



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA DOPRAVNÍ

Bc. Karolína Pecinová

NÁVRH SYSTÉMU HLÍDÁNÍ DODRŽOVÁNÍ
STANOVENÉ TRASY AUTOBUSU

Diplomová práce

2020

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

děkan

Konviktská 20, 110 00 Praha 1



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

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

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Bc. Karolína Pecinová

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

N 3710 – DS – Dopravní systémy a technika

Název tématu (česky): **Návrh systému hlídání dodržování stanovené trasy autobusu**

Název tématu (anglicky): Design of a System for Monitoring the Observance of a Specified Bus Route

Zásady pro vypracování

Při zpracování diplomové práce se řiďte následujícími pokyny:

- popište stávající způsob realizace funkce v PID, analyzujte silné a slabé stránky tohoto řešení
- navrhnete nový způsob realizace eliminující slabé stránky stávajícího řešení
- popište SW a HW nutný pro realizaci funkce a vstupní podmínky a parametry pro správnou funkci systému
- navrhnete vhodný způsob indikace odchylky od trasy pro řidiče a pro dispečera



- Rozsah grafických prací: dle požadavků vedoucího práce
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 55 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: Hrubý, M., Geografické Informační Systémy (GIS), Studijní opora. VUT v Brně, 2006.
Šebesta, J., Globální navigační systémy. VUT v Brně, 2012, ISBN 978-80-214-4500-0.
Almomani, I. et al, Ubiquitous GPS Vehicle Tracking and Management System. IEEE Conference, 2011.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Milan Sliacky, Ph.D.**

Datum zadání diplomové práce: **27. června 2019**
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání diplomové práce: **18. května 2020**
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

Ing. Zuzana Bělinová, Ph.D.

vedoucí
Ústavu dopravní telematiky



doc. Ing. Pavel Hrubeš, Ph.D.

děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.

Bc. Karolína Pecinová

jméno a podpis studenta

V Praze dne.....27. června 2019

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucímu odboru dispečerské činnosti ROPID Ing. Oldřichovi Kadavému a Ing. Milanu Podolákovi, Ph.D. ze společnosti Chaps s.r.o. za poskytnutí konzultací a podkladů potřebných pro tvorbu této práce. Zároveň velký dík patří vedoucímu mé práce, Ing. Milanu Sliackému, Ph.D., za cenné rady a připomínky.

PROHLÁŠENÍ

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

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

V Praze dne 10. 08. 2020

.....
podpis

NÁVRH SYSTÉMU HLÍDÁNÍ DODRŽOVÁNÍ STANOVENÉ TRASY AUTOBUSU

diplomová práce
srpen 2020
Bc. Karolína Pecinová

ABSTRAKT

Předmětem diplomové práce „Návrh systému hlídání dodržování stanovené trasy autobusu“ je návrh rozšíření dispečerského programu Monitorování provozu vozidel o modul pro vyhodnocení odchylky od stanovené trasy autobusu. Práce se rovněž zabývá určením nezbytného hardwarového a softwarového vybavení spolu se stanovením vstupních předpokladů a podmínek pro správnou funkci systému a návrhem způsobu indikace odchylky od stanovené trajektorie vozidla pro dispečera i řidiče.

Klíčová slova: dispečerské řízení, sledování provozu vozidel, odchylka od trajektorie

ABSTRACT

The subject of the diploma thesis "Design of a system for monitoring the observance of a specified bus route" is to design an extension for the dispatching program Monitorování provozu vozidel by a module for evaluating the deviation from the specified bus route. The thesis also deals with the determination of the necessary hardware and software equipment together with the determination of input assumptions and conditions for the correct function of the system and the design of a method for indication the deviation from the specified vehicle trajectory for the dispatcher and the driver.

Keywords: dispatching management, vehicle operation monitoring, deviation from the vehicle trajectory

Obsah

Úvod	6
1 Charakteristika Pražské integrované dopravy	8
2 Koordinační dispečink Pražské integrované dopravy	11
3 Sledování vozidel v reálném čase.....	13
3.1 Geografický informační systém.....	16
3.1.1 Souřadnicové systémy Geografických informačních systémů.....	16
3.1.2 Analýza sítí.....	18
3.2 Globální navigační družicové systémy	18
3.2.1 Princip určení polohy	20
3.2.2 Přesnost určení polohy	21
3.3 Systémy pro sledování vozidel.....	24
3.3.1 Monitorování provozu vozidel	25
3.4 Vybavení vozidel.....	34
4 Systém hlídání dodržování stanovené trasy autobusu.....	39
4.1 Srovnání výhod a nevýhod současného způsobu indikace	40
4.2 Návrh nového způsobu realizace systému.....	41
4.2.1 Analýza lokalizačních zpráv.....	43
4.2.2 Algoritmus vyhodnocení odchylky od stanovené trasy	50
4.2.3 Aplikace hodnot na reálné případy nedodržení trasy	53
4.3 Softwarové a hardwarové vybavení pro realizaci systému.....	55
4.4 Indikace odchylky od stanovené trasy.....	55
Závěr.....	57
Použité zdroje	59
Seznam obrázků	63
Seznam tabulek.....	64
Seznam příloh	65

Seznam použitých zkratk

ASW JŘ	aplikační software pro tvorbu jízdnic řádů
CEDIS	Centrální dopravní informační středisko
CIS JŘ	Celostátní informační systém o jízdnicích řádech
CISReal	Centrální informační systém s daty v reálném čase, nadstavba CIS JŘ
CRWS	systém webových služeb CISReal
DGNSS	<i>Differential Global Navigation Satellite System</i>
DOP	<i>Dilution of precision</i> , parametr přesnosti
DPP	Dopravní podnik hl. m. Prahy
GBAS	<i>Ground Based Augmentation System</i>
GIS	geografický informační systém
GLONASS	<i>Globalnaja Navigacionnaja Sputnikovaja Sistěma</i>
GNSS	globální navigační družicové systémy
GPS	<i>Global Positioning System</i>
IAD	individuální automobilová doprava
IDS	integrováný dopravní systém
IDSK	Integrovaná doprava Středočeského kraje
IMEI	unikátní číslo modemu v dispečerském systému
JŘ	jízdnicí řád
MHD	městská hromadná doprava
MPV	Monitorování provozu vozidel, dispečerský systém
NDIC	Národní dopravní informační centrum
PID	Pražská integrovaná doprava
PID.TT	datový soubor, který obsahuje provozní vlastnosti a parametry linek a spojů
PP	palubní počítač
PPP	<i>Precise Point Positioning</i>
ROPID	Regionální organizátor Pražské integrované dopravy
SBAS	<i>Satellite-based Augmentation System</i>
SID	Středočeská integrovaná doprava
S-JTSK	Souřadnicový systém Jednotné trigonometrické sítě katastrální
SS	souřadnicový systém
UTM	<i>Universal Transverse Mercator Geographic Coordinate System</i>
VDV	Veřejná doprava Vysočiny
WGS	<i>World Geodetic System 84</i>
ZIS	zastávkový informační systém

Úvod

Pro zajištění efektivní obsluhy území, schopné konkurovat individuální automobilové dopravě (IAD), je vhodné soustředit veřejnou dopravu do integrovaných systémů, jejichž hlavním znakem je jednotnost. Tyto systémy fungují na základě koordinované spolupráce více dopravců a mizí tak konkurenční prostředí. Jednotlivé druhy dopravy jsou využívány tak, aby byly maximalizovány jejich výhody a minimalizovány nevýhody, jsou propojené a navzájem na sebe logicky navazují. Prostředníkem mezi objednateli dopravní obsluhy a samotnými dopravci jsou zpravidla organizátoři, kteří zřizují vlastní centrální koordinační dispečinky sloužící pro dohled nad provozem a dopravci a stanovování jednotných opatření napříč dotčenými subjekty v případě mimořádných situací v provozu. Jedním z největších integrovaných dopravních systémů na území České republiky je Pražská integrovaná doprava (PID). Se stále rostoucím počtem nově integrovaných oblastí PID, a tím vznikajících vyšších nároků na dispečery, vyvstává potřeba maximální možné automatizace úkonů, které by mohly práci dispečera podpořit či zjednodušit, a poskytnout tak prostor pro identifikaci a řešení situací vyžadujících ruční zásah. Jedním z takových vylepšení je i systém hlídání dodržování stanovené trasy autobusu, který by samočinně identifikoval vozidla, která se nacházejí mimo určenou trasu – tzv. sjetí, a upozornil by o této skutečnosti dispečera, případně i řidiče.

Cílem diplomové práce je návrh systému a algoritmu pro vyhodnocení dodržování stanovené trasy autobusu, určení vstupních podmínek/parametrů pro správnou funkci systému a návrh vhodného způsobu indikace odchylky od trasy pro řidiče i dispečera. Práce se skládá z teoretické a praktické části. První část umožňuje čtenáři získat přehled o základních charakteristikách systému PID, ke kterému je tato práce vztážena. Dále je zde vymezena role koordinačního dispečinku, respektive koordinačních dispečerů, kterým má systém hlídání dodržování stanovené trasy sloužit především. Teoretická část se dále zaměřuje na vytyčení podmínek ke sledování vozidel na stanovené trase v reálném čase.

Podkladem pro praktickou část je analýza lokalizačních zpráv a jejich odchylek od stanovené trasy z dispečerského systému Monitorování provozu vozidel (MPV), který je využíván v PID. Na základě této analýzy byl zvolen spodní limit vzdáleností a počet odeslaných lokalizačních zpráv z vozidla, od kterých bude odchýlení považováno za sjetí, a samotný návrh systému pro hlídání dodržování stanovené trasy autobusu. Dalším krokem bylo stanovení softwarového a hardwarového vybavení nezbytného pro správnou funkci systému a v poslední řadě také zvolení vhodného způsobu indikace sjetí.

Tato práce slouží i jako podklad pro vývojáře MPV, kteří evidují požadavek na novou funkci hlídání dodržování trasy vozidla na lince – práce v souvislosti s rozšířením o tuto funkcionalitu byly v průběhu tvorby diplomové práce zahájeny. Zároveň jsou v práci uvedeny požadavky na dodavatele odbavovacích zařízení provozovaných v systému PID. V závěru práce jsou také představeny dílčí doporučení na úpravu jednotlivých modulů dispečerského programu MPV v souvislosti s návrhem nového systému vycházející ze zkušeností autorky.

1 Charakteristika Pražské integrované dopravy

IDS je systém zahrnující více dopravců a módů dopravy, který je kompaktní, jednotný a orientovaný na potřeby obyvatel a objednatelů dopravy. Jednotnost je dosažena jak v oblasti tarifní, tak v oblasti přepravy, kdy jsou stanoveny její jednotné podmínky, včetně jednotného informačního systému, i určitá záruka kvality poskytované služby. Jednotlivé druhy dopravy, respektive linky, jsou navzájem časově a prostorově koordinovány a integrovaný systém vystupuje vůči veřejnosti jako jeden celek.

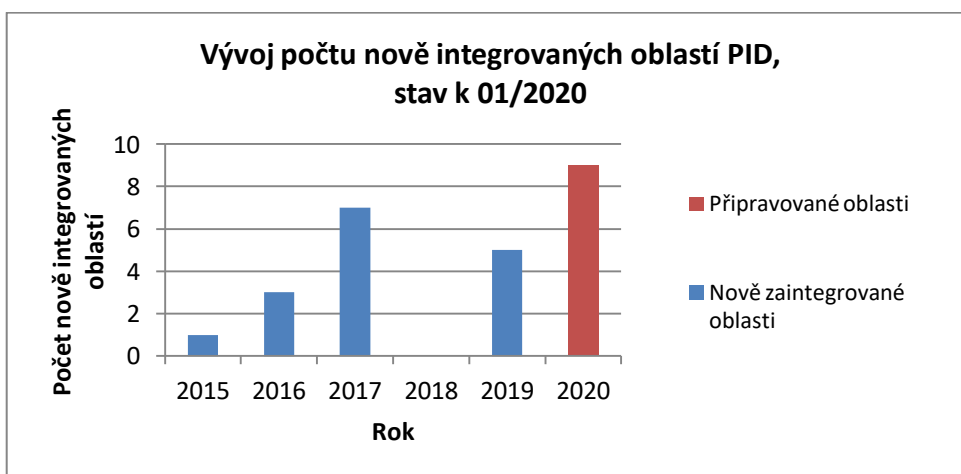
Na území ČR se v současné době (leden 2020) nachází 14 IDS, a to zpravidla v každém kraji. Nejnovějším integrovaným systémem je Veřejná doprava Vysočiny (VDV), která byla spuštěna v březnu 2020. V souvislosti s přípravami však došlo k úpravám jízdních řádů na železnici již v prosinci 2019 v rámci celostátních změn z důvodu zlepšení návazností. Od března bylo do systému zapojeno 9 autobusových dopravců, o měsíc později byl systém rozšířen o další dva; městská doprava zatím zapojena nebude. [1]

PID je prvním IDS v ČR, v takové podobě, v jaké známe IDS dnes. Jeho vznik je datován k roku 1992, kdy byl 11. ledna zahájen provoz dvou příměstských autobusových linek – 351 a 352 na základě dohody hlavního města, obcí Ořech a Hovorčovice a okresních úřadů Praha-východ a Praha-západ z 20. prosince 1991. Významnějším krokem však bylo zapojení železniční dopravy, respektive 23 stanic a zastávek ve vzdálenosti cca 10 km od centra Prahy 1. října 1992. Regionální organizátor Pražské integrované dopravy (ROPID) byl založen na konci listopadu 1993 zastupitelstvem hlavního města Prahy – jeho činnost byla zahájena prvního prosince téhož roku. O osm měsíců později došlo k prvním uzavřeným smlouvám o provozování linek městské autobusové dopravy a rozšíření spolupráce na železnici (uznávání jízdenek) pro celé území Prahy. V roce 1995 se uskutečnilo první výběrové řízení na dopravce regionální linky autobusu. Na konci května téhož roku došlo k zavedení jednotného tarifu – od původního uznávání jízdenek souběžných linek různých dopravců bylo upuštěno. [2]

Integrace PID ve smyslu zahrnutí všech módů dopravy provozovaných více dopravci ve vymezené oblasti probíhá od roku 2015 na základě spolupráce hlavního města Prahy a Středočeského kraje, respektive ROPID a Integrované dopravy Středočeského kraje (IDSK). Přípravy k vytvoření společného integrovaného systému zmíněných krajů probíhají od roku 2013. Prvním krokem byla analýza současného stavu, jejímž výsledkem byly tzv. integrační dokumenty, které doporučovaly založení nového organizátora – na základě tohoto byla k 1. dubnu 2017 založena organizace IDSK zřízená Středočeským krajem. [3]

Základ připravovaného systému tvořila původní síť PID s cílem vytvořit jednotný celek připojením dosud nezintegrováných oblastí nebo oblastí doposud spadající pod systém Středočeské integrované dopravy (SID), který má později zaniknout. Po skončení integrace všech oblastí dle stanoveného harmonogramu má být společný dopravní systém Prahy a Středočeského kraje největším IDS v ČR s obsluhou území přes 11 500 km² a 24 % z celkového počtu obyvatel ČR. Původní plány na zaintegrování území obou krajů hovořili o dokončení do roku 2018 [4], výhled v roce 2019 předpokládal kompletní dokončení v roce 2021 [5]. Celosvětová pandemie koronaviru COVID-19 a následná protivirová opatření v oblasti integrované dopravy však měla za následek neblahý zásah do příjmů Prahy i Středočeského kraje a s tím související pozastavení integrování nových oblastí.

První zaintegrovanou oblastí byla oblast Mělnicka a Neratovicka, která byla realizována jako pilotní projekt spolupráce organizací ROPID a IDSK k 7. dubnu 2015. Během následujících čtyř let došlo k připojení celkem patnácti nových oblastí k PID. Harmonogram integrace na rok 2020 počítá se zapojením dalších 9 oblastí [55]; celkově pak zbývá připojit 17 oblastí Středočeského kraje a 4 systémy městské hromadné dopravy (MHD). [4]. Přehled vývoje počtu nově integrovaných oblastí PID od roku 2015 zobrazuje graf 1. V grafu nejsou zahrnuty integrace, které se týkaly pouze dopravy železniční.



Graf 1 – Vývoj počtu nově integrovaných oblastí PID k 01/2020 [4 – vlastní zpracování]

Původní systém SID v sobě nezahrnoval železniční dopravu a nedal se tak považovat za IDS v pravém slova smyslu. V PID byl potenciál železnice poprvé využit při povodních v roce 2002. K většímu rozvoji železnice v PID došlo v roce 2007, kdy byl spuštěn systém Esko, a také při zahájení provozu na tzv. Novém spojení v roce 2008. [6] K 1. říjnu 2018 došlo k dokončení integrace veškerých vlaků (osobních, spěšných a rychlíků) na území Prahy i Středočeského kraje v rámci společného systému. [7]

S přibývajícimi oblastmi integrace dochází k zapojování nových dopravců i k omezování jejich počtů z důvodu vypršení platnosti smluv o veřejných službách v přepravě cestujících, standardně uzavíraných na deset let, a nutnosti nového přesoutěžení linek. Mění se také počty linek v systému, kdy jsou zaváděny linky nové, optimalizovány stávající nebo rušeny linky původní. Stejný trend vykazují i počty spojů. Tyto změny však nejsou striktně vázány na integrace do PID, ale probíhají celoročně v rámci trvalých změn dopravy. Přehled vývoje zmíněných charakteristik PID od roku 2015 přináší tabulka 1. U počtu linek a spojů jsou uvažována jejich průměrná množství v pracovní den.

Tabulka 1 – Vývoj počtu významných charakteristik PID [MPV – vlastní zpracování]

Počet	Rok				
	2015	2016	2017	2018	2019
Dopracvi	18	18	24	27	27
Linky	386	405	490	514	556
Spoje	35 040	35 408	39 511	40 468	42 048

Výrazný nárůst počtu vybraných charakteristik v roce 2017 je dán zaintegrovaním sedmi nových oblastí do systému PID. Provoz v roce 2018 byl ovlivněn personální krizí provozních zaměstnanců dopravců a s tím spojenou nutností úpravy provozu. [8] [9]

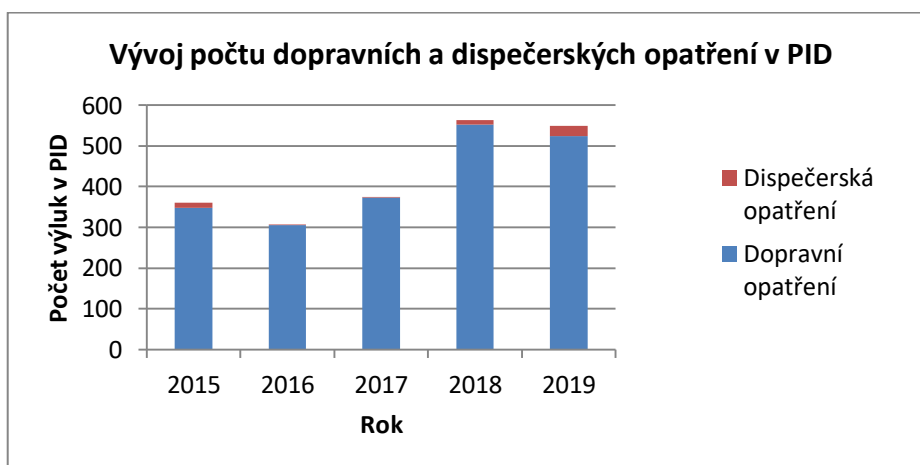
Systém PID je tvořen šesti druhy dopravy: autobusovou, lodní, tramvajovou, železniční, a dále provozem metra a lanové dráhy. Největší dopravce v PID – Dopravní podnik hl. m. Prahy (DPP) – provozuje navíc linku trolejbusovou, avšak trolejové vedení je realizováno pouze v jednom úseku sítě v délce cca 800 m, a proto byly charakteristiky týkající se trolejbusů zařazeny pod dopravu autobusovou. Počty dopravců, linek a spojů pro jednotlivé módy dopravy spolu s jejich vývojem v letech 2015-2019 jsou uvedeny v příloze 1.

Pro dohled nad nasmlouvanými výkony a jejich porovnání vzhledem ke grafikonu v reálném čase bývají organizátorem integrovaného systému zpravidla zřizovány koordinační dispečinky. Popis dispečinky PID, jeho význam a náplň činnosti dispečerů je uveden v následující kapitole.

2 Koordinační dispečink Pražské integrované dopravy

Koordinační dispečink PID zahájil svůj ostrý provoz v srpnu 2012 po dvouměsíčním provozu zkušebním. V roce 2012 bylo do systému zapojeno 17 dopravců provozujících 384 linek na 34 805 spojích, kdy byl dispečink obsazen třemi zaměstnanci. K únoru 2020 je zaměstnáno dispečerů 13, kteří mají na starosti 27 dopravců na 548 linkách. Současný stav linkového vedení (k srpnu 2020) v PID je uveden v příloze 2.

Dispečink organizátora dopravy má poněkud jinou funkci, než dispečink dopravce. Neřeší provozní záležitosti, jako je personální obsazení nasmlouvaných výkonů nebo zajišťování servisu autobusů. Jeho úkolem je zejména stanovení jednotných opatření v případě mimořádné události napříč všemi dotčenými dopravci v systému, dohled nad garantovanými návaznostmi a podpora jejich zajišťování, a obecně opora pro dispečinky dopravců. Mimo již zmíněné je náplní práce dispečerů informování cestujících v případě mimořádné události mimo provozní dobu informačního dispečinku. Denně jsou navíc zaznamenávány provozní nepravidelnosti, které jsou pak dále zpracovány, a slouží tak jako jeden z podkladů pro stanovení sankcí smluvním dopravcům. Dispečink PID dále řídí činnost vozidla operativní zálohy dopravce Arriva City mezi jeho čtyřmi provozovny. Další náplní činnosti dispečerů je sledování dopravních opatření s důrazem na první den a den po skončení jeho platnosti, kdy je sledován nejen reálný provoz dopravních prostředků, ale také zapracování opatření do dispečerského systému. V případě náhlého omezení provozu s předpokladem trvání delším než jeden den (typicky například havárie plynovodu či vodovodního řadu) jsou dispečery zhotovována dispečerská opatření, která pak nejsou do dispečerského systému promítnuta. Přehled vývoje počtu dopravních a dispečerských opatření od roku 2015 přináší graf 2.



Graf 2 – Vývoj počtu dopravních a dispečerských opatření [vlastní zpracování]

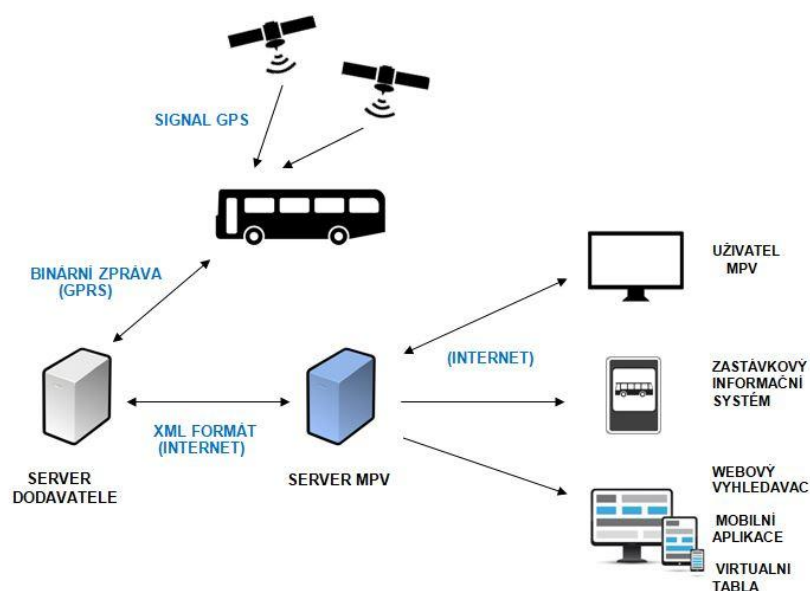
Součástí práce dispečerů je také terénní činnost zajišťovaná dvěma služebními vozidly, při kterých probíhá kontrola dopravních a dispečerských opatření, kontrola stanovených odstavů vozidel v dopravních terminálech, podpora řidičů při spuštění nových integrací, seznání s novou oblastí PID, dohled nad garantovanými návaznostmi nebo asistence při zajišťování provozu v místě mimořádné události. Kromě výše zmíněného je náplní dispečerů samozřejmě dozor nad dopravní situací a kontrola jízdy spojů vzhledem ke grafikonu (odchylka od JŘ nebo požadovaného typu vozidla na spoji) v dispečerském systému. Obsluhované území spoji PID činilo v roce 2019 8 319 km² [10], přičemž jednotliví dispečeré nemají ve směně striktně rozdělené oblasti, kterým se věnují, a proto je nutná dobrá znalost celého systému.

Jak vyplývá z výše zmíněného, práce dispečerů je velmi rozmanitá a je proto nutné mít k dispozici co nejvíce nástrojů pro ulehčení a zkvalitnění jejich práce s minimální prodlevou mezi přijetím požadavku a jeho vyřešením, a maximální mírou automatizace. Tyto nástroje bývají sdružovány do dispečerských systémů, které jsou zpravidla každému IDS, respektive koordinačnímu dispečinku, vytvořeny na míru dle jeho požadavků. Základ programového vybavení je založen na principu porovnání plánované jízdy vozidel s jízdou skutečnou. Popis komunikace, toků dat a podmínek ke sledování vozidel je uveden v následující kapitole.

3 Sledování vozidel v reálném čase

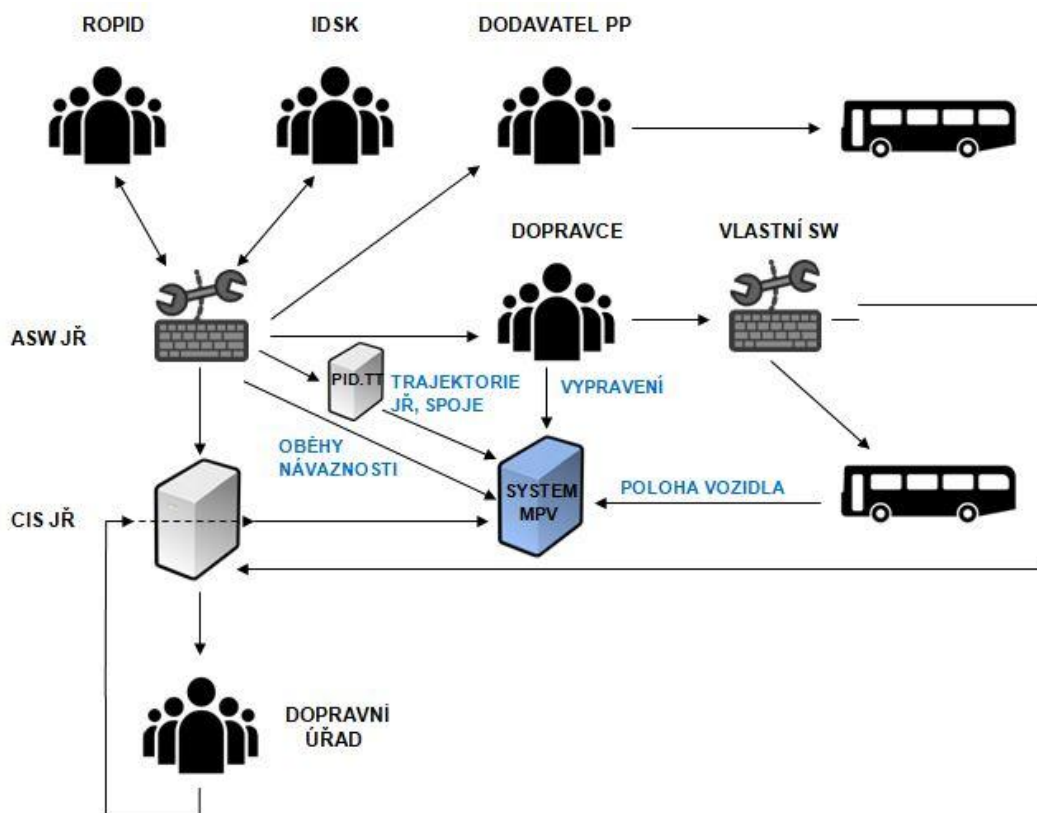
Základem dispečerských systémů je sledování vozidel v reálném čase. Aby bylo sledování funkční, musí být všechna vozidla v systému vybavena zařízeními umožňujícími komunikaci a identifikace polohy, eventuálně je jejich pozice zaznamenávána jiným způsobem (Dopravní deník na železnici). Jelikož je tato práce zaměřena na dopravu autobusovou, bude dále popisována komunikace a toky dat týkající se právě jí.

Vozidla vysílají binární zprávy přes veřejnou radiovou síť / síť mobilního operátora na server dodavatele zařízení – v PID Apex, EMTEST, KonekTel, Mikroelektronika a Telmax. Dodavatelem jsou tyto zprávy převedeny do formátu XML a odeslány na server centrálního dispečinku MPV prostřednictvím veřejného internetu, kde jsou uloženy do databáze. Z ní mohou být zobrazeny uživateli MPV, na zastávkových informačních systémech (ZIS), případně virtuálních zastávkových tablech, v mobilních aplikacích nebo na webových stránkách vyhledávačů spojení. Virtuálním tablem je myšlena webová stránka, která zobrazuje stejné informace, jako by zobrazoval ZIS, kdyby byl v prostoru zastávky osazen. Identifikace vozidla a přiřazení zpráv k němu probíhá na základě čísla IMEI, které je jedinečné pro každý modem v PID, a musí být v aplikaci MPV spárováno s daným vozem. Komunikace mezi vozidlem a MPV je obousměrná. Zjednodušená schéma komunikace autobusu a MPV je zobrazeno na obrázku 1.



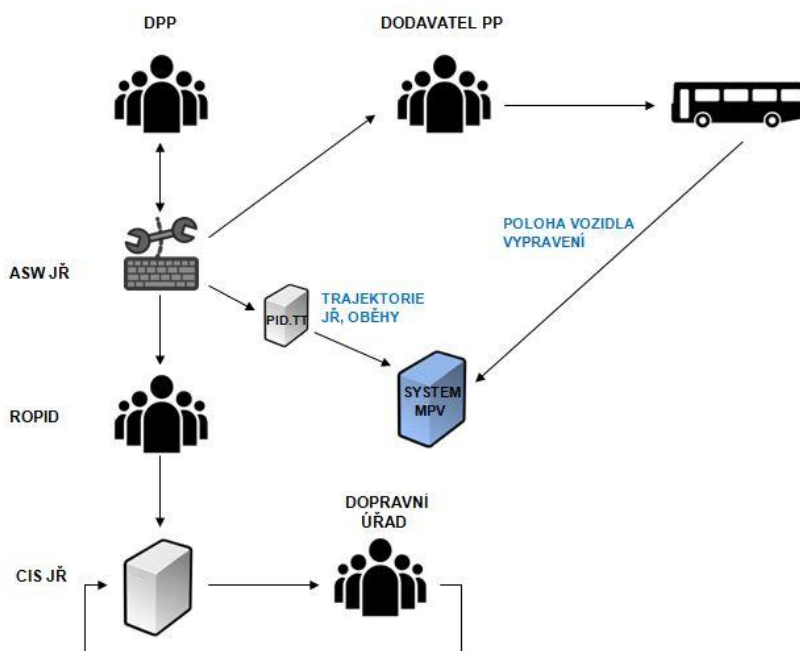
Obrázek 1 – Zjednodušené schéma komunikace autobusu a MPV [vlastní zpracování]

Organizátory dopravy, respektive projektanty organizací ROPID a IDSK, jsou připravovány jízdní řády (JŘ) v databázi ASW JŘ – tj. softwaru pro tvorbu JŘ. Výstupy z této databáze jsou zasílány dopravcům, kteří si je dále zpracují ve svém softwaru, a nahrají do palubních počítačů (PP); u některých dopravců přejímá nahrání do vozidel dodavatel zařízení. Výstupy jsou současně zaslány do Celostátního informačního systému o JŘ (CIS JŘ), kde dochází ke schvalování dopravním úřadem. Do CIS JŘ jsou také nahrávány data upravená v softwaru jednotlivých dopravců. V minulosti sloužila jako zdroj časových poloh spojů pro MPV právě databáze CIS JŘ, ale počátkem roku 2020 bylo zahájeno spuštění načítání dat z PID.TT (obrazu databáze ASW JŘ), které reprezentuje reálná data v databázi ASW JŘ a ne obraz CIS JŘ. Z PID.TT se do MPV načítají data o JŘ, spojích, souřadnice zastávek a trajektorie; návaznosti a oběhy se načítají přímo z ASW JŘ. Pro správnou funkci MPV je nutné dopravcem ručně přiřadit k oběhům vozidla, která budou na dané výkony nasazena, a mít v aplikaci MPV tato vozidla zařazena, a to včetně správného čísla IMEI. Posledním krokem je pak znalost fyzické polohy autobusu, která je určována dle obrázku 1. Obrázek 2 pak představuje zjednodušený tok dat pro autobusy PID mimo vozidel DPP.



Obrázek 2 – Zjednodušený tok dat pro autobusy v PID (vyjma DPP) [vlastní zpracování]

Zmíněné toky dat i schéma komunikace vozidla s MPV jsou stejná pro všechny dopravce v PID. Výjimku však tvoří DPP, kde jsou zprávy z vozu posílány prostřednictvím digitální radiové sítě TETRA na server dodavatele (pro DPP KonekTel), dále přes server DPP a Chapsu (vývojáře MPV) na server MPV. JŘ jsou tvořeny odborem Jízdní řády DPP v ASW JŘ s ohledem na požadavky organizátora, jako je provozní období, vedení linek nebo jejich interval. Výstupy z databáze jsou poté zasílány na ROPID, který je nahraje ve formátu JDF do databáze CIS JŘ, kde jsou následně schváleny dopravním úřadem. Data jsou dále z DPP zasílána dodavateli PP, kterým jsou nahrávána v prostoru garáží do jednotlivých vozů pomocí bezdrátové sítě. Načítání dat do MPV probíhá z databáze PID.TT, vypravení vozu na výkon pak automaticky na základě zadané služby řidičem v PP. Tok dat pro autobusy DPP je patrný z obrázku 3.



Obrázek 3 – Zjednodušený tok dat pro autobusy DPP [vlastní zpracování]

Pro úplnost jsou v následujících podkapitolách uvedeny okruhy témat, které souvisejí se sledováním vozidel v reálném čase a potažmo i se systémem hlídání dodržování stanovené trasy autobusu, který je předmětem této práce. Jsou zde uvedeny základní principy a důležité okruhy pro tuto práci z geografických informačních systémů (GIS) a globálních navigačních družicových systémů (GNSS), jakožto podborů geoinformatiky, a základy systémů pro automatické sledování polohy vozidel a správu vozového parku Automatic Vehicle Location (AVL) Dále je zde představen dispečerský systém PID MPV a specifikace komponent pro určení polohy vozidla využívaných v autobusech PID.

3.1 Geografický informační systém

GIS je elektronický systém, který pracuje s geografickými informacemi, tzn. informacemi o již existujících objektech spolu s jejich polohami v prostoru a s prostorovými vztahy mezi nimi. GIS není tvořen pouze softwarem a daty, ale také hardwarem, metodami využití a uživateli systému. Jednotlivé geometrické objekty jsou v případě vektorové reprezentace na mapě v určitém měřítku a souřadném systému reprezentovány body, liniemi a plochami lišícími se svou dimenzí, tedy schopností měřit délku v rozměrech. V případě rastrové struktury je naopak povrch zobrazen jako mřížka buněk, které mohou být čtvercové, trojúhelníkové nebo hexagonální, uspořádané pravidelně či nepravidelně do tzv. mozaiky. Každá buňka pak nese hodnotu atributu zkoumaného (nejčastěji spojitě se měnícího) jevu s předpokladem, že je buňka svým rozměrem dostatečně malá na to, aby se na jejím povrchu hodnota měnila. Pro bližší specifikaci objektů jsou údaje o nich rozšířeny o neprostorovou informaci, která je uchovávána v oddělené, avšak provázané databázi. Existují také hybridní datové modely, které integrují vlastnosti obou struktur, kdy jsou data uložena jak ve vektorovém, tak v rastrovém modelu zároveň, avšak s rizikem redundance.

Finančně i časově nejnáročnější částí projektu je sběr dat. Geodata jsou získávána z primárních a sekundárních zdrojů, přičemž primárními jsou označována data získaná z přímých měření v území (nebo nějakou formou nekontaktního pořízení) a sekundárními data získaná z již jednou zpracovaných primárních dat. Mezi primární řadíme data z geodetických měření, data získaná z fotogrammetrie či pomocí GPS nebo z Dálkového průzkumu Země, tj. letecké či družicové snímky. Sekundárními daty jsou konveční (papírové) mapy, převedené do vektorového nebo rastrového formátu pomocí digitalizace nebo skenování a následné vektorizace a digitální prameny od jiných zpracovatelů. U sekundárních dat je důležité zejména zjistit souřadnicový systém, přesnost a měřítko nebo časový výhled pořízení. [11] [12]

3.1.1 Souřadnicové systémy Geografických informačních systémů

Souřadnicový systém (SS) je definován počátkem, souřadnicovými osami a jednotkami a umožňuje zaznamenat pozici elementu v prostoru, která je popsána sadou souřadnic nejvýše se třemi číselnými údaji (trojrozměrný prostor). V GIS nástrojích se zpravidla pracuje se systémy o dvou souřadnicích. Zeměpisné souřadnice je nutné vztáhnout ke konkrétnímu referenčnímu tělesu, Zemi, jejíž simplifikací je geoid. Geoid je plocha, která vyhlazuje členitý povrch Země a je umístěna v úrovni nulové nadmořské výšky, respektive střední hodnoty hladiny moře mezi přílivem a odlivem, a je v každém bodě kolmá na směr výslednice

gravitační a odstředivé síly – zemské tíhy. Ani zjednodušení pomocí geoidu však není dostatečné, neboť je jeho matematické vyjádření příliš složité, a proto je nahrazen referenčním elipsoidem charakterizovaným hlavní a vedlejší poloosou a zploštěním. Výběr elipsoidu, lépe řečeno délek poloos, je věcí spíše národního významu, neboť v různých místech Země je odlišná vzdálenost od geoidu a na větších plochách by mohlo docházet k příliš velkému kreslení. Globálním standardem je od roku 1984 globální elipsoid World Geodetic System (WGS-84). [11] [13]

V ČR rozeznáváme dva typy SS používaných v GIS nástrojích: globální (WGS-84, Universal Transverse Mercator Geographic Coordinate System (UTM)) a lokální (Souřadnicový systém Jednotné trigonometrické sítě katastrální (S-JTSK)). Souřadnice hledaného bodu obecně představují úhly (nebo vzdálenosti) vzhledem k referenčním bodům a přímkám vybrané SS. **WGS-84**, jinak také nazývaný systém šířka-délka, je vojenský SS s referenční plochou globálního elipsoidu WGS-84 s kartografickým zobrazením UTM. Jako počátek systému je zvolen hmotný střed Země, kdy je osa z totožná s osou její rotace a osy x a y leží v rovině rovníku. Polohu lze určit ze znalosti pravouhlých prostorových souřadnic x, y, z, ze zeměpisné šířky φ a délky λ nebo z pravouhlých rovinných souřadnic E a N (zobrazení UTM). Zeměpisná šířka udává úhel, který svírá bod na povrchu Země s rovinou rovníku, zeměpisná délka pak hodnotu úhlu mezi nultým poledníkem v Greenwich a místním poledníkem, který prochází daným bodem. V tomto SS se zobrazením UTM jsou uváděné také měření z GPS zařízení – více o nich pak v kapitole 3.2 *Globální navigační družicové systémy*. **S-JTSK** je národní SS ČR a Slovenska s referenční plochou Besselova elipsoidu, který používá dvojité konformní kuželovité zobrazení v obecné poloze, tzv. Křovákovo zobrazení. Počátek pravouhlé soustavy je obraz vrcholu kužele nad Petrohradem, osa x je tvořena obrazem základního poledníku $42^{\circ}30'$, kladná osa y směřuje na západ a jednotkou jsou metry. Systém souřadnic **UTM** rozděluje povrch elipsoidu mezi 80° jižní šířky a 84° severní šířky na šestistupňové pruhy po polednicích, kdy má každý pás svou SS. Její střed je průsečíkem rovníku a středového poledníku území. [12] [15]

Pro tuto práci je důležité zmínit postup při výpočtu vzdálenosti v geometrickém prostoru, který závisí na SS a typu geometrie. V pravouhlém SS je vzdálenost dvou bodů dána jejich přímkou spojnici, vzdálenost mezi bodem a přímkou je dána kolmicí nebo vzdáleností k nejbližšímu vrcholu a vzdálenost dvou přímek je určena nejkratší vzdáleností jejich vrcholů. [16] Pro účely systému hlídání dodržování stanové trasy bude důležitá vzdálenost dvou bodů – poloha referenčního bodu na trajektorii a jeho skutečná poloha. Při výpočtech lze uvažovat o Zemi jako o elipsoidu, ale často se pro zjednodušení povrch nahrazuje koulí, na které se počítá ortodoma (nejkratší vzdálenost dvou bodů). [17]

Ještě větším zjednodušením je výpočet vzdálenosti prováděný na úrovni Pythagorovy věty. Pokud je vzdálenost dvou bodů v kartézském SS menší než 20 km, pak použití tohoto zjednodušení bude mít za následek chybu menší než 20 metrů pro rozsah zeměpisné šířky ČR. [18]

3.1.2 Analýza sítí

Analýza sítí se v geoinformatice používá nejčastěji pro hledání cesty mezi dvěma nebo více místy, kdy cesta může být nejkratší, nejrychlejší nebo s nejmenšími náklady na základě volby uživatele. Analýza sítí se nejčastěji realizuje nad vektorovou strukturou, která se skládá z uzlů a orientovaných hran. Před samotnou analýzou je samozřejmě nezbytné vytvořit onu síť, která se skládá z liniové vrstvy (například uliční sítě), pravidel pro procházení jednotlivých uzlů (jednosměrné komunikace, zákazy odbočení, dopravní omezení,...) a dalších atributů doplňující síť (např. názvy zastávek). Pravidla pro pohyb v síti jsou uzlová a hranová, obvykle uložená v tabulkách atributů. [19] Plánovače tras provádějí jednoduché síťové analýzy, obdobně jako navigace. Tyto aplikace vyžadují přesný popis silnic, jako je klasifikace, rychlostní omezení, omezení odbočení, jednosměrné komunikace, šířková a výšková omezení a okružní křižovatky. Data musí být aktuální, přesná a topologicky korektní. Navigace funguje jako přijímač signálu z družic a tyto signály vyhodnocuje pro zjištění polohy a rychlosti vozidla. [20] Na základě propojení GIS a globálního polohového systému fungují systémy pro automatické sledování polohy vozidel a správu vozového parku. Více o satelitních navigačních systémech a programech pro sledování vozidel v následujících kapitolách.

3.2 Globální navigační družicové systémy

GNSS je obecný název pro systémy určení polohy libovolného místa či objektu na zemském povrchu za pomoci umělých družic, který obíhají po oběžných drahách okolo Země. Satelity poskytují elektromagnetické signály o své poloze a časování, která jsou pak přijímači použity ke stanovení polohy, rychlosti a času. Výkonnost GNSS je hodnocena pomocí čtyř kritérií:

- přesnost,
- integrita,
- kontinuita,
- dostupnost.

Přesnost je rozdíl mezi měřenou a skutečnou polohou, rychlostí nebo časem přijímače; integritou se rozumí schopnost systému poskytovat informace o jeho správné funkčnosti,

respektive informace o chybách či výpadcích v systému. Kontinuita je schopnost systému fungovat bez přerušení. Procento času, kdy signál splňuje kritéria přesnosti, integrity a kontinuity je nazýváno dostupností. Výkonnost může být zlepšena podpůrnými systémy označovanými jako Satellite-based augmentation systems (SBAS), které jsou tvořeny pozemními monitorovacími stanicemi vyhodnocujícími aktuální stav družic v kosmickém prostoru a stav ionosféry (oblasti ionizované atmosféry Země, která má vliv na šíření elektromagnetických signálů). [21]

Struktura GNSS je tvořena třemi segmenty: kosmickým, řídicím a uživatelským. Uživatelský segment je reprezentován softwarem, přístroji, respektive přijímači schopnými přijímat a zpracovávat signály, a samotnými uživateli. Řídicí segment je složen z hlavní pozemní stanice, která přijímá a zpracovává data a koriguje dráhy a čas satelitů. Hlavní řídicí stanice jsou doplněny stanicemi monitorovacími a sítí pozemních antén. Kosmický segment tvoří struktura umělých družic obíhajících kolem Země po předem určených drahách, lišících se svou výškou, sklonem i typem (například kruhové či eliptické). Rozmístění jednotlivých družic je navrženo tak, aby zajistilo nejlepší možné pokrytí Země jejich signály. Jednotlivé GNSS systémy (blíže představené níže) jsou tvořeny rozdílným počtem družic, využitých oběžných drah a skladbou či počtem vysílaných signálů. Jako doplněk bývá uváděn i podpůrný segment, kterým jsou pozemní nebo družicové systémy SBAS zvyšující přesnost GNSS. Současnými GNSS systémy jsou: americký Global Positioning System (GPS), ruský Globalnaja navigacionnaja sputnikovaja sistema (GLONASS), evropský Galileo a čínský BeiDou-3, který je následníkem systému Compass. [22]

GPS, celým názvem GPS NAVSTAR, je širokou veřejností pokládán za obecný název pro jakýkoli systém určování polohy pomocí družic, ačkoli se jedná pouze o jeden z více systémů používaných. GPS byl vyvíjen od roku 1973 původně pro účely amerického námořnictva. Civilní použití systému bylo povoleno v roce 1983, avšak v 90. letech byla ze strategických důvodů kvalita signálu degradována, kdy se přesnost civilní a vojenské verze lišila až o 90 m. V roce 2000 bylo od rušení ustoupeno a přesnost systému se tak pohybovala okolo 5 metrů. [23] Kosmický segment GPS byl k dubnu 2020 tvořen 31 provozními družicemi a 9 záložními, obíhajícími po šesti drahách s periodou 11 hodin a 58 minut. Minimální počet operačních satelitů pro správnou funkci systému je 24, přičemž z téměř každého místa na zemi v jakýkoli okamžik je viditelných minimálně osm družic. [24] Vývoj systému **GLONASS**, původně také pro vojenské potřeby, začal v již roce 1970, avšak plán pro jeho vývoj byl schválen až o šest let později. První družice byla vypuštěna na oběžnou dráhu v roce 1982 a v roce 2011 systém dosáhl plného pokrytí Země. [25] Kosmický segment GLONASS je k 8. červnu 2020 tvořen 27 družicemi, z toho je 23 satelitů operačních, 2 rezervní a po jedné

družici ve fázi letové zkoušky a v údržbě. [26] Družice obíhají po třech drahách s periodou okolo 11 hodin a 15 minut. [25] V roce 2001 rozhodla Evropská unie o vybudování nezávislého GNSS **Galileo** pro civilní použití na základě požadavku z roku 1990. První družice byla vypuštěna na oběžnou dráhu v roce 2011 a k březnu 2020 bylo v konstelaci 22 aktivních družic, 2 v testovacím režimu a 2 mimo provoz. Služby Galileo jsou od roku 2016 v testovacím režimu, kdy se zahájení plného provozu s 30 operačními družicemi v režimu 27+3 předpokládá v roce 2022. Satelity budou poté obíhat po třech kruhových orbitách ve složení 9+1 s periodou cca 14 hodin a 15 minut. [27] Compass, respektive **BeiDou-3**, je třetí generací projektu Čínské lidové republiky na vývoj nezávislého GNSS. První generace byla spuštěna v roce 2000 vynesemím první družice, kdy byl systém omezen zejména na území Číny a pro civilní použití dostupný od roku 2004; koncem roku 2012 byl vyřazen z provozu. Druhá generace byla v komerčním režimu spuštěna v prosinci 2012 pro zákazníky v asijsko-tichomořském regionu. V roce 2015 pak byla zahájena třetí generace systému po vypuštění první družice v březnu téhož roku. Na konci roku 2018 začal systém poskytovat globální službu, přičemž na červen 2020 je plánováno vypuštění poslední družice a systém BeiDou-3 bude kompletní. Kosmický segment BeiDou-3 se bude skládat z 35 družic – 27 na střední kruhové orbitě, 5 na geostacionární dráze a 3 na geosynchronní dráze. Perioda družic na střední orbitě je 12 hodin a 53 minut, v případě geostacionární a geosynchronní dráhy 23 hodin a 56 minut (délka hvězdného dne). [28]

3.2.1 Princip určení polohy

GNSS pracují v geocentrických SS: GPS ve WGS-84, GLONASS v PZ-90 (Parametry Země 1990 goda), Galileo v GTRF (Galileo Terrestrial Reference Frame) a BeiDou-3 v BDC (BeiDou Coordinate). Při výpočtu polohy místa či objektu na Zemi se nejprve pomocí satelitních navigačních signálů určí jeho zeměpisné kartézské souřadnice (x, y, z) , které se následně přepočítají na souřadnice geodetické (φ, λ, H) v příslušném SS vymezeném referenční plochou elipsoidu. Pro určení polohy ze signálů družic se využívají následující metody:

- úhломěrná,
- dopplerovská,
- interferometrická,
- dálkoměrná.

Nejstarší a nejméně rozšířenou je metoda **úhломěrná**, kdy se ze zájmového místa zaměřuje družice pomocí směrových antén a určuje úhel vzhledem k vodorovné rovině. Měření probíhá opakovaně ke stejné družici v jiném čase, nebo k více družicím ve stejný čas, kdy

jsou hledány průsečky kuželů vzniklé konstantním elevačním úhlem, tedy známou polohou satelitu, a průsečnicí s povrchem Země. Metoda **dopplerovská** využívá změny frekvence pohybujícího se zdroje/příjemce signálu pro výpočet relativní polohy vůči satelitu ve dvojrozměrném prostoru a následné polohy na zemském povrchu. **Interferometrická** metoda je využívána diferenciálními systémy. Příjímače na Zemi jsou vybaveny dvěma anténami se známou vzdáleností umístěné ve stejné výšce na společné základně měřící zdánlivou vzdálenost ke stejné družici. Z těchto parametrů je pak možné určit elevační úhel k družici a její polohu, což pak vede na metodu úhloměrnou. Všechny zmíněné GNSS využívají **dálkoměrnou** metodu, která je založena na nepřímém měření vzdálenosti (tzv. pseudovzdálenosti) mezi přijímačem a vysílačem pomocí zpoždění signálu. Pokud je známá poloha a vzdálenost alespoň tři družic a předpokládáme jejich dokonalou časovou synchronizaci, je možné vypočítat polohu přijímače jako průsečík tří kulových ploch. Časová synchronizace satelitu a základny přijímače je však nákladná, a proto se pro výpočet polohy v trojrozměrném prostoru používá další proměnná vzniklá přepočtem posuvu Δt na vzdálenost, kdy je nutné zpracovat signál alespoň ze čtyř družic. Přepočtená vzdálenost musí být konstantní, tedy je nutné zaručit vzájemnou synchronizaci družic, která je zajišťována řídicím segmentem. [25]

V principu by bylo dostačující, aby byly z každého místa na Zemi viditelné minimálně tři družice ve vhodné konstelaci – větší počet pak zlepšuje přesnost, spolehlivost a rychlost měření. Přesná poloha přijímače je však definována zeměpisnou délkou a šířkou, nadmořskou výškou a časem; pro opravu hodin přijímače jsou tedy potřebné satelity čtyři. Každý satelit musí znát svojí přesnou polohu a vyjádřit trajektorii funkcí polohy v čase. Příjímače jsou výhradně pasivní a nelze tak měřit vzdálenost vzájemnou interakcí, ale měřením doby příchodu radiového signálu od družice k přijímači a jeho následném přepočtu na vzdálenost. Kvůli vzájemnému rušení signálů má každý z globálních systémů vyhrazenou vlastní frekvenci, případně mají ujednaný způsob vysílání na frekvenci stejné. [11]

3.2.2 Přesnost určení polohy

Přesnost určení polohy závisí zejména na druhu použité technologie, stavu přenosového radiového signálu a na metodě určení, které byly představeny v předchozí kapitole. Z hlediska použitých přístrojů dosahují běžné lokátory (turistické, chytré telefony) při měření v klidu přesnosti 2-4 metry; při měření v pohybu je přesnost snížena na cca 5-20 metrů. Pro sběr dat GIS jsou využívány GNSS přijímače dosahující submetrové přesnosti. Geodetické GNSS přijímače dosahují přesnosti až subcentimetrové. [30]

U samotných satelitů záleží na jejich viditelném počtu, zdravotním stavu a na ukazateli zhoršení přesnosti DOP (Dilution of precision), který zahrnuje konfiguraci družic. Satelity jsou velmi dobré v triangulaci naší horizontální polohy a méně přesné ve vertikálních polohách. Čím více satelitů je tedy k dispozici rovnoměrně po obloze vzhledem k přijímači, tím lepší bude přesnost určení polohy. [29] Signály z družic mohou být ovlivněny průchodem atmosférou, šumem prostředí nebo odrazy od okolních ploch. Tyto nežádoucí signály je možné odfiltrovat, případně vůbec nezpracovat. [30]

Pro zvýšení přesnosti a spolehlivosti dat se využívají již zmíněné SBAS tvořené regionální sítě pozemních a družicových stanic. Tyto systémy využívají stacionární pozemní monitorovací stanice pro výpočet chybných poloh způsobených atmosférickými a ionosférickými poruchami, odchylkami družic od dráhy na orbitě a nepřesnými hodinami. Každá z těchto chyb způsobuje zpoždění v časování, což má za následek chyby v poloze přijímače. Opravy chyb jsou zasílány geostacionárním satelitům a následně předávány v celém regionu. Tyto korekce odchylek umožňují přijímačům GNSS přesněji a spolehlivěji určit jejich polohu. Přesnost GNSS je obvykle přibližně pět metrů, kdy s použitím SBAS mohou uživatelé dosáhnout přesnosti submetrové a lepší. [31] Dalším podpůrným systémem je Ground Based Augmentation System (GBAS). Jak již z jeho názvu vyplývá, systém je tvořen dvěma nebo více pozemními referenčními stanicemi a pracuje na obdobném principu jako SBAS, avšak s místním pokrytím (například v okolí letiště nebo na území státu). Tyto základny vypočítávají opravy chyb vzhledem ke své stálé poloze a poskytují je koncovým zákazníkům pomocí bezdrátových datových sítí. Prokázaná přesnost GBAS je menší než jeden metr. [32] SBAS a GBAS jsou diferenční systémy, které fungují na principu známé polohy přijímače v referenční stanici, která nepřetržitě měří, a určené odchylky jsou jako opravy zaváděny do měření na místech, jejichž poloha má být zaměřena. Tato metoda je též označována jako Differential Global Navigation Satellite System (DGNSS). Další metodou je Precise Point Positioning (PPP), která používá pro měření pouze jeden GNSS přijímač a nevyžaduje tak přijímač další nebo síť referenčních stanic, jako je tomu u DGNSS. Metoda využívá údaje ze zpracovatelských center, generované ze sítě globálních referenčních stanic o přesném času a polohách (efemeridách) družic, které tak nahrazují informace z navigační zprávy. Opravy chyb jsou poté předávány koncovému uživateli pomocí družice či internetu. Pro dosažení vysoké přesnosti měření je nezbytná určitá doba inicializace, řádově v desítkách minut, která je závislá na postavení družic, kvalitě měření a jeho intervalu. V souvislosti s touto dobou konvergence je při požadované decimetrové (a menší) přesnosti nezbytné používat dvoufrekvenční přístroje a eliminovat tak při měření vliv ionosféry. Ve vazbě na výše uvedené parametry je pak možné dosáhnout při statickém měření až přesnosti centimetrové. [27] [33]

Hlavním GNSS systémem, který je využíván v PID pro lokalizaci autobusů je GPS, jehož nejvýznamnějšími přirozenými chybami při určování polohy jsou mnohacestné šíření a zastínění. Vliv zastínění je znatelný především ve vysoké městské zástavbě, kdy není zajištěna přímá viditelnost na některé družice a signál se tak může dostat k přijímači pouze pomocí odrazů. Takový signál pak urazí delší vzdálenost, a pokud je přijímačem změřen, roste chyba při výpočtu polohy. Působení mnohacestného šíření lze eliminovat využitím antén s pravotočivou kruhovou polarizací, neboť se při každém odrazu mění směr polarizace, a signály s opačnou polarizací jsou tak potlačeny. V přijímačích dochází samozřejmě k automatické korekci všech přijímaných signálů, a pokud je zpoždění změřeného signálu příliš velké, signál se nezpracovává. Výpočet vzdálenosti však značně ovlivní odrazy od blízkých objektů. Zmíněné chyby souvisí s polohou družic vzhledem k přijímači, kdy je možné zvýšit počet využitelných satelitů použitím více GNSS systémů a zlepšit tak podmínky pro příjem signálů. V PID je toto řešení dosahováno použitím čipů Quectel L26 [53] nebo využitím odbavovacího zařízení Synergy OCC, které podporují GPS a GLONASS. [34] Kompletní přehled zdrojů chyb a velikost jednotlivých příspěvků k celkové chybě určení polohy pomocí GPS je uveden na obrázku 4.

Segment	Zdroj chyby	Podíl na ekv. chybě vzdálenosti σ_d [m]
 Kosmický	Stabilita kmitočtového normálu družice	3,0
	Predikce perturbací družice	1,0
	Jiný	0,5
 Řídicí	Chyba modelu predikce efemerid	4,2
	Jiný	0,9
  Uživatelský	Ionosférická refrakce	5,0 - 10,0
	Troposférická refrakce	2,0
	Šum a rozlišovací schopnost přijímače	7,5
	Vícecestné šíření signálu	1,2
	Jiný	0,5
Celková ekvivalentní chyba vzdálenosti σ_d [m]		10,8 - 13,9

Obrázek 4 – Zdroje chyb při měření pseudovzdálenosti systémem GPS [35]

3.3 Systémy pro sledování vozidel

Systémy pro sledování vozidel jsou podmnožinou celého řešení pro správu vozového parku, v angličtině nazývané jako fleet management. Fleet management je komplexní pojem zahrnující aktivity od nákupu vozidel, přes jejich provoz až po odkup, a všechny činnosti s nimi související (například vyřizování leasingu, zajišťování servisů a oprav vozidel nebo likvidace pojistných událostí). Zaměstnanec fleet managementu, případně externí firma, se stará také o sledování a optimalizaci pohybu vozidel (vehicle tracking) prostřednictvím systémů AVL. [36] [37]

AVL je nástroj, který poskytuje možnost kontroly a operativního řízení flotily vozidel na monitoru počítače či displeji mobilního telefonu z jakkoli vzdáleného místa. Systém umožňuje nejen sledovat polohu vozidel v reálném čase, ale také směr jejich pohybu, rychlost, dobu odstavení vozidla, spotřebu pohonných hmot a další charakteristiky v závislosti na konkrétním řešení dodavatele. Tyto parametry jsou samozřejmě dostupné i pro zpětnou analýzu a vyhodnocení. Při výskytu předem definovaných událostí, například překročení maximální rychlosti, je možné zasílat upozornění formou Short Message Service (SMS) nebo avíz v rámci softwaru. AVL integrují GIS a GNSS. Základ systému je tvořen zařízením ve vozidle umožňujícím sledování polohy a provozních charakteristik vozidla, přenosovou cestou a uživatelským rozhraním pro zobrazení a správu vozidel, které data shromažďuje. Jednotky ve vozidle jsou obvykle vybaveny GPS lokátorem, který je tvořen GPS modulem a GSM datovým modemem, a napojeny na systémovou sběrnici vozidla. Komunikační modul GSM přenáší data přes SMS / GSM / GPRS (General Packet Radio Service) a ty jsou přijímána s použitím komunikačního protokolu na server provozovatele, odkud jsou přenášena do softwaru poskytujícího rozhraní mezi GIS a GNSS. [38] [39] [40]

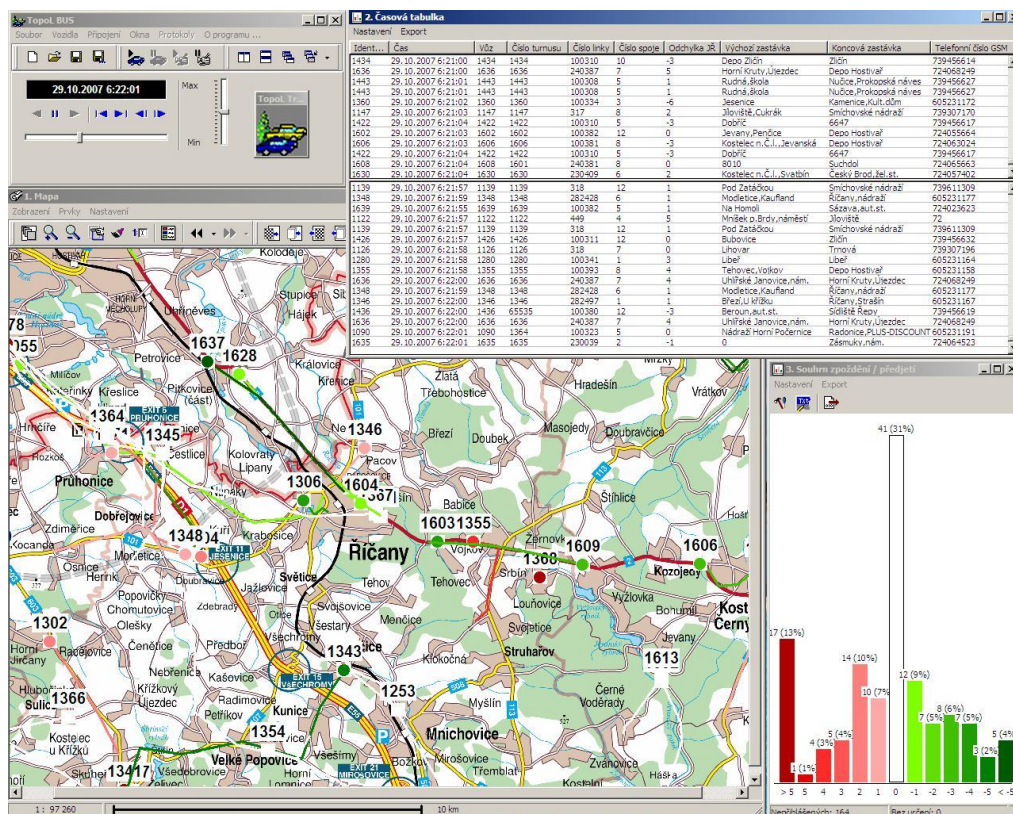
Sledování vozidel je možné rozdělit na pasivní a aktivní. V případě pasivních systémů se provozní charakteristiky ukládají do paměti zařízení instalovaných ve vozidlech a pro jejich zobrazení je nutné záznamový modul vyjmout a načíst do počítače. Oproti tomu aktivní systémy sledují vozidla v reálném čase a v pravidelném intervalu zasílají data o své poloze a provozních parametrech do zobrazovacích zařízení přes mobilní nebo satelitní sítě. Mnoho moderních zařízení kombinuje aktivní a pasivní sledování, kdy se v případě aktuální nedostupnosti sítě data ukládají do interní paměti a na server se přenášejí při její opětovné dostupnosti. [41]

V PID se systémy AVL používají pro sledování dispečerských vozidel koordinačního dispečinku nebo jednotlivými dopravci pro sledování jejich vozového parku. Informační systémy pro cestující využívají jako zdroj předpokládaného příjezdu prostředku MHD právě

předpovědi založené na vstupu do AVL. Nejdůležitější aplikací AVL v PID je dispečerský systém pro sledování vozidel MPV, které zahrnuje provoz vozidel veškerých dopravců PID.

3.3.1 Monitorování provozu vozidel

MPV je dispečerský systém používaný organizátory PID, Integrované dopravy Libereckého kraje (IDOL), Integrovaného dopravního systému Moravskoslezského kraje (ODIS) a Zlínské integrované dopravy (ZID). Vývojářem tohoto systému je CHAPS s.r.o., dceřiná společnost ČD - Informační Systémy, a.s. Verze pro PID byla vyvíjena od roku 2004 na základě programu CONNECT vyhlášeného Ministerstvem dopravy a spojů. Cílem projektu bylo získat aktuální informace o provozu veškerých dopravců v PID a poskytnout je k dalšímu využití. [42] Základem byla internetová aplikace MPVNET, prostřednictvím které byly vyhodnocovány polohy vozidel a realizace provozu dle JŘ na základě porovnání s plánem z CIS JŘ. Přístup do aplikace měli i zúčastnění dopravci, kteří zde ručně přiřazovali vozidla k jednotlivým, jimi připraveným, oběhům a v tzv. Provozním protokolu zdůvodňovali neodjetí spojů (výpadky) a případné výměny vozů oproti nasazení předpokládanému. Jedním z výstupů byla desktopová aplikace firmy APEX spol. s r.o. TOPOLBUS, která sloužila potřebám jednotlivých dopravců, a ve které bylo možné sledovat provoz jejich vozidel. Prostředí této aplikace je znázorněno na obrázku 5. [43]



Obrázek 5 – Aplikace TOPOLBUS [45]

V počátcích ostrého provozu bylo do systému sledování zapojeno cca 80 autobusů tří dopravců – Connex Praha, s.r.o. (dnešní skupina Arriva), ČSAD POLKOST, spol. s r. o. a MARTIN UHER spol. s r. o. Vyhodnocování dodržování JŘ prováděl PP ve vozidle, a to pouze v zastávkách. Správnost vyhodnocení záležela na korektnosti zadaných údajů ve vozidle, ale také na řidiči, který ručně zastávky vyhledával. Přenos dat se realizoval pouze při odchylce od JŘ. Později bylo přikročeno k vyhodnocení v Centrálním dopravním informačním středisku (CEDIS) prostřednictvím zaslání polohy z vozidla. Vozy odesílaly informace o své poloze na základě událostí z GPS zvolených v aplikaci TOPOLBUS, a to v pravidelném intervalu, při překročení rychlosti či vzdálenosti, nebo při rozjezdu vozidla. [44] Nastavení těchto hodnot pro dopravce MARTIN UHER je uvedeno v tabulce 2.

Tabulka 2 – Nastavení spouštěčů pro odeslání zprávy dopravce MARTIN UHER, upraveno [44]

Trigger	Hodnota
Interval	600 s
Rychlost	25 km/h
Vzdálenost	5 000 m
Rozjezd	15 km/h

S postupným rozvojem systému PID se měnil způsob odesílání zpráv o poloze, vyhodnocení odchylek, ale také samotný systém pro sledování vozidel, který se rozšiřoval o nové funkce. V roce 2010 byla změněna jeho celková podoba, kdy byl rozdělen na dvě vzájemně propojené aplikace: MPVDesktop a MPVNet. Obě aplikace jsou tvořeny záložkami viditelnými pro jednotlivé uživatele na základě přiřazených práv.

MPVDesktop je zadávací aplikací uloženou v počítači, případně spuštěnou z externího zařízení bez nutnosti instalace. Aplikace je tvořena jedenácti záložkami:

- Denní rozpisy oběhů,
- Provozní změny,
- Zprávy do/z vozů,
- Katalog oběhů,
- Vozy dopravce,
- Výpadky provozu,
- Dopravci a linky,
- Katalog ZIS,
- Správa informací ZIS,
- Uživatelé,
- Log aplikací.

Pro tuto diplomovou práci jsou podstatné záložky *Katalog oběhů* a *Vozy dopravce*, proto budou dále představeny podrobněji. Popis ostatních záložek je možné najít v bakalářské práci autorky „Porovnání vybraných nástrojů pro dispečerské řízení vozidel veřejné dopravy“.

Katalog oběhů slouží jako databáze oběhů vozidel, ze kterých je možné vytvořit v záložce *Denní rozpisy oběhů* seznam veškerých výkonů pro daný provozní den. Tyto oběhy je možné do katalogu zadávat ručně, nebo jsou importovány ze souboru generovaného ASW JŘ, případně ze softwaru dopravce. Pro lepší orientaci je oběhy možné filtrovat dle různých kritérií.

Stav	Kmen.l.	Poř.	PID	Skup.	Typ	Identifikace	Poznámka	Dat.omezení	Návrh.vůz	Začátek výkonu	Platí od	Platí do	Spoje
✖	171	10	●	1	SdN	Import z USV 21.2.2020 09:57	subdodávka Štěpánek	X		8	15.4.2020	neomezené	100171/1003, 100171/1008, 100171/1017, 100171/102...
●	171	11	●	1	SdN	Import z USV 21.2.2020 09:57	Subdodávka ARANEA	X	1501	8	15.4.2020	26.6.2020	100171/1005, 100171/1010, 100171/1021, 100171/102...
●	171	12	●	1	SdN	Import z USV 21.2.2020 09:57		X		8	15.4.2020	26.6.2020	100171/1002, 100171/1013, 100171/1016, 100171/102...
●	171	13	●	1	SdN	Import z USV 21.2.2020 09:57		X		8	15.4.2020	26.6.2020	100171/1004, 100171/1015, 100171/1020, 100171/102...
●	171	14	●	1	SdN	Import z USV 21.2.2020 09:57		X		8	15.4.2020	26.6.2020	100171/1134, 100171/1009, 100171/1014, 100171/102...
●	171	15	●	1	SdN	Import z USV 21.2.2020 09:57	Subdodávka ARANEA	X	1502	8	15.4.2020	26.6.2020	100171/1007, 100171/1011, 100171/1019, 100171/102...
●	171	32	●	1	SdN	Import z USV 21.2.2020 09:57	Subdodávka Libuše Mikší	6,+	7984	8	2.3.2020	neomezené	100171/4001, 100171/4006, 100171/4007, 100171/401...
●	171	33	●	1	SdN	Import z USV 21.2.2020 09:57		6,1.,8.5.		8	2.3.2020	neomezené	100171/4004, 100171/4005, 100171/4010, 100171/401...
●	171	33	●	1	SdN	Import z USV 21.2.2020 09:57	Subdodávka ARANEA	+kromě 1.,8.5.	1501	8	2.3.2020	neomezené	100171/4004, 100171/4005, 100171/4010, 100171/401...

Obrázek 6 – MPVDesktop: Katalog oběhů [zobrazení programu MPV, zdroj autor]

Katalog oběhů (obrázek 6) je tvořen 14 sloupci:

- Stav,
- Kmenová linka,
- Pořadí,
- PID,
- Skupina,
- Typ,
- Identifikace,
- Poznámka,
- Datumové omezení,
- Navrhovaný vůz,
- Začátek výkonu,
- Platí od,
- Platí do,
- Spoje.

Každý řádek představuje jeden oběh. *Stavem* je podmíněna aktuální platnost oběhu; může být aktivní (zelené kolečko), pracovní, šablonou nebo v koši (červený křížek). Kombinace *Kmenové linky* a *Pořadí* jednoznačně oběh identifikuje. Sloupec *PID* indikuje, zda se jedná o oběh zařazený v PID (dopravci mohou mít v MPV vytvořené i oběhy mimo systém PID). *Skupina* udává číslo skupiny oběhů, *Typ* pak typ vozidla plánovaný na oběhu; vzestupně dle délky vozu: Mn – minibus, Md – midibus, Sd – standardní bus, Kb – kloubový vůz. Typy vozů mohou být doplněny znaky N, značící nízkopodlažní autobus, a @, který udává, že je vůz (co se týká délky) mezistupněm mezi hlavními kategoriemi. Příkladem může být vůz s evidenčním číslem 1501, s typem vozu Sd@N, který je nízkopodlažní, delší než standardní vůz a zároveň kratší než vůz kloubový. *Identifikace* zobrazuje, z jakého zdroje byl turnus vytvořen. *Datumové omezení* vymezuje platnost daného oběhu v jednotlivých provozních dnech: X – pracovní dny, 6 – soboty, + – neděle a svátky. Platnost je obecně daná sloupci *Platí od* a *Platí do*. *Navrhovaný vůz* je zadáván ručně uživatelem a poskytuje určitou nápovědu při přiřazování vozidel k oběhům, které zadává dopravce manuálně pro každý provozní den. Jedná se o vůz nastálo přiřazený k oběhu, případně nejčastěji se zde

vyskytující. Sloupec *Spoje* obsahuje výčet veškerých spojů v rámci jednoho dne, které tvoří daný oběh, a jsou zajištěny zpravidla jedním vozidlem. Pokud je oběh zajištěn více vozidly, zanášá se tato skutečnost na kartě *Provozní změny*. *Začátek výkonu* udává nejzazší hodnotu v minutách, kdy se má vozidlo hlásit (tj. vysílat svoji polohu) před plánovaným časem odjezdu z výchozí zastávky prvního spoje oběhu. Pokud vozidlo nevysílá, systém odešle upozornění na emailovou adresu uživatelů, kteří mají tato avíza nastavena. Sloupec může nabývat hodnot od mínus 10 do 30 minut, nebo zůstat prázdný.

Při dvojitým poklepu na příslušný řádek oběhu je možné provádět jeho editaci (obrázek 7). Změnu typu vozu může provádět pouze uživatel s oprávněním na zobrazení a úpravu všech dopravců, tedy zaměstnanec ROPID a IDSK, případně CHAPS. Promítnutí změn v systému je okamžité.

Obrázek 7 – MPVDesktop: Editace oběhu [zobrazení programu MPV, zdroj autor]

Záložka **Vozy dopravce** je databází veškerých vozidel, která mohou být přiřazována k výkonům, a je tvořena 11 sloupci:

- Vůz v provozu,
- PID,
- Evidenční číslo,
- RZ vozu,
- Typ,
- Platnost od,
- Platnost do,
- Linka,
- IMEI,
- Poznámka,
- Modem,
- Mobilní operátor,
- Vybavení.

PID	Evid. číslo	RZ vozu	Typ	Platnost od	Platnost do	Linka	IMEI	Poznámka	Modem	Mob. operátor	Vybavení
1187	7AV 0245	SdN		29.11.2019	neomezené		867377023798444	Subdodávka Luděk Špacír			zn.Solaris Urbino 12, r.v.2006, reg.04.09.2006, poč.TELMAX SLA, interní, zn.B 952E, r.v.2006, reg.01.11.2006, pref.SSZ 0
1399	5596460	Sd		31.12.2019	neomezené			Subdodávka J.Šimsa			
1482	4AD 4255	SdN		08.05.2020	neomezené		867377023798790	Subdodávka ARANEA			zn.MB Citaro, r.v.2007, reg.21.02.2007, poč.TELMAX XML, interní, panel: BUSE
1501	8AA 4044	Sd@N		28.02.2020	neomezené			Subdodávka ARANEA			zn.Solaris Urbino 15, r.v.2006, reg.24.11.2006, poč.TELMAX XML, interní, panel: zn.SOR BN 10,5, r.v.2009, reg.08.06.2009, pref.SSZ 0
1502	8AA 4045	Sd@N		18.02.2020	neomezené		867377023798923	Subdodávka ARANEA			zn.Solaris Urbino 15, r.v.2006, reg.24.11.2006, poč.TELMAX XML, interní, panel: zn.C 954E, r.v.2004, reg.17.06.2004, pref.SSZ 0
7980	2BH 7177	Md@N		31.12.2019	neomezené		867377023819646	Subdodávka Libuše Mikš			zn.Volvo 8700 LE, r.v.2006, reg.13.11.2006, pref.SSZ 0
7981	2J5 5525	Sd		29.11.2019	neomezené		867377023798246	Subdodávka Libuše Mikš			zn.SOR C 12, r.v.2009, reg.15.04.2009, pref.SSZ 0
7982	45K 6953	SdN		29.11.2019	neomezené			Subdodávka Libuše Mikš			zn.Crossway LE 12,8M, r.v.2010, reg.01.03.2010, pref.SSZ 0
7983	6E16188	Sd		31.12.2019	neomezené			Subdodávka Libuše Mikš			
7984	2BH 7808	SdN		20.12.2019	neomezené		867377023798188	Subdodávka Libuše Mikš			
7990	3M1 2503	Sd		21.11.2019		30.12.2019		Subdodávka RETROBUS			zn.B 952, r.v.2002, reg.02.05.2002, pref.SSZ 0

Obrázek 8 – MPVDesktop: Vozy dopravce [zobrazení programu MPV, zdroj autor]

Sloupec *Vůz v provozu* může nabývat dvou variant znaků – zeleného kolečka (vůz je v provozu) nebo červeného křížku (vůz není aktuálně v provozu). *PID* indikuje, zde je vozidlo vybaveno pro provoz v systému PID. *Evidenční číslo* je tvořeno čtyřmi číslicemi, jejichž kombinace je v PID pro daný den jedinečná, stejně jako tomu je u *RZ vozu* – ta je však tvořena sedmi znaky. *Typ* charakterizuje vůz z hlediska kapacity a nízkopodlažnosti a je pevně svázán s daným evidenčním číslem a *RZ vozu*. Jednotlivé zkratky typů vozů jsou shodné se zkratkami uvedenými u záložky *Katalog oběhů*. *Platnost od/do* vymezuje datovou platnost autobusu, tj. v jakém období je možné ho přiřadit k výkonu. Sloupec *Linka* slouží pro případnou poznámku o obvyklém nasazení vozu. *IMEI* je unikátní číslo modemu, které musí být spárováno s *RZ vozu*, a na základě kterého se přiřazují v systému zprávy o poloze vozidla. Sloupce *Modem*, *Mobilní operátor* a *Vybavení* poskytují podrobnější informace o vozidle jako je rok výroby, značka autobusu, typ PP nebo vnějších a vnitřních informačních panelů.

Editace jednotlivých vozů je opět možná dvojitým kliknutím na příslušný řádek se stejným omezením pro změnu typu vozidla jako u editace oběhu. Při požadavku na okamžité projevení změn v systému je nutné přenačíst seznam vozidel pomocí funkce *Obnovit seznam vozů dne z číselníku* pro všechny požadované dny, pro které již byl vytvořen seznam oběhů v záložce *Denní rozpis oběhů*. Úskalí může také přinášet změna *IMEI* v průběhu dne u vozidla, které je přiřazeno k oběhu, a po výměně modemu bude pokračovat v jízdě. Po obnovení seznamu vozů z číselníku jsou ztracena data o provozu vozidla před výměnou, která jdou obnovit pouze opětovnou změnou na *IMEI* původní, tedy s pozbytím dat získaných provozem nového modemu. Pokud není v databázi vozidel zadána správná (a reálná) kombinace *IMEI* + *RZ vozu*, případně nebyla provedena obnova seznamu vozů z číselníku, bude se systém chovat tak, jakoby vůz nevysílal a zprávy ke spoji nebudou přiřazeny. Pokud byla provedena výměna modemu mezi vozidly a tato změna nebyla zanesena, bude systém vykazovat nesmyslné hodnoty odchylek od JŘ, pokud se trasy dotčených vozidel alespoň z části prolnou.

MPVNet je webová aplikace sloužící pro prohlížení provozu vozidel PID. Její veřejná část se nachází na adrese <http://www.mpvnet.cz/>, kde je možné si zvolit daný IDS a způsob prezentace provozu – ve formě odjezdové tabule či situace v mapě. Neveřejná část se pak nachází na adrese <https://pid.mpvnet.cz/> a pro přístup je nutné přihlášení. V této verzi je možné prohlížet i historická data z provozu a generovat různé sestavy a statistiky. Aplikace je tvořena deseti záložkami:

- Provoz v číslech,
- Situace v mapě,
- Okamžitá zpoždění,
- Doprava v obcích,
- Statistiky,
- Další sestavy,
- Vyhodnocování odchylek,
- Vyhodnocování zastávek,
- Vypravenost,
- Logování komunikace.

Pro tuto diplomovou práci je zásadní záložka *Provoz v číslech*, která je představena níže. Popis ostatních karet je opět možné nalézt v bakalářské práci autorky „Porovnání vybraných nástrojů pro dispečerské řízení vozidel veřejné dopravy“.

Záložka **Provoz v číslech** umožňuje zobrazení provozu vybraných dopravců, linek nebo vozů, zvolených dle evidenčního čísla nebo RZ. Zvolenou sestavu lze vytvořit pro jeden den (aktuální nebo historický) a záznamy seřadit dle různých kritérií. Základ tvoří spoje, respektive oběhy, k nim přiřazená vozidla a veškeré poznámky či úpravy provedené v aplikaci MPVDesktop. Jednotlivé spoje jsou v reálném čase porovnávány vzhledem ke grafikonu, tzn. stanovení odchylky od JŘ a nasazení vozidel požadovaného typu z hlediska nízkopodlažnosti. Rozdíl v požadované a skutečné kapacitě na spojích je možné dohledat pouze v MVPDesktop. Část sestavy vygenerované pro linku 348, konkrétně pro oběh 348/1, je zobrazena na obrázku 9.

Linka/spoj	Ve směru	Čas jízdy	Oběh	Vůz	RZ	Odchylky spoje v zastávkách	Poznámka
100348/2071	Neratovice, U Vojtěcha	00:40 - 01:12	348/1 *	9944	9U8 8708		
100348/3004	Bulovka	05:15 - 06:01	348/1	9947	9U8 9151		
100348/3003	Neratovice, Dům kultury	06:18 - 07:01	348/1	9947	9U8 9151		
100348/3010	Bulovka	07:02 - 07:41	348/1	9947	9U8 9151		
100348/3011	Obříství	08:33 - 09:31	348/1	9947	9U8 9151		
100348/3022	Bulovka	09:49 - 10:42	348/1	9947	9U8 9151		
100348/3023	Obříství	11:33 - 12:31	348/1	9947	9U8 9151		
100348/3036	Bulovka	13:19 - 14:12	348/1	9947	9U8 9151		
100348/3035	Obříství	14:33 - 15:31	348/1	9947	9U8 9151		
100348/3048	Bulovka	16:19 - 17:12	348/1	9953 #	9U8 9152		Provozní změna Celý spoj jede vůz 9953 místo 9947
100348/3047	Obříství	17:33 - 18:31	348/1	9953 #	9U8 9152		Provozní změna Celý spoj jede vůz 9953 místo 9947
100348/3060	Ládví	19:19 - 20:04	348/1	9953 #	9U8 9152		Provozní změna Celý spoj jede vůz 9953 místo 9947
100348/3059	Obříství	20:45 - 21:29	348/1	9953 #	9U8 9152		Provozní změna Celý spoj jede vůz 9953 místo 9947
100348/3068	Ládví	21:30 - 22:14	348/1	9953 #	9U8 9152		Provozní změna Celý spoj jede vůz 9953 místo 9947
100348/3067	Libiš, Obec	22:45 - 23:22	348/1	9953 #	9U8 9152		Provozní změna Celý spoj jede vůz 9953 místo 9947
100348/3072	Ládví	23:25 - 00:04	348/1	9953 #	9U8 9152		Provozní změna Celý spoj jede vůz 9953 místo 9947

Obrázek 9 – MPVNet: Provoz v číslech [zobrazení programu MPV, zdroj autor]

Sestava z *Provozu v číslech* je tvořena devíti sloupci:

- Linka/spoj,
- Ve směru,
- Čas jízdy,
- Oběh,
- Vůz,
- RZ,
- M,
- Odchyly spojů v zastávkách,
- Poznámka.

Sloupec *Linka/spoj* obsahuje, mimo těchto číselných charakteristik, také symbol invalidního vozíku značící plnění plánu nízkopodlažního vozidla na spoji. Zelený symbol označuje nadstandard, modrý splnění plánu a červený nedodržení plánované nízkopodlažnosti. Pokud symbol chybí, není u spoje garantován nízkopodlažní vůz. *Ve směru* vyjadřuje cílovou zastávku spoje, *Čas jízdy* jeho časové rozmezí mezi počáteční a konečnou zastávkou. *Oběh* je tvořen kmenovou linkou a pořadím – číslo kmenové linky a linky aktuální (ve sloupci *Linka/spoj*) se nemusí shodovat; v rámci jednoho oběhu může vůz jezdit na více různých linkách. Ve sloupci se dále nachází symbol označující, zda vůz vysílá. Pokud je za číslem oběhu hvězdička, patří uvedený spoj k oběhu předchozího dne. *Vůz* poskytuje informaci o evidenčním čísle vozidla, které je na spoj nasazeno; symbol mřížky v tomto sloupci indikuje existenci záznamu uvedeného ve sloupci *Poznámka*. Tyto poznámky jsou zadávány v MPVDesktop, na kartě *Provozní změny*, a mohou mít charakter výměny vozidla na oběhu oproti plánu (obrázek 9), zadání neodjetí části nebo celého spoje, či poskytovat dodatečné informace o důvodu zpoždění a dalších provozních záležitostech. Sloupec *RZ* je jen jiným vyjádřením sloupce *Vůz*. Symbol *M* slouží pro zobrazení inkriminovaného spoje v mapě. *Odchyly spojů v zastávkách* poskytují přehled o míře plnění JŘ vyjádřené barevnými čárkami, přičemž každá čárka představuje jednu zastávku na spoji. Odchyly od JŘ jsou upraveny následující barevnou škálou:

- červená: předjetí oproti JŘ ≥ 60 s,
- oranžová: předjetí oproti JŘ v rozmezí 31-59 s,
- zelená: předjetí oproti JŘ ≤ 30 s a zpoždění ≤ 179 s,
- světle modrá: zpoždění oproti JŘ v rozmezí 180-419 s,
- tmavě modrá: zpoždění oproti JŘ ≥ 420 s,
- šedá: odchylka nebyla zjištěna, nelze ji dopočítat z hodnot předchozích.

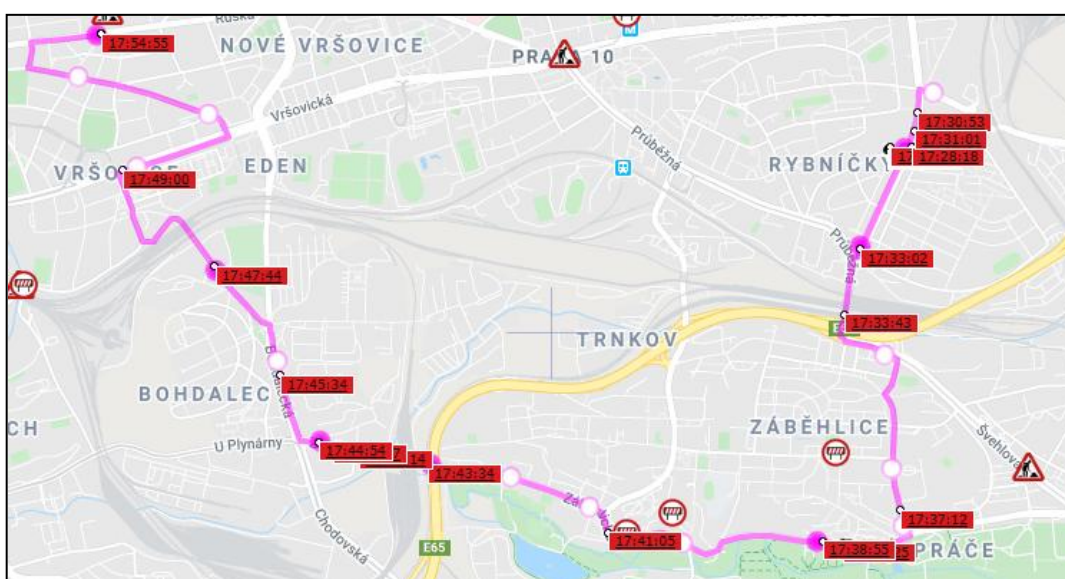
Čím je daná čárka širší, tím je hodnota předjetí či zpoždění větší – systém však nezobrazuje předjetí větší než 10 minut a zpoždění vyšší než 40 minut. Pokud je čárka (co se týká délky) poloviční, nebyla hodnota odchylky v této zastávce změřena a byl proveden její odhad na základě velikosti odchylky v zastávce předchozí. Tento odhad probíhá automaticky pro všechny zastávky na spoji a při zjištění reálné hodnoty je kopie touto odchylkou nahrazena.

Dopočítávání zpoždění probíhá i na následující spoje oběhu, pokud je mezi spoji obratový čas maximálně 40 minut, a je shodná jejich koncová i počáteční zastávka. Odhad bude přenesen na všechny zastávky následujícího spoje, které mají být obslouženy do 40 minut od aktuálního času. Detailní hodnoty odchylek od JŘ lze získat kliknutím na kterýkoli z prvních tří sloupců vygenerované sestavy příslušného řádku (obrázek 10).

Detail spoje 101/22				
vůz 2054 na oběhu 101/1				
21. 6. 2020				
Zastávka	Stanoviště	Čas JŘ	Čas skut.	Odchyka
Michelangelova	B	17:29	17:29:00	nezjištěn
Skalka	A	17:31	17:28:18	předjetí -2 min. 42 s
Na Padesátém	C	17:32	17:33:02	OK 1 min. 02 s
Zahradní Město	C	17:34	17:35:02	OK 1 min. 02 s (kopie)
Centrum Zahradní Město	B	17:36	17:37:02	OK 1 min. 02 s (kopie)
Topolová	A	17:37	17:38:02	OK 1 min. 02 s (kopie)
Záběhlická škola	B	17:38	17:38:55	OK 0 min. 55 s
U Lípy	B	17:40	17:40:55	OK 0 min. 55 s (kopie)
V Korytech	A	17:41	17:41:55	OK 0 min. 55 s (kopie)
Pod Vinicí	A	17:42	17:42:55	OK 0 min. 55 s (kopie)
Záběhlíce	A	17:43	17:43:55	OK 0 min. 55 s (kopie)
Bohdalecká	B	17:44	17:44:55	OK 0 min. 55 s (kopie)
Bohdalec	B	17:45	17:45:55	OK 0 min. 55 s (kopie)
Vršovický hřbitov	B	17:47	17:47:55	OK 0 min. 55 s (kopie)
Koh-i-noor	D	17:49	17:49:55	OK 0 min. 55 s (kopie)
Kavkazská	A	17:51	17:51:55	OK 0 min. 55 s (kopie)
Slovinská	B	17:52	17:52:55	OK 0 min. 55 s (kopie)
Tolstého	B	Přij. 17:54	Přij. 17:54:55	OK 0 min. 55 s (kopie)

Obrázek 10 – MPVNet: Detail spoje [zobrazení programu MPV, zdroj autor]

Příznak kopie tedy indikuje nepřichycení vozidla k zastávkovému sloupku, což může být způsobeno nenalezením lokalizační zprávy v okruhu 60 m od sloupku, nebo tím, že vůz okolo zastávky nejel. Prověření takové situace je možné při kliknutí na již zmíněný symbol *M* v modrém kruhu (obrázek 9) dotčeného spoje, kdy se v mapě zobrazí jeho dráha.



Obrázek 11 – MPVNet: Zobrazení dráhy spoje v mapě [zobrazení programu MPV, zdroj autor]

Trasa spoje je zobrazena fialovou křivkou, jednotlivé zprávy z vozu obdélníčkem (barevně odlišeným pro jednotlivé dopravce) s uvedením času jejich odeslání. Zastávky jsou defaultně znázorněny fialovými kružnicemi s bílým vnitřkem kruhu. Pokud dojde k přiřazení zprávy k zastávkovému sloupku, změní se bílé vnitřek na fialový. S mapou je možné pracovat stejně jako při jejím vyvolání záložkou *Situace v mapě*: měnit podkladové mapy (průsvitka, standardní, ortofotomapa), zobrazovat zastávky, aktuální hustotu provozu, informace z Národního dopravního informačního centra (NDIC), způsob barevné prezentace vozidel (dle dopravců/zpoždění) nebo měnit zobrazované parametry jednotlivých vozidel v mapě. Jediná odlišnost spočívá v možnosti výběru více dopravců / linek / vozů pro sledování s použitím *Situace v mapě*. Pro zobrazení více vozidel však lze využít příkaz „v“ ve vyhledávacím okně mapy, pomocí kterého se zobrazí veškerá vozidla na základě přiřazených práv ke zvolenému času, ovšem bez možnosti filtrace.

Pro libovolného uživatele MPV je možné nastavit zasílání upozornění do zvolené emailové schránky na sedm provozních stavů:

- Dopravce nevypravil,
- Zpoždění spoje,
- Předjetí spoje,
- Neodjetí spoje,
- Hlídní začátků výkonů,
- Zpráva z vozů,
- Nedodržená návaznost.

Vypravenost (přiřazení vozidla k oběhu) je prověřována každý den v 5, 6 a 7 hodin ráno, přičemž jsou ve zprávě obsaženy počty spojů PID, ke kterým není přiřazen vůz, a jejich celkový počet. Pokud jsou všechny spoje, ke kterým má daný uživatel přístup, vypravené, avízo se neodešle. V souvislosti s tímto upozorněním je každý den v 10 hodin dopoledne zasílán seznam vozidel, která byla předchozí den vypravena na oběh, ale nevyslala jedinou zprávu. Jestliže aplikace zaznamená zpoždění spoje na dvou po sobě jdoucích zastávkách větší než 11 minut nebo předjetí větší než 2 minuty, odešle email. Upozornění na neodjetí spoje je zasíláno za předpokladu, že je zadáno do systému, a to dostatečně včas a v celé jeho délce. Při včasném zanesení do systému je avízo odesíláno 15 minut před plánovaným odjezdem spoje. V případě pozdějšího vložení je email odeslán okamžitě, maximálně však do 60 minut od času plánovaného příjezdu do cílové zastávky. Hlídní začátku výkonů souvisí s již zmíněnou hodnotou *Začátek výkonu v Katalogu oběhů*. Upozornění je zasíláno stanovenou dobu před výjezdem prvního spoje oběhu a je zasíláno znovu, pokud se vůz tři minuty před odjezdem z výchozí zastávky nenachází v jejím místě.

System také upozorňuje na příchozí zprávu z PP vozu. Nedodržaná návaznost varuje uživatele před rizikem nezachování garantované návaznosti mezi spoji, které je generováno tři minuty před pravidelným odjezdem čekajícího autobusu z přestupního bodu; zpoždění příjíždějícího vozu je větší, než stanovená čekací doba a doba na přestup. Všechna tyto avíza mají podobu prostého textu, případně tabulky, obsahující minimum informací, a pro jejich prověření či reakci na ně je nutné využít aplikace MPV nebo jiné zdroje informací. Příklad upozornění na ohroženou návaznost je na obrázku 12.



Obrázek 12 – Upozornění na nedodržanou návaznost [zdroj autor]

3.4 Vybavení vozidel

Pro zajištění vysílání vozidel a jejich zobrazení v MPV je nutné, aby byly všechny vozy vybaveny PP, modulem GNSS (nejčastěji GPS), komunikační jednotkou, anténou GNSS a anténou pro komunikaci přes GSM / radiovou síť. V autobusech systému PID jsou používány komponenty pro určení polohy vozidla od sedmi dodavatelů:

- APEX spol. s r. o. – modem RCA 05,
- EMTEST, a.s. – PP EM 126i Mijola,
- JKZ spol. s r. o. – PP FPP-U, MPC-210 a MPC 211, dotykové terminály RT-1, DTERM a TSK,
- KonekTel, a.s. – PP ARBOR, dotykový terminál 2010 A, antény 2080 HB a PAF80N, radiostanice Motorola MTM5000, radiokomunikační adaptér IFTI3
- Mikroelektronika spol. s r.o. – PP USV 24C a Synergy OCC,
- ROBUSTEL – modem R3000 4G,
- Telmax s.r.o. – PP FCS 2000, moduly MPR 10 GPS a GPS ETH 40GSMWIFI, anténa ANT SDR. [46] [54]

PP Synergy OCC (obrázek 13) a EM 126i Mijola (obrázek 14) mají modemy integrovány v sobě, případně jsou dodávány jako periferie od stejného dodavatele. Dopravci, využívající jiné PP, používají různé kombinace PP a modemů.



Obrázek 13 – Odbavovací zařízení Synergy OCC [47]



Obrázek 14 – Odbavovací zařízení EM 126i Mijola [48]

V PID jsou jednotlivými dopravci (mimo DPP) používány následující zařízení ve vozidlech komunikující se servery provozovatelů:

- APEX RCA 05 – ABOUT ME, STENBUS,
- PP EMTEST EM 126i Mijola – ČSAD Benešov, ČSAD Slaný,
- PP Mikroelektronika Synergy OCC – Autobusová doprava Kohout, Autodoprava LAMER, ČSAD Autobusy České Budějovice (Milevsko), ČSAD Česká Lípa, ČSAD POLKOST, Kateřina Kulhánková – EXPRESCAR, Lutan, Martin Uher, Okresní autobusová doprava (OAD) Kolín, POHL Kladno, Transdev Střední Čechy, Valenta BUS,
- Robustel R3000 4G (používá Telmax jako součást jednoho zařízení spolu s moduly MPR 10 GPS nebo GPS ETH 40GSMWIFI) – ABOUT ME Arriva City, Arriva Střední Čechy, ČSAD MHD Kladno, ČSAD Střední Čechy, Jaroslav Štěpánek, STENBUS.

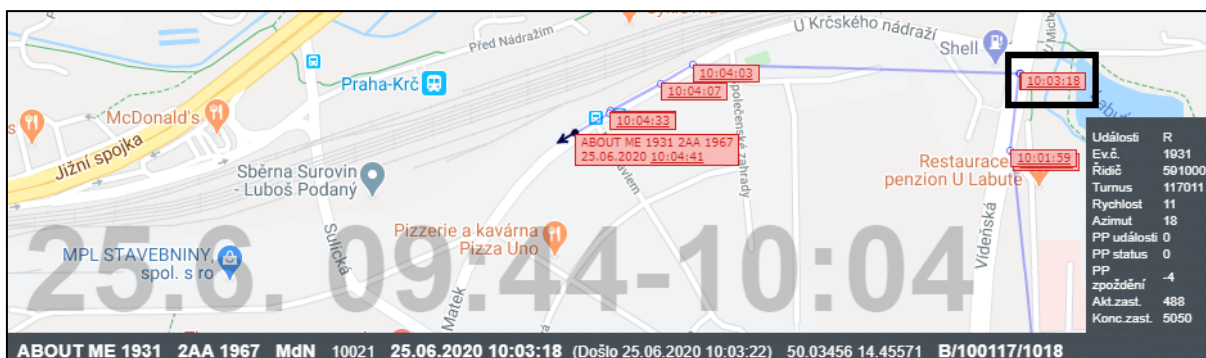
Komunikační jednotka zajišťuje binární komunikaci se serverem provozovatele (viz obrázek 1). Zprávy odesílané z vozidla mohou být trojího typu: zprávy o poloze, zprávy od řidičů a informace o stavu zpráv zaslaných do vozu. Příklad lokalizační zprávy z vozu je zobrazen níže. Tučně vyznačené atributy musí být obsaženy v každé zprávě.

```
<M><V imei="10021" pkt="1031" lat="50.03456" lng="14.45571" tm="2020-06-25T08:03:18" events="R" type="B" line="100117" conn="1018" rych="11.1" smer="17.6" evc="1931" turnus="117011" ridic="591000" akt="488" konc="5050" delta="-4" ppevent="0" ppstatus="0" pperror="0"/></M>
```

Lokalizační zprávy jsou odesílány na základě příznaků, respektive podmínek pro odeslání, které jsou (spolu s jejich četností) závislé na nastavení jednotlivých modemů, která mohou být odlišná i pro jednotlivé dopravce používající stejný typ zařízení. Tyto četnosti a podmínky pro odeslání jednotlivých zařízení a dopravců, jsou podrobněji uvedeny ke konci této kapitoly. Lokalizační zpráva, která obsahuje pouze základní atributy (*imei*, *pkt*, *lat*, *lng* a *tm*), bývá nazývána jako krátká. Opakem je pak zpráva dlouhá. Dlouhá zpráva je tvořena následující atributy:

- imei – číslo modemu,
- pkt – číslo paketu,
- lat a lng – souřadnice,
- tm – datum a čas PP v UTC,
- events - příznak,
- type, line, conn – zadaný typ linky, její číslo a číslo spoje,
- rych – aktuální rychlost,
- smer – azimut,
- evc – zadané evidenční číslo,
- turnus – číslo služby (obvykle tvořené číslem linky, pořadím a číslem označující provozní den),
- ridic – číslo řidiče,
- akt – číslo aktuální zastávky,
- konc – číslo cílové zastávky,
- delta – přepočítané zpoždění PP,
- ppevent – události PP,
- ppstatus – status PP,
- pperror – chyba PP. [49]

Aplikace přiřazuje jednotlivé zprávy ke spojům pouze na základě zasílaného IMEI modemu. Vizualizace pohybu vozidla (se zvýrazněním zprávy uváděné výše jako příklad) je na obrázku 15. Ve stavovém řádku okna mapy jsou tučně uvedeny údaje, které byly spárovány s daty z MPV na základě IMEI – zleva se jedná o název dopravce, evidenční číslo, RZ vozidla, typ vozidla a zcela vpravo typ linky/číslo linky/číslo spoje. Ve sloupci jsou pak uvedeny údaje, které jsou z vozu zasílány. Odeslané evidenční číslo vozu se nutně nemusí shodovat s evidenčním číslem přiřazeným – v PP je při výměně modemu nutné provést jeho změnu.



Obrázek 15 – MPVNet: Vizualizace pohybu vozidla v mapě [zobrazení programu MPV, zdroj autor]

Atribut *events* je tvořen znakem, případně řetězcem znaků, na základě kterého byla zpráva odeslána. Příznaky, které mohou být jako spouštěč použity, jsou následující:

- R – rozjezd (překročení stanovené minimální rychlosti),
- T – uplynutí stanového časového intervalu,
- L – uplynutí určené vzdálenosti,
- P – manipulace s PP,
- X – překročení stanovené rychlosti,
- A – změna azimutu,
- G – inicializace GPS,
- D – vjezd do okruhu 60 m okolo zastávkového sloupku,
- Z – výjezd z okruhu 60 m okolo zastávkového sloupku,
- S – stop.

Četnost zasílání krátkých a dlouhých zpráv závisí na nastavení konkrétního zařízení, dlouhé zprávy však bývají zasílány zpravidla minimálně v okolí zastávkových sloupků, kde častěji dochází k manipulaci s PP (např. vyhlášení zastávky). Kompletní přehled příznaků používaných pro odeslání dlouhé zprávy autobusových dopravců mimo DPP je uveden v tabulce 3.

Tabulka 3 – Příznaky využívané pro odeslání dlouhé zprávy [vlastní zpracování dle Logování komunikace MPV]

ZAŘÍZENÍ		PŘÍZNAK DLOUHÉ ZPRÁVY									
VÝROBCE	TYP	R	T	L	P	X	A	G	D	Z	S
APEX	RCA 05	X	X			X		X	X	X	
EMTEST	EM 126i Mijola				X				X	X	
Mikroelektronika	Synergy OCC	X	X		X	X			X*	X*	
Robustel (Telmax)	OS 4G				X						

* vyjma dopravců Autobusová doprava Kohout a Transdev Střední Čechy

Přesnost systému sledování vozidel se pak odvíjí od frekvence veškerých lokalizačních zpráv zasílaných z jednotlivých kanálů provozovatelů. Pro stanovení odchylky od JŘ jsou důležité zprávy v okolí zastávkových sloupků, kde je algoritmem vybírána zpráva, která nejpřesněji charakterizuje okamžik odjezdu vozu ze zastávky. Polohové zprávy z mezizastávkových úseků pak slouží pro dokreslení pohybu vozidla. Parametry příznaků R, T, L a X mohou být nastaveny libovolně a ovlivňovat tak vysílání i vyhodnocení odchylky od JŘ. Používané příznaky včetně jejich hodnot jsou uvedeny v tabulce 4.

Tabulka 4 – Příznaky využívané pro odeslání zprávy a jejich hodnoty [vlastní zpracování dle Logování komunikace MPV]

ZAŘÍZENÍ		PŘÍZNAK									
VÝROBCE	TYP	R	T	L	P	X	A	G	D	Z	S
		[km/h]	[min]	[m]	-	[km/h]	-	-	-	-	-
APEX	RCA 05	0-15	2			60+		X	X	X	
EMTEST	EM 126i Mijola				X				X	X	
Mikroelektronika	Synergy OCC	11-20	2*	250-270	X	70+		X	X	X	
Robustel (Telmax)	OS 4G	0-15	2**	310***	X	90+	X	X	X	X	

* zpráva je odesílána 2 minuty od poslední dlouhé zprávy

** pro dopravce ČSAD MHD Kladno je hodnota nastavena na 5 minut

*** pro dopravce Arriva City a Jaroslav Štěpánek je hodnota nastavena na cca 210 m

Hustota polohových zpráv dopravců ČSAD Benešov a ČSAD Slaný, používající PP EM 126i Mijola, je i přes využití pouhých tří příznaků pro odeslání zprávy značná, neboť jsou navíc zasílány krátké zprávy bez příznaku každou 2. až 6. sekundu.

Mimo polohových zpráv jsou přijímány zprávy od řidičů zasílaných z PP. Řidič může vybrat z předdefinovaných zpráv, případně psát zprávu vlastní. Tyto možnosti jsou závislé na používaném typu PP a jeho konkrétním nastavení – FCS 2000 má pouze předdefinované zprávy, EM 126i Mijola a Synergy OCC umožňují oba způsoby zadávání. Texty přednastavených zpráv jsou odlišné napříč dopravci; sjednocené jsou pouze závady orientací kvůli postihům za porušení standardu kvality. [54] Posledním typem zprávy ze serveru provozovatelů jsou stavové informace o doručení zpráv do vozů, které jsou párovány na základě identifikačního kódu zprávy. Oba typy zpráv jsou k jednotlivým vozidlům, případně spojům, přiřazovány dle čísla IMEI.

4 Systém hlídání dodržování stanovené trasy autobusu

Dispečerské systémy jsou v průběhu využívání rozvíjeny a vylepšovány o nové funkce na základě potřeb uživatelů. Jedním z požadavků na vývojáře dispečerského systému MPV PID je funkce hlídání dodržování stanovené trasy vozidla na lince. V současné době není systém schopen automaticky odhalit sjetí vozidla, avšak existují prostředky, které mohou indikovat problém na trase a při následné ověření v dispečerském systému jej i potvrdit. Jedná se o:

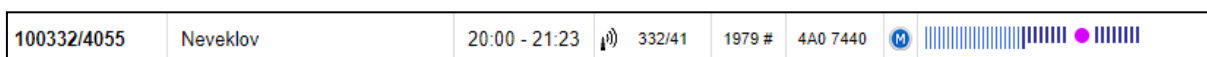
- využití avíz z MPV,
- sledování provozu v mapovém podkladu,
- sledování provozu v záložce Provoz v číslech,
- telefonické nahlášení jevu.

Hlavním prostředkem pro upozornění na nežádoucí stav jsou již zmíněná avíza zasílaná do emailové schránky uživatele, a to především upozornění na zpoždění či předjetí spoje. Pokud upozornění na zpoždění přichází z místa, které není typické pro kongesce, je třeba ověřit skutečnou dráhu spoje pohledem do mapy. Obdobně je nutné postupovat při předjetí spoje, zejména pokud se nejedná o předjetí v jeho koncovém úseku, kde je tento stav víceméně běžný. Jestliže je na některé ze zastávek na trase příznak kopie (tzn. polohová zpráva k ní nebyla přichycena) a tato kopie přímo předchází znatelné odchylce od JŘ, je pravděpodobné, že došlo k jejímu neobsouzení. Další možností je pak příchozí zpráva z vozu typu *alert* odeslaná řidičem z PP. Ta může obsahovat podrobný popis situace nebo mít formu přednastavené zprávy. Mezi nejběžnější přednastavené zprávy, upozorňující na problém na trase, patří „Nehoda – cizí“ a „Nesjízdná komunikace“. Zprávy z vozů jsou dostupné také v záložce *Logování komunikace* MPVNet (př.:`<M><alert imei="867377023799731" pkt="243" lat="50.22237" lng="14.49551" tm="2020-07-04T10:33:20" data="Nehoda - cizí" /></M>`) nebo přehledněji v záložce *Zprávy do/z vozů* MPVDesktop.

Dalším způsobem odhalení odchylky od trasy je sledování vozidla/vozidel v mapě v reálném čase. Při pozorování více vozů je však nutná znalost linkového vedení, neboť je trasy linky v mapě importována pouze při sledování konkrétního vozidla ze záložky *Provoz v číslech*. Výběrem tlačítka Nyní se zobrazí zprávy z vozu k aktuálnímu okamžiku a je tím umožněno zobrazení hustoty provozu a současných dopravních událostí, uzavírek a omezení z NDIC. Jejich popis, zejména pak informace o průjezdnosti a časové platnosti, jsou důležitým kritériem při rozhodování o zavedení odklonu od stanovené trasy (tj. nařízenému sjetí).

Při volbě jiného (historického) času jsou pak v mapě zobrazeny události NDIC a hustoty provozu platné k aktuálnímu okamžiku. Pro prověření oprávněnosti ke sjetí z trasy bez vědomí dispečera je proto nutné přistoupit k přezkoumání situace v mapě bezprostředně po zjištění nesouladu v dráze spoje, případně pak využít jiné zdroje informací obsahující i historické události (například Portál krizového řízení Středočeského kraje či Jednotný systém dopravních informací).

Událost, která má vliv na dodržení trasy a JŘ, může být také pozorována v záložce *Provoz v číslech*, kdy u spoje stoupá hodnota zpoždění a nedochází k obsluhování, respektive přichycení polohových zpráv, k dalším zastávkám na trase – svislé čáry představující (prozatím) neobsloužené zastávky jsou poloviční a roste jejich tloušťka (obrázek 16).



Obrázek 16 – MPVNet: Růst zpoždění na spoji [zobrazení programu MPV, zdroj autor]

Poslední možností je telefonické nahlášení řidičem či dispečerem dopravce. Událost může být také identifikována díky telefonnímu hovoru cestujícího, který na spoj čeká na zastávce dosud vozidlem neobsloužené, a kontaktuje informační dispečink, jenž je součástí dispečinku PID v pražských Letňanech. Sporadicky jsou problémy na trasách hlášeny policií či dispečinku Pražské plynárenské a Pražských vodovodů a kanalizací.

4.1 Srovnání výhod a nevýhod současného způsobu indikace

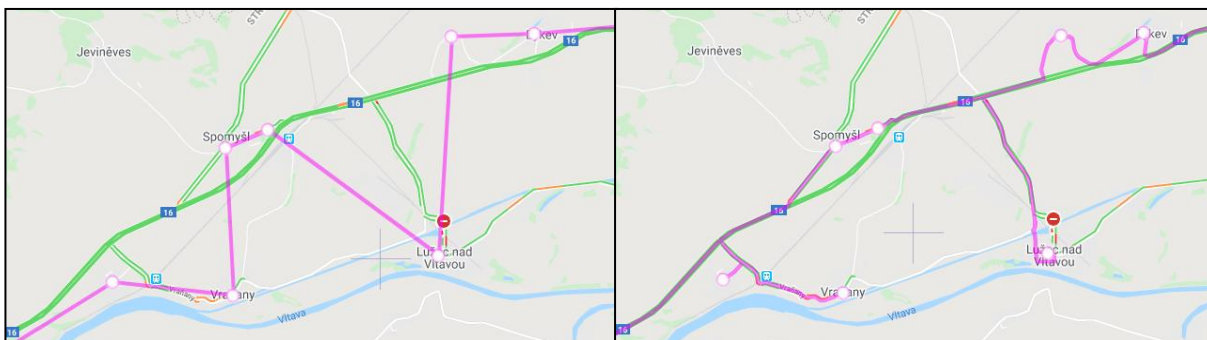
Mezi slabé stránky současného způsobu indikace jevu, který má dopad na dodržení stanovené trasy autobusu, patří v první řadě vyhodnocení odchylky od JŘ striktně vázané na zastávky. Pokud tedy sjetí nastane v mezizastávkovém úseku a délka odklonové trasy nebude výrazně odlišná od trasy stanovené tak, aby bylo systémem zaznamenáno zpoždění či předjetí, odpadá možnost využití tohoto upozornění. Značnou nevýhodou je také závislost na lidském faktoru, ať už z hlediska zaslání zprávy z PP řidičem nebo předání informace prostřednictvím telefonického hovoru. Překážkou je nevlastnění mobilního telefonu řidičem, nedostatek kreditu na předplacené SIM kartě, jazyková bariéra či neznalost telefonního čísla koordináčního dispečinku, a to zejména mimo provozní dobu dispečinku dopravce. Obdobný problém pak představuje omezená provozní doba informačního dispečinku PID. Nepřetržité sledování provozu a situace v mapě každého spoje je i při plném obsazení dispečinku (tj. čtyřmi dispečery na počítačových stanovištích) nereálné. Autorka neshledala prakticky žádné silné stránky stávajícího řešení – jedinou výhodou spatřuje v úspoře investičních nákladů.

4.2 Návrh nového způsobu realizace systému

Návrhem nového způsobu realizace systému hlídání dodržování stanovené trasy autobusu je takový systém, který eliminuje slabé stránky stávajícího řešení. Systém bude schopen automaticky rozpoznat sjetí vozidla na základě událostí nezávislých na činnosti člověka a bude součástí stávajícího dispečerského systému MPV. Odchytky od trasy, potažmo i JŘ, budou identifikovány i v mezistávkových úsecích. Předpoklady pro správnou funkci systému jsou následující:

- importované trasy linek v MPV,
- aktuální data,
- údržba číselníků MPV,
- zadávání správného vypravení vozidel,
- sjednocení intervalu odesílaných lokalizačních zpráv,
- zajištění vysílání vozidel.

Prvním předpokladem pro správnou funkci systému je načítání trajektorií linek ke spojům. Tyto trasy jsou součástí konstrukce JŘ v ASW JŘ, kde jsou příslušným projektantem poloautomaticky zadávány mezi jednotlivými zastávkami v drátovém modelu komunikací. Důležité jsou proto také správné souřadnice zastávek, které jsou soustředěny v *Číselníku uzlů a zastávek* ASW JŘ. Z historického hlediska je tato databáze udržována DPP, kdy je za ROPID a IDSK přístup primárně umožněn jediné osobě, která aktualizace zasílá DPP. [55] Přesnost polohy zastávky závisí na způsobu jejího zaměření – pomocí GNSS přijímače či ručního odečtu z online mapového podkladu. Jedním ze vstupních souborů MPV je PID.TT, který (mimo jiné) obsahuje zmíněné trajektorie a souřadnice zastávek. K plnohodnotnému načítání dat z PID.TT došlo v polovině března 2020 – v minulosti byly zastávky, respektive jejich souřadnice, zobrazeny jako pouhá spojnice bodů (obrázek 17).



Obrázek 17 – MPVNet: Vizualizace dráhy spoje (vlevo původní stav, vpravo načítání z PID.TT)

[zobrazení programu MPV, zdroj autor]

Další podmínkou jsou aktuální data, a to jak v PP ve vozidle, tak v MPV. Nahrávání platných dat do vozidel je v kompetenci dopravců, případně dodavatelů odbavovacích zařízení. Díky načítání dat z PID.TT jsou data do systému přenášena tak, jak jsou v ASW JŘ, a lépe tak reflektují skutečný stav, než při v minulosti využívané databázi CIS JŘ. Důvodem pro tuto změnu byly dlouhodobé problémy se špatně nahanými JŘ či jejich úplnou absencí v CIS JŘ nebo pozdní schvalování JŘ dopravním úřadem. Projevení změn v MPV však ani v tomto případě není okamžité – zpravidla se změny projeví následující pracovní den v devět hodin ráno. Výjimku tvoří načítání dat v pátek, kdy jsou načítány JŘ i na víkendový provoz, a k promítnutí v MPV tak dojde až ve 12 hodin. Tyto časy jsou pevně stanoveny vývojáři MPV a vycházejí z kontinuálně probíhajících replikací. [54] CIS JŘ slouží nadále jako záložní zdroj a zdroj dat pro MPV linek mimo PID. Při změnách linkového vedení je tak nutné pamatovat nejen na úpravu trasy, ale také případný posun zastávkových sloupků nebo změnu odjezdového sloupku v rámci jedné zastávky. Všechny tyto údaje mají vliv na správnost vyhodnocení odchylky od trajektorie i JŘ.

Neméně důležité jsou aktuální databáze oběhů a vozidel v MPV. Oběhy lze vytvářet ručně nebo importovat ze souboru z ASW JŘ, případně ze softwaru dopravce, a k nim jsou pak přiřazovány jednotlivé spoje z PID.TT. Katalogy vozidel (záložka *Vozy dopravce*) jsou udržovány jednotlivými dopravci a vždy by měly obsahovat aktuální a přesné informace o jednotlivých vozidlech. Pro správnou funkci systému hlídání dodržování stanovené trasy autobusu je pak důležitá především kombinace IMEI modemu, RZ vozu a jeho evidenční číslo. Polohové zprávy budou stejně jako dosud párovány dle čísla IMEI.

V návaznosti na předchozí odstavec je pak nezbytné, aby měl dopravce v systému vypravené veškeré oběhy v daný provozní den, a to v souladu s reálným provozem a nejpozději před výjezdem prvního spoje. Veškeré provozní změny týkající se změny v nasazených vozidlech musí být v systému zaznamenány neprodleně.

Posledním předpokladem je zajištění vysílání vozidel a sjednocení intervalu odesílaných lokalizačních zpráv z vozidla. Ty jsou v současné době zasílány na základě různých příznaků s rozdílnými hodnotami parametrů – viz tabulka 4, která vychází z analýzy *Logování komunikace* MPV.

Jednou se vstupních podmínek systému pro hlídání dodržování stanovené trasy autobusu je určení počtu a vzdálenosti zpráv mimo zadanou trajektorii, které již budou považovány za sjetí. V současné době je trasa vymezena pouze zastávkami a lomovými body, a aby bylo možné vyhodnotit dodržování trasy i v úseku mezi nimi (typicky rovný úsek bez lomových bodů), je třeba trasu proložit pomocnými body.

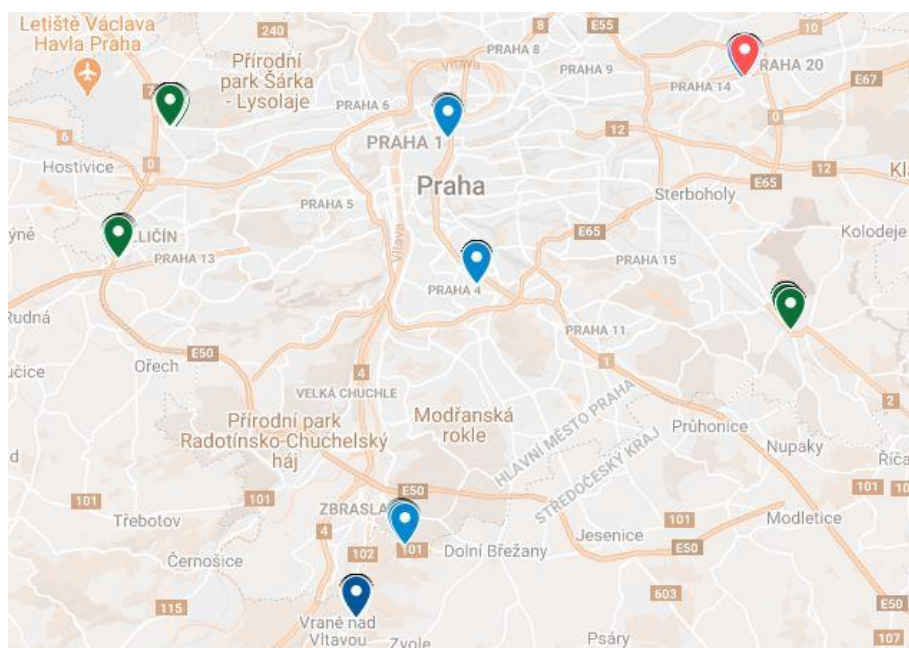
4.2.1 Analýza lokalizačních zpráv

Pro určení vzdálenosti pomocných bodů trajektorie autorka přistoupila k analýze lokalizačních zpráv. Pro analýzu bylo zvoleno osm oblastí systému PID, které byly vybrány dle několika kritérií a jejich kombinací na základě znalosti místních poměrů:

1. oblast je obsluhována větším počtem dopravců, respektive jsou zde provozovány autobusy vybavené zařízeními od různých dodavatelů,
2. oblast je rovným přímým úsekem,
3. jedná se o oblast s odrazy signálů GNSS.

Konkrétně pak byly vybrány níže uvedené oblasti, znázorněné také na obrázku 18:

- Praha, Bílá labuť (jeden dopravce, dva dodavatelé, oblast s odrazy signálů),
- Praha, Břežanské údolí (dva dopravci, jeden dodavatel, oblast s odrazy signálů),
- Praha, Budějovická (tři dopravci, dva dodavatelé, oblast s odrazy signálů),
- Praha, Černý Most (osm dopravců, tři dodavatelé, oblast s odrazy signálů),
- Praha, Depo Zličín (tři dopravci, dva dodavatelé, rovný přímý úsek),
- Praha, Dědina (sedm dopravců, tři dodavatelé, rovný přímý úsek),
- Jíloviště, Výzkumný ústav (tři dopravci, dva dodavatelé, oblast s odrazy signálů),
- Praha, Nové náměstí (čtyři dopravci, tři dodavatelé, rovný přímý úsek).



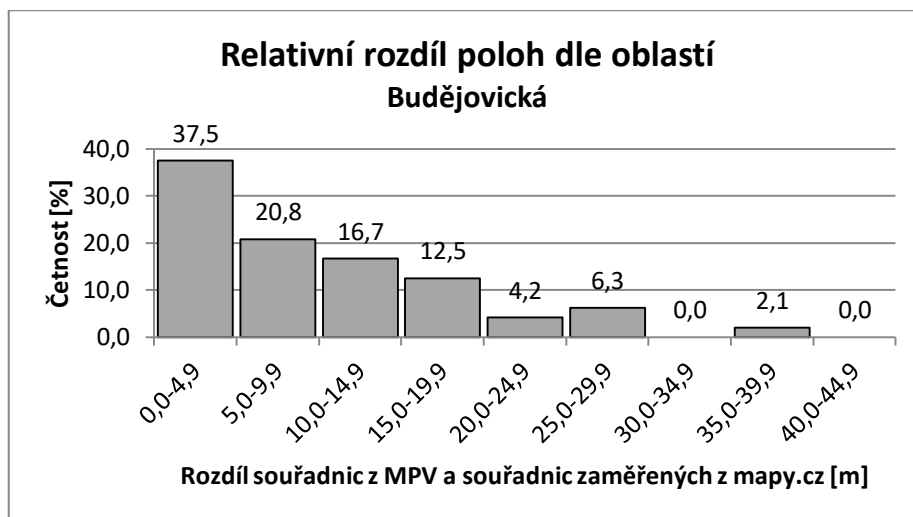
Obrázek 18 – Umístění řešených oblastí [zdroj mapového podkladu: Google Maps, vlastní zpracování]

Do analýzy byli zapojeni veškerí autobusoví dopravci PID (mimo DPP), doplnění o tři největší subdodavatelské společnosti provozující autobusovou dopravu, a všichni dodavatelé zařízení pro určení polohy vozidla. Pro každou oblast bylo uvažováno zpravidla 12-16 rozdílných autobusů (počet se odvíjel od množství dopravců/linek v oblasti) v rámci jednoho dne. Menší počet autobusů byl zvolen u noční linky 960 v Břežanském údolí a u linky 194 v oblasti Bílé labutě, a to z důvodu provozu jediné linky v daném území. Souřadnice jednotlivých polohových zpráv z *Logování komunikace* MPV byly porovnávány s bodem ručně odměřeným z mapového portálu mapy.cz daným kolmicí od skutečné polohy k předpokládané poloze vozu na trase. Toto zjednodušení vychází z autorkou stanovené definice sjetí, jakožto vertikální vzdálenosti skutečné polohy vozu od bodu na trajektorii. Vzdálenost mezi dvěma body v metrech pak byla vypočítána pomocí online kalkulatoru [50] a zaokrouhlena na jedno desetinné místo. Počet intervalů pro vyhodnocení byl stanoven na základě Sturgesova pravidla ve tvaru $k = 1 + 3,3 \log n$, který odpovídá rozsahu souboru. [56]

Vybrané autobusy, respektive jejich poloha, byly sledovány po tři po sobě jdoucí dny od 3. 2. 2020 do 5. 2. 2020 na shodných linkách v podobné časy ve zvolené oblasti. Pokud byla odchylka polohy autobusu z MPV a polohy zaměřené z mapy.cz minimálně po dva dny větší než 8,0 metrů, byl tento autobus prověřován i po další dva dny – 6. a 7. 2. 2020. V případě, že nebyl stejný autobus na vybrané lince nasazen po všechny sledované dny (ať už z důvodu technické závady nebo není stabilně přiřazen k určitému výkonu), bylo přistoupeno k využití totožného autobusu na jiné lince v řešené oblasti, nebo k volbě jiného autobusu shodného dopravce (pokud to bylo možné i se stejným vybavením od dodavatele). Specifický byl pak případ Břežanského údolí, kterým projíždí noční linka 960, respektive jeden pár spojů, která je v pracovních dnech zajišťována kmenovým dopravcem Arriva City a o víkendech či svátcích zajišťována formou subdodávky dopravcem Baronetto. Z tohoto důvodu bylo přistoupeno k nestandardní volbě dnů k analýze. Polohové zprávy byly převážně zaměřovány v okolí zastávek, neboť mají všechna řešení od dodavatelů shodný příznak pro odeslání lokalizační zprávy vjezd či výjezd z okruhu zastávkového sloupku (nemusí se nutně jednat o zastávku, kterou daná linka obsluhuje). V případě Černého Mostu byly vybrány lokalizační zprávy, které se nacházely nejbližšími nástupními zastávkám pro jednotlivé linky ve spodní části terminálu. Pro analýzu byly také použity pouze zprávy s nenulovou rychlostí a zprávy s nulovou rychlostí vybranému vzorku ani přímo nepředcházely, a to kvůli pozorované setrvačnosti GPS v mapovém podkladu MPV.

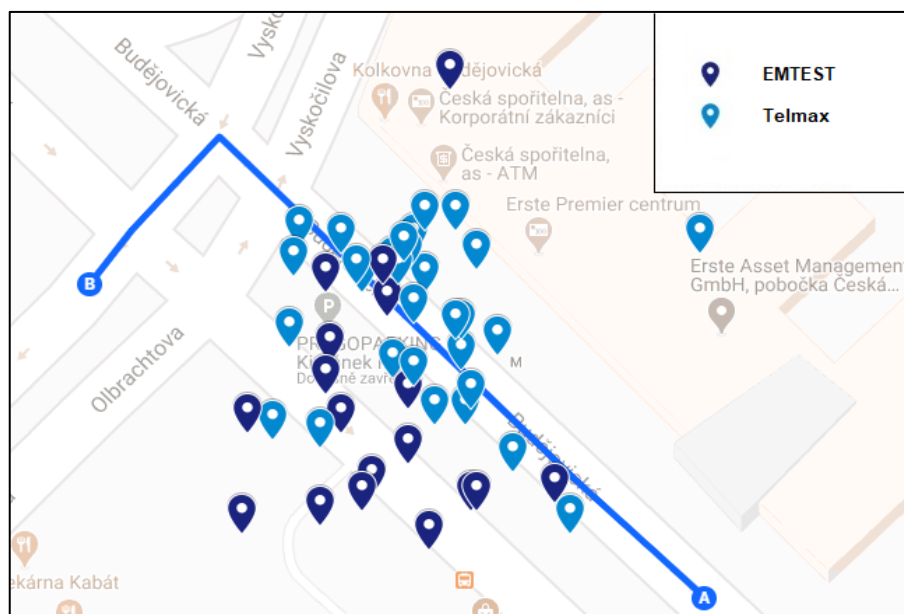
Kompletní data z analýzy jsou uvedena v příloze 3, jednotlivé oblasti tvořené polohovými zprávami z vozidel lze prohlížet na <https://www.google.com/maps/d/edit?mid=16Vky9U4-XWCAUvJCVqWS0EuYYxKVZFyt&usp=sharing>.

Oblastí, s největším rozptylem hodnot rozdílu souřadnic z Logování komunikace MPV a ručně zaměřených z mapového portálu mapy.cz, je Budějovická. Zde bylo prověřováno celkem 48 lokalizačních zpráv, z nichž pouhých 37,5 % bylo zaměřeno s rozdílem menším než 5 metrů (oproti průměrným 66,2 %). Nutno však dodat, že se jedná o oblast s budovami dosahujícími výšek okolo 50 metrů. Histogram relativních rozdílů poloh znázorňuje graf 3.



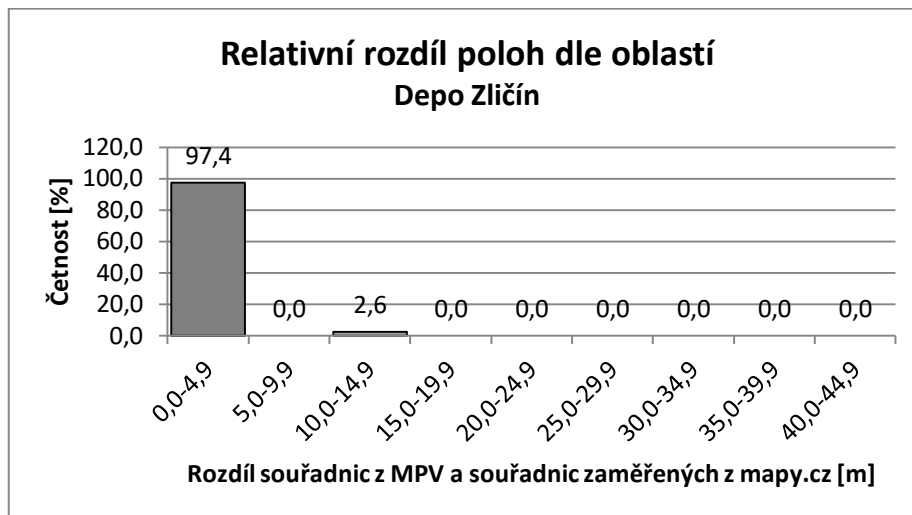
Graf 3 – Relativní rozdíl poloh: Budějovická [vlastní zpracování]

V rámci oblasti byly řešeny linky PID 332, 335, 339 a 362 licenčně zajišťovány dopravcem Arriva City (dodavatel řešení Telmax), subdodavatelsky dopravcem Baronetto (dodavatel Telmax); a linka 337 zajišťována dopravcem ČSAD Benešov (dodavatel EMTEST). Polohové zprávy včetně referenční úsečky jsou na obrázku 19.



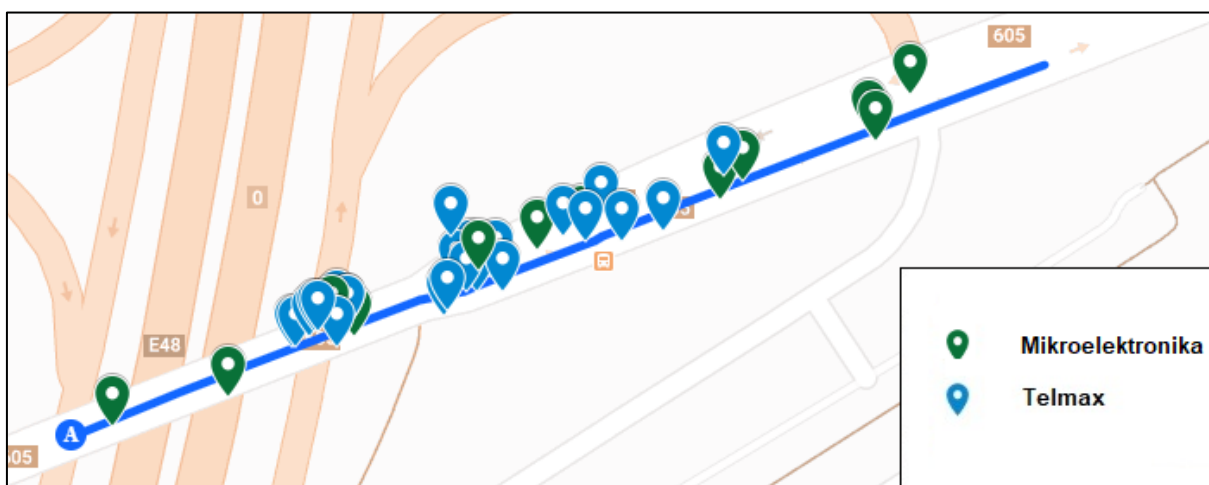
Obrázek 19 – Polohové zprávy z MPV: Budějovická [vlastní zpracování]

Nejmenší odchylky v souřadnicích zaměřených z mapy.cz a z MPV byly zaznamenány v oblasti zastávky Depo Zličín ve směru Zličín. Zde bylo přes 97 % zpráv z celkových 39 zaznamenáno s přesností do 5 metrů. Tato oblast se nachází mimo zastavené území. Histogram relativních rozdílů poloh znázorňuje graf 4.



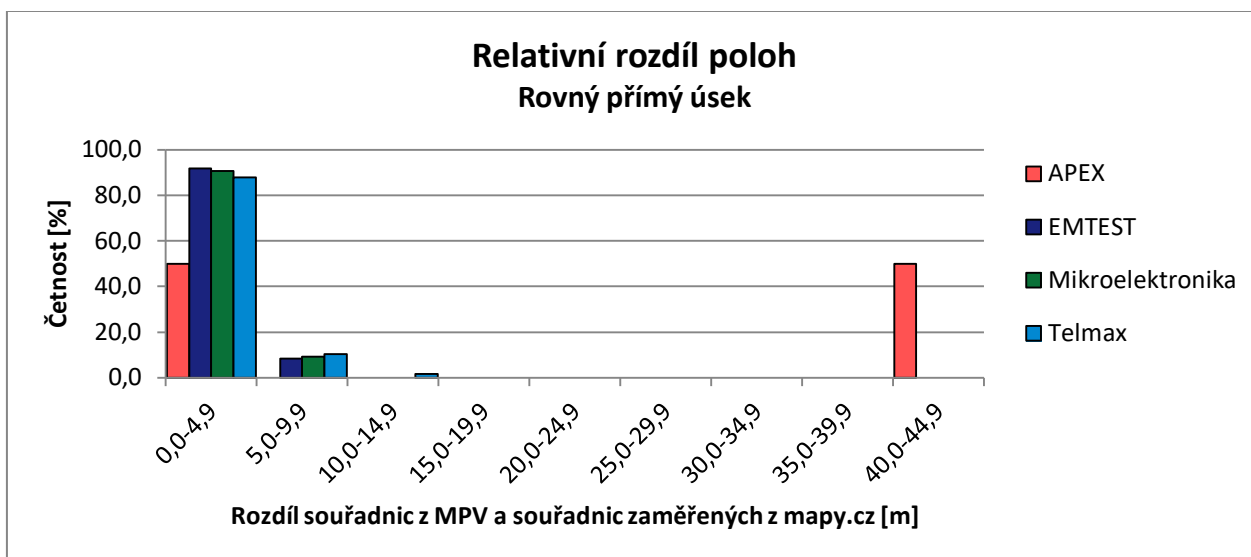
Graf 4 – Relativní rozdíl poloh: Depo Zličín [vlastní zpracování]

Pro analýzu byly zvoleny linky PID 304 a 404 dopravce Transdev Střední Čechy, dříve Anexia (dodavatel řešení Mikroelektronika), linka 305 provozovaná dopravci Transdev Střední Čechy a ČSAD MHD Kladno, linky 307, 336 a 386 licenčně provozované dopravcem ČSAD MHD Kladno (dodavatel Telmax) a linky 308, 309, 310, 358 a 384 dopravce ARRIVA Střední Čechy (dodavatel Telmax). Lokalizační zprávy z MPV včetně referenční úsečky jsou na obrázku 20.



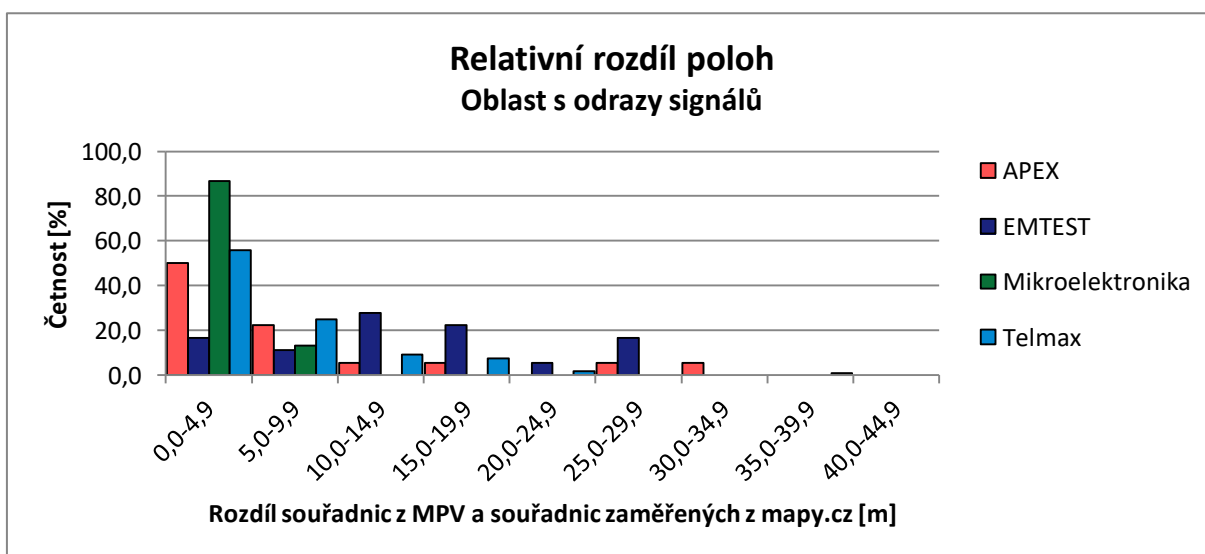
Obrázek 20 – Polohové zprávy z MPV: Depo Zličín [vlastní zpracování]

Při souhrnném porovnání jednotlivých řešení od dodavatelů v úsecích, které jsou rovné a přímé (graf 5), a v oblastech s odrazy signálů (graf 6), vykazovala průměrně nejlepší výsledky Mikroelektronika.



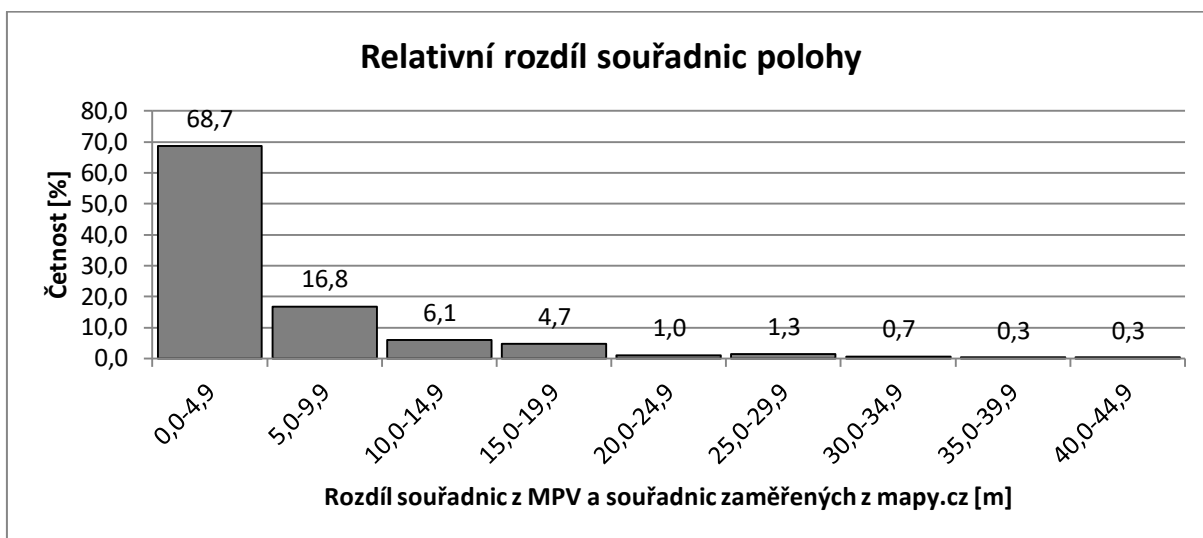
Graf 5 – Relativní rozdíl poloh: rovný přímý úsek souhrnně [vlastní zpracování]

Odlehlá hodnota polohové zprávy ze zařízení Apex v grafu 5 je daná inicializací zařízení v oblasti zastínění. Zkreslení je celkově dáno malým počtem autobusů, které toto řešení používají a tím omezeným možnostem pro jejich využití v analýze. V oblastech s odrazy signálu (graf 6) vykazoval nejmenší přesnost EMTEST, avšak toto řešení je využíváno pouze dvěma dopravci PID a proto byly opět možnosti pro analýzu omezené – všechny záznamy tak pocházejí pouze z jedné oblasti zatížené zvýšenou odrazivostí od okolních objektů.



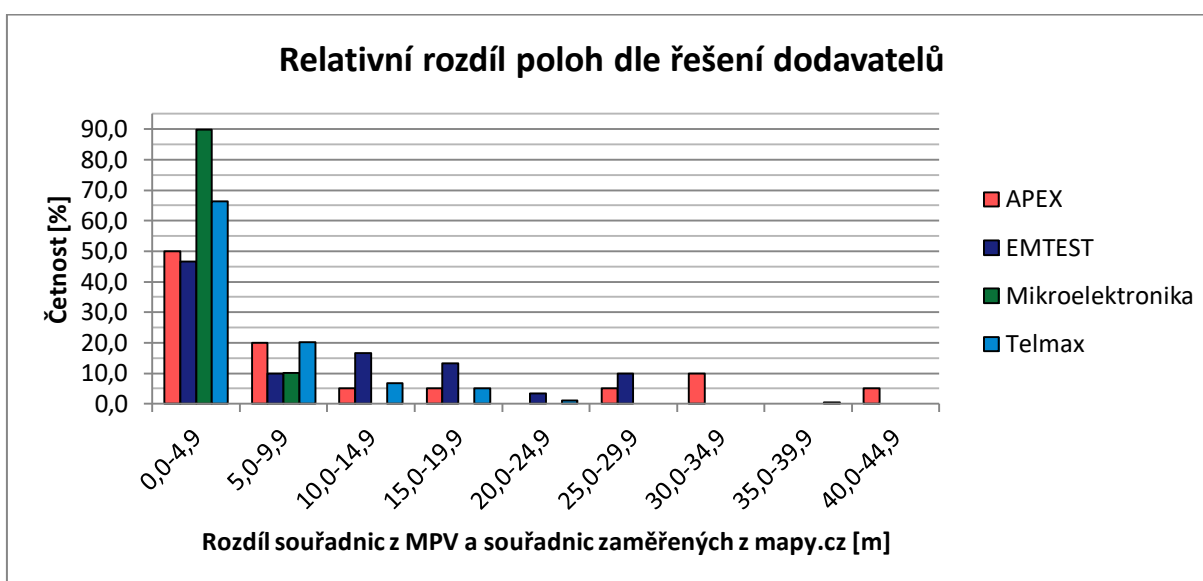
Graf 6 – Relativní rozdíl poloh: oblast s odrazy signálů souhrnně [vlastní zpracování]

Celkově bylo za všechny oblasti prověřováno 297 případů, z nichž téměř 70 % bylo vyhodnoceno s odchylkou menší než 5 metrů od „reálné“ polohy, tedy polohy dané jednotlivými body na referenční úsečce představující trajektorii autobusu ve středu jízdního pásu. Relativní četnost rozdílů souřadnic poloh zobrazuje graf 7.

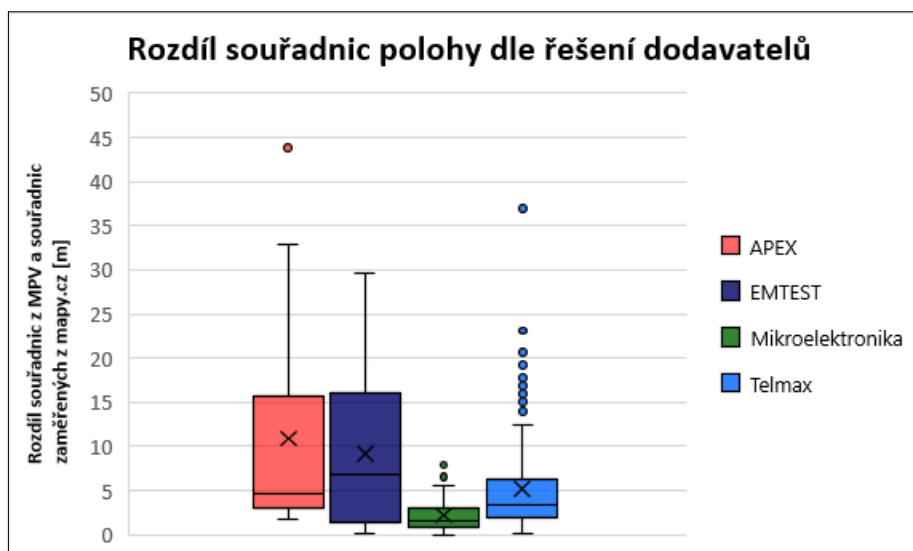


Graf 7 – Relativní rozdíl souřadnic polohy [vlastní zpracování]

Relativní rozdíl poloh veškerých vzorků polohových zpráv dle jednotlivých řešení dodavatelů udává graf 8. Tyto rozdíly poloh jsou dále zpracovány formou tzv. krabicových diagramů dle jednotlivých dodavatelů, a to v grafu 9, kde jsou lépe porovnány jednotlivé soubory dat.



Graf 8 – Relativní rozdíl souřadnic polohy dle jednotlivých řešení dodavatelů [vlastní zpracování]



Graf 9 – Rozdíl souřadnic polohy dle řešení dodavatelů [vlastní zpracování]

Ze vstupní analýzy vyplynulo, že 96,6 % poloh vozidel bylo určeno s přesností do 20 m. Výsledky analýzy jsou zatíženy chybami měření bodu v mapovém podkladu a chybami zaměření polohy vozidla pomocí GNSS. Systematická chyba, daná přesností měřící metody, je tvořena přesností mapového podkladu, chybou ručního zaměření bodu v mapě, rozlišením monitoru a myši a zaokrouhlovací chybou souřadnic. Všechny tyto chyby jsou na úrovni desítek centimetrů, případně menší, kdy je vycházeno z předpokladu nemožnosti polohového rozlišení méně než pixelu. Chyba zaměření přijímače se pak odvíjí od podmínek při měření a obecně je udávána v řádech metrů. Kompletní přehled chyb a jejich hodnot je v tabulce 4. Chyba v určení polohy vozidla nebyla v žádném z případů vyšší než 50 m, proto byla tato hodnota zvolena jako odhad spodního limitu pro stanovení sjetí vozidla z trasy.

Tabulka 5 – Zdroje chyb při analýze polohových zpráv [vlastní zpracování]

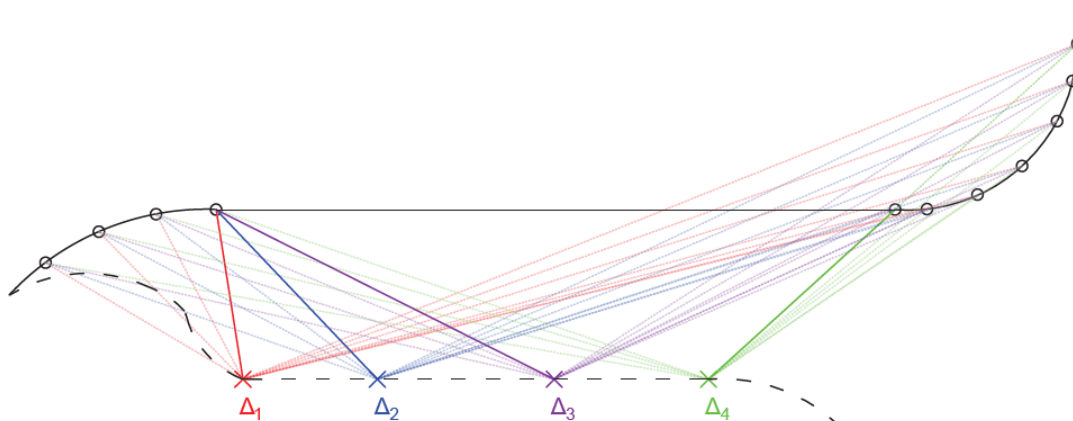
Chyba	Hodnota [m]
Přesnost mapového podkladu	0,3
Ruční zaměření bodu v mapě	0,2
Rozlišení monitoru	0,2
Rozlišení myši	$1,6 \times 10^{-5}$
Zaokrouhlovací chyba souřadnic	0,1
Zaměření polohy přijímače	jednotky

Horní limit byl stanoven empiricky na základě pozorování a zkušeností autorky. Sjetí je nutné odhalit co nejdříve, aby bylo možné autobus vrátit na trasu plánovanou, a to bez větších dopadů na zbytek spoje. Důležitá je proto znalost okamžité „časové“ vzdálenosti vozu od plánované trasy. Jako limitní hodnota proto byla zvolena 1 minuta, která při současné průměrné cestovní rychlosti autobusu 25,2 km/h [51] odpovídá 420 m.

4.2.2 Algoritmus vyhodnocení odchylky od stanovené trasy

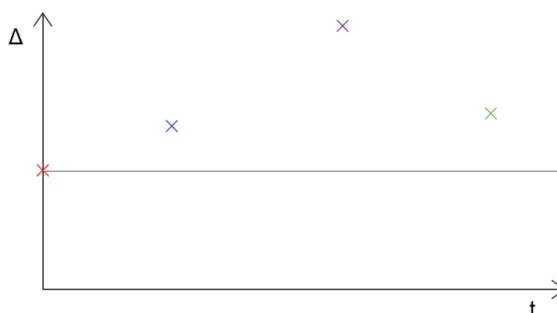
V současné chvíli je trajektorie linky tvořena zastávkami a lomovými body trasy. Jejich počet je samozřejmě pro každou linku, případně její variantu, odlišný, a to v závislosti na jejím směrovém vedení, charakteru linky a obsluhovaném území. Příklad trajektorie linky PID 302 z logu dat načítaných z CRWS (webová služba, pomocí které si přistupuje k datům JŘ) je v příloze 4; zanesení jednotlivých bodů v mapovém podkladu lze prohlížet na <https://www.google.com/maps/d/edit?mid=1JUhuZlepFMMSZPQcFQyXPLgwRNw3K08b&usp=sharing>.

Problém tvoří přímé úseky bez lomových bodů a zastávek – vzdálenost skutečné polohy autobusu je v tomto případě nepřesná z důvodu vzdálených referenčních bodů. Při jízdě mimo stanovenou trasu po komunikaci souběžné navíc může docházet ke kolísání hodnoty vzdálenosti od trasy, přestože je ve skutečnosti neměnná. Tuto situaci ilustruje obrázek 21.



Obrázek 21 – Ilustrace souběžné jízdy autobusu s trasou stanovenou [vlastní zpracování]

Stanovená trajektorie je zobrazena černou plnou čarou, trajektorie sjetí čarou přerušovanou. Jednotlivé polohové zprávy z vozidla jsou zobrazeny barevně, a to včetně prověřování vzdálenosti k jednotlivým lomovým bodům. Nejmenší vzdálenost je uvedena silnější čarou a označena jako Δ . Vývoj vzdálenosti vozidla od stanovené trasy v čase je na obrázku 22.



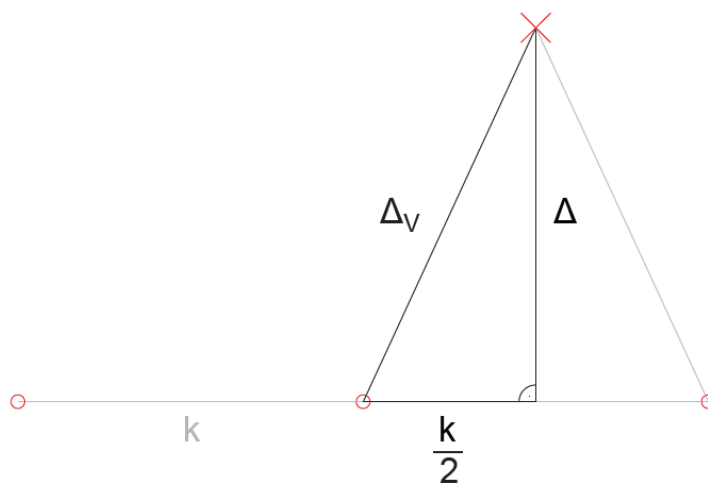
Obrázek 22 – Vývoj vzdálenosti od stanovené trasy v čase [vlastní zpracování]

Pro správnou funkci systému hlídání dodržování stanové trasy autobusu je zapotřebí proložit jednotlivé trajektorie linek, včetně všech jejich variant určených číslem linkospoje, pomocnými body. Ty budou ekvidistantně doplňovat lomové body, respektive příslušná hodnota jejich vzdáleností bude hodnotou maximální. Pomocné body jsou zobrazeny na obrázku 23 červeně.



Obrázek 23 – Proložení trajektorie linky pomocnými body [vlastní zpracování]

Hodnota vzdálenosti pomocných bodů byla vypočtena z pravoúhlého trojúhelníku vzniklého zobrazením polohy z lokalizační zprávy z autobusu vůči jeho stanovené trase, a to za předpokladu zjednodušení – obrázek 24.



Obrázek 24 – Pravoúhlý trojúhelník pro výpočet vzdálenosti pomocných bodů [vlastní zpracování]

Poloha autobusu je na obrázku 24 zobrazena červeným křížkem, stanovená trasa vozidla černou vodorovnou čarou – ta je proložena červenými pomocnými body se vzájemnou vzdáleností k . Nejmenší rozdíl vzdálenosti vozidla a trasy je v obrázku označen jako Δ – jedná se o reálnou hodnotu sjetí, která byla pro odvození kroku uvažována 420 m; Δ_v pak označuje vypočítanou hodnotu sjetí, která se od Δ neliší o více jak 11,9 % (odpovídající spodnímu limit 50 m).

Vyjádření proměnné k z Pythagorovy věty:

$$k = 2\sqrt{\Delta_V^2 - \Delta^2}$$

Předpoklady:

$$\begin{aligned}\Delta &= 420 \text{ m} \\ a \ |\Delta - \Delta_V| &< 11,9 \% \\ \Rightarrow \Delta_V &= 470 \text{ m}\end{aligned}$$

Dosažení:

$$k = 2\sqrt{470^2 - 420^2}$$

$$k = 421 \text{ m}$$

Za předpokladu uvažování 420 m jako vzdálenosti směrodatné pro sjetí vozidla a chybu ve výpočtu vzdálenosti do 12 %, je minimální krok pro vzorkování 421 m.

Poloha autobusu je určena pomocí lokalizačních zpráv, které jsou periodicky odesílány z jednotlivých vozidel. Tyto zprávy se pomocí IMEI modemu spárují s příslušným linkospojem. Na základě znalosti jeho čísla se z databáze načte množina lomových a pomocných bodů se známými souřadnicemi. Algoritmus pak hledá nejbližší bod, tj. bod s nejmenší rozdílovou vzdáleností, která bude představovat sjetí z trasy Δ . Tato vzdálenost je prověřována pro každou polohovou zprávu z vozu a bude indikována jako sjetí za následujících podmínek, které musí být splněny současně:

- jestliže Δ_n a $\Delta_{n+1} \geq 420$ m (kvůli eliminaci náhodných fluktuací v určení polohy),
- lokalizační zpráva byla odeslána s příznakem R, T, L, P, X, A, D, Z, nebo S; případně je daná řetězcem uvedených příznaků,

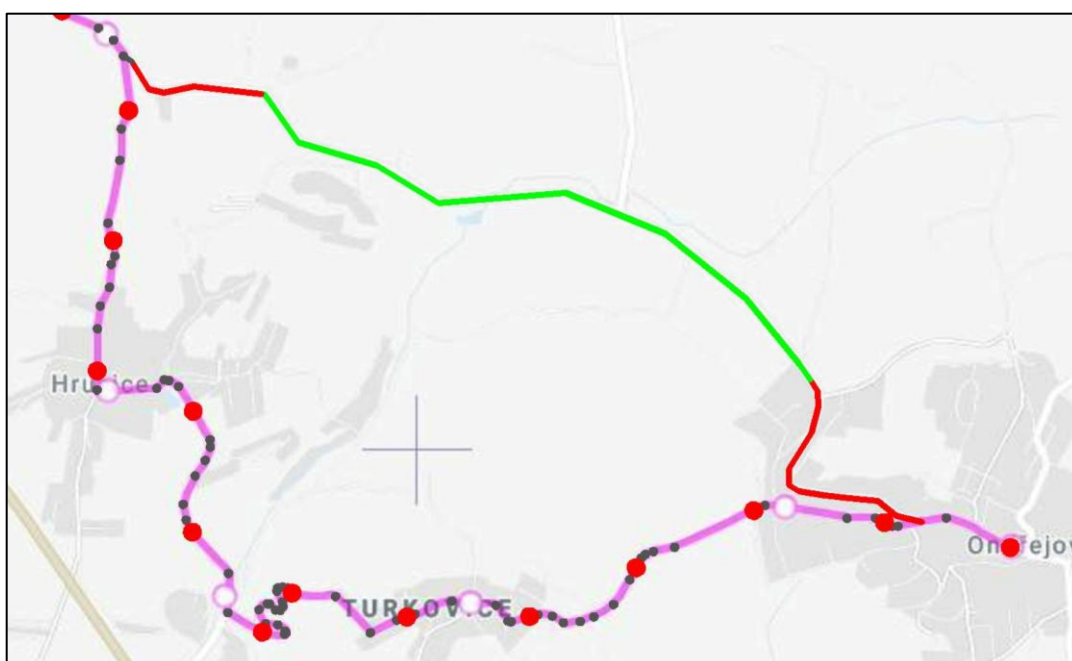
Aby byla jednotlivá sjetí pro různé dopravce indikována se stejnou přesností/pravděpodobností, je třeba sjednotit interval zasílaných lokalizačních zpráv tak, aby byla polohová zpráva odesílána pravidelně na základě některého z příznaku výše uvedených. Důležitým spouštěčem, který by měl každý dopravce používat pro odeslání lokalizační zprávy z vozidla, je ujetá vzdálenost. Ta by měla být nastavena maximálně na 400 m v kontextu se stanovenou hranicí pro sjetí.

Stanovené hodnoty pro sjetí a vzdálenost pomocných bodů byly v následující podkapitole aplikovány na reálné provozní případy nedodržení trasy.

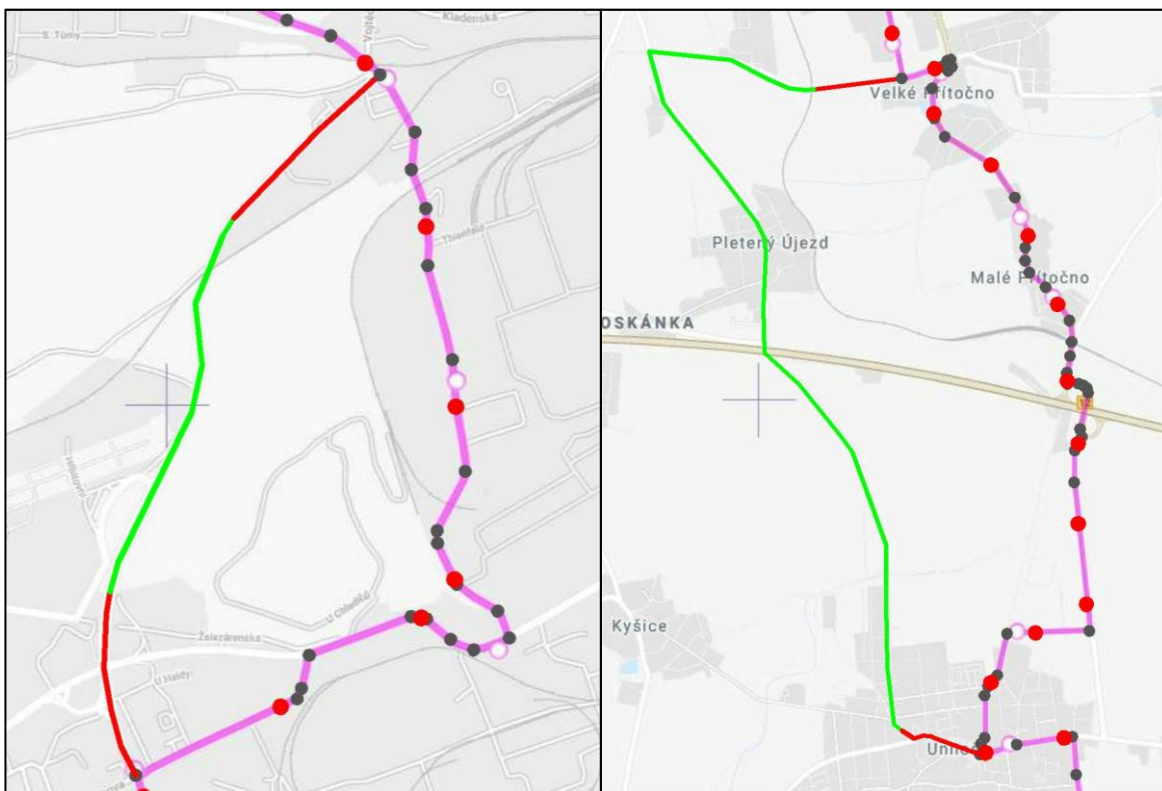
4.2.3 Aplikace navrženého algoritmu na reálné případy nedodržení trasy

Limitní hodnota sjetí 420 m, odpovídající minutové jízdě autobusu průměrnou cestovní rychlostí 25,2 km/h s, a maximální hodnota vzdálenosti pomocných bodů trajektorie 421 m z ní vycházející byla aplikována na reálné případy nedodržení stanovené trasy autobusu. Tyto situace ve většině případů vycházely z nařízených odklonů dispečerů kvůli vzniklým mimořádným situacím – neohlášené stavební práce, dopravní nehody s uzavírkou komunikace či krátkodobá uzavření železničních přejezdů. V případě linky 490 se však jednalo o nedodržení stanovené trasy linky zaviněné neznalostí jejího vedení novým řidičem.

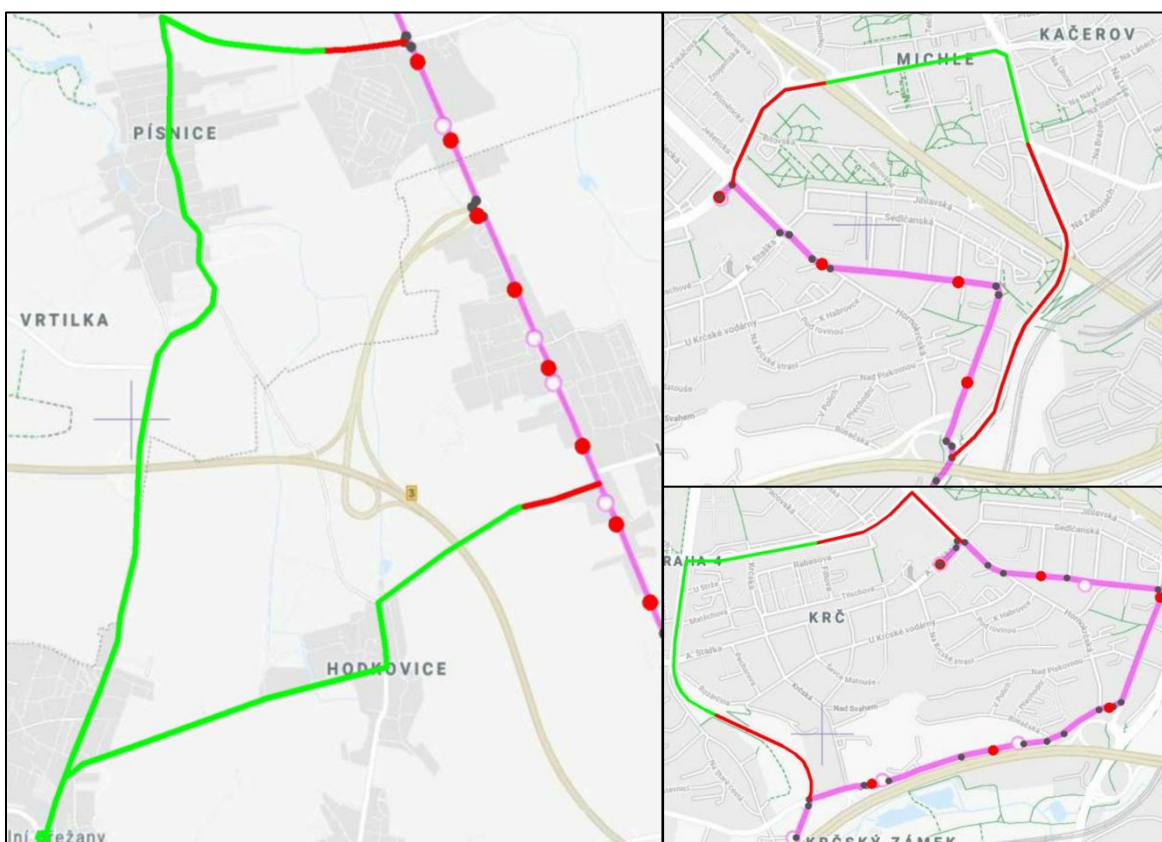
Na následujících obrázcích (25, 26 a 27) je v mapovém podkladu fialově vyznačena stanovená trasa autobusu tak, jak je nadefinovaná projektantem v ASW JŘ. Zastávky jsou označeny fialovou kružnicí, a to buď s bílým vnitřkem kruhu (pokud nebyla k zastávce přiřazena žádná lokalizační zpráva) nebo s vnitřkem fialovým (polohová zpráva byla k zastávce přichycena). Souřadnice zastávkových sloupků opět vychází z ASW JŘ, respektive modulu Číselník uzlů a zastávek. Lomové body trajektorie linky jsou označeny černým bodem, nově vzniklé pomocné body se vzdáleností maximálně 421 m červenou kružnicí. Jízda mimo stanovenou trasu je dána přijatými lokalizačními zprávami z vozu a je odlišena barevně v závislosti na indikaci sjetí – zelenou barvou je vyznačen úsek, který by byl dle zadaných parametrů detekován jako sjetí, červenou barvou úsek mimo stanovenou trajektorii bez odhalení sjetí.



Obrázek 25 – Indikace sjetí na lince 490 [zobrazení programu MPV, vlastní zpracování]



Obrázek 26 – Indikace sjetí na lince 602 (vlevo) a 307 [zobrazení programu MPV, vlastní zpracování]



Obrázek 27 – Indikace sjetí na lince 332 (vlevo a nahoře) a 117 [zobrazení programu MPV, vlastní zpracování]

4.3 Softwarové a hardwarové vybavení pro realizaci systému

Pro realizaci funkce systému hlídání dodržování stanovené trasy autobusu nebudou z hlediska hardwarového vybavení obecně nutné úpravy – vše je implementováno ve stávajícím systému pro sledování vozidel v reálném čase. Konkrétně se jedná o:

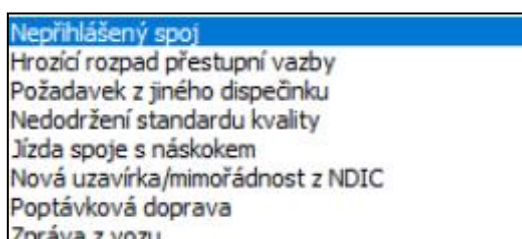
- anténa pro příjem GNSS signálu z družic navigačních systémů (může být i součástí PP),
- jednotka pro určení polohy vozidla – modul GNSS, komunikační jednotka,
- anténa pro komunikaci přes radiovou síť / síť mobilního operátora (může být i součástí jednotky pro určení polohy vozidla),
- síť pro zprostředkování komunikace v reálném čase,
- server dodavatele jednotek pro určení polohy vozidla,
- server vývojáře AVL,
- samotný AVL systém.

Implementace modulu pro hlídání sjetí klade vyšší nároky na výpočetní procesy – v ranní špičce by znamenala prověření cca 1700 spojů průměrně každých 11 s (při současném využití spouštěčů a hodnot pro odeslání lokalizační zprávy dle tabulky 4). Stanovení velikosti výpočetních nároků není předmětem této práce.

Z hlediska softwarového vybavení je nutná tvorba zcela nového modulu MPV pro vyhodnocení odchylky a úprava modulu pro indikace odchylky pro dispečera i řidiče.

4.4 Indikace odchylky od stanovené trasy

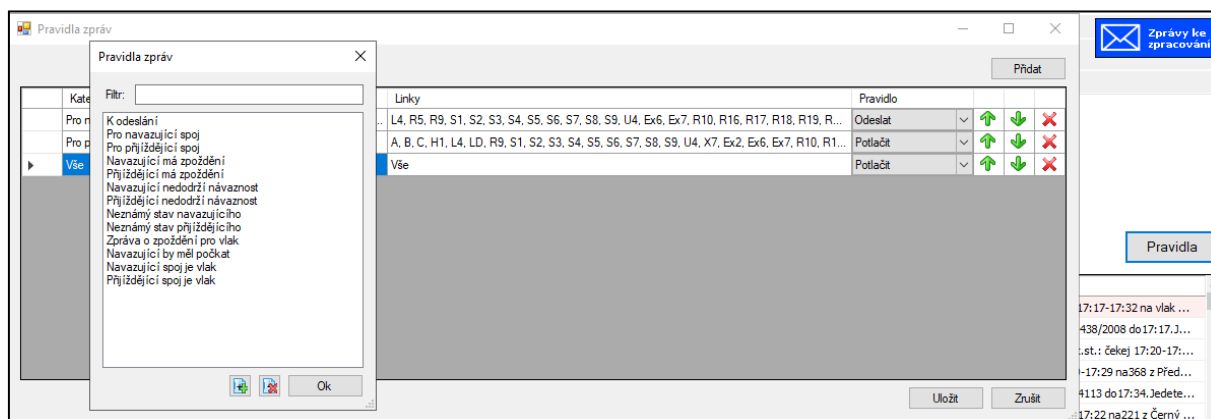
Stávajícím způsobem pro upozornění dispečera na jakýkoliv nestandardní jev jsou avíza odesílání do emailové schránky uživatele – viz kapitola 3.3.1. Autorka navrhuje, aby indikace odchylky od stanovené trasy byla přímo v programu MPVDesktop, a to v nové záložce *Upozornění*. Tento způsob oznámení je využíván ve verzi MPV pro Koordinátora veřejné dopravy Libereckého kraje, kde jsou detekovány stavy dle obrázku 26.



Obrázek 28 – Indikace nestandardních jevů [zobrazení programu MPV]

Aplikaci je možné nastavit tak, aby upozornění doplnila zvoleným zvukovým signálem. Navíc jsou nově příchozí zprávy zobrazovány na ploše vyskakovacích oznámení, avšak pouze při aktivním okně MPVDekstop, a záložka *Upozornění* je při nevyřízeném požadavku červeně podbarvena. Největší výhodou tohoto řešení autorka spatřuje v možnostech práce s daným upozorněním přímo v aplikaci, a to ve smyslu jeho odložení nebo označení těchto oznámení jako přečtené. Po vyřízení se avízo všem dotčeným uživatelům (dispečerům koordinačního dispečinku) označí jako zpracované, a to navíc se jménem zaměstnance, který oznámení vyřešil. Autorizaci podléhají pouze některá upozornění – Hrozící rozpad přestupní vazby (analogie k Nedodržené návaznosti ve verzi MPV pro PID), Požadavek z jiného dispečinku, Nová uzavírka/mimořádnost z NDIC, Poptávková doprava a Zpráva z vozu. Autorka doporučuje, aby současně využívané avíza v PID Zpráva z vozů, Neodjetí spoje a Nedodržená návaznost byly spolu s novým upozorněním Sjetí z trasy indikovány v prostředí aplikace MPVDesktop.

Upozornění řidiče na sjetí z trasy bude zasíláno po autorizaci ze severu dispečinku na sever dodavatele a dále na PP konkrétního vozidla. Při plánovaném sjetí (tzv. odklonu) z důvodu krátkodobých, datově nezpracovaných, uzavírek je možné zasílání těchto zpráv potlačit pomocí tvorby pravidla v záložce Zprávy do/z vozů aplikace MPVDesktop. To by znamenalo vytvoření nové kategorie pro pravidlo a pak už jen prostý výběr dotčených linek a volby Potlačit – viz obrázek 29 níže. Autorizace pak bude probíhat pomocí výběru tlačítka *Zprávy ke zpracování* (obrázek 29), kde je možné i text zprávy upravit.



Obrázek 29 – Vytvoření pravidla pro práci se zprávami [zobrazení programu MPV]

Struktura upozornění do vozidla bude stejná jako v případě zprávy typu Broadcast (ruční zprávy do vozu), tedy obsahovat atributy *msgid* (kvůli spárování se stavovou informací o doručení), *tm* (čas), *rp* se subelementy *imei* a *data*, kde bude samotný text: „xxx/xxxx (číslo linky/spoje) Jedete mimo stanovenou trasu!“ Vraťte se do XXX (ruční specifikace místa)“.

Závěr

Cílem diplomové práce byl návrh systému a algoritmu pro hlídání dodržování stanovené trasy autobusu, jakožto součást dispečerského programu PID Monitorování provozu vozidel, stanovení vstupních podmínek pro realizaci systému a volba vhodného způsobu indikace nedodržení trasy pro dispečera i řidiče. V současné chvíli není systém sám schopen odhalit sjetí a dispečerů jsou tak odkázáni na využití avíz upozorňujících na neobvyklé jevy (nestandardní jízda oproti JŘ nebo příchozí zpráva z vozidla), sledování provozu nebo na telefonické hlášení řidiče, dispečera dopravce, případně i cestujícího. Náplň práce dispečerů koordinačního dispečinku, kterým by měl systém sloužit především, je velmi různorodá s neustále rostoucími nároky na znalost systému, a je proto nezbytné mít k dispozici maximální množství nástrojů pro usnadnění a zkvalitnění jejich práce s maximální možnou mírou automatizace a minimální prodlevou mezi přijetím požadavku a jeho vyřešením.

V diplomové práci byl navrhnout nový systém prokládající trasu linek autobusů ekvidistantně po maximálně 421 m pomocnými body. Tato vzdálenost vychází ze stanovené limitní hodnoty pro sjetí 420 m odpovídající minutové jízdě autobusu rychlostí 25,2 km/h, a odchylce 50 m, která byla určena na základě analýzy lokalizačních zpráv z vozidel. Ta prověřovala celkově 297 rozdílů poloh z *Logování komunikace* MPV a poloh určených jednotlivými body na referenční křivce představující trajektorii autobusu ve středu jízdního pásu komunikace. Jako sjetí pak budou označovány dvě po sobě příchozí polohové zprávy z vozidla, z nichž obě budou vzdáleny o více jak 421 m od nejbližšího referenčního bodu trajektorie a budou zaslány na základě definovaného spouštěče pro odeslání polohové zprávy (vyjma příznaku G – inicializace GPS). Variantně lze uvažovat o nezahrnování více než tří po sobě jdoucích zpráv s nulovou rychlostí pro vyhodnocování odchylky od trajektorie a vyřešit tak problém se stáním vozidla. Z hlediska hardwarového vybavení nebudou pro realizaci funkce nového systému obecně nutné úpravy, z pohledu softwarového vybavení je nezbytné vytvoření zcela nového modulu pro vyhodnocení odchylky a úprava modulu pro upozornění dispečera a řidiče na nedodržení stanovené trasy.

Při současném využití spouštěčů a hodnot pro odeslání lokalizační zprávy by implementace modulu pro hlídání sjetí znamenala v ranní špičce prověření cca 1700 spojů průměrně každých 11 s. Při návrhu algoritmu se autorka snažila o minimalizaci výpočtové náročnosti a tedy k přistoupení výpočtu vzdálenosti dvou bodů, a ne přesnějšího výpočtu vzdálenosti bodu k přímce.

Na základě analýzy příznaků jednotlivých lokalizačních zpráv z vozidel bylo zjištěno, že zprávy nepřicházejí v jednotném intervalu. Jejich četnost se liší dle konkrétních řešení dodavatelů (Apex, EMTEST, Mikroelektronika a Telmax), a to i pro jednotlivé dopravce dle nastavených hodnot příznaků. Pro správnou funkci systému, respektive pro identifikaci sjetí pro všechny dopravce se stejnou přesností, by bylo vhodné sjednotit interval zasílaných polohových zpráv. Autorka doporučuje, aby každý dopravce využíval příznak *L* (ujetá vzdálenost) s nastavenou hodnotou maximálně 400 m v souladu s limitní hodnotou pro sjetí.

Mimo sjednocení intervalu lokalizačních zpráv je nezbytné zajištění aktuálně platných vstupních dat, a to jak v samotném systému MPV, tak v jednotlivých vozidlech. Neméně důležitá je údržba číselníků MPV, a to zejména záložky *Vozy dopravce*, kde je nutné mít kombinaci IMEI / RZ vozidla/ evidenční číslo vozidla vždy odpovídající skutečnosti. Autorka zde navrhuje omezení jednotlivých záznamů vozidel i z časového hlediska, aby při výměnách modemů během dne nedocházelo ke ztrátě dat. Dále je žádoucí údržba *Katalogu oběhů*, případně zajištění korektnosti oběhů v programovém vybavení dopravců, kteří si turnusy spravují ve vlastním softwaru. Další podmínkou pro správnou funkci systému je zajištění vypravení (přiřazení vozidel k jednotlivým oběhům) odpovídajícího skutečnosti a neprodlená aktualizace vozu v systému při výměně během výkonu. Posledním předpokladem je zabezpečení vysílání vozidel, tzn. sledování jeho polohy a zajištění datové komunikace. Procento nevysílajících vozidel se pohybuje okolo jednoho procenta – např. za květen 2020 bylo dle sestavy MPV *Vysílající vozy* na oběhy vypraveno celkově 23 965 vozidel, z nichž bylo 325 nevysílajících, tj. 1,36 %. Nutno dodat, že toto číslo nezahrnuje dopravce DPP, jehož vypravení do systému probíhá automaticky a není zcela funkční, a do počtu vozidel jsou také zahrnuty vozidla PID, která jsou některými dopravci vypravována i na výkony mimo systém PID.

Pro statistický přehled sjetí by bylo vhodné vytvořit možnost generování sestavy z webové aplikace MPVNet, a to pro vybraný den nebo delší časové období. Výběr by byl prováděn pomocí dopravce, kdy by bylo možné označení i většího počtu najednou, a poté volbou linky s umožněním filtrace dle počtu nebo celkové doby sjetí. Tyto sestavy jsou obecně využívány dopravci, pro přehledy a statistiky pro objednatelé dopravních výkonů, nebo zaměstnanci organizátora při řešení stížností či vyhodnocení Standardů kvality.

Nástavbou tohoto systému by pak bylo vyhodnocení vztahu k JŘ (zpoždění, předjetí) i v mezizastávkových úsecích, kdy by měly pomocné body plánovaný čas průjezdu a docházelo by tak i k přesnější predikci časů příjezdů – v současné chvíli jsou odchylky od JŘ striktně vázané na polohy zastávkových sloupků.

Použité zdroje

Literatura

- [2] DRÁPAL, Filip a kol. *20 LET ROPID: Historie Pražské integrované dopravy*. Praha: ROPID, 2013. ISBN 978-80-260-5341-5
- [6] HAAS, Václav. *20 let železnice v Pražské integrované dopravě*. Chyňava: Saxi, 2012. ISBN 978-80-904-7678-3
- [42] CHMELA, Petr. *Program EU "CONNECT"* [prezentace]. ROPID, Praha, 2007 [cit. 2020-06-19].
- [43] ŠIMŮNEK, Jan, Petr CHMELA a Tomáš VRŠITÝ. *CEDIS: Centrální dopravní informační středisko* [tištěný dokument]. ROPID, Praha, 2007 [cit. 2020-06-19].
- [44] ŠIMŮNEK, Jan. *CEDIS, Centrální dopravní informační středisko: Základní popis systému* [tištěný dokument]. ROPID, Praha, 2009 [cit. 2020-06-19].
- [45] ŠIMŮNEK, Jan. *SLEDOVÁNÍ VOZIDEL PID V REÁLNÉM ČASE* [prezentace]. ROPID, Praha, 2009 [cit. 2020-06-19].
- [49] *Vzájemná komunikace mezi servery: Projekt MPV* [tištěný dokument]. CHAPS spol. s r.o., 2013. [cit. 2020-06-25].
- [52] PODOLÁK, Milan. *Log načtených dat z CRWS* [E-mailová korespondence]. Praha, 12. 7. 2020 [cit. 2020-07-19].

Internetové zdroje

- [1] Startuje Veřejná doprava Vysočiny. Cestujícím přinese víc spojů na frekventovaných trasách. In: *City.cz* [online]. Jihlava: Silvertown productions, 2019 [cit. 2020-02-23]. Dostupné z: <https://jihlava.city.cz/zpravodajstvi/startuje-verejna-doprava-vysociny--v-pripravnem-obdobi-pribyly-prvni-spoje/18899>
- [3] Historie vzniku IDSK. In: *Integrovaná doprava Středočeského kraje* [online]. Praha: IDSK, 2017 [cit. 2020-03-03]. Dostupné z: <https://www.idsk.cz/historie-vzniku.php>
- [4] Plán dopravní obslužnosti Středočeského kraje: Zásady objednávky regionální dopravy pro období 2016-2020. In: *Středočeský kraj* [online]. Praha, 2016 [cit. 2020-03-03]. Dostupné z: https://www.kr-stredocesky.cz/documents/14450/5033701/Dopravni_plan_Stc_kraj_2016_2020.pdf/be77d026-6e4b-4c63-819c-3cc8769e6c33
- [5] Dopravní integrace v kraji pokračuje. In: *TV PRAHA: vaše metropolitní televize* [online]. Praha: OUR MEDIA, 2014, 11. prosince 2019 [cit. 2020-03-03]. Dostupné z: <https://prahatv.eu/zpravy/stredocesky-kraj/stredocesky-kraj/11909/dopravni-integrace-v-kraji-pokracuje>
- [7] S jízdenkou PID vlakem po celém Středočeském kraji: nová tarifní pásma 8 a 9 od 1. 10. 2018. In: *Pražská integrovaná doprava* [online]. Praha: ROPID, 2018, září 2018 [cit. 2020-03-03]. Dostupné z: <https://pid.cz/wp-content/uploads/ke-stazeni/tiskoviny/2018/Nova-tarifni-pasma.pdf?x77800>
- [8] PROVOZ MHD BĚHEM PRVNÍCH DVOU LEDNOVÝCH TÝDNŮ. In: *Pražská integrovaná doprava* [online]. Praha: ROPID, 2018 [cit. 2020-03-03]. Dostupné z: <https://pid.cz/provoz-mhd-behem-prvnich-dvou-lednovych-tydnu/>

- [9] TRVALÉ ZMĚNY V ČERVNU 2018. In: *Pražská integrovaná doprava* [online]. Praha: ROPID, 2018 [cit. 2020-03-03]. Dostupné z: https://pid.cz/trvale_zmeny/trvale-zmeny-cervnu-2018/
- [10] ROČENKA DOPRAVY: PRAHA 2019. In: *Technická správa komunikací hlavního města Prahy* [online]. Praha: TSK hl. m. Prahy, 2020 [cit. 2020-06-01]. Dostupné z: <http://www.tsk-praha.cz/static/udi-rocenka-2019-cz.pdf>
- [11] HRUBÝ, Martin. *Geografické informační systémy (GIS): Studijní opora* [online]. Brno: VUT, 2006 [cit. 2020-06-04]. Dostupné z: <http://perchta.fit.vutbr.cz:8000/vyuka-gis/uploads/1/GIS-final2.1.pdf>
- [12] BŘEHOVSKÝ, Martin a Karel JEDLIČKA, ŠÍMA, Jiří, ed. *ÚVOD DO GEOGRAFICKÝCH INFORMAČNÍCH SYSTÉMŮ: Přednáškové texty* [online]. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2012 [cit. 2020-06-04]. Dostupné z: <http://uhulag.mendelu.cz/files/pagesdata/cz/gis/ugi.pdf>
- [13] ŠIMBERA, Jan. *SOUŘADNICOVÉ SYSTÉMY* [online]. Praha: Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy v Praze, 2018 [cit. 2020-06-04]. Dostupné z: <https://www.natur.cuni.cz/geografie/geoinformatika-kartografie/ke-stazeni/projekty/moderni-geoinformacni-metody-ve-vyuce-gis-kartografie-a-dpz/souradnicove-systemy/>
- [14] Kapitola 2. Tvar zemského tělesa a referenční plochy. *Přednáškové texty z Geodézie* [online]. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2008 [cit. 2020-06-04]. Dostupné z: <https://kgm.zcu.cz/studium/gen1/html/ch02s03.html>
- [15] VOJENSKÝ GEOGRAFICKÝ OBZOR: *Sborník Geografické služby AČR* [online]. Ministerstvo obrany ČR, Geografická služba AČR, 2005(1) [cit. 2020-06-04]
- [16] KUBÍČEK, Petr. *Geoinformatika: IX – GIS modelování* [online]. Brno: Kubíček, 2017 [cit. 2020-06-05]. Dostupné z: https://is.muni.cz/el/1431/jaro2017/Z0262/um/geoinformatika_09_fin.pdf+&cd=11&hl=cs&ct=clnk&gl=cz
- [17] ALMER, Vlastimil. *Mapy do PDA* [online]. České Budějovice, 2011 [cit. 2020-06-05]. Dostupné z: https://theses.cz/id/o1ujpf/Mapy_do_PDA.pdf+&cd=13&hl=cs&ct=clnk&gl=cz.
Bakalářská práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. Vedoucí práce Ing. Václav Novák, CSc.
- [18] Geographic Information Systems: FAQ. *Internet FAQ Archives* [online]. Advameg, 2016, 15 April 1997 [cit. 2020-06-05]. Dostupné z: <http://www.faqs.org/faqs/geography/infosystems-faq/>
- [19] KAREL, Jedlička. *Analýza a syntéza II.* [online]. 2008 [cit. 2013-04-04]. Dostupné z: <http://gis.zcu.cz/studium/ugi/Prezentace/11-AnalzyVzdalenostniSousedstviVazenaVzdalenostNejlevnejsiCestaGrafove.pdf>
- [20] SIDDIQUI, Masood Ahsan. *GIS_07_Network Analysis in GIS* [online]. New Delhi: Jamia Millia Islamia, 2016 [cit. 2020-06-05]. Dostupné z: epgp.inflibnet.ac.in/epgpdata/uploads/epgp_content/S000017GE/P001788/M027032/ET/15172071137_GIS_SEEMA_NetworkANALYSIS.pdf+&cd=22&hl=cs&ct=clnk&gl=cz
- [21] What is GNSS? European Global Navigation Satellite Systems Agency [online]. France, 2020, 2017 [cit. 2020-06-05]. Dostupné z: <https://www.gsa.europa.eu/european-gnss/what-gnss>
- [22] TAJOVSKÁ, Kateřina. *Historie navigace a GNSS* [online]. In: . Brno: Geografický ústav , Přírodovědecká fakulta MU [cit. 2020-06-07]. Dostupné z: <http://www.cs.cas.cz/nadeje2016/files/w04-tajovska.pdf>
- [23] Why the Military Released GPS to the Public: It's all about saving lives. In: *Popular Mechanics* [online]. New York: Hearst Magazine Media, 2020, 27 June 2017 [cit. 2020-06-

- 07]. Dostupné z: <https://www.popularmechanics.com/technology/gadgets/a26980/why-the-military-released-gps-to-the-public/>
- [24] The Global Positioning System. In: *CENTER FOR ASTROPHYSICS* [online]. Cambridge: Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics, 2020 [cit. 2020-06-07]. Dostupné z: https://www.cfa.harvard.edu/space_geodesy/ATLAS/gps.html
- [25] ŠEBESTA, Jiří. Globální navigační systémy [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav radioelektroniky, 2012 [cit. 2020-06-08]. ISBN 978-80-214-4500-0. Dostupné z: http://www.urel.feec.vutbr.cz/~sebestaj/RAR/literatura/Globalni_navigacni_systemy.pdf
- [26] ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ЦЕНТР КООРДИНАТНО-ВРЕМЕННОГО И НАВИГАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ [online]. Korolev: KVNO TsNIlmash JSC, 2020, 8.6.2020 [cit. 2020-06-08]. Dostupné z: <https://www.glonass-iac.ru/>
- [27] VOJTEK, David. Galileo: GLOBÁLNÍ NAVIGAČNÍ A POLOHOVÉ SYSTÉMY. In: *Studijní materiály: David Vojtek - Institut geoinformatiky VŠB-TUO* [online]. Ostrava: Institut geoinformatiky, Vysoká škola báňská, 2020, 13.3.2020 [cit. 2020-06-08]. Dostupné z: https://geoinformatika-1.vsb.cz/vojtek/content/gnps/files/_prez/06/06_prezentace.pdf
- [28] BEIDOU GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM. In: Information and Analysis Center for Positioning, Navigation and Timing [online]. Korolyov, 2020 [cit. 2020-06-08]. Dostupné z: <https://www.glonass-iac.ru/en/guide/beidou.php#og>
- [29] ALEXANDER, Matt. WHAT IS PDOP? AND WHY IT'S OBSOLETE. In: *Anatum GeoMobile Solutions* [online]. Portland, 2020, 15 March 2017 [cit. 2020-06-09]. Dostupné z: https://www.agsgis.com/What-is-PDOP-And-Why-its-Obsolete_b_43.html
- [30] Možnosti polohových satelitních systémů. In: *Informační systém Masarykovy univerzity* [online]. Brno: Fakulta informatiky MU, 2015 [cit. 2020-06-09]. Dostupné z: https://is.muni.cz/el/sci/jaro2015/Z8109/um/54520744/Moznosti_polohovych_satelitnich_systemu.pdfhttps://is.muni.cz/el/sci/jaro2015/Z8109/um/54520744/Moznosti_polohovych_satelitnich_systemu.pdf
- [31] MURPHY, Jackson. What is SBAS and how does it work? In: *Get rugged: official blog of Juniper system* [online]. 2020, 19 September 2018 [cit. 2020-06-09]. Dostupné z: <https://blog.junipersys.com/how-does-sbas-improve-gps-free-sbas-coverage-map/>
- [32] Satellite Navigation - Ground Based Augmentation System: GBAS. In: *Federal Aviation Administration* [online]. Washington, D.C.: U.S. Department of Transportation, 12 April 2018 [cit. 2020-06-09]. Dostupné z: https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/ato/service_units/tech_ops/navservices/gnss/laas/
- [33] MICHAL, Kačmařík. Cvičení 4 - RTK Lib - PPP post-processing. In: *Pokročilé metody zpracování GNSS měření* [online]. Ostrava: Kačmařík, 2020 [cit. 2020-06-11]. Dostupné z: <https://geoinformatika-1.vsb.cz/pmzgnss/cv04/cv04.html>
- [34] SLAVÍČEK, Jiří. Navigační systémy [online]. České Budějovice, 2007 [cit. 2020-06-15]. Dostupné z: <http://home.pf.jcu.cz/~pepe/Diplomky/slavicek.pdf>. Absolventská práce. Soukromá vyšší odborná škola a Obchodní akademie s.r.o. České Budějovice. Vedoucí práce Jan Černý.
- [35] Základní uživatelské charakteristiky GNSS přijímače: 11. cvičení. In: Moodle FEL ČVUT [online]. Praha: Fakulta elektrotechnická, ČVUT v Praze [cit. 2020-06-15]. Dostupné z: <https://moodle.fel.cvut.cz/course/view.php?id=169>
- [36] AMJAD, Ayesha. Fleet management system vs Vehicle tracking system. In: *EAGLE-I: Auto Fleet Management* [online]. Dammam: Digital Myth Solution, 2018, 25 Mar 2019 [cit. 2020-06-17]. Dostupné z: <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:aaH->

[z7LFZVcJ:www.avl-ksa.com/en/blog/Eagle-I-Insight/Fleet-management-system-vs-Vehicle-tracking-system+&cd=10&hl=cs&ct=clnk&gl=cz](http://www.avl-ksa.com/en/blog/Eagle-I-Insight/Fleet-management-system-vs-Vehicle-tracking-system+&cd=10&hl=cs&ct=clnk&gl=cz)

[37] Správa vozového parku (Fleet Management). In: *Management Mania* [online]. Wilmington: MANAGEMENTMANIA.COM, 2016, 12.06.2018 [cit. 2020-06-17]. Dostupné z: <https://managementmania.com/cs/sprava-vozoveho-parku-fleet-management>

[38] ALMOMANI, Iman & ALKHALIL, Nour & AHMAD, Enas & JODEH, Rania. Ubiquitous GPS vehicle tracking and management system. In: *ResearchGate*. Jordan: Jordan Conference on Applied Electrical Engineering and Computing Technologies, 2011. [cit. 2020-06-17]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/261427884_Ubiquitous_GPS_vehicle_tracking_and_management_system

[39] Fleet management using GPS and GIS. In: *Geospatial World* [online]. Noida: Geospatial Media and Communications, 2019, 9 Jan 2009 [cit. 2020-06-17]. Dostupné z: <https://www.geospatialworld.net/article/fleet-management-using-gps-and-gis/>

[40] SLEDOVÁNÍ POLOHY VOZIDEL. In: *Ing. IVO HERMAN, CSc.: Inteligentní veřejná doprava* [online]. Modřice, 2015 [cit. 2020-06-17]. Dostupné z: <https://www.herman.cz/cs/produkty/vybava/pozice/>

[41] STOKER, Jeffrey. Passive vs. Active GPS Tracking: What's the difference? In: *Safety Track* [online]. Belleville, 2019, 16 April 2012 [cit. 2020-06-17]. Dostupné z: <https://safetytrack.net/2012/04/16/passive-vs-active-gps-tracking-whats-the-difference/>

[46] SEZNAM CERTIFIKOVANÝCH ZAŘÍZENÍ PRO PROVOZ V PID. In: *Pražská integrovaná doprava* [online]. Praha: ROPID, 2020, 15.10.2019 [cit. 2020-06-19]. Dostupné z: https://pid.cz/wp-content/uploads/2018/04/Certifikace_zarizeni_PID_v3_18-AKTUALIZACE-15-10-2019.pdf?x77800

[47] Odbavovací zařízení Synergy OCC. In: *Mikroelektronika spol. s r.o.* [online]. 2020 [cit. 2020-06-25]. Dostupné z: <http://www.mikroelektronika.com/odbavovaci-zarizeni-synergy-occ>

[48] ODBAVOVACÍ SYSTÉM s rezervací Spojů na zavolání: Odbavovací systém EM 1261 MIJOLA. In: *Obec Přeborov* [online]. Vismo, 2011 [cit. 2020-06-25]. Dostupné z: http://www.preborov.cz/assets/File.ashx?id_org=13412&id_dokumenty=1099

[51] PLÁN UDRŽITELNÉ MOBILITY PRAHY A OKOLÍ. In: *Polad' Prahu: P+* [online]. Praha: Ewing Group, 2019 [cit. 2020-06-28]. Dostupné z: https://poladprahu.cz/wp-content/uploads/2019/11/Bro%C5%BEura_PL%C3%A1n_mobility_CZ.pdf

[56] BISKUP, Roman. *Zpracování informací ze statistického šetření: Třídění statistického souboru* [online]. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, 2012 [cit. 2020-07-19]. Dostupné z <http://www2.ef.jcu.cz/~birom/stat/prednasky/09.pdf>.

Ostatní

[50] GPS Visualizer's coordinate calculators & distance tools: Calculate the great circle distance between two points. In: *GPS Vizualizer* [online]. 2019 [cit. 2020-06-25]. Dostupné z: <https://www.gpsvisualizer.com/calculators>

[53] ČUCHAL, P. Analytik informačních a komunikačních technologií. ROPID [Písemná komunikace]. 15. 6. 2020

[54] ŠTURSA, M. Projektant informačních a komunikačních technologií. ROPID [Písemná komunikace]. 7. 7. 2020.

[55] KADAVÝ, O. Vedoucí odboru dispečerské činnosti. ROPID [Osobní rozhovor]. Praha – Letňany, 24. 6. 2020 a 24. 7. 2020.

Seznam obrázků

Obrázek 1 – Zjednodušené schéma komunikace autobusu a MPV.....	13
Obrázek 2 – Zjednodušený tok dat pro autobusy v PID (vyjma DPP).....	14
Obrázek 3 – Zjednodušený tok dat pro autobusy DPP.....	15
Obrázek 4 – Zdroje chyb při měření pseudovzdálenosti systémem GPS.....	23
Obrázek 5 – Aplikace TOPOLBUS.....	25
Obrázek 6 – MPVDesktop: Katalog oběhů.....	27
Obrázek 7 – MPVDesktop: Editace oběhu.....	28
Obrázek 8 – MPVDesktop: Vozy dopravce.....	29
Obrázek 9 – MPVNet: Provoz v číslech.....	30
Obrázek 10 – MPVNet: Detail spoje.....	32
Obrázek 11 – MPVNet: Zobrazení dráhy spoje v mapě.....	32
Obrázek 12 – Upozornění na nedodrženou návaznost.....	34
Obrázek 13 – Odbavovací zařízení Synergy OCC.....	35
Obrázek 14 – Odbavovací zařízení EM 126i Mijola.....	35
Obrázek 15 – MPVNet: Vizualizace pohybu vozidla v mapě.....	37
Obrázek 16 – MPVNet: Růst zpoždění na spoji.....	40
Obrázek 17 – MPVNet: Vizualizace dráhy spoje.....	41
Obrázek 18 – Umístění řešených oblastí.....	43
Obrázek 19 – Polohové zprávy z MPV: Budějovická.....	45
Obrázek 20 – Polohové zprávy z MPV: Depo Zličín.....	46
Obrázek 21 – Ilustrace souběžné jízdy autobusu s trasou stanovenou.....	50
Obrázek 22 – Vývoj vzdálenosti od stanovené trasy v čase.....	50
Obrázek 23 – Proložení trajektorie linky pomocnými body.....	51
Obrázek 24 – Pravoúhlý trojúhelník pro výpočet vzdálenosti pomocných bodů.....	51
Obrázek 25 – Indikace sjetí na lince 490.....	53
Obrázek 26 – Indikace sjetí na lince 602 (vlevo) a 307.....	54
Obrázek 27 – Indikace sjetí na lince 332 (vlevo a nahoře) a 117.....	54
Obrázek 28 – Indikace nestandardních jevů.....	55
Obrázek 29 – Vytvoření pravidla pro práci se zprávami.....	56

Seznam grafů

<i>Graf 1 – Vývoj počtu nově integrovaných oblastí PID k 01/2020</i>	9
<i>Graf 2 – Vývoj počtu dopravních a dispečerských opatření</i>	11
<i>Graf 3 – Relativní rozdíl poloh: Budějovická</i>	45
<i>Graf 4 – Relativní rozdíl poloh: Depo Zličín</i>	46
<i>Graf 5 – Relativní rozdíl poloh: rovný přímý úsek souhrnně</i>	47
<i>Graf 6 – Relativní rozdíl poloh: oblast s odrazy signálů souhrnně</i>	47
<i>Graf 7 – Relativní rozdíl souřadnic polohy</i>	48
<i>Graf 8 – Relativní rozdíl souřadnic polohy dle jednotlivých řešení dodavatelů</i>	48
<i>Graf 9 – Rozdíl souřadnic polohy dle řešení dodavatelů</i>	49

Seznam tabulek

<i>Tabulka 1 – Vývoj počtu významných charakteristik PID</i>	10
<i>Tabulka 2 – Nastavení spouštěčů pro odeslání zprávy dopravce MARTIN UHER</i>	26
<i>Tabulka 3 – Příznaky využívané pro odeslání dlouhé zprávy</i>	37
<i>Tabulka 4 – Příznaky, využívané pro odeslání zprávy, a jejich hodnoty</i>	38
<i>Tabulka 5 – Zdroje chyb při analýze polohových zpráv</i>	49

Seznam příloh

Příloha 1 – Vývoj počtu dopravců, linek a spojů v PID mezi lety 2015-2019

Příloha 2 – Stav linek PID k srpnu 2020

Příloha 3 – Analýza lokalizačních zpráv

Příloha 4 – Výřez trajektorie linky PID 302 z logu dat načítaných z CRWS

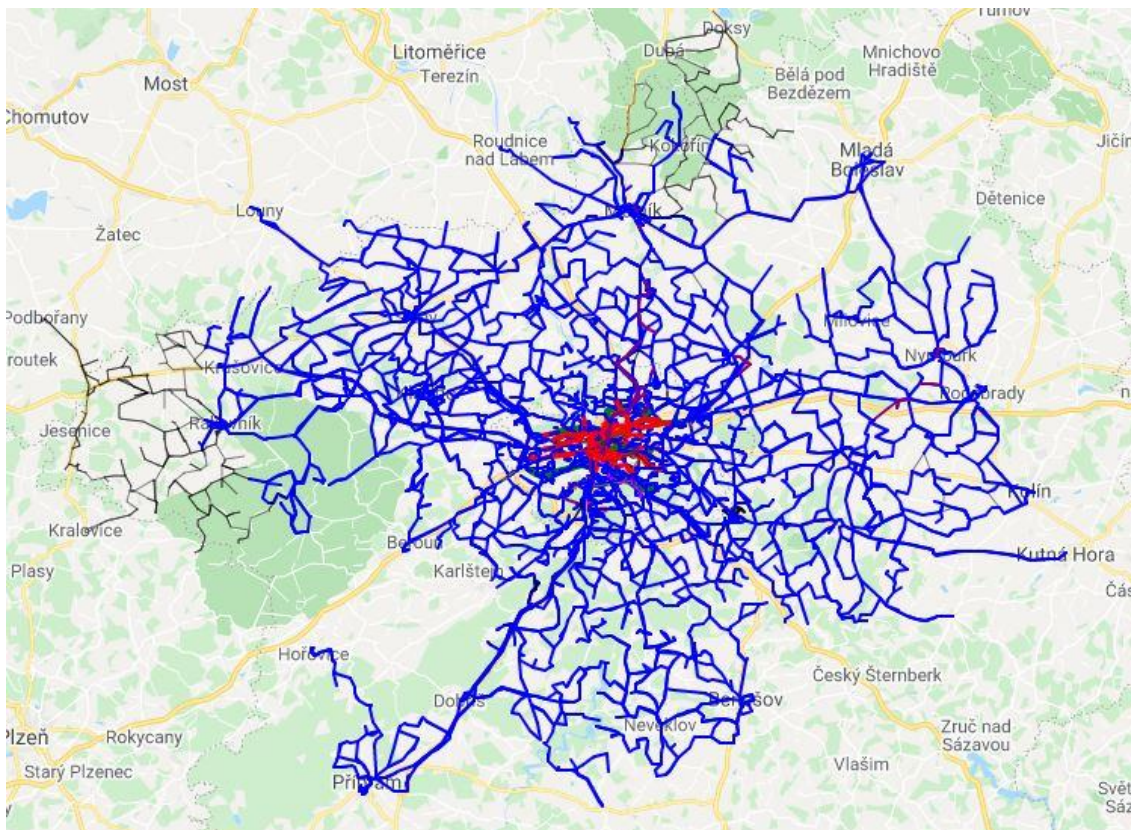
Přílohy

Příloha 1: Vývoj počtu dopravců, linek a spojů v PID mezi lety 2015-2019

		Druh dopravy	ROK				
			2015	2016	2017	2018	2019
POČET	DOPRAVCŮ	Metro	1	1	1	1	1
		Tramvaje	1	1	1	1	1
		Autobusy	13	13	19	18	21
		Vlaky	2	2	2	3	3
		Lanová dráha	1	1	1	1	1
		Přívozy	3	3	3	3	3
	LINEK	Metro	3	3	3	3	3
		Tramvaje	30	33	34	34	34
		Autobusy	310	320	376	381	425
		Vlaky	36	42	68	87	86
		Lanová dráha	1	1	1	1	1
		Přívozy	6	6	8	8	7
	SPOJŮ	Metro	1 807	1 807	1 774	1 773	1 773
		Tramvaje	6200	6500	6620	6600	6630
		Autobusy	24947	24898	28124	28770	30080
		Vlaky	1426	1535	2256	2650	2890
		Lanová dráha	150	150	150	150	150
		Přívozy	510	518	587	525	590

Zdroj: ROČENKY TSK: Ročenky dopravy, Praha. *Technická správa komunikací hlavního města Prahy* [online]. Praha: TSK, 2020 [cit. 2020-06-25]. Dostupné z: <http://www.tsk-praha.cz/wps/portal/root/nabidka-sluzeb/rocenky>

Příloha 2: Stav linek PID k srpnu 2020



Zdroj: *Map IDOS: Jízdní řády na mapách* [online]. CHAPS spol. s r.o., 2020 [cit. 2020-08-06].
Dostupné z: <http://mapy.idos.cz/pid>

Příloha 3: Analýza lokalizačních zpráv

Datum	Čas	Linka	Číslo vozu	Oblast	Dopravce	Řešení od dodavatele	Souřadnice polohy				Rozdíl [m]
							Z MPV	Zaměřené (mapy.cz)			
03.02.2020	05:12:19	171	1023	Černý Most	J. Štěpánek	Telmax	50°6'30.924"N	14°34'36.624"E	50°6'31.040"N	14°34'36.585"E	3,7
03.02.2020	07:17:28	171	1992	Černý Most	Aranea	Telmax	50°6'31.212"N	14°34'36.732"E	50°6'31.077"N	14°34'36.783"E	4,3
03.02.2020	17:14:35	171	1187	Černý Most	L. Špacír	Telmax	50°6'31.716"N	14°34'39.828"E	50°6'31.435"N	14°34'39.889"E	8,8
03.02.2020	06:16:02	171	8153	Černý Most	ČSAD SČ	Telmax	50°6'31.212"N	14°34'36.984"E	50°6'31.089"N	14°34'37.029"E	3,9
03.02.2020	06:44:58	220	9904	Černý Most	Arriva City	Telmax	50°6'31.608"N	14°34'41.520"E	50°6'31.661"N	14°34'41.496"E	1,7
03.02.2020	17:41:11	220	9909	Černý Most	Arriva City	Telmax	50°6'31.788"N	14°34'42.816"E	50°6'31.836"N	14°34'42.809"E	1,5
03.02.2020	05:13:30	221	1729	Černý Most	Stenbus	APEX	50°6'31.752"N	14°34'43.176"E	50°6'31.867"N	14°34'43.112"E	3,8
03.02.2020	13:36:09	222	1733	Černý Most	Stenbus	APEX	50°6'31.932"N	14°34'42.492"E	50°6'31.807"N	14°34'42.543"E	4,0
03.02.2020	05:09:45	224	1948	Černý Most	About me	Telmax	50°6'31.644"N	14°34'41.232"E	50°6'31.622"N	14°34'41.244"E	0,7
03.02.2020	06:07:49	240	1754	Černý Most	Stenbus	Telmax	50°6'31.716"N	14°34'42.852"E	50°6'31.824"N	14°34'42.817"E	3,4
03.02.2020	05:48:38	303	9101	Černý Most	Arriva City	Telmax	50°6'31.500"N	14°34'39.756"E	50°6'31.417"N	14°34'39.782"E	2,6
03.02.2020	06:52:49	346	8222	Černý Most	ČSAD SČ	Telmax	50°6'31.284"N	14°34'34.716"E	50°6'30.816"N	14°34'34.880"E	14,8
03.02.2020	15:59:21	354	1787	Černý Most	Stenbus	APEX	50°6'30.636"N	14°34'41.916"E	50°6'31.673"N	14°34'41.564"E	32,8
03.02.2020	14:11:17	379	8184	Černý Most	ČSAD SČ	Telmax	50°6'30.492"N	14°34'34.680"E	50°6'30.774"N	14°34'34.583"E	8,9
03.02.2020	07:02:41	398	8696	Černý Most	OAD	Mikroelektronika	50°6'31.032"N	14°34'37.524"E	50°6'31.146"N	14°34'37.487"E	3,6
03.02.2020	20:32:42	398	8590	Černý Most	OAD	Mikroelektronika	50°6'30.924"N	14°34'37.452"E	50°6'31.132"N	14°34'37.381"E	6,6
04.02.2020	05:13:23	171	1023	Černý Most	J. Štěpánek	Telmax	50°6'30.924"N	14°34'36.516"E	50°6'31.013"N	14°34'36.473"E	2,9
04.02.2020	07:17:27	171	1992	Černý Most	Aranea	Telmax	50°6'30.924"N	14°34'34.500"E	50°6'30.795"N	14°34'34.573"E	4,2
04.02.2020	17:14:35	171	1187	Černý Most	L. Špacír	Telmax	50°6'31.500"N	14°34'40.332"E	50°6'31.497"N	14°34'40.342"E	0,2
04.02.2020	06:21:14	171	8153	Černý Most	ČSAD SČ	Telmax	50°6'31.428"N	14°34'38.640"E	50°6'31.308"N	14°34'38.672"E	3,8
04.02.2020	06:36:30	220	9904	Černý Most	Arriva City	Telmax	50°6'31.464"N	14°34'41.412"E	50°6'31.630"N	14°34'41.372"E	5,2
04.02.2020	17:00:31	220	9909	Černý Most	Arriva City	Telmax	50°6'31.680"N	14°34'41.340"E	50°6'31.640"N	14°34'41.348"E	1,2
04.02.2020	05:52:05	221	1729	Černý Most	Stenbus	APEX	50°6'31.932"N	14°34'42.204"E	50°6'31.757"N	14°34'42.272"E	5,6
04.02.2020	13:36:01	222	1733	Černý Most	Stenbus	APEX	50°6'31.932"N	14°34'42.708"E	50°6'31.841"N	14°34'42.743"E	2,9
04.02.2020	05:10:08	224	1948	Černý Most	About me	Telmax	50°6'31.752"N	14°34'40.908"E	50°6'31.593"N	14°34'40.955"E	5,0
04.02.2020	06:08:00	240	1754	Černý Most	Stenbus	Telmax	50°6'31.932"N	14°34'43.752"E	50°6'31.956"N	14°34'43.749"E	0,7
04.02.2020	05:46:18	303	9129	Černý Most	Arriva City	Telmax	50°6'31.500"N	14°34'39.684"E	50°6'31.444"N	14°34'39.703"E	1,8
04.02.2020	06:50:46	346	8213	Černý Most	ČSAD SČ	Telmax	50°6'30.204"N	14°34'34.536"E	50°6'30.740"N	14°34'34.367"E	16,9
04.02.2020	16:00:32	354	1787	Černý Most	Stenbus	APEX	50°6'30.384"N	14°34'39.828"E	50°6'31.364"N	14°34'39.481"E	31,1
04.02.2020	14:15:05	379	8184	Černý Most	ČSAD SČ	Telmax	50°6'30.456"N	14°34'33.636"E	50°6'30.589"N	14°34'33.578"E	4,3

04.02.2020	07:04:59	398	8696	Černý Most	OAD	Mikroelektronika	50°6'31.248"N	14°34'37.128"E	50°6'31.115"N	14°34'37.176"E	4,2
04.02.2020	20:32:31	398	8593	Černý Most	OAD	Mikroelektronika	50°6'30.996"N	14°34'37.452"E	50°6'31.148"N	14°34'37.418"E	4,7
05.02.2020	05:13:12	171	1023	Černý Most	J. Štěpánek	Telmax	50°6'30.888"N	14°34'36.516"E	50°6'31.015"N	14°34'36.477"E	4,0
05.02.2020	07:15:58	171	1992	Černý Most	Aranea	Telmax	50°6'31.104"N	14°34'36.120"E	50°6'30.984"N	14°34'36.164"E	3,8
05.02.2020	17:13:31	171	1187	Černý Most	L. Špacír	Telmax	50°6'31.932"N	14°34'40.332"E	50°6'31.536"N	14°34'40.448"E	12,5
05.02.2020	07:01:17	171	8153	Černý Most	ČSAD SČ	Telmax	50°6'32.040"N	14°34'41.592"E	50°6'31.684"N	14°34'41.701"E	11,2
05.02.2020	06:35:16	220	9923	Černý Most	Arriva City	Telmax	50°6'31.536"N	14°34'41.160"E	50°6'31.601"N	14°34'41.149"E	2,0
05.02.2020	16:40:44	220	9909	Černý Most	Arriva City	Telmax	50°6'31.788"N	14°34'41.268"E	50°6'31.640"N	14°34'41.302"E	4,6
05.02.2020	05:51:51	221	1729	Černý Most	Stenbus	APEX	50°6'31.932"N	14°34'42.888"E	50°6'31.843"N	14°34'42.920"E	2,8
05.02.2020	13:35:32	222	1733	Černý Most	Stenbus	APEX	50°6'31.968"N	14°34'42.996"E	50°6'31.855"N	14°34'43.031"E	3,6
05.02.2020	05:10:07	224	1948	Černý Most	About me	Telmax	50°6'31.464"N	14°34'41.304"E	50°6'31.550"N	14°34'41.245"E	2,9
05.02.2020	06:07:51	240	1754	Černý Most	Stenbus	Telmax	50°6'31.896"N	14°34'42.780"E	50°6'31.836"N	14°34'42.793"E	1,9
05.02.2020	05:15:27	303	9101	Černý Most	Arriva City	Telmax	50°6'31.500"N	14°34'39.540"E	50°6'31.392"N	14°34'39.562"E	3,4
05.02.2020	12:45:24	346	8219	Černý Most	ČSAD SČ	Telmax	50°6'31.032"N	14°34'34.104"E	50°6'30.738"N	14°34'34.205"E	9,3
05.02.2020	16:00:21	354	1787	Černý Most	Stenbus	APEX	50°6'31.320"N	14°34'39.468"E	50°6'31.386"N	14°34'39.441"E	2,1
05.02.2020	17:43:07	379	8184	Černý Most	ČSAD SČ	Telmax	50°6'30.600"N	14°34'34.788"E	50°6'30.789"N	14°34'34.730"E	6,0
05.02.2020	07:04:41	398	8696	Černý Most	OAD	Mikroelektronika	50°6'31.356"N	14°34'38.316"E	50°6'31.262"N	14°34'38.341"E	2,9
05.02.2020	20:30:45	398	8654	Černý Most	OAD	Mikroelektronika	50°6'31.212"N	14°34'37.848"E	50°6'31.190"N	14°34'37.857"E	0,7
06.02.2020	17:14:35	171	1187	Černý Most	L. Špacír	Telmax	50°6'31.212"N	14°34'40.656"E	50°6'31.532"N	14°34'40.549"E	10,1
06.02.2020	13:29:44	346	8219	Černý Most	ČSAD SČ	Telmax	50°6'30.312"N	14°34'33.960"E	50°6'30.665"N	14°34'33.844"E	11,1
06.02.2020	17:29:51	354	1787	Černý Most	Stenbus	APEX	50°6'31.212"N	14°34'39.504"E	50°6'31.382"N	14°34'39.432"E	5,4
07.02.2020	17:13:01	171	1187	Černý Most	L. Špacír	Telmax	50°6'31.716"N	14°34'39.900"E	50°6'31.462"N	14°34'39.948"E	7,9
07.02.2020	06:53:30	346	8212	Černý Most	ČSAD SČ	Telmax	50°6'31.248"N	14°34'34.248"E	50°6'30.765"N	14°34'34.374"E	15,1
07.02.2020	15:58:47	354	1787	Černý Most	Stenbus	APEX	50°6'32.220"N	14°34'39.216"E	50°6'31.385"N	14°34'39.441"E	26,2
03.02.2020	07:38:56	314	1122	Jíloviště, VÚ	M. Uher	Mikroelektronika	49°56'33.108"N	14°23'31.812"E	49°56'33.024"N	14°23'31.880"E	2,9
03.02.2020	07:08:35	314	1121	Jíloviště, VÚ	M. Uher	Mikroelektronika	49°56'33.144"N	14°23'31.812"E	49°56'33.024"N	14°23'31.880"E	3,9
03.02.2020	06:59:46	338	9969	Jíloviště, VÚ	Arriva SČ	Telmax	49°56'32.496"N	14°23'30.192"E	49°56'32.707"N	14°23'30.122"E	6,7
03.02.2020	07:30:18	338	9743	Jíloviště, VÚ	Arriva SČ	Telmax	49°56'32.928"N	14°23'30.372"E	49°56'32.760"N	14°23'30.435"E	5,3
03.02.2020	07:38:10	360	9507	Jíloviště, VÚ	Arriva SČ	Telmax	49°56'32.352"N	14°23'27.132"E	49°56'32.266"N	14°23'27.149"E	2,7
03.02.2020	05:39:34	360	9779	Jíloviště, VÚ	Arriva SČ	Telmax	49°56'32.460"N	14°23'26.664"E	49°56'32.225"N	14°23'26.726"E	7,4
03.02.2020	07:07:25	360	8262	Jíloviště, VÚ	ČSAD ČB	Mikroelektronika	49°56'32.172"N	14°23'27.420"E	49°56'32.286"N	14°23'27.405"E	3,5
03.02.2020	08:28:02	361	9822	Jíloviště, VÚ	Arriva SČ	Telmax	49°56'32.748"N	14°23'30.228"E	49°56'32.727"N	14°23'30.242"E	0,7
03.02.2020	05:10:59	361	9424	Jíloviště, VÚ	Arriva SČ	Telmax	49°56'33.000"N	14°23'30.588"E	49°56'32.795"N	14°23'30.652"E	6,5
03.02.2020	16:35:21	390	9636	Jíloviště, VÚ	Arriva SČ	Telmax	49°56'32.856"N	14°23'30.012"E	49°56'32.702"N	14°23'30.088"E	5,0
03.02.2020	08:07:35	390	9842	Jíloviště, VÚ	Arriva SČ	Telmax	49°56'32.712"N	14°23'30.228"E	49°56'32.729"N	14°23'30.230"E	0,5

03.02.2020	06:14:40	390	9778	Jíloviště, VÚ	Arriva SČ	Telmax	49°56'33.036"N	14°23'30.300"E	49°56'32.761"N	14°23'30.427"E	8,9
04.02.2020	05:54:59	314	1122	Jíloviště, VÚ	M. Uher	Mikroelektronika	49°56'32.460"N	14°23'28.500"E	49°56'32.427"N	14°23'28.519"E	1,1
04.02.2020	07:06:52	314	1121	Jíloviště, VÚ	M. Uher	Mikroelektronika	49°56'33.000"N	14°23'30.372"E	49°56'32.769"N	14°23'30.479"E	7,4
04.02.2020	06:59:26	338	9969	Jíloviště, VÚ	Arriva SČ	Telmax	49°56'32.640"N	14°23'30.372"E	49°56'32.737"N	14°23'30.325"E	3,1
04.02.2020	07:31:40	338	9743	Jíloviště, VÚ	Arriva SČ	Telmax	49°56'32.820"N	14°23'30.228"E	49°56'32.736"N	14°23'30.271"E	2,7
04.02.2020	07:36:58	360	9507	Jíloviště, VÚ	Arriva SČ	Telmax	49°56'32.352"N	14°23'26.736"E	49°56'32.236"N	14°23'26.762"E	3,6
04.02.2020	05:42:40	360	9779	Jíloviště, VÚ	Arriva SČ	Telmax	49°56'32.460"N	14°23'27.096"E	49°56'32.261"N	14°23'27.143"E	6,2
04.02.2020	07:06:27	360	8262	Jíloviště, VÚ	ČSAD ČB	Mikroelektronika	49°56'32.208"N	14°23'27.204"E	49°56'32.258"N	14°23'27.200"E	1,5
04.02.2020	08:28:31	361	9822	Jíloviště, VÚ	Arriva SČ	Telmax	49°56'32.784"N	14°23'30.300"E	49°56'32.740"N	14°23'30.330"E	1,5
04.02.2020	05:11:21	361	9424	Jíloviště, VÚ	Arriva SČ	Telmax	49°56'33.000"N	14°23'30.264"E	49°56'32.729"N	14°23'30.362"E	8,6
04.02.2020	16:34:19	390	9636	Jíloviště, VÚ	Arriva SČ	Telmax	49°56'32.712"N	14°23'30.480"E	49°56'32.760"N	14°23'30.456"E	1,6
04.02.2020	08:06:46	390	9842	Jíloviště, VÚ	Arriva SČ	Telmax	49°56'32.748"N	14°23'30.552"E	49°56'32.779"N	14°23'30.538"E	1,0
04.02.2020	06:14:13	390	9778	Jíloviště, VÚ	Arriva SČ	Telmax	49°56'33.036"N	14°23'30.300"E	49°56'32.761"N	14°23'30.427"E	8,9
05.02.2020	05:07:55	314	1120	Jíloviště, VÚ	M. Uher	Mikroelektronika	49°56'33.072"N	14°23'31.920"E	49°56'33.025"N	14°23'31.949"E	1,6
05.02.2020	07:06:43	314	1121	Jíloviště, VÚ	M. Uher	Mikroelektronika	49°56'32.460"N	14°23'28.284"E	49°56'32.417"N	14°23'28.302"E	1,4
05.02.2020	06:59:34	338	9969	Jíloviště, VÚ	Arriva SČ	Telmax	49°56'32.712"N	14°23'30.264"E	49°56'32.730"N	14°23'30.254"E	0,6
05.02.2020	18:17:49	338	9743	Jíloviště, VÚ	Arriva SČ	Telmax	49°56'32.856"N	14°23'30.084"E	49°56'32.708"N	14°23'30.158"E	4,8
05.02.2020	07:35:04	360	9507	Jíloviště, VÚ	Arriva SČ	Telmax	49°56'32.352"N	14°23'26.880"E	49°56'32.234"N	14°23'26.907"E	3,7
05.02.2020	05:37:43	360	9779	Jíloviště, VÚ	Arriva SČ	Telmax	49°56'32.280"N	14°23'26.484"E	49°56'32.206"N	14°23'26.509"E	2,3
05.02.2020	07:06:38	360	8262	Jíloviště, VÚ	ČSAD ČB	Mikroelektronika	49°56'32.244"N	14°23'27.744"E	49°56'32.324"N	14°23'27.716"E	2,5
05.02.2020	08:29:26	361	9822	Jíloviště, VÚ	Arriva SČ	Telmax	49°56'32.856"N	14°23'30.552"E	49°56'32.776"N	14°23'30.594"E	2,6
05.02.2020	05:11:18	361	9424	Jíloviště, VÚ	Arriva SČ	Telmax	49°56'33.036"N	14°23'30.084"E	49°56'32.743"N	14°23'30.220"E	9,5
05.02.2020	16:34:30	390	9636	Jíloviště, VÚ	Arriva SČ	Telmax	49°56'32.712"N	14°23'30.588"E	49°56'32.781"N	14°23'30.559"E	2,2
05.02.2020	08:10:15	390	9842	Jíloviště, VÚ	Arriva SČ	Telmax	49°56'32.712"N	14°23'30.408"E	49°56'32.747"N	14°23'30.389"E	1,1
05.02.2020	06:15:24	390	9778	Jíloviště, VÚ	Arriva SČ	Telmax	49°56'33.036"N	14°23'30.084"E	49°56'32.706"N	14°23'30.206"E	10,5
06.02.2020	05:12:21	361	9424	Jíloviště, VÚ	Arriva SČ	Telmax	49°56'32.892"N	14°23'30.084"E	49°56'32.706"N	14°23'30.177"E	6,0
06.02.2020	06:14:41	390	9778	Jíloviště, VÚ	Arriva SČ	Telmax	49°56'32.712"N	14°23'30.480"E	49°56'32.760"N	14°23'30.456"E	1,6
07.02.2020	05:11:39	361	9424	Jíloviště, VÚ	Arriva SČ	Telmax	49°56'32.964"N	14°23'30.228"E	49°56'32.730"N	14°23'30.318"E	7,4
07.02.2020	06:16:51	390	9778	Jíloviště, VÚ	Arriva SČ	Telmax	49°56'32.712"N	14°23'30.264"E	49°56'32.730"N	14°23'30.254"E	0,6
03.02.2020	05:25:42	332	9926	Budějovická	Arriva City	Telmax	50°2'41.856"N	14°26'55.896"E	50°2'42.383"N	14°26'56.717"E	23,1
03.02.2020	04:53:05	332	9954	Budějovická	Arriva City	Telmax	50°2'42.756"N	14°26'56.076"E	50°2'42.761"N	14°26'56.092"E	0,4
03.02.2020	08:38:31	332	9110	Budějovická	Arriva City	Telmax	50°2'42.540"N	14°26'56.940"E	50°2'42.395"N	14°26'56.699"E	6,6
03.02.2020	06:31:10	335	1980	Budějovická	Baronetto ČSAD	Telmax	50°2'42.720"N	14°26'58.848"E	50°2'41.850"N	14°26'57.569"E	37,0
03.02.2020	05:35:59	337	7917	Budějovická	Benešov	EMTEST	50°2'42.540"N	14°26'56.256"E	50°2'42.582"N	14°26'56.355"E	2,4

03.02.2020	06:23:33	337	7882	Budějovická	ČSAD Benešov	EMTEST	50°2'41.532"N	14°26'57.264"E	50°2'41.742"N	14°26'57.706"E	10,9
03.02.2020	07:55:06	337	7874	Budějovická	ČSAD Benešov	EMTEST	50°2'41.892"N	14°26'56.364"E	50°2'42.247"N	14°26'56.900"E	15,3
03.02.2020	08:27:07	337	7941	Budějovická	ČSAD Benešov	EMTEST	50°2'41.352"N	14°26'56.976"E	50°2'41.773"N	14°26'57.662"E	18,9
03.02.2020	17:27:22	339	9464	Budějovická	Arriva City	Telmax	50°2'42.180"N	14°26'57.192"E	50°2'42.143"N	14°26'57.114"E	1,9
03.02.2020	14:30:24	339	1980	Budějovická	Baronetto	Telmax	50°2'42.648"N	14°26'57.300"E	50°2'42.327"N	14°26'56.800"E	14,0
03.02.2020	06:14:00	362	9321	Budějovická	Arriva City	Telmax	50°2'42.144"N	14°26'56.724"E	50°2'42.259"N	14°26'56.898"E	5,0
03.02.2020	06:52:35	362	1983	Budějovická	Baronetto	Telmax	50°2'42.828"N	14°26'57.156"E	50°2'42.473"N	14°26'56.597"E	15,6
04.02.2020	06:08:53	332	9926	Budějovická	Arriva City	Telmax	50°2'42.720"N	14°26'56.868"E	50°2'42.510"N	14°26'56.534"E	9,3
04.02.2020	04:53:13	332	9954	Budějovická	Arriva City	Telmax	50°2'42.540"N	14°26'56.508"E	50°2'42.531"N	14°26'56.499"E	0,3
04.02.2020	11:39:56	332	1980	Budějovická	Baronetto	Telmax	50°2'41.928"N	14°26'57.228"E	50°2'41.981"N	14°26'57.322"E	2,5
04.02.2020	16:21:30	335	9316	Budějovická	Arriva City	Telmax	50°2'41.424"N	14°26'57.948"E	50°2'41.502"N	14°26'58.083"E	3,6
04.02.2020	05:37:27	337	7917	Budějovická	ČSAD Benešov	EMTEST	50°2'41.568"N	14°26'57.840"E	50°2'41.613"N	14°26'57.911"E	6,8
04.02.2020	06:28:20	337	7882	Budějovická	ČSAD Benešov	EMTEST	50°2'42.000"N	14°26'56.832"E	50°2'42.161"N	14°26'57.064"E	6,8
04.02.2020	08:01:52	337	7874	Budějovická	ČSAD Benešov	EMTEST	50°2'41.748"N	14°26'56.832"E	50°2'42.040"N	14°26'57.247"E	12,2
04.02.2020	08:27:58	337	7941	Budějovická	ČSAD Benešov	EMTEST	50°2'42.216"N	14°26'56.292"E	50°2'42.445"N	14°26'56.650"E	10,0
04.02.2020	15:19:38	339	9464	Budějovická	Arriva City	Telmax	50°2'41.712"N	14°26'57.552"E	50°2'41.782"N	14°26'57.645"E	2,8
04.02.2020	14:31:51	339	1976	Budějovická	Baronetto	Telmax	50°2'41.928"N	14°26'57.012"E	50°2'42.064"N	14°26'57.200"E	5,6
04.02.2020	06:14:16	362	9321	Budějovická	Arriva City	Telmax	50°2'42.288"N	14°26'56.004"E	50°2'42.573"N	14°26'56.407"E	11,9
04.02.2020	06:52:25	362	1980	Budějovická	Baronetto	Telmax	50°2'41.820"N	14°26'56.220"E	50°2'42.282"N	14°26'56.866"E	19,2
05.02.2020	09:18:57	332	9934	Budějovická	Arriva City	Telmax	50°2'42.000"N	14°26'57.264"E	50°2'42.025"N	14°26'57.313"E	1,2
05.02.2020	06:31:32	332	9954	Budějovická	Arriva City	Telmax	50°2'42.252"N	14°26'57.444"E	50°2'42.082"N	14°26'57.181"E	7,4
05.02.2020	08:44:45	332	9110	Budějovická	Arriva City	Telmax	50°2'42.612"N	14°26'56.040"E	50°2'42.705"N	14°26'56.205"E	4,4
05.02.2020	06:32:43	335	1980	Budějovická	Baronetto	Telmax	50°2'42.324"N	14°26'57.192"E	50°2'42.218"N	14°26'56.996"E	5,1
05.02.2020	05:38:08	337	7917	Budějovická	ČSAD Benešov	EMTEST	50°2'42.432"N	14°26'56.688"E	50°2'42.412"N	14°26'56.675"E	0,7
05.02.2020	09:27:45	337	7884	Budějovická	ČSAD Benešov	EMTEST	50°2'41.892"N	14°26'55.716"E	50°2'42.471"N	14°26'56.600"E	25,1
05.02.2020	07:47:38	337	7874	Budějovická	ČSAD Benešov	EMTEST	50°2'42.072"N	14°26'56.256"E	50°2'42.376"N	14°26'56.734"E	13,4
05.02.2020	08:17:25	337	7941	Budějovická	ČSAD Benešov	EMTEST	50°2'41.460"N	14°26'56.220"E	50°2'42.107"N	14°26'57.156"E	27,3
05.02.2020	09:08:28	339	9464	Budějovická	Arriva City	Telmax	50°2'42.108"N	14°26'56.868"E	50°2'42.197"N	14°26'56.999"E	3,8

05.02.2020	14:30:20	339	1980	Budějovická	Baronetto	Telmax	50°2'42.828"N	14°26'56.940"E	50°2'42.543"N	14°26'56.492"E	12,5
05.02.2020	06:13:39	362	9321	Budějovická	Arriva City	Telmax	50°2'42.648"N	14°26'56.832"E	50°2'42.493"N	14°26'56.584"E	6,9
05.02.2020	06:52:39	362	1975	Budějovická	Baronetto	Telmax	50°2'42.612"N	14°26'56.724"E	50°2'42.505"N	14°26'56.559"E	4,7
06.02.2020	07:04:01	332	9934	Budějovická	Arriva City	Telmax	50°2'42.576"N	14°26'56.760"E	50°2'42.481"N	14°26'56.596"E	4,4
06.02.2020	06:26:14	337	7884	Budějovická	ČSAD Benešov	EMTEST	50°2'43.476"N	14°26'57.120"E	50°2'42.793"N	14°26'56.073"E	29,7
06.02.2020	07:47:24	337	7874	Budějovická	ČSAD Benešov	EMTEST	50°2'41.532"N	14°26'57.300"E	50°2'41.773"N	14°26'57.694"E	10,8
06.02.2020	08:18:50	337	7941	Budějovická	ČSAD Benešov	EMTEST	50°2'41.604"N	14°26'56.580"E	50°2'42.040"N	14°26'57.255"E	19,0
06.02.2020	14:31:35	339	1975	Budějovická	Baronetto	Telmax	50°2'42.396"N	14°26'56.868"E	50°2'42.345"N	14°26'56.794"E	2,2
06.02.2020	06:32:30	335	1975	Budějovická	Baronetto	Telmax	50°2'42.684"N	14°26'56.796"E	50°2'42.515"N	14°26'56.543"E	7,3
07.02.2020	07:06:56	332	9934	Budějovická	Arriva City	Telmax	50°2'42.324"N	14°26'57.156"E	50°2'42.219"N	14°26'56.982"E	4,4
07.02.2020	09:26:25	337	7889	Budějovická	ČSAD Benešov	EMTEST	50°2'42.576"N	14°26'56.652"E	50°2'42.507"N	14°26'56.537"E	3,1
07.02.2020	07:41:19	337	7874	Budějovická	ČSAD Benešov	EMTEST	50°2'41.424"N	14°26'55.680"E	50°2'41.852"N	14°26'56.330"E	18,5
07.02.2020	08:09:53	337	7941	Budějovická	ČSAD Benešov	EMTEST	50°2'41.532"N	14°26'56.508"E	50°2'42.027"N	14°26'57.279"E	21,7
07.02.2020	11:40:23	332	1975	Budějovická	Baronetto	Telmax	50°2'42.576"N	14°26'56.472"E	50°2'42.567"N	14°26'56.459"E	0,4
07.02.2020	09:38:33	335	1980	Budějovická	Baronetto	Telmax	50°2'42.720"N	14°26'56.364"E	50°2'42.670"N	14°26'56.270"E	2,4
03.02.2020	01:33:54	960	1977	Břežanské úd.	Baronetto	Telmax	49°57'56.880"N	14°24'45.072"E	49°57'56.368"N	14°24'44.961"E	16,0
03.02.2020	02:34:32	960	1977	Břežanské úd.	Baronetto	Telmax	49°57'54.720"N	14°24'53.388"E	49°57'54.580"N	14°24'53.045"E	8,1
04.02.2020	01:33:11	960	9105	Břežanské úd.	Arriva City	Telmax	49°57'56.088"N	14°24'48.456"E	49°57'55.995"N	14°24'48.413"E	3,0
04.02.2020	02:34:48	960	9105	Břežanské úd.	Arriva City	Telmax	49°57'54.504"N	14°24'53.280"E	49°57'54.454"N	14°24'53.154"E	2,9
05.02.2020	01:33:00	960	9105	Břežanské úd.	Arriva City	Telmax	49°57'56.340"N	14°24'46.080"E	49°57'56.262"N	14°24'46.056"E	2,5
05.02.2020	02:35:18	960	9105	Břežanské úd.	Arriva City	Telmax	49°57'54.360"N	14°24'53.424"E	49°57'54.301"N	14°24'53.284"E	3,3
02.02.2020	01:32:32	960	1980	Břežanské úd.	Baronetto	Telmax	49°57'56.052"N	14°24'48.672"E	49°57'55.965"N	14°24'48.648"E	2,7
02.02.2020	02:33:33	960	1980	Břežanské úd.	Baronetto	Telmax	49°57'55.080"N	14°24'50.652"E	49°57'55.624"N	14°24'50.847"E	17,3
16.02.2020	01:32:17	960	1980	Břežanské úd.	Baronetto	Telmax	49°57'55.368"N	14°24'47.952"E	49°57'56.023"N	14°24'48.155"E	20,6
16.02.2020	02:35:37	960	1980	Břežanské	Baronetto	Telmax	49°57'54.216"N	14°24'53.028"E	49°57'54.297"N	14°24'53.265"E	5,3

úd.

03.02.2020	07:10:35	194	1905	Bílá Labuť	About me	Telmax	50°5'24.504"N	14°26'6.288"E	50°5'24.465"N	14°26'6.163"E	2,8
03.02.2020	07:26:25	194	1906	Bílá Labuť	About me	Telmax	50°5'24.756"N	14°26'6.432"E	50°5'24.580"N	14°26'6.063"E	9,1
03.02.2020	07:42:45	194	1904	Bílá Labuť	About me	APEX	50°5'25.188"N	14°26'6.504"E	50°5'24.840"N	14°26'5.820"E	17,3
03.02.2020	07:56:53	194	1902	Bílá Labuť	About me	APEX	50°5'25.368"N	14°26'5.352"E	50°5'25.299"N	14°26'5.249"E	3,0
03.02.2020	08:10:26	194	1913	Bílá Labuť	About me	APEX	50°5'25.800"N	14°26'5.244"E	50°5'25.556"N	14°26'4.830"E	11,2
04.02.2020	12:10:32	194	1905	Bílá Labuť	About me	Telmax	50°5'24.756"N	14°26'5.640"E	50°5'24.838"N	14°26'5.773"E	3,7
04.02.2020	07:27:23	194	1906	Bílá Labuť	About me	Telmax	50°5'24.972"N	14°26'6.756"E	50°5'24.613"N	14°26'6.100"E	17,1
04.02.2020	07:41:27	194	1912	Bílá Labuť	About me	Telmax	50°5'25.080"N	14°26'6.504"E	50°5'24.782"N	14°26'5.892"E	15,3
04.02.2020	07:57:39	194	1902	Bílá Labuť	About me	APEX	50°5'25.620"N	14°26'5.208"E	50°5'25.483"N	14°26'4.950"E	6,6
04.02.2020	08:11:19	194	1913	Bílá Labuť	About me	APEX	50°5'25.368"N	14°26'5.208"E	50°5'25.325"N	14°26'5.152"E	1,7
05.02.2020	10:56:46	194	1905	Bílá Labuť	About me	Telmax	50°5'24.684"N	14°26'5.964"E	50°5'24.694"N	14°26'5.994"E	0,7
05.02.2020	07:26:18	194	1906	Bílá Labuť	About me	Telmax	50°5'24.900"N	14°26'6.864"E	50°5'24.532"N	14°26'6.176"E	17,8
05.02.2020	07:43:26	194	1912	Bílá Labuť	About me	Telmax	50°5'24.684"N	14°26'6.180"E	50°5'24.630"N	14°26'6.078"E	2,6
05.02.2020	08:10:03	194	1902	Bílá Labuť	About me	APEX	50°5'24.612"N	14°26'5.892"E	50°5'24.675"N	14°26'6.030"E	3,4
05.02.2020	07:56:28	194	1913	Bílá Labuť	About me	APEX	50°5'25.584"N	14°26'5.244"E	50°5'25.436"N	14°26'4.998"E	6,7
06.02.2020	07:26:24	194	1906	Bílá Labuť	About me	Telmax	50°5'24.936"N	14°26'6.648"E	50°5'24.636"N	14°26'6.083"E	14,6
06.02.2020	08:56:55	194	1912	Bílá Labuť	About me	Telmax	50°5'25.044"N	14°26'6.324"E	50°5'24.809"N	14°26'5.861"E	11,7
07.02.2020	07:29:43	194	1906	Bílá Labuť	About me	Telmax	50°5'24.828"N	14°26'6.108"E	50°5'24.741"N	14°26'5.945"E	4,2
07.02.2020	07:41:12	194	1912	Bílá Labuť	About me	Telmax	50°5'24.684"N	14°26'6.324"E	50°5'24.588"N	14°26'6.145"E	4,6

Zdroj: vlastní zpracování

Příloha 4: Výřez trajektorie linky PID 302 z logu dat načítaných z CRWS

```
<line type="RegBus" name="100302" pid="true" ka="2">
  <conn ka="2" d="1683" n="RegBus" l="100302" s="1002"
k="302/51_100302_1002_1683_SdN_0_0" dd="4" f="5">
  <route>
    <st d="269" c="60308" s="A" ka="2">
      <tr dst="442.82" tm="1" rc="744">
        <t lat="50.15976" lng="14.57348" dst="0.5" />
        <t lat="50.15974" lng="14.57366" dst="13.69" />
        <t lat="50.15968" lng="14.57375" dst="23.14" />
        <t lat="50.15961" lng="14.57382" dst="32.1" />
        <t lat="50.1593" lng="14.57411" dst="72.02" />
        <t lat="50.15866" lng="14.57453" dst="148.05" />
        <t lat="50.15761" lng="14.57486" dst="266.29" />
        <t lat="50.15724" lng="14.57498" dst="307.92" />
        <t lat="50.15708" lng="14.57513" dst="328.42" />
        <t lat="50.15644" lng="14.57563" dst="408.12" />
        <t lat="50.15634" lng="14.57571" dst="419.79" />
        <t lat="50.15617" lng="14.57574" dst="438.4" />
        <t lat="50.15614" lng="14.57576" dst="442.82" />
      </tr>
    </st>
    <st d="270" c="59427" s="B" ka="2">
      <tr dst="352.83" tm="1" rc="597">
        <t lat="50.15614" lng="14.57576" dst="4.4" />
        <t lat="50.15536" lng="14.576" dst="91.34" />
        <t lat="50.15517" lng="14.57606" dst="113.1" />
        <t lat="50.15521" lng="14.57718" dst="193.9" />
        <t lat="50.15495" lng="14.57713" dst="222.32" />
        <t lat="50.15463" lng="14.5772" dst="258.05" />
        <t lat="50.15379" lng="14.57746" dst="352.83" />
      </tr>
    </st>
    .
    .
    .

    <st a="297" c="47178" s="A" ka="2" />
  </route>
</conn>
</line>
```

Zdroj: PODOLÁK, Milan. *Log načtených dat z CRWS* [E-mailová korespondence]. Praha, 12. 7. 2020 [cit. 2020-07-19].