenčních opatření realizováno v Praze a Brně.

1.1.1 Stavební opatření

Jak již bylo řečeno, mezi hlavní prvky stavebních preferenčních opatření patří vyhrazený jízdní pruh. Tento způsob preference je možné využít jak v mezikřižovatkových úsecích, tak i přímo v křižovatkách. Z dopravně inženýrského hlediska můžeme toto opatření realizovat jako vyhrazený jízdní pruh pouze pro provoz autobusů (případně dalších vozidel) nebo pro sdružený provoz na tramvajovém tělese. Jedná se tedy o jízdní pruhy v hlavním dopravním prostoru komunikace, které jsou vyhrazeny pouze pro provoz autobusů (a případně dalších specifikovaných vozidel) a které jsou příslušně označeny svislým a vodorovným dopravním značením. Tyto

pruhy se používají zejména v místech, kde hrozí zdržování vozidel veřejné dopravy pravidelnými kongescemi, ale je možné jej využít i jako prvek zklidnění dopravy, zvýšení ochrany cyklistů, případně i jako prvek zvýšení ochrany chodců na neřízených přechodech přes vícepruhové komunikace. Při zřizování vyhrazených jízdních pruhů pouze pro provoz autobusů je nutné dodržet zásadu systémové přednosti v jízdě vozidel MHD a to převážně v místech počátku a ukončení vyhrazeného jízdního pruhu, výjezdů ze zastávek a při najíždění a sjíždění z tělesa tramvajového pásu. [1]

Vyhrazený jízdní pruh pouze pro provoz autobusů

Jízdní pruhy pouze pro provoz autobusů je možné oddělit od ostatního provozu pomocí vodorovného dopravního značení nebo fyzicky. K fyzickému oddělení se používají balisety nebo podélné betonové prahy.

Provoz ve VJP[1] pro autobusy VHD lze realizovat v několika dopravních režimech:

- BUS
- BUS + cyklo
- BUS + taxi
- BUS + cyklo + taxi (obrázek 1.1)

Povolení využívání vozidly taxi záleží na dopravní politice města. Tuto možnost nelze využít paušálně pro všechny pruhy, je třeba posoudit každý úsek zvlášť z hlediska bezpečnosti, zároveň provoz taxi ve VJP není možný v úsecích, kde by intenzita provozu vozidel taxi negativně ovlivňovala plynulost provozu vozidel veřejné dopravy. Pokud je VJP pravým jízdním pruhem, je nutné povolit provoz jízdních kol. V případě, že by tomu tak nebylo, legálně by se cyklisté museli pohybovat mezi pravým a levým jízdním pruhem, což je v rozporu se základy bezpečnosti provozu. [1]

Obrázek 1.1: Příklad vyhrazneného jízdního pruhu v dopravním režimu BUS + cyklo + taxi v ulici Türkova v Praze.

[1] Vyhrazený jízdní pruh

Provoz autobusů VHD na tramvajovém páse

Výhodou provozu autobusů VHD na tramvajovém páse (sdruženém tělese) je možnost zřizování pro cestující atraktivních sdružených zastávek a přestupních vazeb „hrana-hrana“ a zároveň při tomto řešení zůstane počet jízdních pruhů pro ostatní provoz zachován. Příklad takového řešení je možné vidět na obrázku 1.2.

Provozování autobusů VHD na tramvajovém tělese má svá specifická provozní hlediska. Vyhrazený jízdní pruh na tramvajovém tělese může být vyhrazen výhradně pro autobusy VHD a nelze jej vyhradit pro jiné typy vozidel (např. zájezdové autobusy, jízdní kola, vozidla taxi). Řidiči autobusů VHD jedoucích po tramvajovém tělese se na SSZ[2] řídí výhradně signály pro tramvaje. Z hlediska provozovatele nesmí být zanedbávána zejména zimní údržba tohoto úseku, také je třeba věnovat pozornost konstrukci tramvajové tratě.

Obrázek 1.2: Provoz autobusových linek na tramvajovém tělese v ulici Pražský okruh v Praze viditelné v aplikaci Google Street View.

Z legislativního hlediska má autobus VHD sjíždějící z tramvajového tělesa do přilehlého jízdního pruhu přednost v jízdě. V případě, že odbočuje z tramvajového pásu vpravo či vlevo, má stejné postavení jako tramvaj. Řidič autobusu VHD jedoucí po tramvajovém tělese se řídí signály pro tramvaje. [1]

V případě vysoké intenzity provozu IAD na přilehlém jízdním pruhu je možné řídit sjezd autobusů MHD z tramvajového tělesa v mezikřižovatkovém úseku pomocí SSZ. Toto řešení má podobu světelné závory s absolutní preferencí jízdy autobusů. [1]

1.1.2 Dopravně organizační opatření

Hlavní zásadou při řešení preference autobusů VHD v křižovatce je nutnost vybavení systémem aktivní preference VHD, pokud jde o křižovatku řízenou SSZ. Systém aktivní preference VHD v křižovatce se skládá ze SSZ s dynamickým řízením umožňujícím modifikaci signálního plánu či přímou tvorbu signálního plánu v reálném čase a aktivním systémem detekce autobusů VHD. [1]

[2] Světelné signalizační zařízení

Preferenci VHD lze rozdělit dle způsobu, jakým je uplatňován požadavek prioritního průjezdu vozidla VHD řadičem SSZ na dvě kategorie:

1. Absolutní
2. Podmíněná

Absolutní preference znamená, že vozidlu VHD je udělena okamžitá priorita a vozidlo VHD projede křižovatky vždy bez zdržení. V případě podmíněné preference řadič SSZ při rozhodování o udělení priority zohledňuje i aktuální dopravní situaci na křižovatce. [1]

Vlastní řízení (signalizaci) provozu autobusů VHD v křižovatce lze realizovat dvěma základními způsoby:

1. Běžnými signály tříbarevné soustavy
2. Signály pro tramvaje

Běžné signály tříbarevné soustavy lze použít v případě, že je průjezd autobusu VHD křižovatkou možný současně s bezkolizním proudem ostatních vozidel jedoucích stejným směrem. Signály pro tramvaje se využijí zejména při potřebě signalizace speciálních fází pro autobusy VHD či v případě provozu autobusů VHD na tramvajovém tělese. [1]

Detekce autobusu VHD před křižovatkou

Detekci autobusu VHD je možné realizovat aktivně nebo pasivně. K aktivní detekci a polohování autobusu se využívá technologie GNSS[3] (GPS[4]) nebo systému infračervených majáků. Při tomto způsobu detekce se vozidlo pomocí palubního počítače přímo přihlásí do systému preference. Palubní počítač následně komunikuje přímo s řadičem SSZ. Pasivní detekci je možné realizovat pomocí indukčních smyček nebo videodetekce. Tuto možnost lze použít v případě, že má vozidlo VHD vyhrazenou jízdní dráhu při příjezdu ke křižovatce (řadící pruh, tramvajové těleso) a z této jízdní dráhy vykonává pouze jeden typ křižovatkového pohybu. [1]

Modifikace signálního plánu dle požadavku na preferenci VHD

Řadič na základě informace o blížícím se vozidle VHD a jeho požadovaném křižovatkovém pohybu vyhodnocuje dopravní situaci na křižovatce a zařadí do signálního plánu takovou fázi či sled fází, které zajistí prioritní průjezd pro autobus VHD. Modifikace signálního plánu se zpravidla řídí několika modely. Pokud právě probíhá vyhovující fáze je možné situaci vyřešit prodloužením vlastní fáze. V případě, že ani po prodloužení by autobus nestihl ke stopčáře dojet, je příslušná fáze ukončena a zařadí se jiná fáze, aby při příjezdu ke křižovatce byla opět vyhovující fáze. Pokud neprobíhá při přihlášení vhodná fáze, tato fáze se ukončí a okamžitě nastává fáze požadovaná vozidlem, případně je možné situaci vyřešit dalšími způsoby jako jsou okamžité doplnění nekolizního volna do probíhající fáze, změna pořadí fáze nebo vložení fáze navíc při jízdě. [1]

[3] Globální družicový polohový systém (*Global Navigation Satellite System*)
[4] Globální polohový systém (*Global Positioning System*)

Udělení priority při vzájemně kolizních požadavcích na preferenci

V případě vzájemně kolizních požadavcích na preferenci slouží k rozhodování o prioritě několik základních zásad. První zásadou je zpoždění spoje oproti jízdnímu řádu. Pokud jde o zpoždění o více než 20 minut, tato zásada neplatí. Poté mají přednost směry s vyšší intenzitou provozu VHD a také linky s vyšším přepravním výkonem. Daším kritériem je pak směr jízdy vozidla (v době ranní špičky směr do centra, odpoledne obráceně) a poslední zásadou je význam linky. [1]

1.1.3 Aplikované preference v ČR

Jako příklady preferencí použitých v ČR jsou vybrána města Praha, Olomouc a Jihlava. Praha má v našich poměrech největší síť a zároveň také nejhustší provoz, z tohoto důvodu zde lze najít nejvíce zastoupení těchto opatření. Naopak Olomouc a Jihlava patří mezi města s menší sítí MHD, ovšem mají na ČR zajímavá koncepční řešení preference, která jsou dále rozvíjena.

Praha

V Praze lze nalézt celou škálu preferenčních opatření, kterými se inspirují města po celé České republice. V roce 2016 zde byl zahájen projekt preference – Celoměstský projekt preference městské hromadné dopravy v Praze v letech 2016-2020. Tento dokument mimojiné shrnuje preferenční opatření dosud využitá v Praze a definuje problémová místa. Funguje také interaktivní mapa preference PID[5], která zobrazuje problémová místa i dosud realizovaná prostorová preferenční opatření pro BUS. [2]

V Praze lze najít všechny příklady preference na SSZ - absolutní, podmíněnou i bez preference (náměstí I.P. Pavlova). Pro detekci vozidel se podle místních podmínek a technického vývoje využívá celá řada technologií (např. trolejové kontakty, videodetekce, radiodetekce, indukční smyčky, GPS). SSZ pro preferenci VHD bývají použita i v liniových úsecích jako tzv. světelné závory před křížením nebo spojováním proudů vozidel či jako ochrana prostoru zastávek. V oblasti Prahy je využíván také velký počet možných stavebních a organizačních preferenčních opatření jako např. vyhrazené jízdní pruhy v různých režimech, propojení jízdního pruhu s tzv. výlučným směrem, zákazu vjezdu pro IAD v některých místech (převážně centrum města nebo terminály). Pro urychlení nástupu a výstupu cestujících existují různé typy úpravy zastávek. Nejrozšířenějším je nástupní ostrůvek, poté jsou používány také zastávkové mysy nebo tzv. vídeňská zastávka. [2]

Olomouc

V Olomouci je v současnosti 35 křižovatek vybaveno systémem dynamického řízení vč. systému preference MHD. Z toho 4 křižovatky mají systém absolutní preference, u ostatních jde pouze o preferenci podmíněnou. Další způsobem preference jsou zde vyhrazené jízdní pruhy, které jsou zatím jen na třídě Svobody v obou směrech. [3]

[5] Pražská integrovaná doprava

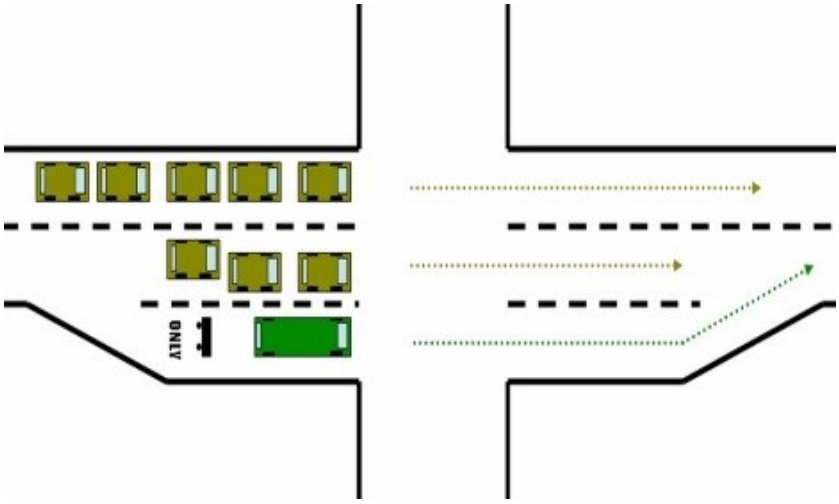
Jihlava

Od roku 2014 je na všech křižovatkách se SSZ v Jihlavě, kde autobusy MHD projíždějí, zaveden systém preference MHD. Ve městě však dochází i k realizaci stavebních opatření. První dva BUS pruhy se objevily na Havlíčkově ulici na konci srpna roku 2015. Od té doby v Jihlavě přibylo 9 úseků v celkové délce 2080 m. Díky tomu došlo ke snížení cestovní rychlosti o 14 %, zároveň bylo možné zkrátit intervaly mezi spoji bez nutnosti přidání dalších. [4]

1.2 Preference VHD v zahraničí

Základními nástroji pro preferenci MHD jsou kromě výše zmíněných bus pruhů a preference v křižovatce také tzv. předjížděcí pruhy v křižovatkách (angl. queue jump lane). Schéma tohoto řešení je možné vidět na obrázku 1.3. Tyto pruhy umožňují autobusu přednostně projet křižovatkou a předjet tak proud vozidel, který je zdržen signálem červené na SSZ. Systém spočívá v tom, že autobus má vlastní pruh, ten dostane přednostně signál zelené a může tak vjet do křižovatky dříve než ostatní vozidla, tím se dostane před proud vozidel a snižuje se tím jeho zdržení v křižovatce. [5]

Podle průzkumu, který na vybraných zapojených autobusových sítích napříč světem provedla Imeprial College London v roce 2017, má největší poměr kilometrů s preferencí MHD Bruselská síť, stejně tak vítězí i v poměru preference v křižovatkách na SSZ. V počtu předjížděcích pruhů v křižovatkách se na prvním místě umístil Londýn, zatímco města jako Kuala Lumpur, Paříž a Singapur nemají ve svých sítích žádná taková opatření. Většina měst, které se studie zúčastnily, provozují také bus pruhy na rychlostních silnicích. V Evropě (Lisabon, Paříž a Londýn) jich nejvíce najdete na trasách do a z letiště, zatímco mimo Evropu (New York, Seattle, Sydney a Vancouver) jsou dálnice s bus pruhy ve městě běžnější. [5]



Obrázek 1.3: Schéma předjížděcího pruhu v křižovatce řízené SSZ. [5]

1.2.1 RapidRide E-Line - Seattle (USA)

V roce 2014 město Seattle implementovalo systém preference autobusů VHD na koridor linky E, aby byla zkrácena cestovní doba na minimum.

Linka E spojuje centrum Seattlu a Aurora Village, přes Green Lake a severní Seattle. Jedná se o koridor o celkové délce 16,5 km, který zahrnuje 29 křižovatek s preferencí VHD a 11,3 kilometrů pruhů pro autobusy. Projekt zrychlil cestovní rychlost o 5,4 minuty, což je výrazně výrazně lepší než předpokládaný přínos: očekáváné zrychlení bylo původně 3,8 minuty. [5]

Nástroje preference

Kromě segregovaných pruhů pro autobusy, které ve většině délky fungují 24 hodin, je 70 % zastávek na koridoru umístěno až za křižovatkami. Díky tomu je umožněn plynulý průjezd autobusu VHD křižovatkou a také plynulejší zařazení zpět do dopravního proudu po nástupu/výstupu cestujících. [5] Preference na světelných signalizačních zařízení byla vyřešena prodloužením signálu volno a zároveň zkrácením signálu červené pro linku E. Došlo také ke změně systému odbavení cestujících, kteří díky ORCA kartě mohou nastupovat všemi dveřmi a není třeba kupovat lístek u řidiče. [6]

1.2.2 Bx41 Select Bus Service on Webster Avenue - New York (USA)

Do roku 2013 byla rychlost a spolehlivost autobusů projíždějících Webster Avenue v Bronxu velmi nízká. Bylo to způsobeno častými kongescemi, dvojitým parkováním při okrajích komunikací a také vysokým počtem nastupujících cestujících na koridoru. Cílem projektu Select Bus Service bylo převážně zvýšení bezpečnosti chodců, zrychlení cestovní doby a celkové zlepšení provozu na silnici. Celková délka koridoru činí $8,5\,\mathrm{km}$. [5]

Nástroje preference

Mezi hlavní nástroje patří off-set bus pruhy. Tyto cestovní pruhy pro autobusy se nacházejí jeden pruh od obrubníku. Slouží nejen autobusům, ale i dopravním a pohotovostním vozidlům odbočujícím doprava. Jízdní pruh vedle obrubníku lze použít k parkování, nakládce nebo je zcela volný. Samozřejmostí je také preference na SSZ v křižovatkách, které je zde zajišťováno pomocí GPS. Systém zaregistruje autobus blížící se ke křižovatce a příslušně upraví fázi v křižovatce, aby autobus mohl plynule projet. Mezi další stavební opatření lze zařadit také zvýšené obrubníky na zastávkách, které jsou na úrovni podlahy autobusů a díky tomu urychlují nástup a výstup cestujících. Ke zrychlení nástupu a výstupu cestujících přispívá také možnost nákupu jízdních dokladů na zastávce, nikoliv až u dveří řidiče. [7]

1.2.3 iBus - Londýn

Systém iBus byl spuštěn v roce 2009. Jedná se o komplexní telematický systém pro provoz autobusů MHD v Londýně. Kromě spuštění preference autobusů na křižovatkách slouží k poskytnutí nejen cestujícím, ale i řidičům audiovizuální informace uvnitř vozidla (např. obsazenost vozidla, příští zastávka, konečná zastávka nebo informace o nástupu cestujícího na invalidním vozíku) a informace o aktuálních příjezdech a zpoždění autobusů na zastávkách. Systém mají nainstalované všechny vozy a obsahuje informace o všech zastávkách v síti. [8]

K polohování systém využívá několik nástrojů, jako jsou GPS, tachometr popřípadě rychloměr, senzor otáček a rate gyro. Díky GPS je schopná určit polohu vozidla s přesností na deset metrů. Data o poloze jsou zpracovávána centrálně a na křižovatkách je díky tomu udělována priorita průjezdu vozidlům MHD. CentreComm, pohotovostní velitelské a řídicí středisko, dokáže sledovat polohu každého autobusu ve vozovém parku a v případě nouze nebo nehody může tyto informace okamžitě sdílet s pohotovostními službami. [8]

1.2.4 Další možnosti optimalizace preferenčních opatření v zahraničí

Příklady z Barcelony, Paříže nebo Londýna jsou vybrány z důvodu neobvyklého nebo zajímavého přístupu k řešení preference MHD ve světě.

Barcelona

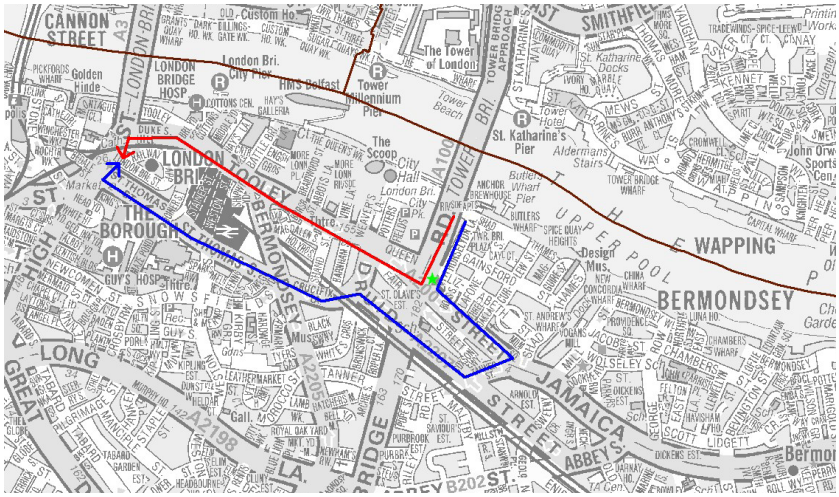
Ulice Gran Via de les Corts Catalanes v Barceloně byla natolik frekventovaná a přetížená hlavně v severním směru, že autobusy MHD si navzájem překážely a zpomalovaly se. Proto byl v tomto směru zřízen dvojitý bus pruh, jeden v režimu pouze bus a druhý v režimu bus+taxi. Zároveň zde byla instalována zelená vlna na SSZ v křižovatkách a dvojité zastávky, které zamezují zpoždění autobusů z důvodu krátkého intervalu mezi spoji. Díky těmto změnám došlo ke zvýšení cestovní rychlosti o $10 - 15\,\%$. [5]

Paříž

Na Avenue de Clichy v Paříži je velmi vysoká frekvence nejen silničního provozu v podobě IAD a MHD, ale také je zde velký počet cyklistů a chodců, což má za následek chaotický provoz na ulici v době dopravní špičky, vznikající kongesce a pomalý provoz. V této ulici tak byly implementovány úpravy v podobě oddělených pruhů pro autobusy, vyhrazené oblasti pro zastavení, vyšší počet přechodů pro chodce a omezení rychlosti na 30 km/h. Díky těmto opatřením byla doprava zklidněna a provoz se stal plynulejším a bezpečnějším. [5]

Londýn

Jedno zajímavé dopravně organizační opatření bylo zavedeno v Londýně. Před zavedením jízdního pruhu vpravo autobusy na trase RV1 musely odbočit doleva a vydat se ke stanici London Bridge oklikou. Zavedením bus pruhu pro pravé odbočení na křižovatce se vzdálenost stanic snížila o 600 m, přičemž pro ostatní provoz stále platí zákaz odbočování vpravo. Tímto bylo docíleno vyšší spolehlivosti trasy a průměrné úspory deseti minut v dopravní špičce a 6,5 minuty v sedle. [5]



Obrázek 1.4: Vyznačené místo odbočení autobusů v Londýně a zkrácení jejich trasy, původní trasa je zaznačena modře, nová trasa je zaznačena červeně. [5]

Kapitola 2

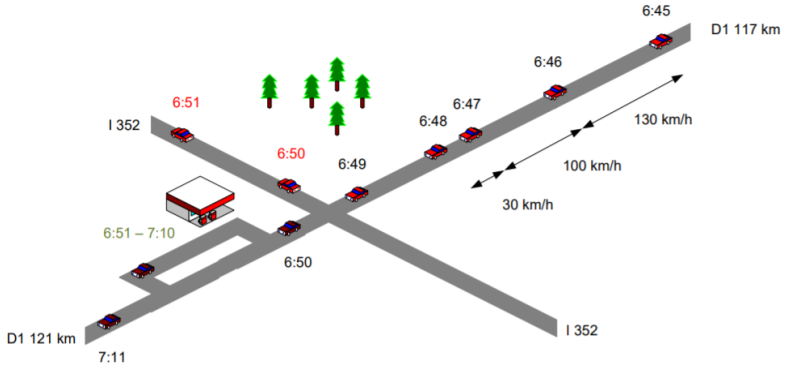
Analýza využitých datových zdrojů

Základním datovým zdrojem pro tuto práci jsou data v reálném čase o poloze autobusů z plovoucích vozidel, která jsou nově poskytována Dopravním podnikem hl. m. Prahy a dostupné v datové platformě Golemio. Ty jsou provázány s GTFS[1] (General Transit Feed Specification) daty obsahující informace o síti VHD v rámci PID. Ty jsou doplněny o FCD data poskytující Ředitelství silnic a dálnic ČR, které popisují aktuální dopravní situaci a identifikaci kongescí. Pro analýzu pomocí FCD je nezbytné seznámení se s možnostmi, které tyto datové zdroje poskytují, a zároveň pro nalezení vhodného preferečního opatření je třeba vědět, jaké informace poskytují a jakým způsobem jsou data odesílána.

2.1 FCD - Floating Car Data

Floating Car Data (data z plovoucích vozidel) jsou data sloužící ke zjišťování vlastností dopravní sítě a dopravního proudu pomocí dat získáváných přímo z jedoucích vozidel. Tato data jsou získávána z pohybující se flotily vozidel, a to buď z jednotek ve vozidlech vybavených přijímačem GPS nebo z dat získaných z pohybu mobilních telefonů. GPS je v tomto případně výrazně přesnější v určení aktuální pozice, ale nedostatkem může být méně vozidel s tímto vybavením. Ilustrační příklad detekce je zobrazen na obrázku 2.1. Systém mobilních telefonů se potýká s opačnými problémy, určení polohy je méně přesné a zároveň z důvodu velkého množství uživatelů je náročnější rozlišit uživatele v jedoucích vozidlech od ostatních uživatelů v okolí komunikace. Signály z vozidel zpravidla obsahují údaje o poloze vozidla a časovou stopu, z těchto informací lze dále získat některé vlastnosti dopravního proudu, jako jsou rychlost, případně směr. Přitom není třeba invazivně zasahovat do vozovky a instalovat další detektory vozidel a měřící přístroje.[9] [10]

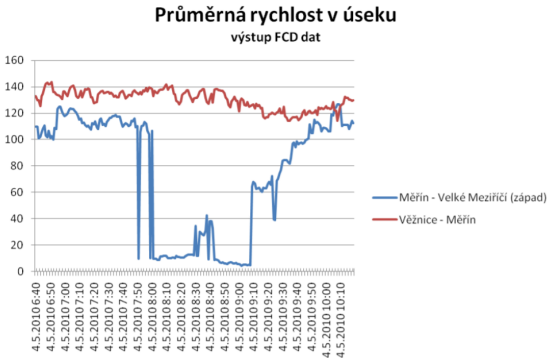
[1] Obecný formát pro jízdní řády (*General Transit Feed Specification*)



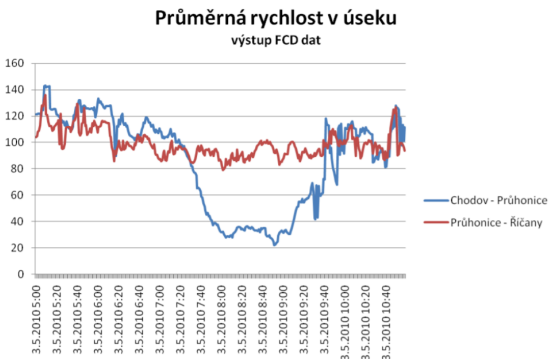
Obrázek 2.1: Ilustrační příklad detekce polohy vozidla pomocí GPS. [10]

2.1.1 Využití FCD

Asi nejznámější použití FCD dat je v komerční sféře, konkrétně je využívají navigační aplikace (Google maps, Waze) pro výpočet rychlosti průjezdu městem, dále je tento typ dat možné využívat ke sledování toku dopravního proudu městem. Při porovnání rychlosti průjezdu s tzv. volným tokem (nejčastěji měřeným v noci) lze identifikovat dopravní kongesce v síti (obrázek 2.3), v případě náhlé změny rychlosti lze identifikovat dopravní nehodu v segmentu (obrázek 2.2). Tyto údaje je možné dále interpretovat pomocí telematických systémů jako informace o dopravě ve formě informačních tabulí nebo k liniovému řízení dopravy. [9][10]



Obrázek 2.2: Příklad náhlé změny rychlosti vozidel v případě dopravní nehody v daném úseku. [10]

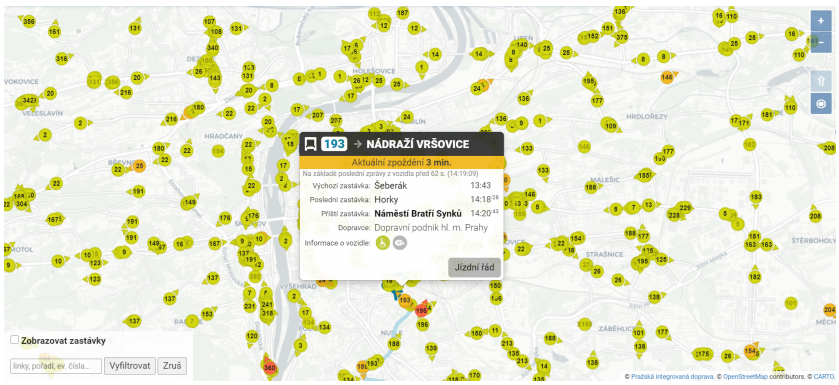


Obrázek 2.3: Příklad náhlé změny rychlosti vozidel v případě dopravní kongesce v daném úseku. [10]

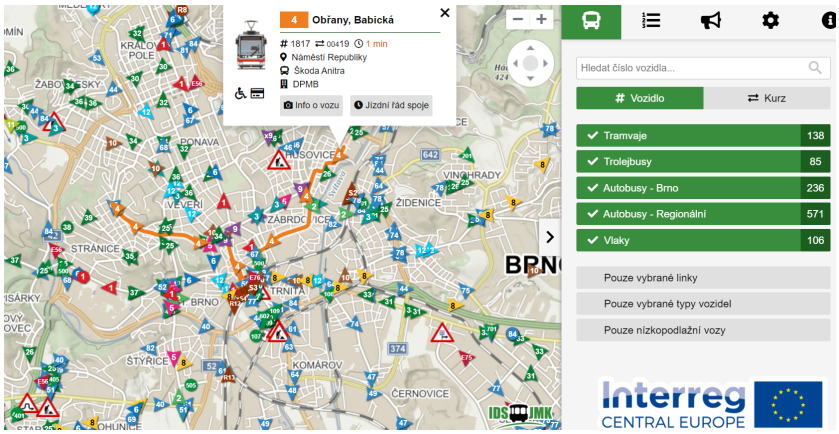
V České republice jsou data z plovoucích vozidel využívána také v nově zavedeném mýtném systému. Pomocí elektronického zařízení umístěného na palubě vozidla, které obsahuje aktuální geografické informace o úsecích silnic a dálnic podléhajících mýtné povinnosti (tzv. GEO model), je možné sledovat informace o poloze vozidla pomocí globálního navigačního satelitního systému a porovnávat je s údaji uloženými v GEO modelu. Ve chvíli, kdy algoritmus elektronického zařízení zaznamená jízdu vozidla po zpoplatněném úseku, vytvoří v souladu s platnou legislativou záznam o této skutečnosti, tzv. mýtnou událost. Mýtné události jsou pomocí technologie GSM/GPRS odesílány do centrálního informačního systému, kde se na základě údaje o délce a typu použitého úseku a příslušné sazby mýtného pro danou kategorii motorového vozidla vypočítá cena mýtného. [11]

2.1.2 FCD - Dopravní podnik hl. m. Prahy

V březnu roku 2020 se k poskytování informací o polohách svých autobusů k soukromým dopravcům přidal i Dopravní podnik hl. m. Prahy. Tyto informace jsou všem cestujícím Pražské integrované dopravy k dispozici v aplikacích IDOS a PID Lítačka. Na podzim roku 2020 byla spuštěna nová webová aplikace mapa.pid.cz, jejíž je zobrazení aktuální pozice a informací o autobusech a tramvajích PID. Uživatelské rozhraní aplikace je možné vidět na obrázku 2.4. V tomto ohledu však nebyla Praha první, ale zhruba o rok dříve svou aplikaci spustil jihomoravský organizátor KORDIS (ukázka z aplikace na obrázku 2.5). V souvislosti se spuštěním pražské aplikace došlo také k propojení a zpřístupnění dat (prozatím pouze data spojená s autobusy) i dalším aplikacím a vývojářům. Jízdní řády a polohové informace z autobusů PID jsou poskytovány a zveřejňovány do pražské datové platformy Golemio, kterou vyvíjí a provozuje společnost Operátor ICT.[12]



Obrázek 2.4: Screenshot z webové aplikace https://mapa.pid.cz/ s ukázkou informací o daném spoji.



Obrázek 2.5: Screenshot z webové aplikace https://mapa.idsjmk.cz/ s ukázkou informací o daném spoji.

Popis RealTime poskytovaných dat

Všechna data odesílají autobusy v rámci PID přibližně každých 20 − 30 s. Po propojení s jízdními řády ve formátu GTFS lze z těchto balíčků dat získat kromě základních informací jako jsou poloha GPS, čas odeslání, číslo linky nebo přiřazené ID daného spoje, také informace o časech příjezdu a odjezdu z posledních zastávek, ID zastávek, dopravce nebo vybavení vozidla. Všechna data jsou přístupná v katalogu datové platformy Golemio a jsou volně ke stažení pomocí API[2] přístupu. [12]

Důležitou informací, o kterou se nyní webová aplikace opírá, je údaj o zpoždění v daném místě. V současné době je algoritmus výpočtu založený na lineární přepočtu mezi zastávkami a porovnání s jízdním řádem. Mezizastávkové úseky jsou tedy rovnoměrně rozděleny a počítá se s průjezdem průměrnou rychlostí. To vnáší do výpočtu aktuálního zpoždění určité nepřesnosti, protože daný spoj v některých místech jede pomaleji nebo stojí například v křižovatce, ale následně své zpoždění opět sníží díky volnému průjezdu a na další zastávce již může být včas. Z tohoto důvodu v současné době Operator ICT společně s ROPID[3] pracují na úpravě algoritmu, který zahrne i historická data a přesněji určí aktuální zpoždění. [12]

Datová platforma Golemio

Datová platforma Golemio je portál pro otevřená data. Je provozovaná společností Operátor ICT, a.s., která je zřízená hlavním městem Praha. Portál umožňuje koncentrovat data od různých poskytovatelů napříč Prahou a následně je zpřístupňuje dalším stranám (veřejnosti) prostřednictvím aplikací Moje Praha a PID Lítačka či datových analýz na Golemio.cz. Převážně se specializuje na práci s různým typem dat, která se mohou v oblasti Smart City vyskytovat – informace o počasí, kvalitě ovzduší, odpadech, dopravě, poloze vozidel, naplněnosti parkovišť a libovolné další. Data také mohou využívat vývojáři prostřednictvím API. Na webové adrese https://golemioapi.docs.apiary.io/ běží potřebné API. Pro přístup je potřeba klíč, jehož vygenerování se provádí registrací na https://api.golemio.cz/api-keys. [13]

Využití dat o polohách autobusů

V současné době jsou dostupná data využívána hlavně k určení zpoždění spojů a zobrazení ve webové aplikaci a v aplikacích IDOS a Lítačka. Kromě informací poskytovaných cestujícím se dají také využít k řízení provozu. Dispečeři si mohou linky zobrazit na mapě a mít tak lepší přehled o celé síti linek. Možnosti využití těchto zdrojů jsou také například indentifikace problémových míst v síti nebo jiných nepravidelností (dopravní nehody, sjetí z trasy).

[2] Application Programming Interface
[3] Regionální organizátor pražské integrované dopravy

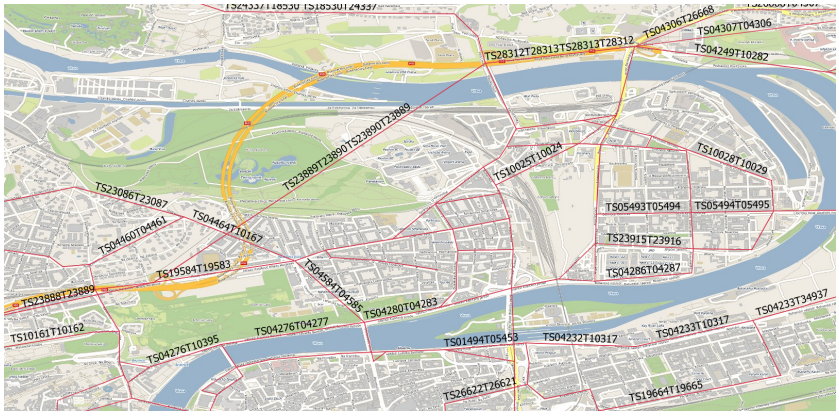
2.1.3 Údaje o aktuální dopravní situaci

V roce 2019 začalo Ředitelství silnic a dálnic (ŘSD[4]) nakupovat dopravní data z plovoucích vozidel a nabízet je zdarma k využití široké veřejnosti. Do té doby byly informace o provozu získávány výhradně z Národního dopravního informačního centra, jehož hlavním úkolem je sbírat dopravní informace v reálném čase a publikovat je. Sběr těchto dat probíhá například pomocí informací od policie o nehodách, od správců komunikací (o stavebních pracích či uzavírkách apod.) případně z call centra, kam volají přímo motoristé. Dále pak využívá dopravní data z telematiky, například z tunelů, ze smyčkových detektorů nebo on-line sčítačů dopravy umístěných na mýtných branách. Všechny tyto údaje jsou nyní doplňovány FCD pro zkvalitnění informací o stavu dopravy na síti. [14]

Popis získaných dat

Veškeré informace jsou získávány ze zhruba 150 tisíc fleetových vozidel, z toho zhruba čtvrtinu tvoří nákladní vozidla a zbytek jsou osobní automobily, která jsou vybavena GPS jednotkou a předávají v anonymizované podobě data o svém pohybu po síti. Anonymizované informace ve strojově čitelném formátu jsou pravidelně aktualizovány a publikovány v minutových intervalech. Nad těmito daty pak systém vypočítá ke každému sledovanému úseku aktuální rychlost dopravního proudu, zpoždění při průjezdu, případně délku kolony a její počátek. [14]

Sledovaným úsekem je v tomto případě TMC[5] segment. Každý z těchto segmentů má své unikátní ID a zpravidla se jedná pouze o dva body spojené úsečkou, přičemž se nemusí jednat o samostatnou ulici, ale může jít třeba o mezikřižovatkový úsek. Vizualizace těchto segmentů je možné vidět na obrázku 2.6.



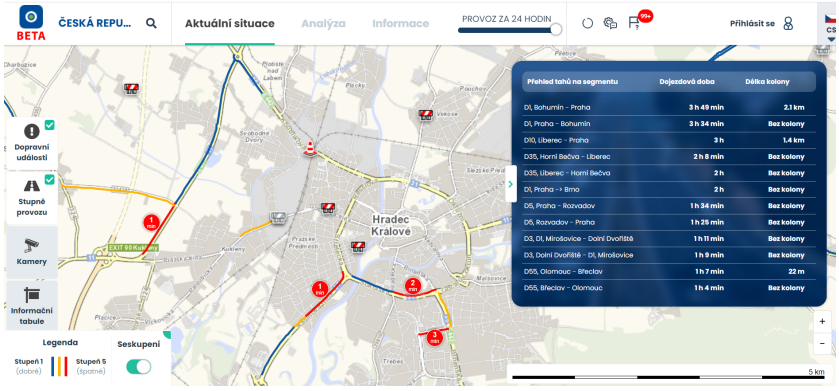
Obrázek 2.6: Příklad zobrazení sítě TMC segmentů na mapě.

V případě dat poskytovaných Ředitelstvím silnic a dálnic se z legislativních důvodů klade velký důraz na anonymizaci (na rozdíl od dat z poloh autobusů, kde je trasování žádoucí). Kvůli GDPR je nezbytné, aby nebylo možné trackovat konkrétní vozidlo z místa A do místa B. K těmto účelům je například ořezávána první a poslední míle nebo průběžně měněna ID vozidla. [14]

[4]Ředitelství silnic a dálnic ČR
[5]Traffic Message Channel

Využití dat o dopravním proudu

Primárním cílem pro ŘSD je sledovat stav dopravy na síti. Hojně využívaný je tento systém středisky SSÚD[6], které mají k vizualizovaným informacím o rychlosti proudu přístup a vidí, jestli tam, kde klesá rychlost, jsou například stavební práce, nebo dochází k nějakému excesu, který je třeba vyřešit. Dále je možné data využít k navigačním účelům, pro výpočet nejrychlejší trasy, případně jsou cennými zdroji pro telematické aplikace, převážně pro informace řidičům, případně liniové řízení dopravy. Z dopravně inženýrského hlediska je možné je využít například pro monitorování dopadů uzavírek nebo pro výpočty ekonomických ztrát z hlediska zdržení v kongescích. Využití v podobě vizualizace on-line rychlosti dopravního proudu je rovněž dostupné na webovém portále nove.dopravniinfo.cz. Její uživatelské rozhrazení je možné vidět na obrázku 2.7. [14]



Obrázek 2.7: Screenshot z vizualizace pomocí webové aplikace nove.dopravniinfo.cz.

2.2 Ostatní datové zdroje

Mezi ostatní datové zdroje jsou zařazeny takové zdroje dat, které nepatří mezi FCD, ale při práci byly nepřímo využity. S jízdními řády ve formě GTFS pracují FCD poskytované platformou Golemio při výpočtu aktuálního zpoždění linky, proto je vhodné se s nimi alespoň okrajově seznámit.

2.2.1 GTFS - General Transit Feed Specification

V roce 2005 zaměstnanec společnosti Google Chris Harrelson měl jako vedlejší projekt pokus dostat data o veřejné dopravě do Google Maps. Naopak manželé McHughovi z portlandského organizátora dopravy v Oregonu zase byli frustrováni hledáním spojení v neznámých městech v situaci, kdy populární mapové služby ve stejné době už nabízely slušnou navigaci pro auta. Po kontaktu s Googlem poskytli společnosti export jízdních řádů TriMetu ve formátu CSV. V prosinci 2005 se tak Portland stal prvním městem, které se objevilo ve vyhledávači spojení (Transit Trip Planner) od Googlu. Vznikl tak formát General Transit Feed Specifiaction (až do září roku 2009 znamenalo G na začátku Google), který se stal světovým standardem pro výměnu dat jízdních řádů. [15]

[6]Středisko správy a údržby silnic

Jízdní řády PID

Jízdní řády všech linek PID (metro, tramvaje, autobusy, lanovka, přívozy, vlaky) ve formátu GTFS splňující specifikaci GTFS Static poskytuje PID již několik let. Soubor obsahuje trasy spojů, informace o tarifu pro výpočet ceny jízdného, garantované návaznosti mezi spoji a data o struktuře stanic metra. [16]

Kompletní datový zdroj se sestává z několika textových souborů. Soubor stops.txt obsahuje kompletní informace o zastávkách a jejich použití jako jsou název, směr, specifické ID, poloha a pásmo využití (viz. obrázek 2.8). Stoptimes.txt obsahuje informace o času projetí/zastavení v daném místě daného spoje, routes.txt pak popisuje konkrétní trasy linek. Konkrétní spoje a vztahy mezi nimi (závleky, výjezdy, sekvence atd.) popisuje soubor trips.txt, garantované návaznosti s přestupem pak zachycují transfers.txt. Poslední dva soubory, calendar.txt a routesubagencies.txt, obsahují informace o dnech, kdy spoj jede, a informace o dopravci provozujícím daný spoj/linku. [16]

```
U1072S1,"Můstek – A",50.08353,14.42456,"P",,1,,1
U1072S2,"Můstek – B",50.08341,14.42339,"P",,1,,1
U1072Z101P,"Můstek – A",50.08312,14.42496,"P",,0,U1072S1,1,M1
U1072Z102P,"Můstek – A",50.08394,14.42415,"P",,0,U1072S1,1,M2
U1072Z121P,"Můstek – B",50.08321,14.42279,"P",,0,U1072S2,1,M3
U1072Z122P,"Můstek – B",50.08361,14.42398,"P",,0,U1072S2,1,M4
```

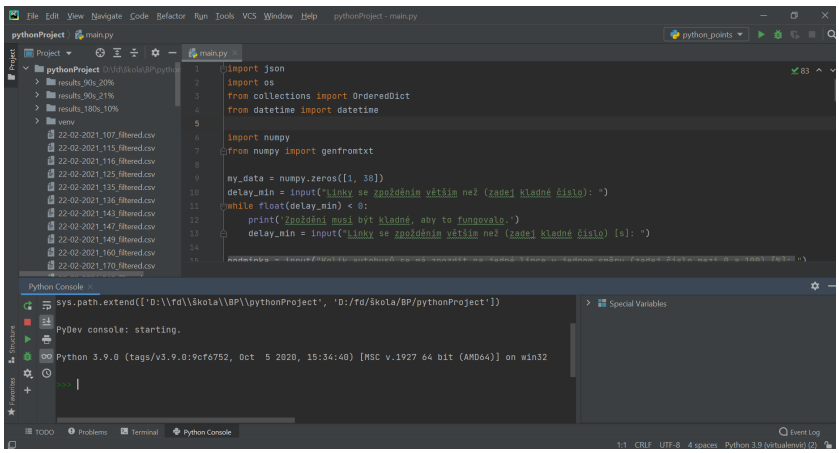
Obrázek 2.8: Ukázka formátu dat GTFS ze souboru stops.txt dostupných v otevřených datech PID. [16]

Kapitola 3

Návrh způsobu identifikace problémových míst

Při znalosti možností preference autobusů VHD a teoretických znalostí poskytovaných datových souborů je možné navrhnout způsob optimalizace preferenčních opatření. Návrh spočívá v identifikaci problémových míst systému, kde dochází k častým nebo vysokým hodnotám zpoždění autobusů. Tyto body je třeba nalézt, protože je zde předpoklad nevhodného nebo žádného zavedení preferenčních opatření. Při analýze FCD je možné data rozdělit např. podle dnů, linek nebo časů a tím získat podrobnější přehled o chování autobusu v daném místě. Díky tomu lze nalézt možnou příčinu problému a následně i vhodné řešení. K nalezení příčiny zpoždění je možné využít také zhodnocení případného vlivu IAD pomocí dat ŘSD.

K identifikaci problémových míst sítě byly využity FCD datové sady ve formátu .csv, které jsou volně poskytnuté veřejnosti. Data, která vysílají autobusové linky PID jsou poskytována pomocí platformy Golemio a je třeba je sbírat a ukládat kontinuálně, historicky se žádné z těchto informací neukládají z důvodu jejich velkého objemu. Naopak data o aktuální dopravě poskytující ŘSD, která jsou také dostupná veřejnosti zdarma, se archivují a je možné je tak dohledat zpětně. K práci s těmito daty byla využita aplikace PyCharm, která nabízí prostředí pro vytvoření kódů v programovacím jazyku Python. Ukázku z tohoto prostředí je možné vidět na obrázku 3.1. Byly napsány tři kódy, jeden sloužící k protřídění dat, druhý k určení zpoždění autobusů a třetí, který zpracovává data o dopravní situaci poskytovaná ŘSD. Všechny kódy je možné najít v přílohách 1 – 3.



Obrázek 3.1: Uživatelské prostředí aplikace PyCharm.

3.1 Třídění poskytnutých datových sad

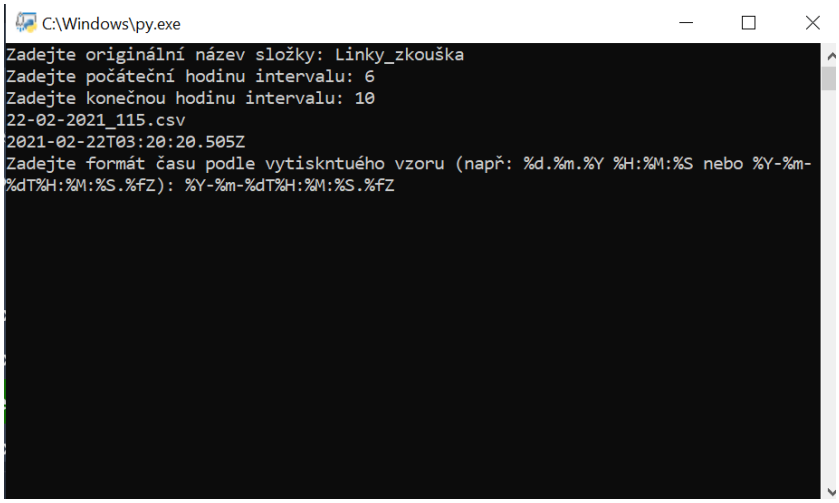
V první části je třeba data roztřídit podle času. V závislosti na využití, je možné roztřídit např. pouze data z ranní špičky nebo pouze večerní provoz, případně jiné časové intervaly, které jsou potřeba. Kód, který slouží k roztřídění dat, nejdříve načte vstupní hodnoty od uživatele a poté pracuje se soubory ve formátu .csv, které jsou v dané složce.

3.1.1 Vstupní hodnoty

První hodnotou zadanou od uživatele je název složky, do které se výsledky uloží. Vzhledem k tomu, že výsledky jsou také ve formátu .csv, mohlo by dojít k chybové hlášce v cyklu načítání všech souborů ze složky. Zároveň je tento kód univerzální a je možné ho použít pro data z PID i pro data z ŘSD, proto je uživatelsky přívětivější, když je možné mít výsledky rozdělené do složek.

Druhou a třetí hodnotou jsou okraje intervalů. Počátkem intervalu je myšlena hodina, kterou interval začíná. V případě, že uživatel zadá číslo 6, výsledný interval začíná v 6:00 ráno. Konečná hodina intervalu je hodina, kterou interval končí, tudíž v případě, že je načtena hodnota 10, interval končí v 9:59, matematicky jde o vyjádření „menší než“.

Poslední hodnotou je formát data, který musí uživatel zadat dle vytištěného vzoru. V každém typu dat je jiný formát času a pro separaci dle hodin je třeba tento formát načíst a segregovat na každý časový údaj zvlášť. Proto program pro uživatele zobrazí první časový údaj ze souboru a uživatel dle toho přesně zadá, o který formát jde. Díky tomu není třeba zasahovat přímo do kódu v případě filtrace různých dat. Příklad načtení dat je možné vidět na obrázku 3.2.



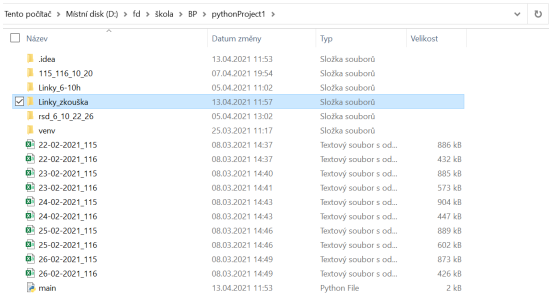
Obrázek 3.2: Příklad načtení dat od uživatele na začátku při použití kódu pro třídění poskytnutých dat.

3.1.2 Průběh kódu

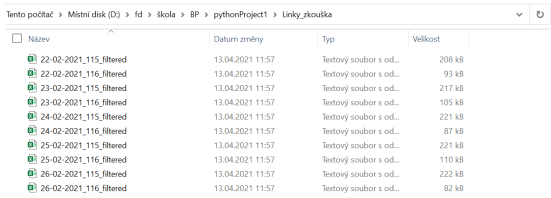
Po načtení vstupních hodnot jsou pomocí cyklu for a if načteny všechny soubory s koncovkou „.csv“, pro kontrolu průběhu se název každého z těchto souborů tiskne. Dále se díky načtenému formátu rozloží časové údaje na jednotlivé složky a je možné pracovat pouze s konkrétními hodinami. Pro každý řádek v načtených datech je pak ověřeno, zda splňuje podmínku a daná hodina patří do intervalu, který uživatel vyžaduje. V případě, že daný řádek hodnotu splňuje, je připojen k výsledné matici, pokud podmínku nesplňuje, algoritmus pokračuje k dalšímu řádku.

3.1.3 Výsledek

Výsledná matice hodnot patřící do časového intervalu dle požadavku uživatele je uložena ve formátu .csv do příslušné složky, která je pojmenována podle vstupního zadání a vytvořena již na začátku kódu. Název souboru je tvořen původním názvem souboru s příponou „_filtered“, aby bylo možné výsledné soubory od sebe snadno rozeznat. Ukázku výsledku uloženého ve složce je možné vidět na obrázcích 3.3 a 3.4.



Obrázek 3.3: Ukázka výsledné složky při aplikaci kódu pro třídění dat.



Obrázek 3.4: Ukázka výsledného souboru při aplikaci kódu pro třídění dat.

3.2 Zpracování dat PID

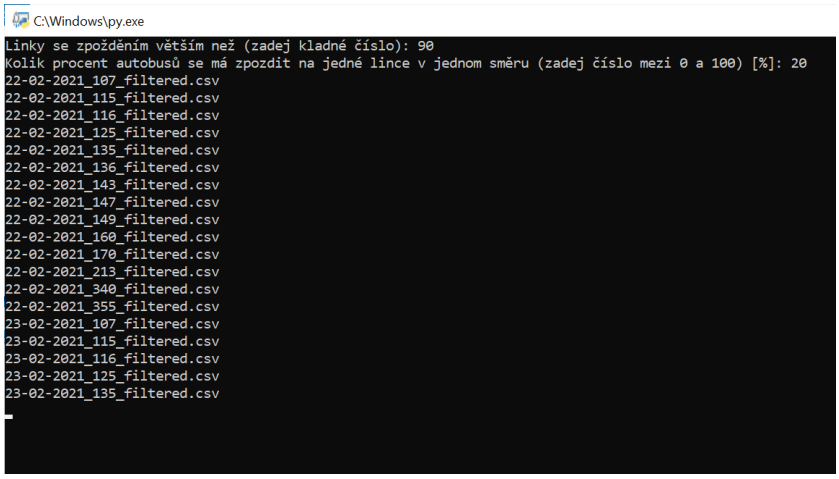
Podstatou této části zpracování dat je vytřídění a nalezení souřadnicových bodů, kde dochází k častému zpoždění nebo vysokému zpoždění.

3.2.1 Vstupní hodnoty a soubory

Tento kód pracuje tak, že načítá všechny soubory, které končí „.csv“ ze složky. V tomto případě nevyžaduje zadat název složky, ale automaticky si tvoří název výsledné složky ze zadaných hodnot od uživatele. Hodnoty načtené z příkazového řádku jsou zpoždění a procento zpoždění.

„Zpoždění větší než“ je hodnota v sekundách, která říká, jak velké zpoždění v daném bodě autobus nabyl. V případě, že uživatel zadá 90 s, výsledkem budou body, kde měl autobus zpoždění větší než je tato hodnota.

Procento zpoždění udává, kolik procent linek v jednom směru uživatel vyžaduje, aby bylo zpožděno. Tento údaj je třeba na výslednou segregaci problémových úseků. Ukázka z příkazového řádku při práci programu je na obrázku 3.5.



Obrázek 3.5: Načtení dat od uživatele a průběh kódu při hledání problémových souřadnic ve vytvořeném programu.

3.2.2 Průběh kódu

Po načtení všech souborů do jedné proměnné se nejprve tvoří nový sloupec, který každému řádku přiřadí hodnotu nabytí zpoždění. Vstupní data již mají jeden sloupec, který popisuje aktuální zpoždění linky, ale tato informace neříká, kde ke zpoždění došlo. Z tohoto důvodu je třeba linky roztřídit a seřadit a udělat rozdíl vždy dvou po sobě jdoucích údajů o zpoždění. V případě, že v místě 1 vozidlo mělo $actual_delay = 5$ a v místě 2 bylo $actual_delay = 98$, vypočítá se nabytí zpoždění v místě 2 jako rozdíl těchto dvou hodnot, tedy $98 - 5 = 93$. V případě, že dva po sobě jdoucí řádky nejsou data ze stejného spoje ze stejného dne, nastaví se hodnota 0.

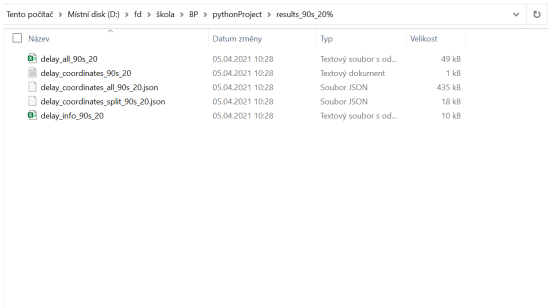
Dále se pracuje s hodnotou nabytí zpoždění. Pomocí cyklu je pro každý řádek zhodnoceno, zda splňuje podmínku a je vyšší než hodnota zpoždění, kterou zadal uživatel. Pokud tuto podmínku splňuje, je připojena k výsledné matici. Tyto řádky jsou dále tříděny dle hodnot gtfs_shape na úseky dlouhé 100 m dle linek a směru (vyšší přesnost nedovolují vstupní data). V případě, že poměr počtu záznamů zpoždění a počtu spojů projetých tímto úsekem je procentuálně vyšší než údaj zadaný uživatelem, jsou tyto řádky uloženy do další výsledné matice.

3.2.3 Výsledky

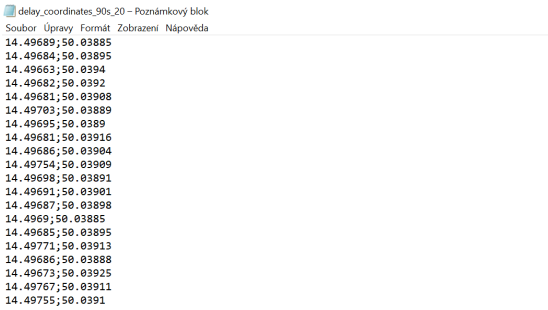
Výsledky z toho kódu je celkem 5 souborů uložených do složky, která je pojmenována dle zadaných vstupních hodnot.

Soubory, které mají v názvu „coordinates“, obsahují výsledné souřadnice problémových bodů. Soubory, které mají v názvu „coordinates_all“, obsahují souřadnice všech (neseparovaných) zpožděných bodů ve formátu .json s atributy, kterými jsou číslo linky, její směr, úsek a úsekovou vzdálenost od předchozího bodu. Směr linky je popsán jako název konečné zastávky, který se nachází na tabuli autobusu. Úsek je údaj „gtfs_shape“ a úseková vzdálenost je rozdíl dvou po sobě jdoucích bodů. Tento údaj se používá k přesnější identifikaci problémového místa (úseku). Stejné atributy jsou použité i v souboru „coordinates_split“, který obsahuje souřadnice rozdělené dle úseku s častějším procentuálním zpožděním dle požadavku uživatele, stejné souřadnice obsahuje také soubor „delay_coordinates.txt“. Zbylé

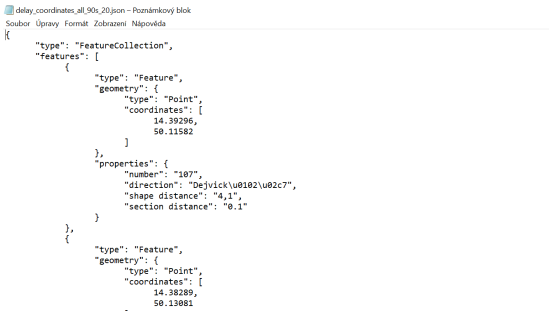
soubory ve formátu .csv obsahují soupis atributů a ostatních informací v tabulkové formě. Ukázky z výsledků je možné vidět na obrázcích 3.6, 3.7, 3.8 a 3.9.



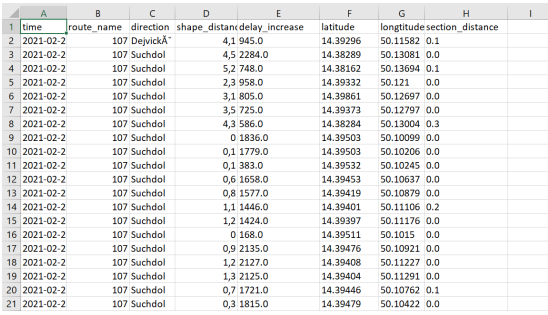
Obrázek 3.6: Ukázka výsledné složky s jednotlivými soubory při aplikaci kódu pro hledání souřadnic.



Obrázek 3.7: Ukázka výsledného souboru delay_coordinates.txt při aplikaci kódu pro hledání souřadnic.



Obrázek 3.8: Ukázka výsledného souboru obsahujícího údaje o souřadnicích a zapsané souřadnice ve formátu .json při aplikaci kódu pro hledání souřadnic.



	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	time	route_name	direction	shape_distan	delay_increase	latitude	longitude	section_distance	
2	2021-02-2	107	DejvickÃ¯	4,1	945.0	14.39296	50.11582	0.1	
3	2021-02-2	107	Suchdol	4,5	2284.0	14.38289	50.13081	0.0	
4	2021-02-2	107	Suchdol	5,2	748.0	14.38162	50.13694	0.1	
5	2021-02-2	107	Suchdol	2,3	958.0	14.39332	50.121	0.0	
6	2021-02-2	107	Suchdol	3,1	805.0	14.39861	50.12697	0.0	
7	2021-02-2	107	Suchdol	3,5	725.0	14.39373	50.12797	0.0	
8	2021-02-2	107	Suchdol	4,3	586.0	14.38284	50.13004	0.3	
9	2021-02-2	107	Suchdol	0	1836.0	14.39503	50.10099	0.0	
10	2021-02-2	107	Suchdol	0,1	1779.0	14.39503	50.10206	0.0	
11	2021-02-2	107	Suchdol	0,1	383.0	14.39532	50.10245	0.0	
12	2021-02-2	107	Suchdol	0,6	1658.0	14.39453	50.10637	0.0	
13	2021-02-2	107	Suchdol	0,8	1577.0	14.39419	50.10879	0.0	
14	2021-02-2	107	Suchdol	1,1	1446.0	14.39401	50.11106	0.2	
15	2021-02-2	107	Suchdol	1,2	1424.0	14.39397	50.11176	0.0	
16	2021-02-2	107	Suchdol	0	168.0	14.39511	50.1015	0.0	
17	2021-02-2	107	Suchdol	0,9	2135.0	14.39476	50.10921	0.0	
18	2021-02-2	107	Suchdol	1,2	2127.0	14.39408	50.11227	0.0	
19	2021-02-2	107	Suchdol	1,3	2125.0	14.39404	50.11291	0.0	
20	2021-02-2	107	Suchdol	0,7	1721.0	14.39446	50.10762	0.1	
21	2021-02-2	107	Suchdol	0,3	1815.0	14.39479	50.10422	0.0	

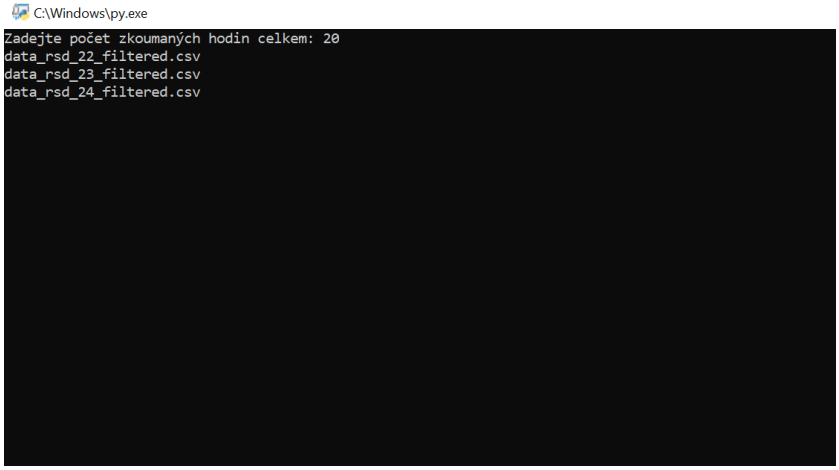
Obrázek 3.9: Ukázka z výsledné tabulky v souboru delay_all.csv obsahujícího údaje o souřadnicích ve formátu .csv při aplikaci kódu pro hledání souřadnic.

3.3 Zpracování dat ŘSD

Poslední kód je využívaný ke zpracování dat o zpoždění na TMC segmentech poskytnutých ŘSD.

3.3.1 Vstupní hodnoty

Při spuštění kódu je vytištěn požadavek na zadání počtu zkoumaných hodin. Tím je myšleno, kolik hodin provozu tato data poskytují. V případě, že jsou k dispozici soubory dat s údaji z pěti pracovních dnů v intervalech od 6 hodin ráno do 10 hodin ráno (4 hodiny), je třeba zadat hodnotu 20. Ukázka z příkazového řádku při průběhu kódu je na obrázku 3.10.



Obrázek 3.10: Načtení dat od uživatele a průběh kódu při separaci dat o segmentech.

3.3.2 Průběh kódu

Po zadání vstupní hodnoty program načte všechny soubory končící „.csv“. Z těchto dat ponechá v matici pouze ty řádky, kde je indikována kongesce, což znamená, že v desátém sloupci je hodnota 1 a poté se seřadí dle kódu segmentů a sečte, kolik řádků s indikací kongesce ke každému segmentu náleží. Díky tomu, že data jsou aktualizována každou minutu, je počet řádků shodný s počtem minut, kdy byla indikována kolona. Například počet řádků s indikací kongesce pro segment TS01376T01373 je šest, což odpovídá celkem šesti minutám kongescí na daném úseku během dvaceti měřených hodin.

3.3.3 Výsledky

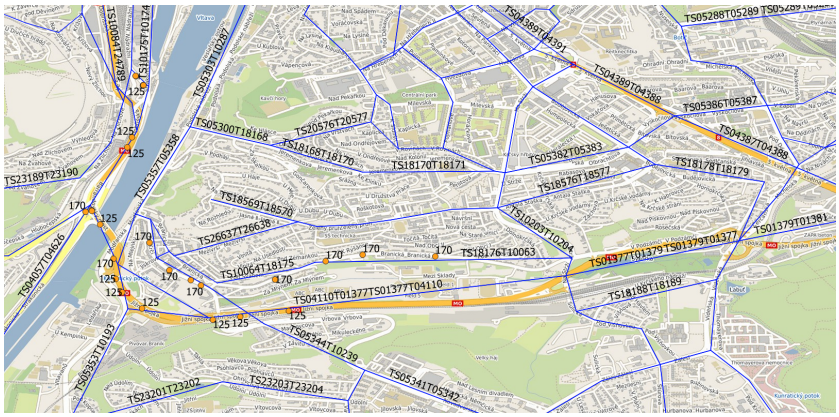
Výsledkem tohoto algoritmu je soubor „segment_sep.csv“ (viz. obrázek 3.11), který tabulkově popisuje každý ze segmentů za dané období. V této tabulce lze najít atributy jako jsou název ulice, ID segmentu, počet minut zpoždění a přepočet těchto minut na hodiny a následně na poměr celkového počtu kongescí a celkového počtu hodin vyjádřený v procentech pro lepší interpretaci výsledků.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	ulice	tmc_id	Počet zpoždění	hodin kongesce	% měřený čas			
2	BarrandovskÃ˘	TS01376T01373	6	0,1	0,5			
3	BÄ›lohorskÃ˘ (I	TS04352T18059	275	4,58	22,9			
4	BÄ›lohorskÃ˘ (I	TS04351T18059	169	2,82	14,1			
5	BÄ›lohorskÃ˘ (I	TS18059T04351	590	9,83	49,15			
6	BÄ›lohorskÃ˘ (I	TS18059T04352	27	0,45	2,25			
7	ChilskÃ˘	TS05412T05413	143	2,38	11,9			
8	ChilskÃ˘	TS05413T05412	109	1,82	9,1			
9	ChilskÃ˘	TS05412T05411	140	2,33	11,65			
10	ChilskÃ˘	TS05411T05412	34	0,57	2,85			
11	ChodovskÃ˘	TS04129T04128	55	0,92	4,6			
12	ChodovskÃ˘	TS04128T04129	309	5,15	25,75			
13	HoromÄ›Ľ™ickÅ	TS18133T10113	24	0,4	2			
14	HoromÄ›Ľ™ickÅ	TS10113T18133	20	0,33	1,65			
15	HoromÄ›Ľ™ickÅ	TS10112T18133	27	0,45	2,25			
16	HoromÄ›Ľ™ickÅ	TS18133T10112	247	4,12	20,6			
17	JugoslÃ˘vskÃ˝c	TS19581T04468	436	7,27	36,35			
18	JugoslÃ˘vskÃ˝c	TS19581T19582	17	0,28	1,4			
19	JugoslÃ˘vskÃ˝c	TS10138T04469	46	0,77	3,85			
20	JugoslÃ˘vskÃ˝c	TS19582T10138	105	1,75	8,75			

Obrázek 3.11: Ukázka z výsledného souboru segment_sep.csv.

3.4 Návrh způsobu identifikace pomocí výsledků z vytvořených programů

Soubory .json z předchozích zpracování jsou třeba k vizualizaci problémových bodů na mapě pomocí softwaru QGIS (ukázka z programu na obrázku 3.12). V tomto rozhraní je možné načíst mapu světa a na ní zobrazit konkrétní body nebo úseky zadané ve daném formátu a jejich atributy jako popisky bodů. Při zobrazení bodů na mapě lze snadno vypozorovat problémová místa v síti a podrobit následné analýze. Stejně jako body lze vyobrazit i jednotlivé segmenty ve formátu .dbf a určit, které problémové místo patří do kterého segmentu. Při porovnání s počtem zpoždění, případně procentem zpoždění v souboru segment_sep.csv, lze určit, zda má negativní vliv na problémové místo i kongesce v IAD, případně tento bod vyloučit.



Obrázek 3.12: Ukázka ze softwaru QGIS a vyobrazení problémových souřadnic s vyobrazením čísla linky jako popisek bodů a zobrazení TMC segmentů.

3.4.1 Návrh možného preferenčního opatření v problémovém místě dle chování FCD

Po zobrazení výsledků FCD dat z autobusů na mapě je možné určit typické chování bodů v různých místech. V některých oblastech je zpoždění stálé v každou denní dobu, v některých místech se jedná o delší úseky, případně se jedná o konkrétní místa na trase (např. autobusové zastávky nebo křižovatky) nebo třeba úseky, které vykazují vyšší počet zpoždění jen v určitých dobách. Z toho lze vyvodit možné problémy a určit návrhy řešení, případně místa doporučit k podrobnější analýze.

Neměnné úsekové zpoždění

V případě, že se počet zpoždění v celém dni nemění a jedná se o delší úsek, lze usoudit, že v místě dochází ke komplexnějšímu problému na celém úseku, tudíž nelze indentifikovat jedno konktrění problémové místo a je třeba úsek podrobněji analyzovat a navrhnout řešení, která na sebe budou plynule navazovat a umožní dopravní situaci v místě optimalizovat. Může jít o odklon IAD do jiných míst nebo soubor několika na sebenavazujících preferenčních opatření a tím vytvoření plynulého úseku pro průjezd.

Proměnné úsekové zpoždění

Pokud jde o zpoždění v různé denní doby v úseku, lze uvažovat silný vliv IAD a zavedení opatření, které bude upřednostňovat autobusy, jako je například BUS pruh. Při navrhování opatření tohoto druhu je ovšem také třeba myslet na kapacitu stávající komunikace a zda by byla dostatečná v případě, že by se jeden pruh vyhradil pro provoz autobusů.

Bodové zpoždění mimo křižovatky komunikací

Při opakovaném zpoždění autobusů, ke kterému dochází v jednotlivých bodech mimo křížení komunikací, je třeba hledat konkrétní příčiny. Těmi mohou být buď dočasné uzavírky nebo třeba problém v oblasti zastávek, kde je možné hledat problém při výjezdu ze zastávky (vysoká kongesce ve vedlejším pruhu) nebo přímo ve vozidlech VHD a při nástupu a výstupu cestujících. Tyto potřebují hlubší analýzu, je zde možné změnit vozidla, která úsek obsluhují, případně stavebně upravit konkrétní výjezdy.

Bodové zpoždění v křižovatkách

Problémové světelně řízené křižovatky lze řešit úpravou fází, případně zavedením aktivní preference nebo vyhrazením řadícího pruhu. V křižovatkách bez SSZ lze problém hledat v manévrech, které autobus musí provádět při průjezdu, nebo v úpravě přednosti jízdy.

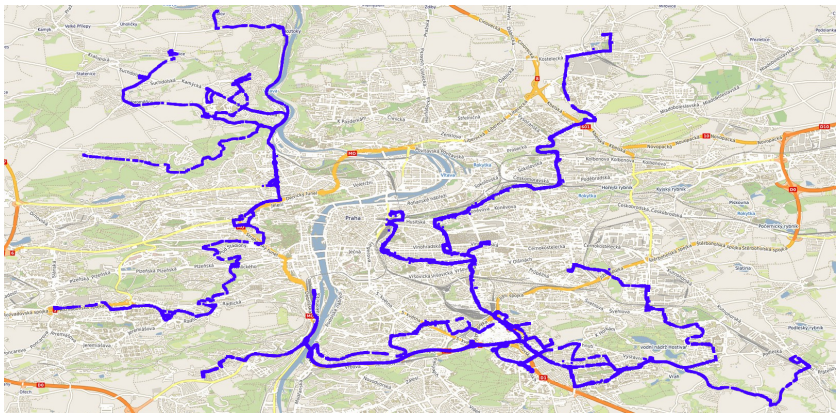
Kapitola 4

Implementace navrženého řešení na vybraných linkách PID

Díky dostupnosti dat PID a ŘSD byla pro implementaci řešení vybrána síť v Praze. Vzhledem k velikosti sítě byly pro tento účel vybrány pouze dvě oblasti, konkrétně oblast Dejvic a Vítězného náměstí a oblast Chodovce. V těchto částech hlavního města je předpoklad vysokých hodnot zpoždění autobusových linek a zároveň je zde předpokládána vysoká variabilita typů zpoždění a tedy možnost nalezení, co nejvíce příkladů z navrhované metodiky v předchozí kapitole. Tyto domněnky vycházejí jak z osobních zkušeností, tak ze záznamů, které jsou k dispozici na webových stránkách PID.

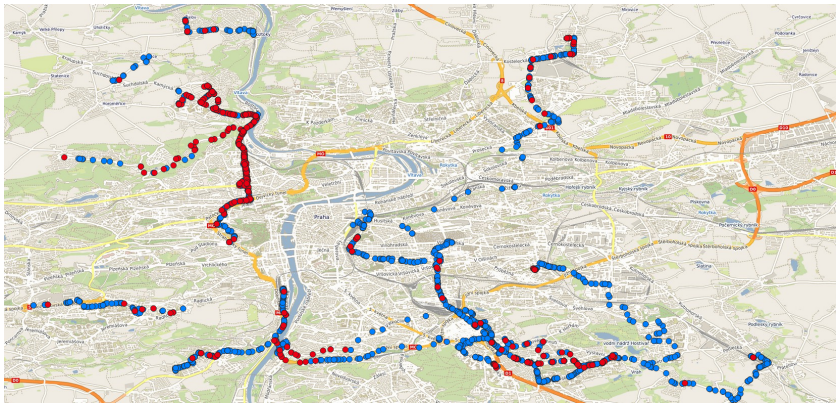
4.1 Vybrané linky a sběr dat

V rámci zvolených oblastí byly vybrány konkrétně autobusové linky 107, 115, 116, 125, 135, 136, 143, 149, 160, 170, 213, 340, 355, které projíždějí předpokládanými problémovými úseky. Zobrazení kompletních tras linek je možné vidět na obrázku 4.1.



Obrázek 4.1: Zobrazení části sítě pokryté při implementaci navrženého řešení.

FCD z autobusových linek je třeba z důvodu velkého objemu sbírat a ukládat kontinuálně, protože historická data se neukládají. Z tohoto důvodu byla data stahována a ukládána v Ústavu dopravní telematiky ČVUT[1] v Praze Fakulty dopravní. Zvoleno bylo také časové období pro sběr, pro ověření návrhu bylo pět pracovních dní postačujících. Prvním týdnem sběru byl týden 8.−12. 2. 2021. Ovšem hned z počátku tohoto týdne nastaly velké mrazy a sněhová kalamita, která měla velký vliv na spolehlivost hromadné dopravy na území celé republiky, proto nemohla být uložená data použita, neboť by nebyla průkazná. Použitá data jsou z týdne 22.−26. 2. 2021, kdy už bylo možné vyloučit počasí jako prvek, který by mohl mít negativní vliv na spolehlivost autobusových linek PID. Porovnání výsledků z těchto dvou týdnů je možné vidět na obrázku 4.2.



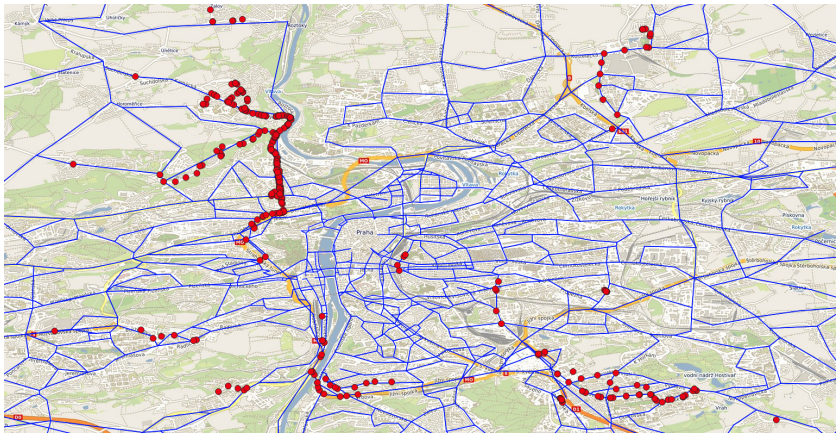
Obrázek 4.2: Porovnání výsledků pro zpoždění z prvního měřeného týdne (modré body), kdy bylo možné pozorovat výrazný vliv počasí a běžného týdne (červeně), kdy vliv počasí nebyl již tak výrazný.

4.2 Vizualizace výsledků implementace

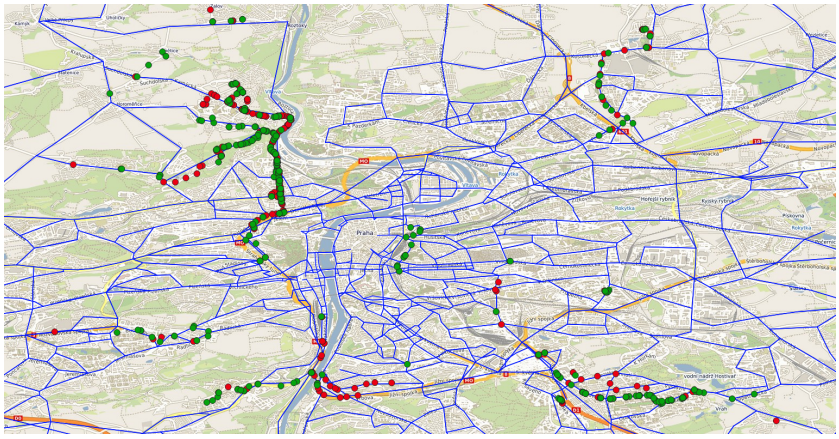
V tomto příkladě byla použita hodnota nárůstu zpoždění 90 a 180 sekund a pracovalo se pouze se všemi souřadnicemi s tímto narůstem zpoždění. V prvotní fázi byla použita hodnota 90 sekund, protože vzhledem k intervalu odesílání dat z autobusů je možné považovat úsek za problémový v případě, že oproti jízdnímu řádu nabere takto dlouhé zpoždění během 20 − 30 sekund jízdy. Hodnota 90 sekund je tedy dostatečně velká, aby bylo možné eliminovat na minimum případné nepřesnosti z důvodu lineární interpolace při zjišťování aktuálního zpoždění a zároveň není příliš velká nebo neobvyklá, aby ukazovala pouze občasné excesy a nikoliv pravidelná zpoždění. Při nižší hodnotě zpoždění bylo ve výsledné matici příliš mnoho souřadnic a indentifikace problémových míst by tak byla obtížná a výsledek by se nedal považovat za relevatní. Navíc při zdvojnásobení hodnoty na 180 sekund již nebyl výrazný rozdíl v počtu a umístění bodů, které byly vyhodnoceny.

[1] České vysoké učení technické

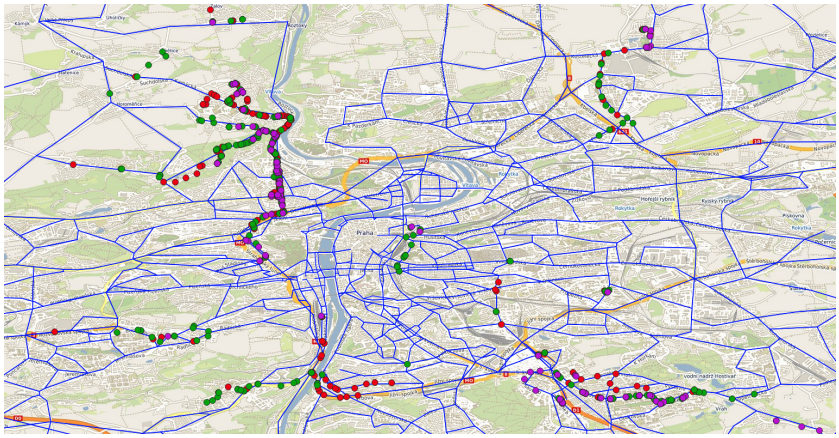
Samotná vizualizace byla provedena v programu QGIS. Do mapy byly načteny všechny souřadnice se zpožděním nad 180 sekund z časových intervalů obsahujících ranní špičku (6 – 10 h), odpolední špičku (14 – 18 h) a večerní provoz (18 – 22 h) pro porovnání rozdílů mezi jednotlivými časovými úseky během dne. Časy dopravních špiček byly určeny pomocí TP 189 - Stanovení intenzit dopravy na pozemních komunikacích, účinných od 1. prosince 2018, kde je zakotven popis provedení průzkumu pro stanovení špičkové hodinové intezity dopravy v běžný pracovní den v časech 7:00−9:00 (ranní špička) a 15:00−17:00 (odpolední špička). [17] Dále byly zobrazeny jednotlivé TMC segmenty a zastávky PID, které jsou veřejně přístupné ve formátu .json. Na obrázcích 4.3 – 4.6 je možné vidět různá porovnání těchto dat a způsoby vizualizace na mapě. Zobrazení se zastávkami bylo použito pouze v případech detailnějšího zobrazení z důvodu velkého množství označníků a tím způsobené nepřehlednosti.



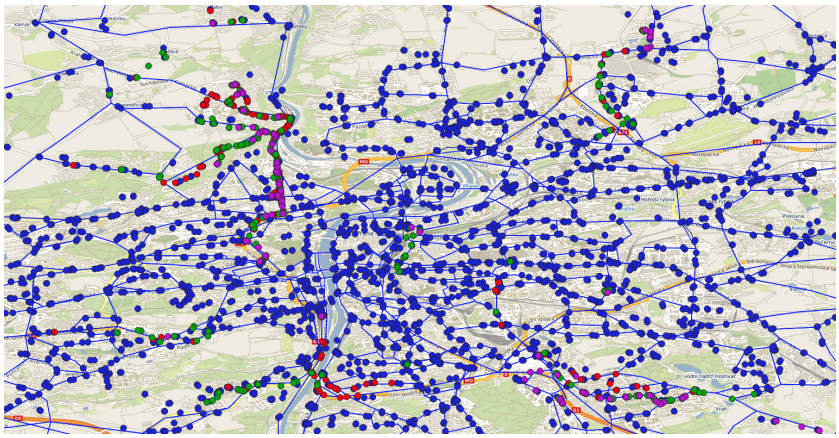
Obrázek 4.3: TMC segmenty (modré úsečky) a souřadnice se zpožděním větším než 180 sekund v časech ranní špičky (červené body) zobrazené na mapě.



Obrázek 4.4: TMC segmenty (modré úsečky) a souřadnice se zpožděním větším než 180 sekund v časech ranní (červené body) a odpolední (zelené body) špičky zobrazené na mapě.



Obrázek 4.5: TMC segmenty (modré úsečky) a souřadnice se zpožděním větším než 180 sekund v časech ranní špičky (červené body), odpolední špičky (zelené body) a večerního provozu (fialové body) zobrazené na mapě.



Obrázek 4.6: TMC segmenty (modré úsečky), souřadnice se zpožděním větším než 180 sekund v časech ranní špičky (červené body), odpolední špičky (zelené body) a večerního provozu (fialové body) a označníky zastávek PID (modré body) zobrazené na mapě.

Zhuštěné oblasti bodů znamenají vyšší počet zpoždění v dané oblasti. Při porovnání těchto výsledků s interaktivní mapou preferencí PID, na které jsou vyznačená problémová místa pro autobusové linky, lze pozorovat shodu v ulicích Jugoslávských Partyzánů, Podbabská a Patočkova v oblasti Dejvic, na Barrandovském mostě a také v ulici Turkova v oblasti Chodova.

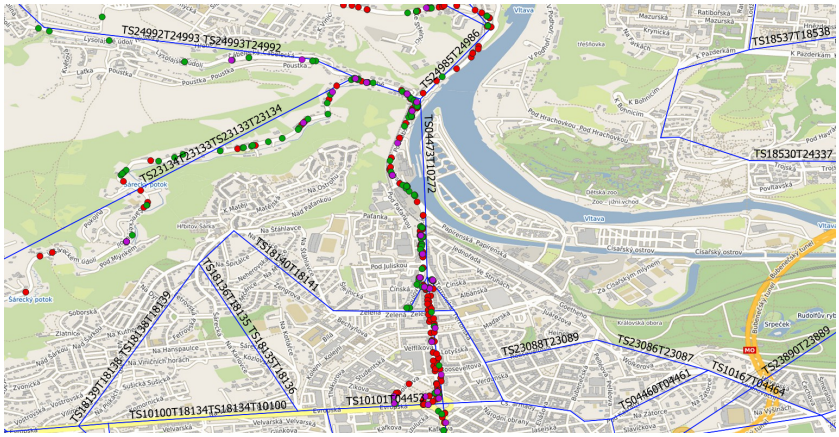
4.3 Analýza vybraných úseků

Po vizualizace výsledných dat je možné v síti vidět chování FCD podle předpokladu v kapitole 3.4.1.. Toto chování se projevuje ve třech oblastech vyšší koncentrací zpoždění během dne. Jedná se o oblast Dejvice, Barrandovský most a ulice Türkova na Chodově. Nicméně zobrazení objevilo také excesy na sledovaných linkách, které nejsou v interaktivní mapě preferencí PID, zobrazeny jako jsou častá zpoždění v ulici V Šáreckém údolí linky 116 a neobvyklé zpoždění na křižovatce ulic Pyšelská a Klíčova na trase linky 115. V poslední zmíněné oblasti se však jedná pouze o zpoždění mezi 90 a 180 s.

Pro každou linku byly zjištěny mimořádnosti a výluky ze sledovaného období a pro TMC segmenty zpoždění počet kongescí v daném úseku, následně bylo využito postupu z kapitoly 3.4.1..

4.3.1 Dejvice - ulice Jugoslávských Partyzánů, Podbabská a Roztocká

Problematika severního příjezdu v ulicích Jugoslávských Partyzánů, Podbabská a Roztocká byla již dříve rozpracována a analyzována v rámci projektu Preference PID a výsledky analýzy této práce zobrazené na obrázku 4.7 pouze potvrzují přetrvávající problémy se spolehlivostí MHD v této oblasti.



Obrázek 4.7: Výsledky analýzy zpoždění spojů v oblasti Dejvice

Celá tato problematická oblast je důležitým příjezdem do města ze severní strany a zpoždění na této tepně nejen v ranní špičce dosahuje i několik minut. Jako preferenční opatření jsou zde v současné době zřízeny BUS pruhy na některých místech (obrázky 4.8 a 4.9), které však nejsou souvislé. Na třech křižovatkách je zřízena aktivní detekce autobusů. [2]

V měřeném období měla výluku pouze linka 107, která z důvodu výluky křižovatky Kamýcká - Suchdolská měla změněnou trasu v úseku Kamýcká - Suchdol. Tato změna však neměla na zpoždění v problémové oblasti Dejvice vliv.

Při prozkoumání FCD z ŘSD se pouze potvrdil negativní vliv IAD na veřejnou dopravu v těchto místech. Zejména v oblasti ulice Jugoslávských Partyzánů byla indikace kongesce jednou z nejčastějších ze všech sledovaných segmentů. V jižní části ulice před Vítězným náměstím, kde je segment TS19581T04468, dosahovaly počty minut indikace kongesce v ranní špičce 436 minut, což odpovídá přibližně 36 % z celkového času měření.

Obrázek 4.8: Pohled na BUS pruh v ulici Podbabská v blízkosti zastávky Nádraží Podbaba směrem k Vítěznému náměstí v aplikaci Google Street View.

Obrázek 4.9: Pohled na výjezd autobusů ze zastávky Dejvická a kongesci vozidel směrem k Vítěznému náměstí v aplikaci Google Street View.

Oblast Dejvic vyžaduje komplexní dopravní řešení a podrobnější analýzu, neboť se zde prolíná hned několik problémů, jako jsou nespolehlivost VHD, na kterou má negativní vliv IAD, nebo problémy týkající se dopravy v klidu. Automobilovou dopravu zatím nelze vést jinou cestou a stejně tak ani autobusovou dopravu. Na Vítězném náměstí mívají častá zpoždění také tramvaje z důvodu přednosti v jízdě automobilů na okružní křižovatce, jejíž kapacita je nedostačující. Část těchto problémů by mohla vyřešit již plánovaná rekonstrukce Vítězného náměstí.

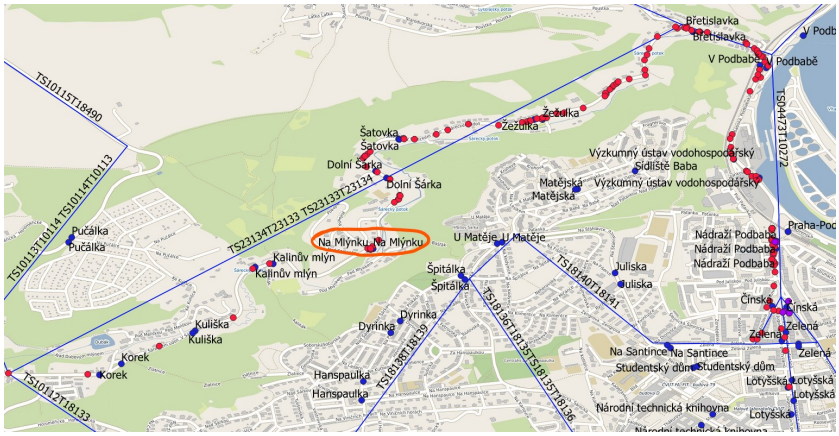
4.3.2 V Šáreckém údolí - linka 116

Dle výsledných dat z měření docházelo k častým zpožděním linky 116 v celé její trase, která jsou větší než 180 sekund. Vzhledem k dopravní situaci a dlouhodobým problémům v ulici Jugoslávských Partyzánů a Podbabská není tento jev neobvyklý. Nicméně v ulici V Šáreckém údolí nedochází k častým a opakovaným kongescím a zároveň není označena v interaktivní mapě preferencí PID jako problémové místo pro autobusy, proto je možné negativní vliv IAD vyloučit. Jedním z možných problémů v této oblasti je infrastruktura. Povrch vozovky je na některých místech poškozený, zároveň je komunikace úzká a v některých místech je pro autobus problematické vyhnout se protijedoucím vozidlům. Ovšem na problémy infrakstruktury a projetí trasy by měl být jízdní řád přizpůsoben, protože se jedná o pravidelné problémy, které mají vliv na dobu jízdy po celý den.

Řešení v dané oblasti

Po nahlédnutí na výluky a mimořádnosti z měřené doby bylo zjištěno, že v době od 22. 2. 2021 od 14:00 do 23. 2. 2021 do 14:00 byla provedena uzávěra komunikace v Šáreckém údolí z důvodu sesuvu půdy. Spoje byly vedeny odklonem a následně byly zkráceny pouze do trasy Dejvická - Na Mlýnku (zastávka Na Mlýnku je na obrázku 4.10 zvýrazněna oranžově), z tohoto důvodu je možné pozorovat větší počet

zpoždění na trase v této části, následně se jedná pouze o malé množství bodů. Po vyřazení těchto 24 hodin ze získaných dat byly pro linku 116 vygenerovány nové souřadnice se zpožděním. Při porovnání s předchozími daty je možné pozorovat výrazný úbytek problémových bodů, z čehož je možné usoudit, že problémy v této oblasti byly vyvolány pouze touto jednodenní mimořádností. Na obrázku 4.10 je vidět porovnání těchto dvou linek, červeně jsou vyznačena zpoždění při mimořádnosti a fialově zpoždění, která nejsou v době mimořádnosti.



Obrázek 4.10: Porovnání výsledků před vyřazením a po vyřazení mimořádnosti na lince 116. Oranžově je vyznačena zastávka Na Mlýnku, kam byla zkrácena trasa z důvodu mimořádnosti.

Dále od 23. 2. 2021 v důsledku této mimořádnosti zůstala přesunuta zastávka Kalinův mlýn. Tato úprava neměla na další zpoždění vliv, proto není třeba navrhovat další opatření.

4.3.3 Barrandovský most

Barrandovský most je jedinou spojkou obou břehů Vltavy v jižní části města a zároveň je součástí městského okruhu. Tyto atributy naznačují velké zatížení IAD, převážně z důvodu opakujících se kongescí, které má přímý vliv na spolehlivost autobusových spojů PID vedených nejen po Barrandovském mostě, ale i v jeho okolí. Kapacita komunikace již delší dobu nedostačuje intenzitám dopravy. [2]

Nalezené nedostatky

Po provedené analýze pomocí FCD bylo v tomto úseku zjištěno výrazně větší množstvi zpoždění v době ranní špičky než v jiné denní doby, což odpovídá již předchozím zjištěním a koresponduje s pravidelnými kongescemi v úseku. Výsledky analýzy a porovnání je možné vidět na obrázcích 4.11 a 4.12.

Obrázek 4.11: Analýza oblasti Barrandovského mostu pomocí FCD a zobrazení souřadnic problémových míst mimo ranní špičku.

Obrázek 4.12: Analýza oblasti Barrandovského mostu pomocí FCD a zobrazení souřadnic problémových míst v době ranní špičky.

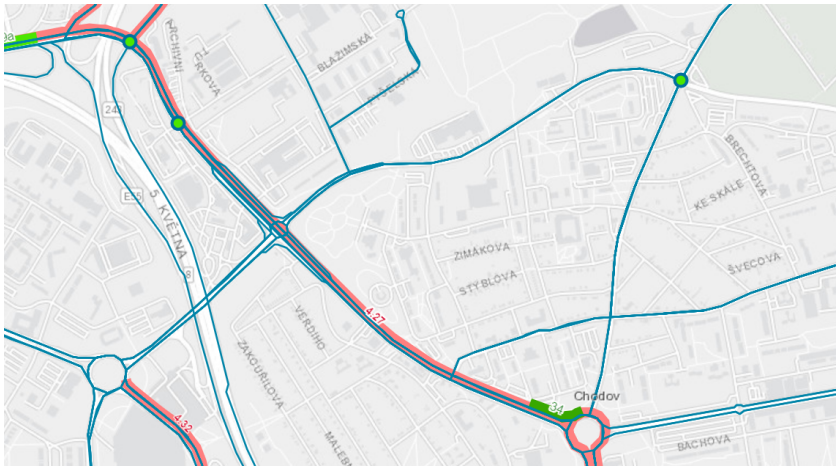
V této oblasti také nejsou prozatím zřízeny téměř žádné způsoby preference BUS. Jeden BUS pruh se nachází při příjezdu z Jižní spojky, ovšem přímo na Barrandovském mostě se žádný nenachází.

Řešení v dané oblasti

Na základě FCD je zde možné navrhnout řešení ve formě časově omezeného BUS pruhu. Ovšem v této oblasti je třeba zavést komplexní řešení nejen preference VHD, ale také řešení hustoty IAD. Vzhledem k tomu, že kapacita komunikace je zde nedostatečná, ale pro IAD není jiná možnost vedení přes Vltavu, je zde třeba vyřešit buď alternativní trasu vedení přes řeku nebo zvýšit kapacitu komunikace.

4.3.4 Chodov - ulice Türkova

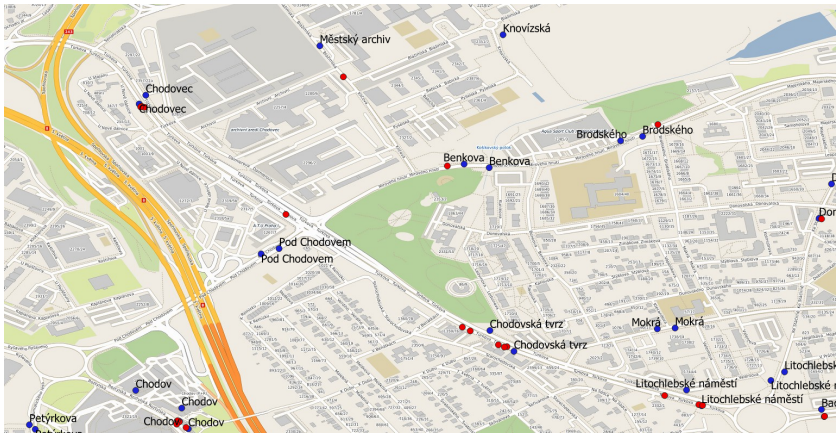
Ulice Türkova je součástí autobusového tahu Jižní město - Spořilov - Slavia - Želivského, který tvoří tangenciální spojení jihovýchodního sektoru města s oblastí Vršovic a Vinohrad. Tato lokalita je již indikována jako problematická v interaktivní mapě preference PID, kromě negativního vlivu IAD a kongescí je v celém tahu nedostatečná preference VHD na SSZ. Přímo v ulici Türkova jsou však pouze dvě SSZ a obě jsou vybaveny aktivní detekcí BUS. BUS pruh se zde nachází pouze v krátké části u Litochlebského náměstí, na obrázku 4.13 je vyznačený zeleně. [2]



Obrázek 4.13: Mapa ulice Türkova v interaktivní mapě preference PID. [2]

Nalezené nedostatky

Dle analýzy FCD v této ulici nemá časový úsek dne velký vliv na zpoždění, vysokých hodnot dosahuje rovnoměrně během dne. V měřeném období nebyla na lince 125 ani 136, které ulicí projíždějí, žádná výluka ani mimořádnost. V případě této ulice dosahuje nejčastěji zpoždění v oblasti autobusových zastávek, což je zobrazeno na obrázku 4.14. To může být způsobeno dlouhým nástupem a výstupem cestujících, případně stavebními poměry. Všechny zastávky v oblasti (Chodovec, Chodovská tvrz a Litochlebské náměstí) jsou umístěny v zálivu. Autobusový záliv sice nebrání při zastavení vozidla MHD v zastávce ostatnímu provozu, ovšem v případě hustého provozu v přiléhajícím pruhu může být zdržení nabyto při výjezdu ze zastávky, protože automobily nebudou chtít nebo nebudou mít možnost dát přednost autobusu vyjíždějícímu ze zastávky.



Obrázek 4.14: Výsledky analýzy zpoždění v ulici Türkova.

Řešení v dané oblasti

Vzhledem k charakteru zjištěného nedostatku je v této oblasti možné řešení upřednostnění autobusu při výjezdu ze zastávky pomocí vodorovného dopravního značení. Jedná se o BUS pruh, který volně navazuje na zastávku do vzdálenosti, do které je to možné i potřebné, jako tomu je na zastávce Litochlebské náměstí v severním směru. Na obrázcích 4.15 a 4.16 je vidět současný stav výjezdu ze zastávek Litochlebské náměstí směrem na sever a Chodovská tvrz směrem na Litochlebské náměstí. Další možností je problém při nástupu a výstupu cestujících, ovšem na analyzovaných linkách jsou nasazované nízkopodlažní kloubové autobusy typu SOR NB 18, proto se nepředpokládá zlepšení v tomto ohledu v případě nasazení jiného typu autobusu. Zároveň se nejedná o zastávky, kde by bylo možné předpokládat vyšší koncentraci cestujících, která by zdržovala autobus v zastávce.

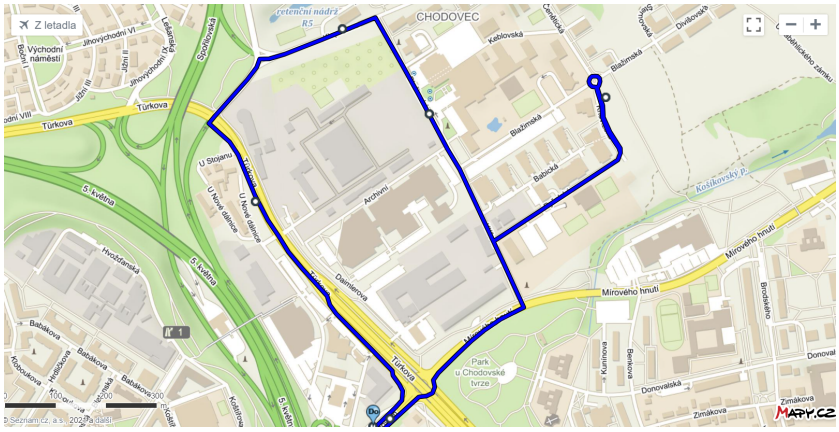
Obrázek 4.15: Současný stav výjezdu ze zastávky Litochlebské náměstí směrem na sever, zobrazený v aplikaci Google Street View.

Obrázek 4.16: Současný stav výjezdu ze zastávky Chodovská tvrz směrem na Litochlebské náměstí, zobrazený v aplikaci Google Street View.

4.3.5 Křižovatka ulic Pyšelská a Klíčova - linka 115

Dle výsledků z analýzy FCD dat byla tato křižovatka označena za problematickou, ovšem pouze v případě zpoždění mezi 90 a 180 sekundami. Při porovnání výsledků pro 90 sekundové zpoždění a pro dvojnásobek byl právě v tomto bodě jediný výrazný rozdíl, jak je možné vidět na obrázku 4.17. Linka 115 v měřeném období neměla žádné výluky či mimořádnosti, které by mohly ovlivnit výsledky analýzy. Zároveň se jedná pouze o místní komunikace typu C (obslužné komunikace), kde nedochází ke kongescím. Trasa této linky je poměrně neobvyklá. Jedná se o linku okružní, ale také v tomto místě přijíždí z ulice Mírového hnutí ulicí Klíčova ke křižovatce, kde odbočí do ulice Pyšelská směrem k zastávce Knovízská, poté se otočí na okružní křižovatce a jede stejnou trasu zpět, z ulice Pyšelská pak pokračuje vpravo dále po ulici Klíčova směrem k zastávce Městský archiv. Část její trasy je zobrazena na obrázku 4.18.

Obrázek 4.17: Indikace zpoždění větší než 90 sekund v křižovatce ulic Pyšelská a Klíčova v měřeném období.



Obrázek 4.18: Část trasy linky 115 zobrazená na mapě z portálu mapy.cz.

Nalezené nedostatky

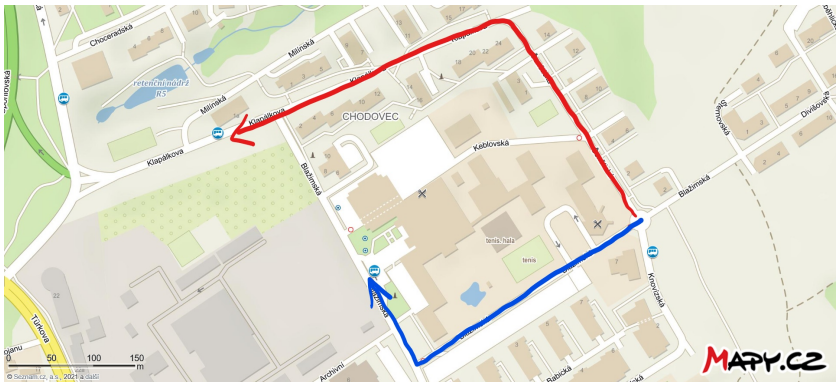
Jako problematická se v této oblasti ukázala právě křižovatka těchto dvou ulic. Při příjezdu z jihu do ulice Klíčova se po levé straně nachází vodorovné dopravní značení V12 C značící zákaz zastavení, který pro řidiče může působit absurdně vzhledem k šířkovým poměrům komunikace. Řidiči tento zákaz tedy pravidelně porušují a svá vozidla zde parkují. Příčinou porušování zákazu může být také nově vznikající zástavba v okolí a tím způsobený nárůst dopravy v klidu v této oblasti. V případě, že řidiči zákaz parkování poruší, v oblasti křižovatky je pro autobus s délkou 12 metrů (linku 115 obsluhuje Scania city wide LF 12M) obtížné provést manévr odbočení vpravo z ulice Pyšelská, jak je vidět na obrázku 4.19. Pokud by v místě zákazu zastavení stál automobil, není možné tento manévr provést. Zároveň v tomto případě autobus vjíždí na hlavní komunikaci, tudíž musí dát přednost vozidlům jedoucím po ulici Klíčova.

Obrázek 4.19: Autobus Scania city wide LF 12M na lince 115 při manévru odbočení vpravo z ulice Pyšelská. Po levé straně komunikace je vidět vodorovné dopravní značení V12 C.

Řešení v dané oblasti

Nejjednodušší možností je vodorovné dopravní značení rozšířit také o svislou dopravní značku B28 "Zákaz zastavení". Další možností je upravit přednost v křižovatce, hlavní pozemní komunikace vedoucí po ulici Klíčova nahradit hlavní pozemní komunikací vedoucí z ulice Pyšelská vpravo do ulice Klíčova. V případě tohoto řešení by problém mohl být pouze přesunut na problém odbočení do ulice Pyšelská, kde by opět autobus musel dávat přednost vozidlům na hlavní komunikaci a řešení by se tak z pohledu problemtiky zpoždění stalo neefektivní. Navíc to neřeší problém parkujících vozidel.

Dalším z možných řešení je změna trasy linky. V tomto případě se nabízejí dvě možnosti, které jsou znázorněné na obrázku 4.20.



Obrázek 4.20: Možná řešení změny trasy linky 115 v problémové oblasti vyznačené v mapě z portálu mapy.cz.

Modrá trasa nabízí jednoduché řešení projetí ulicí Blažimská za zastávkou Knovízská. Ovšem vjezd do této ulice je z obou stran omezen závorami z důvodu parkoviště nacházejícího se v této ulici. Červená trasa vedená ulicemi Čenětická a Klapálkova nabízí elegantní řešení, v tomto případě by však musela být přesunuta nebo zrušena zastávka Městský archiv. V případě přesunu by se nabízela právě ulice Pyšelská v blízkosti řešené křižovatky.

Závěr

Cílem práce bylo nalézt metodiku, která poskytne optimalizační řešení pro preferenci VHD v síti. Pro splnění tohoto cíle byl proveden teoretický rozbor možností preferencí hromadné dopravy a její neobvyklá řešení jak v České republice, tak i v zahraničí. Dále byl proveden rozbor dat z plovoucích vozidel a seznámení se s možnostmi jejich využití a nastínění možného řešení v České republice. Na základě tohoto rozboru byla vytvořena metodika optimalizace preferenčních opatření VHD pomocí FCD.

Pro potřeby použití této metodiky bylo třeba vypracovat kódy v jazyce Python, které selektovaly a upravovaly FCD pro jejich další použití a vyobrazení výsledků ve formě souřadnic v aplikaci QGIS. Navržená metodika se poté opírá o typické chování bodů souřadnic a zpoždění, ať už jde o jejich umístění, denní dobu, kdy se vyskytují, nebo množství. V této části byla definována 4 typická chování bodů: neměnné úsekové zpoždění, proměnné úsekové zpoždění, bodové zpoždění mimo křižovatky komunikací a bodové zpoždění v křižovatkách. Toto řešení bylo dále implementováno na část sítě MHD v Praze, kde byly nalezeny různé příklady předem avizované v metodice. Pomocí této metodiky byla také navržena vhodná řešení preference, případně navržena další analýza. Dále došlo k porovnání s již existujícími výsledky předchozích studií, konkrétně v projektu Preference pražského koordinátora dopravy ROPID a tím i ověření správnosti zjištěných závěrů. Použitá data byla pouze z pěti pracovních dní, pro reálné využití je doporučen větší vzorek dat.

Nově navržená metodika optimalizace preferenčních opatření VHD je možným doplňkem pro již existující metody využívané v projektu Preference pražského koordinátora dopravy ROPID. Zároveň je zde možné odhalit i jiné excesy v provozu než problematická místa týkající se preference, což nabízí možnosti širšího využití pro provoz VHD. V práci je také ukázána další potenciální možnost využití dat z plovoucích vozidel. Navrhovanou metodiku by bylo možné využít také v jiných městech ČR v případě dostupnosti FCD. Pro širší využití této metodiky by bylo třeba optimalizování kódu a více se zaměřit na práci s real time daty, aby nebylo třeba náročně data sbírat a ukládat.

Bibliografie

1. NOVOTNÝ, V.; PROUSEK, T.; JAVOŘÍK, T. *Zásady pro navrhování a zřizování preference autobusů VHD*. Vydalo ČVUT v Praze Fakulta dopravní, Ústav dopravních systémů, 2017. ISBN 978-80-01-06311-8. Dostupné také z: https://pid.cz/wp-content/uploads/2017/10/Zasady-pro-navrhovani-a-zrizovani-preference-autobusu-VHD.pdf.
2. ROPID. *Preference*. Dostupné také z: https://pid.cz/o-systemu/preference/.
3. *PREFERENCE MHD*. Dostupné také z: https://www.mhd-olomouc.cz/Info/preference-mhd.
4. HRDLIČKOVÁ, BcA. Aneta. Jihlava ukázala Plzni výhody preference MHD v praxi. *Jihlava*. 2019. Dostupné z DOI: https://www.jihlava.cz/jihlava-ukazala-plzni-vyhody-preference-mhd-v-praxi/d-535804.
5. MUNDY, Deborah; TROMPET, Mark; COHEN, Judith M.; GRAHAM, Daniel J. *The identification and management of bus priority schemes*. Department of Civil a Environmental Engineering, Imperial College London, 2017. ISBN 978-1-5262-0693-0.
6. METRO, King County. *RapidRide E-Line, Aurora Village to Downtown Seattle*. Dostupné také z: https://kingcounty.gov/depts/transportation/metro/travel-options/bus/rapidride/e-line.aspx.
7. NEW YORK, The City of. *Webster Avenue Select Bus Service*. Dostupné také z: https://www1.nyc.gov/html/brt/html/routes/webster.shtml.
8. *London iBus system*. Dostupné také z: https://uktransport.fandom.com/wiki/London_iBus_system.
9. DATA, Floating Car. Dostupné také z: https://policyvisuals.eu/floating-car-data/.
10. ING. PAVEL HRUBEŠ, Ph. D. doc. Data plovoucích vozidel v aplikacích monitorování dopravy. 2011. Dostupné také z: https://portal.cvut.cz/wp-content/uploads/2017/04/HP2011-23-Hrubes.pdf.
11. CZECHTOLL. *Systém elektronického mýtného*. Dostupné také z: https://www.czechtoll.cz/sem/.
12. DOPRAVA, Pražská integrovaná. *Zpoždění a polohy autobusů PID na mapách*. Dostupné také z: https://pid.cz/zpozdeni-polohy-autobusu-pid-mapach.
13. OPERÁTOR ICT, a. s. *Co je datová platiforma Golemio?* Dostupné také z: https://golemio.cz/cs/o-projektu.

14. FRYDRYŠEK, Milan. Standardizovaná data z plovoucích vozidel jsou zdarma k dispozici široké veřejnosti. *Dopravní noviny*. 2020. Dostupné také z: https://www.dnoviny.cz/informatika/standardizovana-data-z-plovoucich-vozidel-jsou-zdarma-k-dispozici-siroke-verejnosti.

15. TICHÝ, Tomáš. *Sledování polohy vozidel PID: kde je právě můj autobus?* Dostupné také z: https://www.root.cz/clanky/sledovani-polohy-vozidel-pid-kde-je-prave-muj-autobus/.

16. PID. *Otevřená data PID*. Dostupné také z: https://pid.cz/o-systemu/opendata/.

17. ING. JAN MARTOLOS, Ph.D.; ING. LUDĚK BARTOŠ, Ph.D. *TECHNICKÉ PODMÍNKY - TP 189 STANOVENÍ INTENZIT DOPRAVY NA PK*. Ministerstvo dopravy, 2018. Dostupné také z: http://www.pjpk.cz/data/USR_001_2_8_TP/TP_189_2018_final.pdf.

Přílohy

A Příloha 1 - Python kód pro třídění dat dle časových údajů

```
import os
import numpy
from numpy import genfromtxt

foldername = input("Zadejte originální název složky: ")
time_min = input("Zadejte počáteční hodinu intervalu: ")
time_max = input("Zadejte konečnou hodinu intervalu: ")
dateformat = 'nic'
os.mkdir(foldername)

for filename in os.listdir("."):
    if filename.endswith('.csv'):
        fln = filename
        fln = fln.removesuffix('.csv')
        print(filename)
        my_data_te = genfromtxt(filename, delimiter=';', dtype='str')
        my_data_te = numpy.delete(my_data_te, 0, 0)
        num_data = numpy.shape(my_data_te)[0]
        num_array = numpy.shape(my_data_te)[1]
        my_data = numpy.zeros([0, num_array])
        if dateformat == 'nic':
            print(my_data_te[0, 0])
            dateformat = input("Zadejte formát času podle vytiskntuého vzoru (např: %d.%m.%Y %H:%M:%S "
                               "nebo %Y-%m-%dT%H:%M:%S.%fZ): ")

        # rozdělení datum, čas
        import datetime
        from datetime import datetime
        for i in range(num_data):
            time_point = datetime.strptime(my_data_te[i, 0], dateformat)
            hour = float(time_point.strftime("%H"))
            if float(time_min) <= hour < float(time_max):
                temp = my_data_te[i:i+1, :]
                my_data = numpy.append(my_data, temp, axis=0)

        # uložení dat
        save_path = 'D:\\fd\\škola\\BP\\pythonProject1\\' + foldername + '\\'
        filenamesave = save_path + fln + '_filtered.csv'
        numpy.savetxt(filenamesave, my_data, delimiter=";", fmt='%s')
```

B Příloha 2 - Python kód pro určení souřadnic problémových bodů v síti

```
import json
import os
from collections import OrderedDict
from datetime import datetime

import numpy
from numpy import genfromtxt

my_data = numpy.zeros([1, 38])
delay_min = input("Linky se zpožděním větším než (zadej kladné číslo): ")
while float(delay_min) < 0:
    print('Zpoždění musí být kladné, aby to fungovalo.')
    delay_min = input("Linky se zpožděním větším než (zadej kladné číslo) [s]: ")

podminka = input("Kolik procent autobusů se má zpozdit na jedné lince v jednom směru (zadej číslo mezi 0 a 100) [%]: ")
while float(podminka) < 0 or 100 < float(podminka):
    print('Počet autobusů musí být mezi 0 a 1, aby to fungovalo.')
    podminka = input("Kolik autobusů se má zpozdit na jedné lince v jednom směru (zadej číslo mezi 0 a 100) [%]: ")

for filename in os.listdir("."):
    if filename.endswith('.csv'):
        print(filename)
        my_data_te = genfromtxt(filename, delimiter=';', dtype='str')
        my_data_te = numpy.array(my_data_te)
        my_data = numpy.append(my_data, my_data_te, axis=0)

my_data = numpy.delete(my_data, 0, 0)
my_data = my_data[numpy.argsort(my_data[:, 26])]
num_all = my_data.shape[0]
start_all = 0
delay_all = numpy.zeros([1, 41])
coor_info = numpy.zeros([1, 42], dtype='<U16')
numa = 0
tempa = 0
delay_all_saves = numpy.zeros([1, 8], dtype='<U16')

for k in range(1, num_all):
    condall = num_all - 1
    if my_data[k, 26] != my_data[k - 1, 26] or k == condall:
        my_data_temp = my_data[start_all:k, :]
        num_row = my_data_temp.shape[0]
        print('linka:', my_data_temp[0, 26])
        delay_inc = numpy.zeros([num_row, 1])

        s = 1
        start_num = 0
        for i in range(num_row):
            time_point = datetime.strptime(my_data_temp[i - 1, 0], '%Y-%m-%dT%H:%M:%S.%fZ')
            time_point_next = datetime.strptime(my_data_temp[i, 0], '%Y-%m-%dT%H:%M:%S.%fZ')
```

```
            day1 = float(time_point.strftime("%d"))
            day2 = float(time_point_next.strftime("%d"))
            if day1 != day2 or i == (num_row - 1):
                num_find = my_data_temp[start_num:i, 28]
                num_find = num_find[numpy.argsort(num_find[:])]
                num_find_num = num_find.shape[0]
                for j in range(1, num_find_num):
                    if num_find[j] != num_find[j-1]:
                        s = s + 1
                start_num = i

        # tvorba sloupce pro zvětšení zpoždění

        my_data_temp = my_data_temp[numpy.argsort(my_data_temp[:, 28])]
        start_inc = 0
        my_data_temptemp = numpy.zeros([1, 40])

        for i in range(1, num_row):
            cond_inc = num_row - 1
            if my_data_temp[i, 28] != my_data_temp[i - 1, 28] or i == cond_inc:
                my_data_inc = my_data_temp[start_inc:i, :]
                my_data_inc = my_data_inc[numpy.argsort(my_data_inc[:, 0])]
                num_inc = my_data_inc.shape[0]
                zerosy = numpy.zeros([num_inc, 2])
                my_data_inc = numpy.append(my_data_inc, zerosy, axis=1)

                for j in range(1, num_inc):
                    time_point = datetime.strptime(my_data_inc[j - 1, 0], '%Y-%m-%dT%H:%M:%S.%fZ')
                    time_point_next = datetime.strptime(my_data_inc[j, 0], '%Y-%m-%dT%H:%M:%S.%fZ')
                    day1 = float(time_point.strftime("%d"))
                    day2 = float(time_point_next.strftime("%d"))

                    if day1 == day2:
                        my_data_inc[j, 38] = float(my_data_inc[j, 5]) - float(my_data_inc[j - 1, 5])
                        my_data_inc[j, 39] = round(float(my_data_inc[j, 18].replace(',', '.')) - float(
                            my_data_inc[j - 1, 18].replace(',', '.')), 1)
                        m = 1
                        r = 1
                        inc = float(my_data_inc[j, 18].replace(',', '.')) - float(
                            my_data_inc[j - 1, 18].replace(',', '.'))

                        while inc < 0 and m < j:
                            my_data_inc[[j - m + 1, j - m]] = my_data_inc[[j - m, j - m + 1]]
                            inc = round(float(my_data_inc[j - m, 18].replace(',', '.')) - float(
                                my_data_inc[j - m - 1, 18].replace(',', '.')), 1)
                            r = r + 1
                            if my_data_inc[j - m + 1, 18] < my_data_inc[j - m - 1, 18]:
```

```
                                # my_data_inc[j - m, 38] = 0
                                # my_data_inc[j - m, 39] = 0.0
                                m = j + 1
                            else:
                                m = m + 1
                for j in range(1, num_inc):
                    time_point = datetime.strptime(my_data_inc[j - 1, 0], '%Y-%m-%dT%H:%M:%S.%fZ')
                    time_point_next = datetime.strptime(my_data_inc[j, 0], '%Y-%m-%dT%H:%M:%S.%fZ')
                    day1 = float(time_point.strftime("%d"))
                    day2 = float(time_point_next.strftime("%d"))
                    g = 0

                    if day1 != day2:
                        my_data_inc[j, 38] = 0
                        my_data_inc[j, 39] = 0

                    if day1 == day2:
                        my_data_inc[j, 38] = float(my_data_inc[j, 5]) - float(my_data_inc[j - 1, 5])
                        my_data_inc[j, 39] = round(float(my_data_inc[j, 18].replace(',', '.')) - float(
                            my_data_inc[j - 1, 18].replace(',', '.')), 1)
                my_data_temptemp = numpy.append(my_data_temptemp, my_data_inc, axis=0)
                start_inc = i

        my_data_temptemp = numpy.delete(my_data_temptemp, 0, 0)

        # souřadnice se zpožděním
        delay_all = numpy.zeros([num_row, 40], dtype='<U16')
        j = 0
        num_temptemp = my_data_temptemp.shape[0]

        for i in range(num_temptemp):
            if float(my_data_temptemp[i, 39]) < 0:
                my_data_temptemp[i, 38] = 0
                my_data_temptemp[i, 39] = 0

        for i in range(num_temptemp):
            if float(my_data_temptemp[i, 38]) > float(delay_min):
                delay_all[j, :] = my_data_temptemp[i, :]
                j = j + 1

        delay_all = numpy.delete(delay_all, slice(j, num_row), 0)
        num_save = delay_all.shape[0]
        delay_all_save = numpy.zeros([num_save, 8], dtype='<U16')
        delay_all_save[:, :] = delay_all[:, [0, 26, 27, 18, 38, 1, 2, 39]]
        delay_all_save = delay_all_save[numpy.argsort(delay_all_save[:, 1])]
        delay_all_saves = numpy.append(delay_all_saves, delay_all_save, axis=0)

        # delay_all float souřadnice

        delay_all = delay_all[numpy.argsort(delay_all[:, 18])]
```

```
        num_delay = delay_all.shape[0]
        coor_fl = numpy.zeros([num_delay, 2])

        for i in range(num_delay):
            coor_fl[i, 0] = float(delay_all[i, 1])
            coor_fl[i, 1] = float(delay_all[i, 2])

        delay_all = numpy.append(delay_all, coor_fl, axis=1)

        # konečné souřadnice, pro každý shape, pro každý směr

        start = 0
        y = 0
        cond = s*float(podminka)/200
        print('podmínka:', cond)

        for i in range(1, num_delay):
            conda = num_delay - 1
            if delay_all[i, 18] != delay_all[i - 1, 18] or i == conda:
                temp = delay_all[start:i, :]
                temp = temp[numpy.argsort(temp[:, 27])]
                num_temp = temp.shape[0]
                temp_start = 0
                j = 1
                for j in range(1, num_temp):
                    tempa = temp[0:j - 1, :]
                    numa = tempa.shape[0]

                    if temp[j, 27] != temp[j - 1, 27]:
                        tempb = temp[j:num_temp, :]
                        numb = tempb.shape[0]
                        if numb > cond:
                            temp_final = tempb
                            coor_info = numpy.append(coor_info,
                                temp_final, axis=0)
                            numb = cond
                        break
                if numa > cond:
                    temp_final = tempa
                    coor_info = numpy.append(coor_info, temp_final,
                        axis=0)
                    numa = cond
                temp_start = j
                start = i
        start_all = k

delay_all_saves = numpy.delete(delay_all_saves, 0, 0)
coor_info = numpy.delete(coor_info, 0, 0)
num_coor = coor_info.shape[0]
coor_save = numpy.zeros([num_coor, 2])
for i in range(num_coor):
    coor_save[i, 0] = float(coor_info[i, 1])
    coor_save[i, 1] = float(coor_info[i, 2])

num_saves = delay_all_saves.shape[0]
coor_all = numpy.zeros([num_saves, 2])
for i in range(num_saves):
    coor_all[i, 0] = float(delay_all_saves[i, 5])
    coor_all[i, 1] = float(delay_all_saves[i, 6])
```

```
# uložení souřadnic a informací
foldername = 'results_' + str(delay_min) + 's_' + str(podminka) + '%'
os.mkdir(foldername)

save_path = 'D:\\fd\\škola\\BP\\pythonProject\\' + foldername + '\\'
delay_info = save_path + 'delay_info' + '_' + str(delay_min) + 's_' + str(podminka) + '.csv'
delay_coordinates = save_path + 'delay_coordinates' + '_' + str(delay_min) + 's_' + str(podminka) + '.txt'
delay_all = save_path + 'delay_all' + '_' + str(delay_min) + 's_' + str(podminka) + '.csv'

numpy.savetxt(delay_info, coor_info, delimiter=";",
              header="latitude;longitude;route_name;direction;shape_distance", fmt='%s', comments='')
numpy.savetxt(delay_coordinates, coor_save, delimiter=";", fmt='%s')
numpy.savetxt(delay_all, delay_all_saves,
              header="time;route_name;direction;shape_distance;delay_increase"
                     ";latitude;longtitude;section_distance", delimiter=";", fmt='%s', comments='')

delay_coordinates_split = save_path + 'delay_coordinates_split' + '_' + str(delay_min) + 's_' + str(podminka) + '.json'
delay_coordinates_all = save_path + 'delay_coordinates_all' + '_' + str(delay_min) + 's_' + str(podminka) + '.json'

li = []
for i in range(num_coor):
    d = OrderedDict()
    d['type'] = 'Feature'
    d['geometry'] = {
        'type': 'Point',
        'coordinates': [coor_save[i, 0], coor_save[i, 1]]
    }
    d['properties'] = {'number': coor_info[i, 26],
                       'direction': coor_info[i, 27],
                       'shape distance': coor_info[i, 18],
                       'section distance': coor_info[i, 39],
                       }
    li.append(d)

d = OrderedDict()
d['type'] = 'FeatureCollection'
d['features'] = li
out_file = open(delay_coordinates_split, "w")
json.dump(d, out_file, indent=6)
out_file.close()

li = []
for i in range(num_saves):
    d = OrderedDict()
    d['type'] = 'Feature'
    d['geometry'] = {
        'type': 'Point',
        'coordinates': [coor_all[i, 0], coor_all[i, 1]]
    }
    d['properties'] = {'number': delay_all_saves[i, 1],
```

```
                        'direction': delay_all_saves[i, 2],
                        'shape distance': delay_all_saves[i, 3],
                        'section distance': delay_all_saves[i, 7],
                        }
    li.append(d)

d = OrderedDict()
d['type'] = 'FeatureCollection'
d['features'] = li
out_file = open(delay_coordinates_all, "w")
json.dump(d, out_file, indent=6)
out_file.close()
```

C Příloha 3 - Python kód pro zpracování dat o kongescích na segmentech

```
import os
import numpy
from numpy import genfromtxt

my_data_final = numpy.zeros([1, 16])
time_all = input("Zadejte počet zkoumaných hodin celkem: ")

for filename in os.listdir("."):
    if filename.endswith('.csv'):
        print(filename)
        filename = 'D:\\fd\\škola\\BP\\pythonProject2\\' + filename
        my_data_te = genfromtxt(filename, delimiter=';', dtype='str')
        num_row = my_data_te.shape[0]

        for i in range(num_row):
            if my_data_te[i, 10] == '1':
                my_data_final = numpy.append(my_data_final, my_data_te[
                    i:i+1, :], axis=0)


my_data_final = numpy.delete(my_data_final, 0, 0)
my_data_final = my_data_final[numpy.argsort(my_data_final[:, 2])]
num_segment = my_data_final.shape[0]

ind = 0
row = 0
var_str = numpy.zeros([num_segment, 17], dtype='<U16')

for i in range(1, num_segment):
    cond = num_segment - 1
    ind = ind+1
    if my_data_final[i, 2] != my_data_final[i-1, 2] or cond == i:
        ind = ind + 1
        var_str[row, 0:16] = my_data_final[i-1:i, :]
        var_str[row, 16] = ind
        row = row + 1
        ind = 0

var_str = numpy.delete(var_str, slice(row, num_segment), 0)
var_str[:, 0] = var_str[:, 1]
var_str[:, 1] = var_str[:, 2]
var_str[:, 2] = var_str[:, 16]
num_var = var_str.shape[0]
for i in range(num_var):
    var_str[i, 3] = round((float(var_str[i, 2]))/60, 2)
    var_str[i, 4] = round(((float(var_str[i, 3])/float(time_all))*100),
        2)
    var_str[i, 3] = str(var_str[i, 3].replace('.', ','))
    var_str[i, 4] = str(var_str[i, 4].replace('.', ','))

var_str = numpy.delete(var_str, slice(5, 17), 1)
var_str = var_str[numpy.argsort(var_str[:, 0])]

numpy.savetxt('D:\\fd\\škola\\BP\\pythonProject2\\segment_sep.csv',
    var_str, delimiter=";",
```

```
53                  header="ulice;tmc_id;Počet zpoždění;hodin kongesce;% měř
                        ený čas", fmt='%s', comments='')
```