

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta dopravní

Hlavní odborná studie

**Výzkum vzniku alternativních tras a jejich dopadů na silniční
infrastrukturu na území ČR**



Výzkumná zpráva č. 111/2021

Podpořeno grantem SGS20/082/OHK2/1T/16

12. ledna 2021

Obsah

Abstrakt	3
1 Úvod	4
2 Plovoucí vozidla	4
2.1 Definice dat z plovoucích vozidel	4
2.2 Technologie FCD	5
2.3 Data z plovoucích vozidel	6
2.4 Využití dat z plovoucích vozidel	7
3 Řešení problematiky ve světě	8
3.1 Prvotní projekty	8
3.2 Vědecké projekty	8
3.3 Aktuálně provozované systémy	13
3.4 Vliv Evropské unie	18
4 Data ŘSD	19
4.1 Odběr dat	19
4.2 Formát zasílaných dat	20
5 Návrh řešení pro vyhodnocení dat	22
5.1 Definování infrastruktury	22
5.2 Zpracování dat	24
5.3 Vznik alternativních tras	24
5.4 Možnosti alternativních tras	25
6 Návrh modelu	27
6.1 Vybrané nástroje	27
6.2 Modelované události	27
7 Vyhodnocení modelu	30
7.1 Vyhodnocení příkladových událostí	30
7.2 Obecné závěry k chování řidičů	32
7.3 Srovnání s místním šetřením	33
7.4 Budoucí práce	33
8 Prezentace projektu	34
9 Závěr	36

Abstrakt

Výzkum se zabývá vznikem alternativních tras na základě dat odvozených z plovoucích vozidel. Na základě získaných dat lze určit dobu jízdy mezi vybranými uzlovými body v síti a jejich možné alternativní trasy. Výsledkem jsou reálně používané hlavní a alternativní trasy mezi jednotlivými uzly, vlivy vzniku a dopady tvorby těchto alternativních tras.

Klíčová slova: zpracování dat, geografické informační systémy, data z plovoucích vozidel

Poděkování

K tvorbě této práce byla použita data z Dopravního portálu České republiky (ŘSD ČR – JSDI – www.dopravniinfo.cz). Projekt byl také podpořen Grantovou Agenturou ČVUT v Praze, grantem č. SGS SGS20/082/OHK2/1T/16 - Vyzkum vzniku alternativních tras a jejich dopadů na silniční infrastrukturu na území ČR.

1 Úvod

Ředitelství silnic a dálnic na jaře roku 2019 spustilo zkušební provoz rozhraní, kde je možné požádat o přístup k volnému stažení dopravních dat. Jedná se o významný zdroj dat, financovaný z veřejných zdrojů, který je vhodný k dalšímu zkoumání. Jelikož je ŘSD považováno za provozovatele dopravních informačních služeb, bylo zprovoznění systému sběru dat pomocí FCD na jeho straně.

Základní myšlenkou projektu je výzkum vzniku alternativních tras na území České republiky a s tím spojené dopady na silniční infrastrukturu. Díky rozvoji a modernizaci silniční infrastruktury je dnes možné vybírat mezi více alternativními cestami na dané trase. Uživatel se dále rozhoduje na základě dopravních informací či subjektivní preference dané trasy. V dopravní síti tak vznikají alternativní trasy mezi jednotlivými uzly, které nemají jednoznačné vysvětlení. Pokud uživatelé sítě vybírají alternativní trasy pro objížďení zpoplatněného či měřeného úseku, může to mít negativní dopad na dotčené obce. Dopravní proud se tak přesune na komunikace, které nemusí mít dostatečnou kapacitu pro takové intenzity nebo tonáž vozidel.

Také v návaznosti na nový zdroj vzniklo v lednu 2020 uživatelské fórum pro dynamické dopravní informace pod záštitou Ředitelství silnic a dálnic ČR, Ministerstva dopravy a Sdružení pro dopravní telematiku v Praze [16]. Hlavním zájmem je využití a sdílení dopravních informací a také podpora větší spolupráce veřejného a soukromého sektoru. Fórum by mělo poskytnout prostor pro sdílení zkušeností o využití dat z výše zmíněného systému pod správou ŘSD.

Udržitelná doprava je dnes velký fenomén a tento výzkum může pomoci identifikovat nežádoucí průjezdy obcí a měst.

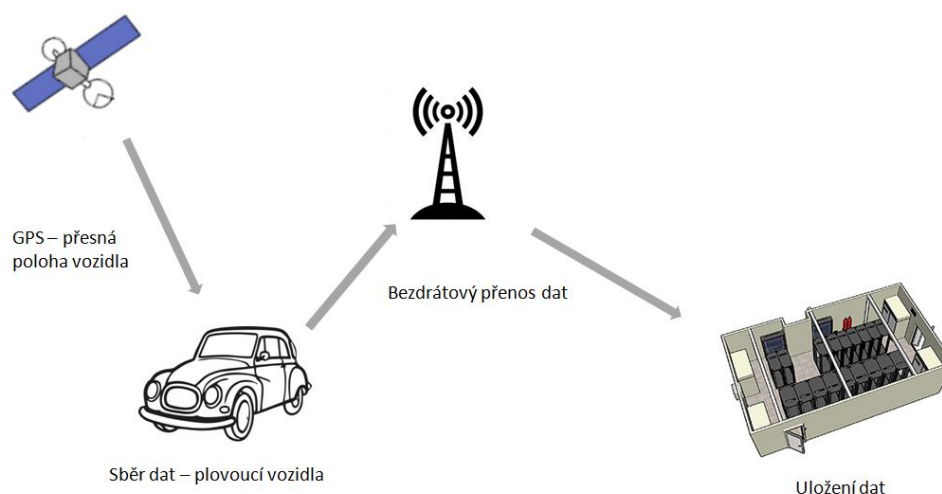
2 Plovoucí vozidla

Na začátku je potřeba definovat, co jsou plovoucí vozidla, jaké možnosti jsou při sběru dat z plovoucích vozidel a obecné principy sběru těchto dat. Následuje tedy menší kapitola o úvodu do této problematiky.

2.1 Definice dat z plovoucích vozidel

Data z plovoucích vozidel (floating car data = FCD) jsou časově označená geolokalizační a rychlostní data s časovým razítkem. Jsou sbírána přímo vozidly v dopravní síti. Data vystihuje Langragianův popis pohybu, na rozdíl od stacionárních detektorů, které vystihuje Eulerovský popis. Vozidlo se chová v síti jako pohyblivý senzor a jeho poloha je zaznamenávána pomocí GPS přijímače nebo mobilního telefonu. Není tedy potřeba

dalších hardwarových instalací podél komunikace. Schematické znázornění principu systému založeného na těchto datech je zobrazeno níže (Obrázek 1).



Obrázek 1: Schematické znázornění prvků v systému FCD

S použitím dat z plovoucích vozidel máme v reálném čase aktuální přehled o dopravní situaci na silniční síti, též o možných alternativních trasách a městských regionech. Data jsou integrována do NDIC, což zajišťuje distribuci informací třetím stranám a v budoucnu je možná i distribuce informací přímo účastníkům provozu.

2.2 Technologie FCD

Technologie dat z plovoucích vozidel je spolehlivá a nákladově efektivní. Shromažďuje data v reálném čase z plovoucích vozidel, sbírána z mobilních telefonů nebo zařízení GPS. Data jsou posílána bezdrátově do řídicího střediska. Díky tomu je snadné identifikovat přetížení sítě, cestovní dobu z bodu A do bodu B, zmírnit dopravní kongesce a optimalizovat pohyb v silniční síti.

Dále jsou popsány dva nejčastější způsoby sběru a využití dat z plovoucích vozidel. Kromě těchto dvou způsobů je možné také diskutovat přenos dat pomocí reidentifikace vozidel, což bude rozebráno níže pro konkrétní případy využití těchto dat ve světě.

FCD získané z GPS (GPS-based FCD)

Vozidla jsou vybavena přijímačem GPS. Základním princip GPS FCD je použití navigačních systémů GNSS a mobilní sítě GSM. Díky navigačním systémům jsou vozidla schopna určit přesnou polohu vyjádřenou v souřadnicích. Data jsou poté odeslána do řídicích středisek pomocí GPRS (General Packet Radio Services) nebo SMS (Short Message Service). Tyto služby jsou instalovány do palubní jednotky (OBU), která bývá zpravidla součástí vozidel taxislužeb, služebních vozidel, vozů logistických firem, v navigačních systémech

automobilů atp. OBU jednotka dále předává data pomocí běžné palubní rádiové jednotky nebo prostřednictvím mobilní sítě (to je ovšem dražší varianta).

GPS jednotka je aktivována automaticky při nastartování vozidla, během jízdy shromažďuje data (GPS poloha, směr jízdy, rychlost,...) a vypíná se opět se zhasnutím motoru. Data jsou zasílána v určitém intervalu na server, kde jsou zpracována a ukládána. Je tedy potřeba HW ve vozidle a také server pro ukládání dat.

Pro tuto metodu je třeba velká penetrace vozidel v síti. Proto dříve převažovala tato metoda v městských oblastech, kde je velký výskyt vozidel veřejné dopravy a taxislužeb. U dálnic a rychlostních silnic je potřeba, aby FCD vozidlo projelo alespoň v 15 minutovém intervalu.

FCD získané z mobilního telefonu (Cellular Floating Car Data)

Data jsou čerpána z celulárních sítí (CDMA, GSM, GPRS). Není potřeba žádné speciální zařízení, senzorem se stává zapnutý mobilní telefon ve vozidle. Poloha a pohyb se určuje jednou z několika metod určení polohy, které je možné využít u mobilní sítě (pomocí GSM nebo GPS, která je přesnější). Síť je rozdělena většinou na oblasti ve tvaru šestiúhelníku dle pokrytí přijímací a vysílací antény BTS (base transceiver station). Pokud je signál předán jiné BTS, na místě vznikne sledovací bod pro dané území. Počet mobilních telefonů je značný, a tak je možné získat kvalitní data sítě. Proto je přesnější měření v městských oblastech, kde je také více BTS.

Obecně je lokalizace pomocí GSM méně přesná než lokalizace pomocí GPS. Problém může být v oblasti pokrytých nízkým počtem BTS, případně v oblastech, kde BTS pokrývá paralelně vedoucí komunikace.

Tato metoda na rozdíl od GPS ale umožňuje sbírat data z mnohem většího vzorku koncových uživatelů, protože lze anonymně sledovat mobilní telefony v celé síti GSM a pokryje velké množství komunikací, jelikož požadavek na zapnutý mobilní telefon je v dnešní době elementární. Obecně je předpoklad, že v každém vozidle se dnes vyskytují mobilní telefony, které odesílají data o poloze operátorovi. Přiřazením lokalizace mobilních telefonů na síť je možné sledovat pohyby vozidel. Problematická může být lokalizace jednotlivých dopravních prostředků (auto, tramvaj, cyklista) a také souběžné komunikace (dálnice vede vedle železnice).

2.3 Data z plovoucích vozidel

Pro projekt bylo dále potřebné si ujasnit, jaká data lze přímo vyčíst z plovoucích vozidel a jaká je možná dále odvodit. Parametry, které lze přímo získat z FCD:

- Historická data
- Poloha vozidla, počátek a cíl cesty, zvolená komunikace (přiřazení na mapu)

- Cestovní doba, zpoždění, rychlost (braná přímo z vozidlové jednotky)
- Data v reálném čase (vysílaná každou minutu)

Jak lze vidět, není možné z plovoucích vozidel vyčíst například intenzitu provozu. Naopak jsou parametry, které je možné z dat dále určit. Můžeme se bavit o výpočtu dopravních parametrů a dalších klíčových charakteristik dopravního proudu, mimo jiné například:

- Statistiky provozu, analýzy provozu
- rychlost dopočítána na základě polohy a času (pokud není brána přímo z vozidlové jednotky)
- Průměrné rychlosti na daném úseku, počet vozidel na daném úseku
- Identifikace dopravního přetížení na daném úseku

2.4 Využití dat z plovoucích vozidel

Data z plovoucích vozidel lze využít k různým analýzám dopravního proudu, například dopravní řešení (výstavby nových komunikací), analýza uzavírek a jejich dopadů, výpočet kolon a další související parametry, analýzy dopadů na životní prostředí, analýzy chování účastníků silničního provozu při různých dopravních událostech atp.

Právě poslední zmíněná možnost analýzy chování řidičů lze aplikovat v následné práci. Pokud se zaměříme na pátevní komunikační síť, lze při různých událostech detekovat změny chování řidičů. Příkladem mohou být změny chování způsobené zpoplatněním daných úseků, ale můžeme se také zaměřit na chování řidičů při excesech. Například při hromadné nehodě na dálnici D1 a její úplné či částečné uzavírce je předpoklad, že většina řidičů zvolí alternativní trasu. K tomu je může vést více podnětů, od prostého pocitu "alespoň jedu" až po vedení navigace po objízdni trase. Typicky například aplikace Waze přepočítává trasu na základě podnětu jiných uživatelů a trasu vede tak, aby se řidič pohyboval. Díky datům by bylo možné zjistit nejen následky události, ale také možné příčiny a detekovat problém dle chování řidičů. Alternativní trasy často vedou po komunikacích nižších tříd, tedy pravděpodobně po komunikacích s horší kvalitou povrchu a nižší průjezdní rychlostí. Otázkou zůstává, zda se alternativní trasy vyplatí a řidič ušetří svůj čas či zda je časově výhodnější popojíždět v koloně hlavního tahu. Pokud by tak bylo možné předpokládat doby průjezdu jednotlivých komunikací, bylo by možné tyto informace předávat uživateli. Omezili bychom tak přelévání dopravního proudu z hlavního tahu na alternativní trasu, případně vznik alternativy k alternativní trase.

Díky možnosti ukládání plovoucích dat lze pracovat i s historickými daty, a tedy porovnávat jednotlivé situace v čase.

3 Řešení problematiky ve světě

Následným krokem při tvorbě této práce je rešeršní analýza aktuálních projektů. Následuje výčet jak vědeckých a pilotních projektů, tak také zmínka o komerčních projektech, které jsou v této oblasti velmi významné. Jelikož se jedná o zpracování velkého množství dat, jsou především komerční projekty vyvíjeny za účelem optimalizace procesů a ušetření nákladů, což vede ke kratší době jejich vývoje.

3.1 Prvotní projekty

První pokusy použít vozidla v síti ke sběru dat se objevily v Německu v 80. letech. Firmy Siemens a Philips chtěli obdobnou technologii instalovat do svých systémů. Základním principem bylo dynamické vedení v síti pomocí ostatních vozidel, odkud bylo možné čerpat data o provozu. Použili plovoucí vozidla k zaznamenání rychlosti a polohy a data zasílali do řídicího centra [7].

Obecně pro shrnutí [13], data z plovoucích vozidel jsou ideální pro přímé měření cestovní doby. Toto měření je známo až po dokončení jízdy a také závisí na statisticky dostatečném počtu plovoucích vozidel. Měření tedy bude k dispozici se zpožděním. Zpoždění závisí i na penetraci vozidel, pokud je nízká, informace jsou velmi kusé během dne. Kombinace krátce měřených a dlouze měřených segmentů může zanést do modelu chyby (záleží na počtu FCD na úsecích).

3.2 Vědecké projekty

Jeden z prvních výzkumných projektů zaměřených na data z plovoucích vozidel byl projekt Prelude [13] z oblasti nizozemského Rotterdamu z let 1998-1999. Cílem projektu bylo zkoumat technickou a ekonomickou proveditelnost měření FCD především pro městské oblasti. Vozidla byla vybavena GPS a GSM přijímačem. Korekce GPS byla upravena pomocí FM RDS služby. Poloha byla měřena každých 10 sekund a posílána v 5 minutových intervalech do ústředny. Hlavní funkcí FCD bylo párovat vozidla na digitální mapu a určit cestovní dobu. Byl kladen důraz na anonymitu dat, proto generovali náhodné identifikace vozidel. Bylo prokázáno, že se data z FCD shodují se segmenty komunikací. Projekt používal zhruba 100 metrů dlouhé segmenty. Jelikož plovoucích vozidel v době měření nebylo mnoho, bylo nutné na to myslet při kombinaci segmentů (při výběru málo obsazených segmentů by data mohla zkreslovat výsledek). Bylo zjištěno, že největším problémem u přenosu je GSM síť.

Data z plovoucích vozidel mohou být použita pro řízení provozu, například pro časový harmonogram řízení provozu pro 10-30 min, pro využití například u směrových řízení

(směrování vozidel na obchvat města ve špičce) atp. Data lze také využít pro dlouhodobé plánování dopravy, kdy mohou ukázat cílovou matici.

V MHD lze data využít pro prioritizaci vozidel na křižovatkách, nebo při návrhu speciálních pruhů pro vozidla. Data jsou zdrojem cestovních dob na hlavních trasách ve městě. V logistice je možné využít FCD pro plánování přesné trasy pro jednotlivé dodávky. Díky historickým datům mohou rozhodovat, jakou trasu zvolit s ohledem na den, týden, počasí atp. Jelikož v logistice jde často o to, dovést zboží v daný den či hodinu, jsou tyto informace klíčové k plánování provozu flotily vozidel.

Existuje řada pilotních projektů, které se snaží využívat data z plovoucích vozidel k organizaci a řízení dopravy. Dále budou diskutovány vybrané vědecké projekty, které se úzce dotýkají řešené problematiky.

Projekty využívající data z taxivozidel

Existuje více výzkumných projektů zaměřujících se na data z plovoucích vozidel ve městě. Převážná většina z nich využívá data z vozidel taxi. Jedná se totiž o data lehko získatelná, která si provozovatelé služeb sbírají již delší dobu. Data lze tedy i historicky sledovat. Je třeba si ovšem uvědomit, že právě řidiči taxislužeb jsou velmi specifictí pro sledování volby jejich trasy. Z povahy povolání jsou jejich znalosti silniční sítě ve městě a aktuální dopravy dle času ve dne detailnější, než u jiných řidičů.

Výzkum [11] se zabývá vývojem datové platformy, která sbírá a integruje data z plovoucích vozidel od maximálního počtu dodavatelů ve městě. Platforma má data vizualizovat, ukazovat cestovní časy a poskytovat jak aktuální data, tak predikce doby jízdy. Ve městě Hefei už FCD poskytují data pro městský obchvat. Pokrytí FCD je dle výzkumu až 80% a přesnost informací může dosáhnout více než 85%.

Rostoucí nedostatek mezi poptávkou po silniční síti a nabídkou je pro Hefei vážným problémem, zejména s přihlédnutím k velkému počtu jízdních kol, motorových skútrů a chodců ve městě. Byla zkoumána data z vozidel taxi. Tato data se ukázala jako reprezentativní pro průměrnou rychlost populace. Společnosti provozující taxi služby již většinou mají systémy na sledování vozového parku. Cesty taxi bývají soustředěny v centru města. Projekt v Hefei sledoval taxivozidla v centru města s agregací dat 15 min. Na těchto datech vypočítali průměrnou rychlost v síti. Pokud znali jen start a cíl, použili algoritmus pro výpočet nejkratší cesty. Jelikož jsou brána jen data z FCD, pro určení dobré průměrné rychlosti je třeba vzít do výpočtu data z více dní.

Výzkum dále řeší, že systémy řízení jsou závislé na aktuálních informacích z provozu. Aby se silniční doprava přesunula ve městě k jinému způsobu, je potřeba mít jiný typ dopravy. Informace jsou shromažďovány v centrální jednotce, která je shromažďuje všechny

dohromady (FCD, data od policie, metedata, atp) a poskytuje aktuální obraz o dopravě. FCD poskytuje flexibilní možnost monitorování dopravy pomocí velkého počtu senzorů za nízkou cenu. Data nejsou ze stejného zdroje, takže je také možné použít kvalitně statistickou analýzu.

Podobný výzkum [2] probíhal také v Pekingu v roce 2017, kdy sbírali data z vozidel vybavených GPS (měli přes 32 000 vozidel). Byla použita metoda Hadoop-GIS, což je nástroj poskytovaný společností ESRI (v tomto případě bylo použito Spatial Framework for Hadoop a Geoprocessing Tools for Hadoop). Tato metoda byla použita z důvodu práce s velkým množstvím dat, které již samotný GIS nezpracuje. Výzkum byl programován v jazyce HiveQL (podobné SQL). Nejprve byla data zpracována, poté extrahována pomocí Hadoop-GIS pro objevení vzorce toku davů (anglicky crowd flow patterns). Výzkum se dále věnuje datům z vozidel taxi a porovnává dvě časové období.

Plovoucí data z Pekingu využívá i výzkum [18], který na rozdíl od předešlého dále řeší přiřazení dat z vozidel taxi na silniční síť, řeší tzv. map matching. Pro tento postup lze využít více metod, jako například algoritmus založený na Kalmanově filtraci, neuronové sítě atp. V tomto případě byla data měřena v dlouhém intervalu a občas je rozpětí mezi body 1-2 km. Proto se vzorek určí dle odhadu nejkratší cesty mezi těmito body. Průměrnou rychlost výzkum určuje z pětiminutového intervalu. Byla testována data za tři dny z roku 2006 a byly testovány tři algoritmy, které mohou využít pro zpracování dat a které budou průkazné (byla porovnána plovoucí data a data z detektorů).

Propojené křižovatky

Výzkum [5] se zaměřil na experimentální projekt, jehož cílem bylo vyvinout lepší regulační algoritmy pro propojené křižovatky. Autoři popisují implementaci FCD pro regulaci dopravních semaforů v reálném čase. Jsou popisovány testované algoritmy, experimentální stránka a návrh systému. Výsledky mohou potvrdit výhody FCD a vést k výzkumu lepších algoritmů pro propojené křižovatky. Místo dat z indukčních smyček využívají extrapolaci dat z trajektorie vozidla. Výzkum řeší dva algoritmy pro řízení křižovatky, Greedyho algoritmus a Nashův algoritmus. V testovacím provozu jsou propojená vozidla brána jako prioritní. Testovací místo bylo zvoleno na parkovišti univerzity v Kalábrii, kde se testovací vozidla točila v daných trasách. Testovaná křižovatka byla tvaru T a vozidla jezdila tak, aby nedocházelo k jejich shlukování.

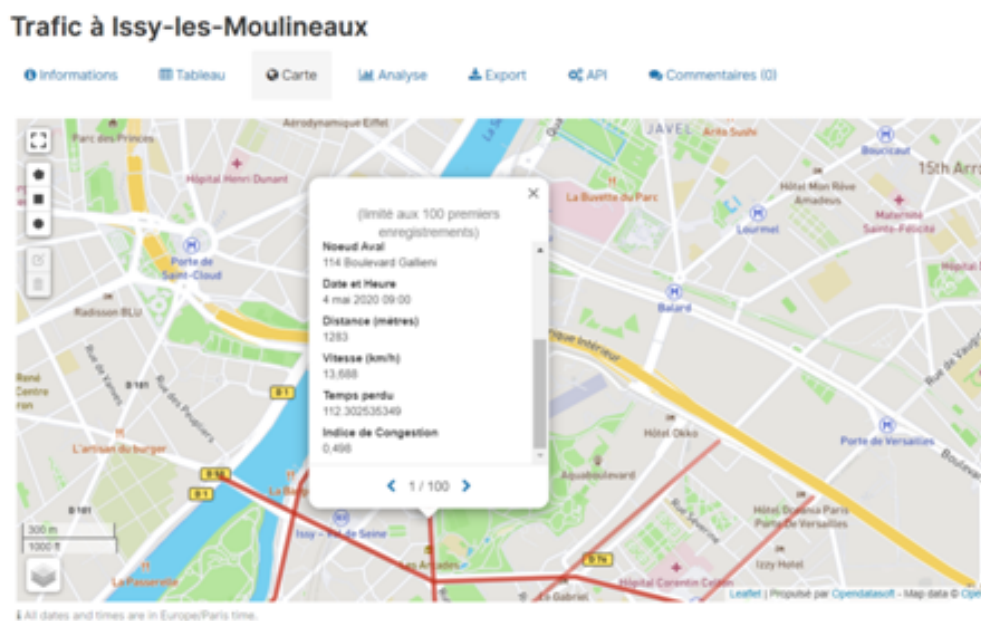
Předměstí Paříže

Příkladem projektu v intravilánu může být pilot ve předměstí Paříže v části Issy-les-Moulineaux [12]. Za použití dat ze soukromého trhu, konkrétně od firmy Mediamobile (dnes BeMobile France), měřili vybrané datové parametry (geometrie komunikace, rychlost vozidel,

pokrytí FCD dat, atp.). Byla použita data z let 2017 a 2018.

Vizualizace byla komunikována s municipalitami a občany pro zpětnou vazbu. Pilotní projekt definoval kritické body využití - spolupráce mezi soukromými a veřejnými orgány na využití dat a znalosti procesu spoluvytváření v datech, rychlé stárnutí dat, data jak historická, tak reálná (nebo v krátké době poskytnutá).

Obec Issy-les-Moulineaux data sále využívá, publikuje je na svém webu (viz Obrázek 2), včetně průměrné rychlosti na dané komunikaci, ztraceného času a délky kolony. Data jsou ovšem zobrazována se zpožděním (v době rešerše byla data aktualizována zhruba se zpožděním 10 dní).



Obrázek 2: Vizualizace využití FCD dat na předměstí Paříže [12]

Nizozemský projekt UMneo

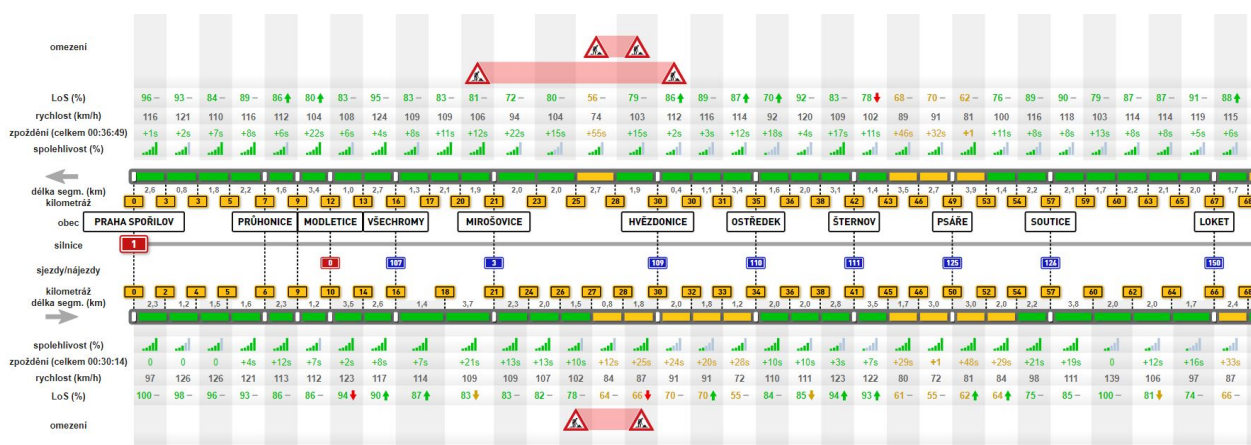
Dopravě v extravilánu se věnoval nizozemský projekt UMneo [14]. Cílem projektu je použití tohoto relativně nového zdroje dat pro účely řízení provozu v „reálném čase“ (především zaměřeno na varování před pomalým vozidlem) a v budoucnu nahrazení indukčních smyček právě daty FCD.

Mezi výsledky tohoto projektu bylo potvrzení, že pokrytí plovoucími vozidly je dostatečné (8–10 % provozu) a lze tato data využít jako vstup pro signalizační systém s latencí maximálně 25 sekund (FCD v tomto projektu měli konkurovat indukčním smyčkám, které jsou od sebe 500 - 1000 m). Dále sloučili různé zdroje dat pro informační systém řidičům, kdy jsou schopni v reálném čase varovat pomocí zařízení pro provozní informace, například s cílem eliminace rázových vln.

Testovací projekt v Bavorsku se k řešení problematice přibližuje o něco více ve výzkumu [4]. Projekt si kladl za cíl zjistit, zda lze využít FCD data k vyplnění slepých míst mezi silničními senzory na vedlejších komunikacích, aby zlepšili dopravní informace. Na vedlejších komunikacích se senzory instalují až ve vzdálenosti 100 km, což způsobuje vznik slepých míst. Byla zkoumána historická i reálná data na dálnicích a vedlejších komunikacích. FCD data byla poskytována v reálném čase v 70% sledovaného času, což ukazuje vysokou kvalitu dat. Celkem bylo 77% dat z dálnic, na vedlejších komunikacích byla data poskytována v 55% času. V noci nebyl na komunikacích dostatečný provoz, v tu dobu testoval pilot historická data, na kterých predikoval dopravní informace.

ViaRodos

Je vhodné také zmínit český projekt, na kterém spolupracuje více komerčních i akademických objektů. Systém funguje na sběru GPS FCD a jako doplněk jsou data z mytných bran a dalších dopravních detektorů. Hlavní funkce je přehledné zobrazení intenzity a plynulosti provozu v ČR. Zobrazuje jak celou síť ČR, náhled dálnic a rychlostních silnic (lze vybrat konkrétní komunikace) a zobrazení intenzit ve 3 největších městech ČR. Výpočty modelu prováděny na ostravském superpočítači. Výstupy z tohoto projektu je možné sledovat na webových stránkách projektu. Zde jsou také zobrazeny aktuální výstupy pro jednotlivé komunikace. Příkladem může být schéma úseku dálnice D1, kde jsou zobrazeny všechny parametry, které projekt poskytuje, viz Obrázek 3.



Obrázek 3: Ukázka výstupů projektu ViaRodos

3.3 Aktuálně provozované systémy

Aktuální trendy poukazují na fakt, že řízení a optimalizace dopravy se neobejde bez kvalitních dopravních informací. Ideální je kombinace jak aktuálních dat, tak dat historických, pomocí nichž jsme schopni vyhodnotit aktuální dopravní situaci, potažmo zpětnou analýzou vyhodnotit nastalé problémy a díky tomu modelovat a dále plánovat obdobné režimy. Díky tomu lze zpřesnit dopravní informace poskytované koncovým uživatelům. Aktuálnost a přesnost dopravních dat je tak klíčový faktor pro instalované technologie.

Data z plovoucích vozidel lze použít k odvození historických údajů (například o rychlosti), ale především lze data použít i pro aplikace v reálném čase.

Propojení aktuálních dat například s PDZ jsou podle americké studie [10] ovlivněny především následujícími problémy:

- Nepřesné předpovědi a falešné poplachy
- Nedostatečná aktivita v postižených oblastech
- Problémy se zasíláním zpráv
- Včasná aktualizace zpráv
- Automatizace proměnlivých znaků vyžaduje přesné spouštění v reálném čase

Obecně lze ukládat více veličin, se kterými je možné dále pracovat. Většina nástrojů dále pracujících s plovoucími daty ukládají následující parametry: (průměrná) velikost vzorku trasy, průměrná doba cesty, střední doba jízdy, průměrná rychlost, rychlost na určeném percentilu (například 15. nebo 85.), poměr doby jízdy, určený percentil cestovní doby, rychlostní limit, název silnice a funkční třída silnice.

Aplikace PTV Group

Německá společnost PTV Group má ve svém portfoliu několik aplikací využívající data z plovoucích vozidel. Nejvýraznější z nich se věnuje předpovědi provozu založenou na reálných datech, kdy skrze jejich platformu poskytují údaje o provozu v reálném čase založené na FCD. Jejich produkt PTV Optima umožňuje předpovídat provozní podmínky pro 30-60 minut na základě aktuální situace. Díky těmto informacím je možné odvodit opatření ke zmírnění přetížení komunikací. Jejich systém stojí na datech společnostech HERE, INRIX a TomTom, kteří poskytují data téměř v 70 zemích světa. Data zahrnují také informace o nehodách či práci na silnici. Tato data lze následně sloučit s místními externími zdroji. Obrázek 4 zobrazuje příklad jejich platformy.



Obrázek 4: Schematické zobrazení produktu PTV Optima [9]

Aplikace společnosti TomTom

Jednou z nejznámějších společností v oblasti navigací je firma TomTom. Právě tato firma investuje nemalé finance do zlepšování svých algoritmů v navigačních přístrojích, stejně tak jako do vylepšení zpracovávaných dat. Není proto překvapením, že tato firma má několik produktů a řešení, které jsou založeny na FCD [8].

Data FCD se běžně používají k odvození historických dob jízdy na jednotlivých komunikacích a také k vyhodnocovacím algoritmům dat o provozu. TomTom nabízí více druhů služeb založených na FCD, jako například:

- Studie spolehlivosti pro vybrané komunikace
- Analýza přetížených komunikací (na základě pomalé jízdy)
- Optimalizace stávající kapacity komunikace či vyhodnocení zvýšení kapacity komunikace - historická data mohou pomoci v rozhodovacím procesu nebo vyhodnotit návratnost investic
- V kombinaci s klasickými detektory zvýšení monitorované oblasti a kontroly podmínek na komunikaci
- Informovanost řidiče skrze přístroj TomTom snížení dopravní kongesce

- Spojení datových sad s místními i národními úřady (uzavírky silnic, práce na silnici, nehody,..) a jejich propsání skrze služby TomTom
- Nabídka alternativní trasy díky kombinací více datových sad - Běžné služby používají data poskytovatele či provozovatele komunikací, která jsou zaměřena pouze na hlavní komunikace a o vedlejších nemají data. TomTom aktualizuje data FCD neustále, a tak má data i o nižších komunikacích, které může v případě potřeby využít.
- Doporučení nejpravděpodobnější cesty - navrhnutí dopravní cesty tak, aby byla v souladu s PDZ (automaticky zpracuje data o kulturní akci, pokud je má, a trasy naplánuje tak, aby bylo problematické místo vynecháno)
- Využití historických dat k řešení úzkých hrdel a další historické dopravní statistiky - TomTom shromažďuje data od roku 2008, dopravní přehledy o rychlosti, době jízdy a velikosti vzorku v silniční síti, data jsou dostupná 24/7 ve více formátech (shp, json, xls, kml)
- Analýza místa výjezdu - matice O/D, analýza toků tras a vizualizace v mapě (informace jak a kde se lidé pohybují), zaměření na preferované trasy a chování cesty (lze tak například určit, který region je vhodný pro cílenou reklamu nebo nový maloobchod), identifikace vysokých objemů na komunikaci, export dat do XLS
- Reporty silničních událostí - partnerům (města, firmy, kraje,..) hlásí nehody či uzavírky na trase, pro včasnou kalkulaci trasy, čímž vylepší trasu a řidič ušetří čas, palivo a stres na cestě.
- Provoz v reálném čase - Informace o nehodách a dopravním proudu v reálném čase. Díky analýze nehod a přetížení v reálném čase za účelem předvídání provozu, než k němu dojde, zpřesňuje TomTom svými daty i navigační software TomTom s výpočty tras a odhadovaným časem příjezdu. Sledují kongesce a nehody v síti, data jsou aktualizovaná každých 30 sekund a s těmito daty dále pracují. Služba stojí na běžně používaných standardech (TPEG - automotive standard pro doručení dopravních informací a DATEX II - standard pro výměnu informací mezi poskytovateli služeb, vývojáři aplikací a centry řízení provozu)
- Fleet management - Mapové podklady pro směřování nákladních vozidel, sledování flotily vozidel a jejich směřování dle aktuální dopravy, reverzní geokódování pro sledování vozidla, správa spotřeby paliva nebo například doručení balíků včas, určení trasy dle parametrů (rozměrům vozidla, typu nákladu a výškám mostů a tunelů, nízkoe emisní zóny, místní zákony atp). To využívají i velké společnosti jako například Michelin, Mercedes-Benz nebo Sygic (profesionální navigace). Tato služba podporuje

formáty GDF ASCII, Shapefile, PostgreSQL, Oracle Spatial, SQLite, Navigation Data Standard.

Při využití FCD není nutná žádná instalace zařízení a mohou být posouzeny všechny kategorie silnic. Díky archivaci dat TomTom může provádět tyto analýzy i zpětně.

V Helsinkách použili historické statistiky TomTom pro případovou studii pro plánování dopravy, omezení kongescí a stop-and-go vln. Tato studie je založena na datech z let 2010-2017. Předešlé studie byly postaveny na datech ze tří vozidel, která projížděla definované trasy (tato vozidla byla omezena pouze na 14 vybraných tras). Bylo identifikováno 10 nejvytíženějších komunikací, například na hlavní komunikaci Mannerheimintie stráví 4,3 krát více času kvůli kongescím a celkově průměrně narostlo cestovní zpoždění ve městě na 27 minut denně [6].

Nizozemská společnost Interbest spravující billboardy v okolí dálnic využívá data z OD matic pro určení publika každé reklamy. To společnosti umožňuje přizpůsobit reklamu tak, aby měla úspěch u koncových uživatelů. Data využívají pro zjištění geografického dopadu jejich billboardů [1].

Firma TomTom má také plány do budoucna. Je předpoklad, že počet plovoucích vozidel bude narůstat, a také bude narůstat i množství dat. Stejně tak bude možné sbírat i další data, jako například informace o nouzových elektronických brzdových světlech a varování před kolizí z vozidlových systémů. Přístup k těmto datům může zlepšit stávající produkty, jako jsou "živé dopravní informace" a vyvinout i další nástroje ke zlepšení provozu.

Je zřejmé, že tyto předpoklady vyžadují spolupráci napříč automobilovým průmyslem. Evropská skupina EDT (European Data Task Force) přijala iniciativu na zlepšení bezpečnosti provozu pomocí sdílení údajů. Tato skupina byla vytvořena v roce 2017 a věnuje se především sdílení údajů generovaných vozidly a infrastrukturou mezi členskými státy, výrobci a poskytovateli služeb. Hlavním cílem skupiny EDT je implementovat stávající nařízení EU o přístupu k bezpečnostním údajům a informovat řidiče prostřednictvím navigace v otázkách bezpečnosti.

Díky tomu má TomTom a další poskytovatelé přístup k datům z vozidlových senzorů (například informace o detekci nehod a stavů silnic). Tyto informace budou předávány pomocí NAP (Národní přístupový bod) řidičům. Tyto nové informace by měli vést ke zvýšení bezpečnosti na komunikacích.

Aplikace Waze

Waze sice není typickým příkladem plovoucích dat, ale ve spojení s problematikou volby objízdných tras je potřeba se takovou službou zabývat. V České republice její obliba velmi stoupá, již v roce 2019 měla aplikace v ČR přes 700 tisíc uživatel [3].

Principem této aplikace je především sběr dat od uživatel samotných, kdy uživatel dopravní problém zadává do aplikace uživatelsky přívětivým způsobem. Následně se tato informace zobrazuje všem ostatním uživatelům v dané lokalitě. Společnost Waze tak disponuje nemalým objemem dat, které lze také následně využít a považovat je za zdroj velmi podobný právě datům FCD.

Díky jejich datům se angažují také v řešení problémů pro konkrétní metropole či události. Řešili tak například dopravní situaci v Riu de Janeiru před LOH 2016. Díky aplikaci jejich dat vyvinuli aplikaci, která upozorňuje na provoz, ukazuje živou mapu a také uzavírky silnic. Do předešlé aplikace museli přidat nové segmenty, některé starší segmenty rozdělit či jinak upravit, aby byly odpovídající datům. Tím snížili dopravní kongesce ve městě, snížili také o 30% nehodovost a přibylo více uživatelů veřejné dopravy a cyklistů.

Dalším příkladem může být využití jejich dat pro PDZ v Kalifornii, kde na hlavních koridorech Interstate 80 a Highway 65 používají jejich data pro zobrazení odhadovaného času dojezdu do Sacramento.

Využití historických dat či zpětné zpracování dat

Přesto, že velká přednost dat z plovoucích vozidel je jejich aktuálnost provázaná s provozem, je třeba zmínit i další možnosti jejich využití. Velkou devizou FCD je možnost data modelovat a analyzovat díky tomu provoz. Například je možné data použít pro analýzy situace před změnou a po změně v dopravní infrastruktuře či logice. Častým využitím je pak určení reálné cestovní doby do zájmových míst (centrum města, letiště, vlaková stanice, jiná významná komunikace) nebo například nalezení ideálního místa pro výrobní halu, sklady a další prvky z pohledu dopravy.

Velmi podobně slouží FCD i k plánování dopravy. Je možné díky těmto datům plánovat opatření založené na reálných datech, což umožní například identifikovat úzká hrdla v silniční síti. Tedy systém identifikuje místa, kde se pravidelně vyskytují dopravní zácpy a je možné tak na základě těchto potvrzení aplikovat opatření ke zmírnění dopravní zácpy.

Re-identifikace vozidla

Jak již bylo zmíněno výše, jsou i další způsoby využití dat z plovoucích vozidel, nicméně v principu se stále bavíme o využití technologií mobilních sítí nebo navigačních systémů. Využívaným způsobem především v USA je tzv. reidentifikace vozidla (v originále Re-identification FCD).

Vozidlo je vybaveno zařízením používajícím navigační systémy, které se lokalizuje pomocí bezdrátové technologie na daný úsek. Vozidlo je detekováno na jednom místě a poté znovu detekováno dále po směru jízdy pomocí jedinečného sériového čísla na zařízení ve vozidle. Využívá se nejčastěji MAC adresa ze zařízení ve vozidle. Princip fungování je tedy velmi

podobný jako u GPS FCD, ale data se dále přenáší jiným typem signálu než GSM (například bluetooth, mikrovlny,..). Vozidla sdílí informace mezi sebou pomocí vysokofrekvenčních bezdrátových technologií (například RFID), nebo mezi vozidly a infrastrukturou (detektory, instalací podél komunikace a podobně).

Oproti používanějším metodám (zmíněné dříve) není tato metoda centralizovaná, tedy neexistuje centrální řídicí středisko, které data sbírá a dále s nimi nakládá. Velkou nevýhodou je nutnost instalace inteligentních zařízení podél silnic. Je možné se domnívat, že tato metoda bude hojně využívána po zavedení V2X komunikace.

Tato metoda se používá například pro sběr dat v oblasti San Francisco Bay Area. V New Yorku používají také čtečky RFID ke sledování elektronického výběru mýta E-ZPass. Data jsou přenášena prostřednictvím širokopásmové bezdrátové infrastruktury do střediska řízení provozu, kde jsou využita k adaptivnímu řízení světelné signalizace.

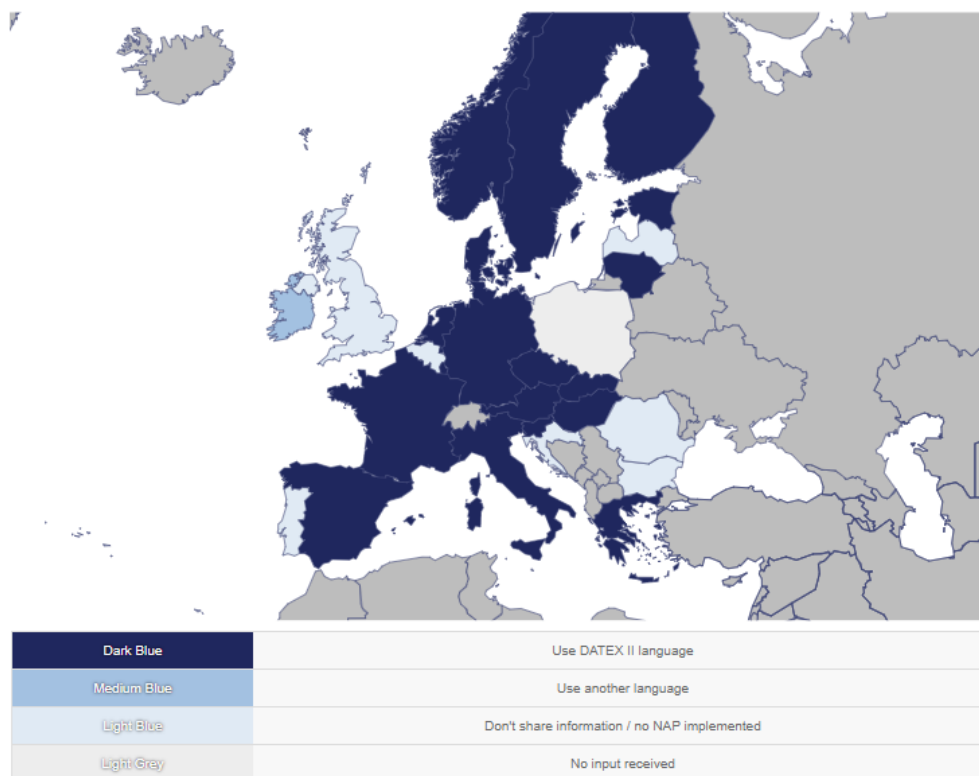
3.4 Vliv Evropské unie

V rámci Evropské unie je snaha zajistit konstantní informace, bez ohledu na stát, ve kterém jsou sbírány. Byl stanoven společný formát pro dopravní informace DATEX II . Jedná se o standard ČSN EN 16157-1 v ČR platný od května 2019. Standard je definovaný pro výměnu dat nebo dopravních informací mezi centry správy provozu, poskytovateli dopravních služeb, provozovateli dopravy a mediálními partnery. Data jsou prezentována ve formátu XML a modelována pomocí UML. Standard má zaručit služby za srovnatelných podmínek a kvality i při přeshraničním cestování. Standard je součástí Akčního plánu ITS.

DATEX II zavazuje NDIC (Národně dopravně informační centrum), jakožto národní přístupový bod, publikovat data v tomto formátu. Tento formát umožňuje popis dopravní situace v XML a popsat polohu různými způsoby (koordinační souřadnice, lokační tabulky atp). V případě FCD byly použity lokační tabulky. Formát DATEX II pro dopravní informace v reálném čase (Real-Time Traffic Information = RTTI) již v dnešní době používá většina států EU, což je vidět na obrázku níže (Obrázek 5).

Také, jak bylo zmíněno v předešlém textu, spolupráce evropských států a společností vede ke sběru a vývoji nových systémů založených na datech z plovoucích vozidel. Díky EDT (European Data Task Force) se rozvíjí spolupráce ve sdílení údajů mezi vozidly, infrastrukturou, členskými státy, výrobci a poskytovateli, což může vést k lepším datovým sadám pro další zkoumání.

Evropská unie podporuje problematiku plovoucích dat na bázi celé řady výzkumných projektů v jednotlivých členských státech. Nicméně nebyl nalezen velký komplexní projekt, návrh na univerzální aplikaci, společný doporučený postup či snaha tato data unifikovat v rámci celé Unie.



Obrázek 5: Použití formátu DATEX II[17]

4 Data ŘSD

Zdrojem dat pro celý projekt se stal Systém pro plošné kontinuální monitorování dynamiky dopravních proudů na strategické síti komunikací ČR. Systém vznikl spoluprací více subjektů státní správy (MD, MV, ŘSD, PČR) a řady dalších organizací a institucí. JSDI je také součástí Akčního plánu rozvoje inteligentních dopravních systémů v ČR do roku 2020.

Ředitelství silnic a dálnic jako správce systému v roce 2019 zpřístupnilo rozhraní pro odběr dat z plovoucích vozidel. Pro odběr je nutné se na rozhraní registrovat a současně uzavřít smlouvu s provozovatelem FCD rozhraní. Na základě této smlouvy je pak možné data odebírat.

4.1 Odběr dat

Odběratel v rozhraní definuje požadavky na zasílaná data. Lze vybírat formát ze dvou typů - DATEX a nativní XML. Dále lze vybírat lokalitu zájmu (kraj, okres, město), stupeň dopravy, kolona, třída komunikace nebo konkrétní uživatelské úseky. Obrázek 6 zobrazuje ukázkou uživatelského rozhraní ŘSD.

Odběr dat funguje na bázi zasílání dat z ŘSD ke koncovému odběrateli na základě předem definovaných požadavků odběratele uvedených výše. Autorka grantu začátkem roku 2020 zprostředkovala odběr dat z tohoto rozhraní pro FD ČVUT. Kvůli situaci spojené s

Vyplňte parametry nového požadavku na odběr

Geografická oblast informací FCD:

Kraj ☐ Hlavní město Praha ☐ Středočeský kraj ☐ Jihočeský kraj ☐ Plzeňský kraj ☐ Karlovarský kraj ☐ Ústecký kraj ☐ Liberecký kraj	Okres ☐ Benešov ☐ Beroun ☐ Blansko ☐ Brno-město ☐ Brno-venkov ☐ Bruntál ☐ Břeclav	Město ☐ Abertamy ☐ Adamov (Blansko) ☐ Adamov (České Budějovice) ☐ Adamov (Kutná Hora) ☐ Adršpach ☐ Albrechtice (Karviná)	
Stupeň dopravy ☐ I (běžná rychlost) ☐ II ☐ III ☐ IV ☐ V (kolona)	Kolona ☒ bez omezení ☐ ano ☐ ne	Třída komunikace ☐ dálnice ☐ silnice 1. třídy ☐ silnice 2. třídy ☐ silnice 3. třídy ☐ ostatní silnice	Uživatelské úseky

Hodnotu zapíšte jako číslo komunikace (D11, V56), mezera, provozní staničení, pomlčka, provozní staničení (celé KM) a Enter.

Formát dat:

Formát a typ přenosu

☒ DATEX, HTTP
☐ Nativní XML, HTTP

Odeslat požadavek

Upřesnění požadavku (popište volným textem):

Prosim, uveďte bližší specifikaci příjmu dat, jako je URL, adresa příjmové metody, perioda odesílání dat, případně specifikace konkrétnějšího požadavku na příjem dat.

Obrázek 6: Ukázka distribučního rozhraní ŘSD

koronavirovou krizí se ale odběr dat povedl zprostředkovat od května 2020. Odběr nefunguje tradičním stylem, tedy není zprovozněn přístup na servery ŘSD pro výběr a odběr vybraných dat. Naopak bylo třeba poskytnout odkaz k zasílání dat pro ŘSD, které již na základě definovaných parametrů data posílá.

4.2 Formát zasílaných dat

Při zpracování dat je nutné porozumět jednotlivým atributům dat a jejich významu. Na základě zadaného požadavku na odběr dat nyní autorka grantu odebírá data, jež obsahují níže popsané atributy. Většina atributů je ve formátu integer, poslední dva atributy jsou ve formátu string.

- definovaný TMC segment
- den
- čas
- aktuální počet FCD vozidel na úseku, se kterými bylo dále počítáno
- rychlost dopravního proudu za aktuálních podmínek [km/h]
- dojezdové doby za aktuálních podmínek [s]

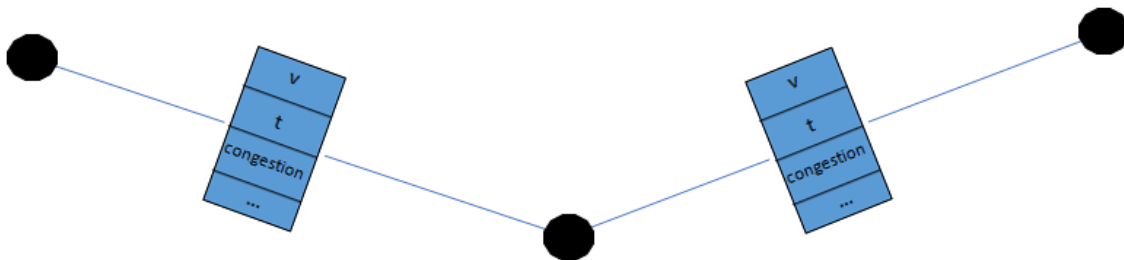
- aktuální zpoždění, počítáno jako rozdíl aktuální dojezdové doby a dojezdové doby při volném provozu [s]
- rychlost dopravního proudu při volném provozu [km/h]
- dojezdové doby při volném provozu [s]
- míra spolehlivosti dat - charakterizuje kvalitu dat, v rozmezí 0-1, kde 1 znamená 100% spolehlivá data
- reakční doba systému, počítáno jako rozdíl doby dostupnosti vstupních dat a doby výpočtu [s]
- stupeň dopravy, hodnocen 1-5 dle stupnice používané v České republice
- kongesce, informace zda existuje kolona na segmentu, značeno binárně 0/1
- kongesce od, odhad počátku kolony [m]
- délka kongesce, odhad délky kolony [m]

Příklad získávaných dat lze vidět na obrázku níže (viz. Obrázek 7). Je zobrazena struktura dat, záznam jednotlivých úseků silniční sítě na základě identifikace tzv. segmentu TMC, vybraného úseku silnice, který má jeho jedinečné ID. Pomocí tohoto identifikátoru lze data přiřadit silniční síti, která je popsána v textu níže. Data jsou odesílána v minutových intervalech. Příklad zasílaných dat je také uveden v příloze této zprávy.

```
d="126" freeflow_time="80" reliability="0.750" reaction_time="30" traffic_level="3" congestion="0" /><tmc id="TS01257T10378" timestamp="2020-07-01 01:11:01+02:00" count="2" speed="90" travel_time="108" delay="0" freeflow_speed="80" freeflow_time="34" reliability="0.944" reaction_time="7" traffic_level="3" congestion="0" /><tmc id="TS01271T23990" timestamp="2020-07-01 01:11:01+02:00" count="6" speed="84" travel_time="49" delay="15" freeflow_speed="128" freeflow_time="34" reliability="0.500" reaction_time="4" traffic_level="3" congestion="0" /><tmc id="TS01279T01280" timestamp="2020-07-01 01:11:01+02:00" count="2" speed="78" travel_time="87" delay="36" freeflow_speed="130" freeflow_time="51" reliability="0.500" reaction_time="60" traffic_level="3" congestion="0" /><tmc id="TS01286T01285" timestamp="2020-07-01 01:11:01+02:00" count="3" speed="113" travel_time="26" freeflow_speed="130" freeflow_time="53" reliability="0.750" reaction_time="30" traffic_level="3" congestion="0" /><tmc id="TS01293T01294" timestamp="2020-07-01 01:07:01+02:00" count="1" speed="136" travel_time="40" delay="0"
```

Obrázek 7: Příklad odebíraných dat včetně označeného TMC segmentu

Je potřeba si dále uvědomit, že se nejedná o data jednotlivých vozidel, ale souhrnná data pro jednotlivé TMC segmenty. TMC segment je vybraný úsek komunikace, který má své jedinečné ID. Pomocí tohoto identifikátoru lze data přiřadit na silniční síť. Schéma principu zobrazení dat je ukázáno dále, viz. Obrázek 8



Obrázek 8: Schematické znázornění zpracovaných dat pro dva TMC segmenty

5 Návrh řešení pro vyhodnocení dat

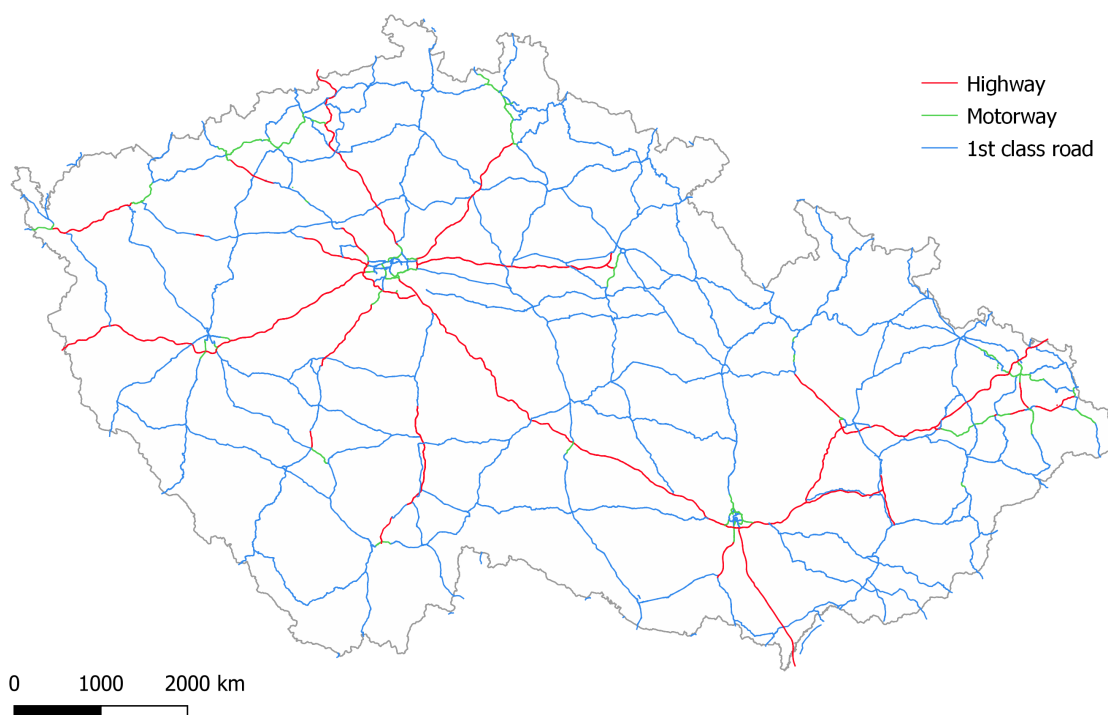
Obecně pro zpracování dat existuje metodika, jak postupovat, aby z dat vznikly relevantní výsledky. Metodika zmiňuje následující kroky:

- Sběr dat
- Validace
- Filtrace
- Integrace
- Transformace
- Snížení (reduction)
- Analýza
- interpretace

Podle zmíněné metodiky byl zvolen postup zpracování dat, kdy byly filtrovány chybná data a teprve po úpravě dat byl datový soubor nahrán na server do prostředí pgAdmin. Následovala selekce dat dle vybraných událostí, jelikož jinak byl datový soubor velmi velký. Dále pak byly zkoumány segmenty, které jsou lokalizovány v okolí vybrané události.

5.1 Definování infrastruktury

Dále bylo také potřeba definovat sledovanou silniční síť, na které budou události zkoumány. Pro tuto fázi projektu byly vybrány hlavní dálniční a silniční tahy na silniční síti České republiky. Dle použitých podkladů se jedná o necelých 10 000 km pozemních komunikací, což je zhruba 15% silniční infrastruktury na území České republiky. Pro představu je



Obrázek 9: Mapa úseků dálnic, rychlostních silnic a komunikací I.třídy

možné sledovat tyto komunikace na mapě (Obrázek 9). V zobrazeném schématu je patrné, že výběrem těchto komunikací je pokryta velká část naší republiky, a tedy nedojde k vynechání dopravně významné části území České republiky. Tyto tři třídy komunikací poměrně rovnoměrně pokrývají celé území a zasahují také do horských a podhorských oblastí. Jejich výběrem nebude eliminováno žádné důležité chování uživatel ani opomenuta část republiky.

Pro tento projekt jsou odebírána data pro celou silniční síť na území ČR. Přes zaměření modelu pro hlavní silniční tahy, je potřeba sledovat i dopravu na menších komunikacích, kam se často může doprava přesouvat. Proto model je zaměřen pro sledované události, nicméně pohyb dopravního proudu je sledován na celé silniční infrastruktuře na území České republiky.

Dle analýzy dat za měsíc červenec je zřejmé, že plovoucí vozidla pokrývají uspokojivou část silniční infrastruktury. Obrázek 10 viditelně ukazuje také obrys České republiky na základě dat z plovoucích vozidel. V okrajových částech republiky pokrytí klesá. Tato skutečnost výzkum alternativních tras nenarušuje.

5.2 Zpracování dat

Vozidlová jednotka vysílá poslední známou polohu vozidla. Tato informace je důležitá pro proces map matching. Tuto techniku používají geografické informační systémy pro přiřazení pozic vozidel na mapu. Map matching je technika, jak sladit zaznamenané souřadnice s modelem skutečného terénu. Běžně dochází k zaznamenání polohy a spojování jednotlivých bodů dle pohybu uživatele. Tento způsob je využíván v GPS sledování nákladu, dopravním inženýrství nebo satelitní navigaci. Obecně lze algoritmy dělit na online a offline, kde je zřejmý rozdíl v přesnosti a výpočetním čase.

Pro další využití v této práci by se zpracování blížilo offline formě, kdy lze zvážit všechny body za pomalejšího výkonu, ale ve prospěch přesnosti. Data byla na základě stejných atributů přiřazena na mapu České republiky, kde je vizualizace dat velmi zřejmá. Následná práce se pak odvíjí od tohoto zobrazení dat a jejich pochopení.

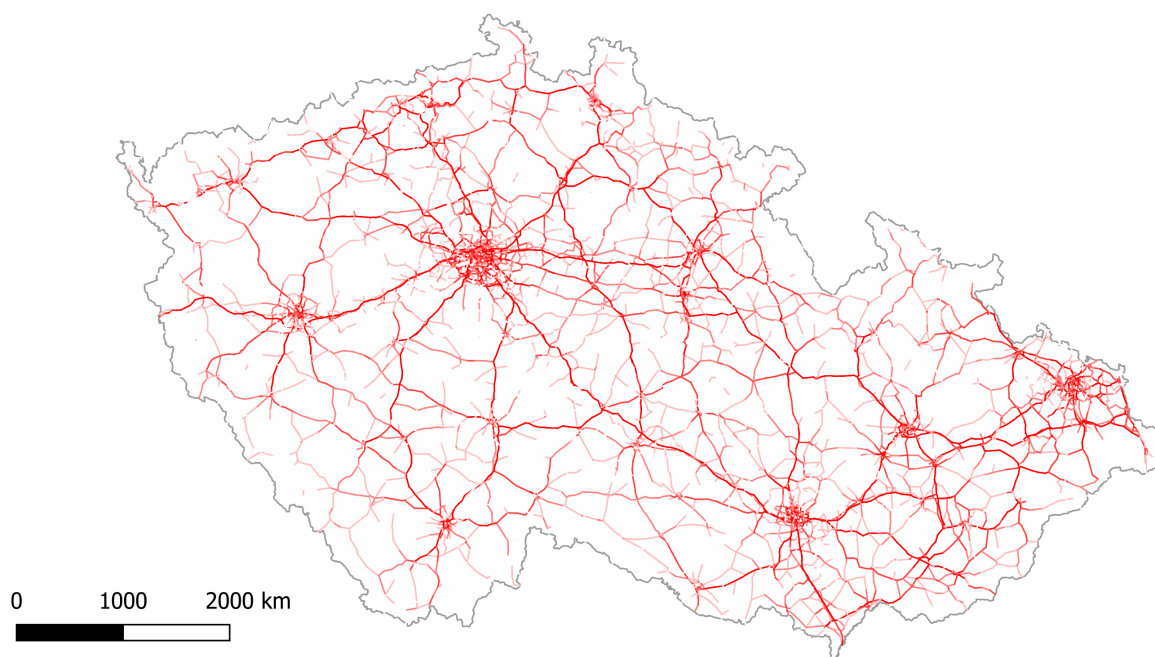
Data z plovoucích vozidel jsou anonymní, pravidelně aktualizována a publikována v minutových intervalech. Daty jsou pokryty dálnice, silnice I. a II. třídy a vybrané úseky komunikací III. třídy. Datové výstupy jsou garantované státem. Dle tiskové zprávy Ministerstva Dopravy ČR z konce roku 2019 [15] existovalo v síti více jak 150 000 plovoucích vozidel.

Charakteristika provozu plovoucích dat je velmi různorodá a pokrývá všechny významné komunikace v síti. Jak lze sledovat na obrázku níže, penetrace plovoucích vozidel je poměrně dobrá pro hlavní dopravní tepny. Obrázek znázorňuje penetraci vozidel pro červenec 2020, kde byla doprava také ovlivněna nejen prázdninami, ale také aktuální koronavirovou situací. Obrázek 10 je v mírně upravený použit v monitorovací zprávě pro ŘSD [19], kterou autorka projektu spoluvytvářela. Barevná škála představuje pokrytí dat, tmavá barva znázorňuje vysokou koncentraci dat a se světlejší barvou klesá také koncentrace dat.

5.3 Vznik alternativních tras

Pro návrh modelu byly také diskutovány okolnosti vzniku alternativních tras. V tomto projektu byla pozornost věnována tvorbě alternativních tras při úplném uzavření hlavního dopravního tahu. Jedná se především o detekci alternativních tras a pokud je alternativní trasa doporučena, zkoumání, proč si někteří uživatelé vybrali jinou než doporučenou objízdnou trasu. Pro tvorbu modelu byly vybrány primárně tyto situace, na kterých se v prvním kroku ověří napojení dat do prostorového zobrazení a také se ověří prvotní předpoklady projektu. Ostatní možné události budou zkoumány v dalších projektech, což je více popsáno v závěru této práce.

V průběhu roku byly sledovány události vedoucí ke vzniku alternativních tras. Z důvodu aktuální situace spojené s pandemií koronaviru COVID-19 byla ochromena také silniční



Obrázek 10: Pokrytí dat plovoucích vozidel pro červenec 2020

doprava. Jelikož datový zdroj byl spuštěn až ke konci ledna 2020 a zasílání dat na přidělený server bylo spuštěno až v květnu, bylo potřeba pracovat s daty z tohoto roku. Proto v projektu nebyly řešeny události, které nastaly v omezeném provozu.

Bylo vytipováno 8 událostí vedoucí ke vzniku alternativních tras a tyto události jsou popsány v tabulce níže (Tabulka 1). Informace k jednotlivým událostem byly brány z médií a dopravních informací NDIC a ŘSD. Velká část vytipovaných událostí se stala na hlavním dálničním tahu na D1. Při bližším pohledu je také zřejmé, že čtyři z pěti událostí na D1 se staly v rozmezí 50 km. To může být způsobeno zúžením při opravách této dálnice, kdy na úsecích 119.–134. km (Velký Beranov – Měřín) a 168.–178. km (Devět Křížů - Ostrovačice) probíhala do září 2020 rekonstrukce.

5.4 Možnosti alternativních tras

Ze zmíněných událostí se dále vycházelo při modelování jednotlivých situací. Při návrhu modelu tak již byly známy komunikace, na kterých jsou události zkoumány a také konkrétní situace. Dále je potřebné stanovit vlivy a možnosti tvorby alternativních tras.

Základním předpokladem v tomto projektu bylo úplné uzavření hlavního dopravního tahu. Řidiči tedy buď setrvávají na hlavní komunikaci a počkají, až bude opět průjezdná nebo zvolí objízdnou či alternativní trasu. Vycházejme z domněnky, že řidič v prvních minutách není informován o délce trvání dané události, a tak je možné, že se chování řidičů bude v čase měnit.

Tabulka 1: Vybrané události v roce 2020 vedoucí ke vzniku alternativních tras

DEN A ČAS	MÍSTO UDÁLOSTI	POPIS
26.6 po 5:00	D1 177 km směr Praha	Na místě až 6km kolony, odklon na silnici II/602 směr Domašov, Ostrovačice, při odklizení uzavřeno celé
13.7 po 14:00	D1 177.5 km směr Praha	Na místě až 20km kolony, odklon na Ostrovačice, návrat u Devíti křížů, při odklizení uzavřeno celé
13.7 cca 21:00	D1 139 km směr Praha	Před 22.h zprovozněno, při odklizení uzavřeno celé
13.8 po 15:00	D7 6 km směr Chomutov	Odklon přes Středokluky a Makotřasy, při odklizení uzavřeno celé
23.9 cca 11:00	D1 188.km směr Brno	Odklon na exit 182 nebo 178, na objízdných trasách kolony
4.10 cca 11:00	D1 296 km směr Přerov	uzavřeno mezi kilometry 308-296, před 19.h zprovozněno
20.10 po 13:00	D0 0.5 km směr Ruzyně	Obousměrně uzavřeno, před 16.h opět průjezdné
9.11 po 01:00	D8 24 km směr Ústí n. Labem	Odklon na Novou Ves, ve špičce vytížená i objízdna trasa, před 8.h provoz obnoven

Myšlenka vychází z předpokladu, že pro řidiče na hlavních tazích je důležitý především čas strávený na cestě a nikoliv počet najetých kilometrů. Z toho lze usuzovat, že při uzavření hlavního tahu bude pravděpodobně vyhledávat alternativní trasy, skrze které se jeho cesta časově příliš neprodlouží. Výchozím předpokladem je využití různých mobilních aplikací, které umožňují přepočítat trasu a také směřují vozidla po vyšších třídách komunikací. Tito řidiči tak využijí pro objízdnu trasu především komunikace prvních a druhých tříd.

Je ale také potřeba myslet na řidiče, kteří jsou znalí okolí a ti mohou využít i komunikace nižších tříd. Především v letních měsících, kdy tuto volbu neovlivňuje náledí či sněhová pokrývka může být počet těchto uživatelů poměrně velký.

Neposlední možností je také cílová destinace řidiče v blízkosti události. Díky poměrně dobré hustotě pozemních komunikací je mnohdy možné využít komunikace nižších tříd pro dosažení cíle tak, že již není nutné vracet se na hlavní dopravní tah.

6 Návrh modelu

Pro návrh modelu byl použit souřadný systém S-JSTK (systém jednotné trigonometrické sítě katastrální), což je souřadnicový systém využívaný pro zobrazení ČR a SR. Základem je síť geodetických bodů, vychází z Křovákova zobrazení z roku 1922. Tento souřadný systém je závazný pro státní mapové podklady.

V tomto zobrazení se promítá zemský povrch na kužel. Podobně jako ostatní souřadné systémy, i tento je tvořen dvěma na sebe kolmými osami X a Y, kde kladný směr osy X je orientován k jihu a osy Y na západ. Díky tomu se dostaly ČR i SR do kladných souřadnic, tedy do prvního kvadrantu.

6.1 Vybrané nástroje

Data byla zpracovávána v prostředí pgAdmin, což je grafické administrační rozhraní pro PostgreSQL. V prostředí pgAdmin lze zakládat tabulky, spouštět kódy a obecně řídit Postgres pomocí programovacího jazyka SQL.

Jako hlavním prezentačním programem byl využit software QGIS, geografický informační systém, který je praktický především pro prostorové zobrazení dat a řešení problematiky. Byl zvolen QGIS na místo oficiálního programu ArcGIS Pro společnosti ESRI především z praktického důvodu freewarového pojetí programu. V principu jsou tyto dva programy velmi podobné a tak lze také aplikovat zkušenosti z projektů minulých řešených v ArcGIS Pro. Při práci v QGIS je často používán programovací jazyk Python, kterým se zadávají konkrétní příkazy a ovládají nástroje a pluginy. Schematické zobrazení propojení programů je zobrazeno níže (Obrázek 11).



Obrázek 11: Schematické zobrazení využitých SW

6.2 Modelované události

Pro ukázkový příklad byly vytipovány dvě situace, které bylo vhodné sledovat v modelu a na jejichž základě model dále upravovat. Vybrané excesy jsou lokalizované na hlavním

dálničním tahu D1 mezi hlavním městem Prahou a Brnem. Oba excesy vedly k celkovému uzavření dálnice a vedení dopravy po objízdných trasách. Tyto události byly detekovány v červenci letošního roku. Jedná se tedy o prázdninový provoz, nicméně vzhledem k aktuální koronavirové situaci nebyly detekovány velké rozdíly v provozu mezi červnem a červencem. Dále budou popsány příkladové události, které měly různý průběh, a tedy vývoj a chování dopravního proudu bylo odlišné. Sledované události se staly 13. července. Jedná se o pondělí, které není nijak ovlivněné například státními svátky atp. Mohlo by být diskutováno spojení pondělí s víkendovými dny a tím možné ovlivnění dopravy. Vzhledem ke státním svátkům ve dnech 5 a 6. července, a tak není předpoklad výrazného prodlouženého víkendu o týden později.

Vstupy modelu

Vybrané události nebyly vzájemně ovlivněny. Události se nachází na kilometrů 139.km, respektive 177.km mezi Prahou a Brnem. První řešená událost se stala na kilometru 177 směr Praha zhruba ve 14:00 odpoledne. Druhá událost se stala na kilometru 139 směr Praha po 21.hodině večerní.

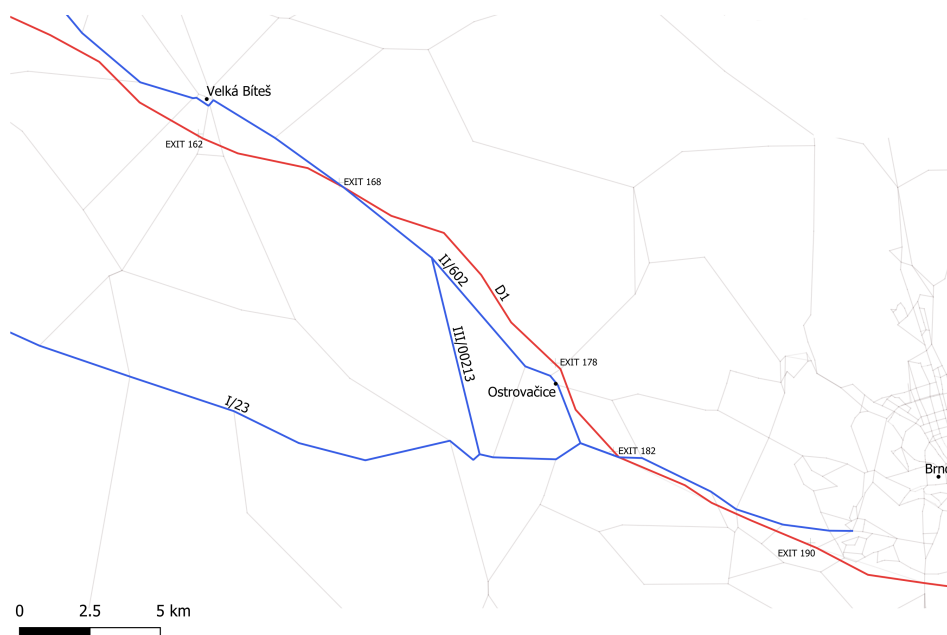
Obě události byly pro lepší přehlednost modelovány v 5 minutovém intervalu. Byla testována také větší podrobnost (interval 2 nebo 3 minut), avšak ani v jednom případě nebyl podrobnější krok modelu výhodou. Zde lze problém připisovat především menšímu pokrytí objízdných tras plovoucími vozidly, kdy v nižším kroku modelu některé úseky nebyly zobrazeny.

U první události byla vytvořena oficiální objízdná trasa, kdy bylo doporučeno sjíždět na exitu 178 km směrem na Ostrovačice a dále doporučen návrat na D1 u exitu 168km Devět Křížů. Jak již bylo zmíněno, událost se stala ve zúženém profilu komunikace. Nehoda se stala v jednom z modernizovaných úseků, kdy havarovalo nákladní vozidlo. Podle schematické mapy (Obrázek 12) je zřejmé, že zde není příliš možností pro výběr alternativní trasy. Byly stanoveny stěžejní vstupní předpoklady:

- Přesun velké části dopravního proudu na vytyčenou objízdnou trasu
- Cílová destinace je v okolí města Velká Bíteš, vozidlo jede po objízdné trase, ale na dálnici již nenajede
- Cílová destinace je v okolí města Náměšť nad Oslavou a řidič zvolí komunikaci I/23

Dále byla srovnávána data o počtu plovoucích vozidel a jejich rychlosti. Data o rychlosti byla velmi podobná pro celý časové období, což mohlo být způsobeno zúžením dálnice D1, kde je omezená rychlost na 80 km/h.

Na rozdíl od předchozí události na 139.km nebyla doporučena objízdná trasa, a tedy



Obrázek 12: Schematická mapa situace na 177.km

oficiální navigace nemusely svádět dopravu z hlavního tahu D1. Oproti předchozí situaci se v oblasti nachází více propojek 3. třídy s komunikacemi vyšších tříd. I v tomto případě byly předpokládány scénáře pohybu dopravního proudu, a to sice následující:

- Řidič zůstane na hlavním tahu a vyčká na uvolnění komunikace
- Řidič opustí dálnici na sjezdu 141, zvolí komunikaci II/602 a opět se vrátí na dálnici na 134.km
- Cílová destinace se nachází mezi dvěma sjezdy, vozidlo jede přímo k cíli
- Cílová destinace je směrem na Netín, řidič zvolí komunikaci II/354
- Řidič sjede již na exitu 146 a dále pokračuje na II/602 nebo III/3494

Počet vozidel se v průběhu nehody výrazně nemění, na úsecích se pohybuje 5-10 plovoucích vozidel, a to i přes to, že se událost stala ve večerních hodinách. I proto byla pozornost dále věnována datům z rychlosti.

Výstupy modelu

U první situace lze po vzniku události sledovat zvýšení počtu plovoucích vozidel na komunikacích II/395 a II/602. Také je možné sledovat minimální počet vozidel na dálnici a naopak vytíženou komunikaci II/602 (tedy objíždnou trasu). Až zhruba 3,5 hodiny po vzniku nehody se zvyšuje rychlost vozidel na dálnici (v porovnání s rychlostí na nižších

komunikacích).

V datech druhé situace je možné sledovat nejprve popojíždění vozidel a poté opětovné výrazné zpomalení dopravního proudu, pravděpodobně vlivem příjezdu složek IZS. Také je možné v časovém průběhu události sledovat tvorbu kolon na D1 a zároveň zvýšené využití vedlejší komunikace II/602.

Výše popsané situace je možné sledovat v časových průbězích obou rozebíraných situacích, které jsou přiloženy v příloze této Studie.

Okolnosti vzniku alternativních tras

Pro vznik alternativních tras je důležitá otázka, zda byla oficiálně doporučena objízdna trasa. Při doporučení trasy či svedení dopravního proudu z hlavního tahu je předpokládáno, že se bude na objízdne trase zvyšovat počet vozidel, včetně těch plovoucích. Tento jev by mělo být také možné sledovat v získaných datech.

Obdobně je také potřeba uvažovat chování uživatel. Pokud má řidič přesné informace od ověřených zdrojů, bude jeho chování pravděpodobně následovat instrukce. Pokud jsou informace nejasné či se dokonce různí ve zdrojích, bude řidič nejspíše vyčkávat upřesnění. Zejména pak v zimních měsících, kdy například vozovku pokryje vrstva sněhu či ledu, budou pravděpodobně voleny spíše hlavní tahy, než komunikace nižších tříd, kde není jistý stav a kvalita povrchu. Toto prozatím nebylo možné v projektu zkoumat, data z prosince již nebylo možné z časových důvodů zpracovat.

7 Vyhodnocení modelu

Bylo modelováno více událostí na silniční síti v České republice. Primárně byla ověřována data jako taková, tedy zda odpovídají jejich hodnoty předpokládaným průběhům. Dále bylo potřeba zhodnotit pokrytí dat sledovanou infrastrukturou a také posoudit případný vliv pandemické situace na silniční dopravu. Z těchto důvodů jsou uvedeny vyhodnocení příkladových událostí.

7.1 Vyhodnocení příkladových událostí

Příkladem jsou uvedeny dvě situace s odlišným průběhem a také závěry. U obou zmíněných situací lze pozorovat vznik diskutované události, ať už poklesem počtu vozidel nebo velkým snížením rychlosti. Příkladem je obrázek níže, kde je zobrazeno zpomalení dopravního proudu na dálnici D1 (Obrázek 13) - jasně červený segment na úseku D1. Vyhodnocení těchto situací následuje níže.

Řidiči se v případě nehody na 177.km v průběhu odklizení nehody více odchylovali z hlavního tahu a volili dvě zmíněné alternativy. Přesun vozidel na komunikace II/395 a II/602 lze



Obrázek 13: Snížení rychlosti při události na 139.km

vysvětlit informovaností řidičů plovoucích vozidel, kteří zvolili alternativní trasu II/602. Případně měli možnost zvolit dřívější sjezd 182 a dále pokračovat přes obec Rosice po II/395. Z dat není úplné zavření dálnice zřejmé. To si lze částečně vysvětlit tím, že řidiči byli včas informováni, reagovali rychle a zvolili jinou trasu. Může to ale také být způsobeno malým počtem dat či přemístěním dopravy na vzdálené komunikace (například z Brna do Prahy je možné zvolit také severní variantu přes Hradec Králové).

Zajímavé bylo zjištění časové reakce řidičů. Zejména u druhé situace (na km 139) řidiči s objížděním situace otáleli a zřejmě čekali, zda se situace neuklidní. Nebyla zřejmá okamžitá reakce, spíše až reakce na předané informace, kdy poté využili dřívější sjezd pro korekci své jízdy.

Co se týče volby trasy, z uvedených příkladů je předpokládáno, že řidiči plovoucích vozidel příliš nevyužívají komunikace třetích tříd. Může to být způsobeno tím, že se nejedná o příliš kvalitní komunikace a případná úspora času by nebyla tak vysoká vzhledem k pohodlí řidiče. Tento závěr je vhodné dále ověřovat i v dalších zkoumaných situacích.

Bylo předpokládáno, že u první situace se v datech objeví kolony diskutované v dopravních informacích. Z dat tyto kolony nejsou zcela zřejmé. V tomto případě byla zjištěna drobná odchylka podkladových prostorových dat, které plně neodpovídají datům z plovoucích vozidel, a tak je i nadále řešena tato problematika. Především pro předpokládanou následnou práci pomocí algoritmů je třeba tyto nuance odladit. Pro ověření těchto dat je vhodné použít data ze stacionárních detektorů, které řešitelce projektu do uzávěrky projektu prozatím nebyly k dispozici. U druhé situace nebyly tvořené kolony tak dlouhé, a tak zde v detekci kolon z dat nebyl takový problém.

Byla srovnána data rychlostí a počtu vozidel. Na jejím základě bylo shledáno vybrání nejen doporučení objízdne trasy, ale také využití další trasy komunikace 2. třídy. K dalšímu

sledování budou podrobeny informace o tvorbě kolon, které z dat vychází, ale nelze je v modelu sledovat.

Pro přehlednost jsou výstupy zaznamenané v mapových podkladech silniční infrastruktury přílohou této Studie.

7.2 Obecné závěry k chování řidičů

Při zkoumání různých situací nastíněných výše byly vyvozeny také obecné závěry s ohledem na chování řidičů. Prvotním předpokladem v tomto projektu bylo využívání různých aplikací typu Waze, které vedou řidiče tak, aby byla jeho jízda co nejefektivnější. Z dat událostí je možné usuzovat, že řidiči plovoucích vozidel nevyužívají komunikace nižších tříd, i když je to v některých případech možné. Řidiči plovoucích vozidel se pravděpodobně rozhodují při volbě trasy dle informací svých dispečerských center nebo ověřených informačních zdrojů a nemění většinou trasu cesty ihned.

To je možné přisuzovat zkušenostem, kdy není vždy nejrychlejší zvolit alternativní trasu, když bude hlavní tah rychle zprovozněn. Podobně můžeme uvažovat i s ohledem na zkoumanou síť, kdy jsou trasy po dálnicích většinou delšího charakteru a zdržení v rámci minut není velkou komplikací.

Je také zřejmé, že předchozí úvaha je podpořena parametrem úplného uzavření dálnic. Tedy pokud nedojde k úplnému uzavření hlavního tahu, více vozidel setrvá. To může být způsobeno také psychologickým efektem, kdy hlavní tah alespoň popojíždí.

Je možné dále diskutovat, jaký vliv bude mít na řidiče výpočet alternativní trasy a zjištění, že časový odhad hlavní trasy i alternativní trasy mohou být relativně srovnatelné. Pak je možné očekávat, že se objeví více řidičů, kteří zvolí alternativní trasu opět z psychologického hlediska s myšlenkou "alespoň jedu". Při zkoumání dopravy v extravilánu zpravidla nebude hlavním požadavkem uživatel nejkratší vzdálenost, ale nejkratší dojezdová doba.

Je pravděpodobné, že obecně vznik alternativních tras bude zvýšený v místech, kde hlavní tah relativně kopíruje komunikace nižší třídy. V budoucnu je tak vhodné diskutovat tyto korelace a také případně parametry nižších komunikací. Pokud budou některé komunikace k objíždění využívány velmi často, je vhodné na nich doporučit omezení provozu (například zákaz nákladních vozidel či například průjezdový zákaz, pokud se komunikace nachází v obydlené oblasti). Tím by se omezil negativní vliv alternativních tras na okolí. Je vhodné tak diskutovat a zkoumat další parametry komunikací, které aktuálně nebyly k dispozici.

V neposlední řadě se také nabízí otázka, zda nebyly vybrány alternativní trasy z důvodu kvality objížděných komunikací (snížený průjezd, zúžený profil, tonážní podmínky atp). Je třeba zde podotknout, že data z plovoucích vozidel jsou záměrně shromažďována tak, aby nákladních vozidel nebyla převaha. Při předpokladu dat z nákladních vozidel do 30% je tato úvaha bezpředmětná.

7.3 Srovnání s místním šetřením

V průběhu projektu byl realizován výjezd k ověření závěrů vyčtených z dat a také ověření mapových podkladů s praxí. Poklady z mapových portálů nejsou zcela aktuální.

Při modelování bylo vhodné ověřit, zda předpokládané závěry a okolnosti vzniku alternativních tras je možné potvrdit, především bylo otázkou, zda komunikace druhé třídy kvalitativně odpovídá přesunu dopravního proudu, stejně tak jako parametrově pro zatížení vyšším počtem vozidel než je obvyklé.

Bylo sledováno vodorovné značení středové i postranní na většině délce komunikace II/602. Komunikace II/354 není rozdělena středovým vodorovným značením. V extravilánu je komunikace dostatečně široká i pro nákladní vozidla, na vybraných místech je osazena svodidly. Při příjezdu do obcí nejsou komunikace osazeny postupně snižovanou rychlostí. V nočních hodinách nejsou komunikace osvětleny. Místy vedou komunikace v zalesněném území, kde může v noci ovlivňovat provoz pohyb zvěře.

Z průzkumu je možné konstatovat, že komunikace druhé třídy, které byly řešeny mají dobrý povrch pro využití jako alternativní trasa (často jsou částečně opraveny), jejich šířka i další parametry jsou pro řidiče přívětivé, a tak přesun dopravy z dálnice na tyto komunikace není nikterak náročný. Komunikace není směrově rozdělena, a tak může dojít v nočních hodinách k oslnění řidiče protijedoucím vozidlem než je tomu na hlavním dálničním tahu. Příkladové fotografie je možné sledovat níže, kdy je zdokumentována jak kvalita komunikace (dostatečná šířka, vodorovné značení i svodidla - Obrázek 14), tak také možné oslnění ve večerních hodinách (vystřižené ze záběru videa, Obrázek 15).

Problémem jsou projížděné obce, kde vodorovné dopravní značení v menších obcích není, a tak se také pocitově komunikace zužuje.

Při pohledu na dálniční trasu je zřejmé, že zhruba v místě vzniku nehody na 139.km je odstavné parkoviště, nově opravené, které by bylo možné využít pro objízdnu trasy nehody bez větších manipulací. Při spolupráci se správou dálnic (ŘSD) by jeho použití nemělo být za normálních okolností problém. Zde je potřeba připomenout, že v době události byla dálnice v úseku zúžena do dvou pruhů a pravděpodobně nebylo možné tuto plochu použít.

7.4 Budoucí práce

V dalších letech se autorka projektu bude dále soustředit na následný vývoj popsaného modelu. Budou zkoumány také nehody, které pouze částečně omezily provoz na hlavních dopravních tazích, což je také cílem návazného podaného grantu SGS. Dále také bude pokračovat práce na vyladění chyb modelu stávajícího, především nesoulad některých úseků dat FCD a podkladových prostorových segmentů.

Dále budou zkoumány podobné parametry a chování uživatelů při nehodě či částečném



Obrázek 14: Jedna z komunikací objízdné trasy

uzavření hlavního tahu. V tu chvíli se dopravní proud stále pohybuje, avšak například některé používané aplikace mohou vést na objízdné trasy pro zkrácení cestovní doby vozidla.

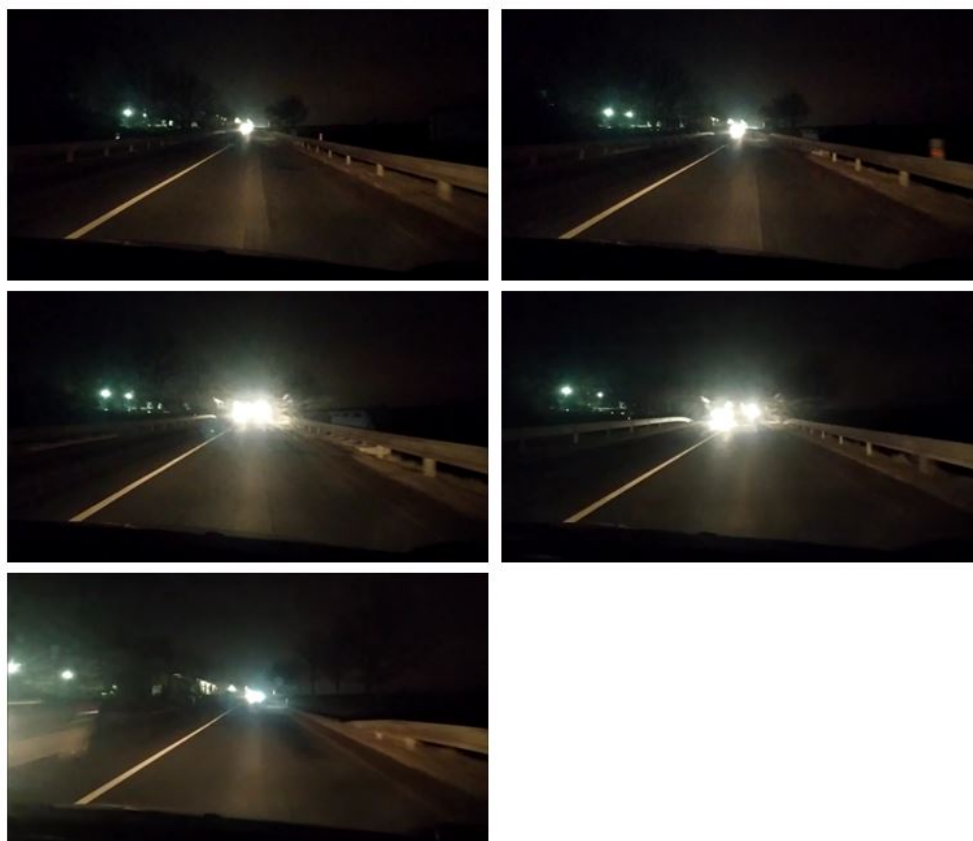
Klíčovým parametrem je také chování uživatele a možnost výběru trasy. Na tento pohled je třeba brát velký zřetel a dále zkoumat parametry, které ovlivňují rozhodnutí uživatelů. Stejně tak cítí autorka potřebu porozumět i požadavkům uživatelů, stejně tak jako specifickým parametrům, které v tomto ohledu mohou mít plovoucí vozidla.

Bude také věnována pozornost i dalším možnostem predikce událostí včetně využití různých matematických aparátů, jako jsou například neuronové sítě, citlivostní analýza, teorie pravděpodobnosti a další.

Při potvrzení předešlých myšlenek by pak bylo možné na základě zadaných parametrů události automaticky v síti vyhledávat a tyto informace posílat řidičům na síti s minimálním zpožděním.

8 Prezentace projektu

V rámci grantové žádosti byla garantována také diseminační aktivita projektu. Projekt bude představen na dvou konferencích. První byla konference Young Transportation Engineers Conference 2020 v Praze, kde byl představen článek The utilization of floating car data for traffic flow analysis. Tento článek pojednával o první části řešeného projektu. Především byl zaměřen na získaná data z ŘSD, jejich formát a význam.



Obrázek 15: Riziko oslnění protijedoucími vozidly na objízdě trase

Dále bude publikován článek na konferenci International Conference on Civil and Transport Engineering 2020 v Colombo. Článek byl na konferenci přijat v řádném termínu, konference se v původním termínu měla konat 17.12.2020, ale byla z důvodu světové pandemie odložena na 30.ledna 2021. Na této konferenci bude představen článek Analysis of driver choice at the closure of the main road using floating car data, který ukazuje příklady řešené v navrženém modelu. Oficiální vyjádření o odložení této konference je uvedeno v příloze této studie.

První příspěvek již byl prezentován online prezentací a taktéž druhý příspěvek bude vzhledem k aktuální epidemické situaci prezentován online. Proto také nebyla využita požadovaná částka pro dopravu a ubytování na konferenci, naopak bylo třeba pořídit potřebné vybavení pro realizaci těchto prezentací.

Dále byl vytvořen článek Smart Transport in protected natural Areas v rámci konference Smart Cities Symposium Prague 2020, který nebyl přijat, a proto není dále uváděn v závěrečné zprávě grantu.

Tematicky byla autorka projektu zapojena také do studie FCD konané přímo pro ŘSD, kde bylo možné též prezentovat výsledky své práce. Grafické výsledky je možné dále zapojit do výukových prezentací především pro nižší ročníky, kde je možné velmi snadná vizuální prezentace využití dopravních dat, GIS softwaru a dalších využitých technik.

9 Závěr

Hlavním cílem projektu bylo využití dat z rozhraní Ředitelství silnic a dálnic, které se uvolnily na jaře roku 2019. Tato data prozatím nejsou příliš využívána, přesto že dobře popisují dopravní proud.

V úvodu studie byl vysvětlen princip plovoucích vozidel, možné technologie a také definována data, která lze z těchto pohyblivých senzorů získat. Dále byla věnována pozornost jejich praktickému využití.

Následovala analytická rešerše problematiky. Bylo nalezeno více výzkumných projektů, které se věnují převážně intravilánu. Též byly nalezeny komerční projekty, které jsou v této oblasti velmi rozvinuté. Vzhledem ke komerčnímu využití je zřejmý zájem soukromých subjektů do výzkumu investovat nemalé finanční prostředky, které by vedly k vylepšení stávajících navigačních aplikací a dalších podpůrných produktech automobilového průmyslu.

Významná část tohoto projektu byla zaměřena na odběr dat z rozhraní ŘSD a jejich zpracování. Část této práce se zabývala formátem těchto dat a význam jednotlivých atributů. Následovalo spojení těchto dat s prostorovou složkou pro další využití v modelu.

Data byla následně upravena tak, aby je bylo možné využít v navrhovaném modelu. Byla též stanovena infrastruktura, na které bude projekt dále zaměřen. Nedílnou součástí je také vytipování základních událostí, které budou v datech zkoumány a dále rozebírány.

U tvorby modelu a jeho vyhodnocení byly uvedeny dva příklady událostí. V prvním případě se jednalo o nehodu většího rozsahu s doporučenou objízdou trasou. V druhém případě se jednalo pouze o chvilkové úplné uzavření hlavního dopravního tahu. Je zřejmé, že jsou události od sebe rozdílné, rozdílné byly i výstupy z modelu, chování uživatel a tvorby objízdových tras, a proto byly vybrány právě tyto situace.

Z modelovaných situací v průběhu roku 2020 vychází, že při zkoumání událostí na komunikacích nižších tříd by nemuselo být dostatek dat z plovoucích vozidel pro sledování alternativních tras. Proto bude výzkum i nadále zaměřen pouze na dálnice, rychlostní silnice a případně komunikace první třídy.

Závěrem byly shrnuty výsledky dosavadní práce a navrženy další možné kroky postupu. Model bude dále používán a zdokonalován, budou použity příslušné matematické aparáty a v ideálním případě kroky vedoucí k automatizaci celého modelu. V poslední části práce byly diskutovány diseminační výsledky projektu. Byly popsány konkrétní výsledky a články, které byly publikovány díky tomuto projektu.

Seznam příloh

1. Příklad odebíraných dat z rozhraní ŘSD
2. Oficiální sdělení o odložení konference International Conference on Civil and Transport Engineering a o přijetí článku i po recenzním řízení
3. Časový průběh příkladových situací

Seznam obrázků

1	Schematické znázornění prvků v systému FCD	5
2	Vizualizace využití FCD dat na předměstí Paříže [12]	11
3	Ukázka výstupů projektu ViaRodos	12
4	Schematické zobrazení produktu PTV Optima [9]	14
5	Použití formátu DATEX II[17]	19
6	Ukázka distribučního rozhraní ŘSD	20
7	Příklad odebíraných dat včetně označeného TMC segmentu	21
8	Schematické znázornění zpracovaných dat pro dva TMC segmenty	22
9	Mapa úseků dálnic, rychlostních silnic a komunikací I.třídy	23
10	Pokrytí dat plovoucích vozidel pro červenec 2020	25
11	Schematické zobrazení využitých SW	27
12	Schematická mapa situace na 177.km	29
13	Snížení rychlosti při události na 139.km	31
14	Jedna z komunikací objízdné trasy	34
15	Riziko oslnění protijedoucími vozidly na objízdné trase	35

Seznam tabulek

1	Vybrané události v roce 2020 vedoucí ke vzniku alternativních tras	26
---	--	----

Reference

- [1] *Case Study*. online. citováno 07.12.2020. URL: <https://download.tomtom.com/open/banners/Interbest-Case-Study-OD-Analysis.pdf>.
- [2] Bai Y. Deng Z. “Floating car data processing model based on Hadoop-GIS tools”. In: *2016 5th International Conference on Agro-geoinformatics (Agro-geoinformatics)* (2016). DOI: 10.1109/Agro-Geoinformatics.2016.7577677.
- [3] *Doprava je otrava. Mějte přehled, co je před vámi, díky aktuální pomoci od ostatních řidičů*. online. citováno 07.12.2020. URL: <https://www.waze.com/cs/waze>.
- [4] *Floating Car Data Enhances Traffic Accuracy in Bavaria*. online. citováno 06.11.2020. URL: <https://inrix.com/case-studies/floating-car-data-enhances-traffic-accuracy-in-bavaria/>.
- [5] Astarita V. a Giofré V. a Festa D.C. a Vitale A. “Floating Car Data Adaptive Traffic Signals: A Description of the First Real-Time Experiment with ”Connected Vehicles””. In: *Electronics* 9.1 (2020), s. 1–2. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/andp.19053221004>.
- [6] *Historical Traffic Stats*. online. citováno 07.12.2020. URL: <https://www.tomtom.com/products/historical-traffic-stats/>.
- [7] W. Huber, M. Ladke a R. Ogger. “Extended floating-car data for the acquisition of traffic information”. In: 1999.
- [8] *Maps and navigation for all: We go better together*. online. citováno 07.12.2020. URL: https://www.tomtom.com/cs_cz/.
- [9] *Real-time traffic data to optimally manage traffic and mitigate congestion*. online. citováno 07.12.2020. URL: <https://www.ptvgroup.com/en/solutions/products/ptv-maps-data/traffic/real-time-traffic-data/>.
- [10] *The Future of Variable Message Signs: Infrastructure to Vehicle Communication*. online. citováno 07.12.2020. URL: <https://otonomo.io/blog/variable-message-signs/>.
- [11] Jingjing H. Tiedong W. “Applying floating car data in traffic monitoring”. In: *2014 IEEE International Conference on Control Science and Systems Engineering, Yantai* (2014), s. 96–99. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/andp.19053221004>.
- [12] *Trafic à Issy-les-Moulineaux*. online. citováno 06.11.2020. URL: <https://data.issy.com/explore/dataset/traficissy/information/>.

- [13] S. Turksma. “The various uses of floating car data”. In: *Tenth International Conference on Road Transport Information and Control* (2000), s. 51–55. DOI: 10.1049/cp:20000103.
- [14] *UMneo real-life pilot on floating car data: first results*. online. 2019. URL: <https://www.its-platform.eu/highlights/umneo-real-life-pilot-floating-car-data-first-results>.
- [15] *Vývojáři dopravních aplikací získají kvalitní data pro svoji práci*. online. citováno 06.11.2020 2019. URL: <https://www.mdcrcz.cz/Media/Media-a-tiskove-zpravy/Vyvojari-dopravnich-aplikaci-ziskaji-kvalitni-data>.
- [16] *Vzniká Uživatelské fórum pro dynamické dopravní informace*. online. citováno 06.11.2020 2020. URL: <https://www.geobusiness.cz/vznika-uzivatelske-forum-pro-dynamicke-dopravni-informace/>.
- [17] *Welcome to DATEX II*. online. European Commision Directorate, citováno 07.12.2020. URL: <https://www.datex2.eu/>.
- [18] L. Zhu et al. “Experimental Research of Real-time Floating Car System in Beijing”. In: *2008 11th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems* (2008), s. 1173–1176. DOI: 10.1109/ITSC.2008.4732614.
- [19] Pavel Hruběš a Zuzana Purkrábková a Michal Kovaljov a Kateřina Kovaljová a Josef Hampl. *Kontrolní a expertní činnost při zavádění a následném provozu FCD – kalibrace výpočetního modelu III*. Výzkumná zpráva č. LSS 97/2019b. ČVUT v Praze, Fakulta dopravní, 2020.